



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNEYCE (İKİZDERE – RİZE) KARAYOLU TÜNELİ SAĞ TÜP GİRİŞ VE
ÇIKIŞ BÖLÜMLERİNİN JEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

Jeoloji Müh. Baki Ömer FURAT

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.05.2016
Tezin Savunma Tarihi : 16.06.2016**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fikri BULUT

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
"Baki Ömer FURAT Tarafından Hazırlanan"**

**GÜNEYCE (İKİZDERE - RİZE) KARAYOLU TÜNELİ SAĞ TÜP GİRİŞ VE ÇIKIŞ
BÖLÜMLERİNİN JEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24/05/2016 gün ve 1654 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA

Fikri Bulut
Hakan ERSOY
Ayberk KAYA

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmamın tüm aşamasında bilgi birikimi ve bakış açısı ile bana yol gösteren tez danışmanım olan Sayın Prof. Dr. Fikri BULUT'a şükranlarımı sunarım.

En zor zamanlarımda manevi desteğini esirgemeyen, eleştirileri ve önerileri ile her zaman bir adım ileriye gitmemi sağlayan Sayın Doç. Dr. Hakan ERSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aradaki mesafe farkını hiçe sayan ve her zaman deneyimlerini benim ile paylaşıp, yardımlarını esirgemeyen tez jüri üyesi Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA'ya minnettarlarımı sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında destek olan Güneyce Tüneli şantiye şefi Jeoloji Müh. Gökhan UZ'a, diğer mühendisler ve şantiye ekibine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tezinin değişik aşamalarında yardımlarını esirgemeyen görüş ve önerileri ile yardımcı olan Arş. Gör. Bilgehan KUL YAŞI'ya, Arş. Gör. Murat KARAHAN'a, Arş. Gör. Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ'ye ve Jeoloji Müh. Buket DÜNDAR'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından Makine Müh. Murat KAYIKÇI ve Uzman Erdoğan TİMURKAYNAK'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında gösterdikleri her türlü fedakârlık için Reyhan Dilara KIZILAY'a ve İbrahim ÖZYAĞCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde emeği olan hiçbir zaman manevi ve maddi desteğini esirgemeyen anneme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Baki Ömer FURAT

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güneyce (İkizdere – Rize) Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik Açısından İncelenmesi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fikri BULUT’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

23/05/2016

Baki Ömer FURAT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. Coğrafi Durum.....	2
1.3.1. Çalışma Alanının Konumu.....	2
1.3.2. Yerleşim ve Ulaşım.....	3
1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.4. Literatür Çalışması.....	4
1.4.1. Doğu Karadeniz Bölümü'nün Genel Jeolojisi.....	4
1.4.2. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları.....	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Giriş.....	9
2.2. Tünel içi ve Çevresinin Jeoloji Haritasının Hazırlanması.....	9
2.3. Petrografik İncelemeler.....	9
2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları.....	9
2.4.1. Fiziksel Özellikler.....	10
2.4.1.1. İndeks Özellikler.....	10
2.4.1.2. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi (Slake Durability).....	10
2.4.1.3. Schmidt Çekici Geri Tepme Sayısı.....	11
2.4.1.4. Elastik Dalganın Boyuna Yayılma Hızı.....	12
2.4.1.5. Elastik Dalganın Enine Yayılma Hızı.....	12
2.4.2. Mekanik Özellikler.....	13
2.4.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	13
2.4.3. Elastik Özellikler.....	13
2.4.3.1. Dinamik Elastisite Modülü.....	13
2.4.3.2. Dinamik Poisson Oranı.....	14
2.4.4. Hat Etüdü Çalışmaları.....	14
2.4.5. Süreksizliklerin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	15
2.4.5.1. Süreksizlik Yönelimi.....	15
2.4.5.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı ve Sıklığı.....	15
2.4.5.3. Süreksizlik Devamlılığı.....	16

2.4.5.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallılığı.....	17
2.4.5.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	19
2.4.5.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	19
2.4.5.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu.....	20
2.4.5.8. Hacimsel Eklem Sayısı.....	22
2.4.5.9. Kaya Kalite Göstergesi (RQD).....	23
2.4.6. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	24
2.4.6.1. Q Sınıflama Sistemi (Rock Mass Quality).....	24
2.4.6.2. RMR ₁₄ (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi.....	32
2.4.6.3. NATM Sınıflama Sistemi (New Austrain Tunneling Method).....	44
2.4.7. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi.....	48
3. BULGULAR.....	50
3.1. Güneyce Tüneli ve Çevresinin Genel Jeolojisi.....	50
3.1.1. Çatak Formasyonu.....	53
3.1.2. Kızıl kaya Formasyonu.....	53
3.1.3. İkizdere Granitoyidi.....	54
3.1.4. Alüvyon.....	55
3.2. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması.....	55
3.3. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölünlerinin Kaya Malzemelerinin Fiziko-mekanik ve Elastik Özellikleri.....	59
3.3.1. Fiziksel Özellikler.....	59
3.3.2. Mekanik Özellikler.....	60
3.3.3. Elastik Özellikler.....	61
3.4. Güneyce Tüneli Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri.....	62
3.4.1. Süreksizlik Özellikleri.....	62
3.4.1.1. Süreksizlik Takımları.....	62
3.4.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	63
3.4.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı.....	65
3.4.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallılığı.....	65
3.4.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	66
3.4.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	66
3.4.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu.....	67
3.4.1.8. Hacimsel Eklem Sayısı.....	67
3.4.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (% RQD).....	68
3.5. Güneyce Tünelinin Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	69
3.5.1. Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi.....	69
3.5.2. RMR ₁₄ (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi.....	72
3.5.3. NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi.....	73
3.6. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi.....	74
4. SONUÇLAR.....	75
5. KAYNAKLAR.....	78
6. ÖZ GEÇMİŞ.....	85

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GÜNEYCE (İKİZDERE – RİZE) KARAYOLU TÜNELİ SAĞ TÜP GİRİŞ VE ÇIKIŞ
BÖLÜMLERİNİN JEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Baki Ömer FURAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fikri BULUT
2016, 83 Sayfa

Bu çalışmada, Rize-İspir Kara Yolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşa edilmekte olan Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca mühendislik jeolojisi incelemesi ve jeoteknik tasarımı yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi için 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası hazırlanmıştır. Güneyce Tüneli Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu ve İkizdere Granitoyidi içinde açıldığı belirlenmiştir.

Tünel güzergâhında yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca hat etüdü çalışmaları yapılmıştır.

Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılan hat etüdü çalışmaları ve kaya malzemeleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Q, RMR₁₄, NATM ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır ve uygun destek birimleri belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda Güneyce Tüneli'ni iki ayrı jeoteknik birime ayırarak jeoteknik tasarımı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaya Kütle Sınıflaması, Tünel, Güneyce, NATM.

Master Thesis

SUMMARY

EXAMINING THE RIGHT TUBE ENTRANCE AND EXIT PARTS OF GÜNEYCE
HIGHWAY TUNNEL (IKIZDERE - RIZE) BY MEANS OF GEOTECHNICAL WAY

Baki Ömer FURAT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geology Graduate Program
Supervisor: Prof. Fikri BULUT
2016, 83 Pages

In this study, the engineering geological investigation and geotechnical design along the right tube entrance and exit of Güneyce Tunnel (Ikizdere, Rize), which is under construction on Rize-Ispir highway, were carried out.

A geological map of the study area at 1/100,000 scale and another geological map along the tunnel route at 1/100 scale were prepared in order to create the geological model and define geological units. It is determined that Güneyce tunnel is being constructed in Late Cretaceous Kizilkaya Formation and Ikizdere Granitoid.

Laboratory tests were conducted on rock specimens taken from the geotechnical units along the tunnel route in order to determine their physical, mechanical and elastic properties. Line survey studies were carried out along the right tube entrance and exit of the Güneyce Tunnel to define discontinuity conditions.

Using the results from the line survey studies and laboratory tests, geotechnical units along the tunnel route were classified according to Q, RMR14, NATM and GSI classification systems and appropriate support designs were determined.

The geological units along the Güneyce Tunnel route were divided into 2 geotechnical units according to the data gathered during the study, and their geotechnical design was done.

Keywords: Rock Mass Classification, Tunnel, Güneyce, NATM

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası..... 3
Şekil 2.1.	Hat etüdü ile süreksizlik ara uzaklığı tayini (Hudson, 1989)..... 16
Şekil 2.2.	Tünelde süreksizliklerin (J1, J2) devamlılığını gösteren blok diyagram (ISRM, 2007)..... 17
Şekil 2.3.	Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007)..... 18
Şekil 2.4.	Süreksizliklerin iki yüzeyi arasındaki açıklığı tanımlayan blok diyagramlar (ISRM, 2007)..... 19
Şekil 2.5.	Kaya kütlelerinde süreksizlikler boyunca su akışı ve olası etkileri (Hudson,1989)..... 22
Şekil 2.6.	Q sisteminde De ve Q parametreleri arasındaki ilişki (Barton vd., 1974)..... 29
Şekil 2.7.	Q sistemi için modifiye edilmiş tünel destek sistemi abağı (Grimstad ve Barton, 1993)..... 29
Şekil 2.8.	RMR ₁₄ puanı hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması..... 34
Şekil 2.9.	Bir metredeki süreksizlik sayısına göre puanlama abağı..... 34
Şekil 2.10.	Fe-RMR ilişkisini gösteren grafik..... 36
Şekil 2.11.	ICE'ye bağlı olan Fs değerleri..... 37
Şekil 2.12.	Kazı açıklığı-RMR abağından kaya yükü belirlenmesi (Lowson, 2013)..... 38
Şekil 2.13.	Kazı açıklığı-RMR abağından desteklenecek kaya zonunun kalınlığının belirlenmesi (Lowson, 2013)..... 39
Şekil 2.14.	Desteksiz durma süresi (Bieniawski, 1989)..... 39
Şekil 2.15.	Blonlar arası mesafenin belirlenmesi (Lowson, 2013)..... 40
Şekil 2.16.	Blon uzunluğu belirleme abağı (Lowson, 2013)..... 41
Şekil 2.17.	Blon kapasitesi tasarım abağı (Lowson, 2013)..... 41
Şekil 2.18.	Püskürtme beton dayanımı tasarım abağı (Lowson, 2013)..... 42
Şekil 2.19.	Püskürtme beton tasarım grafiği (iksasız) (Lowson, 2013)..... 43
Şekil 2.20.	Açıklıklara göre püskürtme beton grafiği (Lowson, 2013)..... 43
Şekil 2.21.	NATM, Q ve RMR değerlerinin eşleştirilmesi (KGM,1997)..... 47
Şekil 2.22.	Jeolojik dayanım indeksi abağı (Hoek vd.,2013)..... 49
Şekil 3.1.	Güneyce Tüneli çevresine ait stratigrafik kolon kesit..... 50
Şekil 3.2.	Güneyce tüneli ve çevresinin jeoloji haritası (Akbaş vd., 2016 Değiştirilmiş)..... 51
Şekil 3.3.	Güneyce Tünel güzergahına ait jeoloji kesiti..... 52
Şekil 3.4.	Kızılkaya Formasyonu'na ait kayaçların polarizan mikroskopta tek nikel ve çift nikel görünümleri (Kvs:Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Amf: Amfibol)..... 54

Şekil 3.5.	İkizdere Granitoid'ine ait kayaçların polarizan mikroskopta tek nikol ve çift nikol görünüşleri (Kvs:Kuars, Plj: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Ort: Ortoklas).....	55
Şekil 3.6.	Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.....	57
Şekil 3.7.	Güneyce Tüneli Sağ Tüp Çıkış Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.....	58
Şekil 3.8.	A Jeoteknik birimine ait çatlak kontur diyagramları.....	62
Şekil 3.9.	B Jeoteknik birimine ait çatlak kontur diyagramları.....	63
Şekil 3.10.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik ara uzaklığı histogramları.....	64
Şekil 3.11.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik devamlılığı histogramları.....	65

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ortalama sıcaklık ve yağış miktarı (URL-1, 2015).....	4
Tablo 2.1. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007).....	12
Tablo 2.2. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).....	16
Tablo 2.3. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).....	17
Tablo 2.4. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 2007).....	19
Tablo 2.5. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007).....	20
Tablo 2.6. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflama (ISRM, 2007).....	20
Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).....	21
Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).....	21
Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (Jv) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM, 2007).....	23
Tablo 2.10. RQD sınıflaması (Deere, 1964).....	23
Tablo 2.11. Kaya kalite değeri – RQD (Deere, 1964).....	24
Tablo 2.12. Eklem takım sayısı - Jn (Barton vd., 1974).....	25
Tablo 2.13. Eklem pürüzlülük sayısı - Jr (Barton vd., 1974).....	25
Tablo 2.14. Eklem yüzeyi bozunma sayısı - Ja (Barton vd., 1974).....	26
Tablo 2.15. Eklem suyu azaltma faktörü - Jw (Barton vd., 1974).....	26
Tablo 2.16. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton vd., 1974).....	27
Tablo 2.17. Kaya kütlesi niteliğine göre kayaçların sınıflandırılması (Barton vd., 1974).....	28
Tablo 2.18. Değişik yeraltı kazıları için orjinal (Barton vd., 1974) ve güncelleştirilmiş (Barton ve Grimstad, 1994) kazı destek oranları (ESR).....	28
Tablo 2.19. Q kaya kütlesi niteliğine göre duvar faktörü (Qw) belirlenmesi (Grimstad ve Barton, 1993).....	31
Tablo 2.20. RMR kaya kütlesi sınıflama parametrelerinin puanlama tablosu (Celada vd., 2014).....	33
Tablo 2.21. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönü etkisi (F ₀) (Celada vd., 2014).....	35
Tablo 2.22. ICE hesaplanmasında kullanılan tünel şekli (F) değerleri.....	36
Tablo 2.23. NATM'a göre kaya sınıflandırılması (ÖNORM B2203,1994).....	46
Tablo 3.1. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin fiziksel özellikleri.....	60

Tablo 3.2.	Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı.....	61
Tablo 3.3.	Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin ortalama dinamik elastisite modülleri ve dinamik poisson oranları.....	61
Tablo 3.4.	Jeoteknik birimlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	64
Tablo 3.5.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlere ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	65
Tablo 3.6.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait ortalama JRC değerleri...	66
Tablo 3.7.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik açıklığı değerleri ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	66
Tablo 3.8.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin yüzeylerinin bozunma değerleri.....	67
Tablo 3.9.	Jeoteknik birimler için blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri.....	67
Tablo 3.10.	Jeoteknik birimler için hesaplanan RQD değerleri.....	68
Tablo 3.11.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik özelliklerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	68
Tablo 3.12.	Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	70
Tablo 3.13.	Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri ve RMR ₈₉ değeri arasındaki ilişki.....	71
Tablo 3.14.	Jeoteknik birimlerin RMR kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	72
Tablo 3.15.	RMR değerleri için önerilen destek türleri.....	73
Tablo 3.16.	Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri.....	74
Tablo 3.17.	Jeoteknik birimlere ait jeolojik dayanım indeksi hesapları ve tanımlaması.....	74

SEMBOLLER DİZİNİ

<u>Semboller</u>	<u>Açıklama</u>
a	: Kaya kütleinin jeomekanik büyüklüklerine bağlı ampirik büyüklük
A	: Örneğin en kesit alanı (cm ²)
A	: Tambur ve örnek ağırlığı (gr)
Açıklık	: Tünel genişliği
B	: Kazı eni (m)
B	: Birinci çevrim sonrası tambur ve kalan örnek ağırlığı (gr)
B_{max}	: En büyük desteksiz açıklık (m)
C	: İkinci çevrim sonrası tambur ve kalan örnek ağırlığı (gr)
D	: Tamburun ağırlığı (gr)
D	: Kaya kütleinin patlatma hasarı ve gerilme rahatlaması sonucunda maruz kaldığı örselenme derecesine bağlı bir faktör olup, örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar çıkabilir.
d	: Örnek çapı (cm)
d	: Örnek çapı (in)
D	: Örnek çapı (in)
D	: $0,01318L/d^2$ (sn ² /in ² , silindirik örnekler için)
D	: $0,01035 L/b.t$ (sn ² /in ² , prizmatik örnekler için)
De	: Eş değer boyut
E_d	: Dinamik elastisite modülü (kg/cm ²)
E_d	: Dinamik elastisite modülü (lb/in ²)
ESR	: Kazı destek oranı
E_M	: Kaya kütleinin deformasyon modülü (GPa).
F	: 1/2t boyuna titreşim frekansı (devir/sn)
F	: Yenilme anında kaydedilen yük (kg)
F	: Tünel şekli katsayısı
F_b	: Bulon dayanımı = 25 ton = 250 kN
F_{bd}	: Blon tasarım kapasitesi
f_{cd}	: Püskürtme beton tasarım kapasitesi
f_{ck}	: Silindirik püskürtme beton numunesinin dayanımı = 30 MPa
F₀	: Süreksizlik eğim ve eğim yönü etkisi
F_e	: Kazı metodu düzeltmesi

F_s	: Gerilme-deformasyon davranışı düzeltmesi
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
H	: Kazı yüksekliğidir (m)
H	: Örtü kalınlığı (m)
I_b	: Blok boyutu indeksi
I_{d2}	: İkinci çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi
ICE	: Elastik davranış indeksi
JCond₈₉	: Süreksizlik durumu
Ja	: Eklem yüzeyi bozunma değeri
Jr	: Eklem pürüzlülük değeri
Jw	: Eklem suyu azaltma faktörü
Jli	: Süreksizlik izi uzunluğu
Jn	: Tünelin açıldığı kayacın içerdiği çatlak takım sayısı
Jn	: Eklem takımı sayısı
Jr	: Tünelin açıldığı kayacın içerdiği süreksizliklerin pürüzlülük sayısı
Jsi	: Görünür ara uzaklık
Jv	: Hacimsel eklem sayısı
K	: Süreksizlik devamlılığı
Kkop	: Süreksizlik izi hattı üzerindeki kaya köprüsü uzunluğu
K₀	: Yatay ilksel gerilmenin düşey ilksel gerilmeye oranı
l	: Boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları
L	: Örnek boyu (cm)
L	: Örnek boyu (in)
L	: Blon uzunluğu (m)
L	: İlerleme uzunluğu
L_b	: Blon Uzunluğu
Ln	: Gözlenen her bir eklem takımına dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğu
m_b	: Kırıksız kaya için malzeme sabiti olan m _i 'nin azaltılmış değeri
m_i	: Kırıksız kaya için malzeme sabiti değeri
n	: İlerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı
NATM	: Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi
Nn	: Gözlenen her bir eklem takımı için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı

P_{duvar}	: Kalıcı duvar destek basıncı (kg/cm ²)
P_r	: Kazı açıklığı
P_{tavan}	: Kalıcı tavan destek basıncı (kg/cm ²)
Q	: Tünel açılan kayanın kaya kütlesi niteliği
Q_w	: Duvar faktörü
RMR	: Kaya kütle puanlaması
RMR_b	: Temel RMR puanı
RQD	: Kaya kalite değeri
S	: GSI'ye bağlı ampirik bir büyüklük
S_b	:Bulon aralığı
S1, S2, S3	: Her eklem takımı için hesaplanmış ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri
SRF	: Gerilme azaltma faktörü
t	: Elastik dalganın örneği kat etme zamanı
t ve b	: prizmatik örneğin enine kesitinin boyutlarıdır (in).
v_{din}	: Dinamik poisson oranı
V_p	: Elastik dalganın boyuna yayılma hızı
V_s	: Elastik dalganın enine yayılma hızı
w	: Örnek ağırlığı (gr)
W	: Örnek ağırlığı (lb)
X	: Ortalama Schmidt çekici geri tepme değeri
γ	: Kayacın birim hacim ağırlığı
γ_b	: Kısmi faktör = 1.5
γ_s	: Kısmi faktör = 1.5
γ_r	: Kısmi faktör = 1.5
δ1	: Süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı
λ	: 1m uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısı
σ'₁	: En büyük asal gerilme
σ'₃	: En küçük asal gerilme
σ_{ci}	: Kaya kütlesi için tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	: Taze ayrışmamış kayacın çekme dayanımı
β_j	: Süreksizlik eğim açısı
ρ_r	: Kaya kütlelerinin birim hacim ağırlığı = 27 kN/m ³



ANNEM İÇİN,

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizin büyüyen ve gelişen ekonomisi ve buna bağlı olarak artan ticari ve bireysel araçların sayısına bakıldığında, uluslararası standartlardaki yol ihtiyacının gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Ülkemizde, özellikle dağlık bölgelerde uluslararası standartlarda yol inşa edilebilmesi için mühendislik yapılarına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Karayolu tünelleri bu mühendislik yapılarının en başında gelmektedir ve maliyeti yüksek olsa da son yıllarda tünel projelerinin sayıları giderek artmaktadır.

Tünel projeleri, bölgedeki bütün kayaçların jeolojik ve jeoteknik özelliklerine göre tasarlanan, maliyeti yüksek projelerdir. Yüksek maliyetli olan bu tür mühendislik yapılarının ekonomiye dolaylı yoldan en kısa sürede katkı sağlayabilmesi için, tünelin en kısa sürede en ekonomik ve en sağlam şekilde inşa edilmesi gerekir. Bu etkenleri sağlayabilmek için tünel güzergâhı boyunca detaylı, gerçekçi ve güncel yöntemler kullanılarak mühendislik jeolojisi çalışması yapılmalıdır.

Yapılan bu çalışmada, İyidere-İkizdere bölgesinde inşa edilen, uzunluğu dört kilometre, iki tüpten oluşan ve delme patlatma ile delinen Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde, tünelcilikte yaygın bir şekilde kullanılan Q (Barton vd., 1974), RMR₁₄ (Celada vd., 2014), NATM (ÖNORM-B2203, 1994) ve GSI (Hoek vd., 2013) kaya kütleleri sınıflandırma sistemlerinden yararlanılarak her bir farklı jeoteknik birimlere göre uygun olan destek türü saptanmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Otoyol tünellerinin tasarımında ilk aşama tünel güzergâhının belirlenmesidir. Belirlenen tünel güzergâhında yüzeylenen kayaçların jeolojik ve jeoteknik özellikleri, güzergâh üzerinde yapılması gereken karotlu sondajlarla, laboratuvar çalışmaları ve nadir de olsa yapılan jeofizik çalışmaları ile gerçekleştirilir.

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesi ile otoyol tüneline inşaatı sırasında hangi tür kayaçlarda kazı yapılacağı, kazı sonrasında kullanılacak destek türleri belirlenir ve jeolojik-jeoteknik etüt raporu hazırlanır. Hazırlanan bu jeolojik-jeoteknik etüt raporu tünel inşası için yol gösterici olarak kullanılsa da, yapım aşamasına geçildiğinde yeterli olmamaktadır. Tünel inşası öncesinde

hazırlanan jeolojik-jeoteknik etüt raporlarının, tünelin kazı aşamasında uygulanabilir olarak kazı aşaması ile örtüşmesi hem maliyet hem de güvenlik açısından oldukça önemlidir. Jeolojik-jeoteknik etüt raporunun hazırlanması aşamasında yapılan detaylı jeoteknik çalışmaları doğru yorumlamak tünelde kazı aşamasında yaşanacak sorunları azaltacaktır. Çoğu zaman tünel güzergâhı üzerinde yapılan karotlu sondajlar vasıtası ile kaya kütesinin kalitesi hakkında bilgi edinilir. Ancak karmaşık bir jeolojiye sahip olan bölgelerde geniş aralıklarla yapılan karotlu sondajlar, veri yetersizliği sebebiyle ileri zamanlarda sorunlarla karşılaşılmasına neden olabilmektedir (Kaya, 2012).

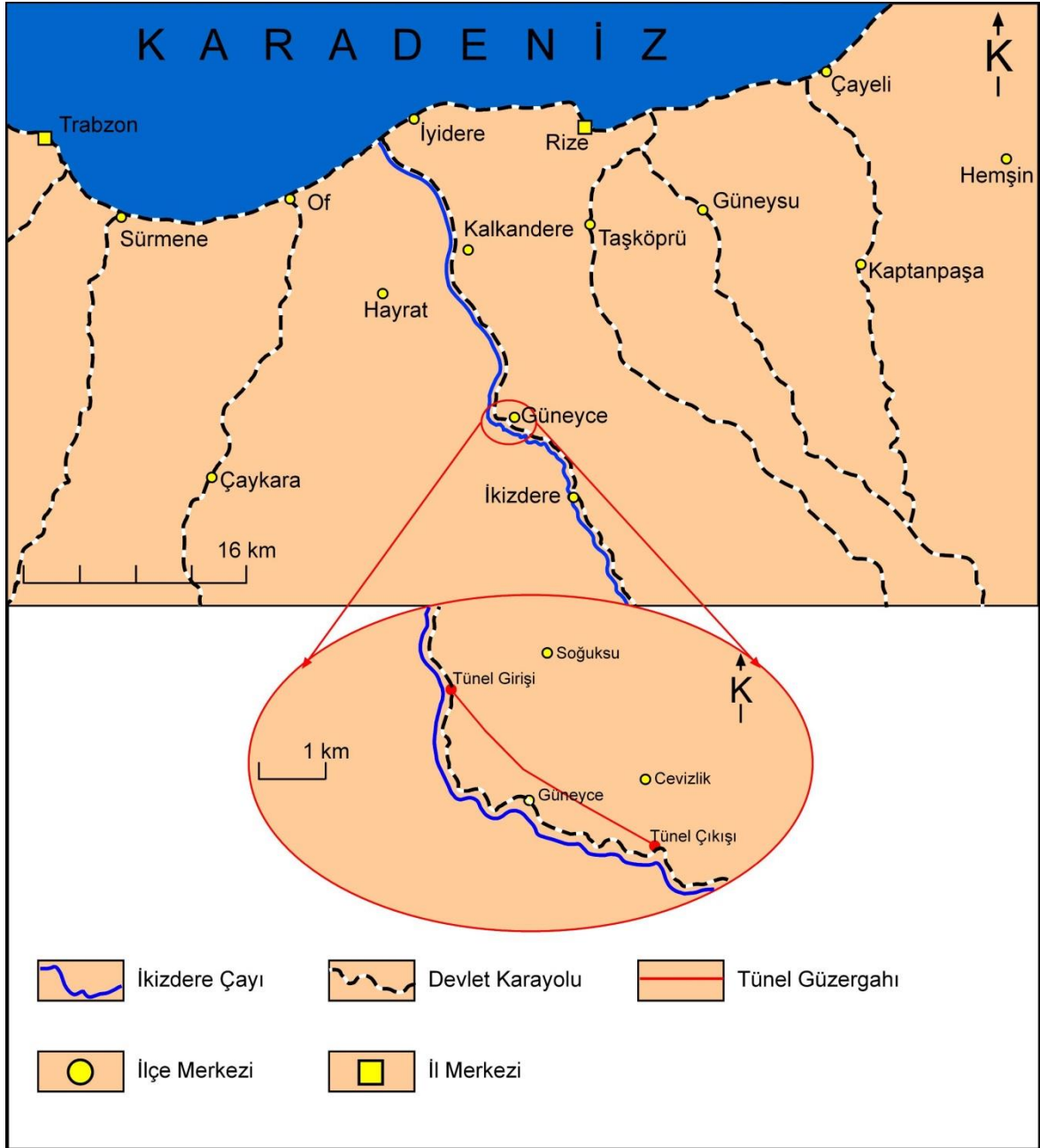
Güneyce Tünelinin karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olmamasından dolayı projelendirme aşamasında hazırlanan jeolojik ve jeoteknik etüt raporunun inşaat aşamasındaki durumu ile bire bir örtüşmesi için yüzeysel bir mühendislik jeolojisi çalışması yapılmıştır. Tünel güzergâhında bulunan jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri arazi çalışmalarıyla, kaya malzemelerine ait jeomekanik özellikler de yapılan laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiştir. Elde edilen veriler tünelticilikte kullanılan ampirik sınıflama sistemleri ile sınıflandırılarak ve her ayrı jeolojik birim için ön destek tasarımı önerilmiştir.

1.3. Coğrafi Durum

1.3.1. Çalışma Alanının Konumu

Güneyce Tüneli, Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan, 1/25000 ölçekli Tortum G44-b3 ve G45-a4 paftalarının sınırlarında yer almaktadır (Şekil 1.1.).

Güneyce Tüneli, İyidere-İkizdere arası varyant güzergâhının 22. ve 29. kilometreleri arasında inşa edilmektedir ve İkizdere ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeyinde yer almaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.3.2. Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanının ulaşımı daha önceden yapılan Rize-İspir devlet kara yolu aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu devlet kara yolu ile inceleme alanındaki önemli bir yerleşim yeri olan İkizdere İlçesi'ne de ulaşım sağlanmaktadır. Bununla birlikte, dik vadiler boyunca da Karadeniz Bölgesi'nin tipik yerleşim özelliği olan dağınık yerleşim görülmektedir.

1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanına Doğu Karadeniz Bölümü'nün ılıman iklimi hâkimdir (Tablo 1.1.). Genellikle kış ayları ılık, yaz ayları sıcak geçmektedir. Yağışlar ise en çok eylül ve ekim aylarında görülür. Yıllık yağış ortalama 187.75 mm ve ortalama sıcaklık ise 14 derece'dir. En soğuk olan ay 6 derece ile Ocak ve Şubat, en sıcak olan ay ise 23 derece ile Temmuz ve Ağustos ayıdır.

Bölge ılıman iklime sahip olması nedeni ile yoğun bitki örtüsü mevcuttur. Bitki örtüsüne örnek olarak çaylıklar yoğun olarak gözlenmektedir.

Tablo 1.1. Ortalama sıcaklık ve yağış miktarı (URL-1, 2015)

Rize	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.6	6.6	8	11.7	16	20.3	22.9	23.1	20	15.9	11.7	8.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.1	14.1	16	15.3	14.7	14.4	13.8	14.6	15	15.5	14.1	14.7
Ortalama Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması	225.8	178.4	156.5	91.9	97.4	136.2	143.9	198.4	249.7	291.1	250.7	234.3

1.4. Literatür Çalışması

1.4.1. Doğu Karadeniz Bölümü'nün Genel Jeolojisi

Tektonik üniteler Ketin (1966) tarafından güneyden kuzeye doğru Kenar Kıvrımları Kuşağı, Toridler, Anatolidler ve Karadeniz Dağları olmak üzere dört farklı temel tektonik birliğe bölünmüştür. Bölünen tektonik birlikler Türkiye'nin orojenik gelişimi temel alınarak oluşturulmuştur. Ketin ve Canitez (1972) tarafından revize edilen bu dört farklı tektonik birlik, Karadeniz Dağları'nın doğu ve batı olarak ayrılmasına sebep olmuştur. Doğu Karadeniz Dağları'nın güney ve kuzey bölümlerinde farklılıklar gösteren Geç Kretase yaşlı kayaçların kuzey (dış) ve güney (iç) olarak ayrılmalarındaki en önemli sebep göstermiş oldukları farklılıklardır. (Akın,1978; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Doğu Karadeniz magmatik yayı Bektaş (1986) tarafından güneyden kuzeye doğru eksen

zonu, güney zon ve kuzey zon olarak 3 alt zona bölünmüştür. Ayrılmış olan bu üç alt zonun aşamaları farklı tektonik, magmatik ve de sedimantolojik evrimdir (Bektaş, 1986).

Paleozoyik yaşlı kayaçlar, granitler ve kristalen şistler Doğu Karadeniz Dağları'nı meydana getirmektedir ve Güney Zon'da sıkça görülen bu kayaçlar (Zankl, 1961, 1962; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978), Kuzey Zon'da ise seyrek olarak görülmektedir (Türk-Japon Ekibi, 1985; Boynukalın, 1990). Çoğulu (1975) tarafından yapılmış olan incelemelerde, paleozoyik yaşlı granitoyidik kayaçların temeldeki metamorfik kayaçları kestiği gözlenmiştir. Giresun güneyinde aralıklı mostralalar halinde metamorfik kayaçlarla beraber bulunan granitoyidik kayaçlar (Schultz-Westrum, 1961) Gümüşhane yöresi ile Köse-Gümüşhane arasında ise büyük plütonik yığınlar olarak görülmektedir (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992).

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki birimlerin yaşlıdan gence sıralanışı şu şekilde olmaktadır (Schultz-Westrum, 1958, 1960, 1961; Türk-Yugoslav Ekibi, 1968; Sawa ve Altun, 1971): Granitler ve kristalin şistler bu bölgede egemendir. Jura (Liyas) konglomeraları; marn, kumtaşı ve kalker tarafından örtülmektedir. Bölgedeki birinci volkanik birim Alt bazik seri tarafından oluşturmaktadır. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı spilitik aglomera, lav, andezit, bazalt ve piroklastlarından meydana gelir ve oluşan kayaçlar arasında kumtaşı, marnlı kalker, marn, ve silttaşı arakatkıları seyrek olarak bulunmaktadır. Senoniyen yaşlı dasit, aglomera, riyodasit lav ve piroklastlarından "alt dasitik seri" oluşmaktadır. "Üst bazik seri" ise Senoniyen-Eosen yaşlı andezit lav, bazalt ile bazalt ve lavların oluşturduğu piroklastlarından meydana gelmektedir. Oluşan bu seride yer yer kalker ve marn arakatkıları görülmektedir. Üst bazik seriden sonra bu bölgede tersiyer yaşlı granitik kayaçlar bulunmaktadır. Oligosen-Pliyosende gözlenen genç volkanizmanın oluşumu volkanik çakıltaşları, andezitik breşler ve bazalt ile beraber kireçtaşı ve marndan ibarettir (Yıldız, 1983).

Gümüşhane yöresinde Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi üstüne aşınma uyumsuzluğuyla gelen Liyas yaşlı volkano-tortul kayaçlar; marn, kalker, kumtaşı, konglomera ve volkanitlerden meydana gelmektedir. Giresun-Aksu bölgesi civarında Liyas'tan başlayan ve Erken Kretase'nin sonuna kadar devamlılık gösteren bazik volkanizma Schultz-Westrum (1961) tarafından "Alt Bazik Seri" olarak adlandırılmıştır (Kaya, 2008).

Liyas yaşlı volkanik kayaçların üzerine Malm-Erken Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşları uyumlu olarak gelmektedir. Liyas yaşlı volkanik kayaçların üzerine uyumlu

şekilde gelmekte olan Malm-Erken Kretase yaşlı Berdiga kireçtaşları olistrostromlar ve merccekler halinde bulunmaktadır (Kaygusuz vd., 2006).

Geç Kretase'nin görüntüsü Doğu Karadeniz Dağları'nda iki farklı şekilde olmaktadır. Kuzey Zon'da magmatik kayalara sıkça rastlanırken, Güney Zon'da yer alan kayalar volkanotortuldur. Kırmızı kireçtaşları, Geç Kretase'nin kılavuz seviyesi kabul edilirken Güney Zon'da tek seviye olarak Geç Kretase tabanında izlenmektedir ve görünen bu kırmızı kireçtaşları Kuzey Zon'da birkaç seviye ve volkaniklerle ara katkılı bir şekilde yer almaktadır (Bektaş, 1984). Bazı araştırmalar, Geç Kretase tabanının Kuzey Zon'da net bir sonuç vermediğini göstermektedir.

Erken Kretase'de başlamakta olan Alt Bazik Seri, Schultz-Westrum (1961) tarafından yapılan incelemelere göre Geç Kretase'nin başlarında devam etmektedir. Geç Kretase'de tüffitik kireçtaşı-marn serisi ile hippuritli kireçtaşları Alt Bazik Seri'ye eşlik etmektedir. Eşlik eden bu serinin üstünde dasit ile bunun piroklastitleriyle birlikte inoceramuslu kırmızı kireçtaşları bulunmaktadır ve bazik volkanikler de bunların üzerine gelmektedir. "Üst Bazik Seri" bazik volkanik kayaların yer yer Eosen'de devam etmesiyle oluşturulmuştur (Kaygusuz v.d., 2006). Geç Kretase, Güney Zon'da açısız uyumsuzluk ile Berdiga Formasyonu üstüne gelen kumlu kalkerlerle başlamaktadır. Kumlu kalkerleri şarap kırmızısı renginde olan kırmızı kalkerler uyumlu bir şekilde üstlenmektedir ve bu birim üzerine de uyumlu şekilde gelen birim Volcano-tortul seriden oluşmaktadır (Tokel, 1972; Eren, 1983).

Doğu Karadeniz Dağları'nın bazı kısımlarında Geç Kretase-Paleosen geçişi görülmektedir. Tirebolu'nun güneydoğusunda, Paleosen yaşlı birimlerin, Geç Kretase'nin devamı niteliğinde olduğu Şarman (1975) tarafından tespit edilmiştir. Volcano-tortul seri, Hopa-Cankurtaran bölgesinde Geç Kretase'den Eosen'e aralıksız olarak geçmektedir (Özsayar vd., 1981). Gümüşhane (Kale) bölgesindeki Geç Kretase yaşlı filiş ile başlamakta olan istif, konglomera ve mikritik kireçtaşlarından meydana gelen Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na uyumsuz olarak geçerek Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999).

Karadeniz Dağları'nda Eosen çoğunlukla taban konglomerasıyla Paleosen ve Kretase yaşlı birimler üstüne gelmektedir. Paleosen ile Kretase yaşlı birimleri üstleyen seriler andezit ve bunun piroklastitleriyle birlikte filiş çökellerinden oluşmaktadır. Gölköy ve Çambaşı bölgelerinde taban konglomerasıyla Eosen'in başladığı Gedikoğlu (1970) tarafından belirtilmiştir.

Fatsa, Ünye ve Trabzon bölgelerinin sahil kesimlerinde Oligosen görülmektedir (Schultz-Westrum, 1961; Özsayar, 1971). Rize- Pazar ve Trabzon-Akçaabat sahillerine yakın bölgelerde neojene özgü tortullar bulunmaktadır (Yalçınlar, 1952; Özsayar, 1971). Alüvyon ile travertenlerden kuvaterner yaşlı oluşukları meydana gelmektedir (Kaya, 2008).

1.4.2. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Kaya (2008), Karadeniz Devlet Sahil Yolu Projesinde bulunan Trabzon Çarşıbaşı-Araklı bölgesi arasında inşaatı bitmiş Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalında, tünelcilikte yaygın bir şekilde kullanılan Q (Barton ve Grimstad, 1994), RMR (Bieniawski, 1989) ve NATM (Rabcewicz vd.,1964) kaya kütleli sınıflama sistemleri için tünelde mevcut olan bütün jeoteknik birimlere uygun destek türü kullanılmıştır. Jeoteknik birimleri meydana getiren kaya kütlelerinin dayanım parametrelerini saptamak için Hoek-Brown (Hoek vd., 2002) dayanım ölçütünden faydalanılmıştır. Sonuca varılan parametrelerle kazı profili benzetilerek kazı çevresinde oluşacak destekleme sonrasında ve destekleme öncesindeki plastik yenilmeleri ve yer değiştirme boyutunu “Phase2” sonlu elemanlar programı vasıtasıyla belirlenmiştir.

Kaya (2012), Cankurtaran Tüneli (Artvin) güzergâhı ile çevresinde mevcut jeoteknik birimlere ait mühendislik özellikleri saha çalışmalarıyla, kaya malzemelerinin özellikleri laboratuvar çalışmaları sayesinde saptanmıştır. Sonuca varılan veriler ile tünel güzergâhında bulunan jeoteknik birimler için tünelcilikte sık bir şekilde kullanılan deneysel sınıflama sistemlerinden faydalanılarak sınıflandırılmış ve tünelde mevcut olan bütün jeoteknik birimlere uygun ön destekleme elemanları saptanmıştır. Deneysel analizlerle saptanan ön tahkimat tasarımı da sayısal çözümlenmelerle desteklenmiştir. Tünel dışında yapılacak portal ile yol yarma şevleri dayanıklılığı ve viyadük ile köprü ayaklarının yapılacağı alanda bulunan jeoteknik birimlere özgü taşıma gücü değerleri de kapsamlı şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, tünel güzergâhı ile çevresinde bulunan jeoteknik birimlere ait kazılabilirlik özellikleri ile kazı sırasında kullanılacak uygun kazı metodu deneysel sınıflama sistemleri vasıtası ile saptanmıştır.

Kanık (2015), Maçka Tüneli (Trabzon) güzergâhında bulunan kayaçların mühendislik özellikleri ile tünel kazısı anında geçilecek birimlere uygulanacak en elverişli destek sistemlerini saptanmıştır. Görgül metotlar kullanılarak saptanan destek sistemlerinin sağlamlığını yapılan sayısal çözümlenmeler yardımıyla değerlendirerek en

verişli destek sistemlerinin belirlenmesine çalışmıştır. Ayrıca, ampirik yöntemlerden belirlenen sonuçlar ve sayısal özömlmelerden belirlenen sonuçlar arasındaki değişikliklerin kaynakları irdelenmiştir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu araştırmada Rize-İspir karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinin, kaya kütlesi sınıflandırmalarıyla incelenerek uygun olan destek türü saptanmıştır. Çalışma alanı ve çevresine ait 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası, Güneyce Tüneline ait 1/100 ölçeğinde olan tünel içinin jeoloji haritaları ve ölçeksiz tünel ayna kesitleri hazırlanmıştır. Tünel içerisinde yapılan gözlemlerle bütün jeoteknik birimler ve tünel içerisinde bulunan süreksizlikler için jeoteknik özellikler belirlenerek ve bütün jeoteknik birimlerin fiziksel özelliklerini saptamak için laboratuvarında ilgili deneyler yapılmıştır.

2.2. Tünel İçi ve Çevresinin Jeoloji Haritalarının Hazırlanması

Güneyce Tüneli ve çevresinin jeolojisini belirlemek için 1/100.000 ölçekli olan jeoloji haritası ile birlikte yüzeylenen kayalara ait stratigrafik kolon kesiti hazırlanmıştır. Güneyce tüneli çevresinde genel jeolojik incelemeler ile bölgede yapılan daha önceki genel jeolojik çalışmalarla birlikte karşılaştırılarak revize edilmiştir (Şekil 3.2.).

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerine ait hazırlanan 1/100 ölçeğinde olan tünel içinin jeoloji haritasından yararlanılarak kaya kütleleri sınıflandırmalarında kullanılmış olan parametreler saptanmıştır (Şekil 3.6., Şekil 3.7.).

2.3. Petrografik İncelemeler

Araziden alınan kaya örneklerinin Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesitleri hazırlama laboratuvarında ince kesitleri hazırlanmış ve hazırlanan örnekler polarizan mikroskopta incelenmesi ile kayaların petrografik ve mineralojik özellikleri saptanmış ve kayaç isimlendirmeleri yapılmıştır.

2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

Mühendislik jeolojisine ait çalışmalar arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak iki aşamada yapılmıştır. ANON (1981a,b) ve Dearman (1981)'nin düzenledikleri jeoteknik özelliklere, kökene ve litolojiye dayanmakta olan sınıflama sistemleri kullanılarak tünel

içinin jeoloji haritası hazırlanmıştır ve daha sonra alınan örneklerin üzerinde fiziko-mekanik ve elastik özellikler belirlenmiştir.

2.4.1. Fiziksel Özellikler

2.4.1.1. İndeks Özellikler

Kaya malzemelerine ait indeks özelliklerinin belirlenmesi amacı ile ilk olarak kaya bloklarından küp şeklinde örnekler alınmıştır. Alınan bu örneklerin üzerinde yapılmakta olan deneylerde TSE'nin "TS 699 (2009), Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri" şartnamesinde bulunan metotlar uygulanmıştır. Kaya bloklarından alınmış olan küp şeklindeki örnekler incelenmeye başlamadan önce ilk olarak tartılarak doğal ağırlıkları bulunmuştur. Doğal ağırlıkları bulunan küp şeklindeki örneklerin kuru ve doymuş ağırlıklarının belirlenebilmesi için ilk olarak 24 saat boyunca 105°C sıcaklıkta olan fırın içerisinde kurutulup kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlığı bulunduğundan sonra suya yatırılıp iki gün saf suda bekletildikten sonra da doymuş ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra bu verilerden yararlanılarak kayaçların özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, su muhtevası, hacimce su emme, porozite ve boşluk oranı gibi indeks özellikleri hesap edilmiştir. İndeks özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılması gereken diğer bir deney özgül ağırlık deneyidir. Her bir kaya birimi için en az 3 tane deney yapılmıştır ve yapılmış olan bu deney sonuçlarının aritmetik ortalamalarının hesaplanması sonucu özgül ağırlıkları belirlenmiştir.

2.4.1.2. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi (Slake Durability)

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin amacı, her bir farklı kaya biriminden alınan örneklerin standart olan iki çevrim süresi boyunca ıslanmaya ve kurumaya bırakılması durumunda, kayaçların zayıflamaya ve parçalanmaya karşı göstermiş olduğu duraylılığın saptanmasıdır. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deney yöntemi için ISRM (2007)'nin önermiş olduğu yol temel alınmıştır (Ulusay vd., 2011).

Örneklerin her biri 40-60 gr ağırlığında olan toplamda 450-550 gr ağırlığa sahip olan on adet küresel şekilli örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ile fırına verilecek olan tambur ilk olarak içi boş iken tartılmış ve tamburun ağırlığı bulunmuştur. Örnekler ağırlığı bulunan tambura yerleştirilmiş ve tambur 12 saat boyunca 105°C'lik etüvde

bekletilmiştir. Fırında 12 saat bekletilen tambur ve örnekler fırından çıkarıldıktan sonra tekrar tartılmış ve bulunan ağırlıkları kaydedilmiştir. İçerisinde örnekler bulunan tambur şeffaf hazneye yerleştirilmiş ve hazne üzerinde bulunan kırmızı işaretli çizgiye kadar su ile doldurulmuştur. Şeffaf hazne içerisine yerleştirilen tambur, 10 dakika boyunca dakikada 20 devir yaparak döndürülmüştür. 10 dakikanın sonunda tambur yerleştirildiği hazne içerisinden alınmış ve tekrardan etüve koyularak 105°C’de 12 saat bekletilmiştir. 12 saatlik sürenin sonunda tambur etüvden çıkarılmış ve ağırlığı ölçülerek ölçüm sonucu kaydedilmiştir. Varılmış olan bu ölçüm ilk çevrimin sonucudur. İlk çevrim sonucuna ulaşmak için yapılan aşamalar tekrarlanarak ikinci çevrim sonucu bulunmuştur. İkinci çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (I_{d2}) (1) numaralı formülden hesaplanmıştır (Ulusay vd., 2011).

$$\%I_{d2} = \frac{C-D}{A-D} \times 100 \quad (1)$$

Burada; I_{d2} : İkinci çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi A: Tambur ve örnek ağırlığı (gr), B: Birinci çevrim sonrası tambur ve kalan örnek ağırlığı (gr), C: İkinci çevrim sonrası tambur ve kalan örnek ağırlığı (gr), D: Tamburun ağırlığı (gr).

2.4.1.3. Schmidt Çekici Geri Tepme Sayısı

Schmidt çekici vasıtasıyla gözlenen geri tepme sayılarını etkileyen iki önemli değişken vardır; birincisi çekiç tipi ikincisi de uygulanan ölçüleri değerlendirme ve ölçme metodudur. Uygulamada N tipi ile L tipi olmak üzere 2 çeşit çekiç tipi kullanılmaktadır. ISRM (2007)’nin önerdiği L tipi olan Schmidt sertlik çekicini bu çalışmalarda kullanılmaktadır. Kaynaklarda birbirinden ayrı çok sayıda değerlendirme ve ölçme metodu bulunmaktadır (Poole ve Farmer,1980; Haramy ve De Marco, 1985; ISRM,1978; Göktan ve ayday,1993).

ISRM (2007), tarafından hazırlanan kayaç üzerinde yapılan gözlemler sonucu hazırlanan Tablo 2.1.’e göre kayaçlar sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma tamamen yapılan gözlemlere dayalıdır ve her kayaç birimi için farklı yorumlamalara sebep olmaktadır.

Tablo 2.1. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma derecesi
Bozunmamış (taze)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	W1
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kaya taze halinden zayıf olabilir.	W2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orjinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W3
Tamamen Bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orjinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.	W5

2.4.1.4. Elastik Dalganın Boyuna Yayılma Hızı

Elastik dalgaların kaya malzemelerinin içinde boyuna olan yayılma hızını saptamak amacıyla yapılmış olan deneylerde küp şeklinde örnekler kullanılmıştır. Kullanılmış olan ultrasonik deney aleti PROCEQ, ultrasonik ses dalgalarının doygun ve kuru örnekler içindeki yayılma hızı mikrosaniye türünden ölçülmüştür.

2.4.1.5. Elastik Dalganın Enine Yayılma Hızı

Attewell ve Farmer (1976)'in önerdiği elastik dalgaların kaya malzemeleri içerisindeki dalganın enine olan yayılma hızı aşağıdaki (2) numaralı eşitlikten yararlanılarak bulunmuştur.

$$V_s = 0.51 V_p \quad (2)$$

Burada; V_p : elastik dalganın boyuna yayılma hızı (m/sn), V_s : elastik dalganın enine yayılma hızıdır (m/sn).

2.4.2. Mekanik Özellikler

2.4.2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Jeoteknik uygulamaların çoğunda kullanılması gereken tasarım parametrelerinden biri olan tek eksenli basınç dayanımı kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin gruplandırılmasında önemli olan jeoteknik parametrelerden bir tanesidir (Kaya, 2008).

TSE'nün "TS EN 1926 (2013), Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesinde mevcut olan örneklerin boyut standartlarına uygun olarak kullanılması önerilmektedir. Yapılan bu çalışmada, kayalara özgü tek eksenli basınç dayanımları saptanırken bir kenar uzunluğu 50 mm olan küp şeklinde örnekler kullanılmıştır. Aşağıdaki (3) numaralı eşitlikten yararlanılarak tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Burada; F: yenilme anında kaydedilen yük (kg), A:örneğin en kesit alanıdır (cm²).

2.4.3 Elastik Özellikler

Kayaçların bazı fiziksel ve elastik özelliklerinin bulunmasında, ultrasonik ses dalgalarının iletkenliğinin kullanılması gitgide yaygınlaşmaktadır. Kayaçların izotropileri ve elastik özellikleri incelenirken kayaç içerisinde geçen S (enine) ve P (boyuna) dalgalarının hızlarından yararlanılır. Bununla birlikte kayaçlar elastik özelliklerine ve ultrasonik ses dalgalarının iletkenliğine göre gruplandırılmaktadır.

2.4.3.1. Dinamik Elastisite Modülü

Kaya malzemelerine özgü dinamik elastisite modülü Youash (1970)'in önerdiği aşağıdaki (4) numaralı eşitlikle belirlenmektedir.

$$E_d = D.W.f^2 \quad (4)$$

Burada; E_d : dinamik elastisite modülü (lb/in²), L: örnek boyu (in), D: örnek çapı (in), W: örnek ağırlığı (lb), f: 1/2t boyuna titreşim frekansı (devir/sn), t: elastik dalganın örneği kat etme zamanı (mikrosaniye), D: 0,01318L/d² (sn²/in², silindirik örnekler için), D:

0,01035 L/b.t (sn²/in², prizmatik örnekler için), d:örnek çapı (in), t ve b: prizmatik örneğin enine kesitinin boyutlarıdır (in).

(4) numaralı formülü metrik sisteme dönüştürdüğümüzde aşağıdaki (5) numaralı formüle dönüşmektedir (Bulut, 1989).

$$E_d = 1,29 L/d^2 \cdot w \cdot l/t^2 \cdot 10^6 \quad (5)$$

Burada; E_d: dinamik elastisite modülü (kg/cm²), L: örnek boyu (cm), d: örnek çapı (cm), w: örnek ağırlığı (gr), t: elastik dalganın örneği kat etme zamanıdır (mikrosaniye).

2.4.3.2. Dinamik Poisson Oranı

Kaya malzemesine uygulanarak gerilmeye dik olan yönde ortaya çıkan birim deformasyonunun, uygulanan direnç yönündeki birim deformasyonuna oranı poisson oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu oran laboratuvar ortamında dolaylı bir şekilde dinamik metotlarla ya da direkt statik deneylerle saptanabilmektedir. Poisson oranı her zaman pozitif işaretlidir ve 1'den küçük olmak zorundadır ve çoğunlukla poisson oranının değerleri 0.18-0.35 arasında değişmektedir. Kaya malzemelerine özgü dinamik poisson oranlarının saptanması için ASTM (1980)'in önerdiği (6) numaralı eşitlikten yararlanılmıştır.

$$v_{din} = (V_p^2/V_s^2) - 2 / 2[(V_p^2 / V_s^2) - 1] \quad (6)$$

Burada; v_{din}: dinamik poisson oranı, V_p: elastik dalganın boyuna yayılma hızı (m/sn), V_s: elastik dalganın enine yayılma hızı (m/sn).

2.4.4. Hat Etüdü Çalışmaları

Metot olarak hat etüdü; kaya kütesinin geniş bir sahada incelenmesi ve süreksizliklerden direkt olarak ölçüm alınmasıdır. Hat etüdü metodunda istatistiğe bağlı en gerçek sonuçlara süreksizliklerin özellikleri hakkında bilgi alınırken ulaşılır. Bu metotta öncelikle süreksizlik devamlılığı ve süreksizlik ara uzaklığına bağlı kalarak tünel duvarlarından yapılmış olan ölçümler çoğunlukla tek bir hat üzerinde uygulanmıştır. Ölçümün yapılacağı hat üstüne şerit metre serilerek hat başlangıç ve bitiş kısımları işaretlerle belirtilmiştir. Süreksizlikler şerit metrenin merkezde bulunması şartıyla hattın 50 cm üstünde veya altında kalan noktaların temel alınması ile ölçülerek tanımlanmıştır. Bu

çalışmada, ISRM (2007)'nin önerdiği yöntemden yararlanılarak hat etüdüleri gerçekleştirilmiştir.

2.4.5. Süreksizliklerin Özelliklerinin Belirlenmesi

2.4.5.1. Süreksizlik Yönelimi

Bir süreksizliğin uzaysal yönelimini, o süreksizliğin yatay konumunda ölçülen eğim açısının en büyük değeri ile birlikte eğim yönünün gerçek kuzeyle yapmış olduğu açı olarak tanımlanmaktadır. Süreksizlik yönelimleri neredeyse aynı olan diğer süreksizlerin oluşturduğu birlikteliği süreksizlik takımı olarak adlandırılmaktadır (Kanık, 2015).

Süreksizlik yönelimlerine ait grafiksel sunumunda birçok verinin değerlendirilmesi için kullanılan ve pratik bir prosedür olarak bilinen gül diyagramları, çoğu zaman eğim ve doğrultu için birbirlerinden farklı olarak oluşturulduklarından dolayı dezavantajlıdır ancak bu eksikliğin giderilmesi amacı ile eğimleri ve doğrultuları beraber değerlendiren kontur diyagramlar daha avantajlı olarak kullanılmaktadır (Kanık, 2015).

2.4.5.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı ve Sıklığı

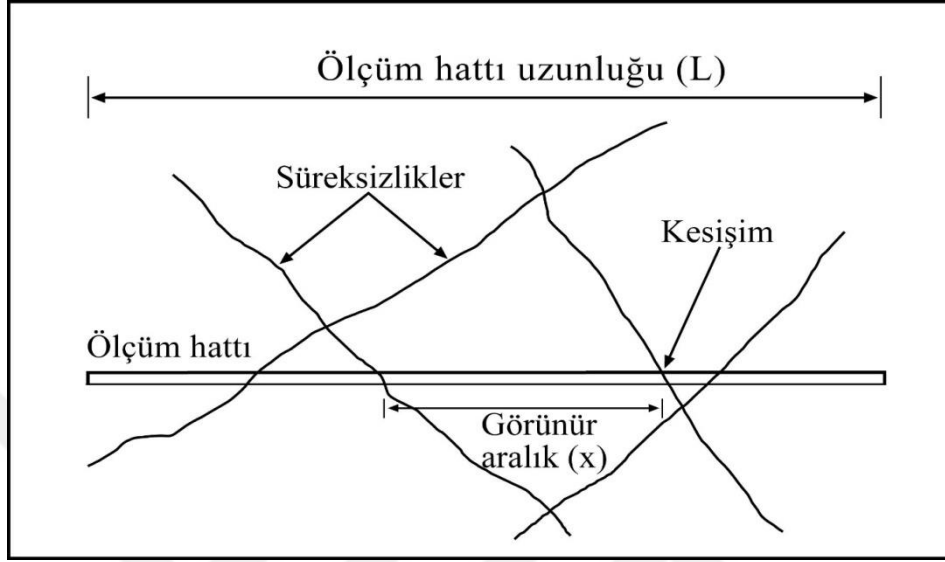
Süreksizlik takımındaki süreksizlerin birbirlerine olan dik uzaklığı süreksizliklerin ara uzaklığı olarak adlandırılmaktadır (ISRM, 2007). Süreksizliklerin ara uzaklığı sondaj karotlarından belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra, mostra yüzeyindeki süreksizliğin doğrultusuna dik olarak kullanılan şerit metre üzerinde gözlenmekte olan süreksizliklerin sayılmasıyla da belirlenebilir (Şekil 2.1.). "Görünür ara uzaklık", sondaj eksenine ya da ölçüm hattı boyunca ölçülen iki süreksizliğin birbirine olan uzaklığıdır. Aşağıda verilen (7) numaralı formül, gerçek süreksizlik ara uzaklığını yani süreksizlik takımlarındaki iki süreksizliğin birbirine olan dik uzaklığının bulunması amacıyla yapılmıştır.

$$\text{Gerçek süreksizlik ara uzaklığı} = J_{si} \times \sin(\delta_1) \times \sin(\beta_j) \quad (7)$$

Burada; J_{si} : görünür ara uzaklık, δ_1 : süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı, β_j : süreksizlik eğim açısıdır.

Süreksizlik sıklığının hassas bir biçimde saptanabilmesi amacı ile istatistiksel dağılımın modellerinden yararlanılarak süreksizliklerin sıklığının negatif eksponansiyel dağılımına uymakta olduğu Priest ve Hudson (1976) tarafından saptanmıştır.

Yapılmış olan bu çalışmada ISRM (2007)'nin önerdiği tanımlama ölçütleri, bütün bu değişkenler dikkate alınarak süreksizliklerin ara uzaklığı değişkeninin tanımlanabilmesi için kullanılmıştır (Tablo 2.2).



Şekil 2.1. Hat etüdü ile süreksizlik ara uzaklığı tayini (Hudson, 1989)

Tablo 2.2. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Aralık (mm)	Tanımlama
<20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derecede aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

2.4.5.3. Süreksizlik Devamlılığı

Kohezyonun olmadığı kısımların toplam çatlak alanlarına olan oranı süreksizliklerin devamlılığı (K) olarak adlandırılmıştır (ISRM, 2007). Süreksizlik devamlılığının bulunması çoğunlukla mostradaki süreksizlik izi ölçülerek saptanmaktadır. Bu yüzden süreksizliklerin izi olarak incelenmekte olup aşağıdaki (8) numaralı formül ile tanımlanmaktadır.

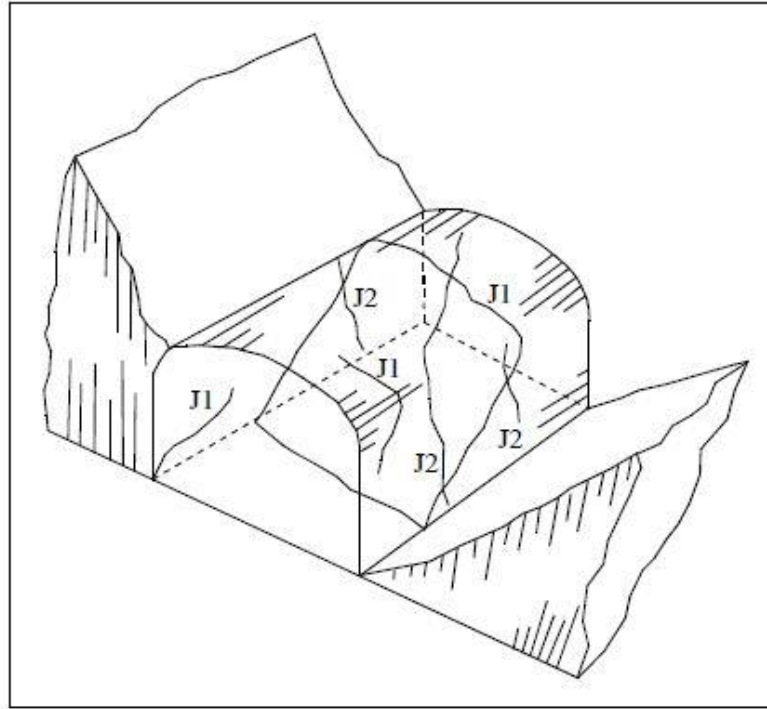
$$K = \frac{\sum J_i}{\sum (J_i + K_{kop})} \quad (8)$$

Burada; J1: süreksizlik izi uzunluğu, Kkop: süreksizlik izi hattı üzerindeki kaya köprüsü uzunluğudur.

Yapılan bu çalışmada devamlılık değişkeni, direkt olarak şerit metre yardımıyla tünel duvarından yapılmış olan ölçümler aracılığıyla ISRM (2007)'deki açıklamalar (Tablo 2.3.) temel alınarak belirlenmiştir. Tünel içerisindeki süreksizliklerin devamlılığının görünüşü Şekil 2.2.'de gösterilen blok diyagramda verilmiştir.

Tablo 2.3. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Süreksizlik izinin uzunluğu (m)	Tanımlama
<1	Çok düşük devamlılık
1-3	Düşük derecede devamlılık
3-10	Orta derecede devamlılık
10-20	Yüksek devamlılık
>20	Çok yüksek devamlılık



Şekil 2.2. Tünelde süreksizliklerin (J1, J2) devamlılığını gösteren blok diyagram (ISRM, 2007)

2.4.5.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallığı

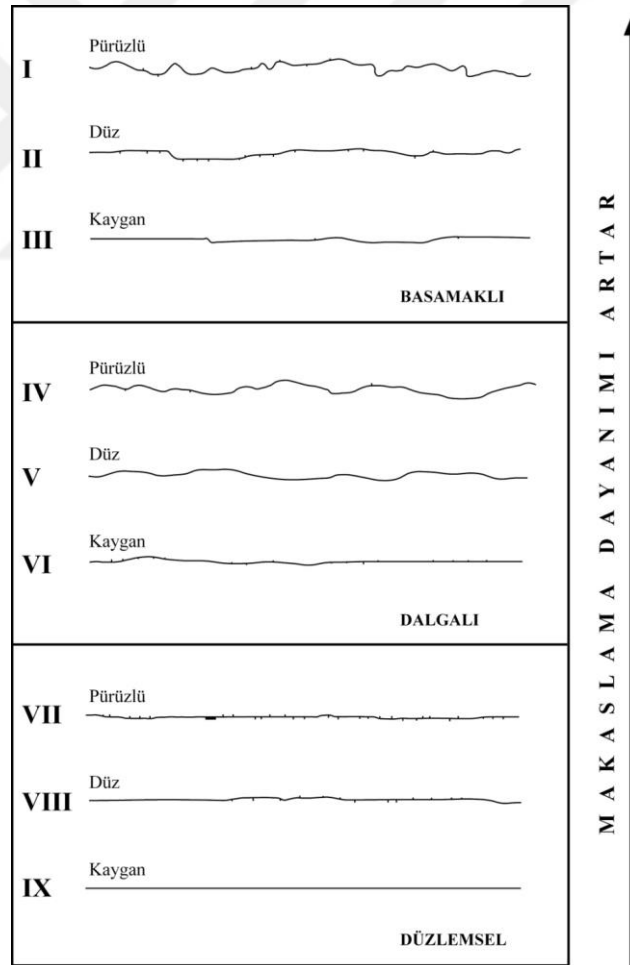
Süreksizlik yüzeyinin sırasıyla küçük (santimetre boyutunda) ile büyük (metre boyutunda) ölçekte sapılan düzlemsellik ölçüsü, pürüzlülük ve dalgallık olarak

adlandırılmaktadır (ISRM, 2007). Pürüzlülüğün tayin edilmesine yönelik farklı metotlar önerilmiştir (ISRM, 2007).

Bu çalışmada kullanılan metot, pürüzlülük ölçümünde ISRM (2007) tarafından önerilmiş olan ve arazide kullanılan telli profilmetre aracılığıyla ölçüm yapılan süreksizlik yüzeyi kesitlerinin, mevcut standart kesitlerle karşılaştırılması temeline dayanmaktadır (Şekil 2.3.).

ISRM (2007), standart profillerde verilmiş olan süreksizliklerin yüzeyine ait pürüzlülük sayısı olan JRC değerleri üç sınıf arasında değişiklik göstermektedir.

Süreksizlik yüzey kesitleri, büyük ölçekte (metre boyutunda) genlik parametreleri ve dalgalılığın dalga boyu ölçülerek değerlendirilmektedir. Kullanılan bu metotta, süreksizlik yüzeyine 1 metre uzunluğundaki cetvel dayandırılarak yüzeyin ve cetvelin birbirine en uzak olan dik mesafesi hesaplanmıştır.



Şekil 2.3. Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007)

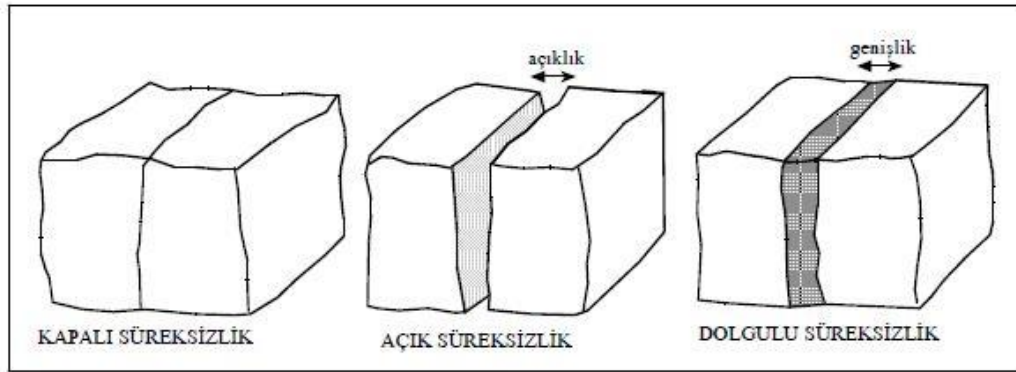
2.4.5.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Bir süreksizlikte birbirine bakan iki karşılıklı yüzeyin birbirlerine olan dik uzaklığı açıklık olarak adlandırılmış olup, bu açıklık su ya da bir dolgu malzemesi ile doldurulmuş olabileceği gibi bazen de boş olabilmektedir (ISRM, 2007) (Şekil 2.4.).

Yapılan bu incelemede milimetre (mm) duyarlı şerit metreden yararlanılmıştır. Ortalama süreksizlik açıklığı değeri, süreksizliklere özgü açıklığın ölçülmesi ile saptanmıştır. ISRM (2007)'nin önerdiği süreksizliklerin açıklığının tanımlama ölçütlerinden yararlanılarak süreksizliklerin açıklığı değerlendirilmiştir (Tablo 2.4.).

Tablo 2.4. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 2007)

Açıklık (mm)	Tanımlama	
<0.1	Çok sıkı	Kapalı yapılar
0.1-0.25	Sıkı	
0.25-0.5	Kısmen açık	
0.5-2.5	Açık	Boşluklu yapılar
2.5-10	Orta derecede geniş	
>10	Geniş	
10-100	Çok geniş	Açık yapılar
100-1000	Aşırı geniş	
>1000	Boşluklu	



Şekil 2.4. Süreksizliklerin iki yüzeyi arasındaki açıklığı tanımlayan blok diyagramları (ISRM,2007)

2.4.5.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Arazi çalışmaları esnasında yararlanılabilecek bozunma sınıflaması kriterleri, süreksizliklerin yüzeylerinin bozunma durumunun saptanabilmesi amacı ile ISRM (2007) tarafından önerilmiştir (Tablo 2.5. ve Tablo 2.6.). Bu bozunma sınıflamaları gözleme dayalıdır. Bu sebepten dolayı bazı durumlarda subjektif değerlendirmelere sebep

olmaktadır. Aynı olan süreksizlik yüzeyleri hakkında değişik yorumlar bu subjektif değerlendirmeler sonucunda yapılmaktadır.

Tablo 2.5. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma derecesi
Bozunmamış (taze)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	W1
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kaya taze halinden zayıf olabilir.	W2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orjinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W3
Tamamen Bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orjinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.	W5

Tablo 2.6. Süreksizlik yüzelerinin tek eksenli basınç dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflama (ISRM, 2007)

Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
Aşırı derecede zayıf kaya	Kayacın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0.25-1.0
Çok zayıf kaya	Jeolog çekiciyle sert bir darbeyle ufalanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1.0-5.0
Zayıf kaya	Kaya çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekiciyle yapılacak sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.	5.0-25
Orta derecede sağlam kaya	Kaya çakı ile doğranamaz. Kaya, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbe ile kırılır.	25-50
Sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50-100
Çok sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle çok sayıda darbe gerekmektedir.	100-250
Aşırı derecede sağlam kaya	Kaya örneği jeolog çekiciyle sadece yontulabilir.	>250

2.4.5.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Yapılan bu incelemede kazı aynalarında yapılan gözlemlerin temel alındığı su sızıntısı ile alakalı ISRM (2007)'nin önerdiği tanımlamalar kullanılmıştır (Tablo 2.7. ve Tablo 2.8.).

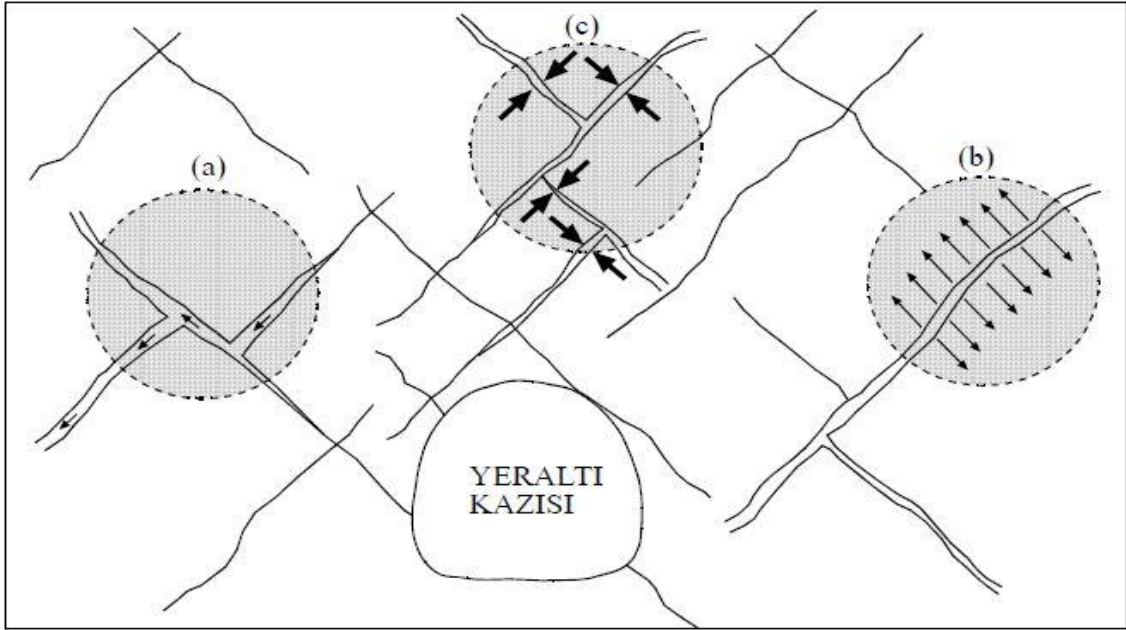
Tablo 2.7. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM,2007)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Tablo 2.8. Dolgulu ve dolgunsuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
	Dolgunsuz süreksizlikler
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, su akışı gözlenmiyor
2	Süreksizlik yüzeyi kuru ve suyun aktığına ilişkin bir gösterge yok
3	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun akmış olduğuna ilişkin izler var
4	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
5	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor
6	Süreksizlik yüzeyi boyunca sürekli bir su akışı var (lt/dak olarak ölçülebilir veya düşük, orta veya yüksek basınç şeklinde tanımlanabilir)
	Dolgulu süreksizlikler
1	Dolgu maddesi aşırı konsolide olmuş malzemeden oluşuyor ve geçirgenliği az olması nedeniyle önemli derecede su akışı gözlenmiyor
2	Dolgu ıslak ve yer yer su damlacıkları gözleniyor
3	Dolgu malzemesi su damlacıkları ile ıslanmış
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış ve ıslanmış olduğuna ilişkin izler ve su akışı gözleniyor
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış ve taşınmış, yıkama kanalları boyunca önemli miktarda su akışı var
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış ve su basıncı yüksek

Süreksizliklerin ve kaya kütlelerinin hem mekanik özellikleri hem de hidrojeolojik özellikleri, süreksizlik boyunca kesintisiz var olan su akışı durumunda değişiklik gösterebilmektedir (Şekil 2.5a). Normal gerilme, süreksizlik yüzeylerinin arasında olan su basıncı tarafından azaltılmaktadır. Dolayısıyla bu azalma ile birlikte yüksek normal gerilmeye maruz kalan süreksizliklerin geçirgenliği ya da makaslama direnci azalmaktadır (Şekil2.5b; Şekil 2.5c).



Şekil 2.5. Kaya kütlelerinde süreksizlikler boyunca su akışı ve olası etkileri (Hudson, 1989)

2.4.5.8. Hacimsel Eklem Sayısı

Süreksizliklerin sıklığını hacimsel olarak ifade edilmiş biçimi olan süreksizlik devamlılığı, süreksizlik yönelimi, süreksizliklerin ara uzaklığı ve süreksizliklerin takım sayısı gibi değişkenlere bağlıdır (Palmström, 1996; Cai vd., 2004).

Hacimsel eklem sayısı (J_v), Palmström (1982, 1985 ve 1996) yıllarında tarafından tanımlanmış olup birim hacimdeki yani 1 metre küp'deki çatlak sayısını vermektedir (Kaya, 2012). Hacimsel eklem sayısı aşağıda verilmiş olan 9 numaralı formül ile saptanmaktadır.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \frac{N_3}{L_3} \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (9)$$

Burada; N_n : gözlenen her bir eklem takımı için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı, L_n : gözlenen her bir eklem takımına dik yönde seçilmiş ölçüm hattının uzunluğudur.

Yukarıda verilen formüller ISRM (2007)'nin önerdiği tanımlama ölçütlerini içermektedir (Tablo 2.9.).

Tablo 2.9. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM, 2007)

Tanım	J_v (eklem/m ³)
Çok geniş bloklar	<1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

2.4.5.9 Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Sondajda alınmış olan karot boylarından faydalanılarak temel kayaç kalitelerinin ifade edilmesi amacı ile Deere (1964) tarafından ortaya atılmış olan kaya kalite değeri (RQD) aşağıdaki eşitlik 10'da tanımlanmıştır ve bununla beraber, kaya kalitesinin tanımlamaları kaya kalitesi (RQD) değerinin değişim aralıkları temel alınarak yapılmıştır (Tablo 2.10.).

$$RQD = (\sum_{i=1}^n li) / L \quad (10)$$

Burada; n: ilerleme aralığındaki karot parçalarının sayısı, l: RQD' ye dâhil edilen ve boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları, L: ilerleme uzunluğudur.

Tablo 2.10. RQD sınıflaması (Deere, 1964)

RQD	Kaya kalite göstergesi
Çok zayıf	<25
Zayıf	25-50
Orta	50-75
İyi	75-90
Çok iyi	90-100

Karotlu sondajlardan elde edilen RQD değeri aynı zamanda kaya yüzleklerinden, tünel duvarlarından, yarmalardan, galerilerden ve shaftlardan faydalanılarak da bulunabilmektedir. Palmström (2005)'in 11 numaralı eşitliğinde belirtildiği gibi J_v sayısından da yararlanılarak RQD değeri bulunabilmektedir.

$$RQD = 110 - 2.5 J_v \quad (11)$$

Burada; J_v : 1 m³'lük kaya bloğundaki çatlak sayısıdır.

$$RQD = 100 e^{(-0.1\lambda)}(0.1\lambda + 1) \quad (12)$$

Burada; λ : 1m uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

2.4.6. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

2.4.6.1. Q Sınıflama Sistemi (Rock Mass Quality)

Barton vd. (1974)'ün geliştirmiş olduğu Q ya da Norwegian Geotechnical Institute (NGI) sistemi yıllarca kullanıldıktan sonra, sistemin destek seçimleri kısmı Grimstad ve Barton (1993) tarafından, Kazı Destek Oranı (ESR) ve Gerilme Azaltma Faktörü (SRF) değerleri ise Barton ve Grimstad (1994) tarafından düzenlenmiştir. Q değeri Barton vd. (1974) tarafından önerilen aşağıdaki 13 numaralı eşitlikle belirlenmektedir.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (13)$$

Burada; RQD: kaya kalite değeri (%), J_n: eklem takımı sayısı, J_r: eklem pürüzlülük değeri, J_a: eklem yüzeyi bozunma değeri, J_w: eklem suyu azaltma faktörü, SRF: gerilme azaltma faktörüdür.

Formülde verilen; RQD/J_n= Kaya kütlelerine ait yapıyı temsil eder ve blok boyutu ölçüsünü, J_r/J_a= Bloklar arasında bulunan kayma direncini, J_w/SRF= Aktif gerilmeyi vermektedir.

Sınıflama sistemindeki Q değerinin hesaplanabilmesi amacı ile kullanılan 6 parametre aşağıdaki tablolarda; Tablo 2.11., Tablo 2.12., Tablo 2.13., Tablo 2.14., Tablo 2.15. ve Tablo 2.16.'da gösterilmektedir.

Tablo 2.11. Kaya kalite göstergesi – RQD (Deere, 1964)

	RQD	Kaya kalite göstergesi tanımı
1	0-25	Çok zayıf
2	25-50	Zayıf
3	50-75	Orta
4	75-90	İyi
5	90-100	Çok iyi (Mükemmel)

Tablo 2.12. Eklem takımı sayısı – Jn (Barton vd., 1974)

	Eklem takımı sayısı	Jn
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
I	Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20

Not: *Arakesitler (kesişen tüneller) için (3.0xJn) kullanılır.
*Portallar (girişler) için (2.0xJn) kullanılır.

Tablo 2.13. Eklem pürüzlülük sayısı – Jr (Barton vd., 1974)

	Eklem pürüzlülük sayısı	Jr
Süreksizlik yüzeyi temasta veya 10 cm'den az makaslama hareketiyle temasta		
Not: Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikler göstermektedir		
A	Süreksiz eklemler	4
B	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C	Düz, dalgalı	2
D	Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F	Düz, düzlemsel	1
G	Sürtünme izli düzlemsel	0.5
Makaslama hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanmadığında		
H	Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1
I	Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1

Not: *İlgili eklem takımının ortalama aralığı 2m'den daha büyük ise, Jr'ye 1.0 ilave edilebilir.

*En az dirence göre yönlendirilmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli eklemler için Jr= 0.5 alınabilir.

Tablo 2.14. Eklem yüzeyi Bozunma sayısı – Ja (Barton vd., 1974)

	Eklem bozunma sayısı	Ja	Φ
a) Süreksizlik yüzeyleri temasta (Mineral dolgu yada kil kaplaması yok)			
A	Sıkıca bağlanmış sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	-
B	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1	25-35
C	Az bozunmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kum içermeyen kaya parçaları vd.	2	25-30
D	Siltli veya kumlu-kil sıvamaları, küçük kil fraksiyonu (yumuşak değil)	3	20-25
E	Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral sıvamaları, örneğin kaolinit veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer	4	8-16
b) 10 cm'den az bir kayma hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde (İnce mineral dolgu)			
F	Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.	4	25-30
G	Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6	16-24
H	Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8	12-16
I	Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az) Ja değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve suyun etkisine bağlıdır	8-12	6-12
c) Süreksizlik yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (İnce mineral dolgu)			
J	Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (kzilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	6-8 veya 8-12	6-24
K	Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	5	-
L	Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Tablo 2.15. Eklem suyu azaltma faktörü – Jw (Barton vd.,1974)

	Eklem suyu azaltma faktörü	Jw	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm ²)
A	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1	<1
B	Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer eklemlerdeki dolguların yıkanması	0.66	1-2.5
C	Dolgunsuz, eklemlerli, dayanımlı kayada büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç	0.5	2.5-10
D	Büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç, eklem dolgularının aşırı derecede yıkanması	0.33	2.5-10
E	Patlatmada son derece aşırı su gelişi veya su basıncı, zamanla azalan	0.2-0.1	10
F	Zamanla azalmaksızın devam eden son derecede aşırı su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10

Not: *C, E, D ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa Jw artırılır.

*Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.

Tablo 2.16. Gerilme azaltma faktörü- SRF (Barton ve Grimstad, 1994)

Gerilme azaltma faktörü		SFR		
a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler				
A	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	10		
B	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği < 50 m)	5		
C	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m)	2.5		
D	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5		
E	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği < 50m)	5		
F	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	2.5		
G	Gevşek ve açık eklemler, fazla eklemlerli "küp şekeri" görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5		
Not: *Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25-50 dolaylarında azaltılmaktadır				
b) Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları		σ_{ci}/σ_1	$\sigma\theta/\sigma_{ci}$	SFR
H	Düşük gerilme, yüzeye yakın	>200	<0.01	2.5
I	Orta derecede gerilme	200-10	0.01-0.3	1
J	Yüksek gerilme, çok sıkı yapı (genellikle duraylı, yan duvar duraylılığı açısından uygun olmayabilir)	10-5	0.3-0.4	0.5-2
K	Masif kayada 1 saatlik bir süreden sonra orta derecede dilimlenme	5-3	0.5-0.65	5-50
L	Masif kayada 1 birkaç dakikadan sonra dilimlenme ve kaya patlaması	3-2	0.65-1	50-200
M	Masif kayada aşırı kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	<2	>1	200-400
Not: *Oldukça anizotrop bakir bir gerilme alanı için (ölçülebilirse):$5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ olduğunda, σ_c 0.75σ_c'ye, $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ ise ve 0.5σ_c'ye düşürülür. Burada: σ_c tek eksenli basınç dayanımı, $\sigma\theta$ en büyük teğetsel gerilme (elastik kuramdan tahmin edilen) ve σ_1 ile σ_3 de en büyük ve en küçük asal gerilmelerdir.				
*Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF'nin 2,5'den 5'e çıkarılması önerilir.				
*Sıkışan kaya vakaları $H > Q^{1/3}$ derinlik koşulunda meydana gelebilir (Singh vd., 1993). Kaya kütlelerinin basınç dayanımı $q = 0.7\gamma Q^{1/3}$ (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada: γ kayanın birim hacim ağırlığıdır(kN/m³)				
c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma				
N	Az sıkıştıran kaya basıncı		1-5	5-10
O	Aşırı sıkıştıran kaya basıncı		>5	10-20
d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi				
P	Düşük kaya basıncı			5-10
R	Çok yüksek kaya basıncı			10-15

Yukarıda verilmiş olan ölçütlere uygun olarak elde edilen bütün bu değişkenlerin sonucunda belirlenen kayaçların Q değeri gereğince sınıflandırılması Tablo 2.17.'de bulunmaktadır.

Tablo 2.17. Kaya kütlesi niteliğine göre kayaçların sınıflandırılması (Barton vd., 1974)

Q Değeri	Kaya sınıfı
0.001-0.01	Son derece zayıf
0.01-0.1	Çok fazla zayıf
0.1-1	Çok zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	Sağlam
40-100	Çok Sağlam
100-400	Çok fazla sağlam
400-1000	Son derece sağlam

Tünel kayalarındaki destek türünün bulunması için Eş değer boyut “D_e” değerinin saptanabilmesi gerekmektedir ve bu D_e (eş değer boyut) değeri, aşağıda verilen 14 numaralı eşitlik kullanılarak saptanmaktadır.

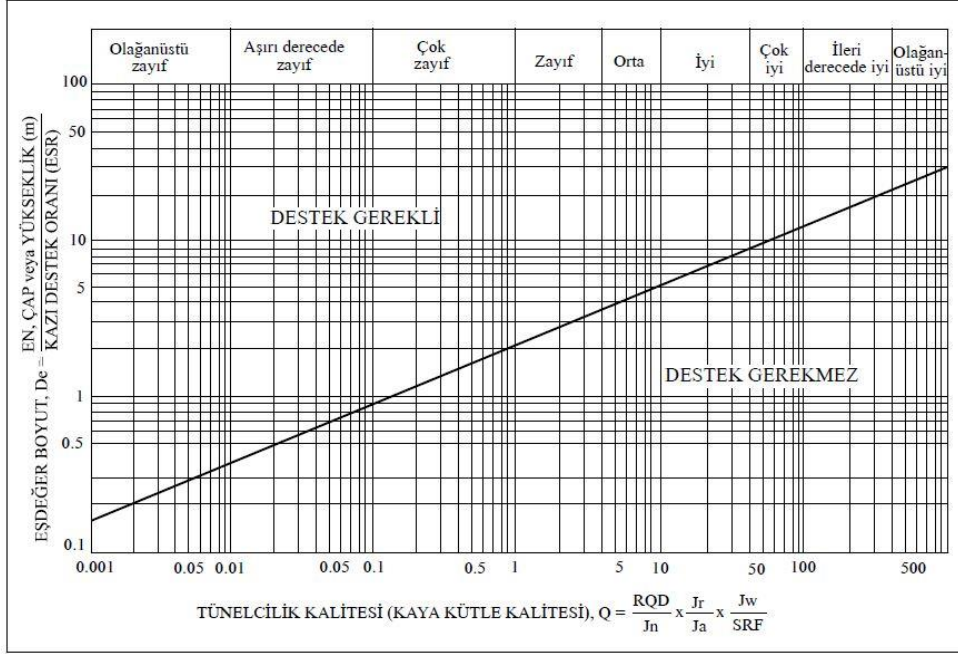
$$\text{Eş değer boyut (D}_e\text{)} = \frac{\text{En, çap veya yükseklik (m)}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (14)$$

Yüzey derinliği, kazı amacı ve kazı türü ile alakalı olan kazı destek oranının (ESR) değeri, Tablo 2.18.’den faydalanılarak bulunmaktadır.

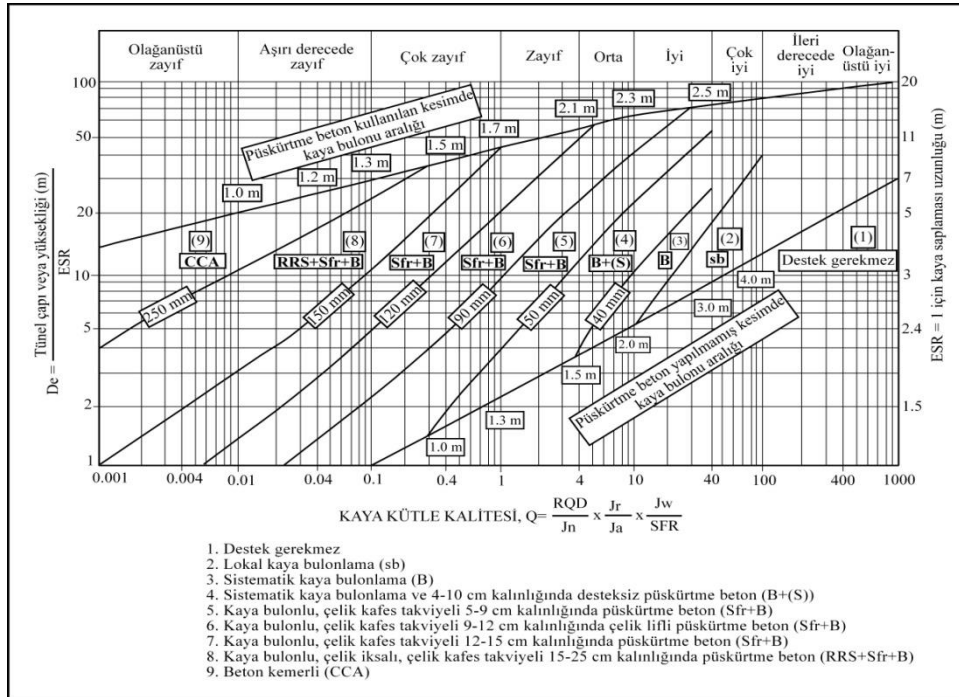
Tablo 2.18. Değişik yeraltı kazıları için orjinal (Barton vd. 1974) ve Güncelleştirilmiş (Barton ve Grimstad, 1994) kazı destek oranları (ESR)

Kazı tipi		Orjinal ESR	Güncelleştirilmiş ESR
A	Geçici maden kazıları	3-5	
B	Düşey bacalar	Dairesel kesitli	2-5
		Kare kesitli	
C	Kalıcı maden kazıları, hidroelektrik santralleri, su tünelleri (yüksek basınçlı cebri borular hariç), deneme ve yaklaşım tünelleri	1.6	1.6-2.0
D	Depolar, su tasfiye odaları, ufak yol ve demir yolları tünelleri	1.3	1.2-1.3
E	Santral binası, ana yol ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, kapılar ve kesişme yerleri, tünel portalları ve kesişim yerleri	1	0.9-1.1
F	Yer altı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar, spor ve sosyal tesisler	0.8	0.5-0.8

Q ve D_e değerlerinin ilişkisi Şekil 2.6.'da verilmektedir. Q ve D_e değerlerinden yararlanılarak değerlendirilen kaya kütlelerinin sınıflaması ve sınıflamanın gerekli destek sistemi de Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Q sisteminde D_e ve Q parametreleri arasındaki ilişki (Barton vd., 1974)



Şekil 2.7. Q sistemi için modifiye edilmiş tünel destek sistemi abağı (Grimstad ve Barton, 1993)

Kaya bulonunun uzunlukları, destek sistemi tarafından belirlenen tablolarda bulunmamaktadır. Tünel tavanında bulunan bulonların uzunlukları çoğunlukla kazının enine; tünel yan duvarlarında kullanılan bulonların uzunluklarının kazının boyuna bağlı olarak kalması bulon uzunluklarının kazı boyutu ile ilişkili olduğu gösterilmektedir. Buna bağlı olarak, inşaat esnasında karşılaşılan durum gereğince değiştirilmek şartı ile aşağıdaki 15 ve 16 numaralı eşitlikler Barton vd. (1974) tarafından önerilmektedir.

Tavan bulonları;

$$L = 2 + (0.15B / ESR) \quad (15)$$

Duvar bulonları;

$$L = 2 + (0.15H / ESR) \quad (16)$$

Burada; ESR: kazı destek oranı, L: bulon uzunluğu (m), B: kazı eni (m), H: kazı yüksekliğidir (m).

Q değerinin ve Destek basıncının birbiriyle alakalı olduğunu belirten Barton vd. (1974), bu bağlantının pratik uygulamalarda vereceği sonuçların başarılı bir biçimde uygulanabileceğini önermişlerdir. Aşağıdaki 17 ve 18 numaralı formüller ile duvar destek basıncı ve tavan destek basıncı bulunabilmektedir.

$$P_{\text{tavan}} = \left(\frac{2}{J_r} \right) Q^{-1/3} \quad (17)$$

$$P_{\text{duvar}} = \left(\frac{2}{J_r} \right) Q_w^{-1/3} \quad (18)$$

Kaya, çatlak takım sayısı tarafından bloklu yapıya sahip olacağından dolayı bloklu kayalarda açılmış olan tünellerin destek basıncının masif kayada açılan tünellere oranla daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı 17 ve 18 numaralı deneye dayalı formüllere J_n parametresi eklenerek geliştirilmiştir. Geliştirilen bu formül aşağıda verildiği biçimde ifade edilmiştir. Çatlak takım sayısı üçten küçük olduğunda 19 ve 20 numaralı deneye dayalı formüllerden yararlanılmaktadır.

$$P_{\text{tavan}} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} J_r^{-1} Q^{-1/3} \quad (19)$$

$$P_{\text{duvar}} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} J_r^{-1} Q_w^{-1/3} \quad (20)$$

Burada; P_{tavan} : kalıcı tavan destek basıncı (kg/cm^2), P_{duvar} : kalıcı duvar destek basıncı (kg/cm^2), J_r : tünelin açıldığı kayacın içerdiği süreksizliklerin pürüzlülük sayısı, Q : tünel açılan kayanın kaya kütlesi niteliği, Q_w : duvar faktörü, J_n : tünelin açıldığı kayacın içerdiği çatlak takım sayısıdır.

Kalıcı duvar destek basıncının belirlenmesi amacı ile yararlanılan duvar faktörü (Q_w), Q değerine bağlıdır ve Tablo 2.19.'da verilmiş olan bilgilerle Q_w değeri saptanmaktadır.

Tablo 2.19. Q kaya kütlesi niteliğine göre duvar faktörü (Q_w) belirlenmesi (Grimstad ve Barton, 1993)

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

Oluşturulan büyük desteksiz açıklığın Q değerini bildiğimiz kaya kütlelerinde saptanması amacı ile Barton vd. (1974) tarafından aşağıdaki eşitlik önerilmiştir. Aynı bölümdeki duvarlara özgü Q_w değerleri, tavan Q değerlerinden büyük olduğu için B_{max} değeri, duvarlara göre nispeten daha duraysız bulunan tavanların Q değerleri gereğince hesaplanmaktadır (Kaya, 2008).

$$B_{\text{max}} = 2(\text{ESR})Q^{0.4} \quad (21)$$

Burada; B_{max} : en büyük desteksiz açıklık (m), Q : tünel açılan kayanın tavan kaya kütlesi niteliği, ESR: kazı destek oranıdır.

Kaya kütlelerine ait deformasyon modülü Grimstad ve Barton (1993) ve Barton (2002) tarafından önerilen aşağıdaki 22 ve 23 numaralı eşitliklerde belirtilmiştir.

$$E_M = 25 \log Q \quad (Q > 1 \text{ için}) \quad (\text{Grimstad ve Barton, 1993}) \quad (22)$$

$$E_M = 10(Q \cdot \sigma_{ci}/100)^{1/3} \quad (\text{Barton, 2002}) \quad (23)$$

Burada; σ_{ci} : kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (MPa), E_M : kaya kütlelerinin deformasyon modülüdür (GPa).

Bieniawski (1976) ve Barton (1995) tarafından önerilen Q kaya kütlesi sınıflandırma sistemi ve RMR kaya kütlesi sınıflandırma sisteminin ilişkisi 24 ve 25 numaralı eşitliklerle belirtilmektedir.

$$\text{RMR} = 9\ln Q + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1976}) \quad (24)$$

$$\text{RMR} = 15\log Q + 50 \quad (\text{Barton, 1995}) \quad (25)$$

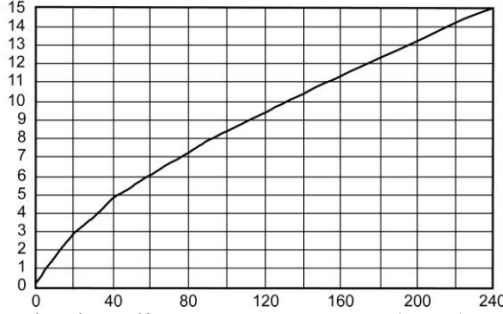
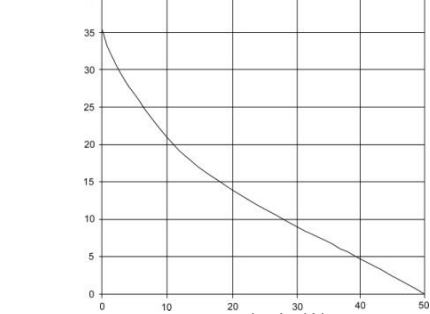
2.4.6.2 RMR₁₄ (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

RMR sistemi en son 2014 yılında revize edilmiş (Celada vd., 2014) ve son halini almıştır. RMR₁₄'e göre kaya kütleleri sınıflandırılırken aşağıdaki değişkenler kullanılmaktadır;

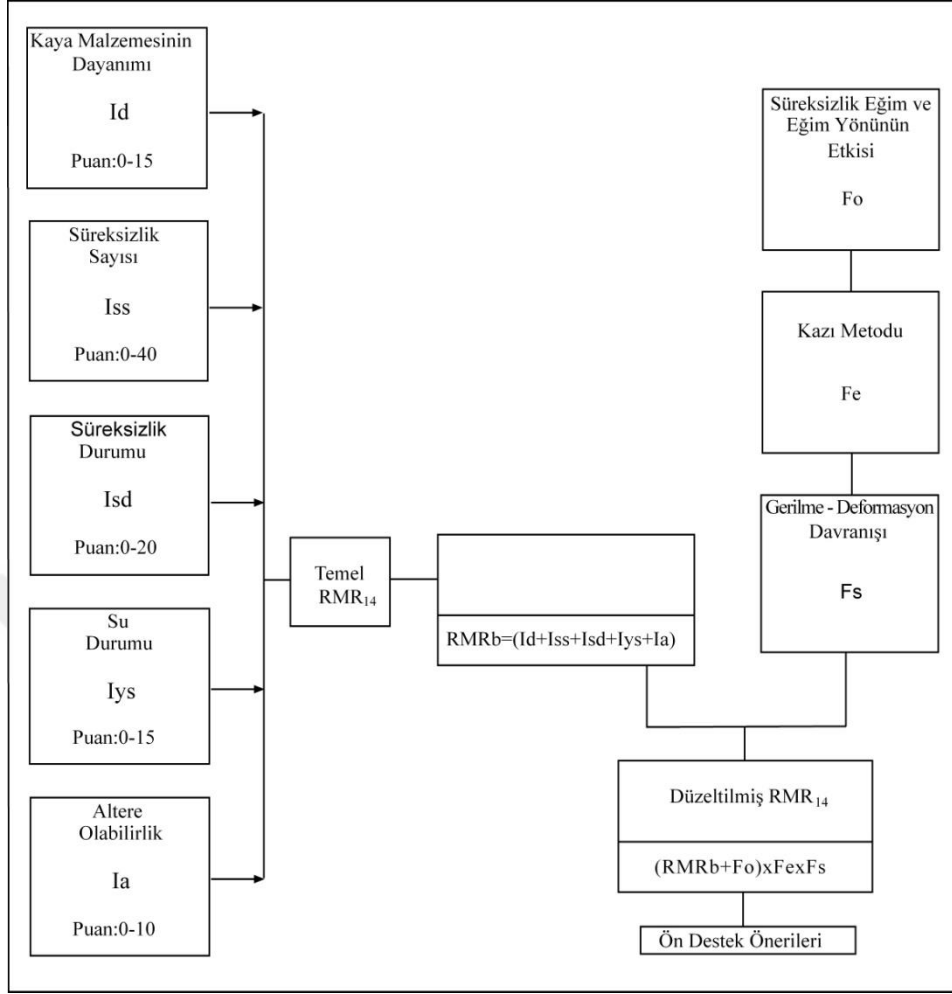
- Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı
- 1 metredeki süreksizlik sayısı
- Süreksizlerin devamlılığı, pürüzlülüğü, dolgusu ve bozunması
- Yeraltı su durumu
- Altere olabilirlik

Kaya kütlesi sınıflandırılmasında bulunan değişkenlerin kendine ait bir puanlama sistemi vardır, değişkenlerden elde edilen bu puanlama değerleri ile daha önceden yapılmış hat etüdü ve laboratuvar çalışmaları sonucunda varılan sonuçlara göre verilen puanları toplayarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır. Tablo 2.20.'de kaya kütlesi sınıflama sisteminin 2014 yılındaki versiyon verilmiştir. Bu tablonun akış şemasından yararlanılarak düzeltilmiş RMR puanı elde edilmiştir.

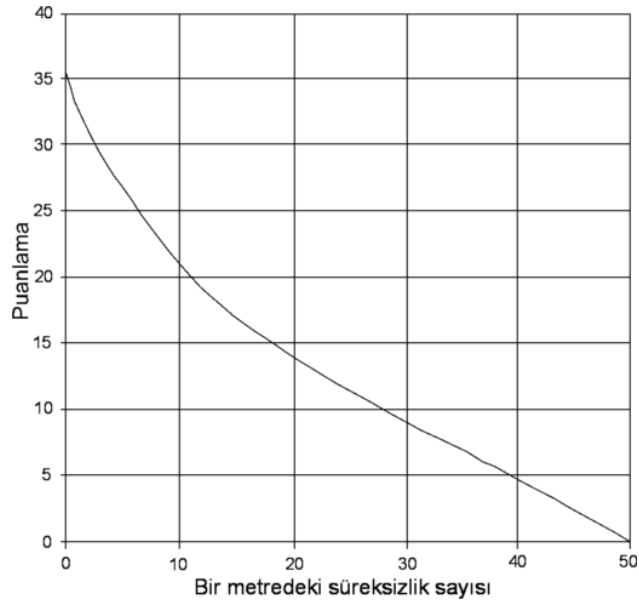
Tablo 2.20. RMR kaya kütlesi sınıflama parametrelerinin puanlama tablosu (Celada vd., 2014)

1. Kaya Malzemesinin Dayanımı		2. Süreksizlik Sayısı			
 <p>Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Mpa)</p>		 <p>Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı</p>			
3. Süreksizlik Durumu					
Devamlılık	<1 m	1-3 m	3-10 m	>10 m	
	5	4	2	0	
Pürüzlülük	Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Düz	Kaygan	
	5	3	1	0	
Dolgu	Sert <5 mm	Sert >5 mm	Yumuşak <5mm	Yumuşak >5 mm	
	5	2	2	0	
Bozunma	Bozunmamış	Orta derece bozunmu	Çok Bozunmuş	Ayrıışmış	
	5	3	1	0	
4. Su Durumu					
Zemin Durumu	Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı
Değerlendirme	15	10	7	4	0
5. Altere Olabilirlik					
Altere Olabilirlik (%)	>85	60-85	30-60	<30	
	10	8	4	0	

RMR'nin daha önceki versiyonlarından süreksizlik aralığı ve RQD parametreleri için Bieniawski (1989) ve ISRM (1981) tarafından çeşitli grafikler hazırlanmıştır. Ancak RQD'nin belirlenmesi çoğu zaman kolay olmamıştır. RMR₈₉'daki RQD zorluklarından dolayı RMR₁₄'te 'bir metredeki süreksizlik sayısı' eklenmiştir (Şekil 2.9.). Bu parametre RMR₈₉'un süreksizlik açıklığı parametresini kapsamaktadır. RMR₁₄'e yeni eklenen bir parametre ise kayaçların altere olabilirlik yüzdesidir ve bu parametre ASTM D4644-87 standartlarına göre yapılan slake durability (I_{d2}) deneyi ile sonuca varılmıştır (Celada vd., 2014). RMR₁₄'ün akış şeması Şekil 2.8.'da verilmiştir.



Şekil 2.8. RMR_{14} puanının hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması



Şekil 2.9. Bir metredeki süreksizlik sayısına göre puanlama abağı

RMR₁₄'ün kaya kütlesi sınıflamasından yararlanılarak ortaya çıkan temel RMR puanı elde edilmiştir, bu temel RMR puanının hesaplanmasından sonra ilk olarak tünel güzergâhındaki süreksizliklerin eğim ve eğim yönü etkisine (F₀) göre düzeltmeler yapılmaktadır (Tablo 2.21.).

Tablo 2.21. Tünelde süreksizlik eğim ve eğim yönü etkisi (F₀) (Celada vd., 2014)

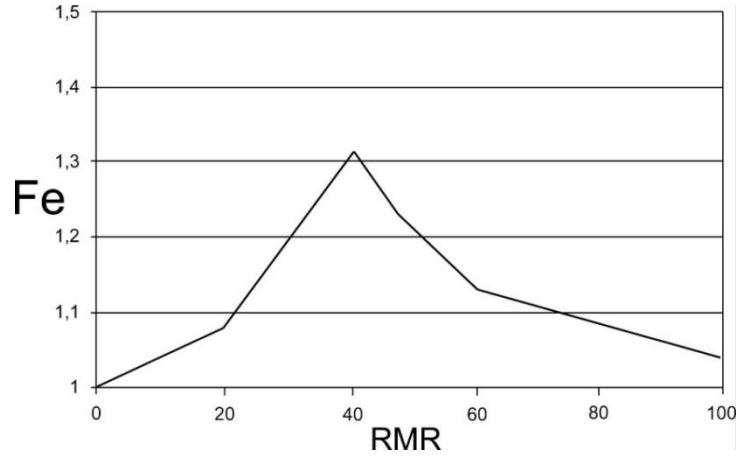
Doğrultu Tünel Eksenine Dik				Doğrultu Tünel Eksenine Paralel		Doğrultuya Bakmazsınız
Eğim Yönünde İlerleme		Eğime Karşı Yönde İlerleme		Eğim	Eğim	
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 0°-20°
Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil	Orta	Orta
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Gerilme-deformasyon davranışı (F_s) ve kazı metodu (F_e) düzeltmeleri süreksizliklerin yönelimleri (F₀) düzeltmesinin bir sonraki aşamasıdır. Gerilme-deformasyonu davranışı ve kazı metodu düzeltmelerinin yapılması sırasında çeşitli eşitliklerden yararlanılmaktadır. Kazı metodu (F_e) düzeltmelerini hesaplamak için aşağıdaki (26) ve (27) numaralı eşitlikler kullanılmaktadır. Aşağıdaki RMR₁₄ değeri temel RMR₁₄ puanıdır.

$$\text{RMR} < 40 \text{ için: } F_e = 1 + 2 \left(\frac{\text{RMR}}{100} \right)^2 \quad (26)$$

$$\text{RMR} > 40 \text{ için: } F_e = 1,32 - \frac{\sqrt{(\text{RMR}-40)}}{25} \quad (27)$$

RMR₁₄'ün başka bir fonksiyonu olan kazı metodunun (F_e) saptanması için Şekil 2.10.'da verilen grafikten de yararlanılabilir.



Şekil 2.10.. Fe - RMR ilişkisini gösteren grafik

Temel RMR_{14} 'nin bir sonraki düzeltmesi olan gerilme-deformasyonu davranışı (F_s) hesaplanırken, elastik davranış indeksi olan (ICE)'nin daha önceden hesaplanması gerekmektedir. ICE değeri hesaplanırken kullanılan eşitlikler (28) ve (29) aşağıdaki gibidir:

$$K_0 \leq 1 \text{ için: } ICE = \frac{3704 \sigma_{ci} e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3-K_0) H} F \quad (28)$$

$$K_0 > 1 \text{ için: } ICE = \frac{3704 \sigma_{ci} e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3K_0-1)H} F \quad (29)$$

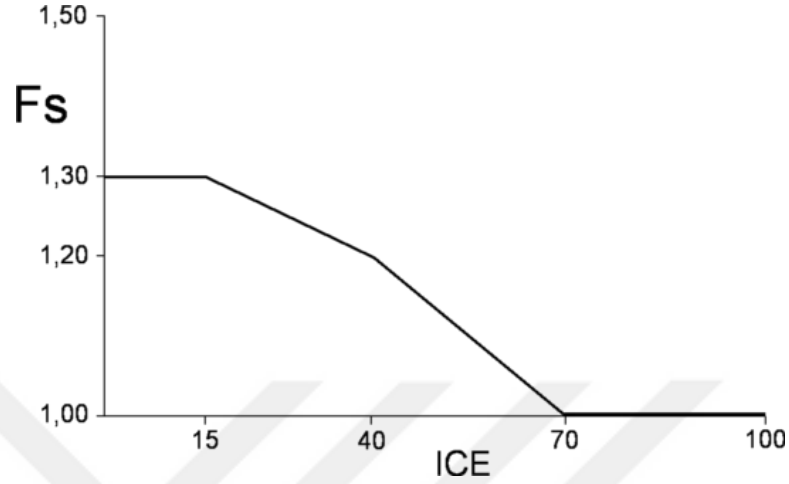
Burada; σ_{ci} : Sağlam kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa), K_0 : Yatay ilksel gerilmenin düşey ilksel gerilmeye oranı, H: Örtü kalınlığı (m), F: Tünel şekli katsayısı (Tablo 2.22.)

Yatay ilksel gerilmenin düşey gerilmeye oranı olan (K_0) değerine uygun olarak elastik davranış indeksi formülü belirlenir ve tünel şekli katsayısı (F) değerleri Tablo 2.22.'den alınır.

Tablo 2.22. ICE hesaplanmasında kullanılan tünel şekli (F) değerleri

Yer altı Kazıları	F
Dairesel Tünel, Çap:6 m	1.3
Dairesel Tünel, Çap:10 m	1
Alışlagelmiş Tünel, 14 m genişliğinde	0.75
25 m genişlik x 60 m yükseklikte açıklıklar	0.55

Sonuca varılan elastik davranış indeksi (ICE) ile Şekil 2.11.'de verilen grafikten yararlanılarak düzeltme faktörlerinden biri olan gerilme-deformasyon davranışı (F_s) belirlenmektedir.



Şekil 2.11. ICE'ye bağlı olan F_s değerleri

Düzeltilme Faktörlerinden biri olan gerilme-deformasyon davranışı (F_s), $15 < ICE < 70$ olduğu durumlarda aşağıda (30) numarada verilen eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$ICE < 15$$

$$F_s = 1,3$$

$$15 < ICE < 70$$

$$F_s = \frac{2,3\sqrt{(100-ICE)}}{7,1+\sqrt{(100-ICE)}} \quad (30)$$

$$ICE > 70$$

$$F_s = 1$$

Tüm düzeltme faktörleri ile temel RMR_{14} puanı toplanarak aşağıdaki (31) numaralı eşitlik yardımıyla RMR_{14} puanı hesaplanmaktadır.

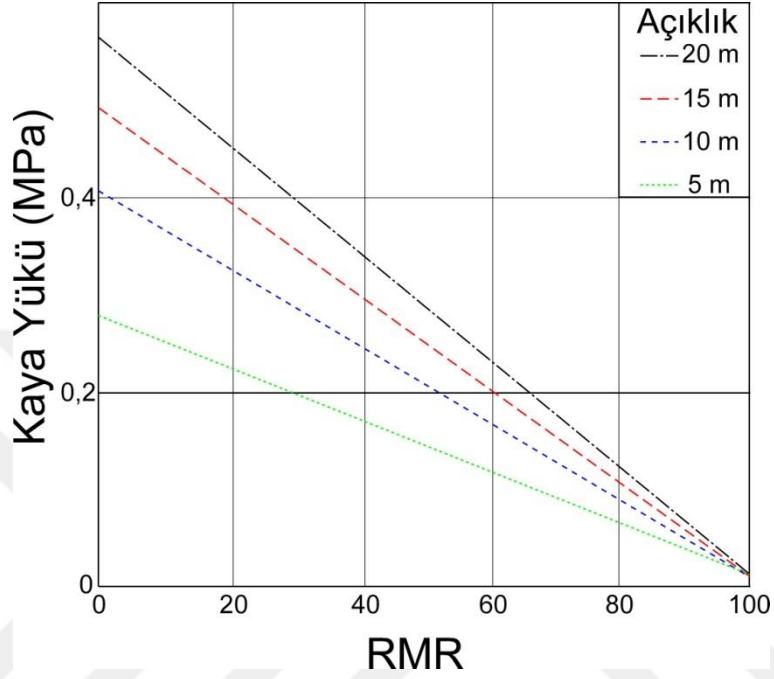
$$RMR_{14} = (RMR_b + F_0) \times F_e \times F_s \quad (31)$$

Burada; RMR_b : Temel RMR_{14} puanı, F_0 : Süreksizlik eğim ve eğim yönü etkisi, F_e : Kazı metodu düzeltmesi, F_s : Gerilme-deformasyon davranışı düzeltmesi değerleridir.

RMR_{14} puanı hesaplandıktan sonra sıra destek sistemi tasarımına gelmektedir ve bunun için birçok abak ve grafik vardır. İlk olarak kaya yükünün bulunması gerekmektedir. Kaya yükünün bulunması için RMR puanı ve kazı açıklığı değişkenleri kullanılmaktadır (Şekil 2.12.). Aşağıdaki grafik (32) numaralı eşitlikten türetilmiştir.

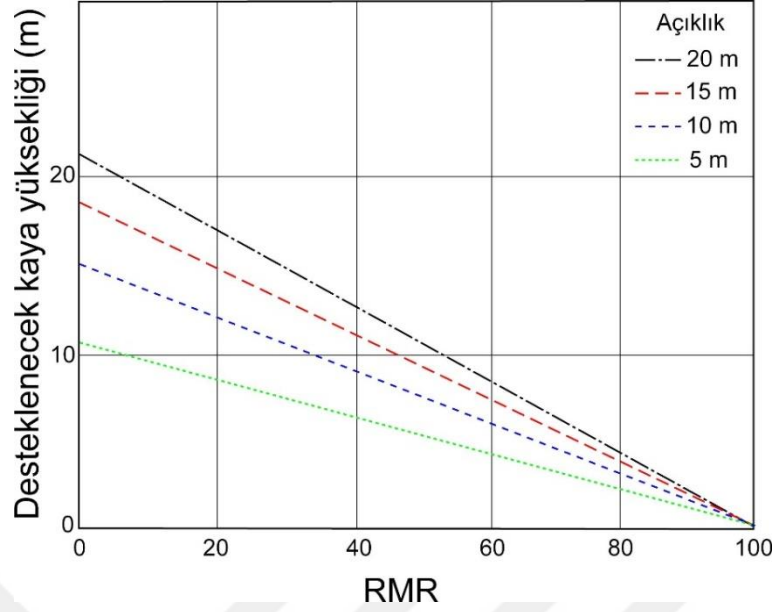
$$P_r = \frac{100-RMR}{100} \times 10m \left(\frac{\text{Açıklık}}{10m} \right)^{1/2} \times \rho_r \times \gamma_r \quad (32)$$

Burada; ρ_r : Kaya kütleinin birim hacim ağırlığı = 27 kN/m³, γ_r : Kısmi faktör = 1.5



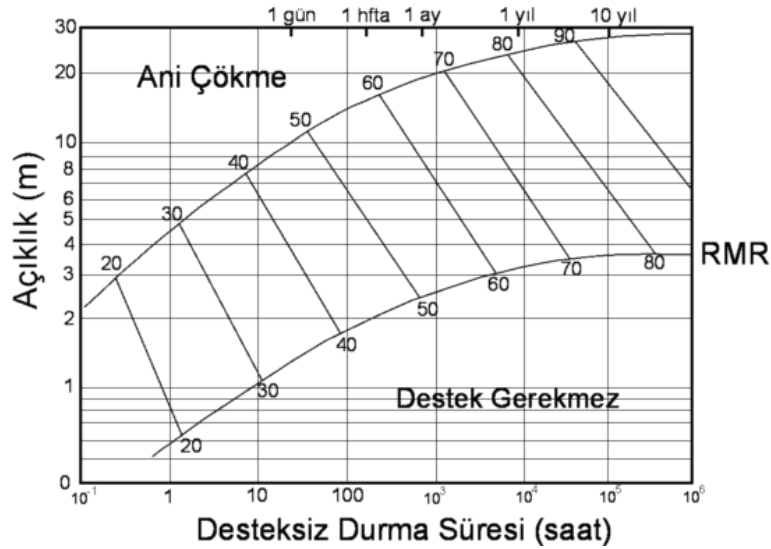
Şekil 2.12. Kazı açıklığı-RMR abağından kaya yükü belirlenmesi (Lowson, 2013)

Kazı açıklığıyla ilişkili olan desteklenecek kaya yüksekliğinin belirlenmesi RMR₁₄'ün bize getirdiği en son yeniliklerden birisidir. Buradaki en önemli nokta bu abaklardaki kaya yükünün yerçekiminin kontrolünde olduğu ve aşırı gerilmenin bulunmadığı alanlarda kullanılabilir olmasıdır.



Şekil 2.13. Kazı açıklığı- RMR abağından desteklenecek kaya zonunun kalınlığının belirlenmesi (Lowson, 2013)

Şekil 2.14.'deki grafikten yararlanılarak desteksiz durma süresi saptanabilmektedir. Ancak, RMR ile kazı açıklığıyla alakalı bazı durumlarda desteğe ihtiyaç duyulmayabilir. Desteksiz durma süresi aracılığı ile destek seçiminde kullanılacak olan bulon uzunluğu, bulon aralığı ve püskürtme beton değerleri belirlenebilmektedir.



Şekil 2.14. Desteksiz durma süresi (Bieniawski, 1989)

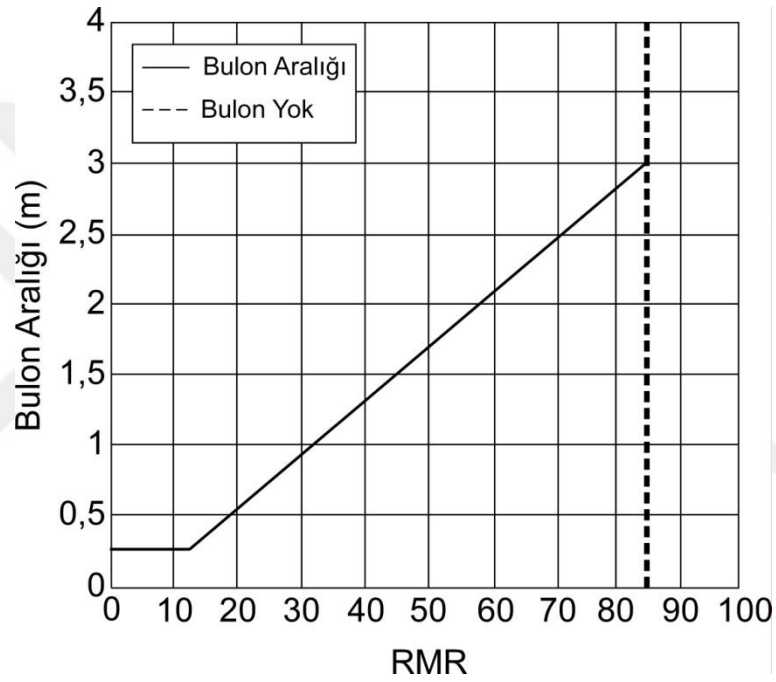
Desteğin gerekli olup olmadığı belirlendikten sonra ilk olarak Şekil 2.15.'den bulon aralıkları saptanmalıdır. Püskürtme betonun kemerlenmeyi tek başına muhafaza edemediği durumlarda, bulon aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Çatlak sıklığını ve bulonlar ile

kaya arasındaki uygun desteğin sağlanacağı püskürtme betonun miktarının iyi belirlenmesi, bulonlar arasındaki mesafe seçiminde dikkat edilecek en önemli husustur. Şekil 2.15.'deki bulon aralığı grafiği aşağıda verilen (33), (34) ve (35) numaralı eşitliklerden türetilmiştir.

$$S_b = 0.5m + 2.5m \frac{RMR_{14}-20}{65} \quad 20 < RMR_{14} \leq 85 \quad (33)$$

$$S_b = 0.25m + \{[(RMR_{14}-10)^{1.5}] / [140]\} \quad 10 < RMR_{14} \leq 20 \quad (34)$$

$$S_b = 0.25m \quad RMR_{14} \leq 10 \quad (35)$$

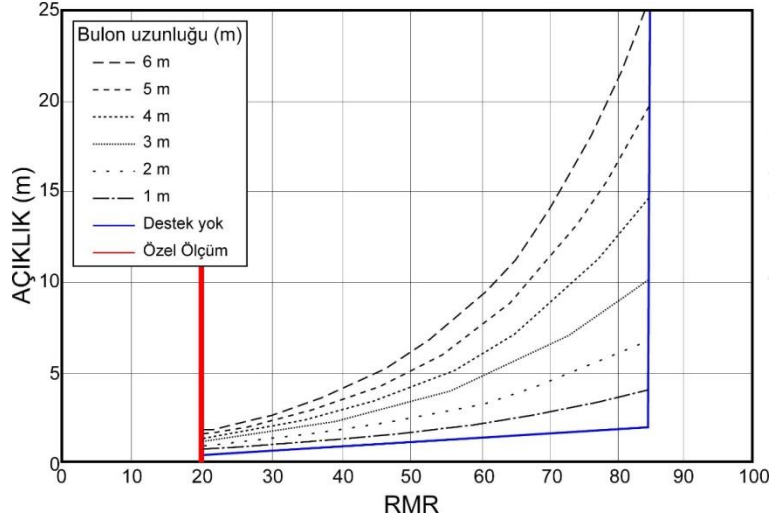


Şekil 2.15. Blonlar arası mesafenin belirlenmesi (Lowson, 2013)

Şekil 2.16.'daki blon uzunlukları grafiği (36) numaralı eşitlikten türetilmiştir.

$$\text{Açıklık} = \{[(L_b + 2.5)^{(RMR_{14} + 25)/52}] / [3.6]\} \quad (36)$$

Burada; Açıklık: Tünel genişliği , L_b : Blon Uzunluğu

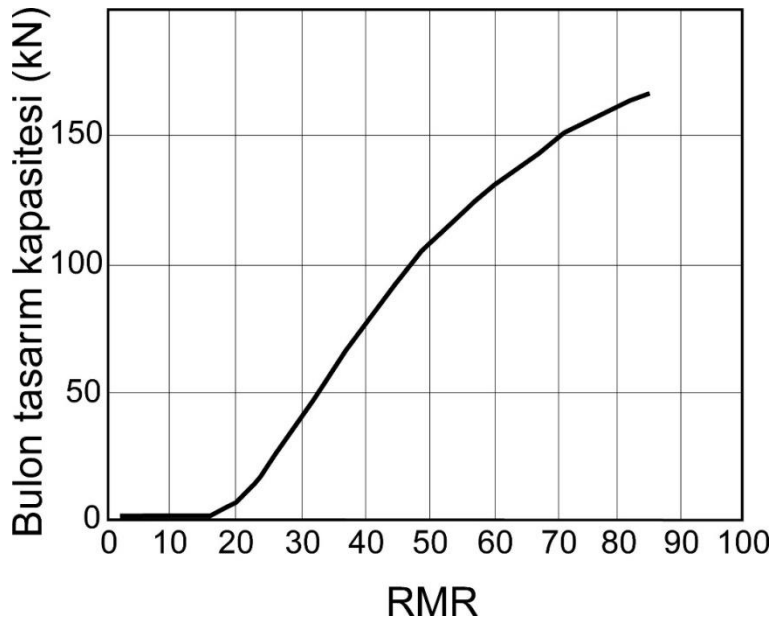


Şekil 2.16. Blon uzunluğu belirleme abağı (Lowson, 2013)

RMR₁₄ sisteminin getirmiş olduğu bir başka yenilik ise (37) numaralı eşitlikten yararlanılarak elde edilen bulonların taşıyacakları yük için hazırlanan grafiklerdir (Şekil 2.17.). Grafikte kullanılacak bulon türünün 25 tonluk kuvvete dayanabilecek kapasiteye ve 25 mm kalınlığa sahip olması buradaki en önemli noktadır.

$$F_{bd} = F_b / \gamma_b \left(\frac{RMR}{85} \right)^{40/RMR} \quad (37)$$

Burada: F_{bd} : Blon tasarım kapasitesi, F_b : Blon dayanımı = 25 ton = 250 kN, γ_b : Kısmi faktör = 1.5

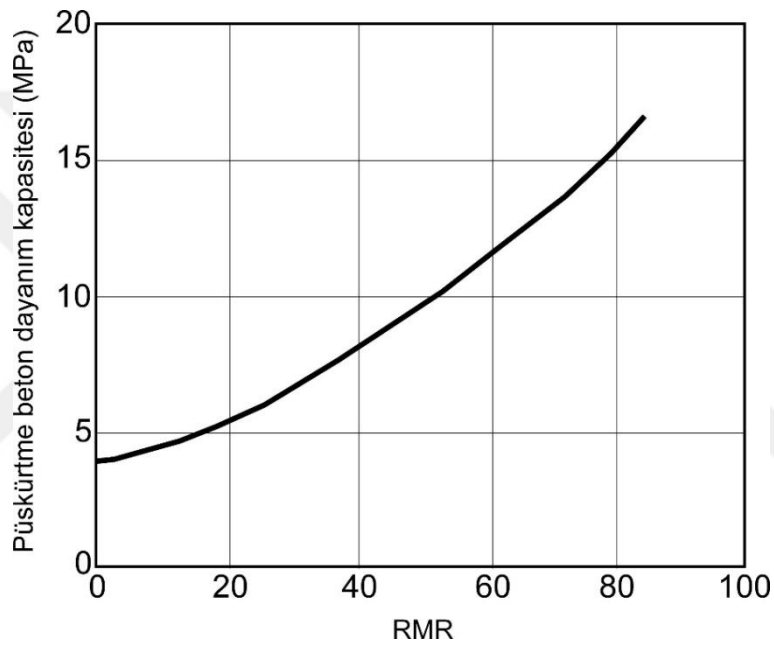


Şekil 2.17. Blon kapasitesi tasarım abağı (Lowson, 2013)

Püskürtme beton dayanım tasarımı, bulonların kullanılması ile alakalı bütün özelliklerin saptanmasından sonra yapılmaktadır. Püskürtme beton dayanım tasarımı abağı (38) numaralı eşitlikten faydalanılarak türetilmiştir (Şekil 2.18.). Bu abak püskürtme beton silindir numunelerinin dayanımının 30 MPa olduğunun varsayılması sonucunda çizilmiştir.

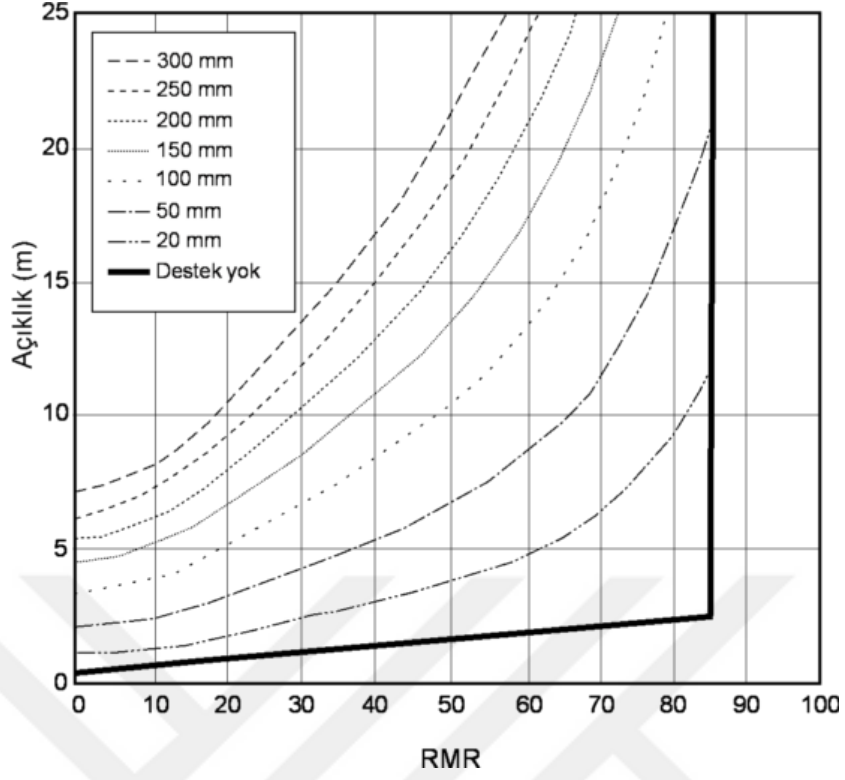
$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_s [0,2 + 0,8 \left(\frac{RMR}{100} \right)^{3/2}] \quad (38)$$

Burada; f_{cd} : Püskürtme beton tasarım kapasitesi, f_{ck} : Silindirik püskürtme beton numunesinin dayanımı = 30 MPa, γ_s : Kısmi faktör = 1.5

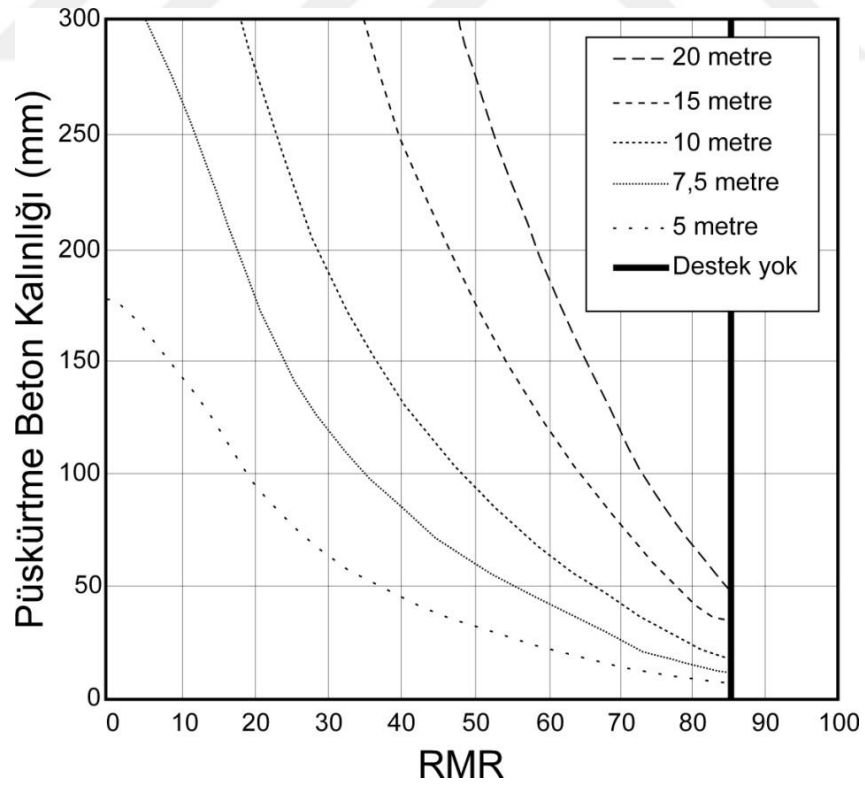


Şekil 2.18. Püskürtme beton dayanımı tasarım abağı (Lowson, 2013)

Yukarıda verilen püskürtme beton ile bulon dayanımı kapasiteleri ve açıklık-RMR ilişkisinden yararlanılarak püskürtme beton kalınlığının belirlenmesi için grafikler elde edilmiştir (Şekil Şekil 2.19. ve Şekil 2.20.).



Şekil 2.19. Püskürtme beton tasarım grafiği (iksasız) (Lowson, 2013)



Şekil 2.20. Açıklıklara göre püskürtme beton kalınlığı grafiği (Lowson, 2013)

2.4.6.3. NATM Sınıflama Sistemi (New Austrian Tunneling Method)

1950’li yıllardan sonra, tünel açım ve yeraltı kazılarının sayılarının giderek artmasından dolayı ucuz ve güvenli tünel açım metotlarının yaygınlaşmasına sebep olmuştur ve bu yıllarda Avusturya Yöntemi denilen metot, yeraltında yapılmış olan hidrolik santrallerdeki kazıların esnasında bölünmüş kazı metodu olarak uygulanmıştır. İlk başta tabana yakın galeriyle başlanan geniş kesitli kazılar daha sonraki aşamada üst ve yan galerilerle kazı kademeli olup üst yarıya kadar büyütülür. İlerleyen yıllarda geliştirilen bu yöntem “Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi” olarak adlandırılmıştır. NATM asıl olarak 1970’li yıllarda gelişmeye başlamıştır (Kökçüoğlu, 2006).

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, Rabcewicz vd.(1964) tarafından geçici ve ince şekilde destekleme uygulayarak, tünelin içerisine yönelen kaya basıncının azaltılması, deformasyon oluşumuna izin vermek, yüklerin kazı çevresindeki kayalara doğru dağıtılması ve böylece ince bir yapının oluşturulması ile birlikte son desteklemenin (kaplama) daha az yüklenmesi olarak tanımlanmıştır. Yapılan tanımlamaya göre kazı sırasında deformasyon ölçümünün yapılması ve projedeki hesaplar ile karşılaştırılması yapılacaktır (Kaya, 2008).

Tünel kazısı esnasında yapılması gereken deformasyon ölçümleri ve gözlemlere dayanmakta olan NATM için deneysel eşitlikler dikkate alınmaz çünkü NATM sınıflamasının temelinde kazı anındaki kayanın davranışları yer almaktadır. NATM’in her çeşit kaya ve zemine uygulanabilmesi ve ekonomik bir metot olması çok fazla değişiklik gösteren jeolojik bölgelerde esnek yapım metodu olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. NATM’in temel ilkesi tünel kazısının çevrelendiği zeminin yük taşıyıcı destek elemanı haline getirilmesi ile zamana bağlı direnç değişimlerinin etkilenmesi ve destekleme önlemlerinin en azını gerektirecek biçimde kontrollü olarak gerilme boşalımı temin etmektir. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi belirli kazı veya destek işlemine dayanmaz. Ancak, Vardar (1979)’a göre 22 ilkeye uyulmasında fayda vardır. Dikkat edilmesi gereken önemli esaslar; dağın fazla kurcalanmaması veya dağın ürkütülmemesi, şekil değiştirmelerin ve gerilmelerin ölçüm ile denetlenmesi, ana kayanın ilksel dayanıklılığının muhafaza edilmesi, koruyucu zonun boşluk yakınında oluşturulması, yükün dağa taşıtılmaması, kazı kesitlerinin mümkün olabildiği kadar yuvarlak seçilmesi ve sağlamaştırma işlemlerinin minimum sürede tamamlanmasıdır (Kaya, 2008).

Kazı esnasında karşımıza çıkan kayanın jeoteknik özellikleri, ilerleme uzunluğu, kazı en ve boy kesiti, kazı esnasında karşımıza çıkan yeraltı suyu, jeoteknik ölçüm sonucu ve örtü yükü kalınlığı Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)'a göre hazırlanan tünellerde, kaya sınıflamalarının saptanmasında dikkat edilmesi gereken değişkenlerdir.

Avusturya Standartlarından biri olan ÖNORM B2203 (1994) tarafından, NATM için sağlam kayadan şişen kabaran kayaya kadar değişmekte olan on kaya sınıfı tanımlanmıştır (Tablo 2.23.). Bu on kaya sınıfının ikisi A kaya sınıfına, diğer üç kaya sınıfı B kaya sınıfına ve diğer beş kaya sınıfı ise C kaya sınıfına girmektedir.



Tablo 2.23. NATM'a göre kaya sınıflandırılması (ÖNORM B2203,1994)

Kaya Sınıfı			Açıklamalar	Destekleme
A	A1	Sağlam	Sonradan Az Sökülen Kaya Kütleleri: Bu sınıfta yer alan kaya kütleleri genellikle duraylı olup, elastik davranış gösterirler. Yersel iksa uygulanması durumunda yerçekimi nedeniyle, yer yer sığ göçükler oluşabilir. Göçükler genellikle izole olmuş, önemsiz eklem yapıları nedeniyle oluşur. Elastik deformasyon hızla azalır	Desteğe gerek yok
	A2	Zamanla Kırılğan		Sadece bölgesel olarak tünel tavan ve yan duvarlarında yersel blokların stabil hale getirilmesi için bulonlama yapılabilir.
B	B1	Kırılğan	Gevrek Kaya Kütleleri: Bu sınıfta yer alan kaya kütlelerinin davranışları, yapısal kenetlenme ve/veya çekme dayanımı azlığından dolayı, hızlı ve gevşemeye ve ayrılmaya yatkındır. Hemen hemen tüm çevrede, boşluk çevresinde ikincil gerilmeler, kaya kütlelerinin dayanımını biraz aşmakta, bununla beraber bu zayıflık içerilere ulaşmaktadır. İksa yapımının gecikmesi halinde artan çökmeler oluşur	Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir.
	B2	Çok Kırılğan		Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda B süren kullanılacaktır.
	B3	Döküntülü		Tünel tavanı ve duvarlarında, aynada ve aynanın ilerletilmesinden önce monte edilecek sistematik destekleme ve süren kullanımı gerekmektedir. Çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir.
C	C1	Kaya Patlamalı	Baskılı Kaya Kütleleri: Bu sınıfta yer alan kaya kütlelerinin davranışları genellikle, kaya basıncının yeniden dağılım süreci ve/veya deplasman sınırlamaları sonucunda oluşan gerilmelerin kaya dayanımından daha büyük olduğunu gösterir. Kaya kütleleri aşırı gerilme altında kalmasından dolayı, kabuk atma, burulma, kesme ve boşluğa doğru plastik hareket gibi zayıflık mekanizmaları oluşur. Çatlamaya veya dökülmeye eğilimli kaya kütleleri ve şişme özelliği gösteren bileşenlere sahip kaya kütleleri bu gruba girer. Bu gruba giren kaya kütleleri, davranış ve kendini tutma süreleri, su sızıntılarından olumsuz yönde önemli ölçüde etkilenir.	Sık yerleştirilmiş kaya bulonları ve çelik hasır gereklidir. Jeolojik şartlara göre yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir.
	C2	Baskılı		Tünel kesit çevresinde sistematik destekleme yapılmalıdır. Tavanda süren uygulanmalıdır. Jeolojik şartlara göre yerinde dökme bir taban kemer betonu yapılması gerekebilir.
	C3	Çok Baskılı		Tünel kesit çevresinde sistematik destekleme yapılmalıdır. Tavanda süren boru uygulanmalıdır. Üst yarı kazısında geçici ring yapıları gerekebilir.
	C4	Akıcı		Süren boru ve çelik levha süren tatbiki, tavanda gereklidir. Kazı aynasında püskürtme beton, hasır çelik, kaya bulonu ve drenaj elemanları kazı sırasında veya sonrasında kullanılmalıdır.
	C5	Şişen Kabaran		Tavanda, süren boru ve çelik levha süren gereklidir. Bölümlere ayrılmış kesit kazısı püskürtme beton ile yapılmalıdır. Üst yarı aynasından geride taban kemeri gereklidir.

Tasarım aşamasında tünel güzergâhında arazi ile sondaj çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan elde edilen verilerden yararlanılarak RMR VE Q sistemleri sayısal sınıflandırmaları yapılmıştır. Bu sınıflandırmaların değerlendirmelerinin karşılaştırmaları yapılarak Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi sisteminin harfsel olan kaya sınıfına dönüştürülmüştür. NATM'daki sınıfsal değerler, RMR ve Q sistemlerindeki zorlukları en aza indirgeyerek sorunların kolayca çözülebilmesini sağlamaktadır. Harfsel sınıflama sistemi olan ve tasarım bölümünde belirlenen NATM sisteminin kazı kısmındaki deformasyon ölçümlerinin değiştirilebilirliği bu yöntemde dikkate alınması gereken önemli unsurlardan biridir. NATM, RMR ve Q kaya sınıflamaları değerlerinin eşleştirilmesi Şekil 2.21.'de gösterilmektedir.

Q KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Barton vd., 1974)	NATM KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Ö NORM B 2207, 1994)	RMR KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Bieniawski, 1989)
1000 SON DERECE SAĞLAM	A1 SAĞLAM	100 ÇOK İYİ
400 ÇOK FAZLA SAĞLAM		
100 70.4 ÇOK SAĞLAM	A2 ZAMANLA KIRILGAN	80 İYİ
40 SAĞLAM		
10 ORTA	B1 KIRILGAN	65
4 ZAYIF	B2 ÇOK KIRILGAN	60 ORTA
1.47 1 ÇOK ZAYIF	B3 DÖKÜNTÜLÜ	58
0.11 0.1		47
0.03 ÇOK FAZLA ZAYIF	C1 KAYA PATLAMALI	40 ZAYIF
0.016 0.01 0.008	C2 BASKILI	29
0.002 0.001 ÇOK DERECE ZAYIF	C3 ÇOK BASKILI	20
	C4 AKICI	15
	C5 ŞİŞEN-KABARAN	10 ÇOK ZAYIF
		5 2.5

Şekil 2.21. NATM, Q ve RMR₈₉ değerlerinin eşleştirilmesi (KGM,1997)

2.4.7. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi

Doğal malzemeden alınan belirli büyüklükteki örneğin laboratuvar ortamında test edilmesi sonucunda bu malzemenin dayanım parametresi bulunmaktadır. Fakat bazı durumlarda yeteri büyüklükte örnek alınması mümkün değildir. Bu özel durumlardan biri sık çatlaklı kaya kütlelerinden örnek alınması ile ilgilidir ve bunun sebebi laboratuvar ortamında test edecek donanımların ve hücre yetersizliğidir. Henüz böyle bir ekipman geliştirilmiş değildir. Deneysel kırılma ölçütünün kullanılması ile bu kaya kütlelerinin deformasyon ve direnç özellikleri saptanabilmektedir. Son dönemlerdeki kaynaklarda büyük ölçüde kabul gören Hoek-Brown deneysel yenilme kriteri bu deneysel metotlardan birisidir ve bu ölçüt RMR sınıflama sisteminin girdi değişkeni olarak Bieniawski (1989) tarafından önerilmiş ve kullanılmıştır. İlk başta RMR sisteminin kullanılması ile hesaplanan GSI, sonraları Hoek-Brown'un önermiş olduğu GSI sınıflama grafiğinden saptanmaya çalışılmıştır (Kaya, 2008).

GSI sınıflamasının son versiyonunda iki parametre kullanılmıştır, bunlardan ilki Palmström (2005)'ün yenilediği 14 numaralı formül kullanılmıştır diğeri ise $JCon_{89}$ verisidir (Şekil 2.22.). $JCon_{89}$ verisinin arazide elde edilemediği durumlarda Q indeksinden (Barton vd., 1974) GSI hesaplanmasında kullanılabilir. $JCon_{89}$ değeri aşağıdaki 39 numaralı formülden yararlanılarak hesaplanmıştır (Hoek vd., 2013).

$$JCon_{89} = 35 Jr/Ja/(1+ Jr/Ja) \quad (39)$$

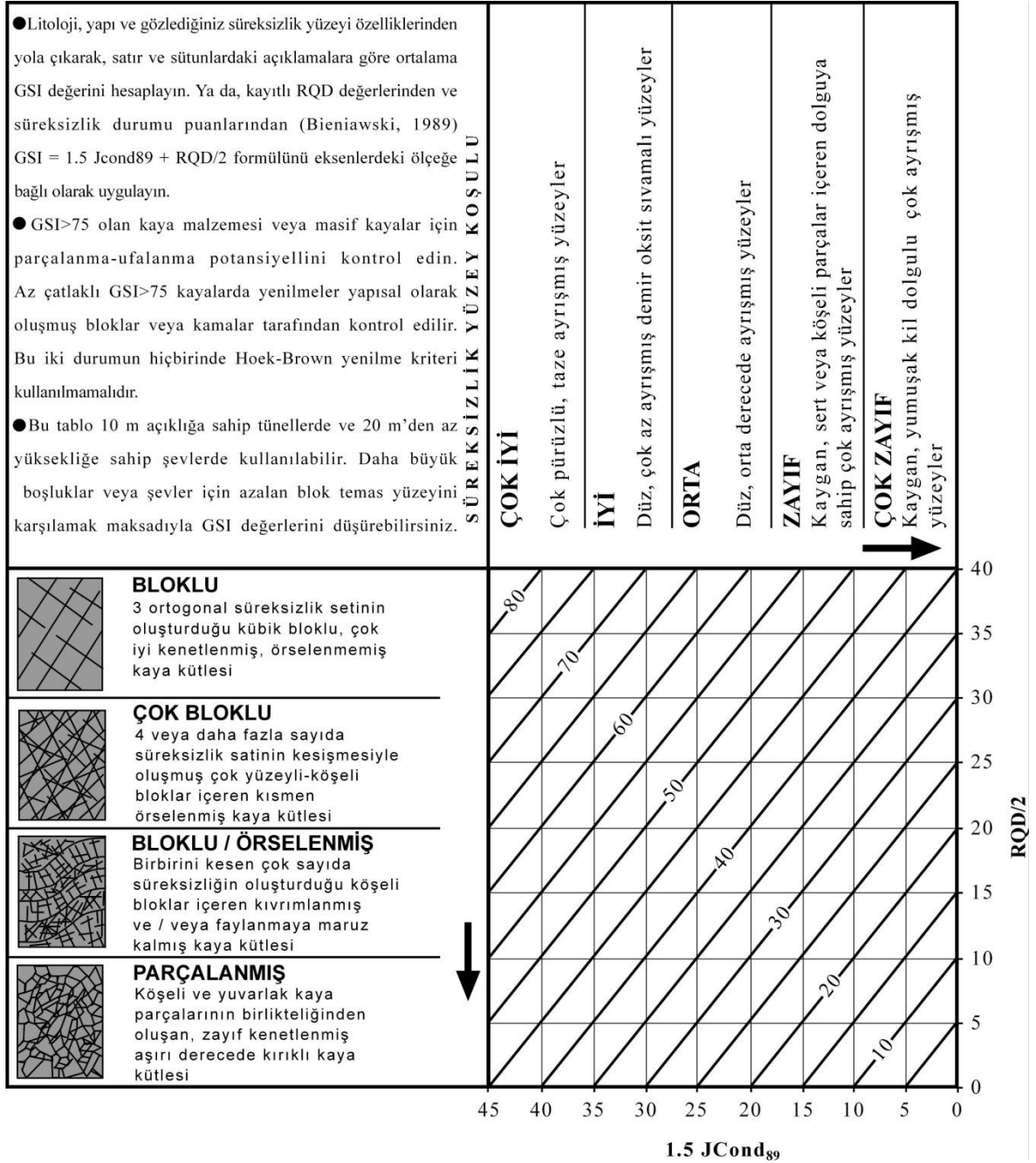
Burada; Jr: Eklem pürüzlülük sayısı, Ja: Eklem yüzeyi bozunma sayısı

GSI sınıflamasında kullanılan tablonun ampirik bir formüle dönüştürülmüştür. 40 numaralı formül Tablo 2.27. 'den türetilmiştir.

$$GSI= 52 (Jr/Ja)/(1+ Jr/Ja) + RQD/2 \quad (40)$$

Burada; $JCon_{89}$: Süreksizlik durumu, GSI: Jeolojik dayanım indeksi, Jr: Eklem pürüzlülük sayısı, Ja: Eklem yüzeyi bozunma sayısı, RQD: Kaya kalitesi değeri


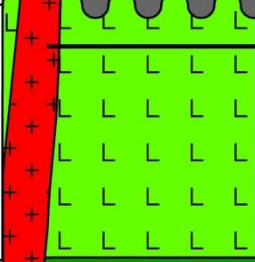
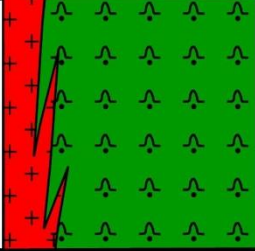
Şekil 2.22. Jeolojik dayanım indeksi abağı (Hoek vd.,2013)



3. BULGULAR

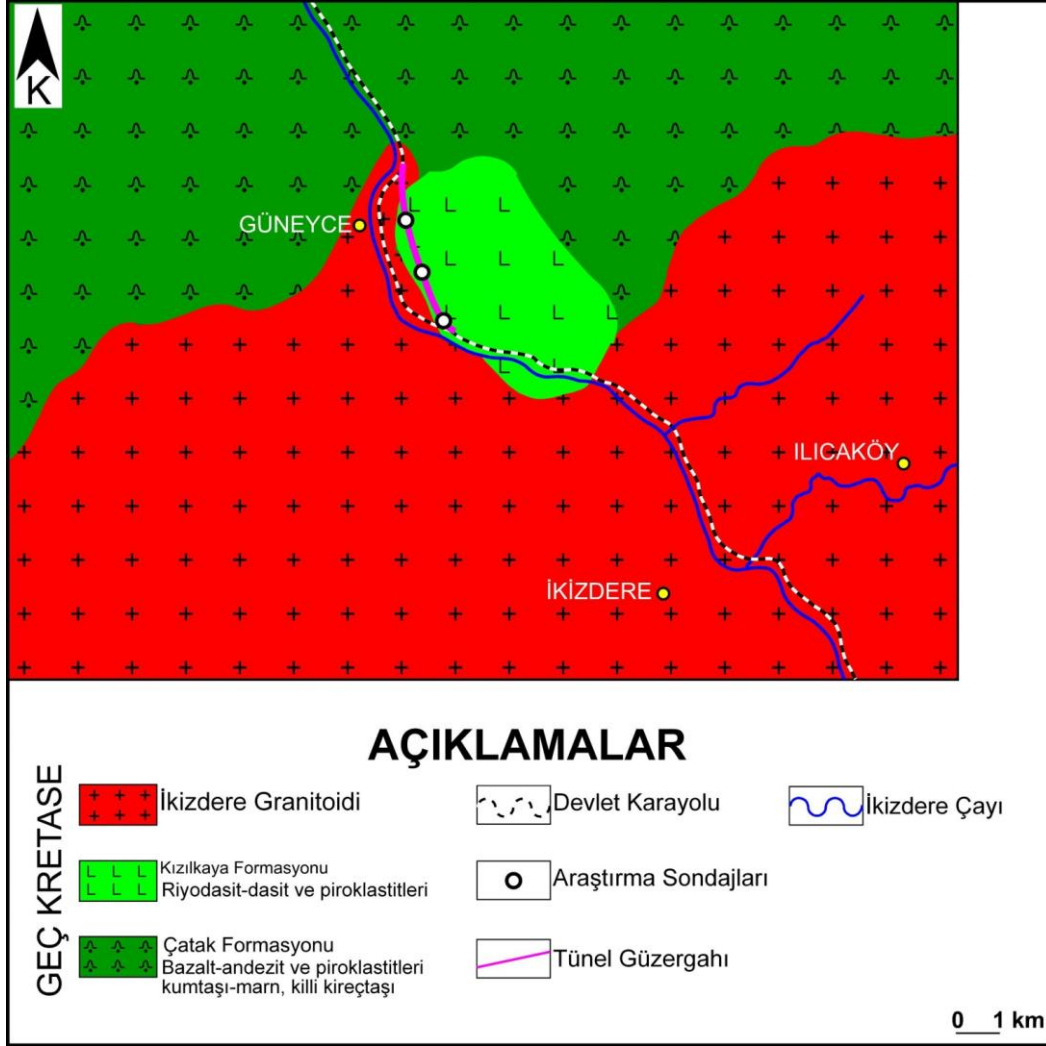
3.1. Güneyce Tüneli ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı olan Güneyce Tüneli ve çevresinde yer alan kayalar, litostratigrafik adlandırma ve sınıflama kuralları olan (NACS, 1983)'ün temel alınması ile tanımlanmış ve çalışma alanı ile çevresinde yaşlıdan gence Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve bunlara sokulum yapan İkizdere Granitoidi ile Kuvarterner yaşlına ait alüvyonların yüzeylendiği belirlenmiştir (Şekil 3.1.).

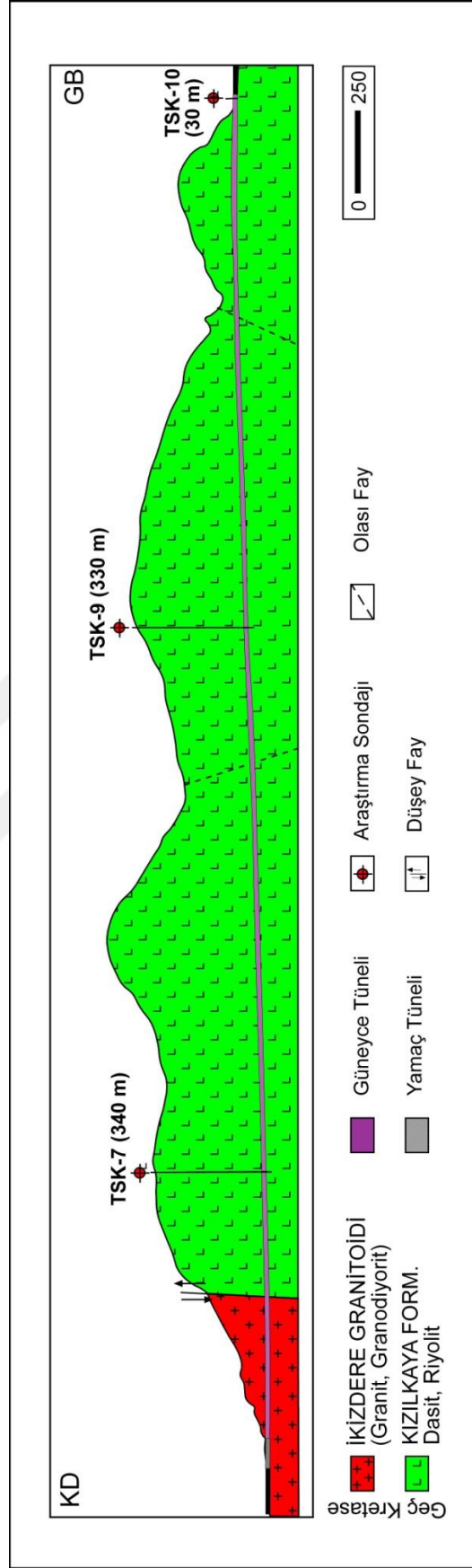
ZAMAN	DEVİR	DEVRE	ÇAĞ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUV.					Alüvyon
MESOZOYİK	Kratase	Geç Kratase	Turoniyen Santoniyen	Kızılkaya Formasyonu		İkizdere Granitoidi
				Çatak Formasyonu		Kızılkaya Formasyonu Riyodasit-dasit ve piroklastitleri
						Çatak Formasyonu Bazalt-andezit ve piroklastitleri kumtaşı-marn, killi kireçtaşı

Ölçeksizdir.

Şekil 3.1. Güneyce Tüneli çevresine ait stratigrafik kolon kesit



Şekil 3.2. Güneyce tüneli ve çevresinin jeoloji haritası (Akbaş vd., 2016 Değiştirilmiş)



Şekil 3.3. Güneyce Tünel güzergahına ait jeoloji kesiti

3.1.1. Çatak Formasyonu

Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Çatak Formasyonu ilk defa Güven (1993) tarafından Trabzon'un Maçka ilçesinde isimlendirilmiştir (Şekil 3.2.).

Bu birim otobreşik andezit lavlardan, ara katmanlar halinde volkanik kumtaşı ile kırmızı-gri renkli karbonatlardan ve bazaltlardan oluşmaktadır. Çatak Formasyonu tabanda yeşil renkte olan bazalt-andezitlerle başlayarak üst ve yanal kısımlarına doğru piroklastitlere geçmektedir. Volkanizmanın duraksadığı zamanlarda meydana gelen sedimanter – volkanosedimanterler, volkanitlerin içinde ara katmanlar halinde bulunmaktadır. Çatak Formasyonunun sedimanter birimleri ince katmanlı, kırmızı renkli karbonatlardan, şeyller ve marn ile gri renkteki kumtaşından meydana gelmektedir.

Çatak Formasyonu içinde bulunan sedimanlardan alınmış olan fosil örneklerinin yaşı Güven (1993) tarafından Turoniyen-Santoniyen olarak saptanmıştır. Fakat aynı sedimanter seviyeden alınmış olan örnekler Kurt (2006) tarafından Alt Turoniyen olarak belirlenmiştir.

Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu bir şekilde gelen Çatak Formasyonu tektonik hareketler dâhilinde parçalanmakta olan karbonat platformu üstüne birikmiştir (Güven, 1993).

3.1.2. Kızılkaya Formasyonu

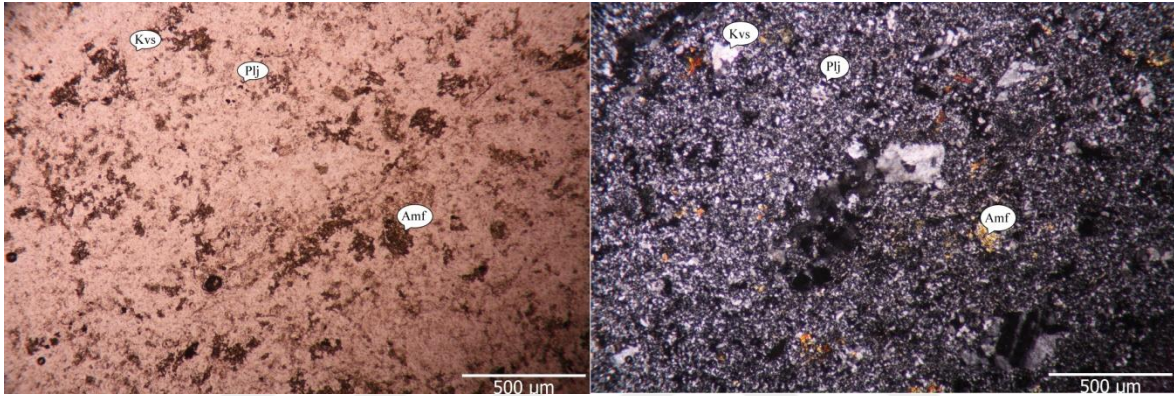
Çatak formasyonunun altında uyumlu bir şekilde bulunan ve çalışma alanında yüzeylenen Kızılkaya Formasyonu ilk olarak Güven (1993) tarafından isimlendirilmiştir (Şekil 3.2.).

Kızılkaya formasyonu, riyodasit lav, dasit ile piroklastitleriyle bazı yerlerde mercek şeklinde kırmızı veya gri renkli karbonatlardan meydana gelmektedir. Kızılkaya formasyonuna ait magmatik kayalardan alınan örneklerin ince kesitleri polarizan mikroskopta incelendiğinde bu kayaların mikrolitik porfirik dokuya sahip oldukları ve yaygın bir şekilde kuvars, amfibol, plajiyoklas ve az oranda da opak minerallerden meydana geldiği görülmüştür. Plajiyoklaslar, öz ve yarı öz şekilli çoğunlukla kristaller şeklinde görülmekte olup yaygın olarak serizitleşme görülmektedir bu yüzden de cins tayini yapılamamıştır. Kuvars, öz şekilsiz kristaller halinde, plajiyoklas sonra en bol bulunan açık renkli mineraldir genelde dalgalı sönme görülür porfirik doku gösterdiği görülmüştür. Amfibol, öz şekilsiz küçük kristaller halinde diğer minerallerin arasında

dolduran şekilde görülmektedir. Yaygın olarak klorite dönüşmüşlerdir. Opak mineraller, irili ufaklı öz şekilsiz taneler şeklinde bulunurlar (Şekil 3.4.).

Kızılkaya Formasyonu bazalt, andezit ve piroklastitlerden meydana gelen Çağlayan Formasyonunun üzerinde uyumlu bir şekilde yer alır.

Volkanizmanın duraksadığı zamanlarda kırmızı-gri renkli karbonatlarla, epiklastik kumtaşları merceksel bir şekilde birikmişlerdir ve bu karbonatlardan yapılmış olan paleontolojik tayinler sonucunda birim yaşı Turoniyen-Santoniyen olarak saptanmıştır (Evcimen, 2011).



Şekil 3.4. Kızılkaya Formasyonu'na ait kayaçların polarizan mikroskopta tek nikol ve çift nikol görünüşleri (Kvs:Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Amf: Amfibol)

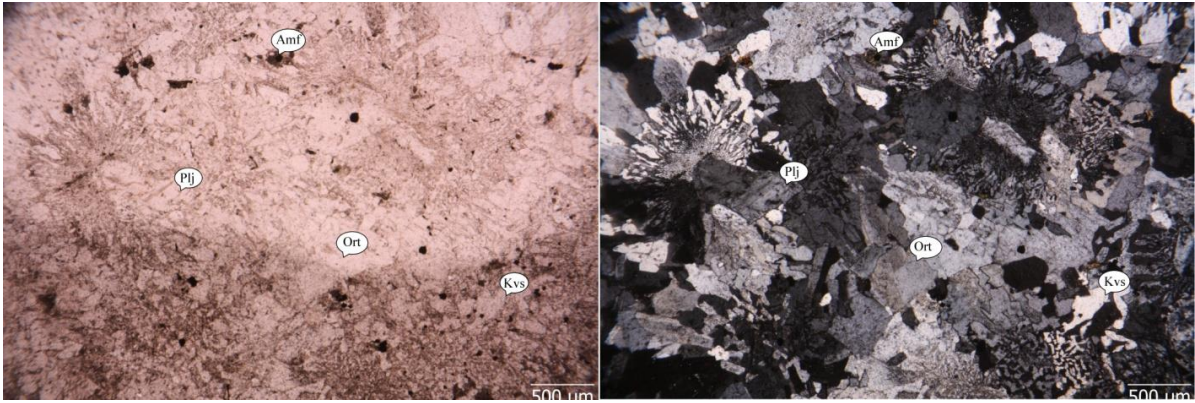
3.1.3 İkizdere Granitoyidi

İsmi İkizdere (Rize) ilçesinden alan ve çalışma alanının geniş kısmında batolit şeklinde yüzeylenen İkizdere Granitoyidi tonalit, granodiyorit, diyorit, gabroyikdiyorit granit ve kuvarsmonzonit, bileşimli kayaçları ve monzogabro, monzodiyorit ve monzonit bileşimli anklavları içermektedir. İkizdere Granitoyidinde incelenen tüm kaya litolojilerinde mineral bütünlüğü benzer olup, K-feldispat, piroksen, amfibol, plajiyoklas, biyotit, kuvars ilksel mineral bileşenlerini oluştururken ikincil mineral olarak da apatit ve sfen izlenmektedir.

İkizdere Granitoidi'ne ait magmatik kayaçlardan alınan örneklerin ince kesitleri polarizan mikroskopta incelendiğinde bu kayaçların tüm kristalli yer yerde mirmekitik dokuya sahip oldukları ve yaygın bir şekilde ortoklas, kuvars, plajiyoklas, amfibol ve az oranda da opak minerallerden meydana geldiği görülmüştür. Plajiyoklaslar, öz ve yarı öz şekilli çoğunlukla kristaller şeklinde görülmekte olup yaygın olarak serizitleşme ve killeşme görülmektedir bu yüzden de cins tayini yapılamamıştır. Ortoklas, kesit alanında

büyük oranda yer kaplayan ortoklas mineralleri genellikle öz ve yarı öz şekilli görülmektedir. Yaygın olarak serizitleşme göstermektedir. Kuvars, öz şekilsiz kristaller halinde, plajiyoklas ve ortoklastan sonra en bol bulunan açık renkli mineraldir genelde dalgalı sönme görülür ve yer yerde kuvarsin bir alkali feldispat (ortoklas) ile iç içe büyümesi sonucunda mirmekitik doku gösterdiği görülmüştür. Amfibol, öz şekilsiz küçük kristaller halinde diğer minerallerin arasını dolduran şekilde görülmektedir. Yaygın olarak klorite dönüşmüşlerdir. Opak mineraller, irili ufaklı öz şekilsiz taneler şeklinde bulunurlar (Şekil 3.5.).

İkizdere Granitoyidi Üst Kretase yaşlı Çatak formasyonu ve Kızılkaya formasyonunu keserek yerleşmiştir (Güven, 1993).



Şekil 3.5. İkizdere Granitoid'ine ait kayaçların polarizan mikroskopta tek nikol ve çift nikol görünüşleri (Kvs:Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Ort: Ortoklas)

3.1.4 Alüvyon

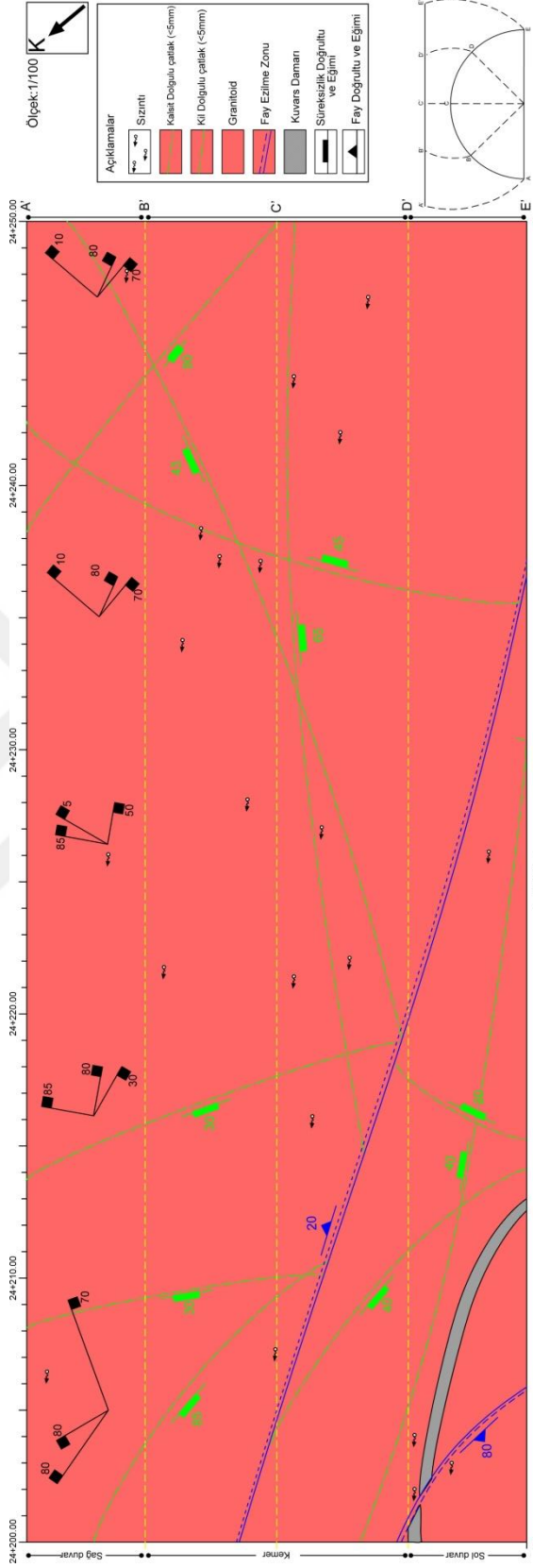
Alüvyonlar, akarsu vadilerinde oluşan bloklu, çakıllı, kumlu ve siltli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Çakılların boyutları genellikle 2-10 cm arasında değişmektedir, blok boyutlarının ise 20-50 cm arasında değiştiği gözlenmektedir. Çakıllar çoğunlukla yuvarlak şekillidir fakat bloklar köşelidir.

3.2. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması

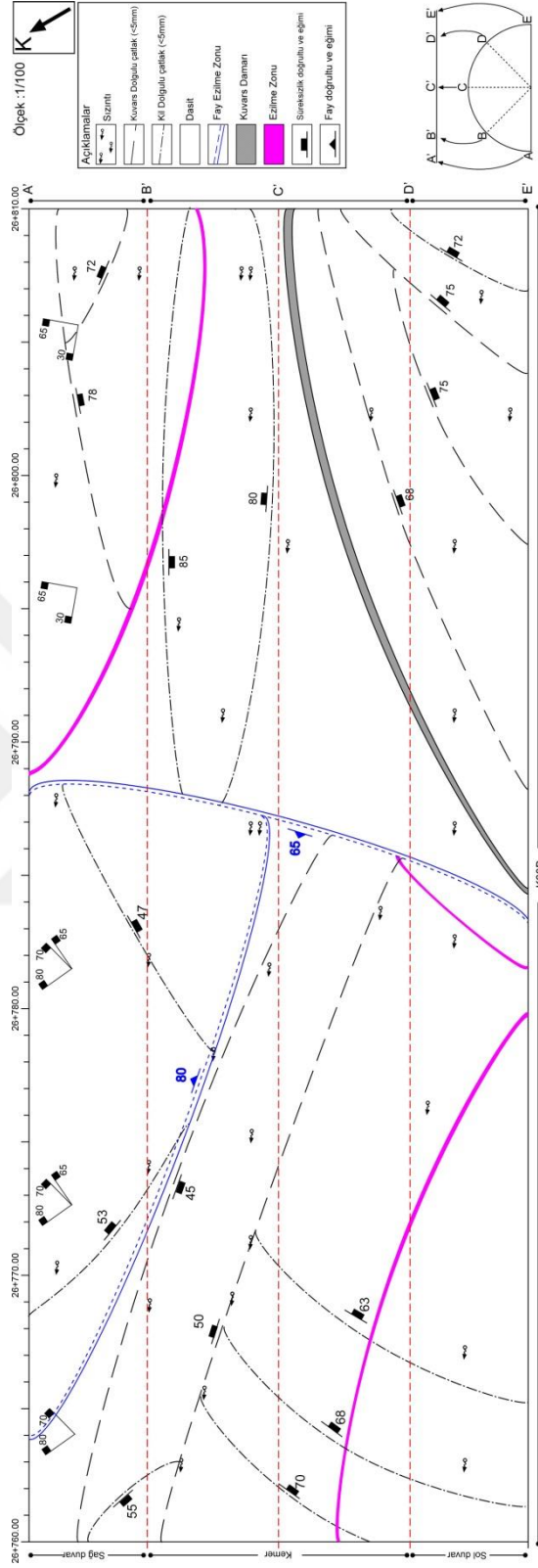
Jeoteknik birimlerin tanımlanmasında bazı ölçütler esas alınmaktadır. Esas alınmakta olan bu ölçütler; Mineralojik bileşim, litolojik özellikler, süreksizliklerin sıklığı ve ayrışma durumudur. Bu özelliklerin tanımlanması arazi gözlemleri ile olmaktadır. Jeoteknik birimlerin tanımlanması ise tanımlanan özelliklerin değiştiği kısımların

saptanması ile olmaktadır. Jeoteknik birimlerin mühendislik özellikleri birbirinden farklı olarak saptanmaktadır (Kaya, 2008).

Mineralojik bileşim, litolojik özellikler ve jeoteknik özellikler, jeoteknik birimlerin tanımlanması için kullanılmıştır. 1/100 ölçekli olarak hazırlanan tünel içine ait jeolojisi haritası, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimlerin düşey ve yanal devamlılıklarının saptanması için tünel içinde yapılan çalışmaların sonucunda hazırlanmıştır (Şekil 3.6., Şekil 3.7.). ISRM (1976) ve ANON (1976) tarafından önerilmiş olup, Dearman (1981) tarafından revize edilen kökene, jeoteknik özelliklere ve litolojiye dayanmakta olan sınıflama sistemlerinden yararlanılarak, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki kayalar iki litolojik ve iki farklı jeoteknik birime ayrılarak incelenmiştir. İkizdere Granitoyidi'nden oluşan birim A jeoteknik birimi olarak, Kızılkaya Formasyonu'ndan oluşan birim ise B jeoteknik birimi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.6. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası



Şekil 3.7. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Çıkış Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası

3.3.Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Kaya Malzemelerinin Fiziko-mekanik ve Elastik Özellikleri

3.3.1. Fiziksel Özellikler

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde bulunan birimlerden alınmış olan kaya bloklarından küp şeklinde örnekler laboratuvar ortamında hazırlanmış ve hazırlanan örnekler üzerinde ilgili standartlara göre deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.1.'de verilmiştir. Deneyler esnasında yapılmış olan hesaplamalar ise Ek Tablo-1'de belirtilmiştir.

Deneylerde belirlenen fiziksel özellikler; kaya malzemesinin özgül ağırlığı, porozite, ağırlıkça su emme, su muhtevası, boşluk oranı, birim hacim ağırlığı, hacimce su emme, elastik dalga hızının enine ve boyuna yayılma hızı gibi özelliklerdir. TSE'nin "TS 699 (2009), Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri" şartnamesi ile ISRM (2007)'nin önerdiği yöntemler, deneyler aşamasında kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Özgül Ağırlık	En yüksek	2.72	2.700
	En düşük	2.71	2.650
	Ortalama	2.716	2.676
Su Muhtevası (%)	En yüksek	0.494	0.774
	En düşük	0.276	0.385
	Ortalama	0.354	0.506
Porozite (%)	En yüksek	0.901	0.903
	En düşük	0.9	0.905
	Ortalama	0.9	0.904
Boşluk Oranı (%)	En yüksek	9.124	9.545
	En düşük	9.022	9.287
	Ortalama	9.064	9.378
Hacimce Su Emme (%)	En yüksek	1.64	2.960
	En düşük	1.384	2.008
	Ortalama	1.483	2.305
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Ortalama	26.069	24.950
Elastik Dalganın Ortalama Boyuna Yayılma Hızı (m/sn)	Kuru (V _p)	5199.327	3998.585
	Doygun (V _p)	5221.505	4770.223
Elastik Dalganın Ortalama Enine Yayılma Hızı (m/sn)	Kuru (V _s)	2651.656	2039.278
	Doygun (V _s)	2662.967	2432.814

3.3.2. Mekanik Özellikler

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinden alınmış olan kaya malzemesinin, tek eksenli basınç dayanımının bulunması amacı ile TSE'nin "TS EN 1926 (2013), Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesine uygun olarak önerilmiş olan standartlar esas alınmıştır. Yapılan deneyler, laboratuvar ortamına getirilmiş olan blok örneklerden alınmış küp şeklinde örnekler ile olmuştur.

Elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri Tablo 3.2.'de yer almaktadır. Deneylerin sonucunda yapılmış olan hesaplamalar ise Ek Tablo-2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı

MEKANİK ÖZELLİKLER	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	148.058	151.553

3.3.3. Elastik Özellikler

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki kaya malzemelerine özgü elastik özellikler saptanırken küp şekillerde hazırlanmış olan örnekler kullanılmıştır. Aletin alıcı ve verici kafalarının ve örnek uçlarının temasının tam olarak sağlanabilmesi amacıyla jel ile örnek uçları yağlanmıştır. Doymun ve kuru örneklerin ultrasonik ses dalgasından geçme zamanları mikrosaniye cinsinden okunmuştur. Dinamik elastisite modülünün saptanması amacı ile örneklerin boyuna olan elastik dalga tarafından katedilme zamanı kullanılmıştır. Youash (1970)'in önerdiği (4) numaralı eşitliğin Bulut (1989)'un metrik sisteme çevrilmiş hali olan (5) numaralı eşitlikten yararlanılması ile doymun ve kuru kaya örneklerine özgü dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır.

Elastik dalganın enine ve boyuna yayılma hızları, doymun ve kuru kaya malzemelerine özgü dinamik poisson oranının saptanabilmesi için kullanılmıştır. Bulunmuş olan bu oran ASTM (1980)'nin önerdiği (6) numaralı eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır. Kaya malzemelerine özgü dinamik poisson oranının ile dinamik elastisite modülünün değerleri özet olarak Tablo 3.3.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin ortalama dinamik elastisite modülleri ve dinamik poisson oranları

ELASTİK ÖZELLİKLER	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Ortalama dinamik elastisite modülü - Ed (kg/cm ²) (Kuru örnekler)	9.25x10 ⁵	5.24 x10 ⁵
Ortalama dinamik elastisite modülü - Ed (kg/cm ²) (Doymun örnekler)	9.39 x10 ⁵	7.51 x10 ⁵
Ortalama dinamik poisson oranı - ν_{din} (Kuru örnekler)	0.324	0.324
Ortalama dinamik poisson oranı - ν_{din} (Doymun örnekler)	0.324	0.324

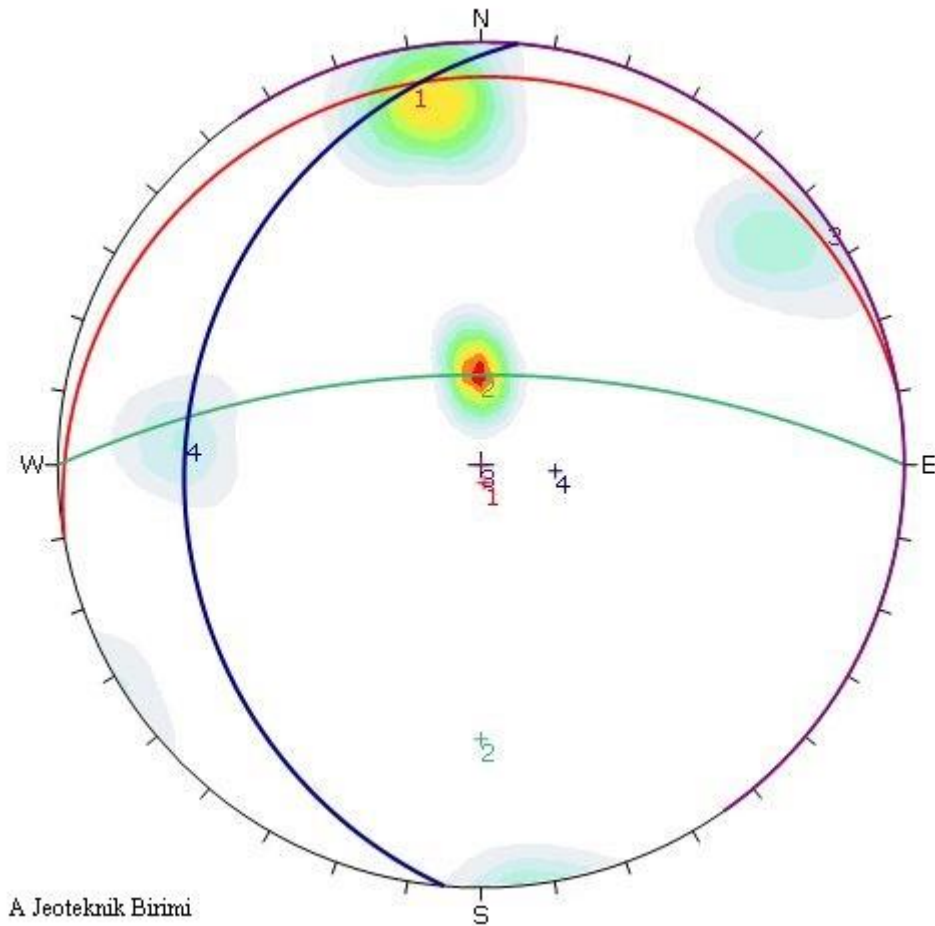
3.4. Güneyce Tüneli Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

3.4.1. Süreksizlik Özellikleri

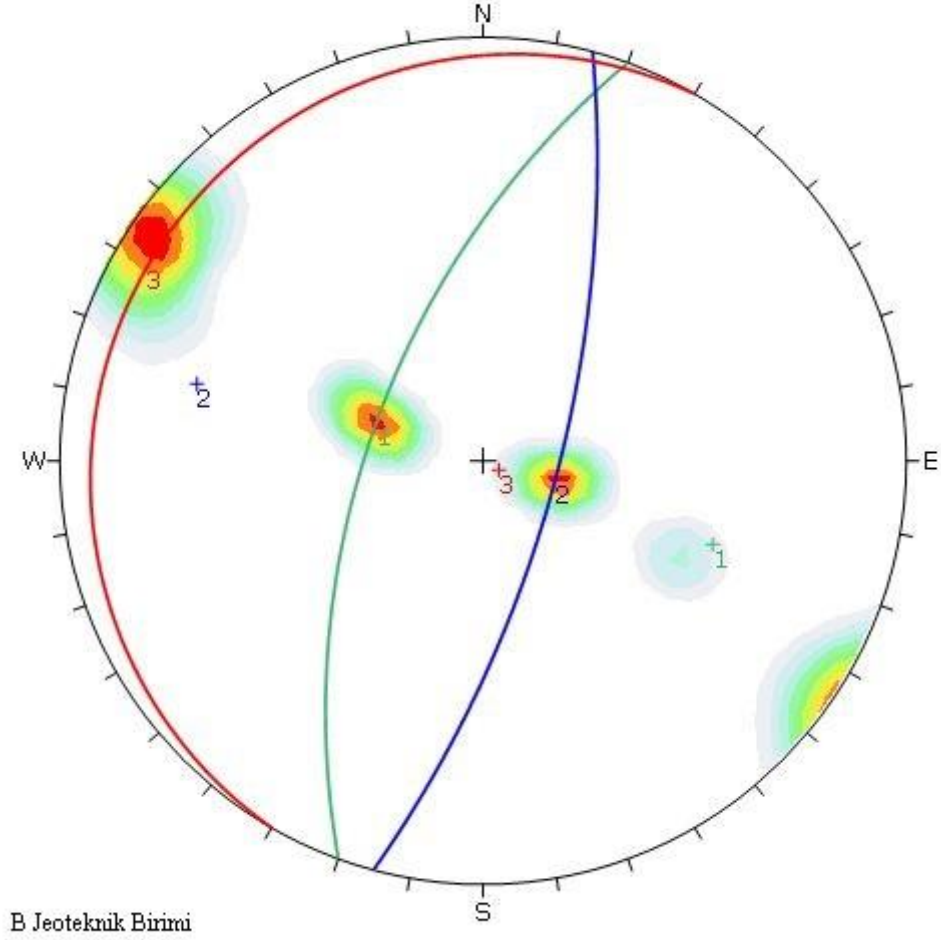
3.4.1.1. Süreksizlik Takımları

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılmış olan pusula ölçümleri aracılığıyla bütün jeoteknik birimlere özgü temel süreksizlik takımları ile bu takımların yönelimlerinin saptanması süreksizliklere özgü olan çatlak kontur diyagramları belirlenmiştir (Şekil 3.8., Şekil 3.9.).

Jeoteknik birimlere özgü çatlak kontur diyagramlarına ait yorumlama sonucunda, A jeoteknik biriminin dört süreksizlik takımı, B jeoteknik biriminin ise üç süreksizlik takımını içinde bulundurduğu saptanmıştır.



Şekil 3.8. A Jeoteknik birimine ait çatlak kontur diyagramları



Şekil 3.9. B Jeoteknik birimine ait çatlak kontur diyagramları

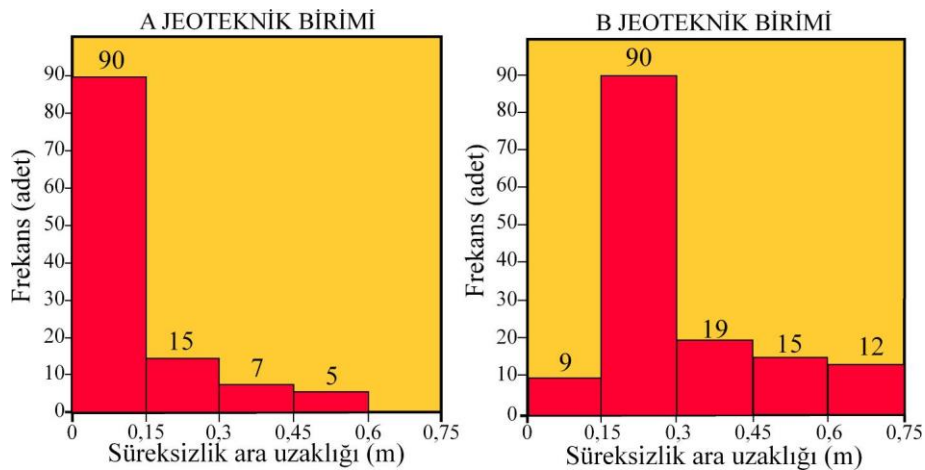
3.4.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinin bütün jeoteknik birimlere özgü süreksizliklere ait ara uzaklık değerleri ve süreksizlik ara uzaklık dağılımları birbiriyle bağlantılı olarak, 0.15 metre aralıklarla sınıflandırılarak frekansları hesaplanmıştır. Tablo 3.4.'de jeoteknik birimlere özgü süreksizliklere ait ara uzaklık değerleri, Şekil 3.10.'da ise süreksizliklere ait ara uzaklık değişkenine özgü dağılımlar gözlenmektedir. Süreksizliklere ait ara uzaklık dağılımlarının A ve B jeoteknik birimlerinin negatif eksponansiyel dağılıma uyduğu histogramlar incelendiğinde görülmektedir. Süreksizliklere ait ara uzaklık değeri ortalaması A jeoteknik birimi için 0.131 metre, B jeoteknik birimi için ise süreksizliklere ait ara uzaklık değeri ortalaması 0.312 metre olarak belirlenmiştir. ISRM (2007)'nin tanımladığı kriterlere göre Tablo 3.4.'de gösterildiği gibi yalnızca A jeoteknik birimi

“yakın ara uzaklıklı”, B jeoteknik birimleri de “orta derecede ara uzaklıklı” olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Jeoteknik birimlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

SÜREKSİZLİK ARA UZAKLIĞI TANIMLAMA ÖLÇÜTLERİ (ISRM 2007)			A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Süreksizli ara uzaklığı (m)	Tanımlama	Süreksizlik ara uzaklığı frekans değeri (%)		
<0,02	Çok dar ara uzaklıklı	-	-	-
0,02-0,06	Dar ara uzaklıklı	-	-	-
0,06-0,2	Yakın ara uzaklıklı	90	9	
0,2-0,6	Orta derecede ara uzaklıklı	27	124	
0,6-2	Geniş ara uzaklıklı	-	12	
2-6	Çok geniş ara uzaklıklı	-	-	
>6	İleri derecede geniş ara uzaklıklı	-	-	
Ortalama Süreksizlik ara uzaklığı (m)		0.131	0.312	
Tanımlama Ölçütleri (ISRM 2007)		Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	



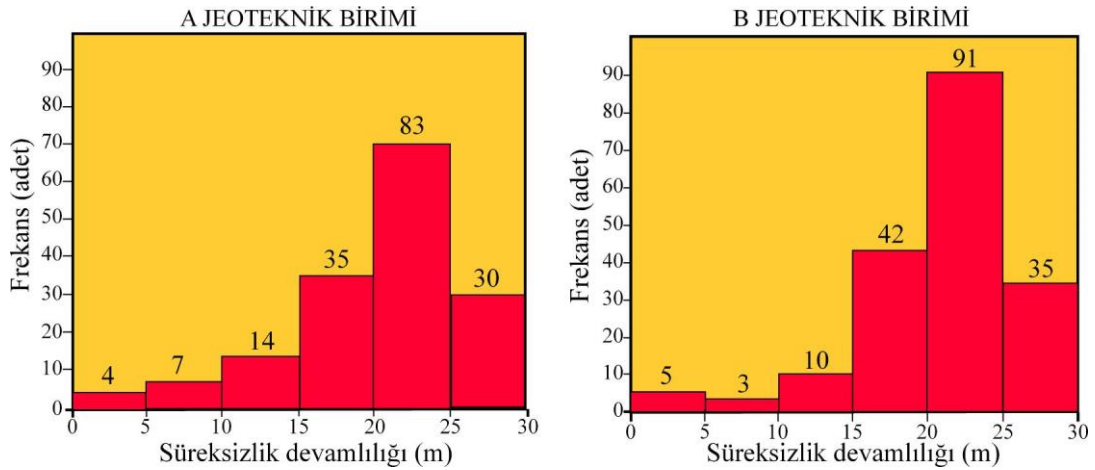
Şekil 3.10. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik ara uzaklığı histogramları

3.4.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, ISRM (2007)'nin önerdiği ölçütler temel alınarak hat etüdünden şerit metreyle elde edilen ölçümlerle saptanmıştır. Devamlılık, bütün jeoteknik birimler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 3.11.). Hat etüdünde yapılmış olan çalışmalar ile saptanan devamlılık değişkenine özgü sonuçlar Tablo 3.5.'te özet olarak verilmiştir. Bütün jeoteknik birimlere ait süreksizlikler “çok yüksek devamlı” olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.5. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlere ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

SÜREKSİZLİK DEVAMLILIĞI TANIMLAMA ÖLÇÜTLERİ (ISRM 2007)		A1 JEOTEKNİK BİRİMİ	B1 JEOTEKNİK BİRİMİ
Süreksizlik devamlılığı (m)	Tanımlama	Süreksizlik devamlılığı frekans değeri (%)	
<1	Çok düşük devamlı	-	-
1-3	Düşük derecede devamlı	4	5
3-10	Orta derecede devamlı	7	3
10-20	Yüksek devamlı	49	52
>20	Çok yüksek devamlı	113	126
Ortalama süreksizlik devamlılığı (m)		20.59	20.97
Tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)		Çok yüksek devamlı	Çok yüksek devamlı



Şekil 3.11. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik devamlılığı histogramları

3.4.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgalılığı

Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük ve dalgalılığı saptanırken ISRM (2007)'nin önerdiği metotlardan yararlanılmıştır. Tablo 3.6.'da jeoteknik birimlerin süreksizlik

yüzeylerine ait ortalama JRC değerleri gösterilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak yapılan süreksizliklere ait yüzey profillerinin değerlendirilmesidir.

Tablo 3.6. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait ortalama JRC değerleri

	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Ortalama JRC değeri	4-6	2-4

3.4.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Yapılmış olan bu çalışmada, milimetre ölçekli kumpas yardımı ile süreksizliklerin açıklık değerleri ölçülmüştür.

Jeoteknik birimlere özgü süreksizliklerin açıklık değerleri ve bu açıklık değerlerinin ISRM (2007)'nin önerdiği tanımlama ölçütleri gereğince incelenmesi Tablo 3.7.'de verilmiştir. A birimine ait süreksizlikler ISRM (2007) standartları gereğince “orta derecede geniş” sınıfına ve B jeoteknik birimlerine özgü süreksizlikler ise ISRM (2007) standartları gereğince “açık” sınıfına girmektedir.

A jeoteknik birimine özgü süreksizliklerin arasında ortalama 2.7 mm kalınlığında kil ve kalsit dolgu gözlenmektedir. B jeoteknik birimlerindeki süreksizliklerin arasında ortalama 1.6 mm kalınlığında kuvars ve kil dolgusu gözlenmektedir.

Tablo 3.7. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik açıklığı değerleri ve bu değerlerin ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

SÜREKSİZLİK AÇIKLIĞI TANIMLAMA ÖLÇÜTLERİ (ISRM 2007)	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Ortalama süreksizlik açıklığı (mm)	2.7	1.6
Tanımlama ölçütleri (ISRM 2007)	Orta Derecede Geniş	Açık

3.4.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Yapılmış olan bu çalışmada, hat etüdü boyunca yapılan gözlemlere dayanarak kaya kütlesi ve süreksizlik yüzeylerine ait bozunma dayanımı ve derecesi, ISRM (2007)'nin önerdiği tanımlama ölçütleri gereğince sınıflandırılmıştır. Buna göre tüm jeoteknik birimlerde “Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla

birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir” sınıfına girmektedir (Tablo3.8.).

Tablo 3.8. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin yüzeylerinin bozunma değerleri

SÜREKSİZLİK YÜZEYLERİNİN DAYANIMI	A1 JEOTEKNİK BİRİMİ	B1 JEOTEKNİK BİRİMİ
Bozunma Derecesi	W1 (taze)	W1 (taze)
Tanımlama (ISRM, 2007)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.

3.4.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Yapılmış olan bu çalışmada, hat etüdü boyunca yapılan gözlemlere dayanarak kaya kütleleri ve süreksizliklerin yüzeylerine ait su durumu, ISRM (2007)’nin önerdiği tanımlama ölçütleri doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Buna göre, bütün jeoteknik birimler “Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok” sınıfındadır.

3.4.1.8. Hacimsel Eklem Sayısı

Kaya malzemesinden oluşan blok boyutlarını denetleyen değişken süreksizlik sıklığıdır. Aynı zamanda, kaya kütlelerinin özellikleri içinde en önemlisi süreksizlik sıklığıdır. Kayacın birincil dokusunun korunmadığı durumlarda, yani ayrışma durumunda kayanın tamamen parçalanmış olduğu durumlarda süreksizliklere özgü özelliklerin saptanması çok zordur.

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde bulunan bütün jeoteknik birimlerin süreksizliklerine özgü özellikler kolaylıkla bulunmuştur. Bütün jeoteknik birimlere özgü süreksizliklere ait ara uzaklık değerlerinden faydalanılarak saptanan blok boyutu indeksi, ISRM (2007)’nin önerdiği tanımlama parametrelerine göre belirlenmiştir (Tablo 3.9.).

Tablo 3.9. Jeoteknik birimler için blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri

	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Hacimsel eklem sayısı (J_v)	19.8	16.5
Tanımlama (ISRM 2007)	Küçük bloklar	Küçük bloklar

3.4.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (% RQD)

Yapılmış olan bu çalışmada, bütün jeoteknik birimlere özgü % RQD değerleri tünel boyunca yapılan hat etüdü çalışmaları ile varılan verilerden yararlanılarak Palmström (2005)'in 11 numaralı eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Tablo 3.10.).

Tablo 3.10. Jeoteknik birimler için hesaplanan RQD değerleri

	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
%RQD	50.5	58.75
Sınıflama (Deere, 1964)	Orta	Orta

Jeoteknik birimlerde bulunan süreksizliklerin özellikleri Tablo 3.11.'de özet olarak verilmiştir. Tablo 3.11.'de verilmiş olan bu değerler kaynaklardaki tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007; Palmström, 2005) esas alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.11. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik özelliklerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik Özellikleri	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Süreksizlik takımları	4 Eklem takımı	3 Eklem takımı
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.131	0.312
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
Süreksizlik devamlılığı (m)	20.59	20.97
Tanımlama (ISRM, 2007)	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	4-6	2-4
Süreksizlik açıklığı (mm)	2.7	1.6
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta Derece Geniş	Açık
Süreksizlik yüzeylerinin dayanımı	W1	W1
Tanımlama (ISRM, 2007)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu	4	4
Tanımlama (ISRM, 2007)	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
Hacimsel eklem sayısı (Jv)	19.8	16.5
Tanımlama (ISRM, 2007)	Küçük bloklar	Küçük bloklar
Kaya kalite göstergesi (% RQD)	50.5	58.75
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta	Orta

3.5. Güneyce Tünelinin Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

Uluslararası uygulamalarda, tünel için destek tasarımında, deneysel anlamda farklı türlerdeki kaya sınıflamalarından yararlanılmaktadır. Kullanılan bu kaya sınıflamalarında iki sayısal sınıflandırma mevcuttur. Sayısal sınıflandırma sistemlerinden birisi, “Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması” (Barton vd.,1974)’dır. Bir diğeri ise “Eklemlili Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması” (Celada vd., 2014)’dır. Bazı Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan NATM (New Austrian Tunneling Method) kaya sınıflaması (ÖNORM-B2203, 1994) ise, tanımsal bir niteliğe sahiptir. Q sınıflama sistemi bütün boyutlardaki tünellere destek elemanı tavsiyesine rağmen, kazının destek bulunmadan durma süresi ile ilgili nicel öneriler getirememektedir.

Yapılan bu açıklamalar ile birlikte, tünel için destek tasarımında iki sınıflamanın beraber kullanılması daha güvenilir veriler elde edilmesini sağlamaktadır.

Yapılmış olan bu çalışmada, RMR ve Q sistemlerine uygun olarak kaya kütle özellikleri bulunmuştur. Gereken destek sistemleri; Q, Q sisteminden elde edilen RMR₈₉ ve NATM sınıflandırmaları temel alınarak önerilmiştir. Ayrıca, RMR₁₄'ün destek sistemi tasarımı kullanılmıştır.

3.5.1. Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi

Yapılmış olan bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü Q değeri sınıflaması için gereken değişkenler değerlendirilerek her birimin Q değerleri farklı olarak hesaplanmıştır., A jeoteknik birimi “zayıf kaya”, B jeoteknik birimleri de “orta kaya” olarak Barton vd. (1974)'e uygun olarak değerlendirilmiştir. Bütün jeoteknik birimlere özgü hesaplanan Q değerleri Tablo 3.12.'de gösterilmiştir.

Logaritmik ölçekte daha önce hazırlanan Şekil 2.8.'deki tünelin destek sistemine ait grafik ile saptanan Q değerine karşılık gelen Eşdeğer Boyut değeri (D_e), grafikte kesştirilerek bütün jeoteknik birimlere özgü duvarlar ve tavan için önerilmiş olan destek sınıfları saptanmıştır.

Jeoteknik birimler için önerilen destek türleri, RMR ve Q kaya kütle sınıflamalarının ilişkileri Barton (1995) tarafından önerilmiş olan 25 numaralı formülle saptanmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.13.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi

	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
RQD (Kaya kalite göstergesi) Tanımlama (Deere, 1964)	50.5 Orta	58.75 Orta
Jn (Eklem takım sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	15 Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	12 Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler
Jr (Eklem pürüzlülük sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	1.5 Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	3 Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı
Ja (Eklem yüzeyi bozunma sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	1 Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1 Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme
Jw (Eklem suyu azaltma faktörü) Tanımlama (Barton vd., 1974)	1 Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1 Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk
SRF (Gerilme azaltma faktörü) Tanımlama (Barton ve Grimstad, 1994)	2.5 Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	2.5 Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)
RQD/Jn (Blok boyutu)	3.36	4.89
Jr/Ja (Bloklar arası kayma direnci)	1.5	3
Jw/SRF (Aktif gerilme)	0.4	0.4
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2	5.86
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Zayıf	Orta

Tablo 3.13. Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri ve RMR₈₉ değeri arasındaki ilişki

A JEOTEKNİK BİRİMİ		B JEOTEKNİK BİRİMİ
Kazı genişliği (m)		14
Kazı yüksekliği (m)		9
Kazı destek oranı (ESR)		1
Kazı tipi		Tünel portalı
De (Eş boyut) Kazı genişliği / Kazı destek oranı		14 / 1 = 14
(Tavan ve duvar için desteksiz kalabilecek en büyük açıklık) B max (m)	2.64	4.059
(Kalıcı tavan destek basıncı) P tavan (kg/cm ²)	1.341	0.422
(Kalıcı duvar destek basıncı) P duvar (kg/cm ²)	0.986	0.308
(Kaya kütleinin deformasyon modülü) Em (GPa)	7.525	19.197
Q (tavan)	2	5.86
Qw (duvar)	5	14.65
Tavan bulonları uzunluğu (m)		4.1
Duvar bulonları uzunluğu (m)		3.35
Destekleme sınıfı	5	4
	5 nolu destek sınıfı : Kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)	
	4 nolu destek sınıfı : Sistematik kaya bulonlama ve 4-10 cm kalınlığında desteksiz püskürtme beton (B+(S))	
RMR ₈₉ (Barton, 1995)	54.51	61.58

3.5.2 RMR₁₄ (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

Yapılan bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü RMR₁₄ sınıflamasında gereken bütün esaslar değerlendirilerek RMR₁₄ değerleri her birim için farklı olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.14.). Düzeltilmiş RMR₁₄ puanı hesaplandıktan sonra bütün jeoteknik birimler için farklı destek sınıfları belirlenmiştir. Her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek türleri Tablo 3.15.'de bulunmaktadır.

Tablo 3.14. Jeoteknik birimlerin RMR kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi

RMR ₁₄	A1 JEOTEKNİK BİRİMİ	B1 JEOTEKNİK BİRİMİ	
Kaya Malzemesinin Dayanımı (Mpa)	148.058	151.55	
Puan	10.8	11.2	
Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı (λ)	7.63	3.2	
Puan	23.68	29.1	
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	>10	>10
	Puan	0	0
	Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü
	Puan	3	3
	Dolgu	Yumuşak <5mm	Sert <5 mm
	Puan	2	5
	Bozunma	Bozunmamış	Bozunmamış
	Puan	5	5
	Su Durumu	Nemli	Nemli
	Puan	10	10
Altere Olabilirlik (%)	>85	>85	
Puan	10	10	
Temel RMR ₁₄	74.48	73.3	
Süreksizlik Eğim ve Eğim Yönü Etkisi (F ₀)	-5	-5	
Kazı metodu (F _e)	1.085	1.089	
Gerilme-Deformasyon Davranışı (F _s)	1	1	
RMR ₁₄	75.385	74.378	

Tablo 3.15. RMR₁₄ değerleri için önerilen destek türleri

	RMR ₁₄	A JEOTEKNİK BİRİMİ	B JEOTEKNİK BİRİMİ
Destek Sisteminin Tasarımı	Kaya Yüğü (MPa)	0.131	0.136
	Desteklenecek Kaya Zonunun Kalınlığı (m)	4.690	4.928
	Desteksiz Durma Süresi (gün)	5.870	5.930
	Bulonların Ara Mesafesi (m)	2.630	2.590
	Bulon Uzunluğu (m)	5.400	5.570
	Bulon Tasarım Kapasitesi (kN)	156.166	157.079
	Püskürtme Beton Dayanım Kapasitesi (MPa)	14.472	14.263
	Püskürtme beton tasarım (ihsasız) (mm)	60.389	61.798
	Püskürtme Beton Kalınlığı (mm)	58.450	61.260

3.5.3. NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi

Yapılmış olan bu çalışmada, kaya kütlelerinin sınıflandırılması, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümünde bulunan bütün jeoteknik birimler için ayrı hesaplanmış olan Q ve 28 numaralı formül kullanılarak elde edilen RMR₈₉ değerlerinin NATM sınıflamasıyla beraber değerlendirilmesi ile yapılmıştır. ÖNORM B2203 (1994)'a uygun olarak, A jeoteknik birimi "B2 Sınıfı", B jeoteknik birimleri de "B1 Sınıfı" olarak belirlenmiştir. NATM'a göre her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek elemanları Tablo 3.16.'da verilmiştir.

Tablo 3.16. Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri

A JEOTEKNİK BİRİMİ		B JEOTEKNİK BİRİMİ
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2	5.86
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Çok Zayıf	Zayıf
RMR89 puanı	54.51	61.58
Kaya sınıfı (Bieniawski, 1989)	Orta Kaya	Orta Kaya
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	B2 Çok Kırılgan	B1 Kırılgan
NATM'a göre destek elemanları	Tünel tavan ve duvarlarında sistemik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır.	Sınırlı bölgelerde sistemik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir

3.6. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi

Yapılmış olan bu çalışmada Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimleri teşkil eden kaya kütlelerinin jeolojik dayanım indeksi (GSI) (Hoek vd., 2013) sınıflama sistemi kullanılmıştır. Jeoteknik birimlere özgü Jeolojik Dayanım İndeksi değerleri, Hoek ve diğerleri (2013)'nin önerdiği Şekil 2.13.'deki grafik ile saptanmıştır. Bulunan değerler Tablo 3.17.'de verilmiştir ve Hoek ve diğerleri (2013) GSI tanımlama parametresi gereğince tanımlanmıştır. Hoek vd. (2013)'e göre A jeoteknik birimi "Çok Bloklu", B jeoteknik birimi de "Bloklu" olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.17. Jeoteknik birimlere ait jeolojik dayanım indeksi hesapları ve tanımlaması

A JEOTEKNİK BİRİMİ		B JEOTEKNİK BİRİMİ
1.5 JCond ₈₉	21	26.25
RQD/2	25.25	29.375
GSI	56.45	68.375
Tanımlama (Hoek vd., 2013)	Çok Bloklu	Bloklu

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Rize-İspir Karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde mühendislik jeolojisine ait incelemeler ve jeoteknik tasarımlar yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

1. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan birimlerin tanınması ve jeolojik modelin yapılabilmesi için 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli olan tünel içinin jeoloji haritası hazırlanmıştır.
2. Çalışma alanındaki kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve isimlendirme kuralları (NACS, 1983) doğrultusunda tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru şekilde aşağıdaki birimler sıralanmıştır;

- Otobreşik andezit lavlardan, bazaltlardan ve ara katmanlar halinde volkanik kumtaşı ile kırmızı-gri renkli karbonatlardan meydana gelen Üst Kretase yaşlı Çatak Formasyonu,

- Dasit, riyodasit lav ve piroklastikleri ile bazı yerlerde mercek şeklinde kırmızı veya gri renkli karbonatlardan meydana gelen Üst Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu,

- Granit, Granodiyorit, Tonalit, Kuvars Monzonit, Diyorit ve Gabroyikdiyorit bileşimli kayaçlardan meydana gelen Üst Kretase yaşlı İkizdere Granitoyidi

- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları.

Güneyce Tüneli Üst Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu ve İkizdere Granitoyidi içerisinde açılmaktadır.

3. Tünel güzergahında yer alan kayaçlar jeoteknik ve litolojik özelliklere göre sınıflama sistemlerinin kullanılmasıyla iki farklı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bunlar, İkizdere Granitoyidi'nden oluşan A jeoteknik birimi ve Kızılkaya Formasyonu'ndan B jeoteknik birimi olarak isimlendirilmiştir.

4. Tünel güzergahında yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler laboratuvarında ortamında yapılmış olan deneyler ile saptanmış ve sonuçlar maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

➤ Fiziksel özellikler;

- A jeoteknik birimine ait özgül ağırlık değeri 2.716, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 0.354, porozite değeri % 0.900, boşluk oranı değeri % 9.064, hacimce su emme

değeri % 1.483, doğal birim hacim ağırlık değeri 26.069 kN/m^3 , elastik dalğanın boyuna yayılma hızı kuru örnekler için 5199.327 m/sn ; doygun örnekler için 5221.505 m/sn , elastik dalğanın enine yayılma hızı kuru örnekler için 2651.656 m/sn ; doygun örnekler için 2662.967 m/sn 'dir.

- B jeoteknik birimine ait özgül ağırlık değeri 2.676, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 0.506, porozite değeri % 0.904, boşluk oranı değeri % 9.378, hacimce su emme değeri % 2.305, doğal birim hacim ağırlık değeri 24.950 kN/m^3 , elastik dalğanın boyuna yayılma hızı kuru örnekler için 3998.585 m/sn ; doygun örnekler için 4770.223 m/sn , elastik dalğanın enine yayılma hızı kuru örnekler için 2039.278 m/sn ; doygun örnekler için 2432.814 m/sn 'dir.

➤ Mekanik özellikler;

- A jeoteknik birimine ait tek eksenli basınç dayanımı 148.058 MPa 'dır.
- B jeoteknik birimine ait tek eksenli basınç dayanımı 151.553 MPa 'dır.

➤ Elastik özellikler;

- A jeoteknik birimine ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için $9.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, doygun örnekler için $9.39 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$; dinamik poisson oranı kuru örnekler ve doygun örnekler için 0.324'dir.

- B jeoteknik birimine ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için $5.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, doygun örnekler için $7.51 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$; dinamik poisson oranı kuru örnekler ve doygun örnekler için 0.324'dir.

5. Güneyce Tüneli boyunca yapılmış olan hat etüdü çalışmalarından, jeoteknik birimlere özgü süreksizliklerin özelliklerini ve yeraltı suyunun mevcut durumu araştırılmış ve elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- A jeoteknik birimine ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.131 m, süreksizlik devamlılığı değeri 20.59 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 4-6, süreksizlik açıklığı 2.7 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı W1 sınıfında, hacimsel eklem sayısı (Jv) 19.8, 4 eklem takımı mevcuttur, süreksizlik yüzeyleri nemli ancak su akışı yoktur.

- B jeoteknik birimine ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.312 m, süreksizlik devamlılığı değeri 20.97 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 2-4, süreksizlik açıklığı 1.6 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı W1 sınıfında, hacimsel eklem sayısı (Jv) 16.5, 3 eklem takımı mevcuttur, süreksizlik yüzeyleri nemli ancak su akışı yoktur.

6. Güneyce Tüneli boyunca yapılan hat etüdü çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak kaya kütlelerine ait kaya kalite değeri (RQD) değerleri saptanmıştır. A

jeoteknik birimi % 50.5, B jeoteknik birimi ise % 58.75 RQD değerleri ile “orta” kaya sınıfına girmektedir.

7. Güneyce Tüneli’ndeki kaya kütlelerinin Q, RMR_{14} ve NATM kaya kütleleri sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

➤ Q kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

A jeoteknik birimine ait Q ve Q_w değerleri 2 ve 5, B jeoteknik birimine ait Q ve Q_w değerleri 5.86 ve 14.65, A jeoteknik birimini meydana getiren kaya kütlesi “zayıf” kaya sınıfına, B jeoteknik birimini meydana getiren kaya kütlesi ise “orta” kaya sınıfına girmektedir.

➤ RMR_{14} kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

A1 jeoteknik birimine ait hesaplanan RMR_{14} puanı 75.385, B jeoteknik birimi için 61.746, jeoteknik birimleri oluşturan kaya kütlelerinin hepsi için ayrı ayrı destek sistemi hesaplanmıştır.

➤ NATM kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

Güneyce Tünelindeki tüm jeoteknik birimler tasarım aşamasında NATM’a göre A jeoteknik birimini meydana getiren kaya kütlesi B2 sınıfına, B jeoteknik biriminin ise B1 sınıfına girdiği saptanmıştır.

8. Güneyce Tünelinde bulunan kaya kütlelerinin dayanım özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

- A jeoteknik birimini meydana getiren kaya kütlelerine ait GSI değeri 56.45 olarak hesaplanmıştır ve Çok Bloklı sınıfına girmektedir.

- B jeoteknik birimini meydana getiren kaya kütlelerine ait GSI değeri 68.375 olarak hesaplanmıştır ve Bloklı sınıfına girmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İÜ, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye. Değiştirilmiş.
- Akın, H., 1978. Geologie, Magmatismus Und Lager-Staettenbindung Im Ostpontischen Gebirge-Turkei Aus Der Sicht Der Plattentektonik, Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96, Trabzon.
- ANON, 1976. Engineering Geological Maps, A Guide to Their Preparation, UNESCO Publishing House, Paris, 79.
- ANON, 1981a. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Maps, Report by International Association of Engineering Geology Commission On Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24, 235-274.
- ANON, 1981b. Recommended Symbols for Engineering Geological Mapping, Report by International Association of Engineering Geology Commission On Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24, 227-234.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1980. Annual Book of ASTM Standards, Natural Building Stones, Soil and Rock, Part 19, ASTM Publ., 634.
- Attewell, P. B. ve Farmer, I. W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mech, 6, 189-239.
- Barton, N. ve Grimstad, E., 1994. The Q-System Following Twenty Years of Application in NTM Support Selection, Felsbau, 428-436.
- Barton, N., 1995. The Influence of Joint Properties in Modelling Jointed Rock Masses, Keynote Lecture, Proc. 8th ISRM Cong., Tokyo, 3, Balkema, Rotterdam, 1023-1032.
- Barton, N., 2002. Some New Q-Value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39, 185-216.

- Bektaş, O., 1984. Pontidlerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KTÜ, Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji, 3, 1, 2, 53-62.
- Bektaş, O., 1986. Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Back of Eastern Pontides, MTA Bulletin, 103,104, 1-15.
- Bieniawski, Z. T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering, Proc. Symp. On Exploration for Rock Engineering, Cape Town, Balkema, 97-106.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications, Wiley, New York, 238.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara-Trabzon) Barajı ve Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cai, M., Kaiser, P.K., Uno, H., Tasaka, Y. ve Minami, M., 2004. Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses Using The GSI System, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 41, 1, 3-19.
- Celada, B. and Tardaguila, I., Varona, P., Rodriguez A., Bieniawski, Z.T., 2014. Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System. World Tunnel Congress 2014, May 9th to 15th 2014, Iguassu Falls Brazil.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul (Yayınlanmamış).
- Dearman W.R., 1981. Engineering Geology of Carbonate Rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, Genel Report, Session 1, United Kingdom, 24, 3-17.
- Deere, D.U., 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposed, Rock Mech. Rock Eng., 1, 17-22.
- Evcimen, Ö., 2011. İkizdere Plütonu'nun (KD-Türkiye) U-Pb Jeokronolojisi, Petrolojisi ve Jeodinamik Önemi, Yüksek Lisans Tezi, GU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, MMLS Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gedikoğlu, A., 1970. Etude Geologique De La Region De Gököy (ProvinceD'Ordu-Turquie), Phd Thesis, Faculte Des Sciences DE l'Universite De Grenoble.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, KTÜ, Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The Main Lines of Geotectonic Development in The East Pontids in The Mesozoic Era, Geocome-I, 555-580.
- Göktan, R. M. ve Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to The Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method With Particular Reference to Rock Machineability,

- International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. & Geomechanics, Abstract, 30, 3, 321-322.
- Grimstad, E., ve Barton, N., 1993. Updating The Q-System for NMT. Proc. Int. Symp. On Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association, 44-66.
- Güven, İ.H., 1993, Doğu Pontidlerin 1/25 000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu, MTA, (Ankara) Yayınlanmamış.
- Haramy, K. Y. ve De Marco, M. L., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing, 26th U.S. Symp. On Rock Mechanics, 26-28 June, Rapid City, 549-555.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. ve Corkum, B., 2002. Hoek-Brown Failure Criterion, 2002 Edition. Proc. 5th North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, 267-273.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, USA.
- Hudson, J. A., 1989. Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practise, Butterworths, 72.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering Geological Maps, The UNESCO Press, 15, 78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Comission On Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods, Rock Characterization, Testing and Monitoring, E. T. Brown (Ed.), Pergamon Press, London, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.
- Kanık, M., 2015. Maçka (Trabzon) Tüneli Destek Sistemlerinin Görgül ve Sayısal Analizi, Doktora Tezi, FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kaya, A., 2008. Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli Sol Tüp Giriş Portalının Jeoteknik Açından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) Tünel Güzergahının ve Çevresinin Jeoteknik Açından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan, Z., 2006. Torul (Gümüşhane) Volkaniklerinin Petrografik ve Pctrolojik Özellikleri (KD Türkiye); Fraksiyoncl Kristallenme ve Magma Karışımına İlişkin Bulgular, Türkiye Jeoloji Bülteni, Ankara, 49-1.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, Ankara, No: 66, 20-34.
- Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul, 520.

- KGM, 1997. NATM Uygulamalı Yer Altı Tünel İşleri Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kökçüoğlu, H., 2006. Sonlu Elemanlar Metodu İle Tünel Modellemesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kurt, İ., Özkan, M., Karlı, Ş., Topçu, T., 2006, Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeodinamik ve Metalojenik Evrimi: MTA Rapor No: 10875 (Yayımlanmamış).
- Lowson, Alex and Bieniawski, Z.T. 2013. Critical assessment of RMR-based tunnel design Practices: A practical Engineer's Approach. In: Proc. RETC 2013. Washington, DC: Society of Mining Engineers, p. 180-198.
- NACS (North American Commission On Stratigraphy), 1983. The American Association Of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841-875.
- ÖNORM B2203, 1994. UntertagebauarbeitenWerkvertragsnorm, Österreichischer Normen, Österreich.
- Özsayar, T., 1971. Paläontologie Und Geologie Des Gebietes Östlich Trabzon (Anatolien), Gieben, Geol. Schrift., 165-183, Gieben.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoglu, A., 1981. Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ, Yerbilimleri Dergisi, Cilt 1, 65-114, Trabzon.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi- Mineralojisi- Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv., Fen Bil. Enstitüsü, Konya.
- Palmström, A., 1982. The Volumetric Joint Count- A Useful and Simple Measure of The Degree of Jointing, 4th Int. Congress IAEG, New Delhi, 221-228.
- Palmström, A., 1985. Application of The Volumetric Joint Count As A Measure of Rock Mass Jointing, Proc. Int. Symp. On Fundamentals of Rock Joints, Sweden, 103- 110.
- Palmström, A., 1996. RMI-A System for Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering, Journal of Rock Mechanics and Tunneling, Technique, India, L-2, 69-108.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 326-377.
- Poole, R. W. ve Farmer, I.W., 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining., 63-71.
- Priest, S. D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity Spacing in Rock. International Journal Of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 135-148.
- Rabcewicz, L., 1964. "The New Austrian Tunneling Method", Water Power, 453-457.
- Sawa ve Altun, Y., 1971, Doğu Karadeniz bölgesindeki tabakalı ve stockwork tip bakır, kurşun, çinko yatakları: Maden Tetkik Arama Enst. Etüt Dairesi Rap., 1510 (yayımlanmamış), Ankara.
- Schultz-Westrum, H.H., 1958, Giresun vilâyeti Espiye sahasının jeolojik ve yatakbilimi bakımından etüdü: Maden Tetkik Arama Enst. Rap., 3090 (yayımlanmamış), Ankara.

- Schultz-Westrum, 1960, Karagöl yanı ile Eseli yataklarını detaylı tetkik hakkında rapor Görele kazası, Giresun: Maden Tetkik Arama Enst. Rap., 2922 (yayımlanmamış), Ankara.
- Schultz-Westrum, H. H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu'da Doğu Pontus Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları İle İlgili Mütaalalar, MTA Dergisi, 57, 63-71.
- Şarman, E., 1975. İsrail ve Eseli Güneyindeki G41-b1, b2, b3, b4, G42-a1, a4 Paftalarına Ait Sahanın 1/10000 Ölçekli Jeolojik Etüd Raporu, MTA Maden Etüd Rap., No: 1259, Ankara.
- TSE, 2009. TS 699, "Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 2013. TS EN 1926, "Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of The Gümüşhane Region, Doktora Tezi, University College, London.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, 72.
- Türk-Yugoslav Ekibi, 1968, Espiye-Bulancak bölgesinin 1:10 000 lik jeolojik raporu: Maden Tetkik Arama Enst. Rap., 4602 (yayımlanmamış), Ankara.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu C., Binal, A., 2011. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB, Ankara.
- Vardar, M., 1979. Yeraltı Kaya Yapıları Mekaniğinde Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin Ana İlkeleri, Ankrajlar ve Boyutlandırılması, DSİ. Mühendislik Jeolojisi Toplantısı, 6, İstanbul.
- Yalçınlar, İ., 1952. İspir-Pazar-Arhavi ve Yusufeli Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, MTA, Rap. No: 2022, Ankara.
- Yıldız, B., 1983. Doğu Karadeniz Bölgesinde Cu-Pb-Zn Cevherleşmelerinin Uzay Görüntülerinden Saptanan Çeşitli Yapılar ile İlişkisi: MTA Enst. Derg. 99-100, 93.
- Yılmaz, S. ve Boztuğ, D., 1996. Space and Time Relations of Three Plutonic Phases in The Eastern Pontides, Turkey, International Geology Review, 38, 935– 956.
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical Study of The Gümüşhane Granite, İst. Üniv., Fen. Fak., Mec. Seri B, 39, 3–4, 173–203.
- Youash, Y. Y., 1970. Dynamic Physical Properties of Rock, Proc. 2nd Cong, Int. Soc, Rock, Mech., Belgrade, Part -1, Theory and Proucudure, 171 -183.
- Zankl, H., 1961. Magmatismus Und Bauplan Des Ostpontischen Gebirges Im Querprofil Des Harşit-Tales, NE Anatolien, Geol. Rdsch., 51, 218-239.
- Zankl, H., 1962. Magmatismus Und Bauplan Des Ostpontischen Gebirges Im Querprofil Des Harsit-Tales, Bayerische, Akademie Der Wissenschaften, Abhandlungen, Neue Folge, München, Heft 109, 61-91.

6. EK TABLOLAR

EK TABLO-1

	ÖRNEK NO	Örnek Kütle M-(gr)	Kuru Örnek Kütleli Mk-(gr)	Doygun Örnek Kütleli Md-(gr)	Hacim V (cm ³)	Boşluk Hacmi Vb (cm ³)	Porozite $n=Vb/V$ (%)	Boşluk Oranı $e=n/(1-n)$ (%)
A JEOTEKNİK BİRİMİ	1	333.370	332.390	334.120	125.000	1.125	0.900	9.022
	2	331.250	329.620	331.520	125.000	1.126	0.901	9.106
	3	330.120	329.050	330.760	125.000	1.126	0.901	9.124
	4	334.010	333.090	335.140	125.000	1.125	0.900	9.001
	5	332.130	330.870	332.750	125.000	1.125	0.900	9.068
Ortalama							0.900	9.064
B JEOTEKNİK BİRİMİ	1	320.050	318.540	321.250	125.000	1.129	0.903	9.304
	2	312.520	311.260	313.770	125.000	1.131	0.905	9.545
	3	315.080	313.530	316.290	125.000	1.131	0.904	9.469
	4	318.250	317.030	319.560	125.000	1.129	0.903	9.353
	5	321.530	319.060	322.760	125.000	1.128	0.903	9.287
	6	320.040	318.430	321.510	125.000	1.129	0.903	9.308
Ortalama							0.904	9.378

	ÖRNEK NO	Örnek Kütle M-(gr)	Kuru Örnek Kütleli Mk-(gr)	Su İçeriği $w=(M-Mk)/Mk$ - (%)
A JEOTEKNİK BİRİMİ	1	333.370	332.390	0.294
	2	331.250	329.620	0.494
	3	330.120	329.050	0.325
	4	334.010	333.090	0.276
	5	332.130	330.870	0.380
Ortalama				0.354
B JEOTEKNİK BİRİMİ	1	320.050	318.540	0.474
	2	312.520	311.260	0.405
	3	315.080	313.530	0.494
	4	318.250	317.030	0.385
	5	321.530	319.060	0.774
	6	320.040	318.430	0.506
Ortalama				0.506

	ÖRNEK NO	Örnek Kütle M-(gr)	Kuru Örnek Kütleli Mk-(gr)	Doygun Örnek Kütleli Md-(gr)	Hacim V (cm ³)	Hacimce Su Emme Oranı M _v = (Md-Mk)/V (%)
A JEOTEKNİK BİRİMİ	1	333.370	332.390	334.120	125.000	1.384
	2	331.250	329.620	331.520	125.000	1.520
	3	330.120	329.050	330.760	125.000	1.368
	4	334.010	333.090	335.140	125.000	1.640
	5	332.130	330.870	332.750	125.000	1.504
Ortalama						1.483
B JEOTEKNİK BİRİMİ	1	320.050	318.540	321.250	125.000	2.168
	2	312.520	311.260	313.770	125.000	2.008
	3	315.080	313.530	316.290	125.000	2.208
	4	318.250	317.030	319.560	125.000	2.024
	5	321.530	319.060	322.760	125.000	2.960
	6	320.040	318.430	321.510	125.000	2.464
Ortalama						2.305

EK TABLO-2

	ÖRNEK NO	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Kesit alanı A (cm ²)	Yenilme yükü F (kg)	Tek eksenli basınç dayanımı $\sigma_c = (F/A)$	
						kg/cm ²	Mpa
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ	1	50	50	25	18850.500	754.020	75.402
	2	50	50	25	28519.250	1140.770	114.077
	3	50	50	25	60314.250	2412.570	241.257
	4	50	50	25	47692.250	1907.690	190.769
	5	50	50	25	29696.250	1187.850	118.785
Ortalama						1480.580	148.058
B1 JEOTEKNİK BİRİMİ	1	50	50	25	33366.500	1334.660	133.466
	2	50	50	25	58517.000	2340.680	234.068
	3	50	50	25	45323.500	1812.940	181.294
	4	50	50	25	48352.000	1934.080	193.408
	5	50	50	25	18377.750	735.110	73.511
	6	50	50	25	23393.75	935.75	93.575
Ortalama						1515.537	151.554

ÖZGEÇMİŞ

Baki Ömer FURAT 1990 yılında İstanbul Bakırköy’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini ise İstanbulda’da tamamladı. 2008 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

