

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KONAKÖNÜ (ARAKLI-TRABZON) TÜNELİ SOL TÜP GİRİŞ PORTALININ  
JEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Müh. Ayberk KAYA**

**HAZİRAN 2008  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KONAKÖNÜ (ARAKLI-TRABZON) TÜNELİ SOL TÜP GİRİŞ PORTALININ  
JEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

**Jeoloji Müh. Ayberk KAYA**

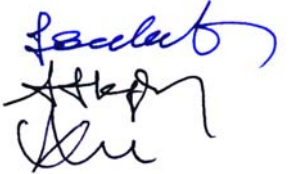
**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22. 05. 2008  
Tezin Savunma Tarihi : 20. 06. 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fikri BULUT**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ali Osman YILMAZ**



**Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2008**

## ÖNSÖZ

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

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Prof. Dr. Fikri BULUT'a şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans tez izleme komitesinde yer alarak çalışmalarına destek veren Doç Dr. Ali Osman YILMAZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a, Yrd. Doç. Dr. Şener CERYAN'a ve Jeoloji Yük. Müh. Ahmet ŞİRİN'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında görüş ve önerileri ile destek olan Konakönü Tüneli şantiye şefi Jeoloji Müh. Ali ÜNLÜ'ye, diğer mühendislere ve şantiye ekibine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezinin değişik aşamalarında katkıda bulunan, görüş ve önerileri ile destek olan Prof. Dr. Mehmet ARSLAN'a, Dr. İrfan TEMİZEL'e, Dr. Emel ABDİOĞLU'na ve Dr. Arzu Fırat ERSOY'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz teknik elemanlarından Yakup YAVUZ, Murat KAYIKÇI ve Erdoğan TİMURKAYNAK'a, içtenlikle teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakârlığı için anneme ve aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayberk KAYA  
Trabzon 2008

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Coğrafi Durum .....	2
1.2.1. Çalışma Alanının Konumu .....	2
1.2.2. Yerleşim ve Ulaşım.....	3
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü .....	3
1.2.4. Akarsular.....	4
1.3. Literatür Çalışması.....	4
1.3.1. Doğu Karadeniz Bölümü'nün Genel Jeolojisi .....	4
1.3.2. Önceki Genel Jeoloji Çalışmaları .....	6
1.3.3. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları .....	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Giriş.....	11
2.2. Tünel İçi ve Çevresinin Jeoloji Haritalarının Hazırlanması .....	11
2.3. Petrografik İncelemeler.....	11
2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları.....	11
2.4.1. Fiziksel Özellikler .....	12
2.4.1.1. İndeks Özellikler .....	12
2.4.1.2. Schmidt Çekici Geri Tepme Sayısı.....	12
2.4.1.3. Elastik Dalganın Boyuna Yayılma Hızı.....	14
2.4.1.4. Elastik Dalganın Enine Yayılma Hızı.....	14

2.4.2.	Mekanik Özellikler .....	14
2.4.2.1.	Nokta Yük Dayanım İndeksi .....	14
2.4.2.2.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	15
2.4.3.	Elastik Özellikler .....	16
2.4.3.1	Dinamik Elastisite Modülü .....	16
2.4.3.2	Dinamik Poisson Oranı .....	17
2.4.4.	Hat Etüdü Çalışmaları.....	17
2.4.5.	Süreksizliklerin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	18
2.4.5.1.	Süreksizlik Takımı Kavramı .....	18
2.4.5.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı ve Sıklığı .....	18
2.4.5.3.	Süreksizlik Devamlılığı .....	19
2.4.5.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgallılığı .....	20
2.4.5.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği.....	22
2.4.5.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	22
2.4.5.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu .....	24
2.4.5.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı .....	26
2.4.5.9.	Kaya Kalite Göstergesi (RQD) .....	27
2.4.6.	Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	28
2.4.6.1.	Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi.....	28
2.4.6.2.	RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi .....	36
2.4.6.2.1.	RMR Sınıflama Sistemi'nin Uygulama Alanları.....	40
2.4.6.2.1.1.	Destek Seçimi .....	40
2.4.6.2.1.2.	Desteksiz Durma Süresi.....	41
2.4.6.2.1.3.	Destek Basıncı .....	41
2.4.6.2.1.4.	Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısının Kestirimi.....	42
2.4.6.2.1.5.	Kaya Kütlelerinin Deformasyon Modülünün Tayini.....	42
2.4.6.3.	NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi .....	43
2.4.7.	Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri.....	50
2.4.8.	Gerilme-Deformasyon Analizleri .....	52
3.	BULGULAR.....	54
3.1.	Konakönü Tüneli Çevresinin Genel Jeolojisi .....	54
3.1.1.	Kabaköy Formasyonu .....	57

3.1.2.	Beşirli Formasyonu.....	60
3.1.3.	Alüvyonlar ve Yamaç Molozları .....	60
3.2.	Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması.....	61
3.3.	Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Malzemelerinin Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri.....	66
3.3.1.	Fiziksel Özellikler.....	66
3.3.2.	Mekanik Özellikleri .....	67
3.3.3.	Elastik Özellikler .....	67
3.4.	Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri .....	68
3.4.1.	Süreksizlik Özellikleri .....	68
3.4.1.1.	Süreksizlik Takımları.....	68
3.4.1.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	71
3.4.1.3.	Süreksizliklerin Devamlılığı .....	72
3.4.1.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallılığı .....	74
3.4.1.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği .....	75
3.4.1.6.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı.....	79
3.4.1.7.	Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu .....	79
3.4.1.8.	Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı .....	79
3.4.1.9.	Kaya Kalite Göstergesi (% RQD).....	80
3.5.	Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	82
3.5.1.	Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi.....	82
3.5.2.	RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi .....	85
3.5.3.	NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi .....	86
3.6.	Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri.....	87
3.7.	Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Gerilme Deformasyon Analizleri.....	89
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
5.	KAYNAKLAR .....	100
6.	EKLER.....	109

## ÖZET

Bu çalışmada, Karadeniz Devlet Sahil Yolu'nun 79+000 – 80+882 kilometreleri arasında inşa edilmekte olan Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli'nin sol tüp giriş portalı jeoteknik açıdan incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, tünel güzergâhını içine alan bölgenin, 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası yapılmıştır. Sol tüp giriş portalının Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'na ait ayrıışmış andezitik ve bazaltik tuf, aglomera ve bazalt içinde açıldığı belirlenmiştir.

Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesinin fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için alınan bloklardan hazırlanan karotlar ve küp şekilli örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla tünel içi hat etüdü çalışmaları yapılmıştır.

Tünel içi hat etüdü çalışmaları ve kayaçlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Q, RMR ve NATM kaya kütle sınıflama sistemlerine göre, sol tüp giriş portalının içinden geçeceği kaya kütleleri sınıflandırılmış ve uygun destek elemanları belirlenmiştir. Kaya kütlelerinin dayanım özellikleri de Hoek-Brown ampirik yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri ve laboratuvar verilerinden elde edilen sonuçların analitik değerlendirmesi ile tünel kazısı sırasında ortaya çıkacak olan gerilme ve deformasyonların analizleri yapılarak, destek-kaya etkileşimleri ile destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar belirlenmiştir.

Bütün bu çalışmalardan yararlanılarak Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalı dört ayrı jeoteknik birime ayrılarak her birimin ayrı ayrı jeoteknik tasarımı yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaya Kütle Sınıflaması, NATM, Jeoteknik Tasarım

## SUMMARY

### **The Geotechnical Investigation of the Left Tube's Entrance Portal of the Konakönü (Araklı-Trabzon) Tunnel**

In this study, the geotechnical investigation of the left tube's entrance portal of the Konakönü (Araklı-Trabzon) Tunnel, between 79+000 – 80+882 kilometers of the Blacksea Coast Highway, were carried out.

In the scope of this study, 1/25.000 scaled geological map of the surrounding area and 1/100 scaled geological map of tunnel were done. It was determined that left tube's entrance portal of the tunnel excavated through weathered andesitic and basaltic tuff, agglomerate and basalt which are belong to Eocene aged Kabaköy Formation.

In the laboratory studies, physical, mechanical and elastical properties of intact rocks in geotechnical units were determined by using the cores and cubic samples extracted from rock blocks. In the tunnel, scan-line surveys were performed to determine properties of discontinuities.

Based on the scan-line surveys and the laboratory data, the rock mass of the left tube's entrance portal of the tunnel was classified according to Q, RMR and NATM rock mass classification systems, and proper support elements were determined. The rock mass strength was calculated by means of Hoek-Brown empirical approach.

According to analytic evaluation of the rock mass classification systems and the results obtained from the laboratory studies, stress-deformation analyses were done to find out support-rock interactions and deformations on support elements.

Using all of the obtained data, the left tube's entrance portal of the Konakönü Tunnel was grouped into four geotechnical units, and geotechnical designs for each geotechnical units were performed.

**Key Words:** Rock Mass Classification, NATM, Geotechnical Design



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası ..... 2
Şekil 1.2.	Ortalama aylık sıcaklık değerleri ..... 3
Şekil 1.3.	Ortalama aylık yağış değerleri ..... 3
Şekil 2.1.	Hat etüdü ile süreksizlik ara uzaklığı tayini (ISRM, 1981) ..... 19
Şekil 2.2.	Tünelde süreksizliklerin (J1, J2) devamlılığını gösteren blok diyagram (ISRM, 1981) ..... 20
Şekil 2.3.	Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri aralığı (Barton ve Choubey, 1977) ..... 21
Şekil 2.4.	Süreksizliklerin iki yüzeyi arasındaki açıklığı tanımlayan blok diyagramlar (ISRM, 1981) ..... 22
Şekil 2.5.	Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması için önerilen ve sahada yapılan Schmidt deneyini esas alan yöntem (Gökçeoğlu, 1997) ..... 24
Şekil 2.6.	Kaya kütlelerinde süreksizlikler boyunca su akışı ve olası etkileri (Hudson,1989) ..... 25
Şekil 2.7.	Q sisteminde De ve Q parametreleri arasındaki ilişki (Barton vd., 1974) ..... 34
Şekil 2.8.	Q sistemi için modifiye edilmiş tünel destek sistemi abağı (Grimstad ve Barton, 1993) ..... 34
Şekil 2.9.	RMR kaya kütleleri sınıflama sisteminde RMR puanı hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Bieniawski, 1989) ..... 37
Şekil 2.10.	RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanlama grafikleri (Bieniawski, 1989) ..... 38
Şekil 2.11.	RMR sınıflama sistemine göre yeraltındaki boşlukların desteksiz kalabilme süresini tahmin abağı (Bieniawski, 1989) ..... 41
Şekil 2.12.	NATM, Q ve RMR değerlerinin eşleştirilmesi (KGM, 1997) ..... 49
Şekil 2.13.	Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi abağının “Sağlam veya Masif” kaya grubu eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002) ..... 51
Şekil 3.1.	Konakönü Tüneli çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit ..... 54
Şekil 3.2.	Konakönü Tüneli çevresine ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ..... 55
Şekil 3.3.	Konakönü Tüneli çevresine ait 1/25000 ölçekli A-A’ ve B-B’ jeolojik kesitleri ..... 56

Şekil 3.4.	Kabaköy Formasyonu'nuna ait kayaçların mikroskobik görünümleri; a) açık yeşil renkli ayrılmış tüfler (T.N.), b) açık gri renkli ayrılmış tüfler (T.N.), c) aglomeraların çakıl ve bağlayıcıları (T.N), d) bazaltlar (Ç.N), e) açık yeşil renkli ayrılmış tüfleri kesen bazalt daykı (Ç.N.), f) bazaltları kesen bazalt daykı (Ç.N.) (B: biyotit, Kçp: kayaç parçası, Oj: ojit, Ol: olivin, Pl: plajioklas) .....	59
Şekil 3.5.	78+986 km'de A1 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (a), 79+015 km'de A2 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (b), 79+038 km'de A3 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (c), 79+071 km'de A4 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (d).....	62
Şekil 3.6.	Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'na ait volkanik kayaçlar içinde açılan Konakönü Tüneli sol tüpüne ait sondaj verilerine göre çizilen jeolojik kesit .....	63
Şekil 3.7.	Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1 ve A2 jeoteknik birimlerine ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.....	64
Şekil 3.8.	Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A3 ve A4 jeoteknik birimlerine ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.....	65
Şekil 3.9.	A1 ve A2 jeoteknik birimlerine ait çatlak kontur diyagramları (alt yarı küre).....	69
Şekil 3.10.	A3 ve A4 jeoteknik birimlerine ait çatlak kontur diyagramları (alt yarı küre).....	70
Şekil 3.11.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik ara uzaklığı histogramları .....	72
Şekil 3.12.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik devamlılığı histogramları .....	73
Şekil 3.13.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzeylerine ait JRC histogramları .....	74
Şekil 3.14.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik açıklığı histogramları .....	76
Şekil 3.15.	Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1 ve A2 jeoteknik birimlerindeki süreksizlik dolgularına ait yönlü XRD difraktogramları .....	77
Şekil 3.16.	Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A3 ve A4 jeoteknik birimlerindeki süreksizlik dolgularına ait yönlü XRD difraktogramları .....	78
Şekil 3.17.	Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1, A2, A3 ve A4 jeoteknik birimine ait kayaçlar elde edilen verilere göre çizilen ( $\sigma_1$ - $\sigma_3$ ) grafikleri .....	88

- Şekil 3.18. A1 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)..... 91
- Şekil 3.19. A2 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)..... 92
- Şekil 3.20. A3 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)..... 93
- Şekil 3.21. A4 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)..... 94

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Konakönü Tünel güzergâhı boyunca açılan sondaj kuyularına ait veriler (JFZ Mühendislik, 2002).....	9
Tablo 1.2. Konakönü Tüneli için tasarım aşamasında önerilen kaya kalite ve destek sınıflamaları (Haytek Mühendislik, 2004).....	10
Tablo 2.1. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri .....	13
Tablo 2.2. Schmidt çekici geri tepeme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutulma durumuna göre düzeltme değerleri (Barton ve Choubey, 1977).....	13
Tablo 2.3. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	19
Tablo 2.4. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	20
Tablo 2.5. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981).....	22
Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).....	23
Tablo 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması (ISRM, 1981) .....	23
Tablo 2.8. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (Gökçeoğlu, 1997) .....	24
Tablo 2.9. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	25
Tablo 2.10. Dolgulu ve dolgunsuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981) .....	25
Tablo 2.11. Hacimsel eklem sayısına ( $J_v$ ) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981).....	26
Tablo 2.12. Güncel $J_v$ sınıflaması (Palmström, 1982 ve 1996).....	27
Tablo 2.13. RQD sınıflaması (Deere, 1964) .....	27
Tablo 2.14. Kaya kalite göstergesi – RQD (Deere, 1964) .....	29
Tablo 2.15. Eklem takım sayısı - $J_n$ (Barton vd., 1974) .....	29
Tablo 2.16. Eklem pürüzlülük sayısı - $J_r$ (Barton vd., 1974).....	29
Tablo 2.17. Eklem yüzeyi ayrışma sayısı - $J_a$ (Barton vd., 1974) .....	30
Tablo 2.18. Eklem suyu azaltma faktörü - $J_w$ (Barton vd., 1974) .....	30
Tablo 2.19. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton vd., 1974) .....	31

Tablo 2.20.	Kaya kütlesi niteliğine göre kayaçların sınıflandırılması (Barton vd., 1974) .....	31
Tablo 2.21.	Değişik yeraltı kazıları için orjinal (Barton vd., 1974) ve güncelleştirilmiş (Barton ve Grimstad, 1994) kazı destek oranları (ESR).....	32
Tablo 2.22.	Q kaya kütlesi niteliğine göre duvar faktörünün ( $Q_w$ ) belirlenmesi (Grimstad ve Barton, 1993) .....	35
Tablo 2.23.	RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989).....	38
Tablo 2.24.	RMR sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi (Bieniawski, 1989).....	39
Tablo 2.25.	RMR sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989).....	39
Tablo 2.26.	Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları (Kendorski vd., 1983).....	39
Tablo 2.27.	RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989).....	40
Tablo 2.28.	RMR sistemine göre tünel kazıları ve destekleri için kılavuz (Bieniawski, 1989).....	40
Tablo 2.29.	RMR kaya kütlesi sınıflamasının anlamı (Bieniawski, 1989).....	42
Tablo 2.30.	NATM'a göre kaya sınıflandırması (ÖNORM B2203, 1994).....	48
Tablo 3.1.	Jeoteknik birimlere ait kayaç örneklerinin fiziksel özellikleri.....	66
Tablo 3.2.	Jeoteknik birimlere ait kayaç örneklerinin ortalama nokta yük dayanım indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı .....	67
Tablo 3.3.	Jeoteknik birimlere ait kayaç örneklerinin ortalama dinamik elastisite modülleri ve dinamik poisson oranları .....	68
Tablo 3.4.	Jeoteknik birimlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	71
Tablo 3.5.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlere ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	73
Tablo 3.6.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait ortalama JRC, genlik ve dalgalılık açısı değerleri.....	75
Tablo 3.7.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	76
Tablo 3.8.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin yüzeylerinin bozunma indeksi değerleri.....	79
Tablo 3.9.	Jeoteknik birimler için blok boyutunu ifade eden hacimsel eklem sayısı değerleri ve tanımlama ölçütleri .....	80

Tablo 3.10.	Jeoteknik birimler için tünel içi ölçüleriyle hesaplanan RQD değerleri .....	80
Tablo 3.11.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin özelliklerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	81
Tablo 3.12.	Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	83
Tablo 3.13.	Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri.....	84
Tablo 3.14.	Jeoteknik birimlere ait Q ve RMR değerleri arasındaki ilişki .....	84
Tablo 3.15.	Jeoteknik birimlerin RMR kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	85
Tablo 3.16.	RMR değerlerine karşılık gelen Q değerleri kullanılarak jeoteknik birimler için önerilen destek türleri.....	86
Tablo 3.17.	Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri.....	87
Tablo 3.18.	Jeoteknik birimlere ait kazı sonrası ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve yer değiştirme değerleri .....	90
Ek Tablo 1.	Jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait özgül ağırlık deney sonuçları.....	109
Ek Tablo 2.	Jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait su muhtevası (doğal su içeriği) deney sonuçları .....	110
Ek Tablo 3.	Jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri .....	111
Ek Tablo 4.	Jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait porozite ve boşluk oranı değerleri .....	112
Ek Tablo 5.	A1 ve A2 jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri .....	113
Ek Tablo 6.	A3 ve A4 jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait nokta yükü dayanım indeksi değerleri .....	114
Ek Tablo 7.	Jeoteknik birimlerdeki kayaç malzemesine ait tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları .....	115

## SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Kaya kütlesinin jeomekanik büyüklüklerine bağlı ampirik büyüklük
A	: Örneğin en kesit alanı
B	: Kazı genişliği
b	: Prizmatik örneğin enine kesitinin boyutu
$B_{max}$	: En büyük desteksiz açıklık
d	: Örnek çapı
D	: Örselenme faktörü
$D_e$	: Eş değer boyut
$E_d$	: Dinamik elastisite modülü
$E_M$	: Kaya kütlesinin deformasyon modülü
ESR	: Kazı destek oranı
f	: Boyuna titreşim frekansı
F	: Boyut düzeltme faktörü
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
H	: Kazı yüksekliği
Ib	: Blok boyutu indeksi
$I_s$	: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi
$I_{s(50)}$	: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi
Ja	: Eklem yüzeyi bozunma değeri
JCS	: Süreksizlik yüzeyinin dayanımı
Jli	: Süreksizlik izi uzunluğu
Jn	: Eklem takımı sayısı
Jr	: Eklem pürüzlülük değeri
JRC	: Süreksizlik yüzeylerine ait pürüzlülük değeri
Jsi	: Görünür ara uzaklık
$J_v$	: 1 m <sup>3</sup> kaya bloğundaki çatlak sayısı
Jw	: Eklem suyu azaltma faktörü
Kkop	: Süreksizlik izi hattı üzerindeki kaya köprüsü uzunluğu
l	: Boyu 10 cm ve daha büyük olan karot parçalarının boyları
L	: Bulon uzunluğu
L	: Örnek boyu

$L_n$	: 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
$N_n$	: Gözlenen her bir eklem takımı için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizliklerin sayısı
$P$	: Destek basıncı
$P_{duvar}$	: Kalıcı duvar destek basıncı
$P_{tavan}$	: Kalıcı tavan destek basıncı
$Q$	: Tünel açılan kayanın kaya kütle niteliği
$Q_w$	: Duvar faktörü
$R^*$	: Ortalama Schmidt sertlik çekici geri tepme sayısı
$R_f$	: Taze süreksizlik yüzeyinin Schmidt çekici geri tepme sayısı
$R_i$	: Ölçülen geri tepme sayısı
RMR	: Kaya kütle puanlaması
RQD	: Kaya kalite göstergesi
$R_w$	: Bozunmuş süreksizlik yüzeyinin Schmidt çekici geri tepme sayısı
$S$	: GSI'ye bağlı ampirik bir büyüklük
$S_1, S_2, S_3$	: Her eklem takımı için hesaplanmış ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri
SRF	: Gerilim azaltma faktörü
$S_s$	: Standart sapma değeri
$S_{so}$	: Standart sapma oranı
$t$	: Elastik dalganın örneği kat etme zamanı
$\nu_{din}$	: Dinamik poisson oranı
$V_p$	: Elastik dalganın boyuna yayılma hızı
$V_s$	: Elastik dalganın enine yayılma hızı
$W$	: Örnek ağırlığı
$W_c$	: Bozunma katsayısı
$X$	: Ortalama Schmidt çekici geri tepme değeri
XRD	: X ışınları difraktogramı
$\gamma$	: Kayacın birim hacim ağırlığı
$\delta_1$	: Süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı
$\lambda$	: 1m uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısı
$\sigma_1$	: En büyük asal gerilme



- $\sigma_3$  : En küçük asal gerilme
- $\sigma_c$  : Taze ayrışmamış kayacın tek eksenli basınç dayanımı
- $\sigma_{ci}$  : Kaya kütlesi için tek eksenli basınç dayanımı
- $\sigma_t$  : Taze ayrışmamış kayacın çekme dayanımı
- $\beta_j$  : Süreksizlik eğim açısı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Tüneller inşa edilirken ilk önce arazi çalışmaları ile uygun yol güzergâhı tespit edilerek bu güzergâh boyunca belirli aralıklarla karotlu sondajlar yapılır. Yapılan bu karotlu sondajlar yardımıyla tünel güzergâhında yer alan jeolojik birimlerin neler olduğu ve bu birimlerin mühendislik özelliklerinin nasıl değiştiği yerinde ve laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenmeye çalışılır. Arazi çalışmaları kapsamında yapılan karotlu sondajlardan elde edilen veriler derlenerek tünelin açılması sırasında karşılaşılabilecek sorunların neler olabileceği konusunda kabaca bir fikir sahibi olunur. Bu veriler yardımıyla tünel inşası için proje kapsamında tasarım amaçlı bir jeoteknik rapor hazırlanır. Tünel inşası için bir yol gösterici olarak kullanılan bu jeoteknik rapor, yapım aşamasına geçildiğinde ise yeterli olmamaktadır. Çünkü bu karotlu sondajlar tünel güzergâhı boyunca belirli aralıkla yapıldığından sadece noktasal bir fikir vermekte, iki sondaj arasında kalan jeolojik birimlerin ve bunların mühendislik özelliklerinin neler olduğu konusunda ise yeterli bir bilgi verememektedir. Sadece bu sondajlardan elde edilecek verilere göre tünel kazısına başlanırsa, eksik veriler yüzünden çeşitli sorunlarla karşılaşılması olasıdır. Bu nedenle, kazı sırasında tünel içinin ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanırken, her bir jeoteknik birime ait kaya kütlesi sınıflamasında kullanılacak olan parametreler dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Böylece yaşanacak sorunlar doğru verilerin elde edilip değerlendirilmesi ile en aza indirgenmiş, tünel için en uygun ve en ekonomik destek türü belirlenmiş olacaktır.

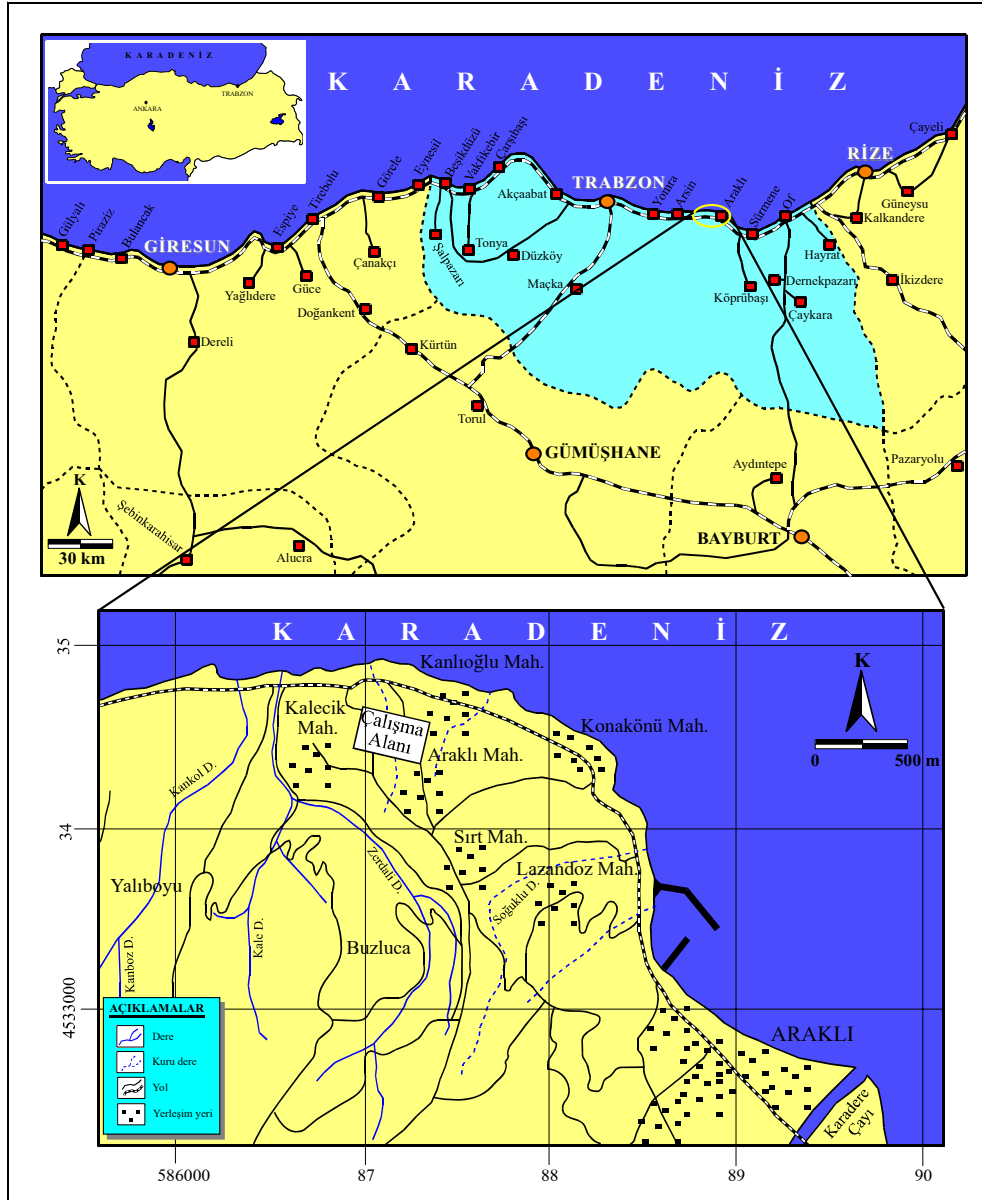
Bu çalışmada, Karadeniz Devlet Sahil Yolu Projesi kapsamında Çarşıbaşı-Araklı kesimi arasında inşa edilen Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalında, tünelcilikte yaygın olarak uygulanan Q (Barton ve Grimstad, 1994), RMR (Bieniawski, 1989) ve NATM (Rabcewicz vd., 1964) kaya kütlesi sınıflama sistemleri kullanılarak her bir jeoteknik birim için uygun destek türü belirlenmiştir. Jeoteknik birimleri oluşturan kaya kütlelerinin dayanım parametrelerini belirlemek için Hoek-Brown (Hoek vd., 2002) dayanım ölçütünden yararlanılmıştır. Elde edilen bu parametrelerle kazı kesiti simule edilerek kazı çevresinde destekleme öncesinde ve sonrasında oluşacak plastik yenilmeler ile toplam yer değiştirme miktarı “Phase<sup>2</sup>” sonlu elemanlar programı ile incelenmiştir.

## 1.2. Coğrafi Durum

### 1.2.1. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer almakta olup, 1/25000 ölçekli Trabzon G44-a1 paftasının sınırları içinde kalmaktadır.

Konakönü Tüneli, Karadeniz Devlet Sahil Yolu'nun Çarşıbaşı-Araklı kesiminin Km: 79+000 – Km: 80+882'leri arasında inşa edilmekte olup, Araklı ilçesinin yaklaşık 3 km batısında yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

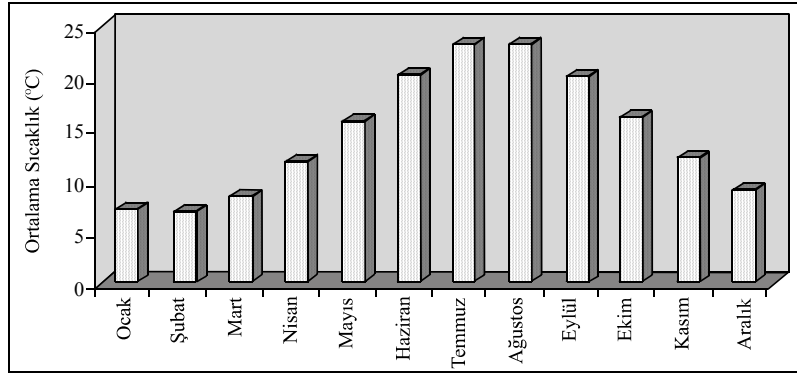
### 1.2.2. Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanına ulaşım, yapımı bitmek üzere olan Karadeniz Devlet Sahil Yolu ile sağlanmaktadır. Yapımı devam eden Konakönü Tüneli'nin inşaatı sebebiyle Rize iline ulaşım için Araklı-Konakönü Mahallesi'nden geçen eski asfalt yol kullanılmaktadır.

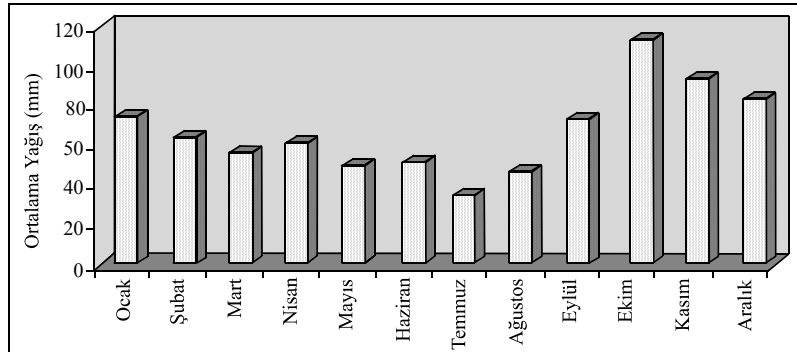
İnceleme alanındaki en önemli yerleşim birimleri Araklı ilçe merkezi ile Kalecik, Araklı, Sırt, Kanlıoğlu, Konakönü ve Lazandoz mahalleleridir.

### 1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında Doğu Karadeniz'e özgü ılıman bir iklim hakimdir (Şekil 1.2, Şekil 1.3). Kışlar ılık, yazlar ise sıcak olup, en çok yağış sonbahar ve kış aylarında izlenir. Temmuz-Ağustos aylarında sağanak yağışlar görülür. Yıllık ortalama yağış 798 mm, yıllık ortalama sıcaklık 15 °C'dir. En soğuk ay 7.2 °C ile Ocak, en sıcak ay ise 23.6 °C ile Ağustos ayıdır. Yıllık ortalama nispi nem 73.58 mm'dir. Hakim rüzgâr yönü KB'dır.



Şekil 1.2. Ortalama aylık sıcaklık değerleri (URL-1, 2004)



Şekil 1.3. Ortalama aylık yağış değerleri (URL-1, 2004)

Yörede ılıman bir iklimin hakim olması nedeniyle yoğun bir bitki örtüsü vardır. Bitki örtüsü olarak özellikle fındık ağaçları yoğun bir şekilde gözlenmekte olup, sarp yerlerde kızılâğaç ve kestane, yüksek kısımlarda ise gürgen ve çam ağaçları bulunmaktadır.

#### **1.2.4. Akarsular**

Çalışma alanı çevresinde K-G doğrultulu irili ufaklı birçok akarsu yer almaktadır. Bu akarsuların içinde en yüksek debili olan Karadere Çayı'dır. Diğerleri ise Çatma Dere, Kanboz Dere, Kankol Dere, Kale Dere, Zerdali Dere ve Soğuklu Dere'leridir. Bu dereler her mevsim yağan yağışlarla beslenmektedir.

### **1.3. Literatür Çalışması**

#### **1.3.1. Doğu Karadeniz Bölümü'nün Genel Jeolojisi**

Ketin (1966), tektonik üniteleri Türkiye'nin orojenik gelişimi esasına dayanarak kuzeyden güneye doğru Karadeniz Dağları, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört ana tektonik birliğe ayırmıştır. Bu tektonik birlikleri Ketin ve Canitez (1972) yeniden düzenleyerek, Karadeniz Dağları'nı "Doğu Karadeniz Dağları" ve "Batı Karadeniz Dağları" olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Doğu Karadeniz Dağları'ndaki Geç Kretase yaşlı kayaçlar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölümlere ayrılmıştır (Akın,1978; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981). Bektaş (1986), Doğu Karadeniz magmatik yayını farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına göre kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt zona ayırmıştır.

Doğu Karadeniz Dağları'nda temel teşkil ettikleri kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayaçlar kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda egemen olan bu kayaçlar (Zankl, 1961, 1962; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978), Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu'nda seyrek olarak görülürler (Türk-Japon Ekibi, 1985; Boynukalın, 1990). Temeli oluşturan metamorfik kayaçlar, Liyas öncesinde Paleozoyik yaşlı granitoidik kayaçlar tarafından kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975). Granitoidik kayaçlar büyük plütonik kütleler halinde Gümüşhane yöresinde ve

Gümüşhane-Köse arasında (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992), küçük mostralar halinde Giresun güneyinde metamorfik kayalarla birlikte görülmektedir (Schultz-Wetsrum, 1961).

Liyas yaşlı volkano-tortul kayalar, Gümüşhane bölgesinde Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelirler ve konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve volkanitlerden oluşmaktadırlar. Schultz-Westrum (1961) Giresun-Aksu civarında Liyas'tan başlayarak Erken Kretase sonuna kadar devam eden bazik volkanizmayı "Alt Bazik Seri" olarak isimlendirmişlerdir.

Malm- Erken Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşları, Liyas yaşlı volkanik kayalar üzerine uyumlu olarak gelmektedirler. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda sürekli bir şekilde görülmelerine rağmen, Kuzey Zon'da mercıklar ve olistrostromlar halinde bulunurlar. Plütonik kayalar Permo-Karbonifer'den Eosen sonuna kadar geniş bir yaş aralığına sahiptirler ve başlıca gabrodan granite kadar değişen türdeki bazik ve asidik bileşimli kayalardan oluşmuşlardır. Bu granitik plütonlar, Paleozoyik, Kretase ve Eosen olmak üzere başlıca 3 zaman periyodunda sokulum yapmışlardır. Bunlardan Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi, metamorfik kayaları keserek yerleşmiştir (Yılmaz, 1972; Çoğulu, 1975).

Jura-Kretase-Paleosen granitoidleri yitimle ilişkili volkanik ve/veya volkanoklastik kayalarla dokanak ilişkisindedir (Jica, 1985; Gedik vd., 1992; Köprübaşı, 1993, Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Güngör vd., 1997; Köprübaşı vd., 2000; Kaygusuz, 2000; Boztuğ vd., 2002; Şahin vd., 2004). Daha az sayıdaki Eosen ve sonrası granitler ise dar alanlarda tüm serileri kesmiş olarak görülürler (Gedik vd., 1992; Yılmaz ve Boztuğ, 1996; Aslan vd., 1999; Boztuğ vd., 2002; Topuz vd., 2002, Arslan ve Aslan, 2006).

Doğu Karadeniz Dağları'nda, Geç Kretase iki farklı özellikte görülmektedir. Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu'nda magmatik kayalar egemen iken, Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda volkanotortul kayalar yer alır. Geç Kretase'de kılavuz seviye olarak kabul edilen kırmızı kireçtaşları, Güney Zon'da tek bir seviye halinde ve Geç Kretase'nin tabanında görülmekte, Kuzey Zon'da ise birkaç seviye halinde volkaniklerle ara katkılı olarak bulunmaktadır (Bektaş, 1984). Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu'nda Geç Kretase'nin tabanı tartışmalıdır.

Schultz-Westrum (1961)'a göre Erken Kretase'de başlayan Alt Bazik Seri, Geç Kretase'nin başında devam etmekte, Geç Kretase'de Alt Bazik Seri'ye *hippuritli* kireçtaşları ve tüffitik kireçtaşı-marn serisi eşlik etmekte, bunun üzerinde dasit ve

piroklastitleri ile *inoceramuslu* kırmızı kireçtaşları yer almakta ve bunların üzerine de bazik volkanikler gelmektedir. Bu bazik volkanik kayalar kısmen Eosen'de de devam ederek "Üst Bazik Seri"yi oluşturmuşlardır. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda Geç Kretase, Berdiga Formasyonu üzerine açılmal uyumsuzlukla gelen kumlu kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu birimi şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları uyumlu olarak üstlemektedir. Volkano-tortul seriden oluşan birim kırmızı kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelmektedir (Tokel, 1972; Eren, 1983).

Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Karadeniz Dağları'nda yer yer gözlenmektedir. Şarman (1975), Tirebolu'nun güneydoğusunda Geç Kretase kireçtaşlarının devamı olarak Paleosen yaşlı birimleri tesbit etmiştir. Hopa-Cankurtaran yöresinde volkano-tortul seri, Geç Kretase'den Eosen'e kesintisiz geçmektedir (Özsayar vd., 1981). Kale (Gümüşhane) yöresinde Geç Kretase yaşlı filişle başlayan istif, uyumsuz olarak konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na geçmekte ve Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999).

Eosen, Karadeniz Dağları'nda genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmekte ve bunları andezit ve piroklastitleri ile filiş çökellerinden oluşan seriler üstlemektedir. Gedikoğlu (1970), Çambaşı ve Gököy yörelerinde Eosen'in taban konglomerası ile başladığını belirtmiştir.

Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa yörelerindeki sahil kesimlerinde görülmektedir (Schultz-Westrum, 1961; Özsayar, 1971). Neojene ait tortullar Trabzon-Akçaabat ve Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde mevcuttur (Yalçınlar, 1952; Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

### **1.3.2. Önceki Genel Jeoloji Çalışmaları**

İnceleme alanını da içine alan bölgede çeşitli amaçlara yönelik geniş ölçekli pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı ve yakın civarında yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Pejatoviç ve Vukanoviç (1970), Karadeniz Bölgesi'ndeki skarn tipi yatakları ayrıntılı olarak inceleyerek, Araklı-Dağbaşı yöresindeki cevher zuhurlarının önemsiz olduğunu ileri sürmüştür.

Türk – Japon Ekibi (1974), Trabzon yöresinin jeolojisini çalışmış ve 1/50.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamışlardır. Bu çalışmaya göre yöredeki istif Geç Kretase yaşlı

kireçtaşı-marn-silttaşı ardalanması ile başlamakta, bunu aynı yaşlı andezit, dasit ve piroklastitlerini içeren andezitik piroklastlar üstlemektedir.

Çınar ve Van (1977), Kestanelik (Araklı-Trabzon) cevherleşmesinin 1/10.000 ölçekli detay maden jeolojisi haritasını yapmış ve cevherleşmenin ince damarlar şeklinde, breşik yapılı dasitler içerisinde, hidrotermal olarak oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Gülibrahimoğlu (1986), Trabzon, Arsin, Araklı, Sürmene, Çaykara güneyi ile Gümüşhane, Bayburt yörelerinde Cu, Pb, Zn, Fe, Mn cevherleşmelerini incelemiştir. İnceleme alanı ve civarında damar tipi, saçılmış ağsal tip, skarn tip ve sedimanter tip olmak üzere dört tip cevherleşme saptanmıştır.

Kargı (1987), "Araklı-Bahçecik Granitoidinin Petrografik ve Jenetik İncelenmesi" isimli yüksek lisans çalışmasında, Bahçecik Granitoidi'nin monzonit ve granit bileşiminde olduğunu, granitoidin Liyas yaşlı volkanik kayalar ve Malm- Erken Kretase yaşlı kireçtaşlarını kestiğini belirtmiştir.

Şen (1988), "Dağbaşı (Trabzon) Bölgesinde Yüzeyleyen Alt Bazik Seri (Jura)-Granitoid (Geç Kretase) Formasyonlarının Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri" isimli yüksek lisans çalışmasında, Dağbaşı Granitoidi'nin granodiyorit ve kuvarslı diyorit bileşiminde olduğunu, granitoidin henüz olgunlaşmakta olan bir ada yayının ürünü olduğunu, inceleme alanındaki Jura volkanitlerinin yitim kökenli toleyitik-kalk alkale kökenli olduklarını belirtmiştir.

Kaygusuz (1992), "Dağbaşı (Araklı-Trabzon) ve Çevresinin Mineralojik ve Petrografik Olarak İncelenmesi" adlı yüksek lisans çalışmasında, Dağbaşı Granitoidi'nin kenar kısımlarının tonalit ve mikrogranit bileşiminde olduğunu, granitoidin iri kuvarslı dasit daykları tarafından kesildiğini ve granitoidin birkaç santimetre çapından bir metreye kadar varabilen büyüklükte anklavlar içerdiğini belirtmiştir. Ayrıca granitoidin Alt Bazik Seriyi keserek kısmen metamorfize olmasına neden olduğunu, seri içindeki kireçtaşlarıyla dokanaklarında skarn zonlarının geliştiğini ve inceleme alanında dokanak-pirometasomatik ve hidrotermal cevherleşmelerin varlığını da bildirmiştir.

Güven (1993), inceleme alanında içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölümü'nün 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış, bölgede yapılan eski çalışmaları yeniden derleyerek Kuzey Anadolu Sıradağları'nın doğu kesimi için "Kuzey Zon" ve "Güney Zon" diye iki farklı stratigrafik kolon kesit önermiştir. Bu incelemeye göre, Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu'nda Geç Kretase yaşlı kayalar, Erken Kretase yaşlı kayalar üzerine uyumlu olarak gelmektedirler. Tabanda Geç Kretase yaşlı kumtaşı, silttaşı, marn, tuf ara



katkılı bazalt-andezit ve piroklastitlerinden oluşan Çatak Formasyonu yer almakta olup, bunun üzerine uyumlu olarak riyodasit-dasit ve piroklastitlerinden oluşan yine Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu gelmektedir. Kumtaşı, marn, killi kireçtaşı ve tuf ara katkı bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte olup, riyolit-riyodasitik ve piroklastitlerinden oluşan Geç Kretase yaşlı Çayırbağ Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenmektedir. Tüm bu birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn ara katkı andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenmektedir. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda kumtaşı, marn, killi kireçtaşı, şeyl ve tuf ardalanmasından oluşan Geç Kretase yaşlı Mescitli Formasyonu, Geç Jura- Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Tüm bu birimler Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenmektedirler.

Hasançebi (1993), "Dağbaşı Granitoyidine Bağlı Cevherleşmenin İncelenmesi" adlı yüksek lisans çalışmasında, çalışma alanındaki cevherleşmelerin granitoyide bağlı hidrotermal ve skarn tipi cevherleşmeler olduğunu saptamıştır. Skarn tipi cevher minerallerinin Dağbaşı Granitoyidi etrafında zonlanma gösterdiklerini belirterek, granitoyid dokanağında Fe zonu, daha sonra Cu zonu ve Zn zonu olmak üzere 3 zon saptamıştır.

Gümrükçuoğlu (2002), "Doğu Pontid'lerde Yüzeyleyen Jura Volkanitlerinin Jeokimyasal Özellikleri" isimli yüksek lisans çalışmasında, Doğu Karadeniz Dağları'nın Kuzey ve Güney Zonlarında yer alan beş lokasyonda yüzeyleyen Jura yaşlı volkanik kayaların jeokimyasal özelliklerini karşılaştırmıştır. Dağbaşı (Çankaya) civarındaki Jura volkanitlerinin bazalt, andezit, spilitik bazalt, tuf ve aglomeradan oluştuğunu, volkanitlerin jeokimyasal olarak yitimle ilişkili olabileceğini belirtmiştir.

### **1.3.3. Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları**

Karayolları Genel Müdürlüğü, 10. Bölge Müdürlüğü'nün denetiminde yürütülen proje kapsamında JFZ İnşaat Taahhüt Tic. Ltd. Şti. (2002) tarafından tünel güzergâhı boyunca sondajlar yapılmış ve Haytek Uluslararası Mühendislik Müşavirlik (2004) tarafından proje çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

JFZ İnşaat Taahhüt Tic. Ltd. Şti. (2002), planlanan tünelin geçkisi boyunca yer alan birimlerin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenebilmesi için giriş ve çıkış portallarında 7, çift tüplü tünelin sol ekseninde 4, sağ ekseninde 3 adet olmak üzere toplam 14 adet temel sondaj kuyusu açmıştır. Tünel güzergâhı boyunca yapılan sondajlara ait koordinat bilgileri Tablo 1.1’de verilmiştir. Ayrıca tünel geçkisinin sol tüpünün 30 m. kuzeyinde Km:79+160’da fay araştırma sondajı yapmıştır. Açılan temel sondaj kuyularında basınçlı su ve presiyometre deneyleri yapmıştır. Basınçlı su deneyleri neticesinde kayaçların yarı geçirimli olduğunu belirlemiş ve tünel geçkisi boyunca açılan temel sondaj kuyularından yeraltı suyu gözlemleri yapmıştır.

Tablo 1.1. Konakönü Tünel güzergâhı boyunca açılan sondaj kuyularına ait veriler (JFZ Mühendislik, 2002)

SONDAJ YERİ	SONDAJ NO	KİLOMETRE (Km)	KOORDİNATLAR			DERİNLİK (m)
			X	Y	Z	
Giriş portalı eksen	KTS-1	79+000	4534549	585953	56.450	30.00
Giriş portalı sağ tüp	KTS-2	79+049	4534549	586997	74.750	46.00
Giriş portalı eksen	KTS-3	79+045	4534565	586998	77.255	49.00
Giriş portalı sol tüp	KTS-4	79+040	4534576	586995	78.225	51.00
Eksen	KTS-5	79+115	4534549	587067	105.02	73.00
Sol tüp 30 m solunda	KTS-6	79+160	4534578	587121	89.53	55.00
Sol tüp	KTS-7	79+277	4534549	587224	125.47	98.00
Sağ tüp	KTS-8	79+700	4534320	587599	145.80	122.00
Sağ tüp	KTS-9	79+400	4534449	587332	135.53	110.00
Sağ tüp	KTS-10	79+900	4534217	587768	158.95	137.00
Sol tüp	KTS-11	80+155	4534073	587981	60.62	41.00
Sol tüp	KTS-12	80+540	4533783	588237	45.75	30.00
Eksen	KTS-13	80+756	4533590	588338	59.76	47.00
Sol tüp	KTS-14	80+754	4533601	588355	54.81	40.00
Sağ tüp	KTS-15	80+749	4533592	588328	60.16	43.00

Haytek Uluslararası Mühendislik Müşavirlik (2004), mühendislik jeolojisi çalışmaları ile yapılan kaya kalite sınıflamalarına dayanarak tünel güzergâhını kesimlere ayırmış ve bu kesimler için kaya destekleme sınıflarını NATM’a göre belirlemiştir. Kazı sırasında ve sonrasında kayaçların davranışlarını açıklayarak gerekli destekleme elemanlarını önermiştir. Bu çalışmaların sonucunda NATM’a göre girişlerde B3, orta kısımlarda ise B2 sınıfını önermiştir. Konakönü Tüneli için tasarım aşamasında önerilen kaya kalite ve destekleme sınıflamaları Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Konakönü Tüneli için tasarım aşamasında önerilen kaya kalite ve destek sınıflamaları (Haytek Mühendislik, 2004)

KESİM	KİLOMETRE	SONDAJ ADI	RQD	Q	NATM	RMR	NATM
1	79+000 79+080	KTS 1	40	2.200	B2	44	B3
		KTS 2	5	0.034	C1	39	B3
		KTS 3	5	0.034	C1	39	B3
		KTS 4	30	0.550	B3	44	B3
2	79+080 79+440	KTS 5	12	1.980	B2	39	B3
		KTS 16	6	0.132	B3	39	B3
		KTS 7	12	0.264	B3	39	B3
		KTS 9	23	1.898	B2	48	B2
3	79+440 79+720	KTS 9	23	1.898	B2	48	B2
		KTS 8	10	0.440	B3	48	B2
4	79+720 80+100	KTS 10	22	2.420	B2	48	B2
5	80+100 80+220	KTS 11	40	2.200	B2	44	B3
6	80+220 80+440	KTS 11	40	2.200	B2	44	B3
		KTS 12	15	1.238	B2	39	B3
7	80+440 80+560	KTS 12	15	0.619	B3	39	B3
8	80+560 80+720	KTS 12	15	1.238	B2	39	B3
		KTS 15	17	2.805	B2	39	B3
9	80+720 80+882	KTS 15	17	0.701	B3	39	B3
		KTS 13	66	3.630	B2	58	B1
		KTS 14	0	0.028	C1	39	B3

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

Bu çalışmada, Karadeniz Devlet Sahil Yolu Projesi kapsamında Çarşıbaşı-Araklı kesimi arasında inşa edilen Konakönü Tüneli'nin sol tüp giriş portalı, kaya kütle sınıflandırmalarıyla irdelenerek uygun destek türü belirlenmiştir. Çalışma alanın çevresine ait 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ile sol tüp giriş portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası hazırlanmıştır. Tünel içinde gözlemlerle jeoteknik birimler tanımlanmış, süreksizliklerin jeoteknik özellikleri ölçülmüş ve jeoteknik birimlerin kaya malzemesi özelliklerini belirlemek için laboratuvarında deneyler yapılmıştır.

### **2.2. Tünel İçi ve Çevresinin Jeoloji Haritalarının Hazırlanması**

Konakönü Tüneli çevresinin genel jeolojisini tanımlamak amacı ile 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası hazırlanmış ve yüzeylenen kayaçların stratigrafik dizilimi ortaya konmuştur. Genel jeoloji çalışmalarıyla elde edilen sonuçlar, daha önce inceleme alanı ve çevresinde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılarak yeniden düzenlenmiştir (Şekil 3.2).

Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası yapılarak kaya kütle sınıflandırmalarında kullanılan parametreler belirlenmiştir (Şekil 3.7, Şekil 3.8).

### **2.3. Petrografik İncelemeler**

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, polarize mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

### **2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları**

Mühendislik jeolojisi çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada arazi çalışmaları ikinci aşamada ise laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Tüm bu verilerin

ışığında tünel içi jeolojisi haritası hazırlanırken, ANON (1976), ISRM (1976) ve IAEG (1976 ve 1979) tarafından önerilen, ANON (1981a,b) ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmıştır.

#### **2.4.1. Fiziksel Özellikler**

##### **2.4.1.1. İndeks Özellikler**

Kaya malzemelerinin indeks özelliklerini belirlemek için kaya bloklarından alınan silindir ve küp şekilli örnekler üzerinde yapılan deneylerde TSE'nin "TS 699 UDK (1987), Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları" şartnamesinde önerilen yöntemler esas alınmıştır. İndeks özelliklerinin saptanması amacıyla yapılan özgül ağırlık deneyinde, öncelikle silindir ve küp şekilli örneklerden alınan yaklaşık 100 gr örnek öğütülerek karıştırılmış ve karışımdan çeyrekleme yöntemiyle yaklaşık 25'er gr örnek alınarak her kaya türü için üçer adet deney yapılmıştır. Sonuçta bunların ortalaması alınarak özgül ağırlıkları bulunmuştur. Silindir ve küp şekilli örnekler 105°C'de 24 saat etüvde kurtulduktan sonra tartılarak kuru ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra 48 saat saf suda bekletilip tartılarak doymuş ağırlıkları belirlenmiştir. Bu verilerden faydalanarak özgül ağırlık, su muhtevası, porozite, boşluk oranı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme ve birim hacim ağırlık gibi indeks özellikleri hesaplanmıştır.

##### **2.4.1.2. Schmidt Çekici Geri Tepme Sayısı**

Schmidt çekici ile okunan geri tepme sayısını etkileyen en önemli parametrelerden biri çekiç tipi diğeri ise uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir. Uygulamada L ve N tipi çekiçler kullanılmakta olup, bu çalışmada ISRM (1981) tarafından önerilen L tipi Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır. Literatürde birbirinden farklı birçok ölçme ve değerlendirme yöntemi vardır (Poole ve Farmer, 1980; Haramy ve De Marco, 1985; ISRM, 1978; Göktan ve Ayday, 1993).

Göktan ve Ayday (1993), elde edilen geri sıçrama değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralandıktan sonra en yüksek %50'lik kesimin keyfi olarak seçildiğini, böylece sertliği

ölçülen yüzeyde sert kısımların, zayıf kısımlara ait veriler üzerinde belirgin duruma geldiğini vurgulamaktadır. Yazarlar Schmidt çekici sertliği ölçümlerinde dağılımı temsil edecek verilerin seçiminde Chauvenet ölçütünün kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Chauvenet ölçütünün uygulanış şekli aşağıda verilmiştir:

- Ölçülen tüm verilerin ortalaması ve standart sapması hesaplanır.
- Her bir veri için eşitlik (1)'de verilen standart sapma oranı hesaplanır.

$$Sso = (Ri - X) / ss \quad (1)$$

Burada; Sso: standart sapma oranı, Ri: ölçülen geri tepme sayısı, X: ortalama geri tepme değeri, ss: standart sapma değeridir.

Standart sapma oranının mutlak değeri Tablo 2.1'de verilen değerlerden büyük olan ölçümler ortalamaya katılmaz. Diğer ölçülerin ortalaması, incelenen yüzey için Schmidt çekici geri tepme sayısını verecektir.

Bu çalışmada Schmidt çekici ile ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir konumda yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre düzeltilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.1. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri

Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma	Örnek Sayısı (N)	Standart Sapma
2	1.15	12	2.04
3	1.38	15	2.13
4	1.54	20	2.24
5	1.65	25	2.33
6	1.73	30	2.40
7	1.80	35	2.45
8	1.86	50	2.58
9	1.91	100	2.81
10	1.96	250	3.09

Tablo 2.2. Schmidt çekici geri tepme sayılarının tutuş yönüne göre düzeltme değerleri (Barton ve Choubey, 1977)

Geri Tepme Sayısı (R)	Çekiç Aşağıya Doğru		Çekiç Yukarıya Doğru		Çekiç Yatay α: 0
	α: -90	α: -45	α: +90	α: +45	
10	0	-0.8	-	-	-3.2
20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
60	0	-0.4	-4.0	-3.3	-1.7

### 2.4.1.3. Elastik Dalganın Boyuna Yayılma Hızı

Elastik dalganın kaya malzemeleri içerisinde boyuna yayılma hızını belirlemek için yapılan deneylerde silindir ve küp şekilli örnekler kullanılmış olup, DIGI-EG-C2 ultrasonik deney aleti kullanılarak ultrasonik ses dalgasının kuru ve doymuş örnekleri geçme zamanları mikrosaniye olarak ölçülmüştür. Daha sonra örnek uzunlukları göz önüne alınarak boyuna dalganın her örnek içerisindeki yayılma hızı hesaplanmıştır.

### 2.4.1.4. Elastik Dalganın Enine Yayılma Hızı

Elastik dalganın kaya malzemeleri içerisinde enine yayılma hızı bulunurken Attewell ve Farmer (1976) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

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

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. Nokta Yük Dayanım İndeksi

Kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımının tahmininde de kullanılmakta olan nokta yük dayanım indeksi, nokta yükleme deneyi ile saptanmaktadır. Nokta yükleme deneyinin uygulanışı ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi, ilk kullanıldığından bu yana büyük değişiklikler göstermiştir.

Bu çalışmada nokta yükleme deneyi yapılırken ISRM (1985) tarafından önerilen standartlar esas alınmıştır. Deneyler, kaya bloklarından alınan karotlar üzerinde ve düzensiz şekilli örnekler üzerinde uygulanmıştır. Deney, karot örneklerine uygulanırken uzunluklarının çaplarına oranının 1.0–1.5 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, yükleme, örnekler 10–60 sn içinde kırılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney, düzensiz örnekler üzerine

uygulanırken de  $50 \pm 3,5$  mm boyutundaki örnekler kullanılmıştır. Kalınlık ve genişlik oranının 0.3–1.0 arasında olmasına dikkat edilmiştir.

ISRM (1985), bu deneyin en az 10 örnek üzerinde yapılmasını önermiştir. Nokta yük dayanım indeksi sonuçları aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (3)$$

Burada;  $I_s$ : düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $D_e$ : çapsal deneylerde karot çapı (cm) / düzensiz örneklerde konik başlıkların temas noktalarından geçen en küçük kesit alanı ( $\text{cm}^2$ ), P: yenilme anında kaydedilen yüküdür (kg).

(3) nolu formülle hesaplanan nokta yük dayanım indeksini referans çapa göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen (4) ve (5) nolu formüller kullanılmıştır.  $I_s$  değeri, çapsal deneylerde  $D$ 'nin diğer deneylerde ise  $D_e$ 'nin bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (4)$$

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (5)$$

Burada;  $I_{s(50)}$ : düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), F: boyut düzeltme faktörüdür.

#### 2.4.2.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı jeoteknik uygulamaların birçoğunda gerekli olan tasarım parametresi olmasının yanı sıra kaya malzemesinin ve kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında en çok kullanılan önemli jeoteknik parametrelerden biridir.

TSE'nin "TS EN 1926 (2000), Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesinde deney için boyu çapının en az iki katı olan karotların veya kenar uzunluğu 50mm / 70mm olan küp şekilli örneklerin kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli basınç dayanımları belirlenirken deneyde 50 mm çaplı karotlar ve 50x50x50 mm'lik küp örnekler kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.



$$\sigma_c = F / A \quad (6)$$

Burada; F: yenilme anında kaydedilen yük (kg), A: örneğin en kesit alanıdır (cm<sup>2</sup>).

### 2.4.3. Elastik Özellikler

Kayaçların ultrasonik ses dalgası iletkenliğinin kayaçların elastik ve bazı fiziksel özelliklerinin saptanmasında kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Kayaçlar içinde ilerleyen P (boyuna) ve S (enine) dalgalarının hızlarından yararlanarak kayaçların elastik özellikleri ve izotropileri araştırılmakta ve kayaçlar ultrasonik ses dalgası iletkenliğine ve elastik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

#### 2.4.3.1. Dinamik Elastisite Modülü

Kaya malzemelerine ait dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde Youash (1970) tarafından aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$E_d = D.W.f^2 \quad (7)$$

Burada; E<sub>d</sub>: dinamik elastisite modülü (lb/in<sup>2</sup>), 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/d<sup>2</sup> (sn<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>, silindirik örnekler için), D: 0.01035.L/b.t (sn<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>, prizmatik örnekler için), d: örnek çapı (in), t ve b: prizmatik örneğin enine kesitinin boyutlarıdır (in).

(7) nolu formül metrik sisteme çevrildiğinde aşağıdaki şekli almaktadır (Bulut, 1989).

$$E_d = 1.29 L/d^2 .w.1/t^2 .10^6 \quad (8)$$

Burada; E<sub>d</sub>: dinamik elastisite modülü (kg/cm<sup>2</sup>), 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

Poisson oranı, kaya malzemesine uygulanan gerilmeye dik yönde gelişen birim deformasyonun, uygulanan gerilme yönündeki birim deformasyona oranı olup, laboratuvarında dolaylı olarak dinamik yöntemlerle veya doğrudan statik deneylerle belirlenebilmektedir. Poisson oranı (+) işaretli olup, daima 1'den küçüktür ve genellikle 0.18-0.35 değerleri arasında değişmektedir. Kaya malzemelerine ait dinamik poisson oranının belirlenmesinde ASTM (1980) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$v_{din} = \frac{(V_p^2 / V_s^2) - 2}{2[(V_p^2 / V_s^2) - 1]} \quad (9)$$

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

### 2.4.4. Hat Etüdü Çalışmaları

Hat etüdü yöntemi, geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bir yöntemdir. Süreksizliklerin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en doğru sonuçların alındığı hat etüdü yönteminde ilk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak tünel duvarlarından yapılan ölçümler genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları işaretlenerek şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizlikler ölçülmüş ve tanımlanmıştır. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem, Piteau (1970) tarafından yeniden düzenlenmiş, Priest ve Hudson (1976) ve ISRM (1978) tarafından geliştirilmiştir.

## 2.4.5. Süreksizliklerin Özelliklerinin Belirlenmesi

### 2.4.5.1. Süreksizlik Takımı Kavramı

Süreksizlik setlerinin sayısının ve bunların ağırlıklı yönelimlerinin belirlenmesi ve mühendislik uygulamalarında değerlendirilmesi amacıyla, ekvatorial eş-alan stereonetine işlenen kutup noktalarından yararlanılarak kontur diyagramları hazırlanır. Bu diyagramların hazırlanmasındaki amaç, benzer özelliklere sahip süreksizliklerin dağılımından, dolayısıyla kutup noktalarının gruplaşmasından hareketle süreksizlik takımı sayılarının ve bu setlerin eğemen yönelimlerinin belirlenmesidir. Kontur diyagramlarıyla yapılan değerlendirmelerde, kutupların en fazla yoğunlaştığı konturların merkezi esas alınarak, süreksizlik setleri için eğemen yönelimler belirlenmektedir. Bununla birlikte, en çok gözlenen yönelim değerlerinden sapma gösteren tali yönelimlerin bulunabileceği değerlendirmede dikkate alınmalıdır.

### 2.4.5.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı ve Sıklığı

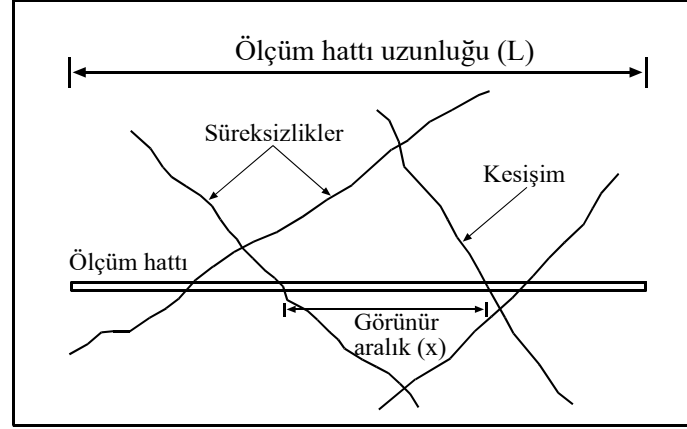
Süreksizlik ara uzaklığı, bir süreksizlik takımındaki süreksizlikler arasındaki dik uzaklık olarak tanımlanmaktadır (ISRM, 1981). Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirlenebileceği gibi (Şekil 2.1), sondaj karotlarından da tayin edilebilmektedir. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık “görünür ara uzaklık” olarak bilinir. Süreksizlik takımlarında iki süreksizlik arasındaki dik uzaklığı yani gerçek ara uzaklığı bulmak için aşağıdaki düzeltme yapılmıştır.

$$\text{Gerçek süreksizlik aralığı} = J_{si} \times \sin(\delta_1) \times \sin(\beta_j) \quad (10)$$

Burada;  $J_{si}$ : görünür ara uzaklık,  $\delta_1$ : süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı,  $\beta_j$ : süreksizlik eğim açısıdır.

Priest ve Hudson (1976) süreksizlik sıklığını daha duyarlı bir şekilde belirlemek için istatistiksel dağılım modellerinden yararlanmış ve süreksizlik sıklığının negatif eksponansiyel dağılıma uyduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada tüm bu parametreler dikkate alınarak kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır (Tablo 2.3).



Şekil 2.1. Hat etüdü ile süreksizlik ara uzaklığı tayini (ISRM,1981)

Tablo 2.3. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

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

#### 2.4.5.3. Süreksizlik Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı (K), kohezyonun olmadığı alanların toplam çatlak alanına oranı olarak tanımlanmıştır (ISRM, 1981). Devamlılık, genellikle mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunduğundan, süreksizlik izi olarak ele alınmakta ve aşağıdaki formülle belirlenmektedir.

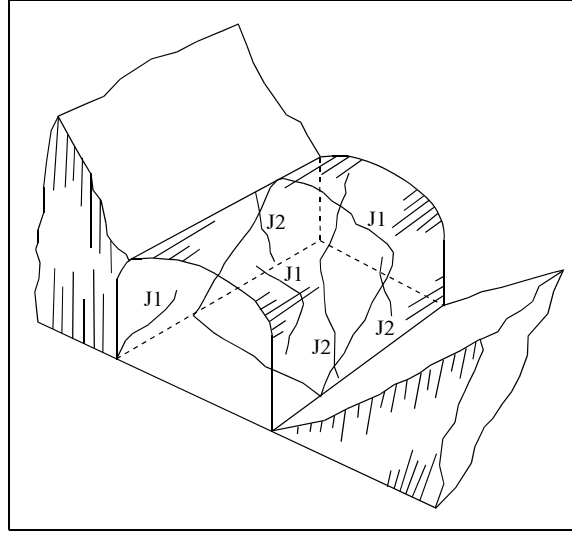
$$K = \frac{\sum Jli}{\sum (Jli + Kkop)} \quad (11)$$

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

Bu çalışmada devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar (Tablo 2.4) esas alınarak doğrudan şerit metre ile tünel duvarlarından yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Şekil 2.2'de verilen blok diyagram, süreksizliklerin devamlılığının tünel içinde nasıl görüldüğünü göstermektedir.

Tablo 2.4. Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

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, 1981)




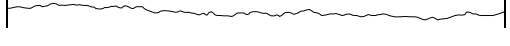


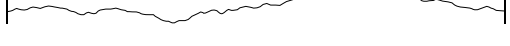



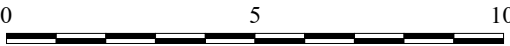
#### 2.4.5.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Dalgahlığı

Pürüzlülük ve dalgahlık sırasıyla, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda) ve büyük ölçekte (m boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (ISRM, 1981). Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 1981).

Bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen ve arazide telli profilometre ile ölçülen süreksizlik yüzeyi profillerinin, mevcut standart profillerle karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem kullanılmıştır (Şekil 2.3).

Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) değerleri 0–20 arasında değişmektedir. Barton ve Bandis (1982), süreksizlik yüzeyinde alınan değişik ölçüm uzunlukları için JRC değerini bulmak amacıyla pürüzlülük genliği ve ölçüm uzunluğundan yararlanmışlardır.

Büyük ölçekte dalgalılığın dalga boyu ve genlik parametreleri ölçülmesi ile süreksizlik yüzey profilleri değerlendirilir. Bu yöntemde, 1 metre uzunluğunda bir cetvel süreksizlik yüzeyine dayanmış ve yüzeyin cetvele olan en uzak dik mesafesi ölçülmüştür.

<i>Standart Pürüzlülük Profilleri</i>	<i>JRC değerleri</i>
	0-2
	2-4
	4-6
	6-8
	8-10
	10-12
	12-14
	14-16
	16-18
	18-20
	

Şekil 2.3. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri aralığı (Barton ve Choubey, 1977)

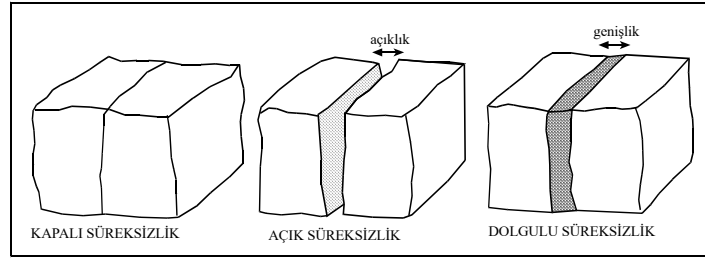
#### 2.4.5.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Açıklık, bir süreksizliğin birbirine bakan karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi su veya her hangi bir dolgu maddesi tarafından da doldurulmuş olabilmektedir (ISRM, 1981; Şekil 2.4).

Bu çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, süreksizliklere ait açıklık değerinin ölçülmesiyle ortalama açıklık değeri belirlenmiştir. Süreksizliklerin açıklığı ISRM (1981) tarafından önerilen süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981)

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, 1981)

#### 2.4.5.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Süreksizlik yüzeylerinin bozunma durumunu belirlemek için ISRM (1981) tarafından arazi çalışmaları sırasında kullanılacak bozunma sınıflaması ölçütleri önerilmiştir (Tablo 2.6 ve Tablo 2.7). Bu sınıflamalar tamamen gözleme dayalı olduklarından bazı durumlarda öznel değerlendirmelere yol açmakta, aynı süreksizlik yüzeyleri için farklı yorumlar yapılabilmektedir.

Tablo 2.6. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981)

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.	1
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kaya taze halinden zayıf olabilir.	2
Orta derecede bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	3
Tamamen bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır	5

Tablo 2.7. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç dayanımı ve arazi tanımlamalarına göre sınıflaması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha tanımlaması	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
R0	Aşırı derecede zayıf kaya	Kayacın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0.25–1.0
R1	Çok zayıf kaya	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufalanan kaya, çakı ile doğranabilir.	1.0–5.0
R2	Zayıf kaya	Kaya çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekiciyle yapılacak sert bir darbe kayacın yüzeyinde iz bırakır.	5.0–25
R3	Orta derecede sağlam kaya	Kaya çakı ile doğranmaz. Kaya, jeolog çekiciyle yapılacak tek ve sert bir darbeye kırılır.	25–50
R4	Sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50–100
R5	Çok sağlam kaya	Kaya örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekiciyle çok sayıda darbe gerekmektedir.	100–250
R6	Aşırı derecede sağlam kaya	Kaya örneği jeolog çekiciyle sadece yontulabilir.	>250

Singh ve Gahroee (1989), bu tür hataları giderebilmek amacıyla bozunma derecesini aşağıda verilen sayısal indeksle tanımlamışlardır.

$$W_c = \sigma_c / JCS \quad (12)$$

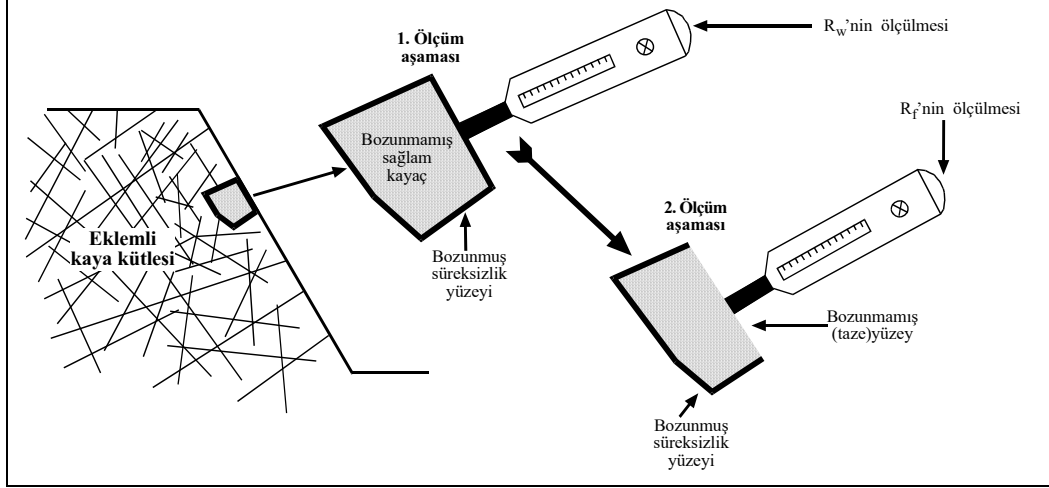
Burada;  $W_c$ : bozunma katsayısı,  $\sigma_c$ : taze ayrılmamış kayacın tek eksenli basınç dayanımı,  $JCS$ : süreksizlik yüzeyinin dayanımıdır.

Gökçeoğlu (1997), Singh ve Gahroee (1989) tarafından önerilen bozunma sınıflamasının sakıncalarını belirterek sağlam kaya yüzeyine ve bozunmuş süreksizlik yüzeyine ait Schmidt çekici geri tepme sayısını parametre olarak kullanan aşağıdaki bozunma indeksini önermiştir (Şekil 2.5).



$$W_c = R_f/R_w \quad (13)$$

Burada;  $W_c$ : bozunma katsayısı,  $R_f$ : taze yüzeyin Schmidt çekici geri tepme sayısı,  $R_w$ : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmidt çekici geri tepme sayısıdır.



Şekil 2.5. Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması için önerilen ve sahada yapılan Schmidt deneyini esas alan yöntem (Gökçeoğlu, 1997)

Bu çalışmada, süreksizlik yüzeyi bozunma derecesi tanımlanmasında Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen bozunma indeksine göre yapılan sınıflamadan yararlanılmıştır (Tablo 2.8).

Tablo 2.8. Kaya kütlelerinin bozunma dereceleriyle ilgili sınıflama (Gökçeoğlu, 1997)

$W_c$	Sınıf	Tanım
<1.1	1	Bozunmamış (taze)
1.1-1.5	2	Az bozunmuş
1.5-2	3	Orta derecede bozunmuş
>2	4	Tamamen bozunmuş

#### 2.4.5.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Bu çalışmada, ISRM (1981) tarafından önerilmiş olan ve kazı aynalarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntısıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır (Tablo 2.9 ve Tablo 2.10).

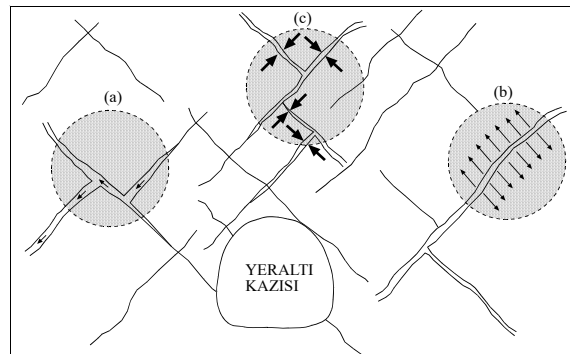
Tablo 2.9. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış ( bu durumda sürekli akışın gözleendiği süreksizlikle gözlenmelidir)
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Tablo 2.10. Dolgulu ve dolgusuz süreksizlikler için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
<i>Dolgusuz süreksizlikler</i>	
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)
<i>Dolgulu süreksizlikler</i>	
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

Süreksizlikler boyunca sürekli bir su akışının varlığı halinde, kaya kütlelerinin ve süreksizliklerin mekanik ve hidrojeolojik özellikleri değişebilir (Şekil 2.6a). Süreksizlik yüzeyleri arasındaki su basıncı normal gerilmeyi dolayısıyla makaslama dayanımını azaltır veya yüksek normal gerilmeler altında süreksizliklerin geçirgenliği azalır (Şekil 2.6b; Şekil 2.6c).



Şekil 2.6. Kaya kütlelerinde süreksizlikler boyunca su akışı ve olası etkileri (Hudson, 1989)

#### 2.4.5.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Blok boyutu indeksi ( $I_b$ ), süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik yönelimi, süreksizlik takım sayısı ve süreksizlik devamlılığı gibi parametrelere bağlı olup, süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesidir (Palmström, 1996; Cai vd., 2004). Blok boyutu indeksi aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir.

$$I_b = \frac{(S1 + S2 + S3)}{3} \quad (14)$$

Burada;  $I_b$ : blok boyutu indeksi, S1, S2 ve S3: her eklem takımı için hesaplanmış ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleridir.

Palmström (1982, 1985 ve 1996) tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ), birim hacimdeki yani  $1 \text{ m}^3$ 'deki çatlak sayısını göstermektedir ve aşağıdaki formüllerle bulunmaktadır.

$$J_v = \frac{N1}{L1} + \frac{N2}{L2} + \frac{N3}{L3} \dots \dots \dots + \frac{Nn}{Ln} \quad (15)$$

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.

Yukarıdaki formüller dikkate alınarak ISRM (1981) ve Palmström (1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri verilmiştir (Tablo 2.11 ve Tablo 2.12).

Tablo 2.11. Hacimsel eklem sayısına ( $J_v$ ) göre blok boyutu tanımlaması (ISRM,1981)

Tanım	$J_v$ (eklem/ $\text{m}^3$ )
Çok geniş bloklar	<1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükteki bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

Tablo 2.12. Güncel  $J_v$  sınıflaması (Palmström, 1982 ve 1996)

Sınıf No	Eklem takımı	$J_v$ tanımı	$J_v$ (eklem/m <sup>3</sup> )
1	Masif	İleri derecede düşük	<0.3
2	Çok az eklemli	Çok düşük	0.3–1.0
3	Az eklemli	Düşük	1–3
4	Orta derecede eklemli	Orta derecede düşük	3–10
5	Çok eklemli	Yüksek	10–30
6	İleri derecede eklemli	Çok yüksek	30–100
7	Parçalanmış	Aşırı derecede yüksek	100–300

#### 2.4.5.9. Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Kaya kalite göstergesi (RQD), ilk olarak Deere (1964) tarafından sondajda alınan karot boylarından yararlanılarak temel kayaçlarının kalitesini ifade etmek için aşağıdaki eşitlikle tanımlanmış ve RQD değerlerinin değişim aralıkları esas alınarak kaya kalitesi tanımlamaları yapılmıştır (Tablo 2.13).

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \quad (16)$$

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

Tablo 2.13. RQD sınıflaması (Deere, 1964)

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

RQD, karotlu sondajlarla saptanabileceği gibi, kaya yüzleklerinden, yarma, shaft, galeri ve tünel duvarlarından yararlanılarak da saptanabilmektedir. Palmström (1982), 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğunun içerdiği çatlak sayısından yararlanarak RQD'nin aşağıdaki eşitlikle bulunabileceğini belirtmiştir.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (17)$$

Burada;  $J_v$ : 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğundaki çatlak sayısıdır ( $J_v = 4.5$  ise  $RQD = 100$  alınır).

Priest ve Hudson (1976) 1 m<sup>3</sup>'teki çatlak sayısı yerine, birim uzunluktaki (1 m) bir doğru boyunca saptanan süreksizlik sayısını göz önüne alarak aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir.

$$RQD = 100 e^{(-0.1\lambda)} (0.1\lambda + 1) \quad (18)$$

Burada;  $\lambda$ : 1m uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

#### 2.4.6. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

##### 2.4.6.1. Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi

Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute) sistemi olarak bilinen bu sistem, Barton vd. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem uzun yıllar kullanıldıktan sonra, Grimstad ve Barton (1993), sistemin destek seçimlerine yönelik bölümünü, Barton ve Grimstad (1994) ise SRF (Gerilme Azaltma Faktörü) ve ESR (Kazı Destek Oranı) değerlerini revize etmiştir. Q kaya sınıflamasını belirten eşitlik aşağıda tanımlanmıştır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (19)$$

Burada; RQD: kaya kalite göstergesi (%),  $J_n$ : 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 kütlelerinin yapısını temsil eder ve blok boyutunun ölçüsünü verir.

$J_r/J_a$  = Bloklar arasındaki kayma direncini verir.

$J_w/SRF$  = Aktif gerilmeyi verir.

Bu sınıflama sistemine göre, Q değerinin hesaplanması için kullanılan 6 parametre Tablo 2.14, Tablo 2.15, Tablo 2.16, Tablo 2.17, Tablo 2.18 ve Tablo 2.19’da verilmiştir.

Tablo 2.14. Kaya kalite göstergesi – RQD (Deere, 1964)

RQD	KAYA KALİTE GÖSTERGESİ TANIMI
1 0-25	Çok zayıf
2 25-50	Zayıf
3 50-75	Orta
4 75-90	İyi
5 90-100	Çok iyi (Mükemmel)

*Not: RQD < 10 (0 dahil) ise, Q'nun hesaplanmasında RQD için 10 gibi nominal bir değer kullanılır. RQD için 100,95,90,....vb. gibi 5'lik aralıklar yeterlidir.*

Tablo 2.15. Eklem takım sayısı - Jn (Barton vd., 1974)

EKLEM TAKIM SAYISI	Jn
A Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1.0
B Bir eklem takımı	2
C Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	3
D İki eklem takımı	4
E İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	6
F Üç eklem takımı	9
G Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	12
H Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel, çok 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 2.16. Eklem pürüzlülük sayısı - Jr (Barton vd., 1974)

EKLEM PÜRÜZLÜLÜK SAYISI	Jr
Süreksizlik yüzeyi temasta veya 10 cm'den az makaslama hareketiyle temasta	
<i>Not: Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikler göstermektedir</i>	
A Süreksiz eklemeler	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	1.0
G Sürtünme izli düzlemsel	0.5
<i>Not: *İlgili eklem takımının ortalama aralığı 2m'den daha büyük ise, Jr'ye 1.0 ilave edilebilir. *En az dirence göre yönelmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli eklemeler için Jr= 0.5 alınabilir.</i>	
Makaslama hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanmadığında	
H Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
I Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1.0

Tablo 2.17. Eklem yüzeyi bozunma sayısı - Ja (Barton vd., 1974)

EKLEM YÜZEYİ BOZUNMA SAYISI		Ja	$\Phi^{\circ}$
<b>a) Süreksizlik yüzeyleri temasta (Mineral dolgu yada kil kaplaması yok)</b>			
A	Sıkıca bağlanmış sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	-
B	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1.0	25-35
C	Az bozunmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kum içermeyen kaya parçaları vd.	2.0	25-30
D	Siltli veya kumlu-kil sıvımaları, küçük kil fraksiyonu (yumuşak değil)	3.0	20-25
E	Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral sıvımaları, örneğin kaolen veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer	4.0	8-16
<b>b) 10 cm'den az bir kayma hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde (İnce mineral dolgu)</b>			
F	Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.	4.0	25-30
G	Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6.0	16-24
H	Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8.0	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
<b>c) Süreksizlik yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (İnce mineral dolgu)</b>			
J	Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (kilin 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)	5.0	-
L	Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Tablo 2.18. Eklem suyu azaltma faktörü - Jw (Barton vd., 1974)

EKLEM SUYU AZALTMA FAKTÖRÜ		Jw	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1.0	<1
B	Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer eklemlerdeki dolguların yıkanması	0.66	1-2.5
C	Dolgusuz, eklemli, 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 ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa Jw arttırılır.  
\*Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.*

Tablo 2.19. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton ve Grimstad, 1994)

GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ			SRF	
<b>a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler</b>				
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)		5.0	
F	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)		2.5	
G	Gevşek ve açık eklemler, fazla eklemlerli "küp şekeri" görünümü (herhangi bir derinlikte)		5.0	
<i>Not: *Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25-50 dolaylarında azaltılmaktadır</i>				
<b>b) Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları</b>			<b>SRF</b>	
H	Düşük gerilme, yüzeye yakın	$\sigma_c/\sigma_t >200$	$\sigma_\theta/\sigma_{ci} <0.01$	25
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
<i>Not: *Oldukça anizotrop bakır bir gerilme alanı için (ölçülebilirse): <math>5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10</math> olduğunda, <math>\sigma_c</math> <math>0.75\sigma_c</math>'ye, <math>\sigma_1/\sigma_3 &gt; 10</math> ise ve <math>0.5\sigma_c</math>'ye düşürülür. Burada: <math>\sigma_c</math> tek eksenli basınç dayanımı, <math>\sigma_t</math> çekilme dayanımı, <math>\sigma_\theta</math> en büyük teğetsel gerilme (elastik kuramdan tahmin edilen) ve <math>\sigma_1</math> ile <math>\sigma_3</math> de en büyük ve en küçük asal gerilmelerdir.</i>				
<i>*Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF'nin 2.5'den 5'e çıkarılması önerilir.</i>				
<i>*Sıkışan kaya vakaları <math>H &gt; Q^{1/3}</math> derinlik koşulunda meydana gelebilir (Singh vd., 1993). Kaya kütlelerinin basınç dayanımı <math>q = 0.7\gamma Q^{1/3}</math> (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada: <math>\gamma</math> kayanın birim hacim ağırlığıdır (<math>kN/m^3</math>)</i>				
<b>c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma</b>				
N	Az sıkıştıran kaya basıncı		1-5	5-10
O	Aşırı sıkıştıran kaya basıncı		>5	10-20
<b>d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi</b>				
P	Düşük kaya basıncı			5-10
R	Çok yüksek kaya basıncı			10-15

Yukarıda verilen ölçütlere göre tayin edilen tüm parametreler sonucunda bulunan Q değerine göre kayaların sınıflandırılması Tablo 2.20'de verilmiştir.

Tablo 2.20. Kaya kütleleri niteliğine göre kayaların sınıflandırılması (Barton vd., 1974)

Q Değeri	Kaya Sınıfı
0.001-0.01	Son derecede 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



Q sistemine göre sınıflandırılan tünel kayalarında tünel destek türünün saptanmasında “Eş değer boyut- $D_e$ ” değerinin bulunması gerekir. Eş boyut değeri, aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak bulunur.

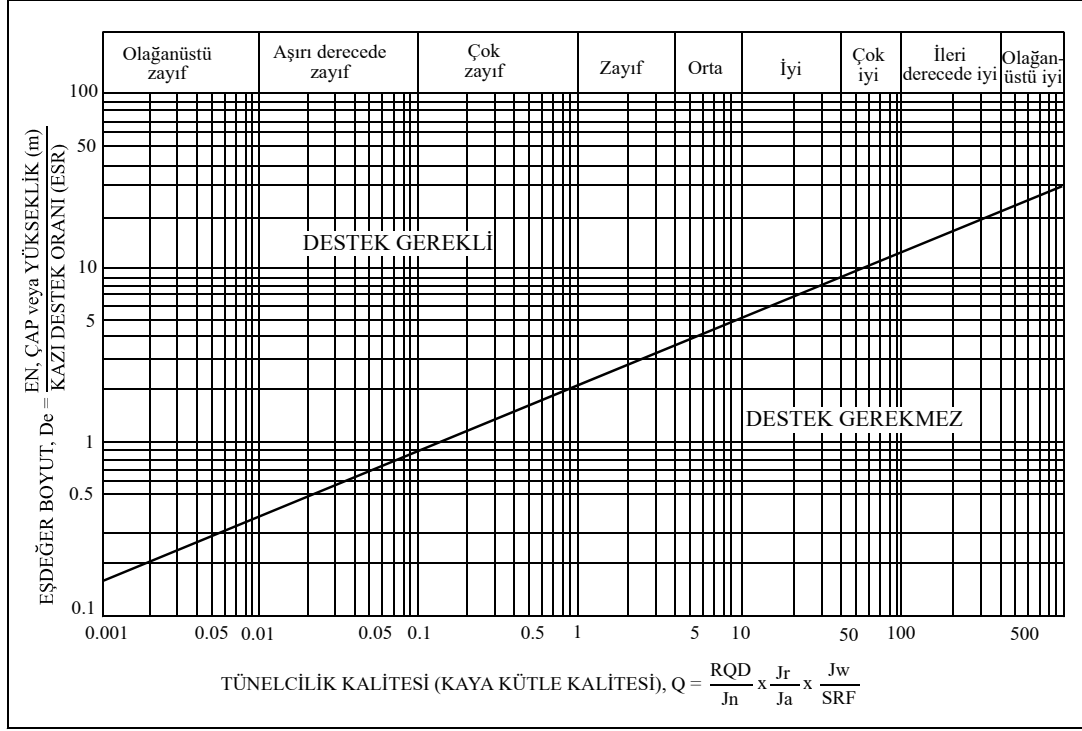
$$Eş\ değer\ boyut\ (D_e) = \frac{En, \text{ çap veya yükseklik } (m)}{Kazı\ destek\ oranı\ (ESR)} \quad (20)$$

Eşitlikteki ESR (Kazı destek oranı) değeri, kazı türü, amacı ve derinliği (yüzeyden) ile ilgili olup, Tablo 2.21’den yararlanılarak saptanır.

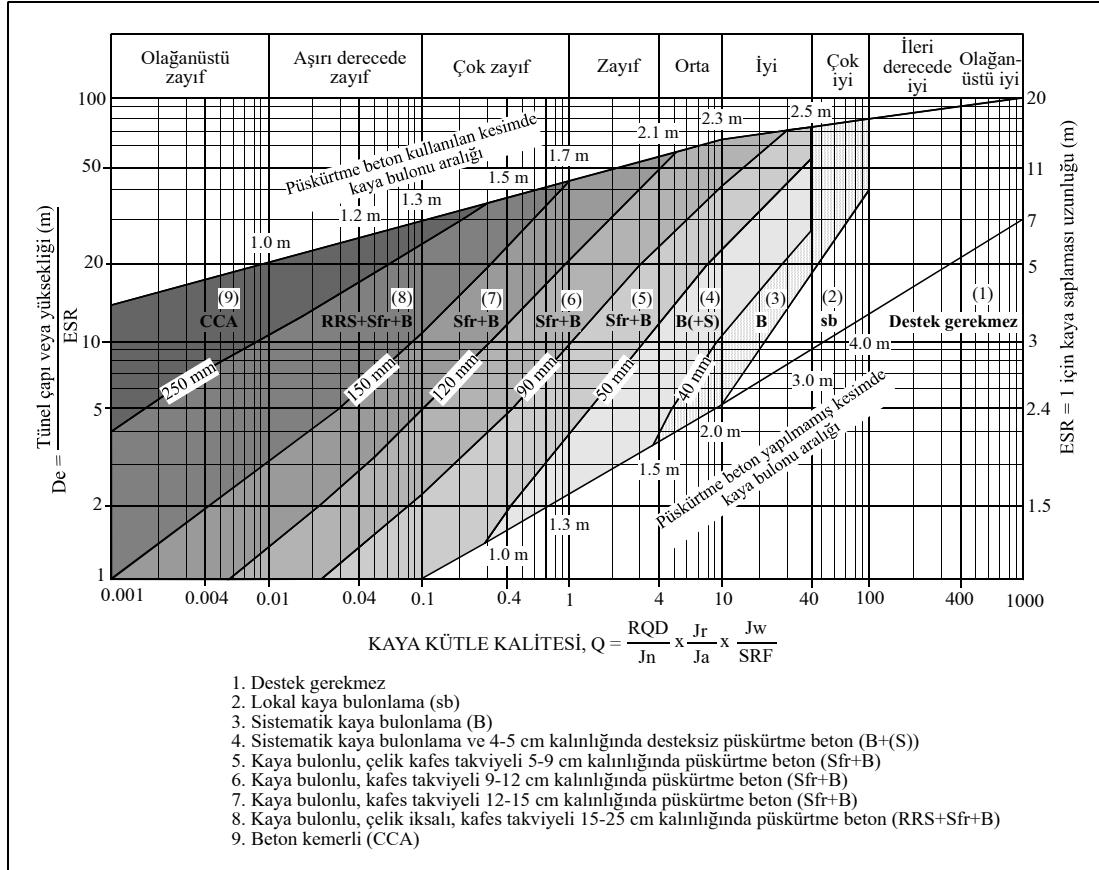
Tablo 2.21. Değişik yeraltı kazıları için orijinal (Barton vd.,1974) ve güncelleştirilmiş (Barton ve Grimstad, 1994) kazı destek oranları (ESR)

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	0.9-1.1
F	Yer altı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar, spor ve sosyal tesisler	0.8	0.5-0.8

Q sisteminde  $D_e$  ve Q değerleri arasındaki ilişki Şekil 2.7’de ve bu değerler kullanılarak yapılan kaya kütlesi sınıflaması ile gerekli destek kategorisi de Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Q sisteminde De ve Q parametreleri arasındaki ilişki (Barton vd., 1974)



Şekil 2.8. Q sistemi için modifiye edilmiş tünel destek sistemi abağı (Grimstad ve Barton, 1993)

Destek sisteminin belirlendiği tablolarda kaya bulonu uzunlukları verilmemiştir. Bulon uzunlukları kazı boyutuna bağlı olup, tavanda kullanılan bulonların uzunluğu genellikle kazının enine; duvarlarda kullanılanları ise kazının boyuna bağlıdır. Buna göre Barton vd. (1974), inşaat sırasında karşılaşılan duruma göre değiştirilmek koşuluyla aşağıdaki eşitlikleri önermektedir.

Tavan bulonları;

$$L = 2 + (0.15B / ESR) \quad (21)$$

Duvar bulonları;

$$L = 2 + (0.15H / ESR) \quad (22)$$

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

Barton vd. (1974), destek basıncı ile Q değerinin birbirleriyle ilişkili olduğunu belirtmişler ve bu ilişkinin pratik uygulamalarda başarı ile uygulanabileceğini önermişlerdir. Tavan ve duvar destek basıncı aşağıdaki ampirik formüller ile saptanabilir.

$$P_{tavan} = \left( \frac{2}{Jr} \right) Q^{-1/3} \quad (23)$$

$$P_{duvar} = \left( \frac{2}{Jr} \right) Q_w^{-1/3} \quad (24)$$

Çatlak takım sayısı kayaya bloklu bir yapı kazandıracığından bloklu bir kayada açılan tünellerde ise destek basınçlarının, masif kayaya oranla fazla olabileceği bilinmektedir. Bu nedende 23 ve 24 nolu ampirik formüle Jn parametresi ilave edilerek geliştirilmiş ve aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. 25 ve 26 nolu ampirik formüller çatlak takım sayısı üçten az olduğu zaman kullanılmaktadır.

$$P_{tavan} = \frac{2}{3} Jn^{1/2} Jr^{-1} Q^{-1/3} \quad (25)$$

$$P_{duvar} = \frac{2}{3} Jn^{1/2} Jr^{-1} Q_w^{-1/3} \quad (26)$$

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

Kalıcı duvar destek basıncını bulmak için kullanılan duvar faktörü ( $Q_w$ ),  $Q$  değerinin büyüklüğüne bağlı olup, Tablo 2.22'de verilen aralıklara düşen  $Q$  değerlerinden belirlenmektedir.

Tablo 2.22.  $Q$  kaya kütleli niteliğine göre duvar faktörünün ( $Q_w$ ) 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

Barton vd. (1974),  $Q$  değeri bilinen kaya kütlelerinde oluşturulacak en büyük desteksiz açıklığı bulmak için aşağıdaki eşitliği önermiştir. Aynı kesimde yer alan duvarlara ait  $Q_w$  değerleri, tavan  $Q$  değerlerine daha büyük olduğundan  $B_{max}$  değeri, duvarlara göre daha duraysız olan tavanların  $Q$  değerlerine göre hesaplanır.

$$B_{max} = 2(ESR)Q^{0.4} \quad (27)$$

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

RMR sisteminde olduğu gibi kaya kütleli de formasyon modülü,  $Q$  sisteminde de Grimstad ve Barton (1993) ve Barton (2002) tarafından aşağıda önerilen formüllerle bulunabilmektedir.

$$E_M = 25 \log Q \quad (Q > 1 \text{ için}) \quad (\text{Grimstad ve Barton, 1993}) \quad (28)$$

$$E_M = 10(Q \cdot \sigma_c / 100)^{1/3} \text{ (Barton, 2002)} \quad (29)$$

Burada;  $\sigma_c$ : kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (MPa),  $E_M$ : kaya kütesinin deformasyon modülüdür (GPa).

Q kaya kütleli sınıflama sistemi ile RMR kaya kütleli sınıflama sistemi arasındaki ilişki Bieniawski (1976) ve Barton (1995) tarafından incelenerek aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \text{ (Bieniawski, 1976)} \quad (30)$$

$$RMR = 15 \log Q + 50 \text{ (Barton, 1995)} \quad (31)$$

#### 2.4.6.2. RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

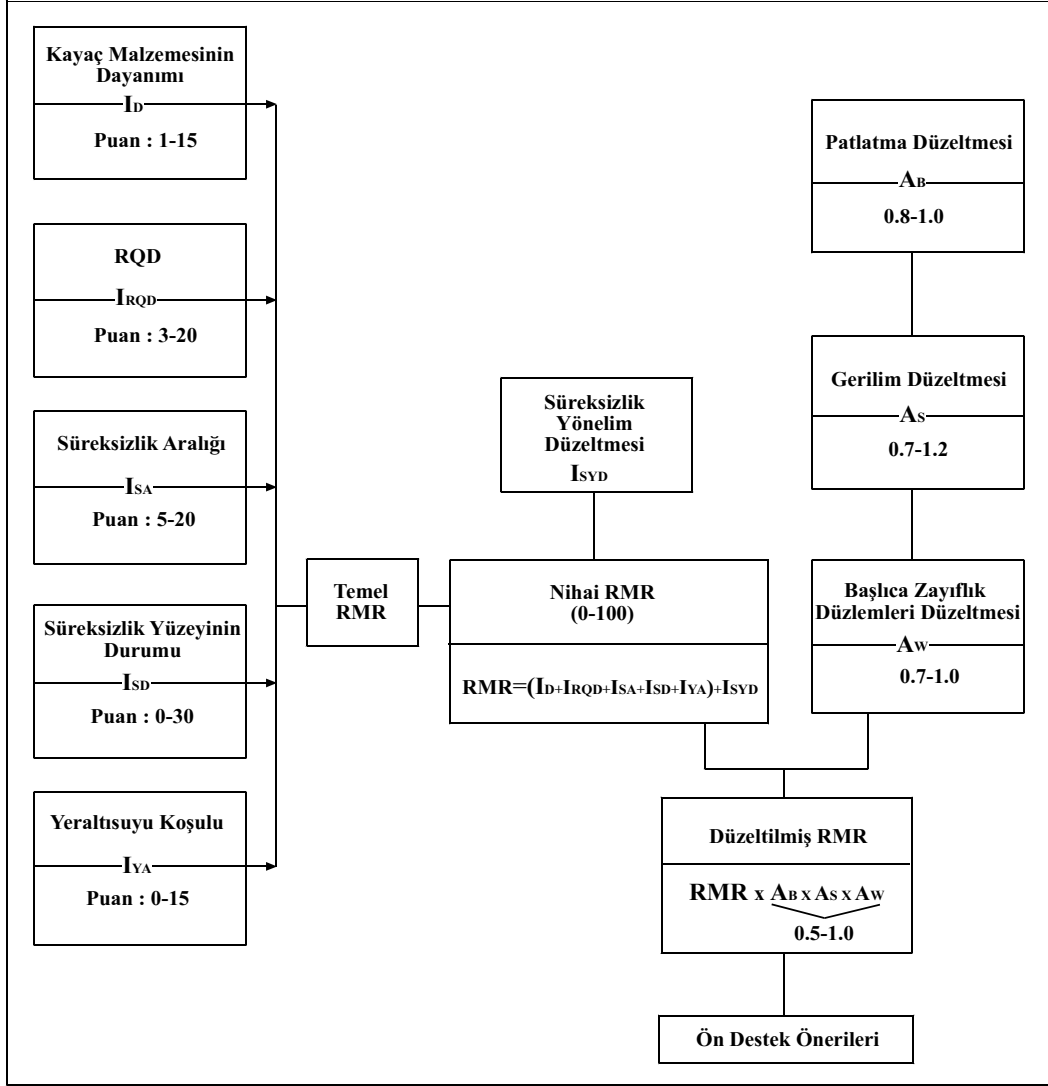
RMR Sınıflama Sistemi, Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş bir kaya kütle sınıflama sistemi olup, daha sonraki yıllarda karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Laubscher, 1977 ve 1984; Weaver, 1975; Olivier, 1979; Ghose ve Raju, 1981; Nakao vd., 1983; Gonzalez 1983; Romana, 1985) ve son halini 1989 yılında yapılan değişiklikle almıştır (Bieniawski, 1989).

RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır.

- Kayacın nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı
- Kaya kalitesi göstergesi (RQD)
- Süreksizlik ara uzaklığı
- Süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklılık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- Süreksizliklerin yönelimi
- Yeraltısuyu koşulları

Hat etüdlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır.

Çalışmada, RMR sistemi kullanılarak düzeltilmiş RMR sınıf puanının tayin edilmesinde izlenmiş olan akış şeması Şekil 2.9'da verilmiştir.

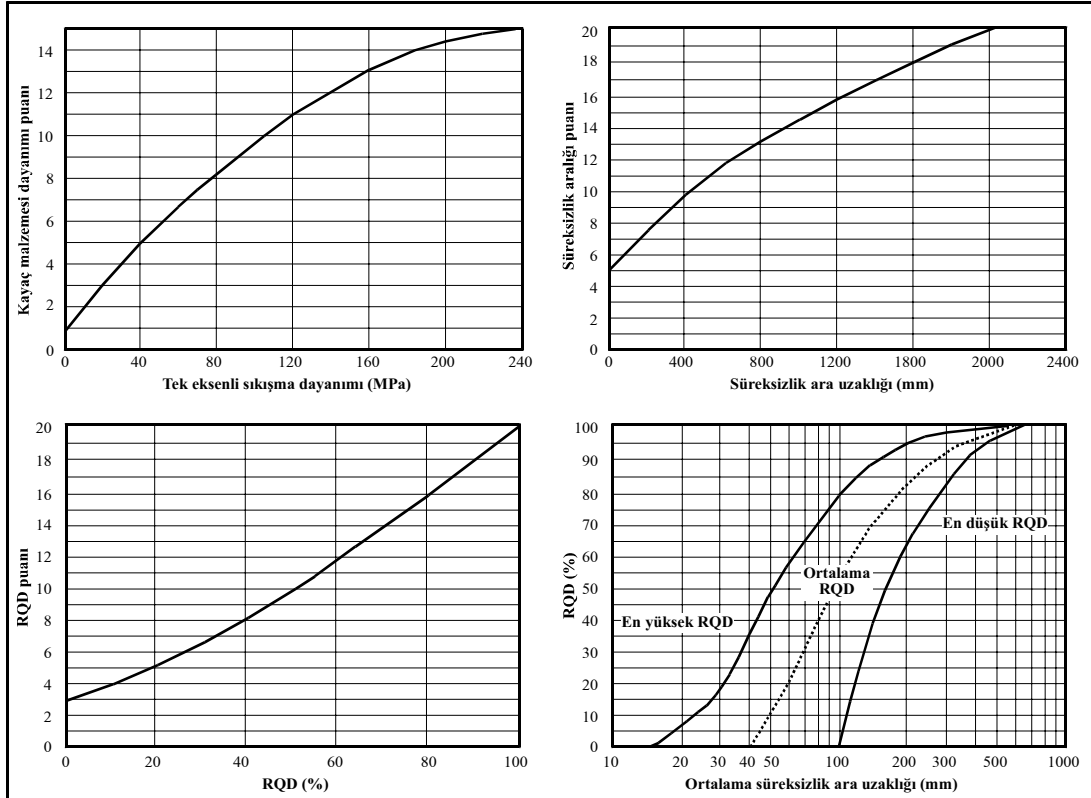


Şekil 2.9. RMR kaya kütle sınıflama sisteminde RMR puanı hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Bieniawski, 1989)

Tablo 2.23’de RMR kaya sınıflama sisteminin 1989’daki son versiyonu ve bu sisteme göre verilen puanlar görülmektedir. İlk üç parametreye ait sınıf değerleri ve bunlara ait puanlar belirli aralıklar arasında kalmakta, uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktaydı. Bu hataları gidermek için Bieniawski (1989) ve ISRM (1981) tarafından önerilen çeşitli grafikler geliştirilmiştir (Şekil 2.10). Şekil 2.10’da hassas puanlamaya olanak kılan tek eksenli basınç dayanımı, RQD ve süreksizlik aralığı değerlerine karşılık gelen grafikler görülmektedir.

Tablo 2.23. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989)

1	Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
<b>Puan</b>			<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	Kaya Kalite Göstergesi, RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	<b>Puan</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6		
	<b>Puan</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Açıklık (mm)	Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5		
		<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
		<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Dolgu	Yok	<5 mm (sert)	>5 mm (sert)	<5 mm (yumuşak)	>5 mm (yumuşak)		
		<b>Puan</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
5	Yeraltısuyu (lt/dk)	10 m <sup>2</sup> 'lik kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	>125		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
<b>Puan</b>			<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		



Şekil 2.10. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanlama grafikleri (Bieniawski, 1989)

RMR sınıflama sisteminde süreksizlik takımının konumu göz ardı edilmemiş ve Bieniawski (1979 ve 1989) tarafından süreksizlik yönelimi düzeltmesi ortaya atılmıştır. Tablo 2.24’de süreksizlik konumunun etkisi, Tablo 2.25’de ise süreksizlik yönelimine göre düzeltme katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 2.24. RMR sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi (Bieniawski, 1989)

Doğrultu Tünel Eksenine Dik				Doğrultu Tünel Eksenine Paralel		Doğrultuya Bakılmaksızın (Eğim 0-20°)
Eğim Yönünde İlerleme		Eğime Karşı Yönde İlerleme				
Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	Eğim 45°-90°	Eğim 20°-45°	
Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil	Orta	Orta

Tablo 2.25. RMR sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

RMR sınıflama sistemini tünelcilik ve madencilik uygulamalarında da yaygın olarak kullanıldığından, yapılacak olan patlatmalarda, yerinde gerilmeler ve fayların durumu gibi faktörler dikkate alınarak gerektiği durumlarda bu faktörler için de düzeltme yapılmalı ve nihai RMR değerinde azaltmaya gidilmelidir (Laubscher, 1977; Kendorski vd., 1983). Bununla birlikte, gerilme alanının yatay ve düşey bileşenlerinin çok pahalı olan yerinde ölçüm deneyleriyle belirlenmesi nedeniyle, gerilme düzeltme katsayısı uygulamada çok fazla dikkate alınmamaktadır. Tablo 2.26’da patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili uygulama koşulları, yöntemler ve düzeltme katsayıları verilmektedir.

Tablo 2.26. Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları (Kendorski vd., 1983)

Patlatma Düzeltmesi (A <sub>B</sub> )			
Koşullar/Yöntem	Uygulanabilir Terim	Düzeltilme Katsayısı	
1	Makineyle kazı	Hasarsız	1.0
2	Denetimli patlatma	Çok az hasar	0.94-0.97
3	İyi klasik patlatma	Orta derecede hasar	0.90-0.94
4	Kötü klasik patlatma	Şiddetli hasar	0.80-0.90
Başlıca Zayıflık Düzlemleriyle İlgili Düzeltme (A <sub>w</sub> )			
Koşul	Düzeltilme Katsayısı		
1	Zayıflık düzlemi yok	1.00	
2	Sert dayklar	0.90	
3	Yumuşak cevher zonları	0.85	
4	Ana kaya/cevher dokanak zonları	0.80	
5	Kıvrımlar	0.75	
6	Fay zonları	0.70	



Kaya kütlesi sınıfı, yukarıda belirtilen işlemlerin ve gerekli düzeltmelerin yapılmasıyla elde edilen RMR puanına göre Tablo 2.27'den belirlenir.

Tablo 2.27. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989)

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

#### 2.4.6.2.1. RMR Sınıflama Sistemi'nin Uygulama Alanları

##### 2.4.6.2.1.1. Destek Seçimi

RMR sınıflama sistemi Tablo 2.28'de verilen kılavuzun kullanılmasıyla ön tasarım amacıyla uygun destek sistemlerinin seçimine olanak sağlamaktadır. Bu kılavuzun klasik delme ve patlatma yöntemlerinin uygulandığı kaya kütlelerinde, düşey gerilmenin 25 MPa'dan düşük olduğu ortamlarda inşa edilen, genişliği 10 m'ye kadar ve kesiti at nalı şeklinde olan tünellere uygulanabileceği dikkate alınmalıdır.

Tablo 2.28.RMR sistemine göre tünel kazıları ve destekleri için kılavuz (Bieniawski, 1989)

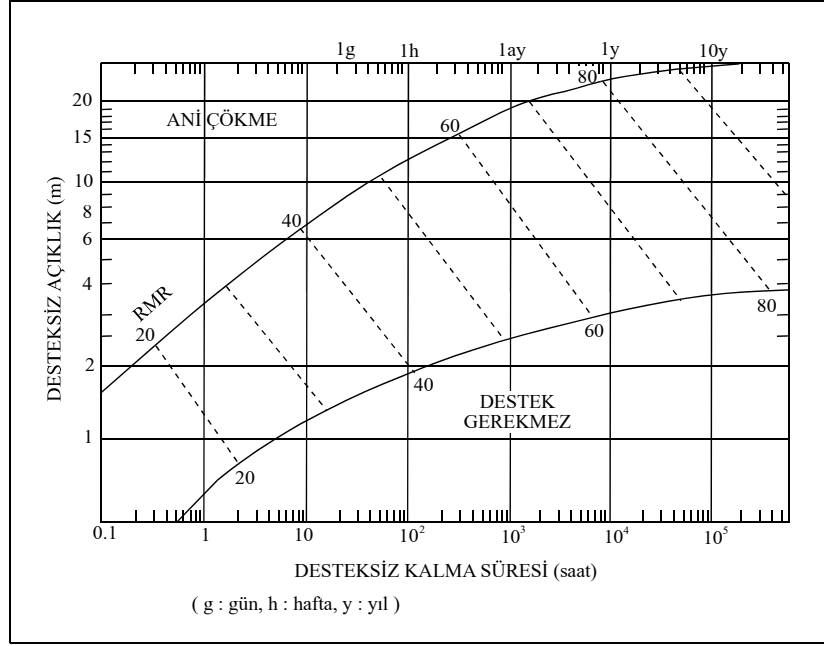
KALICI DESTEK (TAHKİMAT)				
KAYA KÜTLESİ SINIFI	Kazı	Kaya bulonları* (10 m genişlikteki tünel için uzunluk)	Püskürtme beton (Şatkrit)	Çelik Destek (İksa)
I	Tam kesit, 3 m ilerleme	Bir miktar kaya bulonu haricinde	genellikle destek gerektirmez	
II	Tam kesit, 1.0-1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 m'sinde yer yer bulon, tel kafeslerle 2-2.5 m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 500 mm	Yok
III	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme Tavandan 1.5-3 m ilerleme. Komple destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunlukta sistematik bulonlar, kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5-2 m aralıklı	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm	Yok
IV	Tavan kemeri ve Tabandan ilerleme. Tavandan 1.0-1.5 m ilerleme. Kazıya uygun şekilde aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli tahkimat	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 4-5 m uzunlukta sistematik bulonlar	Tavan kemerinde 100-150 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Gereken yerde 1.5m aralıklı yer yer hafif profiller
V	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5-1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlamadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1-1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik bulonlar.	Tavan kemerinde 150-200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm	Çelik iksalı 0.75 m aralıklı orta-ağır profiller

\*20 mm çaplı tamamen reçine dolgulu

(Şekil: At nalı; İnşaat: Delme ve patlatma; Genişlik 10 m; Düşey gerilme < 25 MPa)

### 2.4.6.2.1.2. Desteksiz Durma Süresi

RMR puanı bilinen kaya kütlelerinde oluşturulacak yeraltı açıklıklarının belirli bir tavan genişliğine göre desteksiz durma sürelerinin tahmini amacıyla Şekil 2.11’de verilen grafik kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. RMR sınıflama sistemine göre yeraltındaki boşlukların desteksiz kalabilme süresini tahmin abacı (Bieniawski, 1989)

### 2.4.6.2.1.3. Destek Basıncı

Yeraltı açıklıklarında kullanılan destek sistemlerine gelecek basınç, RMR puanından yararlanılarak tahmin edilebilmektedir. Ünal (1983) kömür madenlerinde yaptığı çalışmalar sonucunda, yeraltı açıklıkları için RMR’yi kullanarak destek basıncının tahmin edilebileceğini ileri sürmüştür.

$$P = \left( \frac{100 - RMR}{100} \right) \gamma B \quad (32)$$

Burada; P: destek basıncı (kN/m<sup>2</sup>),  $\gamma$ : kayacın birim hacim ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>), B: tünelin genişliğidir (m).

#### 2.4.6.2.1.4. Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısının Kestirimi

RMR puanı kaya kütlelerine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısının tahmininde kullanılabilir. Tablo 2.29’da değişik kaya kütleleri sınıfları için makaslama dayanım parametreleri verilmiştir. Ancak bu değerlerin sadece suya doygun ve ayrılmış kaya kütlelerinde açılan şevlere uygulanabileceği belirtilmektedir (Singh ve Goel, 1999).

Tablo 2.29. RMR kaya kütleleri sınıflamasının anlamı (Bieniawski, 1989)

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Ortalama desteksiz kalma süresi	15m açıklık için 20 yıl	10m açıklık için 1 yıl	5m açıklık için 1 hafta	2.5m açıklık için 10 saat	1m açıklık için 30 dakika
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (derece)	>45	35-45	25-30	15-25	<15

#### 2.4.6.2.1.5. Kaya Kütlelerinin Deformasyon Modülünün Tayini

Kaya malzemesiyle birlikte süreksizlikleri içermesi nedeniyle, kaya kütlelerinden laboratuvarında deney yapılabilecek boyutlarda büyük örnekler alınamamaktadır. Bu sınırlama, kaya kütlelerinin yerindeki (in-situ) deformasyon özelliklerinin nasıl tayin edilebileceği konusunun önem kazanmasına ve bu amaçla kullanılacak görgül bağıntıların geliştirilmesine neden olmuştur. Bu gereksinimi dikkate alan Bieniawski (1978), sert kaya kütlelerinin (RMR>50 koşulunda) yerindeki deformasyon modüllerinin ( $E_M$ ), RMR’nin de bir girdi parametresi olarak kullanıldığı aşağıdaki bağıntıdan tahmin edilebileceğini önermiştir.

$$E_M = 2RMR - 100 \quad (33)$$

Yukarıdaki eşitlikten birimi GPa olarak elde edilen deformasyon modülleri, arazide yapılan sınırlı sayıda plaka yükleme deneylerinin sonuçlarıyla da uyum göstermiştir. Zayıf kaya kütleleri üzerinde Serafim ve Pereira (1983) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, RMR≤50 koşulunda  $E_M$ ’nin GPa birimi cinsinden aşağıdaki bağıntı kullanılarak tahmin edilmesi önerilmiştir.

$$E_M = 10^{(RMR-10)/40} \quad (34)$$

### 2.4.6.3. NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi

1950'lerden sonra, yeraltı kazılarının ve tünel açımının artması, güvenli ve ucuz tünel açım yöntemlerinin de ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yıllarda yeraltında yapılan hidrolik santrallerin kazıları sırasında bölünmüş kazı yönteminin uygulanması Avusturya Yöntemi olarak adlandırılmıştır. Geniş kesitli olan bu kazılarda ilk olarak tabana yakın bir galeriyle kazıya başlanıp daha sonra yan ve üst galerilerle kazı aşamalı olarak üst yarıya doğru genişletilir. Daha sonra geliştirilen bu metod “Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi” (NATM) adını almıştır. NATM’in esas gelişimi 1970’li yıllarda olmuştur (Kökçüoğlu, 2006).

Rabcewicz vd.(1964) bu yöntemi, ince ve geçici bir destekleme uygulayarak, deformasyonlara izin vermek, tünel içine doğru gelişen kaya basıncını azaltmak ve yükleri kazı çevresindeki kayaya dağıtmak; böylelikle son desteklemeyi (kaplama) daha az yüklemek ve daha ince bir yapı oluşturmak olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamaya göre deformasyonlar kazı sırasında ölçülecek ve projedeki hesaplamalarla karşılaştırılacaktır.

Bütünüyle tünel açımı sırasında yapılacak gözlem ve deformasyon ölçümlerine dayanan NATM kaya sınıflaması bu anlamda yapım aşamasının sınıflamasıdır. Tasarım aşamasındaki nitelikleri incelendiğinde, bu kaya sınıflamasının tanımsal olduğu ve bu bağlamda da nicel veri sağlamayacağı görülür. Göreceli olarak üniform jeolojik yapıya sahip bölgelerde kaya kalitesinin sayılarla ifade edildiği ve kaya davranışının formülle tahmin edildiği kaya sınıflama sistemleri geliştirilirken, jeolojik yapının büyük değişiklikler gösterdiği bölgelerde NATM gibi esnek yapım yöntemleri ve kazı sırasında kaya davranışını esas alan kaya sınıflama sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi hemen her türlü zemine ve kayaya uygulanan, ekonomik bir yöntem olarak tanınmıştır. Bu yöntemin 20’den fazla ilkesi bulunmaktadır. Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminin ana prensibi, tünel kazısını çevreleyen zemini yük taşıyıcı destek eleman haline getirerek zamana bağlı gerilme değişimlerini etkilemek ve minimum destekleme önlemlerini gerektirecek şekilde kontrollü bir gerilme boşalımı sağlamaktır. Bunu yapabilmek için ön sağlamlaştırmanın uygun bir yük-şekil değiştirme özelliğinin olması ve tam zamanında yerleştirilmesi gerekir. NATM belirli bir destek ve kazı işlemine bağımlı değildir ancak aşağıda belirtilen ilkelere uyulmasında yarar vardır. Başlıca esasları, ana kayanın ilk sağlamlığını korumak, dağı fazla kurcalamamak ya da dağı ürkütmemek, yükü dağa taşımak, koruyucu zonu boşluk yakınında oluşturmak, şekil

değiştirme ve gerilmeleri, ölçümlerle denetlemek, sağlamlaştırma işlemlerinin en kısa zamanda tamamlamak ve kazı kesitlerini olabildiğince yuvarlak seçmektir.

NATM yönteminin ana esasları Vardar (1979)'a göre aşağıdaki gibidir;

1. Yeraltı yapısının ana malzemesi dağın kendisidir. Tünelin esas taşıyıcı kısmı, boşluğu çevreleyen ana kayadır.

2. Kayacın başlangıçtaki sağlamlığı korunmalıdır. Bu nedenle uyulması gereken ana ilke, kayacın ilksel sağlamlığını korumaya çalışmaktır.

3. Gevşemelerin olabildiğince önüne geçilmelidir. Çünkü gevşemeler, kayanın taşıma direncini azaltır.

4. Tek ve iki eksenli gerilme ortamından kaçınılmalıdır. Çünkü bu tür gerilmelerin etkisinde bulunan kayanın taşıma direnci düşer.

5. Koruyucu zon, kayanın taşıma direncini azaltmaksızın oluşturulmalıdır. Kazı sırasında oluşan şekil değiştirmeler; koruyucu zonun oluşmasına yeterli olacak şekilde, fakat kayacı aşırı gevşeterek taşıma dayanımının azalmasına neden olmayacak şekilde denetlenmeli ve yönlendirilmelidir. Bu alanda başarılı olduğu ölçüde, güvenlik ve ekonomiklik artar.

6. Sağlamlaştırma işlemlerini tam zamanında ve gerekli esneklikte yapılmalıdır. Bunu sağlamak için sağlamlaştırma işlemlerine ne çok erken, ne de çok geç başlanmalı ve iksa direncini oluşturan yapının ne çok rijit ne de çok zayıf olmasına özen gösterilmelidir.

7. Özgül zaman faktörü (kayacın kendisini tutma süresi) doğru olarak tahmin edilmelidir.

8. Ön deneyler ve ölçümler yapılmalıdır. Zaman faktörünün ve kayanın kazı sonrasındaki şekil değiştirme davranışının önceden belirlenebilmesi için laboratuvar ve arazide deneylerin yapılması ve deneme galerisinde konverjans ve deformasyonların ölçülmesi zorunludur. Bilindiği gibi, boşluğun kendini tutma süresi, deformasyon hızı ve kaya kalitesi, yeraltı kaya mekaniğinde de projelendirme için gerekli olan en önemli etmenler arasındadır.

9. Sağlamlaştırma, kuvvetleri bağlayıcı türde (püskürtme beton) olmalıdır. Kazı sonrasında büyük şekil değiştirmelerin ve gevşemelerin beklendiği durumlarda sağlamlaştırma dayanımı yayılı yükler şeklinde ve sağlamlaştırma önlemi boşluk yüzeyini bağlayacak biçimde olmalıdır. Bunu sağlayan en başarılı yöntem, kısa sürede prizlenen

püskürtme beton kullanımınıdır.

10. Sağlamaştırma kaplamaları ince kabuk şeklinde olmalıdır. Geçici ve kalıcı sağlamaştırma kaplamaları ince kabuk şeklinde ve bükülebilir esneklikte olmalıdır. Böylelikle kabuk içinde eğilme momentlerinin oluşması ve bunların meydana getireceği çekme ve kesme kırıkları önlenilecektir.

11. Sağlamaştırma, çelik hasır, ankraj ve çelik hasır bağlarla yapılmalıdır. Sağlamaştırma, kabuğun kalınlaştırılması ile değil, kabuğa gerekli esnekliği verecek olan çelik hasır bağlarla sağlanmalıdır. Kayayı kendi kendine taşıtmak için etkin gerilmeler ankrajlar ile dağın içine aktarılmalıdır.

12. Sağlamaştırma zamanı ve elemanları ölçümlerle saptanmalıdır. Tünel duvarındaki ve onu çevreleyen kayalar içindeki deformasyonların ve gerilmelerin ölçülmesi, kayacın uygulama sırasındaki davranışını göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Ön varsayımlara göre yapılan projelendirme ile dağın içine girildikten sonra uygulanması gereken proje çoğu zaman beklenmedik yeni etmenlerinde ortaya çıkması nedeniyle birbirinden farklı olacaktır. Bu nedenle, yeraltı kaya yapıları mühendisliğinde bir projeden değil, adım adım ve yer yer değişen bir projeler sisteminden söz edilmelidir. Bu sistemin kendi arasındaki uyumu ve kaya ortamına uygunluğun başarılabilmesi için ise gözleme, ölçme, deneyleme, denetleme, yorumlama ve arşivlendirme gibi tüm mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği çalışmalarının eksiksiz yapılması zorunludur. Bu çalışmaların yapılmadığı ve kesitler boyunca hep aynı projenin kullanıldığı durumlarda NATM'in kullanılmayacağı bilinmelidir.

13. Tünel, statik bakımdan zayıf zon ile sağlamaştırma kabuğunun oluşturduğu bir halkadır. Modern anlamda tüneller dairesel kesitli yapılardır. Dağın içinde boşluk gerisinde oluşturulan gerilme halkası (taşıyıcı zon) ile boşluk duvarına yapıştırılan sağlamaştırma kabuğu birlikte çalışan bir halka oluştururlar. Statik bakımdan tünel, duraylılık araştırmalarında iki boyutta bir çember ve üç boyutta ise bir tüptür.

14. Sağlamaştırma kabuğu kapalı halka şeklinde olmalıdır. Bu çemberin statik bakımdan taşıyabilir duruma gelebilmesi için halkaların kapanması zorunludur. Yay veya çentikli derzli halka statik bakımdan çembere kıyasla duraysızdır. Bu bakımdan kalot, sağ ve sol yan kazılar sağlamaştırıldıktan sonra taban kazısı bitirilmeli ve sağlamaştırma kaplaması bir halka şeklinde boşluk duvarına yapışmalıdır. Bilindiği gibi bu durum en iyi biçimde ancak tam kesit kazıları izleyen çember şeklindeki sağlamaştırma kabuklarıyla elde edilebilir. Ancak, taban kayacının taşıma özelliklerinin iyi olduğu durumlarda, tabanın

sağlamlaştırılması ve sağlamlaştırma yayının bir halkaya tamamlanması gerekemeyebilir.

15. Halka en kısa zamanda oluşturulmalıdır. Kayacın ikincil gerilmelerin oluşumu sırasındaki davranışı, kabuğun deformasyonlarına bağlıdır. Tam kapanmış bir çember, taşıyıcı halka durumunda olmadığı için, gevşemeleri arttıran ve boşluğu çevreleyen kayaları plastikleştirerek onun taşıma direncini düşüren bir etken olmaktadır. Kaya içindeki deformasyonların ve plastik zon oluşumlarının zamanın bir fonksiyonu olduğu göz önüne alınacak olursa, sağlamlaştırma yayını en kısa zamanda halka şeklinde kapatmak çok olumlu sonuçlar verecektir. Tünel statığı üç boyuttaki bir tüp içinde değerlendirilirse; sağlamlaştırma halkasından fazlaca uzaklaşmış kalot kazılarında, tavanın sağlamlaştırılmasıyla oluşturulan yay şeklindeki kabuğun, (daha fazla deformasyonlara izin vermesi nedeniyle) tüneli ekseni boyunca eğmeye çalışan bir moment meydana getirir. Eğilmeye zorlanan bu tüpün uç kısmındaki kalot kabuğunun yan ayaklarında çok büyük gerilme oluşarak tehlikeye sokar. Dolayısıyla kalot anosu, sağlamlaştırma halkasından fazla uzaklaşmamalı ve tünel kaplaması en kısa zamanda yapılmalıdır.

16. Dağ olabildiğince az kurcalanmalıdır. Boşluğun açılması, ilksel gerilme durumunu bozarak yeni bir gerilme dağılımı oluşturmaktadır. Boşluğun biçimi ve boyutunu değiştirmeye yönelik her yeni kazı bir kez daha gerilmelerin yönünün, şiddetinin ve yerinin değişmesine neden olacak ve böylece kaya dokusu giderek gevşeyecek ve kayanın taşıma direnci azalacaktır. Gerilmelerin boşalması sırasında kaçınılmaz olan boşluk içine yönelik şekil değiştirmeler süreksizlik yüzeylerini açmakta, rölatif ötelenmelerle kayanın dokusu örselenmektedir. Bu durum kayanın geçirimsizliğini artırmakta ve çatlakların mekanik davranışlarının değişmesi bakımından da önem taşımaktadır. Unutulmaması gereken nokta kayanın en sağlam olduğu durumunun kazı öncesindeki ilk durumu olduğudur. Bu durumu en az değiştiren kazı ilkesi ise, ikincil gerilme durumunun bir defada oluşturulmasıdır. Dolayısıyla, kısmi kazılar çalışmalarını karmaşıktığı ve doğal yapının giderek bozulmasına neden olduğu için tam kesit kazıları en uygun olanıdır.

17. Tünel açma yöntemi yapının güvenliği açısından önemlidir. Tünel açma yönteminin uygulanış biçimi yeraltı kaya yapısının duraylılığı ve güvenliği açısından, kayanın zamana bağlı davranışını doğrudan doğruya etkilediği için büyük önem taşımaktadır. Yöntemler, uygulanış biçimlerine göre organizasyon ve zamanlamada büyük farklılıklar oluştururlar. Bu bakımdan ano uzunlukları, atım derinlikleri, sağlamlaştırmanın gerçekleşme süresi, tabanın kapanması, sağlamlaştırma direncinin sağlanması yeraltı yapılarının güvenliğine büyük ölçüde etkir.

18. Yuvarlatılmış boşluk profilleri kullanılmalıdır. Tünelin en kesiti daire veya elips şeklinde olmalı, çıkıntı, çentik ve köşeler bulunmamalıdır. Bunlar yapı duvarında ve kaya içinde gerilmelerin yoğunlaştığı bölgeler meydana getirerek, bunların karşılanmasını zorunlu kılan aşırı boyutlandırmaya neden olurlar veya yapının duraylılığını ve güvenliğini tehlikeye sokarlar.

19. İç kabuk ince olmalı ve dış kabuk ile sürtünmesiz fakat sıkı bağlı olmalıdır. İki kabuklu sağlamlaştırmalarda iç kabuk da istenmeyen eğilme momentlerinin oluşmaması için ince olmalıdır. Ancak dış kabuktan gelebilecek olan yüklerin kesmeye çalışmaması için, dış kabuğa sürtünmesiz bir şekilde ve tam yüzeyiyle sıkıca oturması sağlanmalıdır.

20. Ön (geçici) sağlamlaştırma işlemleriyle yapının duraylılığı sağlanmış olmalıdır. Kabuk ve çevresindeki kayadan oluşan yeraltı kaya yapısının şekil değiştirmeleri iç kabuğun yerleştirilmesinden önce durdurulmuş, yani ikincil gerilme durumu dengeli son şeklini almış olmalıdır. İkinci kabuğun görevi güvenliği arttırmak ve mimarı görünümü sağlamaktır. Ancak yeraltı sularının bulunduğu durumlarda iç kabuk tüm yükleri alacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bu durumlarda dış kabuk ile iç kabuğun arası bitüm, jeomebran, jeotekstil vb. malzeme ile su geçirmeyecek biçimde yalıtılmak zorundadır. Geçici sağlamlaştırmanın en önemli öğelerden biri olan ankrajların kalıcı sağlamlaştırma durumlarında hesaba katılabilmesi için bunların belli oranda korozyona karşı korunmuş olması gerekmektedir.

21. Yapım süresi içinde yönlendirme ve denetleme ölçümleri yapılmalıdır. Kaya ve kabuktan oluşan sistemin yapım süreci içindeki karşılıklı davranışlarının bilinmesi deformasyonların sönümlenip sönümlenmediğinin belirlenmesi ve gerilmelerin, yer, büyüklük ve türlerinin saptanması açısından büyük önem taşımaktadır. Kaya ve beton içine yerleştirilen ölçme aygıt ve gereçleri yapının tamamlanmasından sonra da kontrol amacıyla kullanılmalıdır.

22. Drenajla dağdan kabuğa iletilen su basıncı boşaltılmalıdır. Yeraltı suyunun bulunduğu durumlarda açılan her boşluk, bir drenaj yapısı gibi çalışmakta ve suyu kendisine çekmektedir. Hem süreksizliklerin mekanik özelliklerini değiştirmesi ve hem de çalışma ortamını güç koşullar altına sokması bakımından istenmeyen su geliri, su boşaltan ağızların beton ile tıkanmasından sonra kabuk gerisinde büyük değerlere varan su basınçları oluşturulabilir. Boşluk suyu basıncının sistemin taşıma gücünü azaltması nedeniyle bu suyun drene edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla boşluk çevresine drenaj boruları yerleştirilmelidir.



Bu prensiplerin önemi bilhassa zor kayaç şartlarında anlaşılmaktadır. Zor kayaçlar; düşük dayanımlı, yüksek plastiklikte ve ileri derecede eklemli kayaçlar, başta yanal gerilmeler olmak üzere yüksek gerilmelere maruz kalan kayaçlar, üzerinde çok az ve çok fazla yük bulunan tünellerdeki kayaçlar ve jeodinamik etkilerle bozuşan kayaçlardır. Son yıllarda NATM'a göre inşa edilen tünellerde kaya sınıfları belirlenirken, kazı sırasında karşılaşılan kayanın jeoteknik özellikleri, örtü yükü, kazı kesiti, ilerleme adım boyu, kazı sırasında karşılaşılan yeraltı suyu ve jeoteknik ölçüm sonuçları dikkate alınarak tanımlanır.

Avusturya Standartlarından olan ÖNORM B2203 (1994), NATM için stabil kayadan basınç yaratan kayaya kadar değişen altı kaya sınıfını tanımlamıştır (Tablo 2.30).

Tablo 2.30. NATM'a göre kaya sınıflandırması (ÖNORM B2203, 1994)

Kaya Sınıfı			Açıklamalar	Destekleme
A	A1	Sağlam	<b>Sonradan Az Sökülen Kaya Kütleleri:</b> 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 Kırılgan		Sadece bölgesel olarak tünel tavan ve yan duvarlarında yersel blokların stabil hale getirilmesi için bulonlama yapılabilir.
B	B1	Kırılgan	<b>Gevrek Kaya Kütleleri:</b> Bu sınıfta yer alan kaya kütlelerinin davranışları, yapısal kenetlenme ve/veya çekme dayanımı azlığından dolayı, hızlı ve gevşemeye ve ayrışmaya 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 Kırılgan		Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda 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	<b>Baskılı Kaya Kütleleri:</b> 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 eğimli 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 aşamasındayken tünel güzergâhı boyunca arazi ve sondaj çalışmalarından elde edilen verileri kullanarak sayısal bir sınıflandırma yapan Q ve RMR sistemlerine ait değerler Şekil 2.12’de verilen eşleştirmeler yardımıyla NATM sisteminde karşılık gelen harf sel kaya sınıfına dönüştürülür. Böylece yapım aşamasına geçildiğinde zaman alıcı ve yapımı zor olan Q ve RMR sınıflama sistemleri yerine, bu sistemlerin tasarım aşamasında birleştirilmesi ile bulunmuş olan NATM sistemindeki sınıf değerleri kullanılarak kazı sırasında karşılaşılabilecek sorunlar en kısa zamanda çözümlenebilmektedir. Ancak sayısal kaya kütle sınıflama sistemlerinde kaya kütle sinin zamana bağılı davranışı göz önüne alınmadığından tasarım aşamasında belirlenen NATM kaya sınıfı kazı aşamasında yapılan deformasyon ölçümleri ile değiştirilebilir. NATM’ın yukarıda anlatılan yapıma yönelik niteliklerini, tasarım aşamasında kullanmak için yapılan kaya sınıflamalarının eşleştirilmeleri Şekil 2.12’de verilmiştir.

Q KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Barton vd., 1974)	NATM KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Ö NORM B 2203, 1994)	RMR KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (Bieniawski, 1989)
1000 SON DERECE SAĞLAM	A1 SAĞLAM	100 ÇOK İYİ
400 ÇOK FAZLA SAĞLAM		
100 70.4 40 ÇOK SAĞLAM	A2 ZAMANLA KIRILGAN	80 iyi
10 SAĞLAM		
4 ORTA	B1 KIRILGAN	65
1.47 1 ZAYIF	B2 ÇOK KIRILGAN	60 58 ORTA
0.11 0.1 ÇOK ZAYIF		
0.03 0.016 0.01 0.008 ÇOK FAZLA ZAYIF	B3 DÖKÜNTÜLÜ	47 40 ZAYIF
0.002 0.001 ÇOK DERECE ZAYIF		
	C1 KAYA PATLAMALI	29
	C2 BASKILI	20
	C3 ÇOK BASKILI	15
	C4 AKICI	10 ÇOK ZAYIF
	C5 ŞİŞEN-KABARAN	5 2.5

Şekil 2.12. NATM, Q ve RMR değerlerinin eşleştirilmesi (KGM, 1997)

### 2.4.7. Kaya Kütlesinin Dayanım Özellikleri

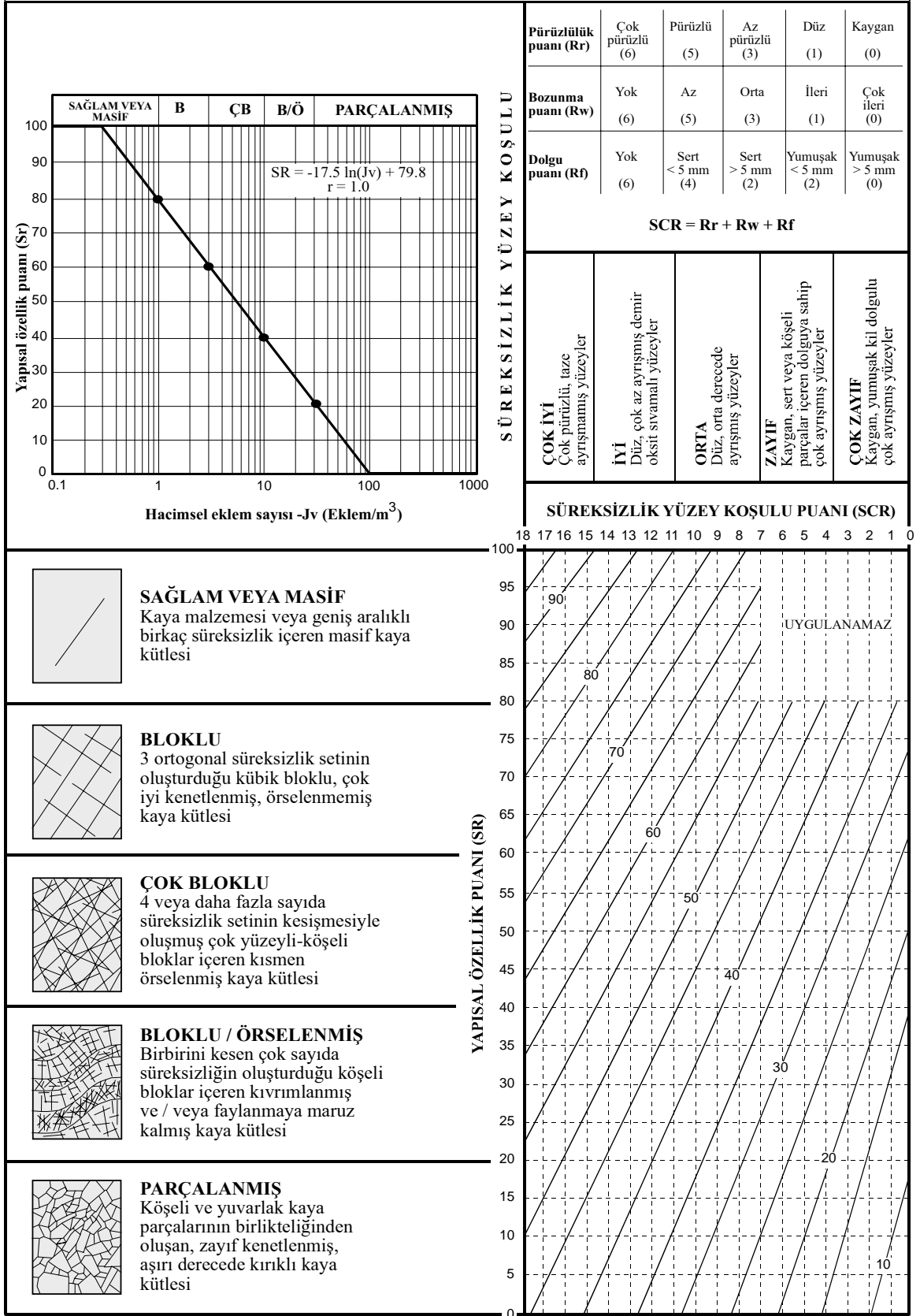
Doğal malzemelerin dayanım parametreleri, bu malzemelerden alınmış temsil edici büyüklükteki örneklerin laboratuvarında uygun şartlarda test edilmesi ile belirlenir. Ancak sık çatlaklı kaya kütlelerinden, sağlam kaya malzemesi ile birlikte süreksizlik sistemlerini de içerecek büyüklükte ve metre boyutuna varan örneklerin alınması genellikle mümkün olmamaktadır. Yeterli büyüklükte örnek alınsa bile bu örneği laboratuvar ölçeğinde test edecek hücre ve ekipman geliştirilmemiştir. Çatlaklı kaya kütlelerinin direnç ve deformasyon özelliklerini belirlemek için ampirik kırılma kriteri kullanılmaktadır. Bu ampirik yöntemlerden biride son zamanlarda literatürde geniş ölçüde kabul görmüş olan Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüdür. Bu kriter önceleri Bieniawski (1989) tarafından önerilen RMR sınıflama sisteminin bir girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Başlangıçta RMR kullanılarak hesaplanan GSI daha sonra Hoek-Brown tarafından önerilen bir GSI sınıflama abağından belirlenmeye çalışılmıştır.

Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarda süreksizlik yüzey koşulunun ve kaya kütlesi yapısının ölçülebilen veya tanımlanabilen kaya kütlesi parametrelerinin daha hassas bir şekilde belirlenmesi amacıyla bir puanlama sistemine geçilmesi uygun görülmüştür. Bu amaçla “Yapısal özellik puanı (SR)” ve “Süreksizlik yüzey koşulu puanı (SCR)” sisteme dahil edilmiştir. Yeniden düzenlenmiş GSI sistemi abağının en son hali Şekil 2.13’de verilmiştir.

Kaya kütlesinin dayanım özellikleri, Hoek ve Brown (1980) tarafından ortaya atılan ve zaman içerisinde modifiye edilerek Hoek vd. (1995) tarafından geliştirilen aşağıdaki ampirik eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[ m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right]^a \quad (35)$$

Burada;  $\sigma'_1$ : en büyük asal gerilme,  $\sigma'_3$ : en küçük asal gerilme,  $\sigma_{ci}$ : kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı,  $m_b$ : kırıksız kaya için malzeme sabiti olan  $m_i$ 'nin azaltılmış değeri,  $S$ : GSI'ye bağlı ampirik bir büyüklük,  $a$ : kaya kütlesinin jeomekanik büyüklüklerine bağlı ampirik büyüklüktür.



Şekil 2.13. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi abağının “Sağlam veya Masif” kaya grubu eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002)

(35) nolu eşitlikteki  $m_b$ ,  $S$  ve  $a$  parametreleri Hoek vd. (2002) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$m_b = m_i \exp\left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right] \quad (36)$$

$$s = \exp\left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right] \quad (37)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (38)$$

Burada;  $m_i$ : kırıksız kaya için malzeme sabiti değeri,  $D$ : kaya kütesinin 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.

#### 2.4.8. Gerilme-Deformasyon Analizleri

Bu bölümde, ilgili jeoteknik ve jeomekanik parametreler kullanılarak tünel kazısı esnasındaki ikincil gerilme dağılımları, tünel etrafındaki deformasyonlar ve kaya kütleleri ile örtüşen uygun destek sistemleri sonlu elemanlar (finite element) yöntemiyle incelenmiştir.

Bu amaçla, “Phase<sup>2</sup>” (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Bu program “Hibrit Elemanlar Yöntemi” (Sınır elemanlar ve sonlu elemanlar yönteminin karmasından oluşan sayısal yöntem) ile modellenen tünel-zemin sisteminde, kazı ve destekleme yöntemine uygun olarak değişen ardışık gerilme dağılımlarının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Tünel kazıları aşaması ve destek sistemi uygulaması sırasında meydana gelebilecek en elverişsiz durumlarla karşı karşıya kalınacağı hesaba katılmış ve modellemeler buna göre yapılmıştır. “Phase<sup>2</sup>” programı ile yapılan tünel modellemesi iki ayrı aşamayı içerir. İlk aşamada kazı yapıldıktan sonra tünel etrafında gelişen temel gerilme dağılımları ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ ), yenilme noktaları (makaslama (shear) ve çekme gerimesi (tension)) ve ikincil deplasmanlar

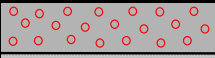

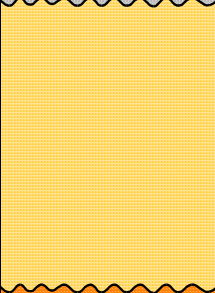
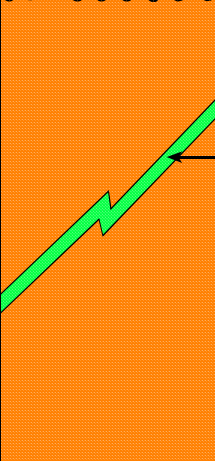
belirlenmiş; son aşamada ise tünel kazısı yapıldıktan sonra kaya kütesine uygulanan destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar hesaplanmıştır. Çok zayıf kalitedeki kaya kütlelerinin yenilme sonrası davranışları plastik olarak değerlendirilmiş ve Hoek-Brown yenilme ölçütleri kullanılmıştır. Çok zayıf kalitedeki kaya kütlelerinin modellemelerinde kullanılan destek sistemlerinin uygulanabilirliğini kontrol etmek amacıyla “Phase<sup>2</sup>” sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Tünel zeminlerinin portal ve portallara yakın kesimlerdeki davranışları üç boyutludur. Ancak “Phase<sup>2</sup>” sonlu elemanlar programı iki boyutlu analiz yapmakta olup, “düzlemsel bozunum” esasına dayanmaktadır. Bu nedenle tüneldeki üç boyutlu davranışı hesaba katmak ve iki boyutlu analiz sonuçlarında ortaya çıkan birtakım bilinmeyenleri de içermesi için kazı yapılan bölgedeki bazı kaya kütesi dayanımı parametreleri (elastik modül, kaya kütesi basma dayanımı, vs.) belli oranlarda azaltılmıştır. Böylece tünel kazısının neden olduğu gevşemelerin de göz önüne alınması sağlanmaktadır. Bu parametreleri belirlerken çok dikkatli davranılmalı ve tünel modellemesinin mümkün olduğunca doğal zemin koşullarını yansıtması sağlanmalıdır. Bu nedenle tünel kazısı yapılırken yerinde arazi deneyleri yapılarak tünel çevresindeki gerilme dağılımlarının büyüklüklerinin belirlenmesi, tünel projesi açısından hayati önem arz eder.

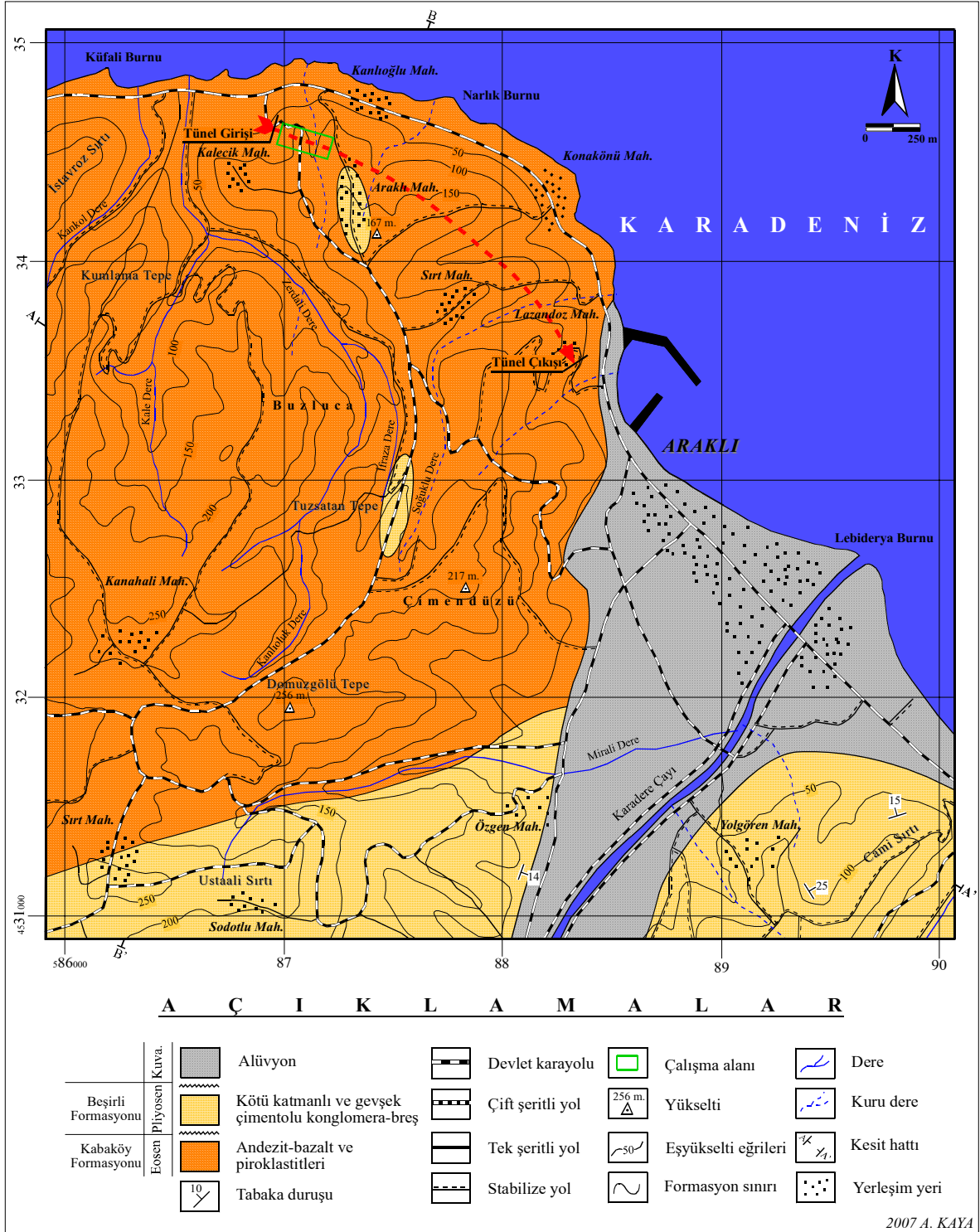
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Konakönü Tüneli Çevresinin Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanı ve çevresinde yaşlıdan gence doğru Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı alüvyonların ve yamaç molozlarının yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3).

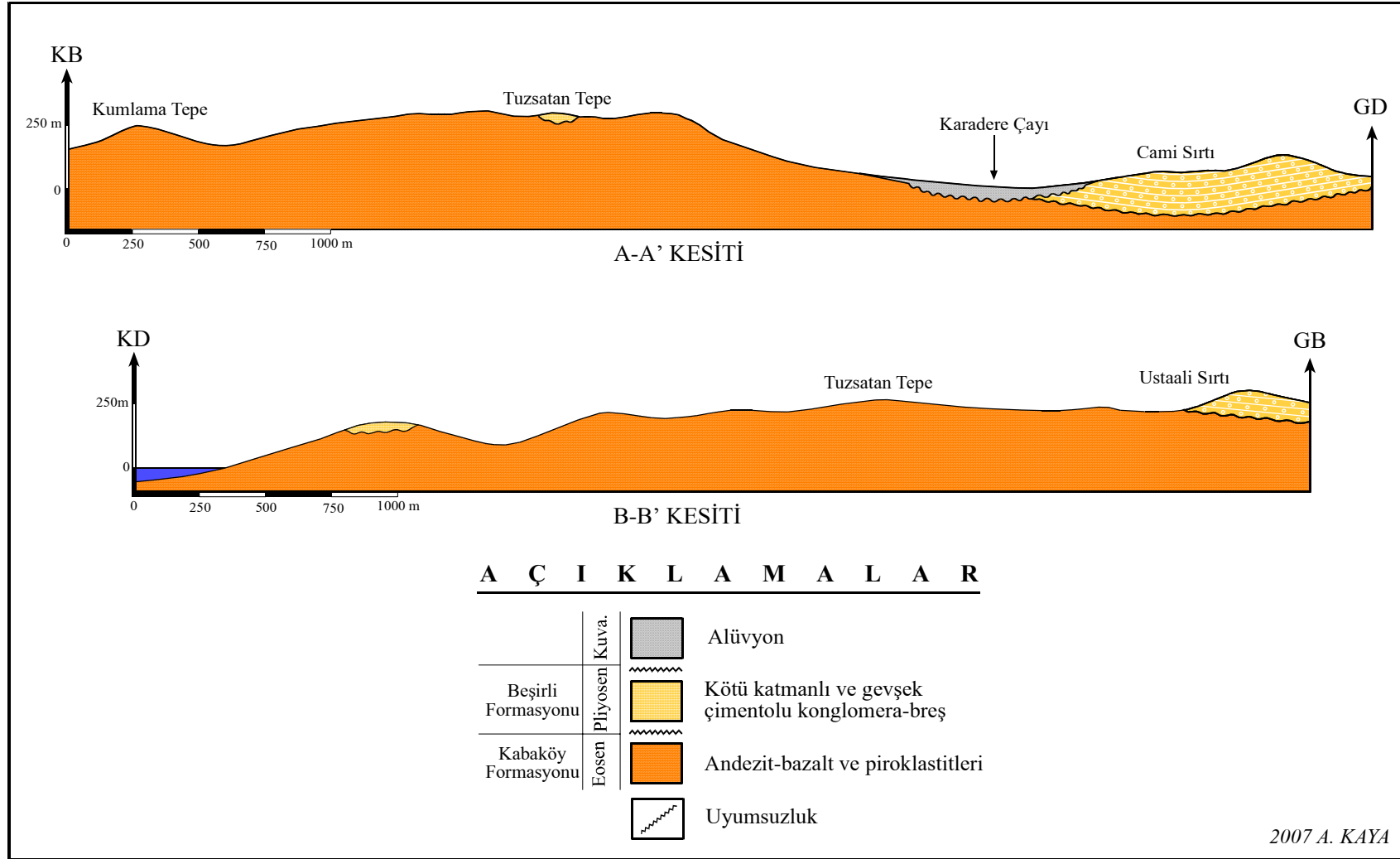
Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	Kuva.		Y.m.	~30 m		Yamaç Molozu
		Alü.			Alüvyon	
	Tersiyer	Pliyosen	Beşirli	~ 50-200 m		Kötü katmanlı ve gevşek çimentolu konglomera-breş
		Eosen	Kabaköy	> 250 m		Bazalt Daykısı Andezit-bazalt ve piroklastitleri
Ölçeksizdir						

Şekil 3.1. Konakönü Tüneli çevresine ait geliştirilmiş stratigrafik kolon kesit



Şekil 3.2. Konakönü Tüneli çevresine ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası





Şekil 3.3. Konakönü Tüneli çevresine ait 1/25000 ölçekli A-A' ve B-B' jeolojik kesitleri

### 3.1.1. Kabaköy Formasyonu

Tipik olarak Kabaköy (Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme veren ve genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru volkanik karakterde olan volkano-tortul istif ilk olarak Güven (1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde geniş yayılımlar gösteren andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşan birim Kabaköy Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır.

Geç Kretase yaşlı birimlerin üzerine bir taban konglomerası ile açısız uyumsuzlukla gelen formasyon, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşmaktadır.

Formasyona ait volkanik birimler, tünel güzergahı boyunca geniş yüzeylemeler vermekte olup (Şekil 3.2), tasarım aşamasında yapılan jeoteknik sondajlardan kazı hattı boyunca andezit-bazalt ve piroklastitlerinin yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.6).

Mikroskobik incelemelerde, Kabaköy Formasyonu içerisinde bulunan sol tüp giriş portalında yer alan açık yeşil renkli tüflerin litik kristal bazaltik tüf olduğu belirlenmiştir. Genellikle kırılmış parçalar halinde olan plajiyoklaslar yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde bulunmaktadır. Biyotitler ince-uzun latalar şeklinde olup, minerallerde bükülmeler söz konusudur. Ojitler oldukça kloritleşmiş ve parçalanmış bir yapıya sahiptir. Kloritler ise mafik minerallerin alterasyonu sonucu oluşmuştur. Bağlayıcı içerisinde ise daha çok killeşme ve kloritleşme hakimdir (Şekil 3.4.a).

İnce taneli açık gri tüflerin mikroskobik incelemesinde litik kristal andezitik tüf olduğu belirlenmiştir. Plajiyoklaslar genellikle yarı özşekilli mikrofenokristaller halinde olup, elek dokusu göstermektedir. Biyotitler çok küçük latalar şeklindedir. Ojitler ise oldukça parçalanmış ve kırılmış kristaller şeklinde görülmektedir. Bol olarak kayaç parçası içermektedir. Hamur içerisinde epidotlaşma, killeşme ve kloritleşme oldukça yaygındır (Şekil 3.4.b).

Aglomeraları oluşturan çakılların mikroskobik incelemelerinde, bu kayaçların daha çok hyalo-mikrolitik porfirik dokuya sahip olivin ojit bazalt oldukları belirlenmiştir. Plajiyoklaslar hem fenokristal hemde mikrolitler halinde olup, genellikle yarı özşekilli ve özşekilli kristaller şeklinde gözlenmektedir. Ojit mineralleri genellikle yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halindedir. Genellikle kırıklı ve çatlaklı yapıya sahiptirler. Bol olarak opak mineral inklüzyonu içeren ojit mineralleri yer yer kalsitleşmişlerdir. Hamur içerisinde

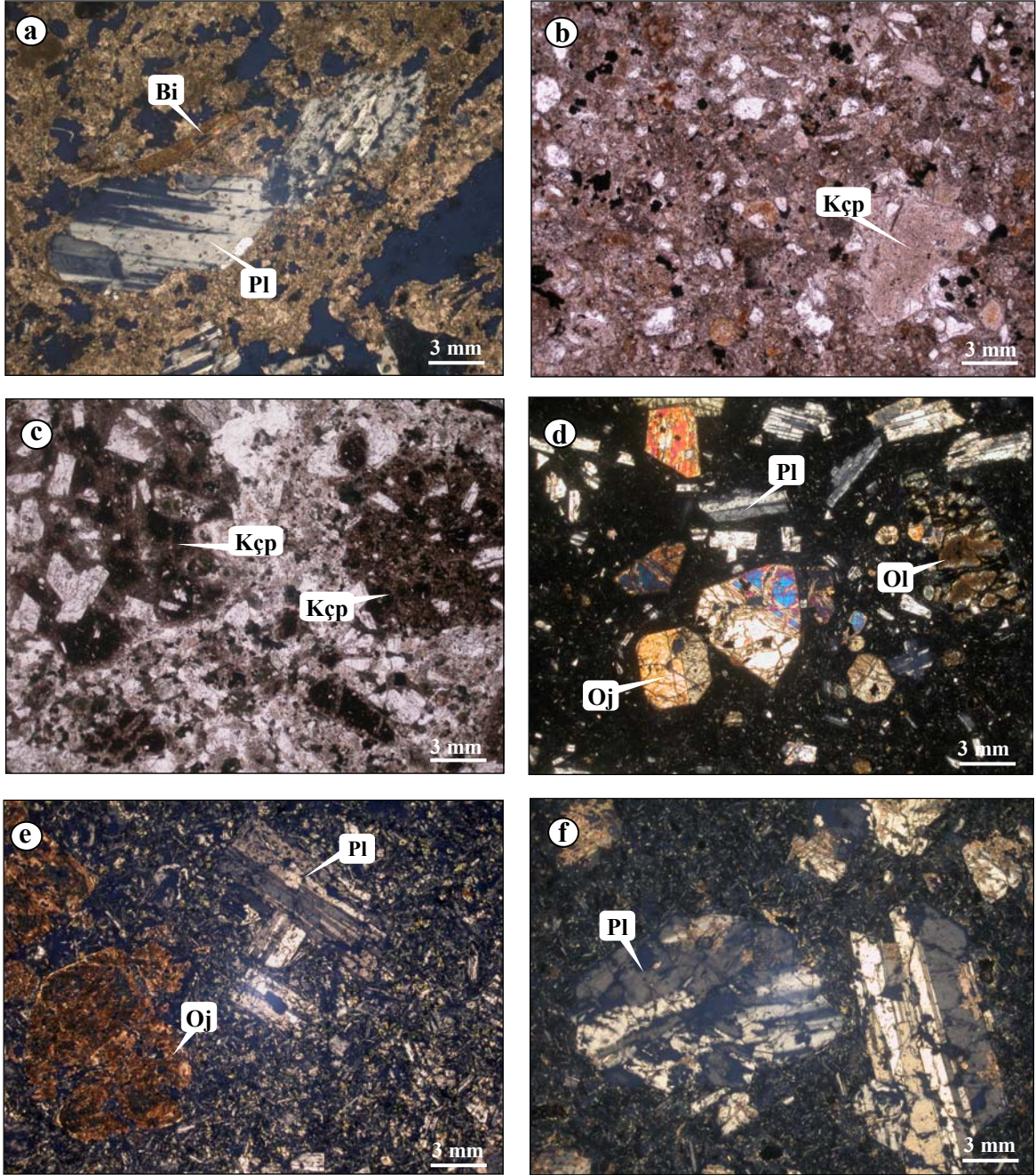
mikrofenokristaller halinde gözlenen olivin mineralleri oldukça ayrıışmıştır. Kayaç içerisinde az miktarda bulunan biyotit fenokristallerinin kenarlarında opaklaşma mevcuttur (Şekil 3.4.c).

Aglomeraların çakıllarını bir arada tutan bağlayıcının bileşimi bazaltiktir. Hamur, bol olarak kayaç parçası ve kristal içermektedir. Kristaller; daha çok yarı özşekilli mikrofenokristaller halindeki plajioklaslardan, çok küçük latalar şeklindeki biyotitlerden ve oldukça parçalanmış ve kırılmış kristaller halinde gözlenen ojit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.4.c).

Koyu gri renkli bazaltların mikroskobik incelemelerinde hyalo-mikrolitik porfirik dokuda olan olivin ojit bazalt olduğu belirlenmiştir. Plajioklaslar genellikle yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde gözlenmekte olup, hem fenokristal hemde hamur içerisinde mikrolitler halinde gözlenmektedir. Yer yer zonlu ikiz gösteren plajioklas mineralleri kayaç içerisinde az miktardadır. Karmaşık ikizi gösteren plajioklas mikrofenokristalleri ise genellikle parçalı ve kırıklı yapıya sahiptir. Ojit mineralleri genellikle yarı özşekilli ve özşekilli kristaller halinde gözlenmekte olup, bol olarak kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahiptir. Bol olarak opak mineral inklüzyonu içeren ojit mineralleri yer yer kalsitleşmiş ve kloritleşmişlerdir. Genellikle özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halinde gözlenen olivin fenokristalleri oldukça ayrıışmıştır. Kayaç içerisinde eser miktarda gözlenen biyotit fenokristallerinin kenarlarında ise opaklaşma mevcuttur. Klorit mineralleri daha çok mafik minerallerin ayrıışması sonucu gelişmişlerdir. Genellikle damar dolgusu şeklinde gelişmiş kalsit mineralleri, açık renkli minerallerin ayrıışması sonucu oluşmuşlardır (Şekil 3.4.d).

Sol tüp giriş portalında yer alan açık yeşil renkli litik kristal bazaltik tuf ve olivin ojit bazaltlar, dayklar tarafından kesilmiştir. Litik kristal bazaltik tufü kesen daykın mikroskobik incelenmesi sonucunda mikrolitik porfirik dokulu olan bazalt olduğu belirlenmiştir. Plajioklas mineralleri genel olarak özşekilli kristaller halindedir. Genellikle albit ikizlenmesi, yer yer de karmaşık zonlu ikizlenme göstermektedirler. Bazı plajioklaslarda elek dokusu hakimdir. Yarı özşekilli ve özşekilli olan olivin mineralleri tamamen ayrıışmıştır. Ojit mineralleri ise tamamen kloritleşmiştir (Şekil 3.4.e).

Olivin ojit bazaltı kesen daykın mikrolitik porfirik dokulu olan bazalt olduğu belirlenmiştir. Yarı özşekilli ve özşekilli olarak gözlenen plajioklaslar bol olarak albit ikizlenmesi göstermektedir. Plajioklas mineralleri çoğunlukla epidotlaşmış ve kalsitleşmişlerdir. Kırıklı bir yapıya sahip olan ojit mineralleri tamamen kloritleşmişlerdir (Şekil 3.4.f).



Şekil 3.4. Kabaköy Formasyonu'nuna ait kayaçların mikroskobik görünüşleri; a) açık yeşil renkli ayrışmış tüfler (T.N.), b) açık gri renkli ayrışmış tüfler (T.N.), c) aglomeraların çakıl ve bağlayıcıları (T.N), d) bazaltlar (Ç.N), e) açık yeşil renkli ayrışmış tüfleri kesen bazalt daykı (Ç.N.), f) bazaltları kesen bazalt daykı (Ç.N.)

(Bi: biyotit, Kçp: kayaç parçası, Oj: ojit, Ol: olivin, Pl: plajiyoklas)

### 3.1.2. Beşirli Formasyonu

Formasyon Güven (1993) tarafından tanımlanmış ve tipik olarak Trabzon ili merkezindeki Beşirli beldesinde en iyi görüldüğü için bu isimle adlandırılmıştır. Birim daha çok çalışma alanında Araklı ilçesinin güneyinde gözlenmektedir. Formasyon genellikle kötü katmanlı, gevşek çimentolu, polijenik heterojen konglomera ve breşten oluşmaktadır. Birim, yer yer iri daneli kumtaşları ile kalın ve kötü katmanlı kumlu kireçtaşı ve bazaltik aglomeradan oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı önceki çalışmalardan 200 m olarak tespit edilmiştir. Beşirli Formasyonu, çalışma alanı içerisinde alttan Kabaköy Formasyonu ile, üstten ise alüvyonlar tarafından sınırlandırılmıştır. Formasyona yaş verebilecek fosil bulunmadığından önceki çalışmalara dayandırılarak, birimin Eosen formasyonları üzerine uyumsuzlukla oturması nedeniyle göreceli olarak Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir. Beşirli Formasyonu, Pelin'in (1977) Karabörk Formasyonu, Ağar'ın (1977) Karaçayır Formasyonu ve Korkmaz'ın (1993) Düzköy-Karadağ Formasyonu ile deneştirilebilir özelliktedir.

### 3.1.3. Alüvyonlar ve Yamaç Molozları

Alüvyonlar çalışma alanı çevresinde irili ufaklı akarsu vadilerinde oluşmuş kumlu, siltli, çakıllı ve bloklu malzemelerdir. Karadere Çayı vadisinde en yoğun şekilde gözlenmektedir. Çoğunlukla 2-15 cm boyutlu çakılların oluşturduğu alüvyonlarda 25-30 cm boyutlu bloklar da sıkça görülür. Bloklar ve çakıllar genellikle yuvarlak, bazıları küt köşelidir. Karadere Çayı vadisindeki alüvyonun kalınlığı jeofizik incelemeleri sonucunda 16-28 m arasında değiştiği tespit edilmiştir (MTA, 1997).

Yamaç molozları çalışma alanı içindeki yamaç eteklerinde yer almakta olup, bunlar yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşmuşlardır. Silt ve kil miktarı diğer elemanlara göre daha yüksektir. Kalınlıkları 5-10 m arasında değişir. Konakönü Tüneli'nin giriş portalı sağ yamacındaki ve çıkış portalı sol yamacındaki yamaç molozunun kalınlığı 10 metreden fazladır.

### 3.2. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması

Jeoteknik birimler tanımlanırken esas alınan ölçütler; litolojik özellikler, mineralojik bileşim, ayrışma durumu ve süreksizliklerin sıklığıdır. Arazi gözlemleriyle tanımlanan bu özelliklerin değişim gösterdiği alanlar belirlenerek jeoteknik birimler tanımlanır ve her bir jeoteknik birimin mühendislik özellikleri ayrı ayrı belirlenir.

Bu çalışmada, tünel güzergahının jeolojisini (Şekil 3.6) ortaya koymak için yapılan sondajların sol tüp giriş portalında kesmediği jeoteknik birimleri belirlemek amacıyla tünel içi detay çalışmaları yapılmıştır. Jeoteknik birimleri tanımlamak için litolojik özelliklerden ve mineralojik bileşimden yararlanılmış ve sol tüp giriş portalındaki jeoteknik birimlerin yanal ve düşey devamlılıklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen tünel içi çalışmaları sonucunda 1/100 ölçekli tünel içi jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.7, Şekil 3.8). Sol tüp giriş portalındaki kayalar, ANON (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından düzenlenen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak bir litolojik ve dört ayrı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bazalt ve piroklastitlerinden oluşan birim A litolojik birimi olarak tanımlanmıştır. A litolojik birimi de kendi içerisinde A1, A2, A3 ve A4 jeoteknik birimlerine ayrılmıştır.

#### A1 jeoteknik birimi:

A1 jeoteknik birimi ayrıışmış tüften oluşmakta olup, A2 jeoteknik birimine yaklaştıkça rengi yeşilden griye değişmekte ve tane boyu küçülmektedir (Şekil 3.5.a). Diğer jeoteknik birimlere göre dayanımı oldukça düşük olan birim, ayrışmaya bağlı olarak yer yer hematitleşme sonucu sarımsı ve açık kahve renklerde de görülmektedir. A1 jeoteknik birimi sol tüp giriş portalının 78+973 – 79+007 km'leri arasında yer almaktadır.

#### A2 jeoteknik birimi:

A2 jeoteknik birimi genellikle açık gri renkli, ince taneli tüften oluşmakta olup, yer yer pirit oluşumları gözlenmektedir. Ayrışmaya uğradığından dolayı dayanımı düşüktür. Hematitleşmelerin gözlendiği zonlarda ise killeşme mevcuttur (Şekil 3.5.b). A2 jeoteknik birimi sol tüp giriş portalının 79+007 – 79+024 km'leri arasında yer almaktadır.

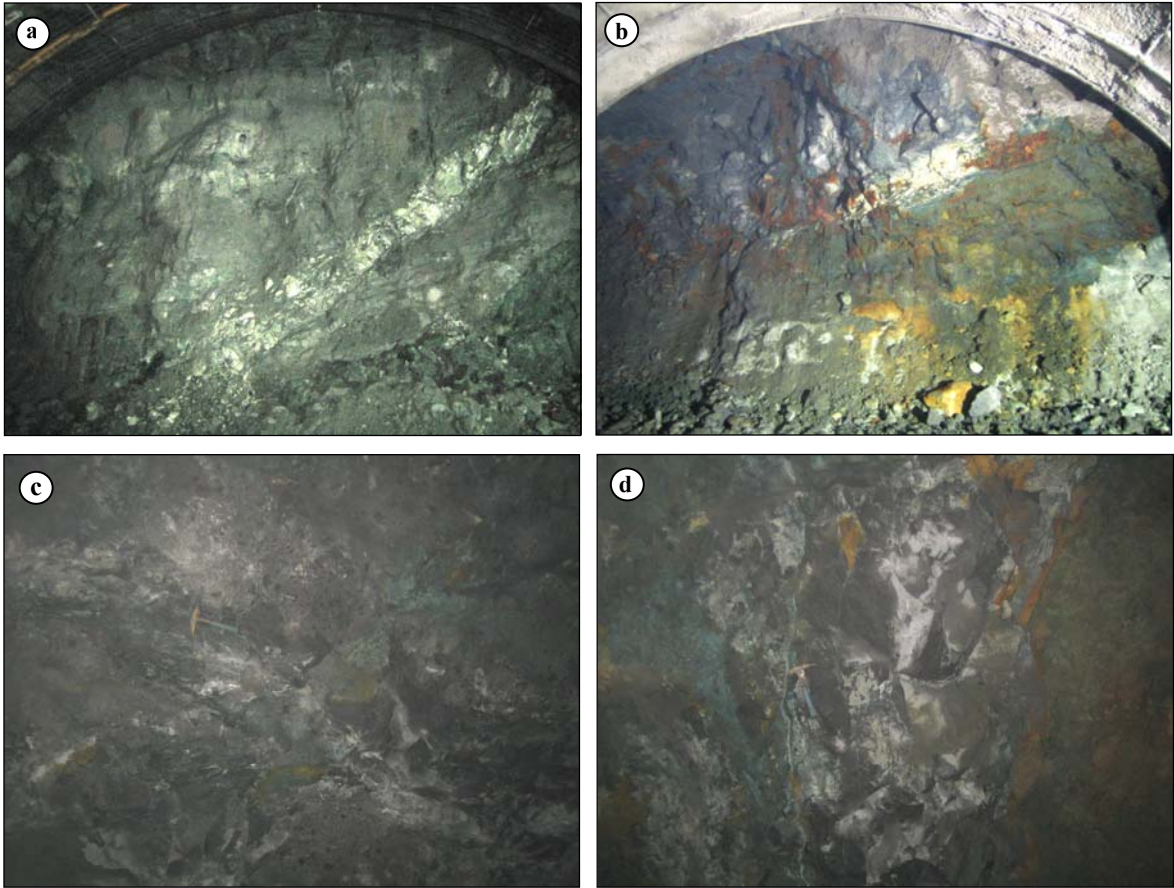
#### A3 jeoteknik birimi:

Aglomeradan oluşan birim yer yer zayıf çimentolu ve 2–30 cm arasında değişen yuvarlak, yer yer de köşeli bazalt piroklastlarından oluşmaktadır. Genellikle sağlam bir

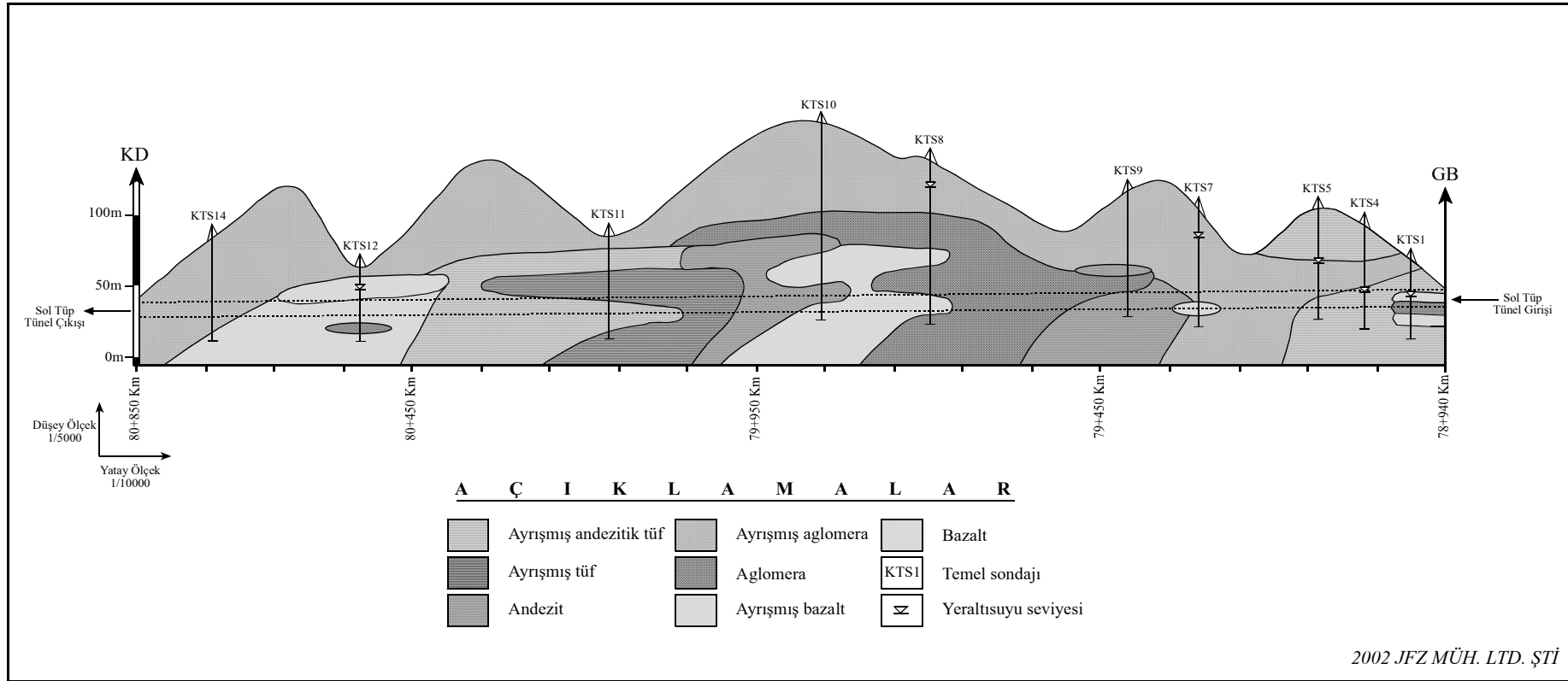
yapı sunmakla beraber, çakıllarda ve çimentoda ayrışma yoktur. Yeraltı suyunun etkisiyle bazı yerlerde ayrışma sonucu kloritleşme gözlenmektedir. Çakılların miktarı bağlayıcı malzeme miktarından fazla olup, çakılların rengi siyah-koyu gri arasında değişmektedir. Çimentoyu oluşturan tanelerin boyutu ise ince-orta arası olup, rengi açık gridir (Şekil 3.5.c ). A3 jeoteknik birimi sol tüp giriş portalının 79+024 – 79+042 km'leri arasında yer almaktadır.

#### A4 jeoteknik birimi:

Diğer jeoteknik birimlere göre dayanımı oldukça yüksek olan A4 jeoteknik birimi siyah-koyu gri renkli bazalitten oluşmaktadır (Şekil 3.5.d ). Masif bir yapı sunan birimde herhangi bir ayrışma ürünü gözlenmemektedir. A4 jeoteknik birimi, sol tüp giriş portalının 79+042 – 79+073 km'leri arasında yer almaktadır.

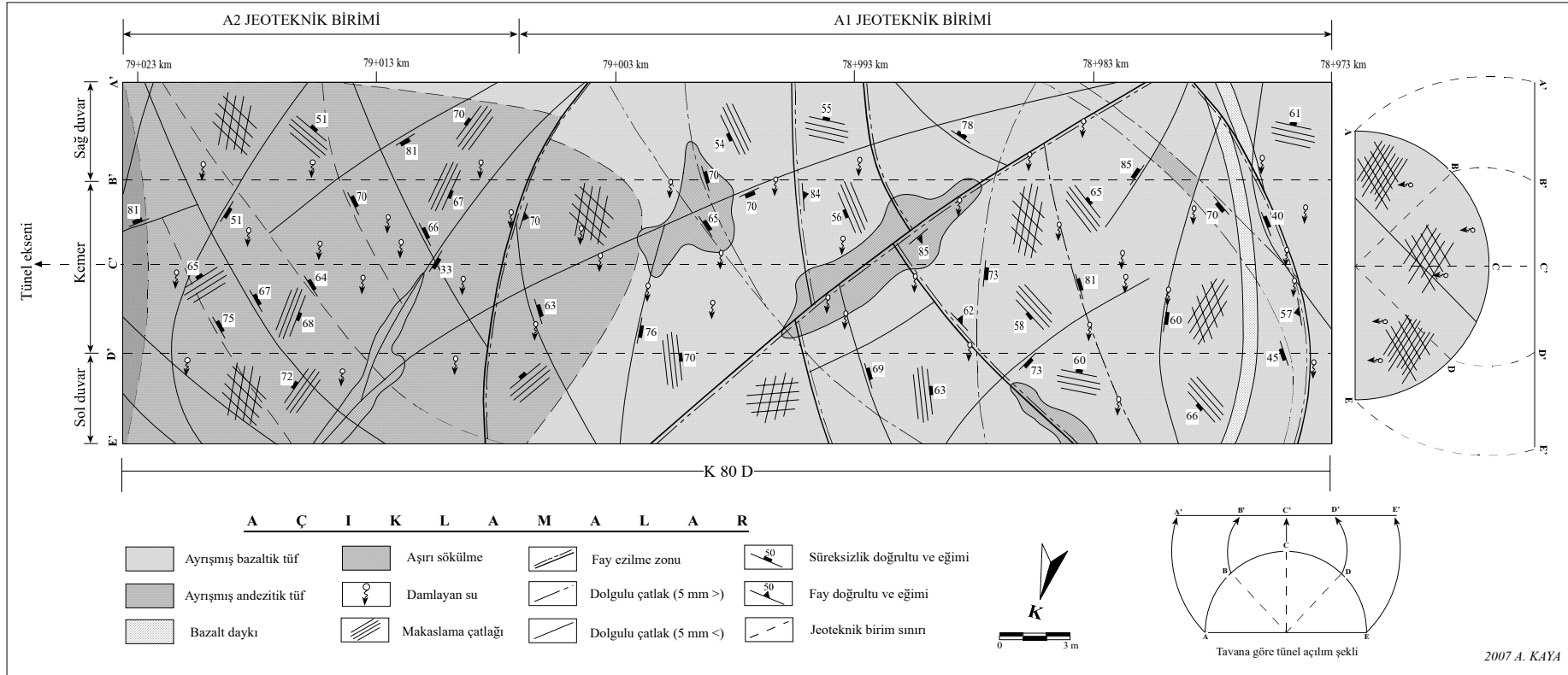


Şekil 3.5. 78+986 km'de A1 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (a), 79+015 km'de A2 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (b), 79+038 km'de A3 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (c), 79+071 km'de A4 jeoteknik biriminin tünel aynasındaki görünüşü (d)

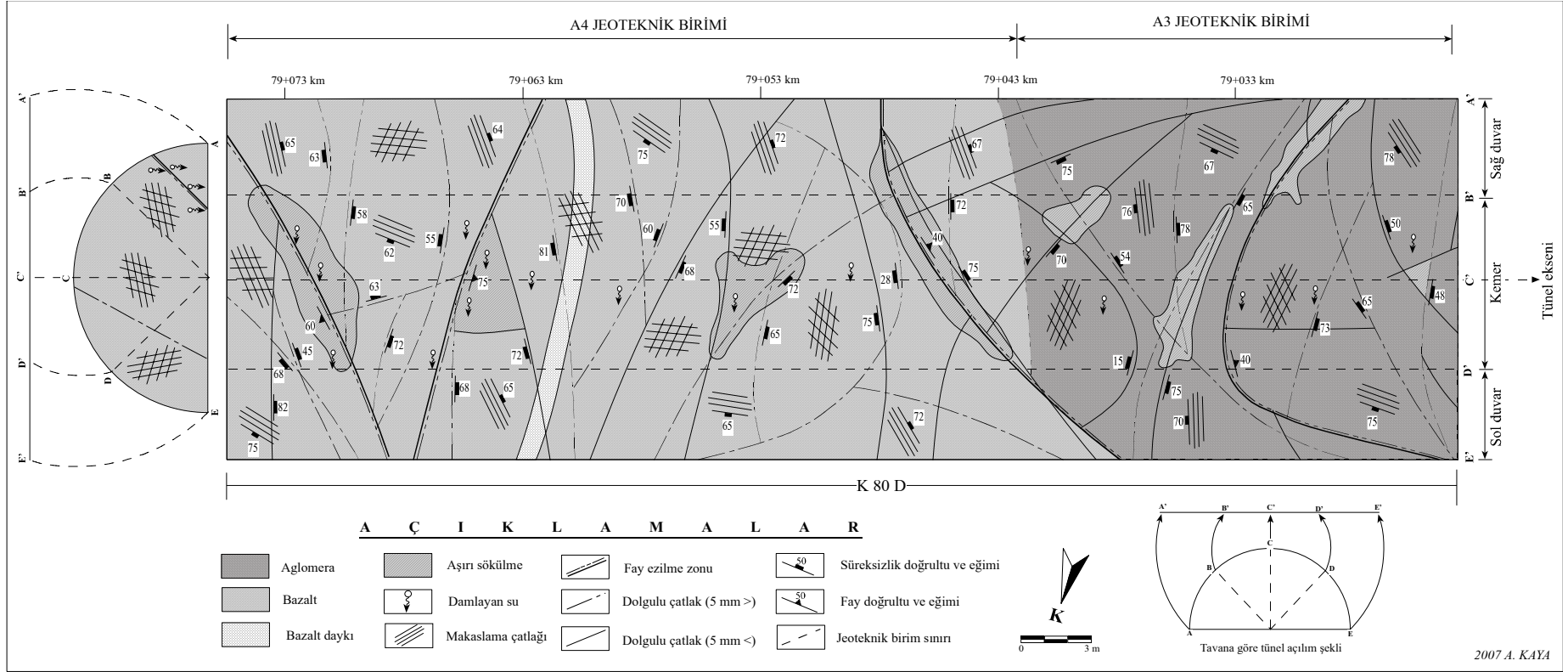


Şekil 3.6. Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu'na ait volkanik kayalar içinde açılan Konakönü Tüneli sol tüpüne ait sondaj verilerine göre hazırlanmış jeolojik kesit





Şekil 3.7. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1 ve A2 jeoteknik birimlerine ait 1/100 ölçekli tünel içi jeolojisi haritası



Şekil 3.8. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A3 ve A4 jeoteknik birimlerine ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası

### 3.3. Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Malzemelerinin Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikleri

#### 3.3.1. Fiziksel Özellikler

Bu çalışmada, Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalı boyunca yer alan birimlerden alınan kaya bloklarından laboratuvarında silindir ve küp şekilli örnekler hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde çalışmanın amacına yönelik olarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında yapılan hesaplamalar Ek Tablo 1-4’de, jeoteknik birimlere ait kayaların fiziksel özellikleri ise özet olarak Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi		A4 Jeoteknik Birimi
		Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera		Bazalt
				Çakıl	Çimento	
Özgül Ağırlık	En yüksek	2.650	2.650	2.706	2.684	2.778
	En düşük	2.647	2.644	2.693	2.647	2.761
	Standart sapma	0.002	0.003	0.006	0.018	0.009
	Ortalama	2.648	2.647	2.699	2.667	2.771
Su Muhtevası (%)	En yüksek	5.231	5.096	1.230		0.652
	En düşük	4.039	2.217	0.258		0.130
	Standart sapma	0.473	1.191	0.391		0.169
	Ortalama	4.498	3.995	0.925		0.295
Porozite (%)	En yüksek	16.97	12.92	5.91		0.73
	En düşük	6.80	5.05	4.26		0.41
	Standart sapma	3.85	2.69	0.61		0.08
	Ortalama	10.78	9.91	5.10		0.58
Boşluk Oranı (%)	En yüksek	20.43	14.83	6.28		2.70
	En düşük	7.29	5.31	5.16		0.69
	Standart sapma	5.01	3.23	0.68		0.57
	Ortalama	12.26	11.17	5.10		1.47
Ağırlıkça Su Emme (%)	En yüksek	11.58	13.48	5.10		0.65
	En düşük	7.06	5.16	3.61		0.38
	Standart sapma	3.79	2.84	0.55		0.07
	Ortalama	11.32	10.39	4.37		0.51
Hacimce Su Emme (%)	En yüksek	29.93	24.69	2.95		0.44
	En düşük	15.17	11.23	2.13		0.26
	Standart sapma	5.62	4.54	0.30		0.04
	Ortalama	21.27	19.79	2.55		0.34
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Ortalama	20.11	19.22	23.64		26.87
Elastik Dalganın Ortalama Boyuna Yayılma Hızı(m/sn)	Kuru (V <sub>p</sub> )	2380	2500	3125		4347
	Doygun (V <sub>p</sub> )	2500	2777	3448		4761
Elastik Dalganın Ortalama Enine Yayılma Hızı(m/sn)	Kuru (V <sub>s</sub> )	1213	1275	1593		2216
	Doygun (V <sub>s</sub> )	1275	1416	1758		2428
Ortalama Schmidt çekici geri tepme sayısı (R*)	Taze yüzey	23	25	32	25	38
	Ayrılmış yüzey	14	15	24	18	26

Yapılan deneyler ile kaya malzemelerine ait özgül ağırlık, su muhtevası, porozite, boşluk oranı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, birim hacim ağırlık, elastik dalğanın boyuna ve enine yayılma hızı ve sertlik gibi fiziksel özellikler belirlenmiştir. Deneyler yapılırken TSE'nin "TS 699 UDK (1987), Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları" şartnamesi ve ISRM (1981) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

### 3.3.2. Mekanik Özellikleri

Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalından alınan kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımını belirlemek için TSE'nin "TS EN 1926 (2000), Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesine göre ve nokta yük dayanım indeksini belirlemek için de ISRM (1985) tarafından önerilen standartlara göre deneyler yapılmıştır. Deneyler, laboratuvara getirilen blok örneklerden alınan karotlar ve küp şekilli örnekler üzerinde yapılmıştır.

Deneyler sonucunda yapılan hesaplamalar Ek Tablo 5-7'de, kaya örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanım indeksi değerleri ise özet olarak Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin ortalama nokta yük dayanım indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı

MEKANİK ÖZELLİKLER	A1 Jeoteknik Birimi (Kübik örnekler)	A2 Jeoteknik Birimi (Kübik örnekler)	A3 Jeoteknik Birimi (Silindirik örnekler)	A4 Jeoteknik Birimi (Silindirik örnekler)
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Ortalama Nokta Yük Dayanım İndeksi (MPa)	0.80	1.80	(Çakıl) 3.03	6.09
Ortalama Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	18.58	29.42	(Çakıl+Çimento) 38.92	143.62

### 3.3.3. Elastik Özellikler

Bu çalışmada, Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki kaya malzemelerine ait elastik özellikler belirlenirken silindir ve küp şekilli olarak hazırlanan örneklerden yararlanılmıştır. Örnek uçları ile aletin verici ve alıcı kafalarında temasın tam olarak sağlanması için örnek uçları, gres yağı ile yağlanmıştır. Ultrasonik ses dalgasının kuru ve doymuş örnekleri geçme zamanları sonik aletin dijital göstergesinde mikrosaniye olarak okunmuştur. Dinamik elastisite modülünü bulmak için boyuna elastik dalğanın örnekleri

katetme zamanından yararlanılmıştır. Kuru ve doymuş kaya örneklerine ait dinamik elastisite modülü, Youash (1970) tarafından önerilen (7) nolu eşitliğin Bulut (1989) tarafından metrik sisteme dönüştürülmüş şekli olan (8) nolu eşitlik kullanılarak hesap edilmiştir.

Kuru ve doymuş kaya malzemelerine ait dinamik poisson oranının belirlenmesinde elastik dalga hızının boyuna ve enine yayılma hızlarından yararlanılmış ve ASTM (1980) tarafından önerilen (9) nolu eşitlik kullanılarak hesap edilmiştir. Kaya malzemelerine ait dinamik elastisite modülü ve dinamik poisson oranı değerleri Tablo 3.3'de özet olarak verilmiştir.

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

ELASTİK ÖZELLİKLER	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	(Kübik örnekler)	(Kübik örnekler)	(Silindirik örnekler)	(Silindirik örnekler)
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Ortalama dinamik elastisite modülü - $E_d \times 10^5$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (Kuru örnekler)	1.12	1.08	2.36	5.72
Ortalama dinamik elastisite modülü - $E_d \times 10^5$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (Doymuş örnekler)	1.38	1.62	3.00	6.31
Ortalama dinamik poisson oranı - $\nu_{din}$ (Kuru örnekler)	0.33	0.32	0.33	0.32
Ortalama dinamik poisson oranı - $\nu_{din}$ (Doymuş örnekler)	0.32	0.32	0.32	0.32

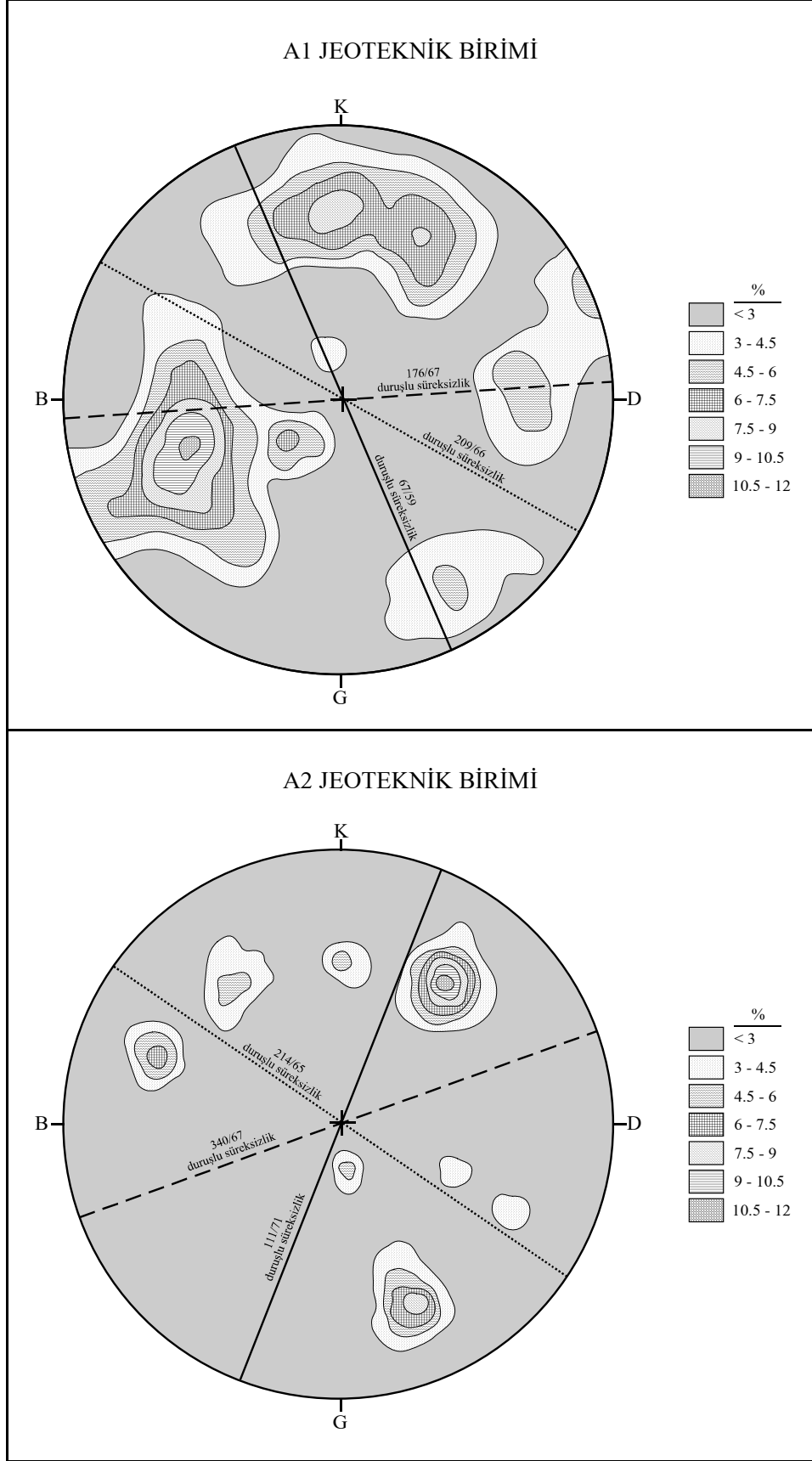
### 3.4. Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

#### 3.4.1. Süreksizlik Özellikleri

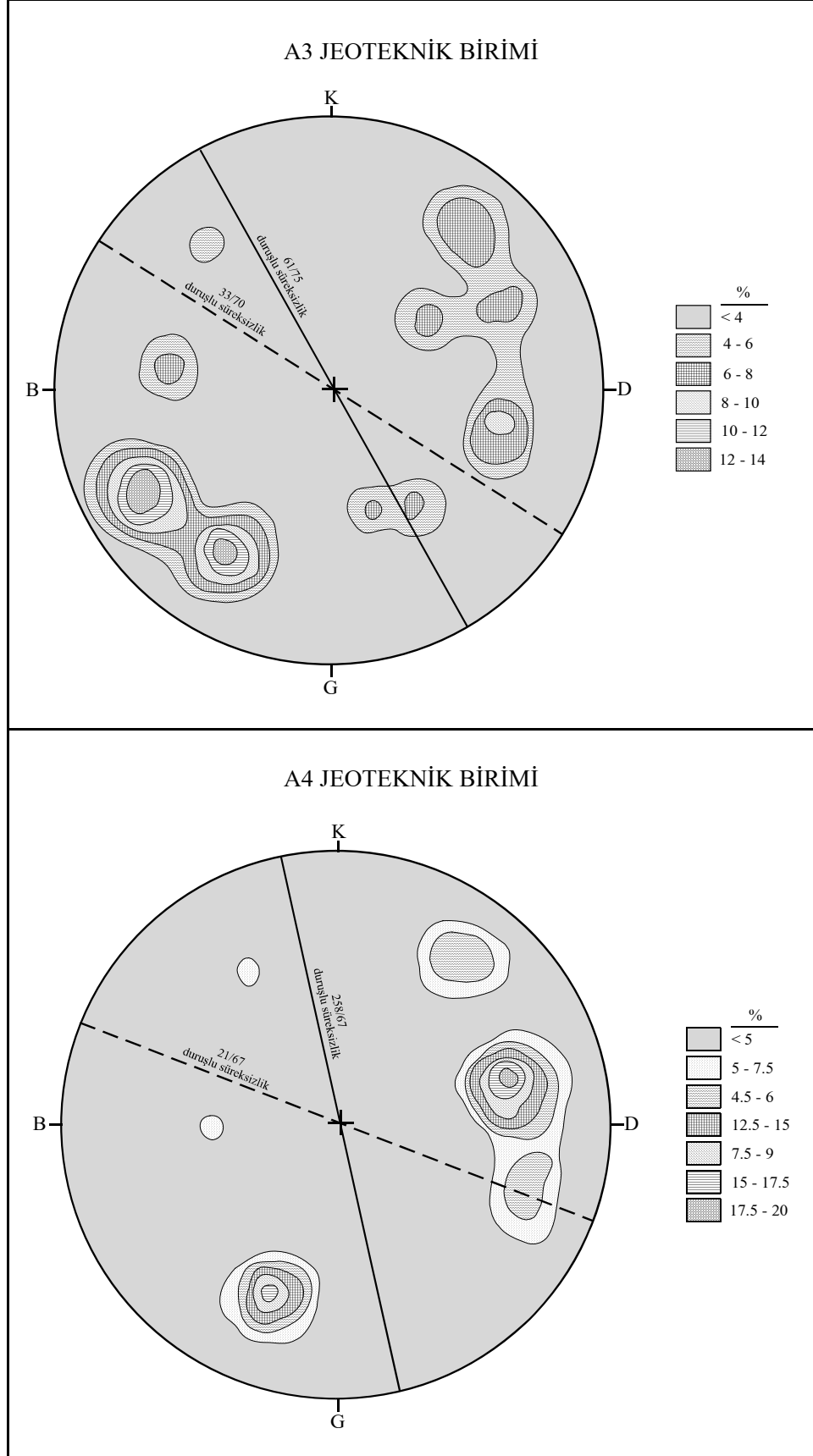
##### 3.4.1.1. Süreksizlik Takımları

Bu çalışmada, sol tüp giriş portalı boyunca yapılan pusula ölçümleri ile her bir jeoteknik birime ait ana süreksizlik takımları ve bu süreksizlik takımlarının yönelimleri belirlenerek süreksizliklere ait çatlak kontur diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3.9, Şekil 3.10).

Jeoteknik birimlere ait çatlak kontur diyagramlarının yorumlanması neticesinde, A1 ve A2 jeoteknik birimlerinin üç süreksizlik takımı, A3 ve A4 jeoteknik birimlerinin ise iki süreksizlik takımı içerdiği belirlenmiştir.



Şekil 3.9. A1 ve A2 jeoteknik birimlerine ait çatlak kontur diyagramları (alt yarı küre)



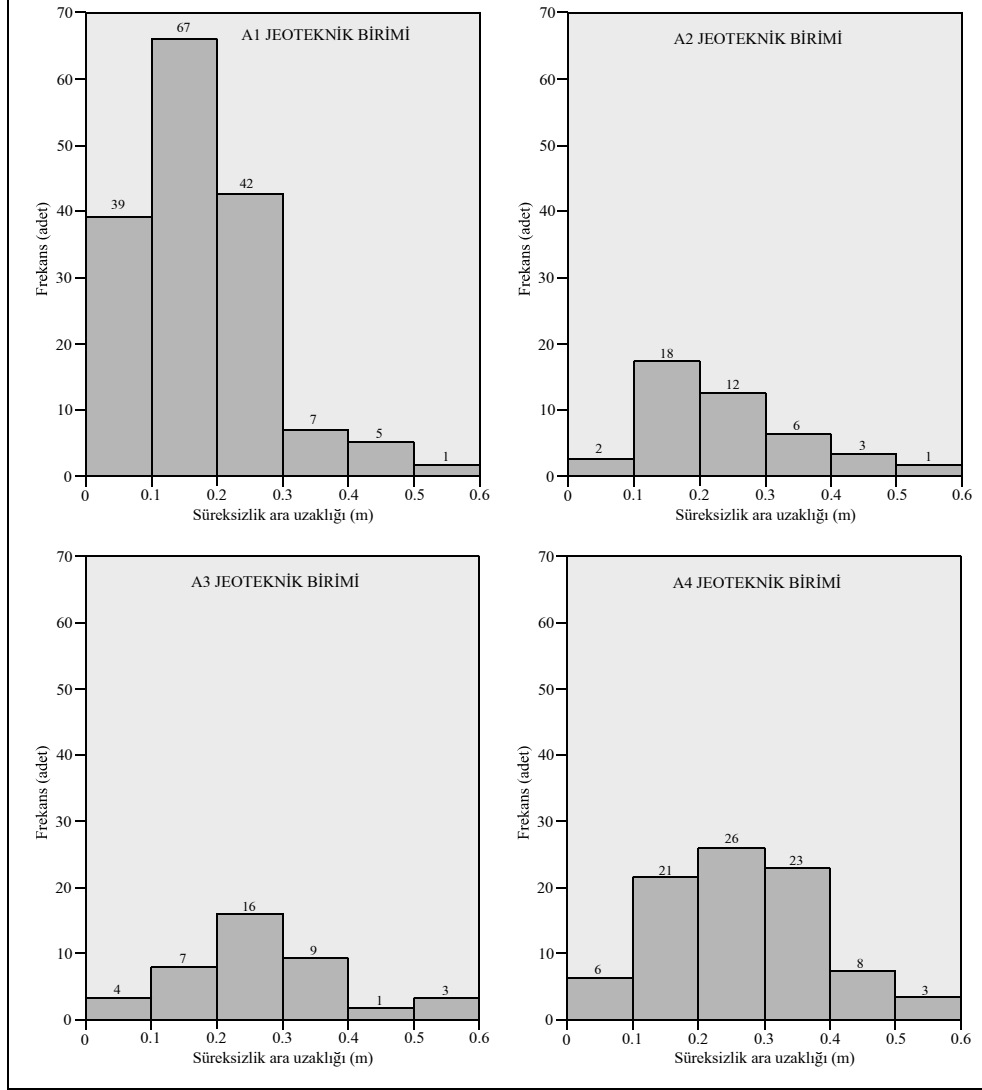
### 3.4.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki her bir jeoteknik birime ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri, ara uzaklık dağılımlarıyla ilişkili olarak, 0.1 m aralıklarla gruplandırılarak frekansları hesaplanmıştır. Şekil 3.11’de süreksizlik ara uzaklığı parametresine ait dağılımlar, Tablo 3.4’de ise jeoteknik birimlere ait süreksizlik ara uzaklığı değerleri görülmektedir. Histogramlar incelendiğinde süreksizlik ara uzaklığı dağılımlarının A1 ve A2 jeoteknik birimleri için negatif eksponansiyel dağılıma; A3 ve A4 jeoteknik birimleri için ise normal dağılıma uyduğu görülmektedir. A1 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.154 m, A2 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.293 m, A3 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.346 m, A4 jeoteknik birimi için ortalama süreksizlik ara uzaklığı değeri ise 0.295 m olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.4’de görüldüğü gibi ISRM (1981) tarafından yapılan tanımlama ölçütlerine göre sadece A1 jeoteknik birimi “yakın ara uzaklıklı”, diğer tüm jeoteknik birimler ise “orta derecede ara uzaklıklı” olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.4. Jeoteknik birimlerine ait süreksizlik ara uzaklıkları değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
		Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	Tanımlama	Süreksizlik ara uzaklığı frekans değeri (%)			
< 0.02	Çok dar ara uzaklıklı	-	-	-	-
0.02-0.06	Dar ara uzaklıklı	14	-	-	-
0.06-0.2	Yakın ara uzaklıklı	81	14	11	24
0.2-0.6	Orta derecede ara uzaklıklı	68	29	30	68
0.6-2	Geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-
2-6	Çok geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-
>6	İleri derecede geniş ara uzaklıklı	-	-	-	-
Ortalama süreksizlik ara uzaklığı (m)		0.154	0.293	0.346	0.295
Tanımlama ölçütleri		Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı





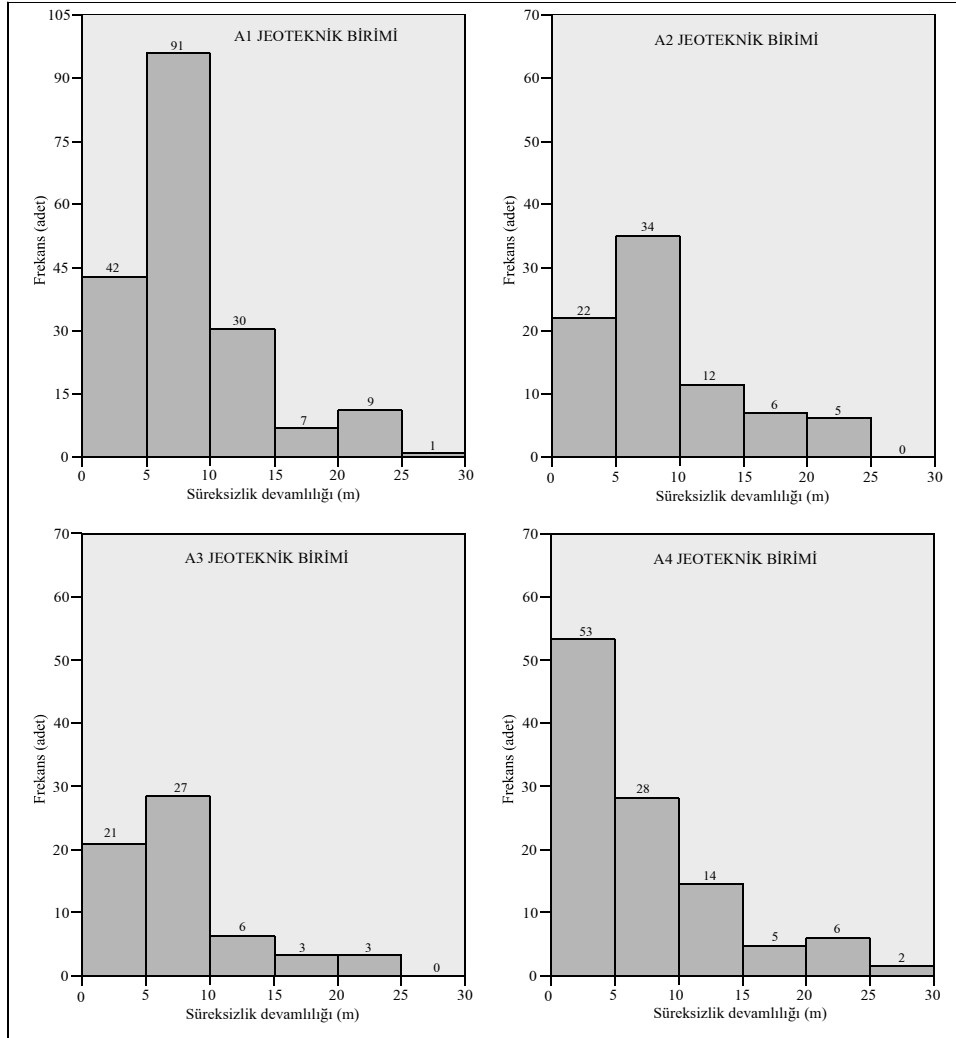
Şekil 3.11. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik ara uzaklığı histogramları

### 3.4.1.3. Süreksizliklerin Devamlılığı

Bu çalışmada süreksizlik devamlılığı, ISRM (1981) tarafından önerilen ölçütler esas alınarak şerit metre ile tünel içinden yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Devamlılık parametresi, tüm jeoteknik birimler için farklı değerlendirilmiştir (Şekil 3.12). Tünel içinde yapılan çalışmalar ile belirlenen devamlılık parametresine ait sonuçlar Tablo 3.5’te özetlenmiş ve sadece A4 jeoteknik birimindeki süreksizlikler “düşük derece devamlı”, diğer jeoteknik birimlerdeki süreksizlikler ise “orta derecede devamlı” olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.5. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait devamlılık değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

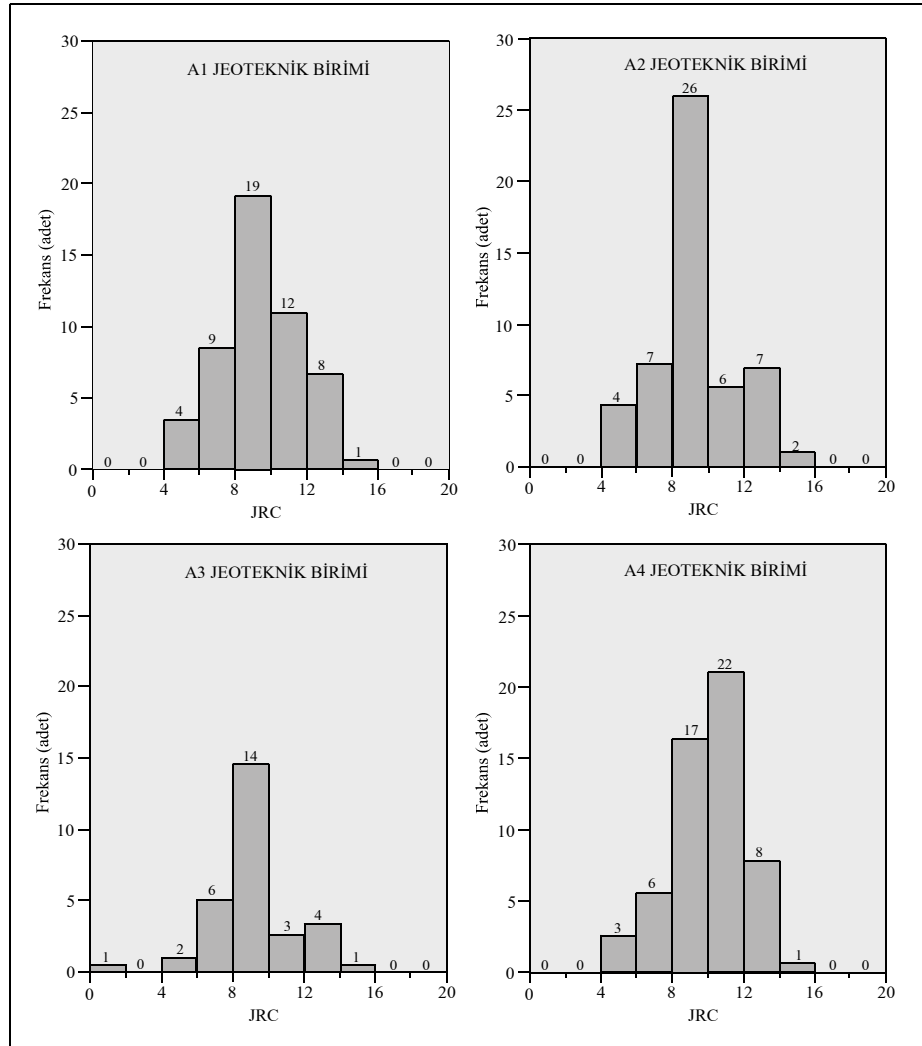
Süreksizlik devamlılığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)	Tanımlama	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
		Ayrışmış bazaltik tuf	Ayrışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Süreksizlik devamlılığı (m)		Süreksizlik devamlılığı frekans değeri (%)			
< 1	Çok düşük devamlı	-	-	-	-
1-3	Düşük derecede devamlı	35	11	18	47
3-10	Orta derecede devamlı	98	46	30	34
10-20	Yüksek devamlı	37	18	9	19
>20	Çok yüksek devamlı	10	5	3	8
Ortalama süreksizlik devamlılığı (m)		9.8	8.3	8.7	2.9
Tanımlama ölçütleri		Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı



Şekil 3.12. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik devamlılığı histogramları

### 3.4.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgahlığı

Bu çalışmada pürüzlülük ve dalgalık parametrelerinin bulunurken ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler uygulanmıştır. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzeyleri için ortalama JRC, genlik ve dalgalık değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu çalışmada süreksizlik yüzey profilleri değerlendirilmiş, büyük ölçekte dalgalılığın dalga boyu ve genlik parametreleri de ölçülmüştür. Dalgalık ve genlik parametrelerinin ölçümünde, 1 metre uzunluğunda bir cetvel, süreksizlik yüzeyinin eğim yönünde yüzeylere dayanmış ve yüzeyin cetvele olan en uzak mesafesi ölçülmüştür. Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen pürüzlülük profilleri ile süreksizlik yüzeylerine ait pürüzlülük değerleri karşılaştırılarak JRC histogramları çizilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzeylerine ait JRC değerlerine göre çizilen histogramları

Tablo 3.6. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait ortalama JRC, genlik ve dalgalılık açısı değerleri

	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrışmış bazaltik tuf	Ayrışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Ortalama JRC değerleri	8-10	8-10	8-10	10-12
Ortalama genlik (cm)	9.83	6.21	4.72	3.75
Ortalama dalgalılık açısı	12.3°	6.7°	9.7°	8.1°
Tanımlama (ISRM, 1981)	Düz, dalgalı	Düz, dalgalı	Düz, dalgalı	Pürüzlü, dalgalı

### 3.4.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

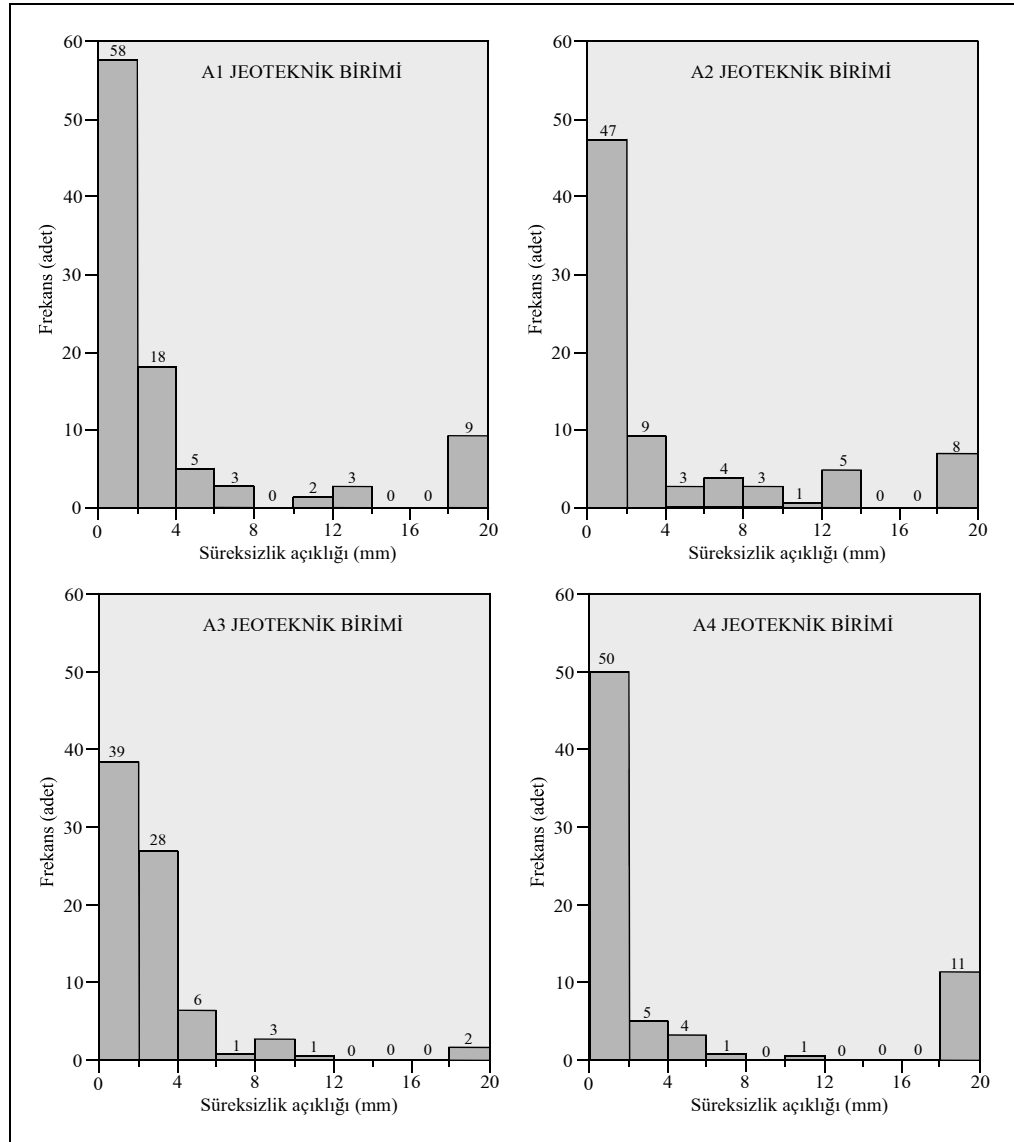
Bu çalışmada süreksizlik açıklığı değerleri milimetre ölçekli şerit metre ile ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir jeoteknik birim için histogramlar çizilmiştir (Şekil 3.14).

Şekil 3.14'deki histogramlardan da görüldüğü gibi tüm jeoteknik birimler için süreksizlik açıklığı parametresi negatif eksponansiyel dağılıma uyumluluk göstermektedir. Tablo 3.7'de jeoteknik birimlere ait süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi görülmektedir. Tüm jeoteknik birimlerdeki süreksizlikler ISRM (1981) standartlarına göre "açık süreksizlik" sınıfına girmektedir.

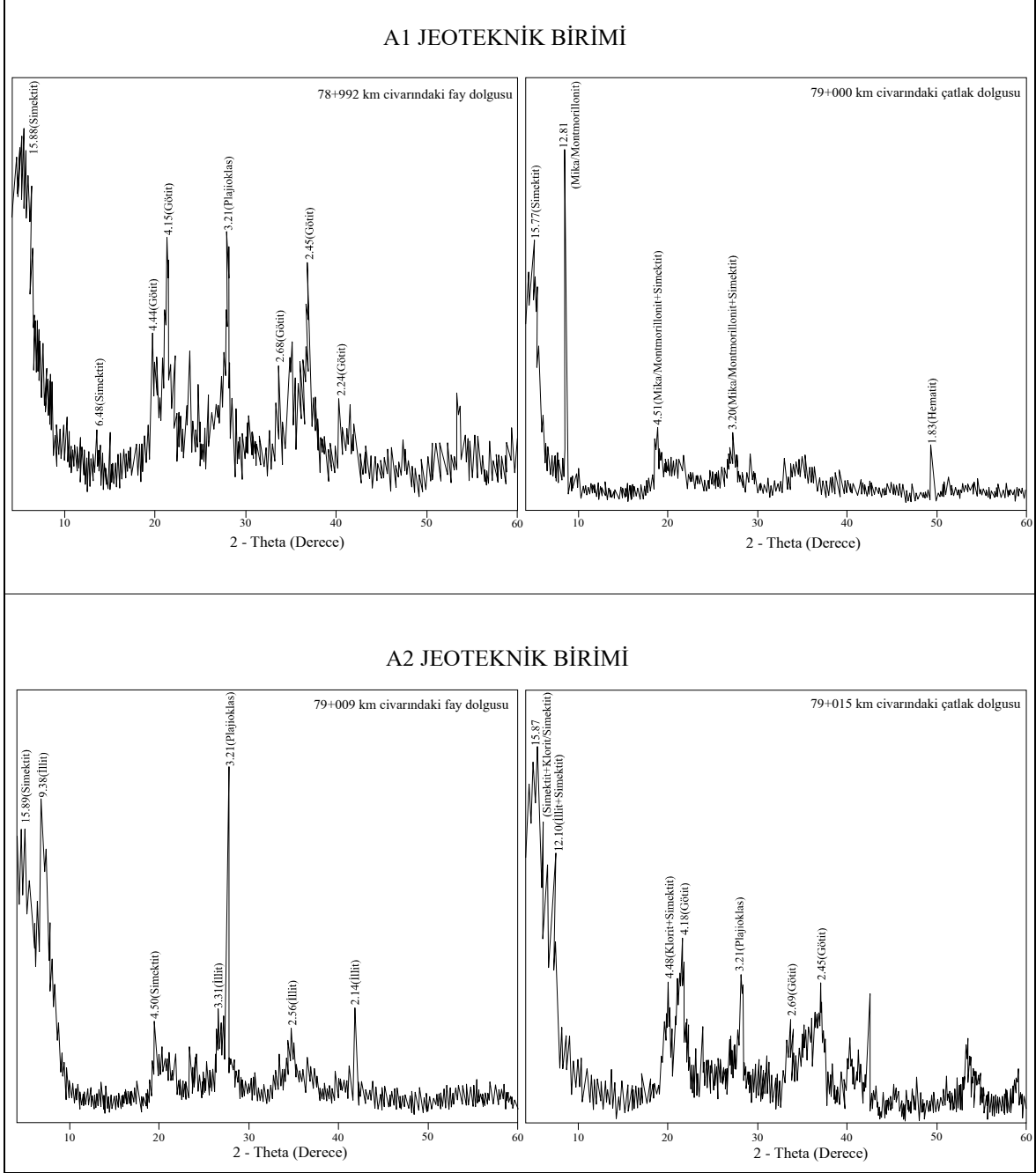
Ayrıca her bir jeoteknik birimdeki süreksizlik dolgularından belirli aralıklarla seçilen örneklerin 8 tanesinden XRD çekimleri yapılarak örneklerin kil mineral türleri ve şişen kil grubunda olup olmadıkları belirlenmiştir. Buna göre A1 jeoteknik biriminde süreksizlik dolgularındaki en yaygın mineral birlikteliği götit + simektit + illit/simektit + mika/montmorillonit + plajioklas + hematit; A2 jeoteknik biriminde simektit + illit + götit + klorit/simektit + plajioklas; A3 jeoteknik biriminde simektit + illit + illit/simektit + sepiyolit + kristobalit + aktinolit + kalsit + plajioklas; A4 jeoteknik biriminde ise simektit + illit/simektit + klorit/simektit + stilbit + götit + plajioklas'tır (Şekil 3.15, Şekil 3.16).

Tablo 3.7. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik açıklığı değerlerinin dağılımı ve bu değerlerin ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

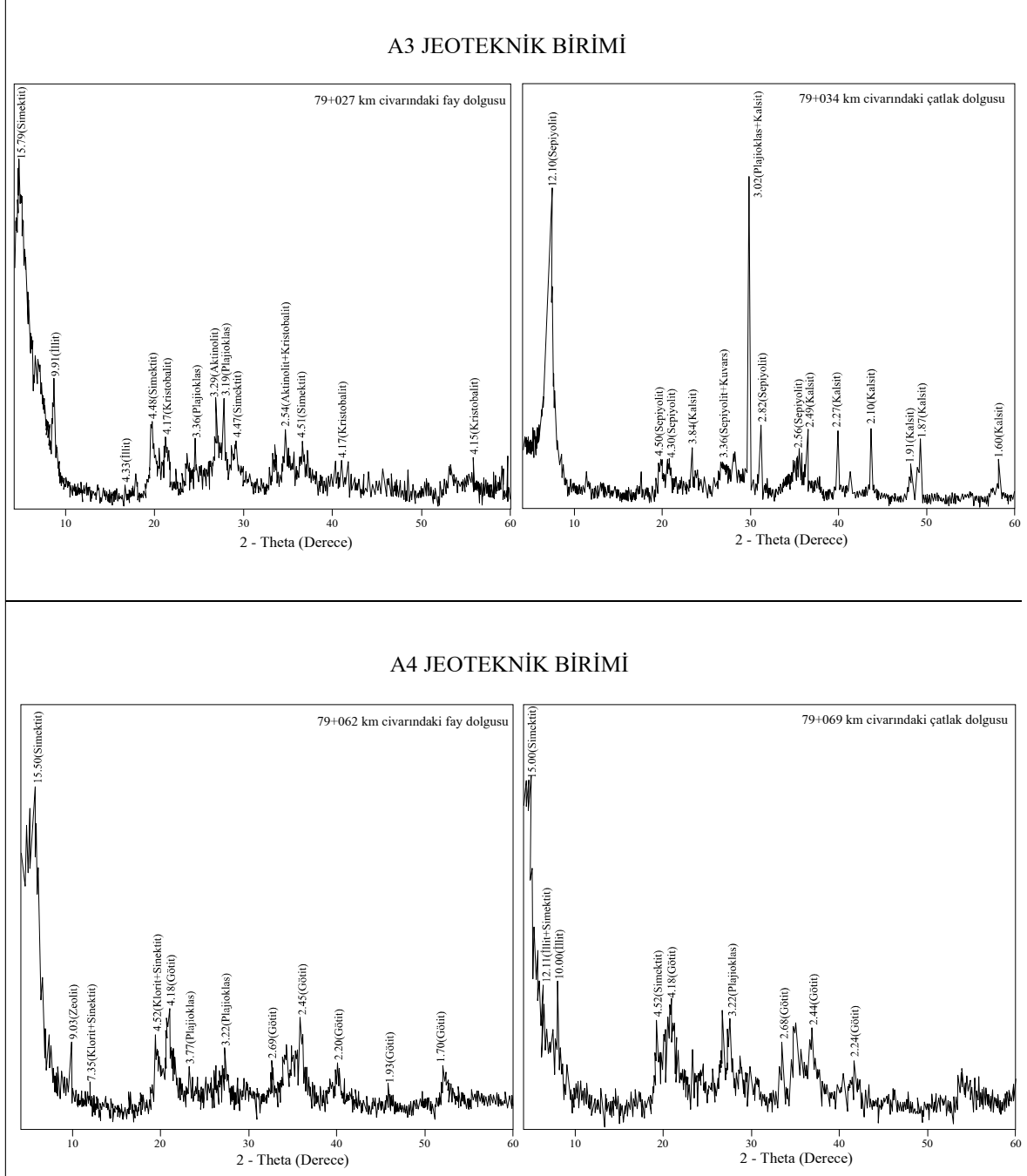
Süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)		A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
		Ayrıışmış bazaltik tuf	Ayrıışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Süreksizlik açıklığı (mm)	Tanımlama	Süreksizlik açıklığı frekans değeri (%)			
< 0.1	Çok sıkı	-	-	-	-
0.1-0.25	Sıkı	-	-	-	-
0.25-0.5	Kısmen açık	27	19	19	13
0.5-2.5	Açık	38	35	49	26
2.5-10	Orta derecede geniş	17	13	18	21
>10	Geniş	14	14	3	12
Ortalama süreksizlik açıklığı (mm)		1.2	1.8	2.1	2.3
Tanımlama ölçütleri		Açık	Açık	Açık	Açık



Şekil 3.14. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklere ait süreksizlik açıklığı histogramları



Şekil 3.15. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1 ve A2 jeoteknik birimlerindeki süreksizlik dolgularına ait yönlü XRD difraktogramları



### 3.4.1.6. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Dayanımı

Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi ve dayanım parametrelerinin tayini için Schmidt çekici geri tepme sayısından yararlanılmıştır. Schmidt sertlik değerleri bulunurken Chauvenet ölçütü esas alınmış ve ölçüm yapılırken düşeyden farklı bir açıyla yapılan ölçümler, Barton ve Choubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre düzeltilmiştir. Tünel içi çalışmaları sırasında her bir jeoteknik birimlere ait farklı süreksizlik yüzeylerin bozunma indeksi değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir. Tablo 3.8’de her bir jeoteknik birimdeki süreksizlik yüzeyleri, Gökçeoğlu (1997) tarafından belirtilen sınıflama sistemine göre sınıflandırıldığında A1 ve A2 jeoteknik birimindeki süreksizlik yüzeyleri “orta derecede bozunmuş”, A3 ve A4 jeoteknik birimindeki süreksizlik yüzeyleri ise “az bozunmuş” sınıfına girmektedir.

Tablo 3.8. Jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin yüzeylerinin bozunma indeksi değerleri

	A1	A2	A3		A4
	Jeoteknik Birimi	Jeoteknik Birimi	Jeoteknik Birimi		Jeoteknik Birimi
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera		Bazalt
			Çakıl	Çimento	
Ortalama $R_f$ değeri	23	25	32	25	38
Ortalama $R_w$ değeri	14	15	24	18	26
$W_C = (R_f/R_w)$	1.64	1.66	1.33	1.38	1.46
Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997)	Orta derecede bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Az bozunmuş		Az bozunmuş

### 3.4.1.7. Süreksizlik Yüzeylerindeki Su Durumu

Bu çalışmada tünel içi gözlemlerle hem kaya kütlesi hem de süreksizlik yüzeylerindeki su durumu, ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre A1 ve A2 jeoteknik birimleri “Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor” sınıfına, A3 ve A4 jeoteknik birimleri ise “Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok” sınıfına girmektedir.

### 3.4.1.8. Blok Boyutu İndeksi ve Hacimsel Eklem Sayısı

Süreksizlik sıklığı, kaya malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olup, kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. Kayacın ilksel dokusu



korunmamış yani ayrışma sonucu kaya tamamen parçalanmışsa süreksizliklere ait özelliklerin belirlenmesi hemen hemen imkânsızdır.

Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalında yer alan A1 ve A2 jeoteknik birimlerini oluşturan farklı tane boyutundaki ayrışmış tüflerde ilksel doku korunduğundan süreksizlere ait özellikler kolaylıkla belirlenmiştir. Aglomeradan oluşan A3 jeoteknik biriminde birbirine komşu olan çakılların üzerindeki süreksizliklerin devamlılığı izlenerek süreksizlikler belirlenmiştir. A4 jeoteknik biriminde ise süreksizlikler oldukça sert bir yapıya sahip bazaltda geliştiğinden özellikleri kolaylıkla belirlenmiştir. Her bir jeoteknik birime ait süreksizlik ara uzaklığından yararlanarak bulunan blok boyutu parametresi, ISRM (1981) ve Palmström (1982 ve 1996) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre sınıflanmıştır (Tablo 3.9).

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

	<b>A1 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A2 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A3 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A4 Jeoteknik Birimi</b>
	Ayrışmış bazaltik tuf	Ayrışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Hacimsel eklem sayısı (Jv)	6.47	3.41	2.74	2.87
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta büyüklükteki bloklar	Orta büyüklükteki bloklar	Geniş bloklar	Geniş bloklar
Tanımlama (Palmström, 1996)	Orta derecede düşük Jv ve orta derecede eklemli	Orta derecede düşük Jv ve orta derecede eklemli	Düşük Jv ve az eklemli	Düşük Jv ve az eklemli

#### 3.4.1.9. Kaya Kalite Göstergesi (% RQD)

Bu çalışmada tünel yan duvarlarından hat etüdü çalışmalarıyla elde edilen veriler kullanılarak her bir jeoteknik birime ait % RQD değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Jeoteknik birimler için tünel içi ölçümleriyle hesaplanan RQD değerleri

	<b>A1 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A2 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A3 Jeoteknik Birimi</b>	<b>A4 Jeoteknik Birimi</b>
	Ayrışmış bazaltik tuf	Ayrışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
En düşük	55	57	63	69
En yüksek	91	93	98	98
Ortalama	85	89	96	95
Sınıflama (Deere, 1964)	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
Veri kaynağı	Hat etüdüleri			

Tablo 3.11’de, jeoteknik birimlerdeki süreksizliklerin özellikleri özet olarak sunulmuş ve bu değerler literatürdeki tanımlama ölçütlerine (ISRM, 1981; Gökçeoğlu, 1997; Palmström, 1996) göre değerlendirilmiştir.

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

Süreksizlik Özelliği	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrılmış bazaltik tüf	Ayrılmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Süreksizlik takımları	176/67 – 209/66 67/59	214/65 – 340/67 111/71	61/75 – 33/70	258/67 – 21/67
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.154	0.293	0.346	0.295
Tanımlama (ISRM, 1981)	Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
Süreksizlik devamlılığı (m)	9.8	8.3	8.7	2.9
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	8–10	8–10	8–10	10–12
Tanımlama (ISRM, 1981)	Düz, dalgalı	Düz, dalgalı	Düz, dalgalı	Pürüzlü, dalgalı
Süreksizlik dalgallığı açısı	12.3°	6.7°	9.7°	8.1°
Süreksizlik açıklığı (mm)	1.2	1.8	2.1	2.3
Tanımlama (ISRM, 1981)	Açık	Açık	Açık	Açık
Süreksizlik yüzeylerinin dayanımı (We)	1.64	1.66	<u>Çakıl</u> 1.38 <u>Çimento</u> 1.33	1.46
Tanımlama (Gökçeoğlu, 1997)	Orta derecede bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 1981)	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var, ancak sürekli bir akış gözlenmiyor	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
Hacimsel eklem sayısı (Jv)	6.47	3.41	2.74	2.87
Tanımlama (Palmström, 1996)	Orta derecede düşük Jv ve orta derecede eklemli	Orta derecede düşük Jv ve orta derecede eklemli	Düşük Jv ve az eklemli	Düşük Jv ve az eklemli
Kaya kalite göstergesi (% RQD)	85	89	96	95
Tanımlama (Deere, 1964)	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi

### 3.5. Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

Tünel destekleme tasarımında, uluslararası uygulamalarda, ampirik bağlamda, çeşitli kaya sınıflamaları kullanılmaktadır. Bu kaya sınıflamalarından ikisi; “Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması” (Q–Barton vd.,1974) ve “Eklemlili Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması” (RMR–Bieniawski, 1989) sayısal sınıflamalarıdır. Kimi Avrupa ülkelerinde kullanılan NATM kaya sınıflaması (Rabcewicz vd.,1964) ise, özünde tanımsal niteliklidir. Q sınıflaması her boyutta tünel için destek elemanı önermesine karşın, kazının desteksiz durma süresi konusunda somut öneriler getirememektedir. RMR sınıflamasında ise destek önerileri 10 m’lik açıklık ile sınırlıdır. Bu açıklamalar bağlamında, her iki sınıflamanın güçlü yönleri birleştirilerek, tünel destekleme tasarımında birlikte kullanılmaları daha sağlıklı veriler sağlar. Tünel açımı sırasında yapılacak gözlemlerle ve deformasyon ölçümleri ile denetlenen NATM, tanımsal niteliği gereği, Q ve RMR sınıflamalarına göre daha öznel jeoteknik verilere dayanmaktadır.

Bu çalışmada, kayaların kütle özellikleri Q ve RMR sistemine göre belirlenmiş Q, RMR ve NATM sınıflandırmaları esas alınarak gerekli destek sistemleri önerilmiştir.

#### 3.5.1. Q (Rock Mass Quality) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada sol tüp giriş portalı boyunca yer alan her bir jeoteknik birime ait Q sınıflaması için gerekli olan parametreler değerlendirilerek ayrı ayrı Q değerleri hesaplanmıştır. Barton vd. (1974)’e göre, A1 ve A2 jeoteknik birimleri “çok fazla zayıf kaya”, A3 ve A4 jeoteknik birimleri ise “çok zayıf kaya” olarak değerlendirilmiştir. Tablo 3.12’de jeoteknik birimler için hesap edilen Q değerleri verilmiştir.

Logaritmik ölçekte hazırlanmış olan Şekil 2.8’deki tünel destek sistemi abağı yardımıyla bulunan Q değerlerine karşılık De (Eşdeğer boyut) değerleri kesiştirilerek her bir jeoteknik birime ait tavan ve duvarlar için önerilen destek sınıfları belirlenmiştir. Tablo 3.13’de jeoteknik birimler için önerilen destek türleri yer almaktadır.

Sol tüp giriş portalı için Q ve RMR kaya kütle sınıflamaları arasındaki ilişki Barton (1995) ve Bieniawski (1976) tarafından önerilen formüllerle belirlenerek çıkan sonuçlar Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi

	A Litolojik Birimi			
	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
RQD (Kaya kalite göstergesi) Tanımlama (Deere, 1964)	85 İyi	89 İyi	96 Çok iyi	95 Çok iyi
Jn (Eklem takım sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	12 x 2 Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12 x 2 Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6 x 2 İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6 x 2 İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler
Jr (Eklem pürüzlülük sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	2 Düz, dalgalı	2 Düz, dalgalı	2 Düz, dalgalı	3 Pürüzlü, dalgalı
Ja (Eklem yüzeyi bozunma sayısı) Tanımlama (Barton vd., 1974)	10 Şişen kil dolguları	10 Şişen kil dolguları	10 Şişen kil dolguları	10 Şişen kil dolguları
Jw (Eklem suyu azaltma faktörü) Tanımlama (Barton vd., 1974)	1 Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer eklemlerdeki dolguların yıkanması	1 Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer eklemlerdeki dolguların yıkanması	0.66 Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	0.66 Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk
SRF (Gerilme azaltma faktörü) Tanımlama (Barton ve Grimstad, 1994)	10 Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	10 Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5 Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5 Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)
RQD/Jn (Blok boyutu)	3.5	3.7	8	7.9
Jr/Ja (Bloklar arası kayma direnci)	0.2	0.2	0.2	0.3
Jw/SRF (Aktif gerilme)	0.1	0.1	0.088	0.088
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	0.070	0.074	0.139	0.211
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Çok fazla zayıf	Çok fazla zayıf	Çok zayıf	Çok zayıf

Tablo 3.13. Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri

	A Litolojik Birimi			
	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Kazı genişliği (m)			12	
Kazı yüksekliği (m)			9	
Kaplama beton sonrası tünel genişliği (m)			10.5	
Kaplama beton sonrası tünel yüksekliği (m)			7.5	
Kazı destek oranı (ESR)			1	
Kazı tipi			Tünel portalı	
De (Eş boyut)			12 / 1 = 12	
Kazı genişliği / Kazı destek oranı			12 / 1 = 12	
(Tavan ve duvar için desteksiz kalabilecek en büyük açıklık)	0.7	0.7	0.9	1.5
$B_{max}$ (m)				
(Kalıcı tavan destek basıncı)	2.43	2.38	2.23	1.29
$P_{tavan}$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
(Kalıcı duvar destek basıncı)	2.43	2.38	1.64	0.95
$P_{duvar}$ (kg/cm <sup>2</sup> )				
(Kaya kütleinin deformasyon modülü)	2.35	2.80	3.78	9.12
Em (GPa)				
Q (tavan)	<b>0.070</b>	<b>0.074</b>	<b>0.139</b>	<b>0.211</b>
$Q_w$ (duvar)	Q <b>0.070</b>	Q <b>0.074</b>	2.5 x Q <b>0.348</b>	2.5 x Q <b>0.528</b>
Tavan destekleme sınıfı	8	8	7	7
Duvar destekleme sınıfı	8	8	7	6
<b>6 nolu destek sınıfı</b>				
1.5–1.7 m aralıklı $L_{duvar}=3.35$ m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 9–12 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)				
<b>7 nolu destek sınıfı</b>				
1.3–1.5 m aralıklı $L_{tavan}=3.8$ $L_{duvar}=3.35$ m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 12–15 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)				
<b>8 nolu destek sınıfı</b>				
1.2–1.3 m aralıklı $L_{tavan}=3.8$ m $L_{duvar}=3.35$ m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik iksalı, çelik kafes takviyeli, 15–25 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+RRS+B)				

Tablo 3.14. Jeoteknik birimlere ait Q ve RMR değerleri arasındaki ilişki

Q ve RMR Değerleri Arasındaki İlişki	A Litolojik Birimi			
	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Q (tavan)	0.070	0.074	0.139	0.211
$Q_w$ (duvar)	0.070	0.074	0.348	0.528
RMR tavan (Bieniawski, 1976)	20	21	26	29
RMR duvar (Bieniawski, 1976)	20	21	35	38
RMR tavan (Barton, 1995)	32	33	37	40
RMR duvar (Barton, 1995)	32	33	43	45
Ortalama RMR tavan	26	27	32	35
Ortalama RMR duvar	26	27	39	40

### 3.5.2. RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada sol tüp giriş portalı boyunca yer alan her bir jeoteknik birime ait RMR sınıflaması için gerekli olan parametreler değerlendirilerek ayrı ayrı RMR değerleri hesaplanmıştır. Bieniawski (1989)'a göre, A1, A2, A3 ve A4 jeoteknik birimleri “zayıf kaya” olarak değerlendirilmiştir. Tablo 3.15’de jeoteknik birimler için hesap edilen RMR değerleri verilmiştir.

Tablo 2.28’deki RMR destek türü sınıflaması en fazla 10 m açıklık için sınırlı olduğundan bulunan RMR değerlerine karşılık gelen Q değerleri kullanılarak Şekil 2.8’deki abaktan her bir jeoteknik birim için ayrı ayrı destek sınıfı belirlenmiştir. Tablo 3.16’da jeoteknik birimler için önerilen destek türleri yer almaktadır.

Tablo 3.15. Jeoteknik birimlerin RMR kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi

		A Litolojik Birimi				
		A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi	
		Ayrılmış bazaltik tuf	Ayrılmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt	
1	Kaya Malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı(MPa)	18.58	29.42	38.92	143.62	
	<b>Puan</b>	<b>2.8</b>	<b>3.5</b>	<b>4.8</b>	<b>12.1</b>	
2	Kaya Kalite Göstergesi, RQD(%)	85	89	96	95	
	<b>Puan</b>	<b>17</b>	<b>17.8</b>	<b>18.9</b>	<b>18.8</b>	
3	Süreksizlik Ara Uzaklığı (cm)	15.4	29.3	34.6	29.5	
	<b>Puan</b>	<b>5.1</b>	<b>5.4</b>	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>	
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	9.8	8.3	8.7	2.9
		<b>Puan</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
		Açıklık (mm)	1.2	1.8	2.1	2.3
		<b>Puan</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
		Pürüzlülük	Az pürüzlü	Az pürüzlü	Az pürüzlü	Az pürüzlü
		<b>Puan</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
		Dolgu	<5 mm (yumuşak)	<5 mm (yumuşak)	<5 mm (yumuşak)	<5 mm (yumuşak)
		<b>Puan</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
5	Yeraltısuyu (lt/dk)	Genel koşullar	Damlama	Damlama	Islak	Islak
		<b>Puan</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>TEMEL RMR PUANI</b>		<b>44.9</b>	<b>46.7</b>	<b>54.2</b>	<b>63.3</b>	
Süreksizlik yönelim düzeltmesi		-12	-12	0	-5	
<b>NİHAİ RMR PUANI</b>		<b>32.9</b>	<b>34.7</b>	<b>54.2</b>	<b>58.3</b>	
Patlatma düzeltmesi		1	1	0.92	0.92	
Gerilme düzeltmesi		İhmal edilmiş	İhmal edilmiş	İhmal edilmiş	İhmal edilmiş	
Zayıflık düzeltmeleri düzeltmesi		0.70	0.70	0.70	0.70	
<b>DEĞİŞTİRİLMİŞ RMR PUANI</b>		<b>23.03</b>	<b>24.29</b>	<b>34.91</b>	<b>37.55</b>	
<b>TANIMLAMA (Bieniawski, 1989)</b>		Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	

Tablo 3.16. RMR değerlerine karşılık gelen Q değerleri kullanılarak jeoteknik birimler için önerilen destek türleri

	A Litolojik Birimi			
	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrışmış bazaltik tüf	Ayrışmış andezitik tüf	Aglomera	Bazalt
Desteksiz kalabilme süresi (Destek basıncı) P (kN/m <sup>2</sup> )	Ani çökme	Ani çökme	Ani çökme	Ani çökme
(Kaya kütlelerinin deformasyon modülü) E <sub>M</sub> (GPa)	185.74	174.62	184.65	201.36
Değiştirilmiş RMR puanı	7.5	8.3	8.4	26.6
Q (tavan) (Bieniawski, 1976)	<b>23.03</b>	<b>24.29</b>	<b>34.91</b>	<b>37.55</b>
Q (tavan) (Barton, 1995)	0.097	0.111	0.364	0.488
Ortalama Q (tavan)	0.016	0.019	0.098	0.147
Q <sub>w</sub> (duvar)	<b>0.056</b>	<b>0.065</b>	<b>0.231</b>	<b>0.317</b>
Tavan destekleme sınıfı	Q	Q	2.5 x Q	2.5 x Q
Duvar destekleme sınıfı	<b>0.056</b>	<b>0.065</b>	<b>0.577</b>	<b>0.793</b>
Tavan destekleme sınıfı	8	8	7	7
Duvar destekleme sınıfı	8	8	6	6
<b>6 nolu destek sınıfı</b>				
1.5–1.7 m aralıklı L <sub>duvar</sub> =3.35 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 9–12 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)				
<b>7 nolu destek sınıfı</b>				
1.3–1.5 m aralıklı L <sub>tavan</sub> =3.8 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli, 12–15 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)				
<b>8 nolu destek sınıfı</b>				
1.2–1.5 m aralıklı L <sub>tavan</sub> =3.8 m L <sub>duvar</sub> =3.35 m uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik iksalı, çelik kafes takviyeli, 15–25 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+RRS+B)				

### 3.5.3. NATM (New Austrian Tunneling Method) Sınıflama Sistemi

NATM kaya kütle sınıflama sistemi tanımsal bir sınıflama olduğundan Q ve RMR sınıflama sistemleri gibi nicel veri sağlamamaktadır. Bu nedenle tünel açımı sırasında yapılacak gözlem ve deformasyon ölçümlerine dayanan NATM kaya sınıflaması tasarım aşaması sınıflaması olmayıp bu anlamda yapım aşaması sınıflamasıdır. Belirli bir destek ve kazı işlemine bağımlı olmayan NATM sisteminin tünel destekleme tasarımında Q ve RMR sınıflamalarıyla birlikte kullanılması daha sağlıklı veriler sağlar.

Bu çalışmada, sol tüp giriş portalında yer alan her bir jeoteknik birim için hesaplanan Q ve RMR değerleri NATM sınıflamasıyla birlikte değerlendirilerek kaya kütle sınıflaması yapılmıştır. ÖNORM B2203 (1994)'e göre, A1 ve A2 jeoteknik birimleri "C1 Sınıfı", A3 ve A4 jeoteknik birimleri ise "B3 Sınıfı" olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 3.17'de jeoteknik birimler için NATM'a göre önerilen destek elemanları yer almaktadır.

Tablo 3.17. Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri

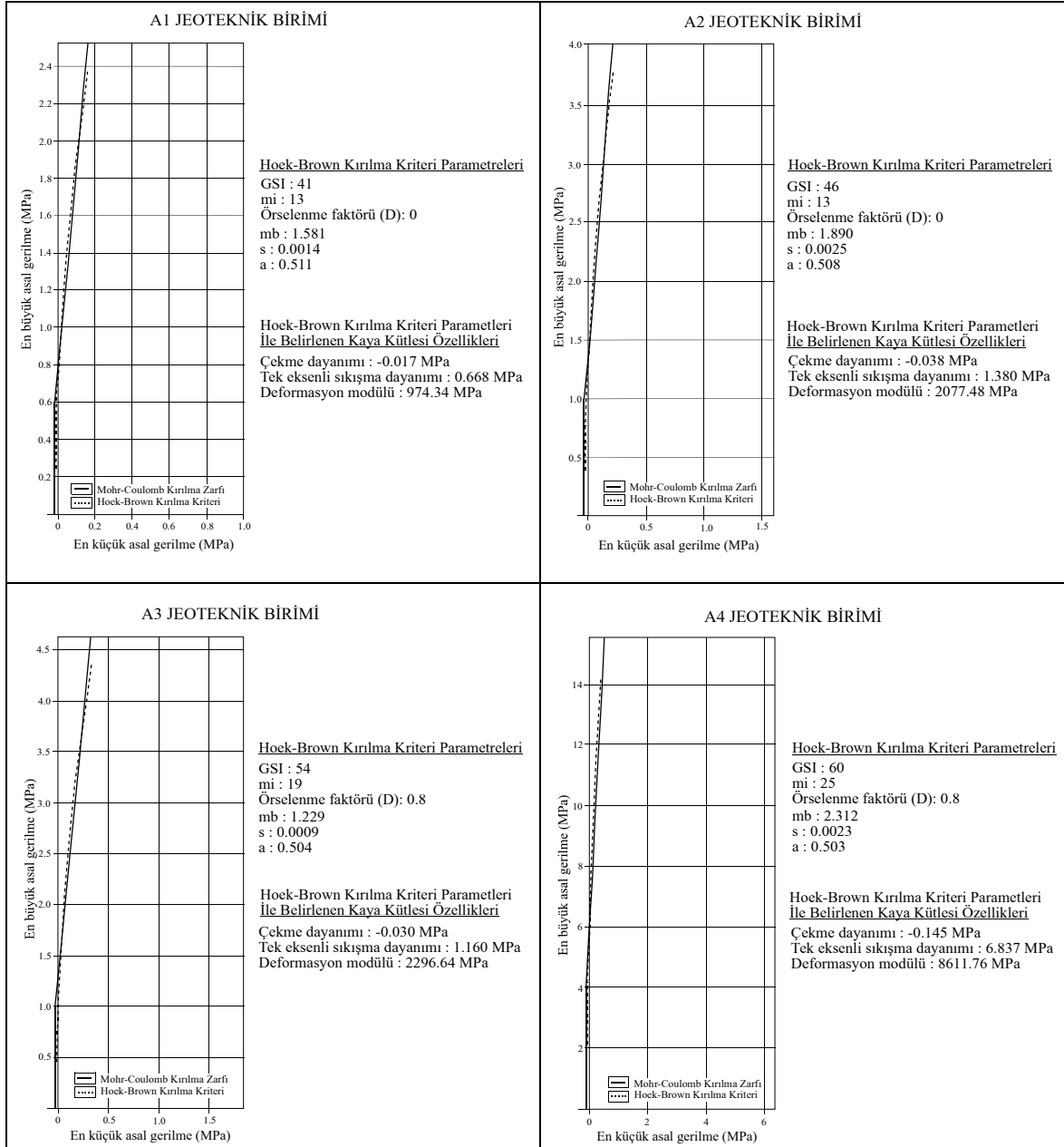
	A Litolojik Birimi			
	A1 Jeoteknik Birimi	A2 Jeoteknik Birimi	A3 Jeoteknik Birimi	A4 Jeoteknik Birimi
	Ayrışmış bazaltik tuf	Ayrışmış andezitik tuf	Aglomera	Bazalt
Q (tavan)	0.070	0.074	0.139	0.211
Q <sub>w</sub> (duvar)	0.070	0.074	0.348	0.528
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Çok fazla zayıf	Çok fazla zayıf	Çok zayıf	Çok zayıf
Değiştirilmiş RMR puanı	23.03	24.29	34.91	37.55
Kaya sınıfı (Bieniawski, 1989)	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	C1	C1	B3	B3
	Kaya patlamalı	Kaya patlamalı	Döküntülü	Döküntülü
<i>NATM'a göre CI sınıfı için destek elemanları</i>				
Destekleme elemanları olarak kısa ama sık yerleştirilmiş kaya bulonları ve çelik hasır gereklidir. Ek tedbir olarak kaya külesindeki basıncı azaltıcı delikler açılabilir. Bu yöntemle kaya patlamaları da önenebilir. Jeolojik şartlara göre üstaryı aynasından 100-150 m'den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemeri betonu yapmak gerekebilir.				
<i>NATM'a göre B3 sınıfı için destek elemanları</i>				
Tünel tavanı ve yan duvarlarda, aynada ve aynanın ilerletilmesinden önce monte edilecek sistematik destekleme gerekmektedir. Süren kullanımı yerel olarak gerekebilir. Sistematik çelik iksa kullanılacaktır. Jeolojik şartlara göre üstaryı aynasından 100-150 m'den daha geride olmamak üzere yerinde dökme bir taban kemeri betonu yapmak gerekebilir.				

### 3.6. Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Dayanım Özellikleri

Hoek-Brown yenilme ölçütü basit olarak üç ana ilkeye dayanmaktadır. Bunlar örselenmemiş kaya kütleleri için tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ), Hoek-Brown kaya sabiti değeri ( $m_i$ ) ve Jeolojik Dayanım İndeksidir (GSI). Jeolojik Dayanım İndeksi, arazi gözlemlerinden yararlanarak farklı jeolojik ve jeoteknik koşullara bağlı olarak kaya kütleleri dayanımının hesaplanması esasına dayanır. Kaya kütleleri karakterizasyonu, kaya yapısı, yani bloklu olması veya süreksizliklerin yüzey koşulları (pürüzlülük, bozunma, dolgu ve alterasyon, vb.) gibi görsel izlenimlere bağlıdır.

Bu çalışmada Hoek-Brown yenilme ölçütü, sol tüp giriş portalındaki jeoteknik birimleri oluşturan kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin güvenilir olarak belirlenmesinde kullanılmıştır. Jeoteknik birimlere ait GSI değerleri, Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen Şekil 2.13.'deki abak ile belirlenmiştir. Bu değerler "RocLab" programında kullanılarak kaya kütlelerinin özellikleri belirlenmiş ve ( $\sigma_1$ -  $\sigma_3$ ) grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.17).





Şekil 3.17. Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalındaki A1, A2, A3 ve A4 jeoteknik birimlerine ait kayalardan elde edilen verilere göre çizilen ( $\sigma_1$ -  $\sigma_3$ ) grafikleri

### 3.7. Konakönü Tüneli Sol Tüp Giriş Portalındaki Kaya Kütlelerinin Gerilme-Deformasyon Analizleri

Sonlu eleman yönteminde herhangi bir ortam sonlu eleman denilen parçacıklara bölünmektedir. Elemanlar birbirine, düğüm noktaları denilen köşe noktalarında bağlanmaktadır. Basit bazı fonksiyonlar (genellikle polinomlar) seçilerek eleman içindeki gerçek deplasman değişimi düğüm noktalarındaki değerler cinsinden yaklaşık olarak ifade edilirler. Düğüm noktalarındaki ve sonradan bulunması gereken deplasman bileşenlerine serbestlik derecesi adı verilmektedir.

Yöntemde, önce bir eleman için davranış denklemleri kullanılarak düğüm noktalarının deplasmanları hesaplanır. Tüm yapının davranış denklemleri ise yapıyı oluşturan elemanların denge denklemlerinin, elemanlar arasındaki deplasman sürekliliği sağlayacak şekilde toplanması ile bulunur. Elde edilen bu denklemler bilinen deplasman sınır şartlarını sağlayacak şekilde değiştirildikten sonra ortaya genellikle, bilinmeyen değişkenleri deplasmanlar olan bir lineer cebirsel denklem takımı çıkar. Denklem takımının çözümü ile de düğüm noktalarındaki deplasmanlar hesaplanmış olur. Yapıda oluşan şekil değiştirme ve gerilme bileşenleri ise hesaplanan deplasman değerlerinden, sonradan türev almak suretiyle elde edilirler.

Bu çalışmada kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden ve GSI sınıflamasından elde edilen parametreler kullanılarak sol tüp giriş portalında gerilme - deformasyon analizleri ve destek uygulamaları deneyerek plastik yenilmeler araştırılmıştır. Sol tüp giriş portalındaki kazı kesiti simule edilerek kazı çevresinde destekleme öncesinde ve sonrasında oluşacak plastik yenilmeler ile deplasmanlar (yer değiştirmeler) “Phase<sup>2</sup>” sonlu elemanlar programı ile incelenmiştir (Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21).

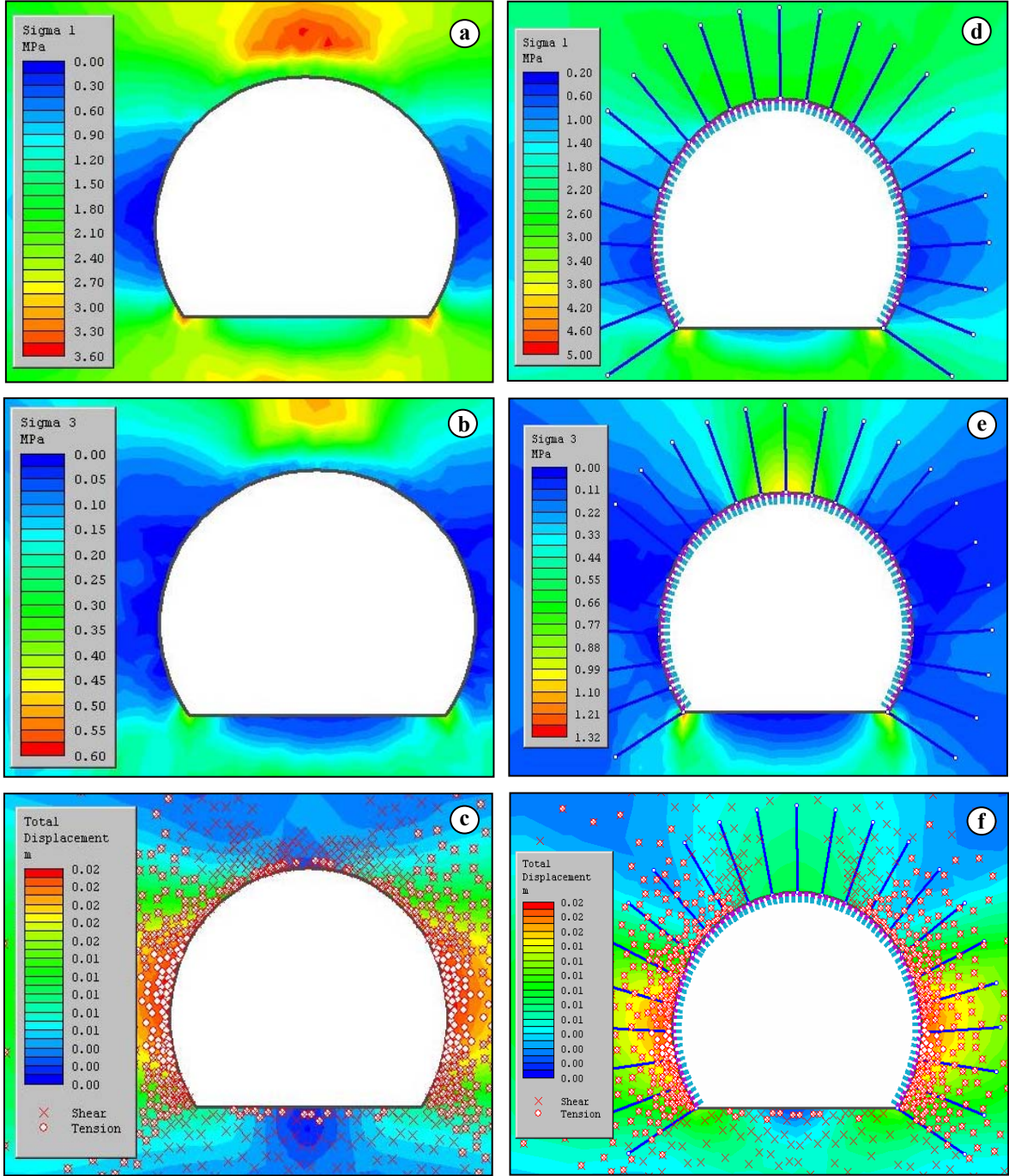
Tablo 3.18’de sol tüp giriş portalında yer alan jeoteknik birimlere ait kazı sonrası ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen temel gerilme dağılımları ( $\sigma_1$ - $\sigma_3$ ) ile toplam deplasman (yer değiştirme) değerleri özet olarak verilmiştir.

Phase<sup>2</sup> programı ile denenecek birincil desteklerin elastik ve dayanım özelliklerine ait uç değerler, tünel uygulamalarında kullanılan değerlerle aynı olacak şekilde seçilmiştir. Püskürtme betonun özellikleri tavan ve yan duvarlar için aynı olmak üzere, Elastisite modülü 30 GPa, Poisson oranı 0.3, basınç dayanımı 30 MPa ve çekme dayanımı 10 MPa olarak seçilmiştir. Kaya bulonları ise Q ve RMR kaya kütle sınıflamalarıyla belirlenen aralıklar ve uzunluklarda, 28 mm çapında ve 20 ton taşıma kapasiteli olacak şekilde seçilmiştir. Her bir jeoteknik birime ait Q ve RMR kaya kütle sınıflamalarıyla belirlenen

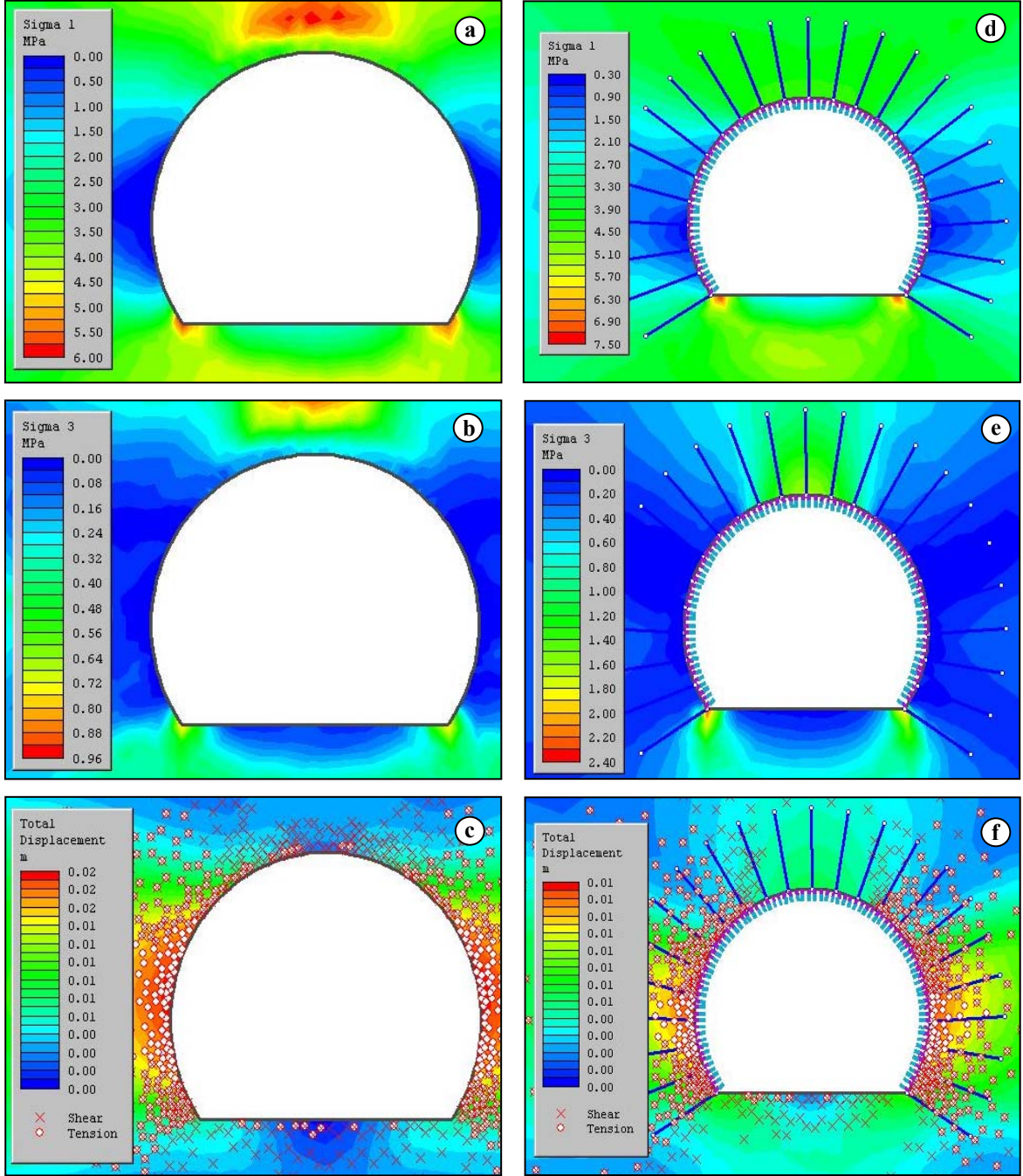
destek elemanlarının kullanılabilirliği “Phase<sup>2</sup>” sonlu elemanlar programı ile incelendiğinde destek elemanlarının toplam yer değiştirmeyi tam olarak azaltmadığı gözlenmiştir (Tablo 3.18). Toplam yer değiştirmeyi minimum seviyede azaltmak için önerilen destek elemanlarına ek olarak püskürtme beton kalınlığı ve kaya bulonunun uzunluğu arttırıldığında toplam yer değiştirmenin büyük ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Bulon aralığı 1.2 m, bulon uzunluğu 4 m ve püskürtme beton kalınlığı da 30 cm olacak şekilde seçildiğinde toplam yerdeğiştirme miktarı sıfıra doğru yaklaşarak azalmıştır. Ancak yenilmeleri tamamen ortadan kaldırmak imkânsızdır.

Tablo 3.18. Jeoteknik birimlere ait kazı sonrası ve destekleme sonrası en büyük asal gerilme, en küçük asal gerilme ve yer değiştirme değerleri

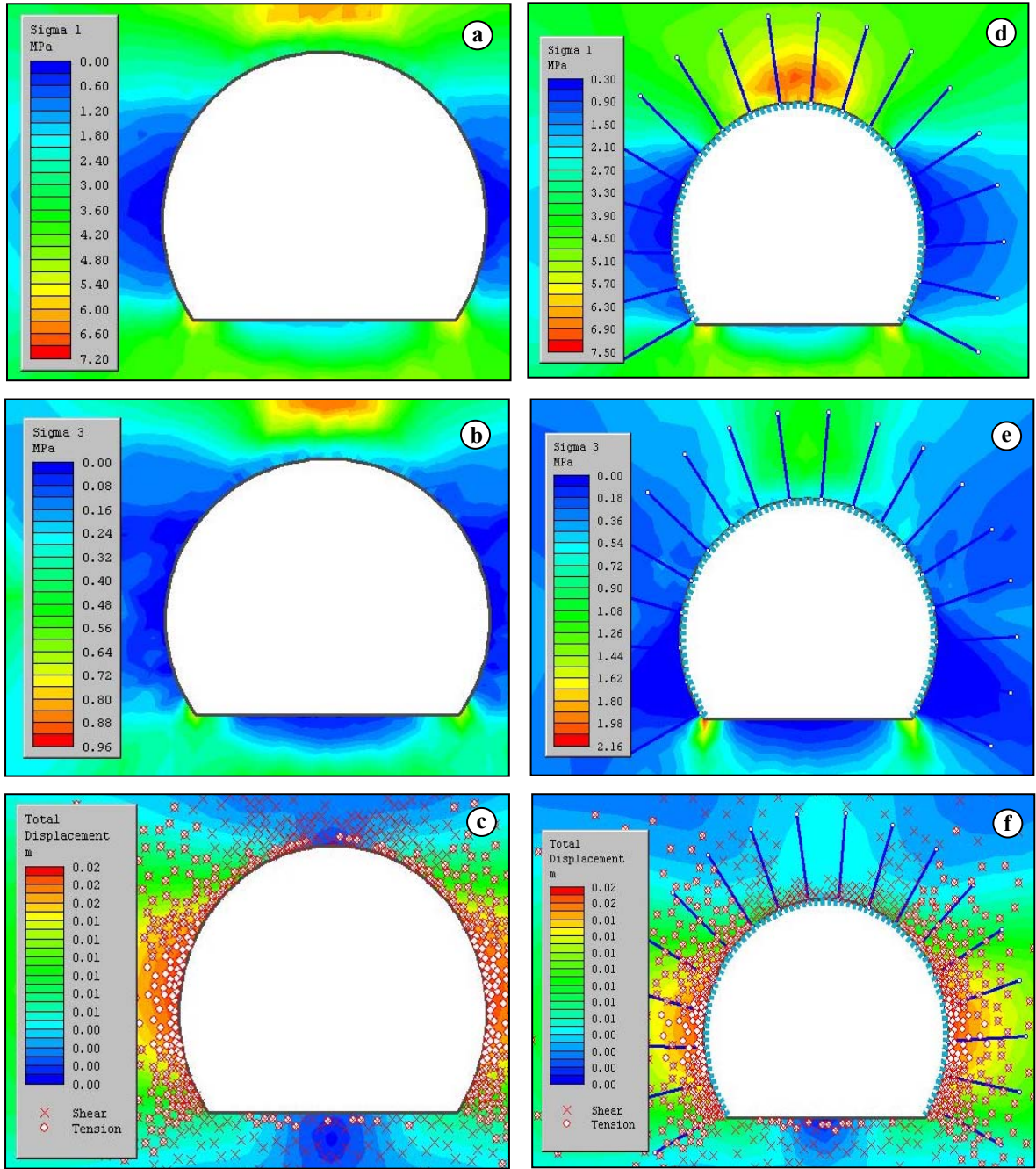
A Litolojik Birimi		En büyük asal gerilme- $\sigma_1$ (MPa)	En küçük asal gerilme- $\sigma_3$ (MPa)	Toplam yer değiştirme (m)
A1 Jeoteknik Birimi	Kazı sonrası	3.60	0.60	0.0239
	Destekleme sonrası	5.00	1.32	0.0169
A2 Jeoteknik Birimi	Kazı sonrası	6.00	0.96	0.0178
	Destekleme sonrası	7.50	2.40	0.0135
A3 Jeoteknik Birimi	Kazı sonrası	7.20	0.96	0.0186
	Destekleme sonrası	7.50	2.16	0.0160
A4 Jeoteknik Birimi	Kazı sonrası	36.00	4.80	0.0171
	Destekleme sonrası	26.4	6.00	0.0168



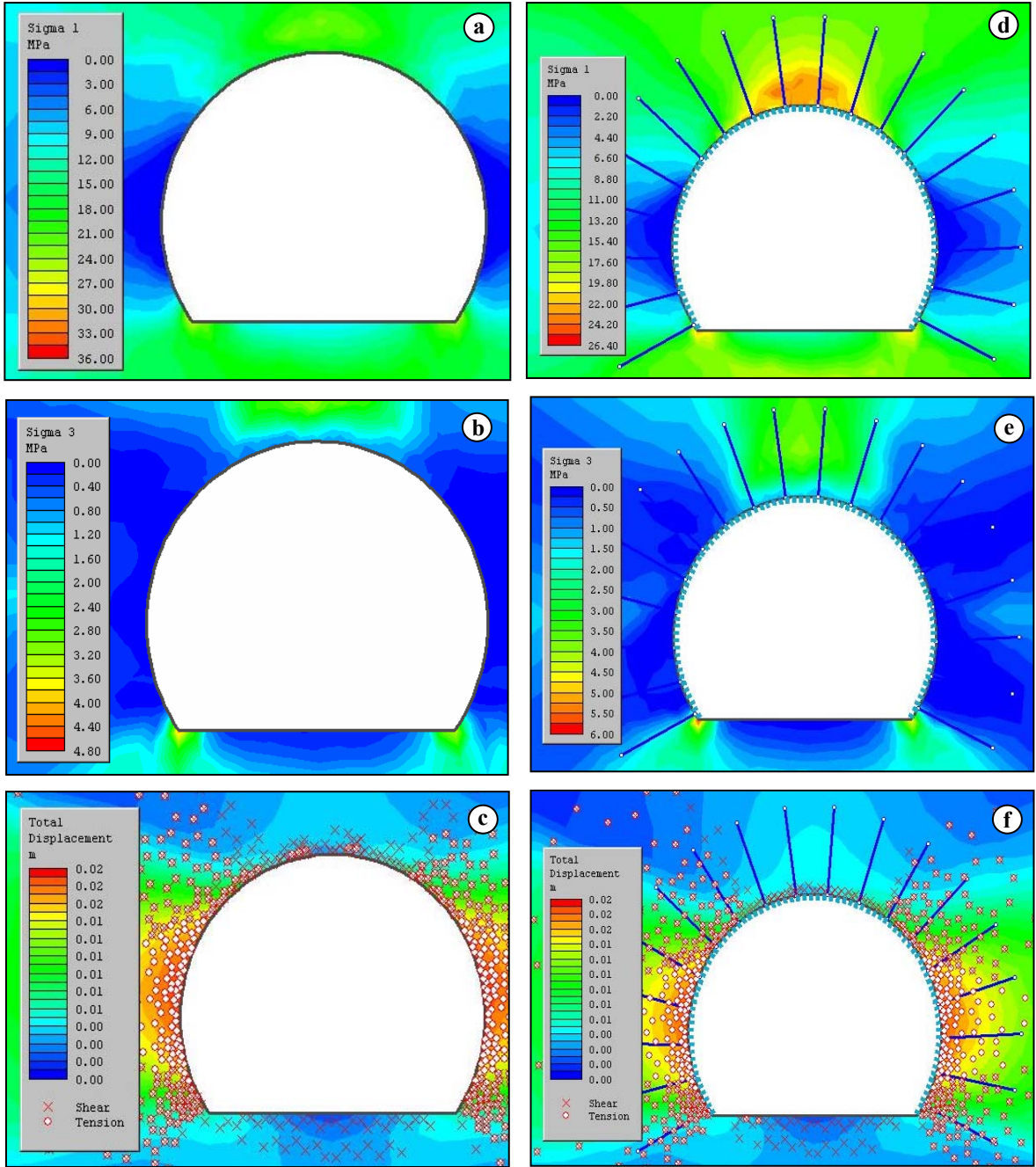
Şekil 3.18. A1 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)



Şekil 3.19. A2 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)



Şekil 3.20. A3 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)



Şekil 3.21. A4 jeoteknik birimine ait kazı sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (a), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (b), toplam yer değiştirme değeri (c) ve destekleme sonrası tünel etrafında gelişen en büyük asal gerilme- $\sigma_1$  dağılımı (d), en küçük asal gerilme- $\sigma_3$  dağılımı (e), toplam yer değiştirme değeri (f)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Karadeniz Devlet Sahil Yolu'nun Çarşıbaşı-Araklı kesiminin Km: 79+000 – Km: 80+882'leri arasında inşa edilmekte olan Konakönü Tüneli sol tüp giriş portalının mühendislik jeolojisi incelemesi ve jeoteknik tasarımı yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

1. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi amacı ile 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası hazırlanmıştır.

2. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayrılanmıştır;

- Andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu,
- Kötü katmanlı ve gevşek çimentolu konglomera ve breşlerden oluşan Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu,
- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları.

Konakönü Tüneli Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu içerisinde açılmaktadır.

3. Sol tüp giriş portalında yer alan kayalar litolojik ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak dört ayrı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bunlar, ayrıışmış bazaltik tüften oluşan A1 jeoteknik birimi, ayrıışmış andezitik tüften oluşan A2 jeoteknik birimi, aglomeradan oluşan A3 jeoteknik birimi ve bazalttan oluşan A4 jeoteknik birimi olarak adlandırılmıştır.

4. Sol tüp giriş portalı boyunca; Km:78+973–79+007 arasında A1 jeoteknik birimi, Km:79+007–79+024 arasında A2 jeoteknik birimi, Km:79+024–79+042 arasında A3 jeoteknik birimi, Km:79+042–79+073 arasında ise A4 jeoteknik birimi yer almaktadır.

5. Sol tüp giriş portalında yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler laboratuvarında yapılan deneyler ile belirlenmiş ve sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

➤ Fiziksel özellikler;

- A1 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış bazaltik tüflere ait özgül ağırlık değeri 2.648, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 4.498, porozite değeri % 10.78, boşluk oranı



değeri % 12.26, ağırlıkça su emme değeri % 11.32, hacimce su emme değeri % 21.27, doğal birim hacim ağırlık değeri  $20.11 \text{ kN/m}^3$ , elastik dalga hızının boyuna yayılma hızı kuru örnekler için  $2380 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $2500 \text{ m/sn}$ , elastik dalga hızının enine yayılma hızı kuru örnekler için  $1213 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $1275 \text{ m/sn}$ , Schmidt çekici geri tepme sayısı taze yüzeyler için 23; bozunmuş yüzler için 14'dür.

- A2 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış andezitik tüflere ait özgül ağırlık değeri 2.647, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 3.995, porozite değeri % 9.11, boşluk oranı değeri % 11.17, ağırlıkça su emme değeri % 10.39, hacimce su emme değeri % 19.79, doğal birim hacim ağırlık değeri  $19.22 \text{ kN/m}^3$ , elastik dalga hızının boyuna yayılma hızı kuru örnekler için  $2500 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $2777 \text{ m/sn}$ , elastik dalga hızının enine yayılma hızı kuru örnekler için  $1275 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $1416 \text{ m/sn}$ , Schmidt çekici geri tepme sayısı taze yüzeyler için 25; bozunmuş yüzler için 15'dir.

- A3 jeoteknik birimini oluşturan aglomeralara ait özgül ağırlık değeri çakıllar için 2.699; çimento için 2.667, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 0.925, porozite değeri % 5.10, boşluk oranı değeri % 5.10, ağırlıkça su emme değeri % 4.37, hacimce su emme değeri % 2.55, doğal birim hacim ağırlık değeri  $23.64 \text{ kN/m}^3$ , elastik dalga hızının boyuna yayılma hızı kuru örnekler için  $3125 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $3448 \text{ m/sn}$ , elastik dalga hızının enine yayılma hızı kuru örnekler için  $1593 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $1758 \text{ m/sn}$ , Schmidt çekici geri tepme sayısı çakıllara ait taze yüzeyler için 32 ayrıışmış yüzler için 24; çimentoya ait taze yüzeyler için 25; bozunmuş yüzler için 18'dir.

- A4 jeoteknik birimini oluşturan bazaltlara ait özgül ağırlık değeri 2.771, su muhtevası (doğal su içeriği) değeri % 0.295, porozite değeri % 0.58, boşluk oranı değeri % 1.47, ağırlıkça su emme değeri % 0.51, hacimce su emme değeri % 0.34, doğal birim hacim ağırlık değeri  $26.87 \text{ kN/m}^3$ , elastik dalga hızının boyuna yayılma hızı kuru örnekler için  $4347 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $4761 \text{ m/sn}$ , elastik dalga hızının enine yayılma hızı kuru örnekler için  $2216 \text{ m/sn}$ ; doymuş örnekler için  $2428 \text{ m/sn}$ , Schmidt çekici geri tepme sayısı taze yüzeyler için 38; bozunmuş yüzler için 26'dır.

➤ Mekanik özellikler;

- A1 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış bazaltik tüflere ait nokta yük dayanım indeksi  $0.80 \text{ MPa}$ , tek eksenli basınç dayanımı  $18.58 \text{ MPa}$ 'dır.

- A2 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış andezitik tüflere ait nokta yük dayanım indeksi  $1.80 \text{ MPa}$ , tek eksenli basınç dayanımı  $29.42 \text{ MPa}$ 'dır.

- A3 jeoteknik birimini oluşturan aglomeraların çakıllarına ait nokta yük dayanım indeksi 3.03 MPa, çakıl ve çimento içeren örneklere ait tek eksenli basınç dayanımı 38.92 MPa'dır.

- A4 jeoteknik birimini oluşturan bazaltlara ait nokta yük dayanım indeksi 6.09 MPa, tek eksenli basınç dayanımı 143.62 MPa'dır.

➤ Elastik özellikler;

- A1 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış bazaltik tüflere ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için  $1.12 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>, doygun örnekler için  $1.38 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; dinamik poisson oranı kuru örnekler için 0.33, doygun örnekler için 0.32'dir.

- A2 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış andezitik tüflere ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için  $1.08 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>, doygun örnekler için  $1.62 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; dinamik poisson oranı kuru örnekler için 0.32, doygun örnekler için 0.32'dir.

- A3 jeoteknik birimini oluşturan aglomeralara ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için  $2.36 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>, doygun örnekler için  $3.00 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; dinamik poisson oranı kuru örnekler için 0.33; doygun örnekler için 0.32'dir.

- A4 jeoteknik birimini oluşturan bazaltlara ait dinamik elastisite modülü kuru örnekler için  $5.72 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>, doygun örnekler için  $6.31 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; dinamik poisson oranı kuru örnekler için 0.32; doygun örnekler için 0.32'dir.

6. Sol tüp giriş portalı boyunca yapılan hat etüdü çalışmalarıyla, jeoteknik birimlere ait süreksizliklerin özellikleri ve yeraltı suyu durumu araştırılmış ve sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- A1 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış bazaltik tüflere ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.154 m, süreksizlik devamlılığı değeri 9.8 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 8-10, süreksizlik dalgalılığı açısı  $12.3^\circ$ , süreksizlik açıklığı 1.2 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı (Wc) 1.64, hacimsel eklem sayısı (Jv) 6.47, süreksizlik takımlarının duruşları 176/67 - 209/66 - 67/59, süreksizlik yüzeylerinde yalnızca damlalar halinde sızıntı mevcut olup sürekli bir su akışı gözlenmemektedir.

- A2 jeoteknik birimini oluşturan ayrıışmış andezitik tüflere ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.293 m, süreksizlik devamlılığı değeri 8.3 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 8-10, süreksizlik dalgalılığı açısı  $6.7^\circ$ , süreksizlik açıklığı 1.8 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı (Wc) 1.66, hacimsel eklem sayısı (Jv) 3.41, süreksizlik takımlarının duruşları 214/65 - 340/67 - 111/71, süreksizlik yüzeylerinde yalnızca damlalar halinde sızıntı

mevcut olup sürekli bir su akışı gözlenmemektedir.

- A3 jeoteknik birimini oluşturan aglomeralara ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.346 m, süreksizlik devamlılığı değeri 8.7 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 8-10, süreksizlik dalgalılığı açısı  $9.7^\circ$ , süreksizlik açıklığı 2.1 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı ( $W_c$ ) çakıl için 1.38 çimento için 1.33, hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) 2.74, süreksizlik takımlarının duruşları 61/75 - 33/70, süreksizlik yüzeyleri nemli olup su akışı yoktur.

- A4 jeoteknik birimini oluşturan bazaltlara ait süreksizlik ara uzaklığı değeri 0.295 m, süreksizlik devamlılığı değeri 2.9 m, süreksizlik pürüzlülüğü (JRC) değeri 10-12, süreksizlik dalgalılığı açısı  $8.1^\circ$ , süreksizlik açıklığı 2.3 mm, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı ( $W_c$ ) 1.46, hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) 2.87, süreksizlik takımlarının duruşları 258/67 - 21/67, süreksizlik yüzeyleri nemli olup su akışı yoktur.

7. Sol tüp giriş portalı boyunca tünel duvarlarından yapılan hat etüdü çalışmalarıyla elde edilen veriler kullanılarak kaya kütlelerine ait kaya kalite göstergesi (RQD) değerleri belirlenmiştir. A1 jeoteknik birimi % 85, A2 jeoteknik birimi ise % 89 RQD değerleri ile “iyi” kaya sınıfına; A3 jeoteknik birimi % 96, A4 jeoteknik birimi ise % 95 RQD değerleri ile “çok iyi” kaya sınıfına girmektedir.

8. Sol tüp giriş portalındaki kaya kütleleri Q, RMR ve NATM kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmış ve sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

➤ Q kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

A1 jeoteknik birimine ait Q-Qw değerleri 0.070, A2 jeoteknik birimine ait Q-Qw değerleri 0.074, A3 jeoteknik birimine ait değerler  $Q=0.139 / Q_w=0.348$  ve A4 jeoteknik birimine ait değerler  $Q=0.211 / Q_w=0.528$  olup, A1 ve A2 jeoteknik birimlerini oluşturan kaya kütleleri “çok fazla zayıf” kaya sınıfına, A3 ve A4 jeoteknik birimlerini oluşturan kaya kütleleri ise “çok zayıf” kaya sınıfına girmektedir.

➤ RMR kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

A1 jeoteknik birimine ait değiştirilmiş RMR puanı 23.03, A2 jeoteknik birimi için 24.29, A3 jeoteknik birimi için 34.91 ve A4 jeoteknik birimi için 37.55 olup, jeoteknik birimleri oluşturan kaya kütlelerinin hepsi “zayıf kaya” sınıfına girmektedir.

➤ NATM kaya kütle sınıflama sistemi değerleri;

Sol tüp giriş portalındaki tüm jeoteknik birimler tasarım aşamasında NATM'a göre B3 sınıfı olarak sınıflandırılmış ancak kazı aşamasında yapılan detay çalışmalar ile A1 ve A3 jeoteknik birimlerini oluşturan kaya kütlelerinin C1 sınıfına, A3 ve A4 jeoteknik birimlerinin ise B3 sınıfına girdiği belirlenmiştir.

**9.** Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılarak sol tüp giriş portalındaki kaya kütlelerinin dayanım özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur;

- A1 jeoteknik birimini oluşturan kaya kütlelerine ait deformasyon modülü 974.34 MPa, tek eksenli basınç dayanımı 0.668 MPa, çekme dayanımı -0.017 MPa'dır.

- A2 jeoteknik birimini oluşturan kaya kütlelerine ait deformasyon modülü 2077.48 MPa, tek eksenli basınç dayanımı 1.380 MPa, çekme dayanımı -0.038 MPa'dır.

- A3 jeoteknik birimini oluşturan kaya kütlelerine ait deformasyon modülü 2296.64 MPa, tek eksenli basınç dayanımı 1.160 MPa, çekme dayanımı -0.030 MPa'dır.

- A4 jeoteknik birimini oluşturan kaya kütlelerine ait deformasyon modülü 8611.76 MPa, tek eksenli basınç dayanımı 6.837 MPa, çekme dayanımı -0.145 MPa'dır.

**10.** Kaya kütle sınıflama sistemlerinden elde edilen parametreler kullanılarak sol tüp giriş portalında "Phase<sup>2</sup>" sonlu elemanlar programı ile gerilme - deformasyon analizleri ve destek uygulamaları denenerek plastik yenilmeler araştırılmıştır. Gerilme-deformasyon analizleri sonrasında ise Q ve RMR sınıflamaları ile belirlenen püskürtme beton kalınlığının ve kaya bulonu uzunluğu ile sıklığının deformasyonları azaltmada tam olarak yeterli olmadığı belirlenmiştir. Bulonlar 1.2 m aralığında 4 m uzunluğunda; püskürtme beton kalınlığı da 30 cm olarak seçildiğinde toplam yer değiştirme miktarının sifira doğru yaklaştığı belirlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İÜ, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Akın, H., 1978. Geologie, Magmatismus Und Lager-Staettenbidung 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.
- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006. Mineralogy, Petrography and Whole-Rock Geochemistry of Tertiary Granitic Intrusion in the Eastern Pontides, Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Aslan, Z., Arslan, M. ve Şen, C., 1999. Doğu Pontid'lerin Kuzey ve Güney Zonlarında Yüzeyleyen Eosen Yaşlı Granitik Sokulumların Karşılaştırılmalı Jeolojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 223-230.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1980. Annual Book of ASTM Standarts, 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. ve Bandis, S., 1982. Effect of Block Size On the Shear Behavior of Jointed Rock, Issue in Rock Mechanics, 23 Rd U.S. Symposium On Rock Mechanics, Berkeley, California, Society of Mining Engineers of AIME.

- Barton, N. ve Choubey, V., 1977. the Shear Strength of Rock and Rock Joints. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstract, 13, 255-279.
- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rockmasses for the Design of Tunnel Support, Rock Mech, 6, 189-239.
- Barton, N., Loset, F., Lien, R. ve Lunde, J., 1980. Application of the Q-System in Design Decisions Concerning Dimensions and Appropriate Support for Underground Installations, Int. Conf. Subsurface Space, Rockstore, Stockholm, Sunsurface Space, 2, 553-561.
- 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., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses, Trans. South African Inst., Civil Engineering, 15, 335-344.
- 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., 1978. Determining Rock Mass Deformability, Experience From Case Histories, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 15, 237-247.
- Bieniawski, Z. T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proceedings ISRM 4th International Congress On Rock Mechanics, Montreux, Balkema. Boston, Chapter 5, 55-95.
- 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.

- Boztuğ, D., Wagner, G.A., Erçin, A.İ., Göç, D., Yegingil, Z., İskenderoğlu, A., Kuruçelik, M.K., Kömür, İ. ve Güngör, Y., 2002. Sphene and Zircon Fission-Track Geochronology Unravelling Subduction- and Collision-Related Magma Surges in the Composite Kaçkar Batholith, Eastern Black Sea Region, Turkey, 1st International Symposium of The Faculty of Mines (İTÜ) On Earth Sciences and Engineering, Istanbul, Turkey, Abstracts, 121.
- 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.
- Çınar, S. ve Van, A., 1977. Trabzon-Araklı-Dağbaşı Yöresi İhbar Sahaları Hakkındaki Jeoloji Raporu, MTA Maden Etüd Derleme No:1590.
- 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.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, MMLS Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Magmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontid'lerdeki Bölgesel Yayılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38.
- Gedikoğlu, A., 1970. Etude Geologique De La Region De Gököy (Province D'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, Geocomp-I, 555-580.
- Ghose, A. K. ve Raju, N. M., 1981. Characterization of Rock Mass Vis-A-Vis Application of Rock Bolting in Indian Coal Measures, Proc. 22 Nd U.S. Symp. Rock Mechanics., MIT, Cambridge, MA, 422-427.

- Gonzalez De Vallejo, L. I., 1983. A New Rock Classification System for Underground Assessment Using Surface Data, Proc. Int. Symp, Eng. Geol. Underground Constr., LNEC, Lisbon, 1, 85-94.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gökten, 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.
- Gülibrahimoğlu, İ., 1986. Araklı Güneyinin Jeolojik Etüd Raporu, MTA Raporu No:2086, Ankara.
- Gümrükçüoğlu, Y., 2002. Doğu Pontid'lerde Yüzeyleyen Jura Volkanitlerinin Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enst., Trabzon, 81.
- Güngör, Y., Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., 1997. Kaçkar Batoliti Altıparmak Dağı- Soğanlı Dağı Arası (GD Çamlıhemşin-Rize) Kesiminin Petrografik, Jeokimyasal ve Petrojenetik İncelenmesi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30 Nisan - 3 Mayıs 1997, Adana, Bildiri Özleri, 223-224.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 Ölçekli Kompilasyonu, 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.
- Hasançebi, N., 1993. Dağbaşı (Araklı-Trabzon) Granitoyidine Bağlı Cevherleşmenin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bil. Enst., , Trabzon, 65.
- Haytek Uluslararası Mühendislik Müşavirlik, 2004. Konakönü Tüneli Kesin Proje Jeoteknik Raporu, İstanbul.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980. Underground Excavations in Rock, Institution of Mining and Metallurgy, London, 527.
- 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., Kaiser, P. K. ve Bawden, W. F., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema, Rotterdam, 214.



- Hudson, J. A., 1989. Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practise, Butterworths, 72.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976. Engineering Geological Maps, A Guide to Their Preparation, The Unesco Press, Paris, 79.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1979. Engineering Geological Mapping for Planning, Design and Construction in Civil Engineering, England, 380.
- 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), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22, 53-60.
- Jenning, J. E., 1970. A Mathematical Theory for The Calculation of The Stability Of Slopes in Open Cast Mines, Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, 87-112.
- JFZ İnşaat Taahhüt Tic. Ltd. Şti., 2002. Konakönü Tüneli Sondaj Raporu, Trabzon.
- Jica., 1985. The Republic of Turkey Report On The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, Japan International Cooperation Agency Metal Mining Agency of Japan.
- Kargı, H., 1987. Araklı-Bahçecik Granitoyidinin Petrografik ve Jenetik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bil. Enst., Trabzon (Yayınlanmamış), 53.
- Kaygusuz, A., 1992. Dağbaşı (Araklı-Trabzon) ve Çevresinin Minerolojik ve Petrografik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Trabzon, 63.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen. Bil. Enst., , Trabzon, 235.
- Kendorski, F. S., Cummings, R.A., Bieniawski, Z. T. ve Sinner, E. H., 1983. Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support, Proc. 5 Th Int. Cong. Rock Mech. ISRM, Melbourne, B51-B63.

- 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.
- Korkmaz, S., 1993. Tonya-Düzköy (GB-Trabzon) Yöresinin Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 151-158.
- Köprübaşı, N., Şen, C. ve Kaygusuz, A., 2000. Doğu Pontid Adayayı Granitoidlerin Karşılaştırılmalı Petrografik ve Kimyasal Özellikleri, Uygulamalı Yerbilimleri, 111-120.
- Köprübaşı, N., 1993. Tirebolu-Harşit (Giresun) Arası Jura-Kretase Yaşlı Magmatik Kayaçların Petrolojisi ve Jeokimyası, Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 139-150.
- Kökçüoğlu, H., 2006. Sonlu Elemanlar Metodu İle Tünel Modellemesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Laubscher, D. H., 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications, Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Industry, 86 , 1-8.
- Laubscher, D. H., 1984. Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, T. Min. Metali A., 93, A70-A81.
- MTA, 1997. Trabzon İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- NACS (North American Commission On Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841-875.
- Nakao, K., Iihoshi, S. ve Koyama, S., 1983. Statistical Reconsiderations On The Parameters for Geomechanics Classification, Proc. 5th Int. Congre. Rock Mech, ISRM, Melbourne, 1, 13-16.
- Olivier, H. J., 1979. Applicability of Geomechanics Classification to The Orange-Fish Tunnel Rock Masses, Civ. Eng. S. Afr., 21, 179-185.
- ÖNORM B2203, 1994. Untertagebauarbeiten Werkvertragsnorm, 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.
- Palmstöm, 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.
- Pejatovic, S. ve Vukanovic, V., 1970. Karadeniz Bölgesi Metalojenik Zonu ve Skarn Cevher Yataklarının Kıymetlendirilmesi, MTA, Etüd Derleme No: 952.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi, KTÜ Yayınları, 87, Trabzon.
- Piteau, D. R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. Proc. Of The Symp. On Planning Open Pit Mines, S.A. Inst. Min. and Metal., Johannesburg, 33-53.
- 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.
- Romana, M., 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. International Symposium On The Role of Rock Mechanics, Zacatecas, ISRM. 49-53.
- Serafim, J. L. ve Pereira, J. P., 1983. Considerations of The Geomechanics Classification of Bieniawski. Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Construction, LNEC, Lisbon, 1, 1133-1142.
- Schultz-Westrum, H. H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu'da Doğu Pontus Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları İle İlgili Mütaalalar, MTA Dergisi, 57, 63-71.
- Singh, B., ve Goel, R. K., 1999. Rok Mass Classification: A Practical Appraach in Civil Engineering, Elsevier, 267.

- Singh, R.N. ve Gahrooe, D.R., 1989. Application of Rock Mass Weakening Coefficient for Stability Assessment of Slopes in Heavily Jointed Rock Masses, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 3, 207-219.
- Sönmez, H. ve Ulusay, R., 1999. Modifications to The Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36-6, 743-760.
- Sönmez, H. ve Ulusay, R., 2002. A Discussion On The Hoek-Brown Failure Criterion and Suggested Modification to The Criterion Verified by Slope Stability Case Studies, Yerbilimleri, 26, 77-9.
- Şahin, S. Y., Güngör, Y. ve Boztug, D., 2004. Comparative Petrogenetic Investigation of Composite Kaçkar Batholith Granitoids in Eastern Pontide Magmatic Arc, Northern Turkey. Earth Planets Space, 56, 429-446.
- 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.
- Şen, C., 1988. Dağbaşı (Trabzon) Bölgesinde Yüzeyleyen Alt Bazik (Jura)-Granitoyid (Üst Kretase) Formasyonlarının Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bil. Enst., 92, Trabzon.
- TSE, 1987. TS UDK 699, “Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deneysel Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 75.
- TSE, 2000. TS EN 1926, “Doğal Taş Deneysel Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of The Gümüşhane Region, Doktora Tezi, University College, London.
- Topuz, G., Eyüboğlu, Y. ve Dokuz, A., 2002. Petrology and Age of The Saraycık Granodiorite, Pulur Massif, Eastern Pontides, NE Turkey: Preliminary Results, 1st International Symposium of Istanbul Technical University The Faculty of Mines on Earth Sciences and Engineering, İstanbul- Turkey, 120.
- Türk-Japon Ekibi, 1974. Report on Geological Survey of Trabzon Area, NE Turkey, Trabzon, Phase 1., JD-125, 185.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on The Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, 72.
- URL-1, 2004. <http://www.trabzon.gov.tr/CografiYapi/Iklim/Nufus>.
- Ünal, E., 1983. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs. Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355.

- Weaver, J. M., 1975. Geological Factors Significant in The Assessment of Rippability, The Civil Engineer in South Africa,17, 313–316.
- 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.
- 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.
- Yılmaz, Y.,1972. Petrology and Structure of The Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, North-Eastern Anatolia, Doktora Tezi, London University, 260.
- 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. EKLER

Ek Tablo 1. Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait özgül ağırlık deney sonuçları

ÖZGÜL AĞIRLIK TAYİNİ							
A LİTOLOJİK BİRİMİ		Piknometre (gr)	Piknometre + Örnek (gr)	Piknometre + Örnek + Su (gr)	Piknometre + Su (gr)	Özgül Ağırlık	
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ	AYRIŞMIŞ BAZALTIK TUF	48.42	69.15	161.13	148.23	2.47	
		48.64	69.38	162.23	149.34	2.647	
		48.53	69.28	161.03	148.13	2.650	
		<i>Ortalama Değer</i>					<b>2.648</b>
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TUF	48.42	69.10	161.10	148.23	2.647	
		48.64	69.37	162.23	149.34	2.644	
		48.53	69.15	160.97	148.13	2.651	
		<i>Ortalama Değer</i>					<b>2.647</b>
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ	AGLONERA	ÇAKIL	48.42	68.86	161.10	148.23	2.700
			48.64	69.14	162.23	149.34	2.693
			48.53	68.99	161.23	148.13	2.706
			<i>Ortalama Değer</i>				
	AGLONERA	ÇİMENTO	48.42	69.20	161.27	148.23	2.684
			48.64	69.10	161.9	148.23	2.647
			48.53	69.27	161.13	148.16	2.669
			<i>Ortalama Değer</i>				
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ	BAZALT	48.42	68.68	161.19	148.23	2.775	
		48.64	68.91	162.27	149.34	2.761	
		48.53	68.81	161.11	148.13	2.778	
		<i>Ortalama Değer</i>					<b>2.771</b>

Ek Tablo 2. Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait su muhtevası (doğal su içeriği) deney sonuçları

SU MUHTEVASI (DOĞAL SU İÇERİĞİ) TAYİNİ					
A LİTOLOJİK BİRİMİ		Örne No	Örnek Ağırlığı W-(gr)	Kuru Örnek Ağırlığı Wk-(gr)	Su İçeriği $w=(w-wk)/wk$ -(%)
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ BAZALTIK TUF	YT1	225.67	214.45	5.231
		YT2	266.14	254.93	4.397
		YT3	259.19	248.83	4.163
		YT4	249.27	238.16	4.664
		YT5	287.19	276.04	4.039
		<b>Ortalama Değer</b>			
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TUF	GT1	283.47	277.32	2.217
		GT2	238.68	231.34	3.172
		GT3	234.17	223.36	4.839
		GT4	254.25	245.47	3.576
		GT5	218.14	207.61	5.072
		GT6	242.91	231.13	5.096
<b>Ortalama Değer</b>				<b>3.995</b>	
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	AGLOMERA (Çakıl+Çimento)	A1	468.89	464.67	0.908
		A2	469.13	467.92	0.258
		A3	484.64	479.20	1.135
		A4	467.61	462.54	1.096
		A5	478.12	472.31	1.230
<b>Ortalama Değer</b>				<b>0.925</b>	
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	BAZALT	B1	537.63	536.57	0.197
		B2	528.58	527.76	0.144
		B3	552.46	551.74	0.130
		B4	556.03	554.14	0.341
		B5	522.58	520.53	0.393
		B6	550.13	548.58	0.282
		B7	551.42	549.34	0.378
		B8	523.68	510.35	0.652
<b>Ortalama Değer</b>				<b>0.295</b>	

Ek Tablo 3. Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

AĞIRLIKÇA VE HACİMCE SU EMME TAYİNİ								
A LİTOLOJİK BİRİMİ		Örnek No	Örnek Ağırlığı W-(gr)	Kuru Örnek Ağırlığı W <sub>k</sub> -(gr)	Doygun Örnek Ağırlığı W <sub>d</sub> -(gr)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Ağırlıkça Su Emme Oranı W= (W <sub>d</sub> -W <sub>k</sub> )/W <sub>k</sub> (%)	Hacimce Su Emme Oranı W= (W <sub>d</sub> -W <sub>k</sub> )/V (%)
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ BAZALİTİK TUF	YT1	225.67	214.45	239.30	109.409	11.58	22.71
		YT2	266.14	254.93	283.26	136.853	11.11	20.70
		YT3	259.19	248.83	270.78	123.000	8.82	17.84
		YT4	249.27	238.16	278.87	131.011	17.09	29.93
		YT5	287.19	276.04	295.54	128.504	7.06	15.17
		<b>Ortalama Değer</b>						<b>11.32</b>
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TUF	GT1	283.47	277.32	291.64	127.514	5.16	11.23
		GT2	238.68	231.34	255.10	111.684	10.27	21.27
		GT3	234.17	223.36	253.49	122.000	13.48	24.69
		GT4	254.25	245.47	273.94	131.592	11.59	21.63
		GT5	218.14	207.61	232.12	119.552	11.80	20.50
		GT6	242.91	231.13	254.35	119.548	10.04	19.42
<b>Ortalama Değer</b>						<b>10.39</b>	<b>19.79</b>	
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	AGLOMERA (Çakıl+Çimento)	A1	468.89	464.67	488.38	802.270	5.10	2.95
		A2	469.13	467.92	489.78	802.270	4.67	2.72
		A3	484.64	479.20	496.50	811.690	3.61	2.13
		A4	467.61	462.54	482.06	793.635	4.22	2.45
		A5	478.12	472.31	492.59	807.765	4.29	2.51
<b>Ortalama Değer</b>						<b>4.37</b>	<b>2.55</b>	
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	BAZALİT	B1	537.63	536.57	539.40	795.205	0.52	0.35
		B2	528.58	527.76	529.81	771.655	0.38	0.26
		B3	552.46	551.74	554.50	811.690	0.50	0.34
		B4	556.03	554.14	556.91	813.260	0.49	0.34
		B5	522.58	520.53	523.96	775.580	0.65	0.44
		B6	550.13	548.58	551.54	809.335	0.53	0.36
		B7	551.42	549.34	552.37	813.260	0.55	0.37
		B8	523.68	510.35	512.90	752.815	0.49	0.33
<b>Ortalama Değer</b>						<b>0.51</b>	<b>0.34</b>	



Ek Tablo 4. Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait porozite ve boşluk oranı değerleri

POROZİTE (GÖRÜNÜR GÖZENEKLİLİK) VE BOŞLUK ORANI TAYİNİ									
A LİTOLOJİK BİRİMİ	Örnek No	Örnek Ağırlığı W-(gr)	Kuru Örnek Ağırlığı W <sub>k</sub> -(gr)	Doymun Örnek Ağırlığı W <sub>d</sub> -(gr)	Hacim V (cm <sup>3</sup> )	Boşluk Hacmi V <sub>b</sub> (cm <sup>3</sup> )	Porozite n=V <sub>b</sub> /V (%)	Boşluk Oranı e=n/(1-n) (%)	
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ BAZALTIK TUF	YT1	225.67	214.45	239.30	109.409	12.06	11.02	12.38
		YT2	266.14	254.93	283.26	136.853	14.60	10.66	11.93
		YT3	259.19	248.83	270.78	123.000	10.45	8.49	9.27
		YT4	249.27	238.16	278.87	131.011	22.24	16.97	20.43
		YT5	287.19	276.04	295.54	128.504	8.74	6.80	7.29
		<b>Ortalama Değer</b>							<b>10.78</b>
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TUF	GT1	283.47	277.32	291.64	127.514	6.45	5.05	5.31
		GT2	238.68	231.34	255.10	111.684	11.15	9.98	11.08
		GT3	234.17	223.36	253.49	122.000	15.77	12.92	14.83
		GT4	254.25	245.47	273.94	131.592	14.75	11.20	12.61
		GT5	218.14	207.61	232.12	119.552	13.46	11.25	12.67
		GT6	242.91	231.13	254.35	119.548	11.43	9.55	10.55
<b>Ortalama Değer</b>							<b>9.91</b>	<b>11.17</b>	
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	AGLOMERA (Çakıl+Çimento)	A1	468.89	464.67	488.38	802.270	47.42	5.91	6.28
		A2	469.13	467.92	489.78	802.270	43.72	5.44	5.75
		A3	484.64	479.20	496.50	811.690	34.60	4.26	4.44
		A4	467.61	462.54	482.06	793.635	39.04	4.91	5.16
		A5	478.12	472.31	492.59	807.765	40.56	5.02	5.28
		<b>Ortalama Değer</b>							<b>5.10</b>
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	BAZALT	B1	537.63	536.57	539.40	795.205	4.71	0.59	1.43
		B2	528.58	527.76	529.81	771.655	3.14	0.41	0.69
		B3	552.46	551.74	554.50	811.690	4.60	0.56	1.27
		B4	556.03	554.14	556.91	813.260	4.61	0.56	1.27
		B5	522.58	520.53	523.96	775.580	5.71	0.73	2.70
		B6	550.13	548.58	551.54	809.335	4.93	0.61	1.56
		B7	551.42	549.34	552.37	813.260	5.05	0.62	1.63
		B8	523.68	510.35	512.90	752.815	4.25	0.56	1.27
		<b>Ortalama Değer</b>							<b>0.58</b>

Ek Tablo 5. A1 ve A2 jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait nokta yük dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKLEME DENEYİ									
A LİTOLOJİK BİRİMİ	Çap (mm)	Genişlik (mm)	Yenilme yükü (kg) P	De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	Nokta yük dayanım indeksi $I_s=P/De^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Boyut düzeltme faktörü F	Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi $I_{s(50)} = I_s \times F$		
							(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ (Şekilsiz örnekler)	AYRIŞMIŞ BAZALTIK TÜF	51	54	144.26	35.08	4.11	1.07	4.43	0.44
		53	51	108.19	34.43	3.14	1.07	3.37	0.34
		55	48	324.58	33.63	9.65	1.06	10.31	1.03
		50	62	108.19	39.49	2.73	0.66	1.80	0.18
		54	45	144.26	30.95	4.66	1.04	4.88	0.49
		50	51	613.10	32.48	18.87	1.06	20.01	2
		45	50	396.71	28.66	13.84	0.61	8.50	0.85
		62	53	144.26	41.85	3.44	1.12	3.87	0.39
		53	57	504.91	38.48	13.11	1.10	14.45	1.45
		58	61	288.52	45.07	6.40	1.14	7.30	0.73
		50	60	288.52	38.21	7.54	1.10	8.30	0.83
		58	62	504.91	45.80	11.02	1.14	12.63	1.26
		54	49	613.10	33.70	18.18	1.06	19.45	1.95
		62	52	252.45	41.07	6.14	1.11	6.87	0.69
		58	51	216.39	37.68	5.74	1.09	6.29	0.63
<i>Ortalama Değer</i>							<b>7.98</b>	<b>0.80</b>	
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ (Şekilsiz örnekler)	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TÜF	50	50	540.97	31.84	16.98	1.05	17.93	1.79
		46	53	649.17	31.05	20.90	1.05	21.94	2.19
		60	55	1370.47	42.03	32.60	1.12	36.64	3.66
		56	50	252.45	35.66	7.07	1.08	7.66	0.77
		61	54	577.04	41.96	13.75	1.12	15.45	1.55
		51	50	1226.21	32.48	37.74	1.06	40.03	4
		61	48	937.69	37.29	25.13	1.09	27.50	2.75
		52	62	432.78	41.07	10.53	1.11	11.78	1.18
		48	53	252.45	32.40	7.78	1.06	8.25	0.83
		54	51	1226.21	35.08	34.95	1.07	37.72	3.77
		58	50	540.97	36.94	14.64	1.09	15.98	1.60
		54	53	504.91	36.45	13.84	1.08	15.07	1.51
		54	54	396.71	37.14	10.67	1.09	11.67	1.17
		55	49	829.49	34.33	24.16	1.07	25.94	2.60
		45	58	396.71	33.24	11.93	1.06	12.72	1.27
52	51	685.23	33.78	20.28	1.07	21.70	2.17		
45	53	649.17	30.38	21.36	1.04	22.32	2.23		
<i>Ortalama Değer</i>							<b>17.92</b>	<b>1.80</b>	

Ek Tablo 6. A3 ve A4 jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait nokta yük dayanım indeksi değerleri

NOKTA YÜKLEME DENEYİ									
A LİTOLOJİK BİRİMİ	Çap (mm)	Genişlik (mm)	Yenilme yükü (kg) P	De <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	Nokta yük dayanım indeksi $I_s = P / De^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Boyut düzeltme faktörü F	Düzeltilmiş nokta yük dayanım indeksi $I_{s(50)} = I_s \times F$		
							(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	AGLOMERA (ÇAKIL)	50	-	360.65	25	14.42	1	14.42	1.44
		50	-	504.91	25	20.19	1	20.19	2.01
		50	-	613.11	25	24.52	1	24.52	2.45
		50	-	540.97	25	21.63	1	21.63	2.16
		50	-	721.30	25	28.85	1	28.85	2.89
		50	-	1118.01	25	44.72	1	44.72	4.47
		50	-	649.17	25	25.96	1	25.96	2.60
		50	-	540.97	25	21.63	1	21.63	2.16
		50	-	324.58	25	12.98	1	12.98	1.30
		50	-	540.97	25	21.63	1	21.63	2.16
		50	-	577.04	25	23.08	1	23.08	2.31
		50	-	793.43	25	31.73	1	31.73	3.17
		50	-	757.36	25	30.29	1	30.29	3.03
		50	-	360.65	25	14.42	1	14.42	1.44
		<b>Ortalama Değer</b>							
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ (Şekilsiz örnekler)	BAZALT	55	51	1875.38	35.73	52.48	1.08	56.87	5.69
		57	51	1803.25	37.03	48.69	1.09	53.19	5.31
		47	48	1947.51	28.73	67.76	1.03	69.92	6.99
		48	56	1658.99	34.24	48.44	1.07	52.03	5.20
		51	61	1954.72	39.63	49.32	1.10	54.71	5.47
		48	51	2344.22	31.18	75.17	1.05	79.01	7.90
		62	61	1875.38	48.17	38.92	1.15	45.11	4.51
		54	52	2488.48	35.77	69.56	1.08	75.40	7.54
		54	48	1875.38	33.01	56.79	1.06	60.46	6.05
		56	54	1550.79	38.52	40.25	1.10	44.37	4.44
		53	58	2524.55	39.15	64.46	1.10	71.31	7.13
		51	52	2098.98	33.78	62.13	1.07	66.48	6.65
		51	54	2272.09	35.08	64.76	1.07	69.89	6.99
		51	55	2416.35	35.73	67.62	1.08	73.28	7.33
		63	45	1695.05	36.11	46.93	1.08	50.98	5.10
		56	52	2091.77	37.09	56.38	1.09	61.62	6.16
		62	49	1767.18	38.70	45.66	1.10	50.38	5.04
<b>Ortalama Değer</b>								<b>60.89</b>	<b>6.09</b>

Ek Tablo 7. Jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesine ait tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

TEK EKSENLİ BASINÇ DENEYİ								
A LİTOLOJİK BİRİMİ	Örnek No	Çap D (mm)	Boy L (mm)	Kesit alanı A (cm <sup>2</sup> )	Yenilme yükü F (kg)	Tek eksenli basınç dayanımı $\sigma_c = (F/A)$		
						kg/cm <sup>2</sup>	MPa	
A1 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ BAZALİTİK TÜF	YT1	46.5	50.6	23.25	4200	180.65	18.07
		YT2	51.4	51.8	25.71	4450	173.08	17.31
		YT3	50	49.2	25.12	4900	195.06	19.51
		YT4	52	50.3	26.10	5000	191.57	19.16
		YT5	50.9	49.6	25.45	4800	188.61	18.86
		<b>Ortalama Değer</b>						<b>185.79</b>
A2 JEOTEKNİK BİRİMİ (Küçük örnekler)	AYRIŞMIŞ ANDEZİTİK TÜF	GT1	50.6	50.6	25.30	5650	223.32	22.33
		GT2	47.5	49.5	24.72	5200	210.36	21.04
		GT3	49.2	50.4	24.60	8900	361.79	36.18
		GT4	50.5	51.6	25.25	9900	392.08	39.21
		GT5	49.7	48.4	24.85	7950	319.92	31.99
		GT6	48.8	50.2	24.88	6410	257.64	25.76
<b>Ortalama Değer</b>						<b>294.19</b>	<b>29.42</b>	
A3 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	AGLOMERA (ÇAKIL+ÇİMENTO)	A1	50	102.2	19.63	5050	257.26	25.73
		A2	50	102.2	19.63	8200	417.73	41.77
		A3	50	103.4	19.63	7800	397.35	39.74
		A4	50	101.1	19.63	8550	435.56	43.56
		A5	50	102.9	19.63	8600	438.10	43.81
<b>Ortalama Değer</b>						<b>389.20</b>	<b>38.92</b>	
A4 JEOTEKNİK BİRİMİ (Silindirik örnekler)	BAZALT	B1	50	101.3	19.63	28050	1428.93	142.64
		B2	50	100.3	19.63	31200	1589.40	158.94
		B3	50	103.4	19.63	33150	1688.74	168.87
		B4	50	103.6	19.63	28950	1474.78	147.48
		B5	50	108.8	19.63	23250	1184.41	118.44
		B6	50	103.1	19.63	32800	1670.91	167.09
		B7	50	103.6	19.63	29150	1484.97	148.50
		B8	50	105.6	19.63	19000	967.91	96.79
<b>Ortalama Değer</b>						<b>1436.22</b>	<b>143.62</b>	

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ayberk KAYA 1983 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenimini 1994 yılında Elazığ Namık Kemal İlkokulu'nda, ortaöğrenimini 1997 yılında Elazığ Mezre Ortaokulu'nda tamamlayarak 2001 yılında Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü Lisans İngilizce Hazırlık Programı'nı başarıyla tamamladı ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitime başladı. 2006 yılında bölüm birincisi olarak Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitime başladı. İngilizce bilmektedir.