

170840

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAYA KÜTLE SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİNİN VE SSPC
YÖNTEMİNİN BEKÇİLER (MAÇKA-TRABZON)-TORUL (GÜMÜŞHANE)
ARASINDA ŞEÇİLEN KAZI ŞEVLERİNE UYGULANIŞI**

Jeoloji Müh. Nurcihan CERYAN

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.06.2005
Tezin Savunma Tarihi : 04.08.2005**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2005

ÖNSÖZ

Kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin ve SSPC yönteminin Trabzon-Gümüşhane Karayolu'nun Savalı Mahallesi-Bekçiler Mevkii kısmında seçilen kazı şevlerine uygulanmasını konu alan bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisan tezimin danışmanlığı üstlenen ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN' e içtenlikle teşekkür ederim.

Yüksek Lisan öğrenciliğime başladığımdan bu yana her aşamada yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgilerinden yararlandığım hocalarım Doç. Dr. Cüneyt ŞEN'e ve Prof. Dr. Necati TÜYSÜZ'e içtenlikle teşekkür ederim.

Kaya kütle sınıflandırmalarının uygulanışı konusunda bilgisini ve deneyimini paylaşan Doç. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na özellikle teşekkür ederim.

Çalıştığım alanının jeolojik özelliklerinin belirlenmesi konusunda bilgilerinden yararlandığım, Doç. Dr. Cemil YILMAZ'a ve Jeol. Yüksek Müh. İskender KURT'a teşekkür ederim. Gents Üniversitesi'nde (BELÇİKA) öğrenci olarak bulunduğum sırada elektronik postalarıyla desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Remzi DİLEK'e teşekkür ederim.

Prof Dr. Fikri BULUT'a ve Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'a bu çalışmaya yaptıkları katkılarından dolayı teşekkür ederim

Kaya Mekaniği deneyleri için blok örneklerin alınmasında ve deneylerin yapımında yardımcı olan teknisyen Yakup YAVUZ'a, Jeol. Müh. Fatih BEKTAŞ'a, Jeol. Müh. Fatih BAKİ'ye ve Jeol. Müh. Onur KARABACAK'a teşekkür ederim

Öğrenim görmemde ve yetişmemde beni maddi ve manevi olarak desteklemiş olan babam İlyas KORKMAZ'a, annem Elif KORKMAZ'a ve kardeşlerim Nurhan, Nuray, Güven ve Menekşe KORKMAZ'a içtenlikle teşekkür ederim.

Hayat arkadaşım Şener CERYAN' a bilimsel bilgi birikimini paylaşması, mesleğindeki yetişmemde var olan büyük katkıları ve yaşamımın diğer alanlarında da her zaman yanımda histettiğim vazgeçilmez desteği ve katkıları nedeniyle büyük bir içtenlikle teşekkür ediyorum. Biricik oğlum MERT'e yaşamımızı daha da güzelleştirdiği ve anlamlı kıldığı için ne kadar teşekkür etsem yeterli olmaz.

Nurcihan CERYAN, 2005

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. İnceleme Alanının Tanıtımı.....	2
1.2.1. Coğrafi Durum.....	2
1.2.2. Ulaşım ve Yerleşim	2
1.2.3. Morfoloji.....	3
1.2.4. Akarsular.....	4
1.2.5. İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.3. Önceki Jeolojik Çalışmalar.....	5
1.4. Kaya Şevleri İçin Duraylılık Analizlerine Genel Bakış	7
1.5. Kaya Kütle Sınıflamalarının Kaya Şev Duraylılığına Uygulanışı.....	11
1.5.1. Kaya Şev Duraylılığında Kullanılan Kaya Kütle Sınıflandırmaları	11
1.5.2. Kaya Kütle Sınıflandırmaları İle Kaya Şevlerinin Tasarımı	20
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	27
2.1 Giriş	27
2.2. Jeolojik Harita Alımı	27
2.3. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması	27
2.4. Kaya Malzemesinin İndeks ve Dayanım Özelliklerinin Ölçümü	29
2.4.1. İndeks Özellikler.....	29
2.4.2. Schimidt Çekici Geri Tepme Sayısı	31
2.4.3. Nokta Yükleme Deneyi	33
2.4.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi.....	34
2.5. Kaya Malzemesi ve Kaya Kütesinin Ayrışmaya Göre Sınıflandırılması	34

2.6.	Süreksizlik Özelliklerinin Ölçümü	35
2.6.1.	Süreksizlik Yönelimi ile Şev Yönelimi Arasındaki İlişki	35
2.6.2.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	37
2.6.3.	Hacimsel Çatlaklılık Sayısı.....	37
2.6.4.	Kaya Kalitesi Özelliği.....	39
2.6.5.	Blok Boyutu.....	39
2.6.6.	Süreksizliklerin Devamlılığı.....	40
2.6.7.	Süreksizlik Yüzeyinin Pürüzlülüğü	42
2.6.8.	Süreksizlik Yüzeyi Ayrışma Durumu.....	45
2.6.9.	Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu Durumu	47
3.	BULGULAR	48
3.1.	Giriş	48
3.2.	Litoloji ve Stratigrafi	48
3.2.1.	Çatak Formasyonu	48
3.2.2.	Kızılkaya Formasyonu.....	55
3.2.3.	Çağlayan Formasyonu	66
3.3.	Yapısal Jeoloji	70
3.3.1.	Tabakalar	70
3.3.2.	Çatlaklar.....	70
3.3.3.	Faylar	71
3.4.	Kaya Malzemesi İndeks ve Dayanım Özellikleri ve Ayrışmayla Değişimi .	72
3.5.	Kaya Kütle Sınıflandırmaları Kullanılarak Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması ve Seçilen Kazı Şevlerin Duraylılığının İncelenmesi	77
3.5.1.	Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma (RMS).....	78
3.5.2.	Jeomekanik Sınıflama (RMR).....	83
3.5.3.	Yeniden Düzenlenmiş Jeomekanik Sınıflandırma Sistemi (M-RMR)	88
3.5.4.	Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma (MRMR).....	96
3.5.5.	Şev Duraylılığı İçin Jeomekanik Sınıflandırma (SMR)	105
3.6.	Şev Duraylılığının Olasılık Olarak Sınıflandırılması	112

4.	İRDELEME	125
4.1	Giriş	125
4.2.	Kaya Kütle Sınıflandırmalarında Kullanılan Parametrelerle İlgili Güçlükler ve Olanaklar.....	126
4.2.1.	Kaya Malzemesi Dayanımı	126
4.2.2.	Süreksizlik Sıklığı.....	127
4.2.3.	Süreksizlik Yüzeyi Durumu	128
4.2.4.	Süreksizlik Yönelimi	129
4.2.5.	Su Durumu.....	130
4.2.6.	Şev Yüksekliği, Gerilme Durumu, Kaya Malzemesi Deformasyonu	132
4.3.	Sınıflandırma Parametreleri ve Şev Geometrisindeki Değişimler ve Bunların Ölçümündeki Belirsizlikler.....	134
4.4.	Şev Duraylılığın Sağlamak İçin Yapılan Öneriler.....	134
4.5.	Kaya Kütlelerinin Niteliği ile Yenilme Türlerinin Arasındaki İlişki	135
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	138
6.	KAYNAKLAR	144
	ÖZGEÇMİŞ	154

ÖZET

Trabzon-Gümüşhane karayolunun Bekçiler Mevkii-Savalı Mahallesi arasında yeralan kazı şevlerinin duraylılığı kaya kütle sınıflandırmaları ve olasılık yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Çalışma sahasında en altta Turoniyen-Santoniyen yaşlı, bordo renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüffit ara seviyeleri içeren andezit ve piroklastlarından oluşmuş Çatak Formasyonu yer almaktadır. Bu formasyon üzerine uyumlu olarak gelen Turoniyen?-Santoniyen yaşlı, tortul ara katmanlı dasit ve piroklastlarından oluşan Kızılkaya Formasyonu yer almaktadır. Kızılkaya Formasyonu üzerine Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Bu formasyon killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ve marn ara seviyeleri içeren andezitik-bazaltik volkanitlerden oluşmaktadır. .

Duraylılığı incelenen yol kazısı ile oluşmuş kaya şevlerinde şev geometrisi, litolojik özellikler, ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığı dikkate alınarak 64 jeoteknik birim ayrılanmış ve her bir jeoteknik birimlerin kaya malzemesi dayanım özellikleri bulunmuştur. Seçilen kazı şevlerinin duraylılığının değerlendirilmesi her bir jeoteknik birim için yapılmıştır.

Bu çalışmada, RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemler, girdi parametrelerinin tanımlanmasında ve ölçülmesinde güçlükler ve şevdeki yenilme türlerini dikkate almamaları nedeniyle kaya şevleri duraylılık değerlendirilmelerinde kullanılmalarının önerilmesi doğru bulunmamıştır. İncelenen şevlerde yapılan gözlemler ve duraylılık tanımlamaları ile SMR ve SSPC ve sistemiyle yapılan duraylılık tanımlamaları arasında iyi bir uyum vardır. SMR ve SSPC yöntemleri duraylılığının tanımlanmasında ve analizlerinde kullanılabilir. Ancak, bu çalışmada elde edilen verilerin farklı alanlarda çalışılarak, test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, kaya kütle sınıflandırmaları ile şev duraylılığının tanımlanması şev tasarım çalışmalarının yalnızca ilk aşamasında kullanılmalı veya detaylı haritalama ve analizi tamamlamak için belli bir bölgeye ait araç olarak düşünülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Şev Duraylılığı, Kaya Kütle Sınıflandırmaları, Ayrışma, Olasılık Sınıflandırma

SUMMARY

Applications of Rock Mass Classification System and SSPC Methods to Selected Excavated Slopes of Torul (GÜMÜŞHANE)- Bekçiler (Maçka- TRABZON) District

The durability of the excavated slopes of Bekçiler-Savaslı district of Trabzon-Gümüşhane highway are evaluated by rock mass classifications system and probability classification

In the study area, the oldest rocks are Turonian-Santonian andesite and its pyroclastics that interbedded with dark red coloured clayey limestone, sandy limestone and tuffit. This series rocks called as Çatak Formation that concordantly overlies Kızılkaya Formation, is consist of mainly Turonian?-Santonian dacite and its pyroclastics with some sedimentary rock lenses. Campanian-Maastrichtian Çağlayan Formation concordantly covers all these series. Çağlayan Formation consists of mainly andesite-basalt and pyroclastics with clayey limestone, sandy limestone and marl interbedded.

64 geotechnic units are separated from using the geometry of excavation slopes, the lithological features, the alteration state and the frequency of discontinuity. The strength properties of rock materials are obtained for each geotechnic units. Finally, slope stability calculations are done for all geotechnic units.

In this study, RMS, RMR, M-RMR and MRMR classification systems are not recommended for the evaluation of rock slope stability due to difficulties involved to descriptions and measurements of input parameters and they don't consider worn out failure mode of the slopes. This study shows that there is a good agreement between slope stability description results of SMR and SSPC and the field observations. Therefore, for the study area, SMR and SSPC methods can be applied for the definition of slope stability. However, obtained results must be tested through different area.. Additionally, rock mass classification and slope stability definitions must be used in the first stage of slope design study or it must use a tool for accomplish detail mapping and analyzing.

Key words: Slope Stability, Rock Mass Classification, Weathering, Probability Classification

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2.	Maçka (Trabzon) meteoroloji istasyonu verilerine göre Zigana Tüneli (Gümüşhane)-Maçka (Trabzon) alanındaki sıcaklık ve yağış histogramları..	5
Şekil 3.	Yenilme zarflarının kullanılarak kaya şevindeki olası yenilmelerin belirlenmesi	8
Şekil 4.	SSPC sisteminde şev duraylılığını değerlendirmek için oluşturulan 3 adımlı yaklaşımı	19
Şekil 5.	Hoek ve Bray (1981)'in sağlam kayalar için bulduğu şev yüksekliği- şev açısı ilişkisi	22
Şekil 6.	Haines ve Terbrugge (1991) şev tasarım eğrileri	23
Şekil 7.	Douglas (2002) 'nin kütleli yenilmeler için GSI ye bağlı olarak oluşturduğu şev tasarım eğrileri	26
Şekil 8.	Dasitik ve andezitik volkanitlerden alınan karot örnekler.....	30
Şekil 9.	IAEG (1995)'in ayrışmanın tanımlanması ve sınıflandırması için önerdiği niteliksel yaklaşım.....	36
Şekil 10.	Taylor (1965) tarafından önerilen süreksizlik ara uzaklığı grafiği.....	38
Şekil 11.	Süreksizlik ara uzaklığı ve süreksizlik takımları arasındaki açılardan şematik gösterimi (ISRM, 1981)	40
Şekil 12.	Süreksizlik yüzeyinin devamlılığının tanımlanması.....	41
Şekil 13.	Süreksizlik yüzeyinde pürüzlülük ve dalgalılık.....	42
Şekil 14.	Doğrusal profil alma yöntemi, pürüzlülüğün kalemli ve mekanik telli profilometre ölçümü ve pürüzlülüğün üç boyutlu ölçülmesi	42
Şekil 15.	Pürüzlülüğün niteliksel ölçümü	43
Şekil 16.	Standart pürüzlülük profilleri ve JRC değerleri	43
Şekil 17.	Değişik ölçüm uzunluğu için pürüzlülük genliği ve profil uzunluğuna bağlı olarak JRC'nin belirlenmesi	44
Şekil 18.	SSPC sisteminde küçük ve büyük ölçekteki pürüzlülüğün tanımlanması ...	45
Şekil 19.	Süreksizlik yüzeylerinin bozunma indeksinin bulunması	47
Şekil 20.	Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon yöresinin jeoloji haritası	49

Şekil 21.	Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon yöresinin jeoloji kesiti	50
Şekil 22.	Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon yöresinin genelleştirilmiş dikme kesiti	51
Şekil 23.	Çatak Formasyonu'ndaki andezitik volkanitlerinin, tabakalı tüflerin, volkanik breşlerini ve bordo renkli killi kireçtaşların görünümü	52
Şekil 24.	Çatak Formasyonu'ndaki andezitlerde mikrolitik porfirik doku	53
Şekil 25.	Cevherli dasitik kayalarda yoğun kırıkların, alterasyonların, tabakalı tüflerin görünümü ve pirizmatik debili dasitlerin görünümü	57
Şekil 26.	Cevherli dasitlerde altere olmuş plajiyoklas , kloritleşmiş biyotit ve kuvars fenokristalleri ve mikrogranü doku	58
Şekil 27.	Yoğun cevherleşme içeren dasitik tüflerin mikroskopta görünümü.....	59
Şekil 28.	Dasitlerde gözlenen mikrogranü doku	60
Şekil 29.	Dasitik volkanitler içindeki kırmızı biyomikritler	61
Şekil 30.	Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasit ve andezit daykları.....	62
Şekil 31.	Dasit dayklarında mikro granü porfirik doku	64
Şekil 32.	Andezit dayklarında mikro granü doku	64
Şekil 33.	Çağlayan Formasyonu bazaltik-andezitik volkanitlerin arazideki görünüşü ve Kızılkaya Formasyonu ile sınırı	67
Şekil 34.	Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitlerde mikrolitik porfirik doku	68
Şekil 35.	Kızılkaya Formasyonu'ndan alınan 546 çatlak ölçüsüne göre hazırlanmış kontur diyagram	71
Şekil 36.	Dasitlerde tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt çekici geri tepme sayısı ve Schmidt çekici geri tepme sayısı x birim hacim ağırlık değeri arasındaki ilişkiler	76
Şekil 37.	Dasitlerde tek eksenli basınç dayanımı ile Nokta yük dayanımı arasındaki ilişki	77
Şekil 38.	Jeoteknik birimlerin uzun süreli duraylılığın RMS ile tanımlanması.....	82
Şekil 39.	RMR sisteminde tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik ara uzaklığı ve RQD parametrelerine ait puanları bulmak için kullanılan grafikler	84

Şekil 40.	Jeoteknik birimlerin RMR'ye göre sınıflandırılması.....	89
Şeki 41.	M-RMR siteminin uygulanışını özetleyen akış diyagramı.....	90
Şekil 42.	Jeoteknik birimlerin M-RMR'ye göre sınıflandırılması.....	95
Şekil 43.	Jeoteknik birimlerin MRMR'ye göre sınıflandırılması	102
Şekil 44.	Haines ve Terbrugge (1991) tasarım eğrileri kullanılarak incelenen şevlerde duraylı şev eğimlerinin bulunması.....	103
Şekil 45.	SMR puanına göre şevin duraylılık açısından sınıflandırması, şevde görüleebilecek yenilme türleri ve duraylılığı sağlamak için gerekli önlemler	107
Şekil 46.	Kazı şevlerinin SMR puanına göre duraylılık sınıflaması ve Romana vd, (2003)'ya göre, duraysız şevler için duraylılığı sağlamak için alınabilecek önlemler	112
Şekil 47	Süreksizlik yönelimine bağlı duraylılık analizinde kayma türü yenilmenin olasılığını belirlemek için geliştirilmiş grafik	116
Şekil 48.	Süreksizlik yönelimine bağımlı duraylılık analizinde devrilme türü yenilmenin olasılığını belirlemek için geliştirilmiş grafik	117
Şekil 49.	Süreksizlik yöneliminden bağımsız duraylılık analizi geliştirilmiş grafik.....	118
Şekil 50.	Duraylılığı araştırılan şevlerde yapılan görsel tanımlama ile SSPC ve SMR sistemiyle yapılan tanımlamaların karşılaştırılması	137

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Maçka (Trabzon) meteoroloji istasyonu verilerine göre Zigana Tüneli (Gümüşhane)-Maçka (Trabzon) alanındaki sıcaklık ve yağış değerleri.....	4
Tablo 2.	Kaya kütle sınıflandırmalarında kullanılan parametreler	12
Tablo 3.	Kaya şev duraylılığına uygulanan ve bu çalışmada kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri ve kullandıkları parametreler	13
Tablo 4.	MRMR sınıflarına bağlı olarak verilen duraylı şev açıları	20
Tablo 5.	McMahon (1976)'nın şev yüksekliği ile şev eğim ilişkisi için parametreler	21
Tablo 6.	Süreksizlik koşulu faktörü	25
Tablo 7	Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında seçilen, yol kazısıyla oluşturulmuş şevlerde tanımlanan jeoteknik birimlerin özellikleri	28
Tablo 8.	Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri	32
Tablo 9.	Schmidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru ve dik olarak tutuluş durumuna göre düzeltme değerleri	32
Tablo 10.	Süreksizlik devamlılığının tanımlama ölçütleri.....	41
Tablo 11.	Küçük ölçekli pürüzlülüğün tanımlanması.....	44
Tablo 12.	Büyük ölçekli pürüzlülüğü tanımlanması.....	44
Tablo 13.	Sing ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen bozunma sınıflaması	46
Tablo 14.	Bozunma indeksine (W_c) göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması.....	46
Tablo 15.	Jeoteknik birimlerde kaya malzemesinin indeks ve dayanım özellikleri	73
Tablo 16.	Değişik derecede ayrılmış dasitler için bulunan suda dayanım indeksi değerleri.....	73
Tablo 17.	Dasitlerin indeks ve dayanım özelliklerinin ayrışmayla değişimi.....	74
Tablo 18.	Andezitlerin indeks ve dayanım özelliklerinin ayrışmayla değişimi.....	75
Tablo 19.	Schmidt çekici sertliğinden yararlanılarak tek eksenli basınç dayanımının bulunmasını sağlayan bağıntılar	75

Tablo 20.	Nokta yük dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler.....	77
Tablo 21.	Kaya kütle direncinin jeomorfolojik amaçlı ölçümü için önerilmiş sınıflama	78
Tablo 22.	Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre bulunan RMS puanı	79
Tablo 23.	RMR kaya kütle sınıflama sisteminde kullanılan parametreler ve puanları	83
Tablo 24.	RMR sisteminde Süreksizliklerin yüzey durumu için puanlanlama.	84
Tablo 25.	Kaya şevleri için önerilen süreksizlik yönelimi düzeltmesi puanları	85
Tablo 26.	Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre hesaplanan RMR değerleri	85
Tablo 27.	Süreksizlik yüzeyi durum indeksinin bulunuşu	89
Tablo 28.	Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre hesaplanan M-RMR değerleri	90
Tablo 29.	Jeoteknik birimler için bulunan M-RMR değerlerinin RMR'ye uygunluğunu için uygulanan X^2 testi sonuçları	95
Tablo 30.	MRMR sisteminde kaya malzemesi dayanımı ve RQD için puanlama	96
Tablo 31.	MRMR sisteminde süreksizlik durumunun değerlendirilmesi	97
Tablo 32.	MRMR sisteminde ayrışma için düzeltme sayısı	98
Tablo 33.	Yeniden düzenlenmiş süreksizlik yönelimi düzeltme puanları	98
Tablo 34.	MRMR sisteminde kazı yöntemine ilişkin düzeltme değerleri	98
Tablo 35.	Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre bulunan MRMR değerleri	99
Tablo 36.	İncelenen kaya şevlerinin duraylı olabilmesi için gerekli şev eğimi açıları	104
Tablo 37.	SMR sistemindeki süreksizlikler için düzeltme faktörleri ile kazı için düzeltme puanı.....	106
Tablo 38.	SMR puanına göre şevin duraylılık açısından sınıflandırılması.....	107
Tablo 39.	Duraylılığı araştırılan kazı şevlerinde SMR puanlarını bulmak için gerekli düzeltme faktörleri değerleri	108

Tablo 40.	Şevlerin kuru olduğu durum için bulunan SMR puanları.....	110
Tablo 41.	Süreksizlik koşul faktörü için, büyük ölçekli pürüzlülük, küçük ölçekli pürüzlülük, dolgu malzemesi türü ve yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu ile ilgili puanlama	115
Tablo 42.	Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzey durumunun SSPC sistemine göre puanlaması.....	119
Tablo 43.	Jeoteknik birimlerde her bir süreksizlik takımı için süreksizlerin yüzey koşulu ve şev eğimi yönündeki görünür eğimlerine bağlı olarak bulunan kayma ve devrilme türü yenilmeler için duraylılık olasılıkları ...	121
Tablo 44.	Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan duraylılık tanımlaması	123
Tablo 45.	Şevlerin görsel tanımlaması ile SMR ve SSPC yöntemiyle elde edilen duraylılık tanımlamaların sayısal karşılaştırılması	137

SİMGELER DİZİNİ

Ad	: Süreksizlik yüzeyinin toplam alanı
Adi	: Süreksizlik yüzeyinde kohezyonun olmadığı alanların toplamı
AP	:Süreksizliğin şev düzlemi eğimi yönündeki eğimi
C ₁	:CSMR sınıflama sisteminde şev yüksekliği faktörü
C ₂	:CSMR sınıflama sisteminde süreksizlik koşulu faktörü
CD	:SSPC yönteminde süreksizlik koşulu
c _m	:Kaya kütlesi kohezyonu (MPa)
CSRM	:Çin Şev Kütle Puanı
CUMR	:M-RMR sistemimde Düzeltilmiş Kütle Puanı
ÇN	:Çift Nikol
F:	:Ayrışmamış kaya malzemesi/kaya kütlesi
F ₁	:SMR sisteminde şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi arasındaki paralelliği ifade eden çarpan
F ₂	:SMR sisteminde süreksizlik yüzeyi ile ilişkilendirilmiş süreksizliğin kayma dayanımını ifade eden çarpan
F ₃	:SMR sisteminde şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğimini ifade eden çarpan
F ₄	:SMR sisteminde kazı yöntemini bağılı olarak şevin örselenme durumunu ifade eden çarpan
G	:Özgül ağırlık
H ve H _{şev}	:Şev yüksekliği (m)
H _{max}	:SSPC yönteminde şevin duraylı kalabileceği en büyük yükseklik
HW	:Yüksek derecede ayrıışmış kaya malzemesi/kaya kütlesi
Id	:Suda dayanım indeksi (%)
I _{s(50)}	:Nokta yük dayanımı (MPa)
Jap	: Süreksizlik açıklığı (mm)
JCS	: Süreksizlik yüzey malzemesinin dayanım (MPa)
Jim	: Süreksizliklerde dolgu türü ve kalınlığı (mm)
Jl	: Süreksizliğin devamlılığı (uzunluğu, m))
Jlr	: Süreksizlik yüzeyinin büyük ölçekli pürüzlülüğü

Jor	: Süreksizlik yönelimi ile şev yönelimi arasındaki ilişki
Jr	: Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü
JRC	: Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısı
Js	: Süreksizlik ara uzaklığı
Jsi	: Süreksizliklerin görünür ara uzaklığı
Jsr	: Süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekteki pürüzlülüğü
JTB	: Jeoteknik birim
Jv	: Hacimsel çatlaklılık katsayısı (çatlak sayısı/m ³)
Jwd	: Süreksizlik yüzeyi ayrışma durumu
K	: Süreksizlik yüzeyinde kohezyonsuz alan/toplam alan oranı
Kev	: MRMR sisteminde patlatma için düzeltme katsayısı
Kjor	: MRMR sisteminde süreksizlik yönelim, için düzeltme katsayısı
Kw	: MRMR sisteminde ayrışma için düzeltme katsayısı
MRMR	: Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma
M-RMR	: Yeniden Düzenlenmiş Jeomekanik Sınıflandırma
MW:	: Orta derecede ayrılmış kaya malzemesi/ kaya kütlesi
n	: Porozite (%)
N	: Örnek veya ölçüm sayısı
ne	: Efektif porozite (%)
ort, max, min	: Ölçümlerin ortalama, en büyük, en küçük değerleri
R	: Schimidt çekici geri tepme sayısı
R ²	: Determinasyon katsayısı
RMi	: Kaya Kütle İndeksi
RMR	: Jeomekanik Sınıflandırma (Kaya Kütle Puanı)
RMRtemel	: Temel RMR puanı
RMS	: Jeomorfolojik amaçlı sınıflandırma (Kaya Kütle Dayanım Puanı)
RQD	: Kaya kalitesi özelliği (%)
SMR	: Şevler İçin Kaya Kütle Puanı (Şev duraylılığı için jeomekanik sınıflandırma)
SPA	: SSPC yönteminde süreksizlik ara uzaklığı faktörü
ss	: Standart sapma
βj	: Süreksizliğin eğimi(derece)

β_s	: Şevin eğimi (derece)
sso	: Standart sapma oranı
SSPC	: Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırması
SW	: Az ayrışmış kaya malzemesi/kaya kütlesi
TC	: SSPC sisteminde süreksizlik koşul faktörü
u	: Dalgalık sayısı (%)
\bar{x}	: Ölçümlerin ortalama değeri
Vb	: Blok boyutu (m^3)
V _{bo}	: Üç çatlak takımının birbirine dik olduğu durumda blok boyutu (m^3)
W _c	: Süreksizlik yüzeyi bozunma katsayısı
W _{cm}	: Kaya kütlesi ayrışma derecesi
WD	: Ayrışma derecesi
W _{tc}	: Süreksizliklerde su durumu
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlığı (kN/m^2)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^2)
γ_1, γ_2 ve γ_3	: 3 Süreksizlik takımlı arasındaki açılar
λ	: 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama
δ	: Süreksizlik doğrultusu ile şev in doğrultusu arasındaki açı
δ_l	: Süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı
σ_{ci}	: Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
θ_m	: Kaya kütlesi sürtünme açısı (derece)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğu Karadeniz Bölümünde en önemli doğal afet büyük miktarlarda mal ve can kaybına yol açan kütle hareketleridir. Bu nedenle bu bölgede kütle hareketleri ile ilgili bir çok çalışma vardır. Bu çalışmalar kütle hareketleri ile ilgili önemli bir veri ve bilgi birikimi oluştursa da;

-Kaya şev duraylılığının araştırılmasında kullanılan yöntemlerin sınırlamalarından kaynaklanan sorunlar,

-Söz konusu bölgedeki kayaçların oluşumundan bu yana gelişen jeolojik süreçte kazandığı özellikler (jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile şevin geometrisi) ve bunların değişimi ile

- Uygulamacıardan kaynaklanan sorunlar (söz konusu edilen alandaki bilgi eksikliği ve var olan bilgilerin paylaşılmaması, çalışmalardaki gözlem ve ölçümlerinin tam kaydının tutulmaması, eldeki araç, donanım ve yazılım eksikliği) nedenleriyle istenen faydaları sağlayamamıştır.

Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan Trabzon- Gümüşhane devlet karayolundaki kazı şevlerinde gelişen kütle hareketleri ulaşımı aksatmakta, önemli can ve mal kaybına yol açabilecek durumları oluşturabilmektedir. Söz konusu yoldaki şevlerin duraylılığına yönelik ilk çalışmalar Koca (1988) ve Korkmaz (1988) tarafından, Zigana tüneli (Gümüşhane)-Maçka (Trabzon) arasında kalan kısmında, stereografik ve kinematik analizlerle yapılmıştır.

Trabzon-Gümüşhane devlet karayolunun Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında kalan kısmında gerçekleştirilen bu çalışma başlıca iki amaca dönük olarak hazırlanmıştır. Bunların ilki; Trabzon- Gümüşhane devlet karayolunun inceleme alanındaki kalan kazı şevlerinin duraylılığını incelemektir. İkincisi ise, kaya şev duraylılığı için yaygın olarak kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri irdelenerek, duraylılığının tahmininde pratikte yarar sağlayan; şevlerdeki bozulmaları tanımlayabilen, güvenilirlikle uygulanabilen, zaman ve paradan ekonomi sağlayan ve mühendislik anlamı olan sonuçlar üretebilen sınıflandırma sistem ve/veya sistemleri belirlemektir. Söz konusu bu amaçları gerçekleştirebilmek için;

-Kaya şev duraylılık analiz yöntemleri ve kaya kütle sınıflandırmalarının kaya şev duraylılığına uygulanışı ile ilgili önceki çalışmalar derlenmiş ve irdelenmiştir

- Trabzon- Gümüşhane devlet karayolunun Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)- Savaslı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında kalan kısmında seçilen kazı şevlerinde tanımlanan jeoteknik birimlerin jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca söz konusu jeoteknik birimler kaya kütle sınıflandırma sistemlerine göre tanımlanmıştır.

- Kaya kütle sınıflandırma sistemleri ve olasılık yöntemi kullanarak seçilen kazı şevlerinin duraylılık tanımlaması yapılmıştır

-Literatürden toparlanan bulgular ve bu çalışmada elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin kaya şev duraylılığına uygulanışındaki güçlükler ve olanaklar ortaya konulmuştur.

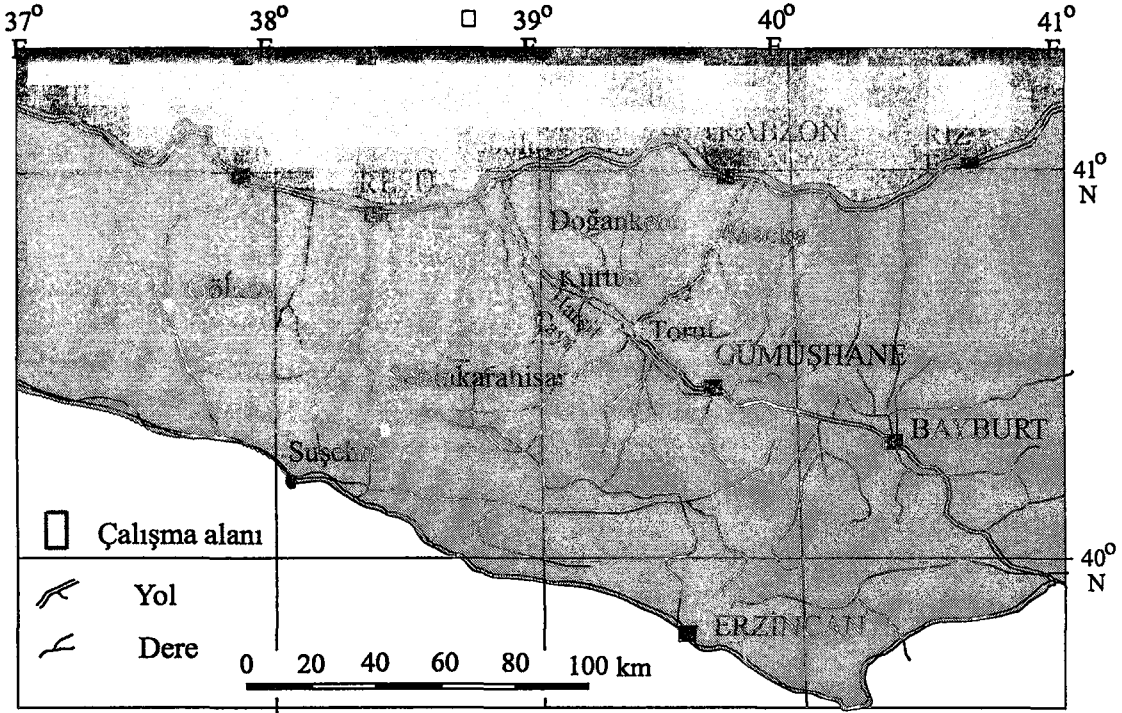
1.2. İnceleme Alanının Tanıtımı

1.2.1.Coğrafi Durum

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer alan çalışma sahası, Trabzon G42 c1 ve c2 paftalarında yaklaşık 20 km²'lik bir alanı kapsar. Trabzon-Gümüşhane karayolunun Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savalı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında kalan, ve Zigana Tüneli'ni de içine alan kısmı inceleme alanını kuzey doğudan güney batıya doğru kat etmektedir (Şekil 1).

1.2.2. Ulaşım ve Yerleşim

Çalışma alanında ana ulaşım yeni Trabzon-Gümüşhane devlet karayolu ile sağlanmaktadır. Bu yol 1986-1990 yılları arasında yapılmıştır. Eski devlet karayolu bu yolun doğusundan geçmektedir. Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde Bekçiler Mevkii, Paşadüzü Yayla, Bekçiler mevkiden 3 km uzaklıkta Zigana tüneli (uzunluğu yaklaşık 1800m), Kıranoba Yayla, Mahala gözlesi ve Savaslı Mahallesi yer alır.



Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

Bu yerleşim yerlerinden sadece Bekçiler Mevki idari olarak Maçka-Trabzon'a bağlıdır. Trabzon-Gümüşhane karayolundan daha yukarı kotlarda yer alan ve oldukça dağınık ve küçük olan yerleşim yerlerine çoğunlukla stabilize, bazende patika yollarla ulaşım sağlanmaktadır. Ancak kış aylarında yoğun kar yağışı olduğu zamanlarda bu yerleşim alanlarına ulaşım sağlanamamaktadır.

1.2.3. Morfoloji

Çalışma sahası Doğu Karadeniz Bölümüne özgü, çok engebeli, sarp bir morfolojiye sahiptir. İnceleme alanında Zigana tünelinin KD'unda yer alan ve KD ya doğru akan Zigana Deresi, Zigana tünelinin güneyinde yer alan ve batıya doğru akan Mahala Deresi ile çalışma alanının batısındaki Savaşlı Mahallesi civarında yer alan Savaşlı ve Sıranlık derelerin birleşerek oluşturduğu Ayur Deresinin vadileri yer almaktadır. Vadi yamaçlarının eğimi 40 dereceden fazladır. Bu vadilerin tabanı ile birbirinden ayırdığı sırtlar ve tepelerin yükseklikleri arasında 900 m ye varan kot farkı vardır. İnceleme alanındaki en önemli yükseltiler Savaşlı Mahallesi'nin 600 m kuzeyindeki 2094 m rakımlı yükselti ile 2143 m rakıma sahip Zigana Dağı'dır.

1.2.4. Akarsular

İnceleme alanında en önemli dereler Zigana Dere, Ayur Dere ve Mahala Dere'dir. Bunlardan sadece Zigana Dağının (ve Zigana Tünelinin) kuzeyinde, yıllık yağışın nispeten daha fazla olduğu kesimde, yer alan Zigana Dere'sinin rejimi düzenlidir. Ayur ve Mahala Dere'leri yıllık yağış miktarının daha az olduğu Zigana Dağı'nın güney kısmında yer alır. Söz konusu bu derelerin debisi yağışın az ve sıcaklığın fazla olduğu yaz aylarında çok düşmekte olup bazen bu derelerin kurudukları da gözlenmiştir.

1.2.5. İklim ve Bitki Örtüsü

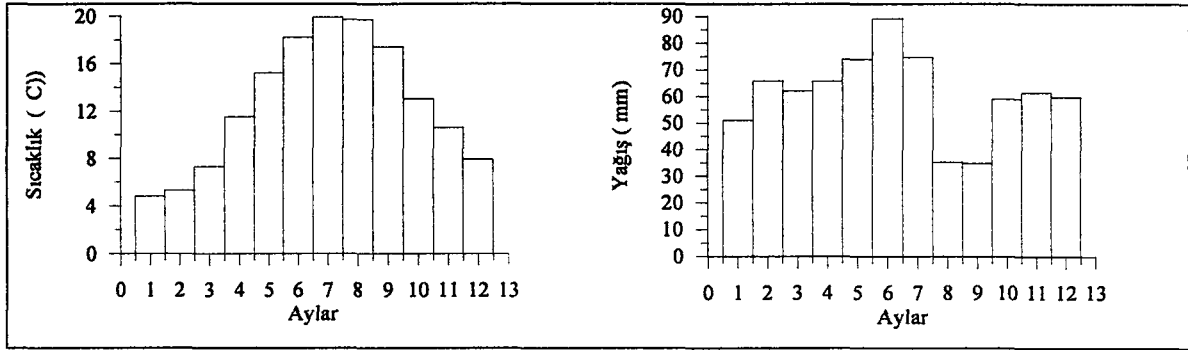
İnceleme alanında, Zigana Dağı ve buradan geçen ve Zigana Tünelinin Kuzey Doğusu ile Güney Batısı makro iklim parametreleri (yağış ve sıcaklık açısından) farklılık göstermektedir. Zigana Tünelinin KD kısmı Doğu Karadeniz Bölümü'nün sahile yakın kısımlarında olduğu gibi ılıman iklime, GB kısmı Doğu Karadeniz Bölümünün iç kısımlarında olduğu gibi karasal iklime sahiptir. İnceleme alanına en yakın meteoroloji istasyonu Maçka'da (Trabzon) bulunmaktadır. Bu nedenle Tablo 1 ve Şekil 2 de verilen iklim verileri çalışma alanının tümünü değil Zigana Tünelinin KD kısmındaki iklimi karakterize etmektedir.

Tablo 1. Maçka (Trabzon) meteoroloji istasyonu verilerine göre Zigana Tüneli (Gümüşhane)-Maçka (Trabzon) alanındaki sıcaklık ve yağış değerleri

	AYLAR												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Yağış (mm)	51	65,7	62,1	65,6	73,9	89,1	74,6	35,2	34,7	58,9	61,3	59,6	731,7
Sıcaklık (°C)	4,8	5,3	7,3	11,5	15,2	18,2	19,9	19,7	17,4	13	10,6	7,9	12,6

Çalışma alanı güney doğusu (Ayur Dere vadisi ve güneyi) hariç bitki örtüsü bakımından zengin olup çoğunlukla ormanla kaplıdır. Ormanın büyük bölümünü sarıçam, ladin ve gürgen ağaçları oluşturmaktadır. Arazinin morfolojik özellikleri tarımı kısıtlamıştır. Oldukça sınırlı alanlarda ve ormanın tahrip edilmiş alanlarında bahçe tarımı yapılmakta olup buralarda karalâhana, fasulye, patates, mısır ve fındık üretilmektedir. Hayvancılık önceki yıllara göre gerilemiş olsa da halen yöre halkının önemli geçim

kaynağıdır. Yüksek kesimlerde, büyük ve küçükbaş hayvanlar için meralar vardır. Yaylalar hayvan otlatımı için zengin otlaklarla kaplıdır.



Şekil 2. Maçka (Trabzon) meteoroloji istasyonu verilerine göre Zigana Tüneli (Gümüşhane)-Maçka (Trabzon) alanındaki sıcaklık ve yağış histogramları

1.3. Önceki Jeolojik Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresini konu alan ve yörenin jeolojik yapısını aydınlatmaya yönelik önemli jeolojik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir

Erguvanlı (1953) Espiye– Gümüşhane arasında kalan bölgede çalışarak, bölgenin denizaltı volkanizması ürünü olan lav, tuf, aglomera karmaşık serisinden ve bunların arasında, içinde Globotruncana fosillerinin saptandığı tortul kayalardan söz etmiş ve bu kayalara Üst Kretase yaşı vermiştir.

Gülibrahimoğlu . (1985) Zigana Dağı ve çevresinde yayılım gösteren kayaları Üst Kretase' ye ait dasit ve bazalt ardalanmalı tortul seri olarak tanımlamıştır.

Güven (1993) yapmış olduğu çalışmada, Zigana tüneli ve civarında Üst Kretase'nin tabanda Çatak Formasyonu olarak adlandırdığı ve kumtaşı, siltaşı, marn, tuf ara katkılı bazalt-andezit ve piroklastları ile başladığını, bunun üzerine uyumlu olarak riyodasit-dasit ve piroklastlardan oluşan yine Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu' nun geldiğini belirtmiştir. Kumtaşı, marn, killi kireçtaşı ve tuf ara katkılı bazalt-andezit ve piroklastlardan oluşan Geç Kretase yaşlı formasyonu Çağlayan Formasyonu olarak adlandırmıştır. Çağlayan Formasyonu Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu geldiğini ve tüm bu birimlerin Geç Kretase yaşlı Kaçkar Granitoyidi tarafından kesildiğini belirtmiştir.

Taslı (1984) Hamsiköy (Trabzon) yöresinin jeolojisini incelemiş ve yörede altı formasyon ayırt etmiştir. Bu çalışmada istiflenme, Liyas yaşlı Güzelyayla Köyü spliti ile başladığını, bu birimi uyumlu olarak üstleyen Dogger – Malm (Alt Kretase ?) yaşlı Berdiga

Formasyonu takip ettiğini ve Üst Kretase' de yoğun bir bazaltik volkanizmanın egemen olduğunu ve yer yer türbiditik karakterli tortulaşmanın da volkanizmaya eşlik ettiğini belirtmiştir.

Yalçınalp (1992) Güzelyayla (Maçka-Trabzon) porfiri Cu-Mo cevherleşmesinin jeokimyasına ilişkin çalışmasında, yörede en yaşlı birimin diyabaz, bazalt andezit lav ve piroklastikleri, spilitleşmiş bazalt ve diyabazdan oluşan Liyas yaşlı Pontid Alt Bazik Karmaşığı olduğunu, bunun üzerine uyumlu olarak Dogger-Malm yaşlı kristalize kireçtaşından oluşan Berdiga Formasyonu'nun geldiğini belirtmektedir. Berdiga Formasyonu'nun üzerine, altta cevherli dasit üstte cevher içermeyen dasitik lav ve tüflerden oluşan Bekçiler Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Bu formasyonun üzerine altta kumtaşı, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, biyomikrit, tuf, tüfit, lav aralanmasından oluşan Çamlıbel Birimi ile üstte bazalt-andezit lav ve piroklastiklerinden oluşan Kıranoba Birimi'ni kapsayan Senoniyen yaşlı Hamsiköy Tortul-Volkanik Karmaşığı uyumlu olarak gelmektedir. Zigana Granitoyidi ise Tersiyerde yerleşmiştir.

Koca (1988) Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı " Açılmakta olan Zigana Tüneli-Gürgenağaç Arası Yol Şevlerinin Duraylılığı" adlı çalışmasında Liyas yaşlı spilitleşmiş bazaltlardan oluşan Güzelyayla Formasyonu'nun çalıştığı alandaki en yaşlı birim olduğunu ve bunun üzerine uyumlu olarak Dogger-Malm-Alt Kretase yaşındaki Berdiga Formasyonu'nun geldiğini ve bu formasyonun alt seviyelerinin dolomitten üst seviyelerinin kalın katmanlı kireçtaşından oluştuğunu belirtmektedir. Berdiga Formasyonu üzerine Üst Kretase yaşlı Hamsiköy Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Hamsiköy Formasyonu iki üyeye ayrılmıştır. Bunlar; altta killi kireçtaşı, kumtaşı, bazaltik tuf ve spilitik bazalttan oluşan Çamlıbey Üyesi, üstte bazaltik lav tuf aglomeradan oluşan Kıranoba Üyesi'dir. Hamsiköy Formasyonu üzerinde Kampaniyen yaşlı biyomikrit mercceklerini içeren Dikkaya Dasiti gelmektedir. Yazara göre tüm bu birimler kuvarşlı mikrodiyorit daykları tarafından kesilmiştir. Koca (1988) tezinde incelediği şevlerdeki litolojik birimlerin fiziko-mekanik özelliklerini ve her bir litolojik birim için şev tasarım eğrilerini vermiştir. Bu eğrileri stereografik-kinematik ve limit denge yöntemlerini kullanarak yaptığı şev duraylılık analizleri sonucundan türetmiştir.

1.4. Kaya Şevleri İçin Duraylılık Analizlerine Genel Bakış

Şev duraylılık analizi için zemin ve kaya kütle özellikleri, şevin geometrisi, zemin veya kaya kütlelerinin jeoteknik davranışı ile deprem gibi dış faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.

Şev duraylılık analizleri üniform kaya kütle özelliklerine ve üniform şev geometrisine sahip jeoteknik birimler için yapılmaktadır. Bir jeoteknik birimin tanımlanması mühendislik projesinin ekonomik veya çevresel etkisine veya tehlikesine bağlıdır (Hack, 2002). Jeoteknik birimlerin tanımlanmasındaki tüm optimizasyonlara rağmen ayırtlanan her jeoteknik birimde şev geometrisindeki ve kütle özelliklerinde bir değişim gözlenir. Başka bir deyişle tam olarak üniform jeoteknik birim ayırtlamak zordur. Ayrıca, kütle özelliklerindeki, şev geometrisindeki ve bunların ölçümündeki hata ve belirsizlik nedeniyle şev duraylılık analizleri ve tasarımı da belli ölçüde belirsizlik içermektedir.

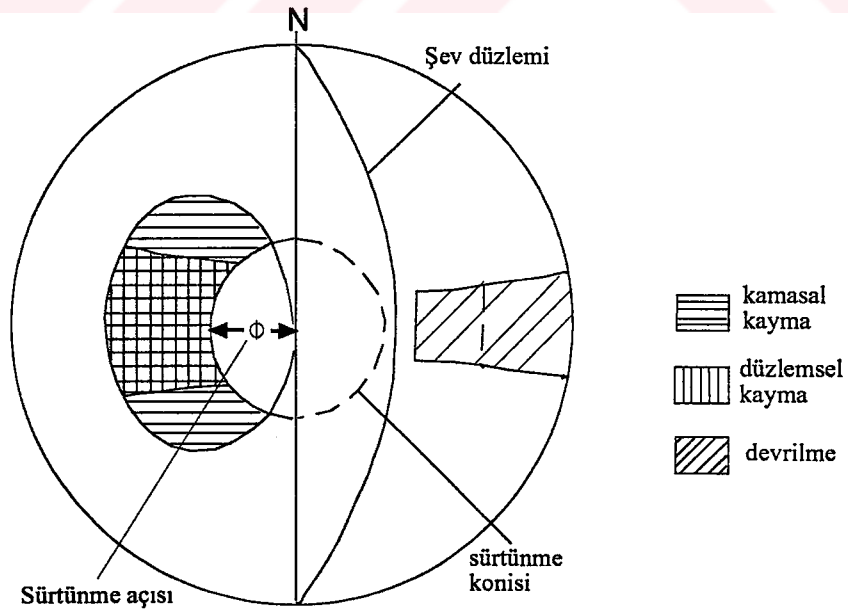
Ulusay (2001) şev duraylılığı analizlerinin başlıca amaçlarını aşağıda maddeler halinde özetlemiştir

- Yenilme mekanizmalarının belirlenmesi,
- Gerektiğinde şevin tekrar tasarlanması ve iyileştirici önlemlerin belirlenmesi
- Dış faktörlerden (yapılaşma, trafik, kazı ve deprem v.b.) kaynaklanan statik ve dinamik yüklerin şev yamaç duraylılığı üzerindeki etkilerinin araştırılması
- Şev tasarım parametrelerinin belirlenmesi ve örneğin güvenlik sayısının duraylılığı etkileyen parametrelere bağlı değişiminin incelenmesi)

Kaya şevleri için duraylılık analizleri 4 grupta toplanabilir

- Konvansiyonel yöntemler (stereografik ve kinematik analizler)
- Limit denge analizleri
- Sayısal analizler (ortamı sürekli kabul eden yaklaşımlar, ortamı süreksiz kabul eden yaklaşımlar ve hibrid (melez) modeller
- Kaya mühendisliği sisteminin (Hudson, 1992) şevler için uygulaması (Etkileşim Matrisi)
- Kaya kütle sınıflandırmalarına dayanan analizler.

Stereografik ve kinematik analizler kaya şevindeki yenilmenin süreksizlikler tarafından belirlendiği durumlarda, ayrıntılı analizlere başlamadan önce şevlerin duraylı ve duraysız olarak tanımlanması amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir. Bu analizlerde kayma ve devrilme türü yenilmeler incelenmekte olup veri olarak süreksizliklerin yönelimi, şev geometrisi, süreksizliklerin kayma dayanımı parametreleri kullanılmaktadır. Söz konusu analizlerde; her bloğun ayrı ve rijit olduğu, hareketin süreksizlik düzlemleri ve arakesitler üzerinde geliştiği, hareketin kayma şeklinde meydana geldiği, süreksizlik yüzeylerinde kohezyon ve içsel sürtünme bulunduğu ve kayma zarfının doğrusal olduğu varsayılır. Sadece kritik olmayan şevlerin ön tasarım ve tasarımda kullanılabilirliği, uygulayıcı mühendisin yargısının gerekliliğine bağlı olarak ihtiyaç duyulan tehlikeli (yenilme potansiyeli yüksek) süreksizliklerin belirlenmesi ihtiyacı, diğer önemli süreksizlik özelliklerini dikkate almadan esas olarak süreksiz yönelimlerinin değerlendirilmesi, süreksizliğin % 100 devamlı kabul edilmesi ve süreksizlik dolgusunun blokları bağlayıcı etkisi olduğu durumda dolgu malzemesinin dayanımının dikkate alınmaması bu analizlerin sınırlamalarını oluşturmaktadır. Kaya şev duraylığında süreksizlik-şev düzlemi kesişme zarflarının kullanımı oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu çalışmada olası yenilme türlerinin ve sayılarının belirlenmesi için Şekil 3' de tanımlanan yenilme zarfları kullanılmıştır.



Şekil 3. Yenilme zarflarının kullanılarak kaya şevindeki olası yenilmelerin belirlenmesi (Duncan, 1992)

Limit denge koşulunu esas alan yöntemlerde, kinematik analizlerinden farklı olarak, süreksizliklerin kayma parametreleri, kayması olası bloğun geometrik özellikleri ve ağırlığı, yeraltı su koşulları, dış yükler, duraylılık için yapılan desteklemeyle oluşacak koşullar ve dinamik yükler dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde duraylılık, hareket ettirici kuvvet ve momentlerin harekete karşı koyan uyanmış (harekete geçmiş) kuvvet ve momentlerin oranına dayanan güvenlik sayısı ile tanımlanmaktadır. Değişik yenilme türleri için değişik analiz yöntemleri ve yazılımların olması, destekleme şekli, yer altı koşulları, şev geometrisi ve malzeme özelliklerindeki değişimin güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin hem determinist hem de olasılık olarak incelenebilmesi ve bu incelemelerin 2 ve 3 boyutlu olarak yapılabilmesi limit denge koşulunu esas alan yöntemlerin uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Ancak söz konusu bu yöntemlerde; güvenlik katsayısının duraysızlığın tam bir göstergesini olarak ele alınması, analizlerin birçok varsayıma ihtiyaç duyması, deformasyonları ve kaya malzemesindeki yenilmeleri hesaba katılmaması, kalıcı gerilmeler dikkate alınmaması ve istatistik yöntemlerle gerçekçi bir değerlendirme yapabilmek için çok iyi tanımlanmış (ve elde edilmiş) verilere ihtiyaç duyulması söz konusu yöntemlerin uygulamalarında önemli güçlükler oluşturmaktadır.

Kaya şevinin geometrisi, blok geometrisi, malzeme ve kütlenin anizotrop oluşu, yeraltı suyu koşulları, lineer olmayan davranış özellikleri ve kalıcı gerilmeler ile çeşitli birleşik (birbirini etkileyen) süreçlerin varlığı (örneğin; su basıncı ve dinamik yükler) nedeniyle kaya şev duraylılık problemleri karmaşıktır, çözümü zor bir haldedir. Söz konusu zorluğu aşmak içine kişisel bilgisayardaki ve programlama dillerindeki gelişime bağlı olarak sayısal analizler geliştirilmiş ve ileri sayısal çözümleme analizleri şev duraylılığına uygulanmıştır. Sayısal analizlerdeki yaklaşımlar başlıca 3 başlık altında toplanabilir; kaya kütle ortamını sürekli kabul eden yaklaşım kaya kütle ortamını süreksiz kabul eden yaklaşım ve hibrid (melez) yaklaşım

Kaya kütle ortamını sürekli kabul eden sayısal analizlerin en iyi uygulandığı durumlar; masif kaya kütlelerinde, çok kırıklı kaya kütlelerinde, tamamen ayrılmış kaya kütlelerindeki şevlerin duraylılık analizleridir. Bu analizlerde veri olarak kullanılan özellikler; şev geometrisi, değişik gerilme-deformasyon ilişkileri (elastik, elastiko-plastik, krip vb.), yeraltı suyu koşulları, kalıcı gerilmeler ve kayma dayanımı parametreleridir. Tüm bu parametrelerin değişiminin duraysızlık üzerindeki üzerindeki etkilerinin incelenebildiği bu analizlerle, kompleks modellemeler kişisel bilgisayarlarda makul bir sürede gerçekleştirilebilmekte, üç boyutlu modelleme yapılabilmekte, değişik yeraltı suyu

koşulları ve boşluksuyu basınçları modellenenilmekte ve dinamik analizler yapılabilmektedir. Ayrıca bu analizler malzemenin deformasyon ve yenilmesine izin vermektedir. Bu tür analizler için oluşturulan modellerde deformasyon ve yenilme mekanizmaları karmaşık olabilmekte ve krip şeklindeki deformasyonlar da dikkate alınabilmektedir. Ancak bu yaklaşımda, çoğu kez faylar ve tabaka düzlemleri analizlere dikkate alınması olası olsa da, bloklu kaya kütlelerinin duraylılık analizleri yapılamamaktadır. Söz konusu yaklaşımla yapılan modellemeler için gerekli giriş parametrelerinin hazır bulundurulması, elde edilmesi ve rutin ölçümleri zor, nitelikleride genellikle zayıf olup yapılan modellemenin (ve kullanılan programın) sınırlamalarını (ör: sınır koşulları, kullanılan birim elemanların boyutları, bilgisayarın bellek özelliklerini) bilme ihtiyacı vardır. Ayrıca, modellemeyi yapanın veya bu yaklaşımla analiz yapan programları kullanan kişiler iyi eğitilmeli, uzmanlaşmalı ve iyi şekilde yapılmış modellemelerde pratik yapmış olmalıdır.

Kaya kütle ortamını süreksiz kabul eden sayısal analizler; kaya yamaç ve şevini rijit veya deforme olabilen blokların bir arada bulunduğu, mekanik anlamda süreksiz bir ortam olarak ele almakta olup süreksizliklere bağlı olarak gelişen ve esas olarak süreksizliğin normal ve kesme katılığı (deforme olabilirliği) tarafından kontrol edilen kaymaları konu almaktadır. Bu analizler için gerekli parametreler; şev geometrisi, kaya malzemesi yenilme kriterleri, süreksizliğin normal ve kesme katılığı (deforme olabilirliği), yer altı suyu koşulları ve kalıcı gerilmelerdir. Söz konusu yaklaşımla oluşturulan modellerle blok deformasyonu ve blokların diğer bloklara göre yer değiştirmesi hesaplanabilmekte, değişik hidro-mekanik ve dinamik koşullar altında kaya malzemesi ve süreksizliğin birlikte davranış şekli ve mekanizması incelenebilmekte ve parametrelerin değişiminin duraysızlık üzerindeki etkisi hesaplanabilmektedir. Genel olarak, kaya kütle ortamını sürekli kabul eden sayısal analizler için yukarıda verilen sınırlamalar burada da geçerlidir. Kaya kütle ortamını süreksiz kabul eden sayısal analizlerle modellerin oluşturulabilmesi için süreksizliklerin jeoteknik (ara uzaklık, devamlılık vb.) özellikleri yeterli nitelikte bilinmelidir. Ancak bu yeterli nicelikte ve nitelikte elde edilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Ayrıca, modellemelerde ölçek etkisi bilinmelidir.

Hibrid (melez) sayısal analizleri son zamanlarda giderek artan şekilde kaya şev duraylılık analizlerinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım esas alınan analizlerde limit denge yaklaşımı, özellikle gerilme dağılımı ve su akışının hesaplanması için sonlu elman yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu yaklaşım özellikle yüksek yeraltısuyu basınçları altında

bulunan zayıf kaya kütlelerin duraylılığının araştırılmasında kullanılmaktadır. Bu tür analizlerde, şev geometrisi, kaya malzemesi için değişik gerilme-deformasyon ilişkileri (elastik, elastiko-plastik, krip vb.), süreksizliğin normal ve kesme katılığı (deforme olabilirliği), kalıcı gerilmeler ve yeraltısu koşulları girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Hibrid (melez) sayısal analizlerde kullanılan sonlu elemanlar ve ayrık elemanlar yöntemiyle yeni kırıkların oluşumu ve yayılması ile kırıklı ve tabakalı kaya kütlelerinin parçalanması için benzeşim modellemesi yapılabilmektedir. Ancak, karmaşık problemlerin çözümü için yazılan programlardan verim alınabilmesi için çok büyük bellek miktarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, bu tür analizlerin kullanımı için henüz pratikte gerçekleştirilmiş çok az deneyim var

1.5. Kaya Kütle Sınıflamalarının Kaya Şev Duraylılığına Uygulanışı

1.5.1. Kaya Şev Duraylılığında Kullanılan Kaya Kütle Sınıflandırmaları

Kaya kütle sınıflandırmaları 1946'dan bu yana değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve/veya önerilmiştir. Bu sistemler, kaya mühendisliğinde tasarımın ayrılmaz bir parçası olmakla birlikte uzun yıllar süren gözlemlere dayalı ve istatistiksel değerlendirmeleri esas alan görgül yöntemlerdir (Ulusay ve Sönmez 2002). Kaya kütle sınıflandırmaları analitik-sayısal yöntemlerin yerini almak için geliştirilmemiş olup kaya mühendisliğinde tasarıma yardımcı olan ve ön tasarımda kullanılacak bir araçlardır. Söz konusu sistemlerin bu şekilde algılanması ve doğru kullanılması halinde, günümüzde birçok mühendislik projesinin tamamlanmasında başarı sağladıkları bilinmektedir (Özkan ve Ünal, 1996; Ulusay ve Sönmez 2002).

Bieniawski (1988) kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin başlıca amaçlarını; kaya kütlelerinin davranışını etkileyen önemli parametreleri tayin etmek, kaya kütlelerini kendi içerisinde benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kalitedeki kaya kütle sınıflarını belirlemek, her kaya kütle sınıfının özelliklerinin anlaşılması amacıyla esaslar oluşturmak, herhangi bir sahadaki kaya kütle koşullarıyla ilgili olarak kazanılan deneyimleri diğer sahalarda karşılaşılan koşullarla karşılaştırıp ilişki kurmak, mühendislik tasarımı için sayısal veri tabanı ve bir kılavuz oluşturmak ve mühendisler arasında ortak temele dayalı teknik iletişimi sağlamak şeklinde belirtmektedir

Ulusay ve Sönmez (2002), kaya kütlesi sınıflandırma sistemlerinden elde edilebilecek kazanımları; en az sayıda sınıflama parametresi alınarak, toplanan verilerle saha çalışmasının kazanımlarını artırmak, tasarıma yönelik amaçlar için sayısal veri sağlaması ve daha doğru mühendislik kararlarının alınabilmesinin ve projede daha etkin bir iletişimin sağlanabilmesi şeklinde açıklamaktadır

İlk sınıflandırmalar daha çok yeraltı kazıları için geliştirilmiş, daha sonra şev duraylılığına da uygulanmıştır. Ancak bu uygulamaların güvenilir sonuç vermediği ortaya çıkınca yeraltı kazıları için geliştirilen sınıflandırma sistemleri şevler için yeniden düzenlenmiştir. Genellikle, şevler için uygulanan sistemler yeraltı kazılar için oluşturan sınıflandırma sistemlerinin ana elemanlarını miras olarak almıştır. Bu durum bazı sistemlerde şevlerde uygulanmasının anlamlı olmadığı parametrelerin ana bileşen olarak alınmasına, bazı sistemlerde de şev duraylılığı için önemli parametrelerin gözden kaçırılmasına veya yanlış uygulanmasına neden olmuştur. Kaya şev duraylılığı tahmininde ve şev tasarımında sıkça kullanılan ve bu çalışmada da ele alınan kaya kütle sınıflandırmalarının ve kullandıkları parametrelerin karşılaştırılması için aşağıda verilen çizelgeler oluşturulmuştur (Tablo 2 ve 3)

Tablo 2. Kaya kütle sınıflandırmalarında kullanılan parametreler

Kaya kütlesi	Kaya malzemesi dayanımı, deformasyonu ve ayrışma durumu ve ayrışabilirlik				
	Süreksizlik	Yönelim (mühendislik yapısının yönelimiyle karşılaştırmak için)			
		Kaya blok büyüklüğü ve şekli	Süreksizlik takımı sayısı, rasgele süreksizlik sayısı		
			Süreksizlik ara uzaklığı (her bir süreksizlik takımı için), RQD, birim alandaki çatlak izi uzunluğu		
			Süreksizlik devamlılığı (her bir süreksizlik takımı için)		
		Süreksizlik kesme direnci (süreksizlik durumu)	Süreksizlik yüzeyinin özellikleri	Yüzey malzemesi sürtünmesi	
				Ayrışma durumu	
				Büyük ve küçük ölçekteki pürüzlülük	
				Yüzey malzemesi direnci ve deformasyonu	
			Yüzeydeki erime boşlukları		
		Dolgu malzemesi			
Ayrışma durumu ve ayrışabilirlik					
Kaya kütlesi dayanımı ve deformasyon özelliği					
Mühendislik yapısı	Mühendislik yapısının geometrisi (tünelin büyüklüğü ve doğrultusu, şevin yüksekliği, doğrultu ve eğimi)				
Dış etkiler	Dış yükler, gerilme düzeyi, su akışı ve su basıncı, kar ve buz				
	Kazı yöntemi				

Tablo 3. Kaya şev duraylılığına uygulanan ve bu çalışmada kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri ve kullandıkları parametreler

	RMS	RMR ₉₉	M-RMR	MRMR	SMR	SSPC	RMi	GSI
A	Kaya malzemesi ; - basınç dayanımı -Suda dayanım	X	X	X	X	X	X	X
	Kaya kütleli ayrışması	X	Xdf	-	-	X	-	-
	Blok büyüklüğü	X	X	X	X	-	-	-
	-Ara uzaklık	X	X	X	X	-	-	-
	-RQD (veya Jv)	X	X	X	X	X	X	X
B	Süreksizlik takımı sayısı	-	-	-	-	-	-	-
	Süreksizlik yüzey durumu	X	X	X	X	-	X	-
	-Devamlılık	X	X	X	X	-	-	-
	-Açıklık	X	X	X	X	X	X	X
	-Pürtüzlülük	X	X	X	X	X	X	X
	-Dolgu	X	X	X	X	-	X	X
	-Ayrışma	-	-	-	-	X	-	-
	-Karstik boşluklar	-	-	-	-	X	-	-
	Süreksizlik takımı sayısı	-	-	-	-	-	-	-
	Süreksizlik yüzeyi kayma direnci	-	-	-	-	X	X	-
C	Su durumu	X	X	Xdf	X	-	-	-
D	Süreksizlik yönelimi ve şev (veya mühendislik yapısı) ile geometrik ilişkisi	X	X	-	X	X	-	-
	Kazı yöntemi (veya patlatma etkisi)	-	-	Xdf	Xdf	Xdf	-	-
	Ana zayıflık düzlemi varlığı	-	-	Xdf	-	-	-	-
	Ayrışabilirlik	-	-	-	-	Xdf	-	-
	Zaman	-	-	-	-	Xdf	-	-
	Şevin geometrisi :- Yükseklik	-	-	-	-	-	-	-
	-Doğrultu ve eğim	-	-	-	-	X	X	-

(A: Kaya malzemesi özellikleri, B: Süreksizlik özellikleri, C: Su durumu, D: Süreksizlik yönelimi, kazı yöntemi, kaya kütle özellikleri ve şevin (veya mühendislik yapısının) geometrisi ile ilgili özellikler. X: sınıflama puanını elde ederek girdi parametresi olarak kullanılan özellikler, Xdf: düzeltme faktörü olarak kullanılan özellikler. RMS: Jeomorfolojik amaçlı sınıflandırma, kaya kütle dayanımı (Selby, 1980; Moon 1984), RMR: Jeomekanik sınıflandırma (Bieniawski, 1989), M-RMR: yeniden düzenlenmiş jeomekanik sınıflandırma (Ünal, 1996; Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000), MRMR: Madencilik için jeomekanik sınıflandırma (Laubscher, 1990; Haines ve Terbrugge, 1991), SMR: Şev duraylılığı için jeomekanik sınıflandırma (Romana, 1985, 1993, 1993; Roman vd., 2003) SSPC: Şev duraylılığı olasılık sınıflandırması (Hack, 1998; Hack vd., 2003), RMi: Kaya kütle indeksi (Palström, 1996), GSI: Jeolojik dayanım indeksi (Hoek vd. 2002))

Selby (1980) tarafından önerilen ve mühendislik deneyimlerine dayanan jeomorfolojik amaçlı sınıflandırma (RMS); kaya kütesinin, topoğrafik yüzeyi (yamaç eğimlerini) şekillendiren jeomorfolojik olaylara karşı gösterdiği dayanımı belirlemeye yöneliktir. Jeomorfolojik sınıflamada kullanılan parametreler; kaya malzemesi direnci, ayrışma durumu, çatlak ara uzaklığı, açıklığı, yönelimi, devamlılığı ve yeraltı suyu durumudur. Bu parametreler, şerit metre, jeolog pusulası, Schmidt çekici gibi basit, ucuz ve taşınabilir aletlerle arazide kolay ve hızlı olarak ölçülebilmektedir. Ölçülen parametrelerin her biri puanlanarak, elde edilen toplam puana göre kaya kütlesi sınıflanmaktadır. Selby (1980) sınıflamasında, kaya malzemesi direnci ve çatlak ara uzaklığı puanlamasını Moon (1984) tarafından değiştirilerek sürekli kılınmıştır. Bu sınıflandırma daha çok doğal yamaçların jeomorfolojik olaylara karşı uzun süreli dayanımını bulmak için kullanılmaktadır. Ancak sınıflandırmada kullanılan parametrelerin ucuz, hızlı ve kolay ölçümü nedeniyle mühendislik jeolojisi haritalarının yapımında jeoteknik birimlerin tanımlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca bu sınıflandırmada kullanılan parametreler diğer sınıflandırmalarda da kullanılmaktadır. Orr (1992) RMR ile RSM arasında aşağıdaki ilişkinin olduğunu belirtmektedir;

$$RMR=2,2RMS-130 \quad (1)$$

Buradaki RMR puanı Bieniawski (1989)'deki şekliyle bulunmuştur.

Kaya şevleri duraylılığı için uygulanan kaya kütle sınıflandırmaları çoğunlukla "Jeomekanik Sınıflandırmaya (RMR)" ve bu sınıflandırmanın yeniden düzenlenmiş biçimlerine dayanır. Bu nedenle incelenen kaya kütlelerinde tanımlanan jeoteknik birimlerin sınıflandırılmasında RMR (Bieniawski, 1989) kullanılmıştır. İlk olarak Bieniawski (1973) tarafından önerilen RMR sınıflama sistemi değişik tarihlerde düzenlenerek en son şeklini 1989 yılında almıştır (Bieniawski 1974, 1976, 1979 ve 1989). Bu sınıflandırmada temel RMR değerini bulmak için kayacın tek eksenli basınç dayanımı, RQD, süreksizlik ara uzaklığı, süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık) ve yeraltı suyu koşullarına ait puanlar toplanır. Nihai RMR değerini elde etmek için temel RMR puanına uygulanan süreksizlik yönelimi düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Kaya şevleri için süreksizlik yönelimi ile ilgili Bieniawski (1989) verilen puanlamanın kullanımı muğlâktır. Bu nedenle, bu çalışmada süreksizlik yönelimi için Sing ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen, olası yenilme modeli sayısını esas alan ve

Bieniawski (1989) da olduğu gibi 0 ile -60 arasında değişen puanlar kullanılmıştır. RMR sisteminden elde edilen başlıca üç veri aşağıda verilmiştir;

- Tüm jeolojik koşulların ortaklaşa etkisini yansıtan ve kaya kütlelerinin genel koşullarıyla ilgili “kaya kütlesi kalitesi”
- Yer altı kazıları için ön tasarım amacıyla kaya yükü, destek türü, desteksiz durabilme süresi, desteksiz açıklık boyutu
- RMR puanı kullanılarak kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri (kohezyon, içsel sürtünme açısı, elastisite modülü, taşıma gücü).

RMR sistemi kaya kütlelerini konu edinen projelerde önemli veriler sağlamaktadır. Ancak söz konusu sistem aşağıda verilen sınırlamalara da sahiptir

- Bu sistemin kullanılmasıyla yer altı kazıları için öngörülen tasarımda zaman zaman aşırı güvenli veya güvensiz tarafta kalmaya yol açabilecek sonuç verileri elde edilmektedir (Ulusay ve Sönmez 2002)
- Sık çatlaklı kayalarda süreksizlik yöneliminin etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu ortamlarda süreksizlik yönelimine bakmaksızın kazılar hemen desteklenmelidir (Ulusay ve Sönmez 2002)
- Zayıf kayalarda (RMR nin 40 dan küçük olduğu, ince tabakalı ve killi kayalarda) suyun olumsuz etkilerini tanımlayacak bir parametre yoktur. Ünal ve Özkan (1990) RMR’yi yeniden düzenleyerek önerdikleri M-RMR sisteminde suda dağılma indeksini sınıflamaya katmışlardır.
- RMR sistemi davranış, dayanım ve deformabilite açısından çok farklı malzemeyi içeren kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında yetersizdir (Ulusay ve Sönmez 2002)
- RMR sisteminin kaya şevlerinde uygulanması durumunda süreksizlik yöneliminin şev konumuna göre nasıl değerlendirileceği ve yönelim düzeltmesi puanı seçimi konusu belirsizdir. Ayrıca özellikle düşük RMR puanına sahip zayıf kaya kütlelerinde düzeltme sonucunda negatif değerler çıkabilmektedir.
- RMR sisteminin kullandığı parametrelerin uygulanmasında da sorunlar oluşabilmektedir.

M-RMR sistemi (yeniden düzenlenmiş jeomekanik sınıflandırma) kil içeren, çok kırıklı ve zayıf kaya kütleleri için RMR nin yeniden düzenlenmesi ile elde edilmiştir (Ünal ve Özkan, 1990; Ünal vd.,1992; Özkan, 1995; Ulusay vd, 1995; Ünal, 1996). M-RMR sistemi son olarak Gökçeoğlu ve Aksoy (2000) tarafından yeniden düzenlenmiş ve sadece tünellerde değil şevlerde de uygulanabileceği belirtilmiştir. Zayıf ve çok sık çatlaklı kayalarda tek eksenli basınç dayanımı deneyi için standart örneklerin alınması zordur. Bu

kayalarda nokta yükleme deneyinin de uygulanmasında, özellikle deney sırasında konik uçların örneğe batmasından dolayı zorluklar vardır. Bu güçlükleri aşabilmek için Gökçeoğlu ve Aksoy (2000) kaya malzemesi dayanımının disk makaslama indeksinin (BPI) kullanılmasını önermektedir. M-RMR sisteminin uygulanması için gerekli süreksizlik özellikleri (ara uzaklığı, açıklığı ve dolgu durumu, yüzey pürüzlülüğü) ISRM (1981)'e göre tanımlanmıştır. M-RMR sisteminde süreksizlik yüzeyi ayrışması puanlaması için kullanılan bir diğer yöntem süreksizlik yüzeyinde ölçülen Schmidt çekici geri tepme sayısının sağlam kaya malzemesinde ölçülene oranını gösteren "Ayrışma Katsayısı (W_c)"ndan yararlanmaktır. RMR sınıflamasında suyun kil içeren ve zayıf kaya kütleleri üzerindeki bozucu etkisi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle M-RMR sisteminde (Ünal ve Özkan, 1990). ISRM (1979) suda dayanım indeksini bulmak için iki çevrim sonucunda elde edilen verileri kullanmışlardır. Gökçeoğlu ve Aksoy (2000), iki çevrim ile bulunan I_d 'nin söz konusu kayaların üzerindeki ıslanma-kuruma etkisini belirlemek için yeterli olmadığını ifade eden çalışmaları (Ulusay vd, 1995b; Gökçeoğlu 1997) dikkate almışlar ve M-RMR sisteminde suyun bozucu etkisi için kullanılacak I_d değerinin 6 çevrim sonucu elde edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çok sık aralıklı ve gelişigüzel süreksizlikler içeren kayalarda süreksizlik yönelimi etkisinin ortadan kalkması ve malzemenin ufak bloklar ve/veya parçalar halinde açılan kazı boşluğuna doğru hareket etme eğilimine sahip olması nedeniyle açılan kazı boşluğunun süreksizlik yönelimine bakılmadan hemen desteklenmesi gerekmektedir. Bu durumu dikkate alan Ünal ve Özkan (1990) çok sık aralıklı kaya ortamları için güncel RMR sisteminin süreksizlik yönelimi düzeltmesinin bir sınırlamaya sahip olduğunu belirterek süreksizlik yönelimi düzeltmesini sağlam karot veriminden yararlanarak belirlemeyi önermişlerdir. Gökçeoğlu ve Aksoy (2000) diğer sistemlerde olduğu gibi yeniden düzenledikleri M-RMR için aşağıda verilen noktalara dikkat çekmişlerdir

-Yeniden düzenlenmiş M-RMR sistemi Hoek-Brown yenilme ölçütü için veri elde etmek için kullanılmak istendiğinde sistemin uygulandığı kaya kütlesi bir tanesi eğimli olması şartıyla en az 3 süreksiz takımı içermelidir

-M-RMR nin en son düzenlemesi şevlerde çalışılarak yapılmıştır. Bu nedenle yeniden düzenlenmiş M-RMR sistemi sadece tüfler için kullanılmamalıdır. Bu sistem değişik şevler için de değerlendirilmelidir

- Kaya kütle sınıflandırmaları sadece ön dizayn çalışmaları için yapılmaktadır

Laubscher (1975, 1977, 1984, 1990 ve 2000) tarafından yeraltı kazısının yapıldığı kaya kütesinin davranışının değerlendirilmesi için geliştirilen MRMR (Madencilik için kaya kütle puanlaması) Bieniawski (1973)'in oluşturduğu RMR sistemini esas almıştır. Bu sınıflama için RMR sistemi ayrışma, gerilme durumu, süreksizlik yönelimi ve kazı etkisine göre yeniden düzenlenmiştir. Yeraltı kazıları (özellikle madencilik için) geliştirilen MRMR sistemi kaya şev duraylılığı ve tasarımı için de kullanılmaktadır. (Haines ve Terbrugge, 1991; Duran ve Douglas, 1999, 2000; Bye ve Bell, 2001; Douglas 2002). MRMR sisteminde kullanılan jeolojik parametreler; kaya malzemesi dayanımı, RQD, süreksizlik ara uzaklığı ve süreksizlik yüzey durumudur. Bu sistemde suyun etkisi süreksizlik yüzey durumu (büyük ölçekli pürüzlülük, küçük ölçekli pürüzlülük, ayrışma ve dolgu durumu) ile birlikte değerlendirilmiştir. MRMR sisteminde, sınıflandırma için tanımlanmış zonların (jeoteknik birimlerin) kaya malzeme dayanımı zayıf ve dayanımlı kaya malzemesinin varlığından etkilendiği düşünüldüğünden farklı dayanıma sahip kaya malzemenin oranı dikkate alınmaktadır. Bu sınıflamada kaya malzemesi dayanımı en fazla % 20 puana, RQD en fazla %15, süreksizlik ara uzaklığı ise en fazla % 25 puana sahiptir. RQD ve süreksizlik ara uzaklığı yerine süreksizlik sıklığı (1 m. deki süreksizlik sayısı) kullanılabilen olup süreksizlik sıklığının puanı en fazla %40 tır.

Romana (1985, 1993, 1995, 2003) tarafından kaya şevlerinin duraylılık açısından sınıflandırılması için önerilen SMR sistemi Bieniawski (1976,1989) tarafından önerilmiş jeomekanik sınıflandırmadan (RMR) elde edilmiştir. Bu yöntemde temel RMR puanına süreksizlik kesme direncinin, şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi arasındaki paralelliğin ve süreksizlik düzleminin şev düzlemini kesip kesmediğinin ifadesi olan düzeltme faktörleri ile kazı yöntemine bağlı olarak örselenmeyi ifade eden faktör eklenmiştir.

Günümüzde SMR sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Ceryan ve Korkmaz. 2003; Romana vd. 2003). Romana vd. (2003) SMR'nin kullanımının 3 değişik şekli olduğunu belirtmektedirler. Bunlar;

- bir jeomekanik sınıflandırma,
- genel olarak doğal yamaçlarda yenilme riskinin bir göstergesi ve
- şev tasarım çalışmalarında tamamlayıcı bir yöntem olmasıdır

Çoğu araştırmacının SMR nin kullanımı konusunda üzerinde birleştikleri noktalar aşağıda verilmiştir (Romana vd. 2003)

- SMR sınıflandırması bir miktar tutucudur (güvenli tarafta kalma eğilimindedir)

- Bieniawski (1989) tarafından önerilen süreksizlik yönelimi düzeltilmesi değerlerinin (-50 ve -60) kullanımı zordur
- SMR'nin öngördüğü yenilme türleri arazide de gözlenen yenilme türleridir.
- Kazı yöntemi ilgi faktörün sisteme katılmasının önemi doğrulanmıştır
- Topukta veya şev üzerinde yamaç molozu ve kaya parçaları döküntülerinin olduğu şevleri sınıflandırmak zordur
- SMR sistemi şev yüksekliğini dikkate almamaktadır
- Zemin gibi davranan ve bazı yumuşak kayalardaki yamaçlar için SMR yanlış sonuçlar verebilir. Bu tür yamaçlarda kütleli yenilme meydana gelmekte olmasına karşın SMR puanı süreksizlik özelliklerini esas almaktadır.

Romana vd. (2003) Valancia (İspanya) yakınlarında yükseklikleri 10-65m arasında değişen ve çalışılmadan birkaç ay ile 100 yıldan fazla bir zaman öncesinde açılan kara yolu ve demiryolu şevlerini incelemişlerdir Yazarlar her bir şev için SMR puanını ve arazideki güncel durumlarını karşılaştırmışlar ve bu karşılaştırma sonucunda da SMR sisteminin büyük güvenilirlikle şevin arazideki güncel durumunu yansıttığını bulmuşlardır.

SSPC (şev duraylılığı olasılık sınıflandırma) sistemi Hack (1997, 1998) tarafından kaya kütlelerinin sınıflandırılması, yamaçların duraysızlığının değerlendirilmesi ve kaya kütlelerinde açılan veya açılacak kazı şevlerindeki yenilme olasılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Hack 1997, 1998, Lindsay vd., 2000 ve 2001; Hack vd., 2003) . Bu yöntem jeolojik parametrelerin ölçülmesine ve oluşan yenilme türlerinin olasılık analizlerine dayanmaktadır. SSPC sistemi aşağıda verilen 3 ana özelliğe sahiptir

1-Şev duraylılık olasılığı üç adımda hesaplanır (Şekil 4)

İlk adımda, "yüzeylenmiş kaya kütlelerinin (ERM)" karakteristikleri ölçülür. Bu karakteristikler; a-) malzeme özellikleri;; dayanım ve ayrışmaya karşı duyarlılık, b-) süreksizliklerin yönelimleri (doğrultu ve eğimleri), takım veya gelişigüzel (tek) olarak bulunması ve c-) süreksizliklerin özellikleri; pürüzlülük, dolgu durumu, yüzeydeki çözünme durumudur.

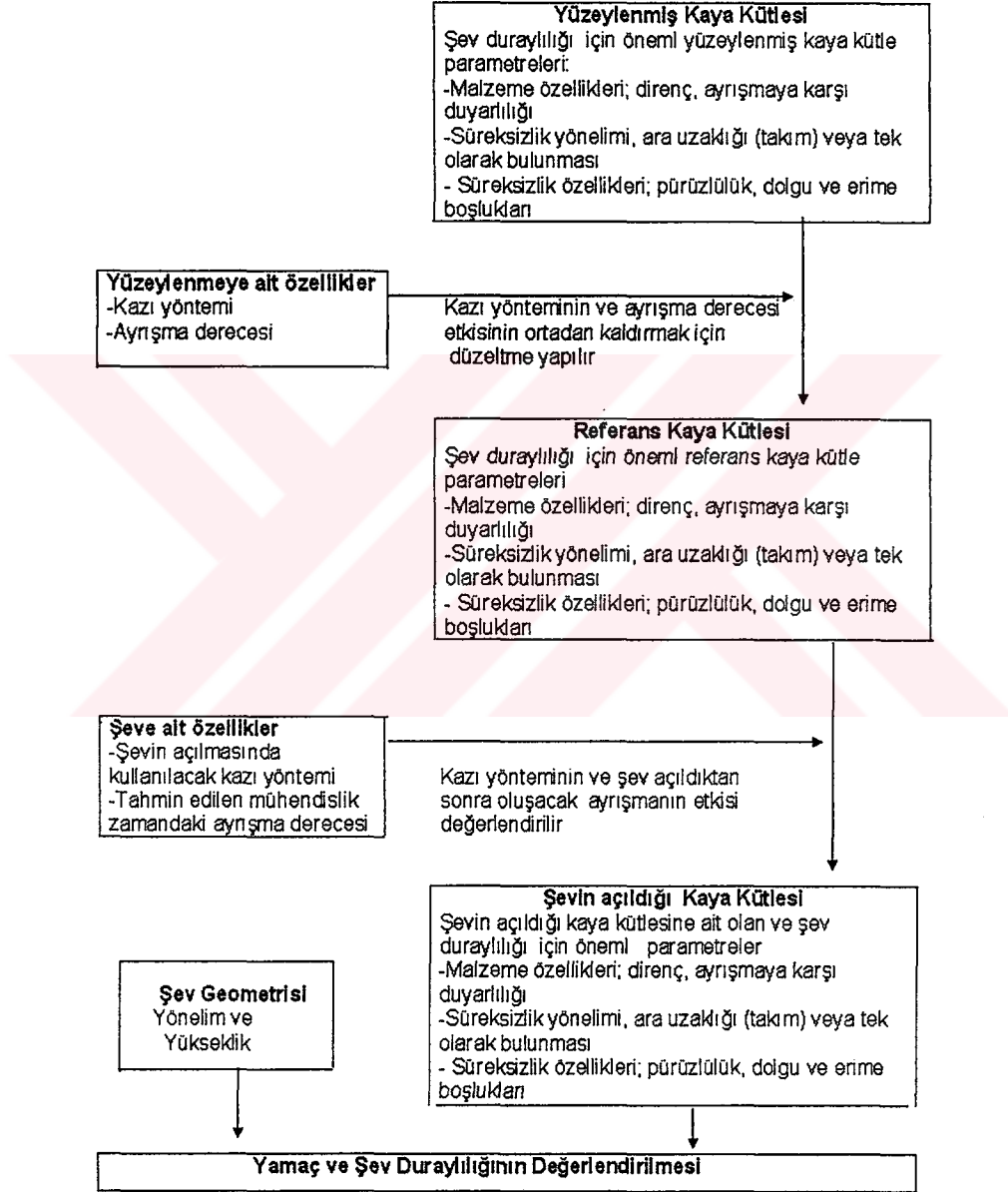
İkinci adımda, ERM karakteristiklerinden faydalanarak "referans kaya kütlelerini (RRM)" oluşturmaktır. Bunun için ERM de ölçülen parametre değerleri yüzeylenmedeki yersel faktörler; örselenme ve ayrışma durumu kullanılarak düzeltilir. Bu şekilde elde edilen RRM ayrışmamış, herhangi bir nedenle örselenmemiş kaya kütlelerini ifade eder.

Üçüncü adımda ise RRM karakteristikleri duraylılık değerlendirilmesi yapılacak şevdeki kaya kütle (SRM) karakteristiklerine dönüştürülür.

Bu çalışma açılmış yol kazısı şevlerinde yapıldığından söz konusu dönüştürmeler gerekmemektedir. Başka bir deyişle bu çalışmada karakteristikleri ölçülen kaya kütlesi (ERM) ile duraylılığı araştırılan kaya kütlesi (SRM) aynıdır.

2-Tek bir puan vermek yerine farklı yenilme mekanizmalarının meydana gelme olasılığını belirtmek yoluyla duraylılık değerlendirmesi.

3- Arazide basit ve belirli veri toplamak.



Şekil 4. SSPC sisteminde şev duraylılığını değerlendirmek için oluşturulan 3 adımlı yaklaşımı (Hack vd. 2003)

SSPC sisteminde çıktı olarak iki ayrı bileşen vardır. Birincisi RMR, MRMR ve Hoek-Brown yenilme ölçütünde olduğu gibi kaya kütle direnci, kohezyonu ve sürtünme açısıdır. Bu duraylılık analizinin sonuç bileşenlerinden ikincisi, şev düzenlenmesinde kullanılan belli bir şev açısına göre en büyük şev yüksekliğini de içeren duraylılığın olasılık olarak değerlendirilmesi ve yönelime bağımlı ve yönelime bağımlı olmayan duraylılığın kinematik ve olasılık olarak değerlendirilmesidir.

1.5.2. Kaya Kütle Sınıflandırmaları İle Kaya Şevlerinin Tasarımı

Kaya kütle sınıflandırmalarının kaya şev tasarımında kullanılmasıyla ilgili olan ve literatürde de yaygın olarak konu edilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

RMR sisteminin ilk defa şev duraylılığına uygulanması Laubscher (1975, 1977) tarafından yapılmıştır. Laubscher (1977) tarafından önerilen MRMR (madencilik için jeomekanik sınıflama) sisteminin değişik şekilleri kazı şevlerinin duraylılığı tahmininde yaygın uygulama alanı bulmuştur (Tablo 9). Laubscher (1977) 45⁰ şev açısında MRMR =12 değerinde yenilmiş şev örneğinden bahseder. Ancak Tablo 4'deki değerlerine göre bu değer için duraylı şev açısı 35⁰ dir

Tablo 4. MRMR sınıflarına bağlı şev açıları (Laubscher, 1977)

Sınıflar sınıflar	1	2	3	4	5
MRMR puanı	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Duraylı Şev açısı(⁰)	75	65	55	45	35

Steffen (1976) RMR sistemiyle elde edilen ortalama kohezyon ve içsel sürtünme açısını kullanarak 35 şevin duraylılığını incelemiş ve bu incelemenin sonucunda RMR sınıflandırmasının şev duraylılık çalışmalarında ön değerlendirme aracı olarak kullanılabilir olduğunu belirtmiştir.

McMahon (1976) kaya kütlelerini benzer gruplara ayırmış ve şev yüksekliği (H) ile şev uzunluğu (L) arasında aşağıdaki ilişkiyi vermiştir (log-log grafiği).

$$H = aL^b \quad (2)$$

$$L = H / \tan(\beta s) \quad (3)$$

Yukarıdaki bağıntılardaki β_s , şev açısı (derece), a ve b ise kaya türüne ve yapısına bağlı katsayılardır (Tablo 5).

Tablo 5. McMahon (1976)'nın şev yüksekliği ile şev eğim ilişkisi için parametreler

Kaya kütle tipi	a	b
Biraz kırıklı masif granit	139	0.28
Yatay tabakalı kumtaşı	85	0.42
Sağlam fakat kırıklı granit ve gnesis	45	0.47
Kısmen kırıklı altere olmuş kristalin kayalar	16	0.58
Şişmeyen ve dayanımlı killi şist	8.5	0.62
Şişme özelliği gösteren killi şist	2.4	0.75

Hoek ve Bray (1981) madenler, taşocakları, baraj temelleri kazılarında ve demiryolu yarmalarındaki sağlam kayalarda açılmış duraylı, duraysız şevlerden elde ettiği verileri şev performans eğrisini elde etmek için kullanmıştır (Şekil 5). Bu verilerden elde edilen eğri sağlam kayalarda başarıyla kazılmış en yüksek ve en sarp şevleri temsil eden bir eğridir.

Hall (1985) Güney Afrikada'ki demir yolları güzargahında duraylı şev açısını bulmak için yaptığı çalışmada, kırıklı kaya kütlelerinde şev açısı ve RMR değerleri arasında aşağıdaki ilişkinin varlığını öne sürmüştür

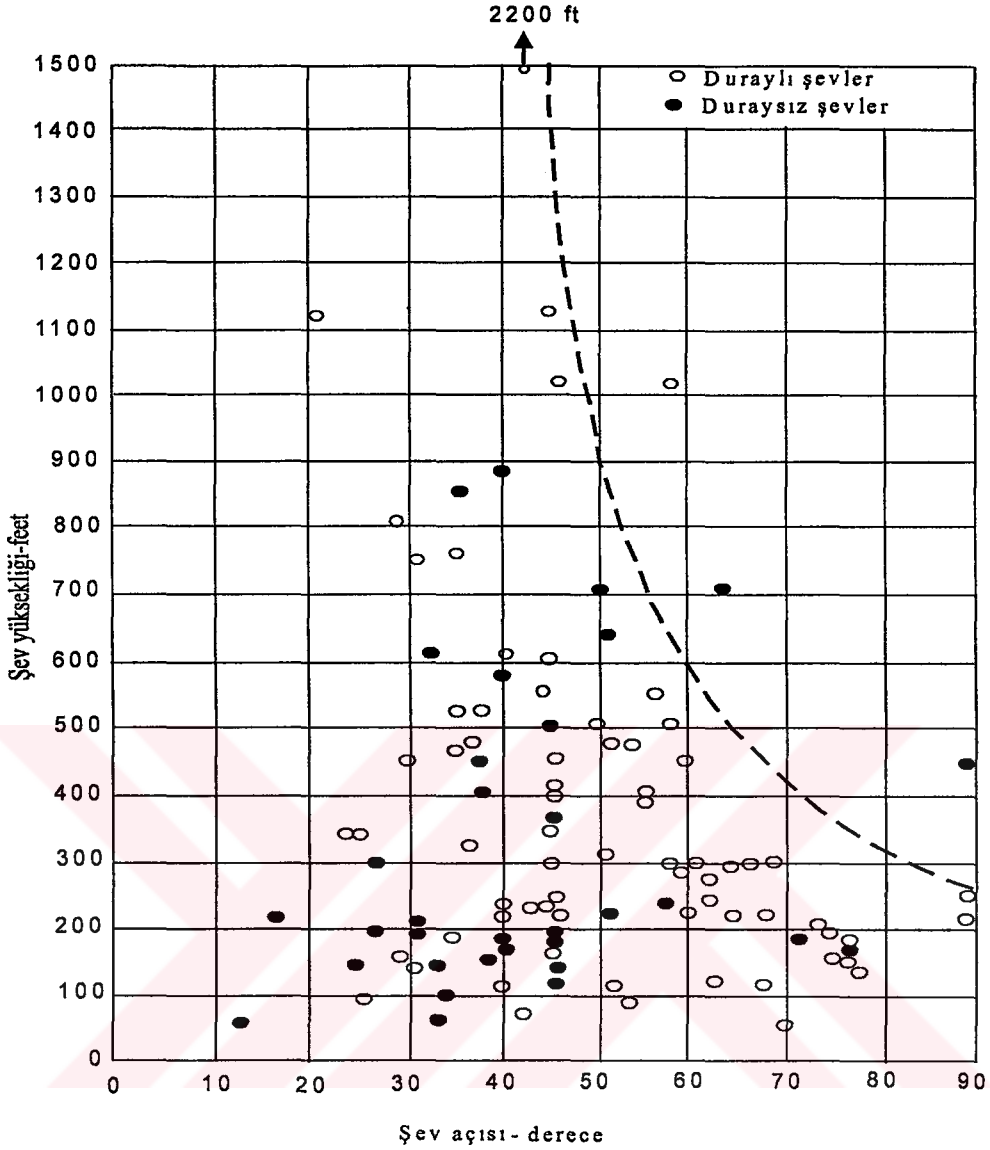
$$\text{Şev açısı} = 0,65 \text{ RMR} + 25 \quad (4)$$

Burada şev yüksekliği <20 m ve $\text{RMR} > 20$ dir (Orr, 1992).

Abrahams ve Parsons (1987) Selby (1980) 'nin RMS verileri ile bir istatistik analiz gerçekleştirmiş ve aşağıdaki ilişkiyi vermiştir.

$$\text{Duraylı şev açısı (derece)} = 2.61 \text{RMS} - 141.072 \quad (5)$$

Bu ilişki kurulurken kullanılan RMS değerleri dar bir yayılımına sahiptir (yaklaşık olarak 55° 'den 90° 'a kadar) ve şev açıları RMS verileri ile yaklaşık olarak 5° 'den 90° 'ye kadar eşit aralıklarda tahmin edilmiştir. Selby (1980) 'nin verilerine en uygun doğru çok zayıf kaya kütlesi ($\text{RMS}=25$) için 74° lik şev açısını belirtir. Bu ifade anlamlı değildir ve bu açıklama zayıf ve çok zayıf kaya kütlelerindeki ($\text{RMS}<40$) veri eksikliğine bağlanmaktadır.

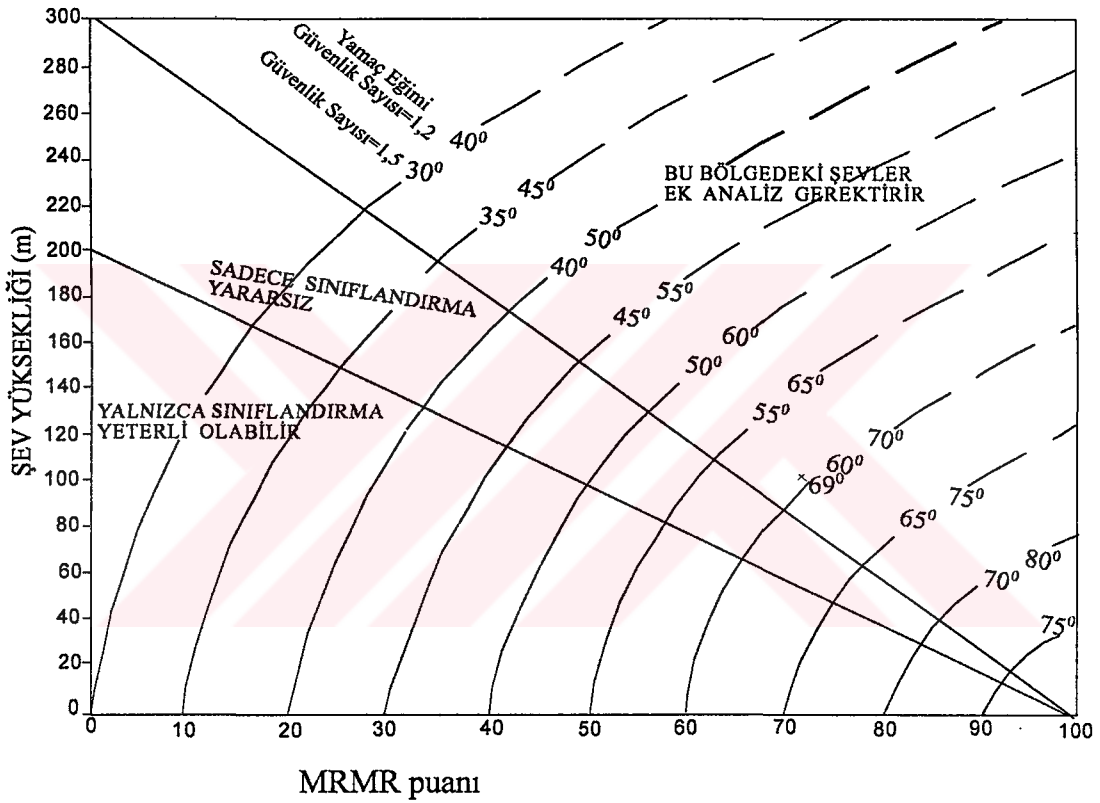


Şekil 5. Hoek ve Bray (1981) sağlam kayalar için bulduğu şev yüksekliği- şev açısı ilişkisi

Robertson (1988) $RMR > 40$ olduğunda şev duraylılığının süreksizliklerin yönelimine ve kayma dayanımına bağlı olduğunu göstermiştir. Yazar, $RMR < 30$ olduğunda, zayıf kaya kütlelerinde yenilmenin herhangi bir yönelimde kaya külesinden geçerek meydana gelebildiğinin belirtmektedir. Robertson(1988) zayıf kaya kütleleri için önerdiği değişlikliler ve kayma dayanımı parametrelerini yalnızca iki şev için uygulamış genel değerlendirme için yeteri veri vermemiştir.

Haines ve Terbrugge (1991) şev dizayn metodunu oluştururken Laubscher (1977 ve 1990) tarafından sunulan şekliyle MRMR sistemini esas almışlardır (Şekil 6).

Haines ve Terbrugge (1991) şev tasarım eğrilerini geliştirmek için Laubscher (1977 ve 1990) tarafından önerilen MRMR sistemini esas almışlar ve önceki çalışmaların verilerini kullanmışlardır (Şekil 6) Söz konusu bu çalışmaların bir kısmının henüz açılmamış şevlerin fizibilitesi ile ilgilidir. Yazarlar, şev tasarım grafiğini üç zona ayırmışlardır; 1. zonda yalnızca sınıflandırma yeterli olabilir, 2. zona düşen şevlerin duraylılığını yalnızca sınıflandırmayla yorumlamak çok az yeterli (marjinal durum) olmaktadır, 3. zona düşen şevler için ise ek analiz gerekmektedir.



Şekil 6. Haines ve Terbrugge (1991) şev tasarım eğrileri

Duran ve Douglas (2000) yukarıda verilen şev tasarım eğrilerinin üç özelliğine dikkate çekmektedirler. Birincisi, veriler sunulan tasarım eğrilerinin geçerliliğini belirtmez. Dikey tasarım çizgileri şev yüksekliğinden bağımsız olarak eşit olarak ayrılmıştır. Bu durum Laubscher (1977) tarafından sunulduğu gibi MRMR'nin açık maden şevleri için kullanımına uygun olarak ortaya çıkmıştır. İkincisi, yorumlanmış tasarım eğrilerinin ayrımı geçerli görünmez. Eğriler şekil olarak kabaca konkav ve yaklaşık olarak 100 metre yüksekliğe kadar şevler için yaklaşık doğrusal olarak görülmektedir. Değişik araştırmacılar şev yüksekliği-şev eğimi ilişkisini gösteren tasarım eğrilerinin konkav şekil olmasında

uygunluk olduğunu gösterir. Üçüncü olarak, Haines ve Terbrugge (1991) tarafından sunulan eğriler yüksek derecede tutucu olarak davranıldığı (güvenli tarafta kalmaya özen gösterildiği) yol yarmaları ile ilgilidir. Bu şekilde oluşturulan şev tasarım eğrileri büyük ölçüde tutucu (güvenli tarafta kalmaya uygun) özellik kazanmıştır.

Tsiambaos ve Telli (1991) kaya şevlerinde RMR ve SMR sistemini karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada SMR'nin daha iyi tahmin yapmasına karşın RMR'nin de kireçtaşı yarmalarında duraylılık durumunun tahminini belli ölçüde yaptığını belirtmektedirler. Ancak yazarların incelediği kaya şevlerinin arazide gözlenen gerçek durumu, RMR ile bulunandan daha iyi olduğu ve ayrıca incelen şevlerde yapısal olarak kontrol edilen kaya düşmeleri mevcut olduğu söz konusu çalışmada yeterince vurgulanmamıştır.

Çinde yersel bir alana SMR sistemini uygulayan Chen (1995) sistemi iki yeni faktör ilave ederek yeniden düzenlemiştir. Bu faktörler; şev yüksekliği(C_1) ve süreksizlik koşulu faktörleridir (C_2). Chen (1995) tarafından yeniden düzenlenmiş SMR, Çin şev kütle puanı (CSMR) olarak bilinir ve baraj ve hidroelektrik santrallerinde şev tasarımı yapmak için uluslararası standart haline gelmiştir (Romana vd., 2003);

$$CSMR=C_1 \times RMR_{\text{temel}} + C_2 \times (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (6)$$

Chen (1995) SMR nin yüksekliği 80 m olan şevler için uygulanabilir olduğunu, diğer şevler için ise temel RMR değerinin şev yüksekliğine (H m.) bağlı olarak düzeltilmesi gerektiğini açıklamaktadır. Şev yüksekliği ile ilgili düzeltme faktörü (C_1) aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır;

$$C_1=0,57+34,4/H \quad (7)$$

Süreksizlik koşulu faktörü (C_2) SMR de tanımlanan F_1 (şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi arasındaki paralelliği ifade eden çarpan), F_2 (süreksizlik yüzeyi ile ilişkilendirilmiş süreksizliğin kayma dayanımını ifade eden çarpan), F_3 (şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğimini ifade eden çarpan) üzerinde etkilidir ve Tablo 6'dan bulunmaktadır. CSMR sistemi F_4 faktörünü (kazı yöntemini bağlı olarak şevin örülenme durumunu ifade eden çarpan) SMR ile benzer şekilde kullanmaktadır

Tablo 6. Süreksizlik koşulu faktörü (Chen, 1995)

C_2	Süreksizlik Koşulu
1,0	Faylar, kille dolgulu büyük (uzun) zayıflık zonları
0,8-0,9	Tabakalanma düzlemleri, dolgulu büyük ölçekli kırıklar
0,7	Kırıklar, sıkıca kenetlenmiş tabakalanma düzlemleri

Orr (1992, 1996) RMR değerlerinden yararlanılarak duraylı şev açıları tahmin edilebileceğini göstermek için Selby (1980) ve Moon ve Selby (1983) tarafından yayınlanan verilerden faydalanarak uzun süreli duraylılık açısından şev açısı (derece olarak) ve RMR değerleri arasında aşağıdaki ilişkiyi ortaya koymuştur..

$$\text{Uzun süreli duraylı şev açısı} = 35 \ln (\text{RMR}) - 71 \quad (8)$$

Yazar bu eşitlikte, RMR'nin 20-77 aralığında ve şev yüksekliğinin 50 metre kadar olduğu durumlar için kullanıldığını, daha sonraki çalışmalar ile daha değişik jeolojik şartlar ve kısa süreli duraylılık için bu ilişkinin yeniden kurulması ve test edilmesi gerektiğini söylemektedir

Ceryan (1999) Doğankent (Giresun, KD Türkiye) ve çevresinde yüzeylenen Harşit granitik kayalarında yaptığı çalışmalarda duraylı yamaç eğimi ile RMS arasında aşağıdaki bağıntının olduğunu belirtmektedir.

$$\text{RMS} = 1,682 \beta_s - 8,43 \quad (9)$$

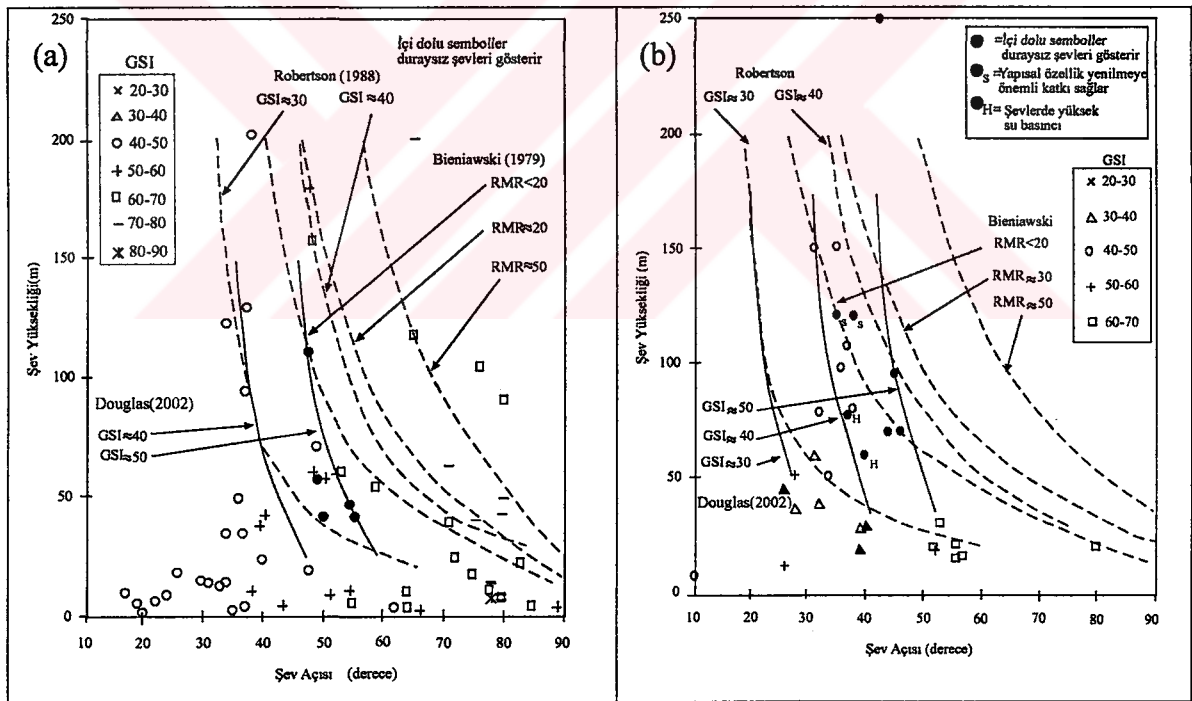
Burada yamaç eğimi (β_s) derece olarak verilmektedir.

Duran ve Douglas (1999) iyi veya daha iyi kaya kaliteli kaya kütlelerinde açılan şevlerde hiçbir kaya kütle yenilmesi gözlenmediği görüşünü esas alarak, şev tasarım eğrilerini MRMR'nin 40'dan küçük değerleri için vermişlerdir. Yazarlar, bu şev tasarım eğrileri değerlendirirken, bazı duraysızlıkları kabul ettiklerini ve eğrilerin 2 yıla kadar süren kısa bir sürede desteksiz kalan şevlerin analizlerine dayalı olduğunun dikkate alınması gerektiğini belirtmektedirler.

Bye and Bell (2001) Güney Afrika'daki, dünyanın en büyük Pt madeni açık işletmesinde şev duraylılığını FLAC sayısal modelleme programı ile araştırmış, litolojiyi esas alarak tanımladığı her bir jeoteknik zonda değişik MRMR değerine bağlı olarak şev tasarım eğrilerini oluşturmuştur.

Moon (2001) yenilmelerin süreksizliklere bağlı olarak değil de kaya malzemesinden geçerek oluştuğu zayıf kaya kütlelerinde şev açısı tahmini yapmak için kaya kütle sınıflandırma tekniklerinin (SMR ve RMR) kullanılabilirliğini belirtmektedir.

Douglas (2002) kendi çalışmalarından elde ettiği verilere ek olarak Haines ve Terbrugge (1991) ve Selby (1980) tarafından elde edilen verileri de kullanarak GSI'ye dayalı şev tasarım eğrilerini oluşturmuştur (Şekil 7). Bu eğriler şevdeki yenilmenin genellikle kaya külesinden geçerek meydana geldiği durumlar için verilmiştir. Yazar, şev yüksekliğine bağlı şev açısını veren tasarım eğrilerini yeraltı suyunun iki durumu (kuru ve orta derecede basınçlı) için çizmiş ve orta derecedeki su basıncı tanımını Hoek ve Bray (1981)'nin dairesel yenilme için verdiği grafiklere göre yapmıştır. Şevin kuru olması durumundaki tasarım eğrilerinin GSI=30 için verilmemesi veri eksikliği için olduğu belirtilmektedir.



Şekil 7. Douglas (2002)'nin kütleli yenilmeler için GSI'ye bağlı olarak oluşturduğu şev tasarım eğrileri ((a)'da şevler kuru, (b) ise şevde orta basınçlı su vardır)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Giriş

Bu çalışmada Trabzon-Gümüşhane karayolunun Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında kalan kısmında seçilen kazi şevlerinin duraylılığı kaya kütle sınıflandırmalarıyla irdelenmiş ve ayrıca olasılık olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için çalışma alanında 1/25 000 ölçekli jeolojik harita alımı yapılmış, arazide jeoteknik birimler tanımlanmış, süreksizliklerin jeoteknik özellikleri ölçülmüş, seçilen şevlerdeki jeoteknik birimlerin kaya malzemesi fiziko-mekanik özelliklerini bulmak için arazide basit mekanik deneyler ile laboratuarda indeks ve mekanik deneyler yapılmıştır. Arazi ve laboratuarda gerçekleştirilen bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

2.2. Jeolojik Harita Alımı

İnceleme alanının 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmasında Yalçınalp (1992) ve Güven (1993) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda verilen jeoloji haritaları arazide yapılan ölçüm ve gözlemler ile laboratuarda yapılan petrografik analizlere göre yeniden düzenlenmiştir.

2.3. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması

Bu çalışmada jeoteknik birimlerin tanımlanmasında esas alınan ölçütler; şev geometrisi, litolojik özellikler, ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığıdır. Arazide tanımlanan her jeoteknik birimde söz konusu bu özelliklerin değişiminin en az olmasına dikkat edilmiş ve bununla birlikte jeoteknik birimin geometrik boyutları ile olası yenilmenin geometrik boyutları göz önüne alınarak tanımlanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında seçilen yol kazısı şevlerinde tanımlanan jeoteknik birimlerin özellikleri

Şev		Jeoteknik Birimin Özellikleri						Şevin Geometrisi		
No	Adı	No	Litoloji	RQD (%)	σ_{ci} (MPa)	Jv	Ayrışma Durumu	Yükseklik (m)	Eğim Yönü	Eğim derecesi
1	gt1v4	1	dasit	98,5	133,9	5,01	Orta	14,5	215	85
2	gt4v6	2	andezit	90,7	172,2	7,57	Ayrışmamış	12,3	242	70
3	gt9v11	3	dasitik tûf	88,4	119,8	8,05	Orta	16	105	75
4	gt11v12	4	andezit	91	150,4	7,3	Ayrışmamış	12,5	180	80
		5	dasit	94	163,8	6,28	Az	13,4	184	75
5	gt12v14	6	dasit	79	114	10,8	Yüksek	12,4	180	76
		7	dasit	99,2	133	2,83	Orta	15,2	185	72
6	gt16v17	8	andezit	96,9	181,6	5,47	Ayrışmamış	4,5	190	75
		9	dasit	99	163,1	5,48	Orta	8,5	180	75
		10	andezit	99	190	4,14	Ayrışmamış	14,5	190	75
		11	dasit	97	162,5	5,47	Orta	12,5	190	75
		12	dasit	99,4	163,1	4,72	Orta	11,4	160	80
7	gt17v19	13	andezit	91	197,5	7,26	Ayrışmamış	9,5	121	73
		14	dasit	100	111,8	1,83	Orta	15,4	121	73
8	gt50v53	15	dasit	99,3	172,8	3,91	Az	16,3	317	85
		16	dasit	95,5	153	5,91	Az	16,5	335	85
		17	dasit	93	153	2,72	Orta	15	335	85
		18	prizmatik dasit	98	190,4	4,58	Ayrışmamış	18	335	85
		19	dasit	94	184,4	6,04	Ayrışmamış	22	5	87
		20	dasit-tûf	98	119,6	4	Orta	16	335	85
9	gt54v56	21	dasit	33	87,6	24,85	Yüksek	6,2	312	85
		22	prizmatik dasit	91	151	7,33	Orta	6,5	318	85
		23	dasit-tûf	99,4	117,6	2,57	Orta	18	318	85
		24	prizmatik dasit	78	151,4	11,66	Orta	12	325	85
		25	dasit-tûf	94,8	117,1	6,09	Yüksek	14	325	85
10	gt57v60	26	prizmatik dasit	93,6	145,2	6,49	Orta	6,8	333	66
		27	dasitik breş	99	98,5	4,02	Orta	11	333	66
		28	dasit	98,9	135	4,39	Orta	15	342	78
		29	prizmatik dasit	99	196,2	3,66	Ayrışmamış	12	355	85
		30	prizmatik dasit	95	134,8	5,9	Orta	8,5	355	85
		31	prizmatik dasit	88,6	107,4	8,01	Orta	6,5	355	80
11	tn1	32	cevherli dasit	77,3	165,6	11,43	Orta	13	167	80
		33	andezit	99,9	143,5	3,03	Orta	22	167	80
		34	dasit	97,3	114,1	4,44	Yüksek	21	193	85
		35	dasit	98,7	110,6	6,65	Orta	17	193	85
		36	andezit	96,8	118,5	5,58	Az	12	190	80
		37	andezit	99,5	187	3,02	Az	10	205	75
		38	dasitik tûf	90,6	175,2	7,55	Az	7,5	205	75
		39	andezit	99	180	3,02	Orta	6	205	75
12	tn2	40	dasit-dasitik tûf	98,3	110,4	4,71	Orta	7	155	72
		41	dasit-dasitik tûf	100	116	3,51	Orta	9,2	155	72

Tablo 7'in devamı

Şev		Jeoteknik Birimin Özellikleri						Şevin Geometrisi		
No	Adı	No	Litoloji	RQD (%)	σci (MPa)	Jv	Ayrışma	Yükseklik (m)	Eğim Yönü	Eğim derecesi
12	tnl2	42	dasit	98,3	185,6	4,84	Az	10,5	115	72
		43	dasit	98,5	103,7	4,97	Yüksek	11,5	115	72
		44	bazalt-aglomera	99	138	3,43	Az	14,8	155	72
		45	prizmatik dasit	94,4	131,7	6,22	Orta	13,1	155	72
		46	dasit	99,2	151,9	3,78	Yüksek	10,8	155	72
		47	andezitik aglomera	99,5	190	2,98	Yüksek	9,5	155	72
		48	dasit	98,8	142,3	3,47	Orta	6,8	155	72
		49	dasit	97,3	97,3	5,42	Az	5,3	155	72
13	tnl3	50	dasit-dasitik tüf	96,4	140,3	5,6	Orta	19	100	82
		51	andezit-andezitik tüf	99,3	100	3,5	Yüksek	15,5	100	82
		52	dasitik tüf	97,2	98,5	5,4	Yüksek	17	100	82
		53	andezitik tüf	98,4	163,4	4,27	Orta	5	100	82
		54	dasit	98,5	134,6	4,99	Orta	21	80	85
		55	dasitik tüf	75	90,5	11,99	Yüksek	20	80	85
		56	dasit	98,5	134,6	4,99	Yüksek	16,5	80	85
		57	dasit-dasitik tüf	95,8	150,9	5,83	Orta	12	80	85
14	tnl4	58	andezit-andezitik tüf	94,7	137	6,12	Orta	9,6	82	85
		59	dasit	99,2	164,7	3,69	Az	13,7	82	85
		60	dasit	84,5	119	9,26	Yüksek	18,8	82	85
		61	dasit	24	73	27,83	Yüksek	17,5	82	85
		62	andezit-andezitik tüf	96	147	5,68	Az	18,6	82	85
		63	dasitik tüf	80,8	140,7	10,11	Az	22	82	85
		64	dasitik tüf	96,2	73	5,7	Yüksek	14	82	85

2.4. Kaya Malzemesinin İndeks ve Dayanım Özelliklerinin Ölçümü

2.4.1. İndeks Özellikler

Kaya kütle sınıflamalarında ve bunların şev duraylılığı için uyarlamalarında kaya malzemesinin indeks özellikleri (fiziksel özellikler, elastik dalga hızı, suda dayanımı, ayrışma durumu, Schimdt çekici geri tepme sayısı), nokta yük dayanımı, ve tek eksenli basınç dayanımı parametre olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada incelenen kazı şevlerinin açıldığı dasitik ve andezitik volkanitlerin kaya malzemesinin indeks özellikleri ve tek eksenli basınç dayanımını bulunmuş ve söz konusu bu özelliklerin ayrışmayla değişimi incelenmiştir.

İncelenen volkanitlerin indeks özellikleri araziden laboratuara getirilen blok örneklerden alınmış karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Deneyle KTÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Dasitik ve andezitik volkanitlerden alınan blok örneklerin ayrışmaya göre sınıflandırılmasında IAEG (1995) kullanılmıştır.



Şekil 8. Dasitik ve andezitik volkanitlerden alınan karot örnekler

Bu çalışmada, indeks özellikler kaya malzemesini tanımlamak ve kaya tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır. İncelenen örneklerin indeks özelliklerin bulunması için yapılan deneylerde TSE standartları (TSE 1975, 1987, 1990) esas alınmıştır.

İncelenen karot örneklerdeki elastik boyuna dalganın yayılma hızı örnek boyunun ultrasonik dalganın örneği katediş süresine oranından bulunmuştur. Söz konusu süre ölçümü örneklerin hem doygun hem de kuru haldeki durumları için oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Genellikle ayrışmış, kayaçlar, kil içeren kayaçlar ve zayıf kayaçlar için uygulanan indeks deneylerden biri olan suda dayanım deneyi, iki standart ıslanma-kuruma devrine tabi tutulan kaya örneklerinin suda dağılmaya karşı gösterdiği dayanımın beirlenmesine yöneliktir. Bu deney ilk kez Franklin ve Chandra (1972) tarafından,

çamurtaşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma şeklindeki fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek için geliştirilmiş olup ISRM (1979) tarafından standart hale getirilmiştir. Daha sonra, deney Lee ve Freitas (1988) tarafından ele alınarak yeniden düzenlenmiştir. Gökçeoğlu ve Aksoy (2000), iki çevrim ile bulunan suda dayanım indeksinin (Id) söz konusu kayaların üzerindeki ıslanma-kuruma etkisini belirlemek için yeterli olmadığını ifade eden çalışmaları (Ulusay vd.,1995; Gökçeoğlu, 1997) dikkate almışlar ve Id değerinin 6 çevrim sonucu elde edilmesi gerektiğini belirtmişler. Bu çalışmada da incelenen volkanitlerin suda dayanım indeksi 6 çevrim sonucu elde edilmiştir.

2.4.2. Schimidt Çekici Geri Tepme Sayısı

Schimidt çekici ile okunan geri tepme sayısını etkileyen en önemli parametrelerden biri kullanılan çekiç tipi diğeri ise uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir. Literatürde birbirinden oldukça farklı birçok ölçme ve değerlendirme yöntemleri vardır (Poole ve Farmer, 1980; Haramy ve De Marco, 1985; ISRM, 1978; Gökten ve Ayday 1993)

Gökten ve Ayday (1993), ISRM (1978) yönteminde en yüksek % 50 lik kesimin keyfi olarak seçildiğini, böylece sertliği ölçülen yüzeyde sert kısımların zayıf kısımlara ait veriler üzerinde belirgin duruma geldiğini vurgulamaktadır. Yazarlar, zayıf kısımları göz ardı edilmesinin kaya sınıflandırmada (örneğin kazı işlemlerinde) yanlış yaklaşımlara yol açabileceğini söylemektedirler. Yazarlar Schimidt çekici sertliği ölçümlerinde dağılımı temsil edecek verilerin seçiminde Chauvenet ölçütünün kullanılabilceğini belirtmektedirler. Chauvenet ölçütü t dağılımının özel bir durumudur ve bir dağılımdaki verilerden dağılımı temsil edeceklerinin seçilip ortalamaya katılmasını sağlamaktadır. Chauvenet ölçütünün uygulanış şekli aşağıda verilmiştir;

-Ölçülen tüm verilerin ortalaması ve standart sapması hesaplanır

-Her bir veri için aşağıda verilen eşitlikle standart sapma oranı hesaplanır.

$$sso = \frac{Ri - \bar{x}}{ss} \quad (10)$$

Eşitlikte, sso: standart sapma oranı, Ri: Ölçülen geri tepme sayısı, \bar{x} = ortalama geri tepme değeri, ss: standart sapma

- Standart sapma oranının mutlak değeri Tablo 8’de verilen değerden büyük olan ölçüm değerleri ortalamaya katılmaz, atılır. Diğer ölçülerin ortalaması incelenen yüzey veya blok örnek için R yi verecektir

Bu çalışmada, Schimidt çekici sertliğinin ölçümüne başlamadan önce süreksizliklerin ve blok örneklerin yüzeyi dolgudan temizlenmiş ve yüzey aletle birlikte bulunan zımpara taşıyla düzeltilmiştir. Okumalar birbirinden en az çelik uç genişliği kadar uzakta ve süreksizliklerden 3 cm uzağında yapılmıştır. R nin elde edildiği blok örnekler havada kurutulmuş durumda, süreksizlik yüzeyleri ise doğal nem içeriğindedir. Ölçüm yapılırken alet yüzeye dik tutulmuş ve elde edilen değerler Barton ve Chubey (1977) tarafından verilen değerler yardımıyla düşey tutuş açısına göre düzeltilmiştir (Tablo 9)

Tablo 8. Chauvenet ölçütü için örnek sayılarına (N) karşılık gelen en büyük standart sapma değerleri (ss)

N	ss	N	ss	N	ss	N	ss
2	1.15	7	1.80	15	2.13	50	2.58
3	1.38	8	1.86	20	2.24	100	2.81
4	1.54	9	1.91	25	2.33	250	3.09
5	1.65	10	1.96	30	2.4	500	3.29
6	1.73	12	2.04	35	2.45	1000	3.48

Tablo 9. Schimidt çekici geri tepme sayılarının aşağıya doğru dik olarak tutuluş durumuna göre düzeltme değerleri (Barton ve Choubey 1977)

Geri tepme sayısı (R)	Çekiç aşağıya doğru tutulmuş		Çekiç yukarıya doğru tutulmuş		Çekiç yatay tutulmuş $\alpha=0^{\circ}$
	$\alpha=-90^{\circ}$	$\alpha=-45^{\circ}$	$\alpha=+90^{\circ}$	$\alpha=+45^{\circ}$	
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

Blok örneklerin sertliğini ve süreksizlik yüzeyinin direncini bulmak için elde edilen geri tepme sayıları Gökten ve Ayday (1993)’a göre hesaplanmıştır. Bu çalışmada Schimidt çekici sertliği ölçümleri kaya malzemesini ile süreksizlik yüzeyinin ayrışmaya göre sınıflandırılmasında ve tek eksenli basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

2.4.3. Nokta Yükleme Deneyi

Nokta yükleme deneyi, kayaçların nokta yük dayanım indekslerine göre sınıflandırmaları ve özellikle tek eksenli basınç dayanımının tahmini amacıyla yapılmaktadır. Nokta yükleme deneyinin uygulaması ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi, ilk kullanıldığından bu yana büyük değişiklikler göstermiştir (ISRM 1985; Türk, 1988; Türk ve Dearman, 1984, 1985)

Bu çalışmada, Nokta yükleme deneyi için ISRM (1985) esas alınmıştır. Deney örnekleri yüzeylemelerden alınan şekilsiz parça örnekler ve laboratuara getirilen kaya bloklarından hazırlanmış karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Konik uçlar arasına yerleştirilen numune, kalınlığı (konik uçlar arasındaki uzaklık, D) cetvelden okunduktan sonra, 60 sn içinde kırılacak şekilde yüklenmiştir. Kırılma anında manometreden okunan gerilme değeri 14.426 (aletin piston alanı) ile çarpılarak örneği kıran yük (P) bulunmuştur. Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (11)$$

Eşitlikte; I_s : Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı (MPa) , P: Örneği kıran kuvvet (kN), D_e : Eşdeğer karot çapı (m^2) dir. Karot örneklerde çapsal yükleme için $D_e^2=D^2$, eksenel yükleme ve şekilsiz örnekler için ise $D_e^2 = 4A/\pi$ olarak alınmaktadır. Burada, A(cm^2): Yükleme noktalarından geçen minimum kesit alanıdır. $A=WD$ olarak hesaplanır. Eğer konik uçların örneğin içine girmesi durumu söz konusu ise; $A=WD'$ olarak alınır. Bu eşitliklerde, W: Genişlik (cm), D ve D' : Yükleme noktaları arasındaki uzaklıktır.

Yukarıdaki eşitlikten hesaplanan nokta yük dayanımı değeri referans çapa ($D=50$ mm) göre düzeltmek için ISRM(1985) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$I_{S(50)} = FxI_s \quad (12)$$

$$F=(D_e/50)^{0.45} \quad (13)$$

Eşitlikte; $I_{S(50)}$: 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (kg/cm^2), F: Boyut düzeltme faktörü dür.

2.4.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı jeoteknik uygulamaların birçoğunda gerekli olan tasarım parametresi olmasının yanı sıra kaya malzemesinin ve kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında en çok kullanılan önemli özelliklerden biridir. Ayrıca kaya kütlelerinin basınç dayanımı ve kayma parametrelerinin tahmini için geliştirilen görgül yaklaşımlarda da kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı değeri kullanılmaktadır.

İncelenen kazı şevlerinin açıldığı volkanitlerden alınan 42 mm çaplı örnekler üzerinde standart tek eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak, referans çapa (50 mm ye) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown 1980)

$$\sigma'_c = \sigma_c (50 / D)^{0.18} \quad (14)$$

Eşitlikte, σ'_c : deneyde bulunan tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2), σ_c : 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş tek eksenli basınç direnci (MPa), D: çap (mm)

Deneyde kullanılan ve $L/D=2$ şartını sağlayamayan örneklerde Szlavin (1974) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak boyut düzeltmesi yapılmıştır.

$$\sigma_c = \frac{\sigma'_c}{0.304 D/L + 0.848} \quad (15)$$

Eşitlikte; σ_c : Düzeltilmiş tek eksenli basınç direnci (kg/cm^2), σ'_c : Deneylerde bulunan tek eksenli basınç direnci (MPa)

2.5. Kaya Malzemesi ve Kaya Kütlelerinin Ayrışmaya Göre Sınıflandırılması

Kaya malzemesi ve kütlelerinin ayrışmaya göre sınıflandırılması için değişik sınıflandırma sistemleri vardır (IAEG 1995, Ceryan, 1999). Bu çalışmada kaya kütle sınıflandırmalarının ayrışma parametresi kullanılırken kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin ayrışma sınıflandırması için IAEG (1995) sınıflaması kullanılmıştır.

IAEG (1995) önceki tanımlama ve sınıflandırma işlemlerini gözden geçirerek değişik litoloji ve değişik ayrışma işlemleriyle oluşmuş kayalar için tek bir ölçeği

önermeyi doğru bulmamış, değişik litoloji ve ayrışma süreçleri için çeşitli yaklaşımlar gerekliliğini ortaya koymuştur. IAEG (1995) de kabul edilen esas; esas ayrışma etkilerinin mühendislik amaçları için yapılan kaya tanımlamasında kayıt edilmesi gerekliliğidir. Fakat formal (resmi, standart) sınıflama yararlı değildir ve gerekli de değildir. IAEG(1995) ayrılmış kayaların tanımlanması ve değişik kayaç türü ve ayrışma durumu için 5 yaklaşım önermiştir (Şekil 9) Sınıflandırma, çok iyi uygulanabileceği yerlerde, muğlak olmayacak sınıflandırma için gerekli verilerin olduğu yerlerde ve açıkça yararlı olacağı zaman faydalı olur. Bir sınıflandırma yapıldığında hangi sistemin uygulandığı not edilmelidir

2.6. Süreksizlik Özelliklerinin Ölçümü

2.6.1. Süreksizlik Yönelimi ile Şev Yönelimi Arasındaki İlişki

Kaya şevlerinin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri süreksizliklerin uzaydaki konumları (eğim ve doğrultusu) ile şev veya yamacın eğim ve doğrultusu arasındaki ilişkidir.

Süreksizlik takımının ortalama yönelimi (doğrultu ve eğimi) matematiksel olarak veya stereografik projeksiyonla yapılmaktadır. (Terzaghi 1965, Taylor 1980, Hoek-Brown 1981, Davis 1986). Araştırmacılar süreksizlik takımlarının stereografik yöntem ile belirlenmesinde bazı zorluklar olduğunu belirtmektedirler. Özellikle süreksizlik ara uzaklığı büyük olan süreksizlik takımlarının gözden kaçması, belirlenememesi söz konusu olabilmektedir (Terzaghi 1965; Hack vd., 2003). Araştırmacıların bir kısmının (Hack vd., 2003) stereografik yönleme karşı alternatif olarak ileri sürdükleri yaklaşımda, bir süreksizlik takımı için temsili süreksizliklerin görsel olarak seçilmesi ve bu süreksizlerin özelliklerinin detaylı olarak ölçülmesi önerilmektedir. Bu çalışmada da incelenen kaya kütlelerindeki süreksizlikler ve süreksizlik takımları önce görsel olarak ayırtlanmış, daha sonra ayırtlanan her bir süreksizlik takımı ayrı ayrı incelenmiştir

AYRISMIŞ KAYAÇLARIN TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI (IAEG, 1995)

1.YAKLAŞIM: AYRISMANIN TAM (TÜM YÖNLERİYLE) TANIMLANMASI
Standart tanımlamalar, her zaman, kaya kütle ve materyalindeki herhangi bir ayrışma etkisinin derecesini, kapsamının (büyüklüğünü) ve karakterini içermelidir. Bu tanımlama daha sonraki aşamada sınıflamanın yapılmasına yeterli olmalı, kaya kütlelerini benzer özellikteki zonlara ayırmak için gerekli verileri sağlamalıdır. Ayrışmanın tipik göstergeleri; -Renkteki değişim -Kırık durumundaki değişim -Dayanımdaki azalma -Ayrışma ürünlerinin varlığı, miktarı ve özellikleri Bu özellikler standart terminoloji kullanılarak tanımlanmalı. Ancak standart olmayan terminoloji ile birlikte standart olmayan tanımlayıcılarda kullanılabilir. Kütle ölçüğünde tanımlama yapılırken değişik ayrışma derecesindeki materyallerin dağılımı ve oranları (örneğin matrisin çekirdek taşlarıyla oranı, gibi) kayıt edilmelidir

Sınıflandırma kesin (kuşku duyulmadan, muğlak olmayacak şekilde) uygulanabilir mi?

Hayır

SINIFLANDIRMA
YAPILAMAZ

Evet

Kaya taze durumdayken orta veya daha fazla dayanıma sahip

2.YAKLAŞIM : UNIFORM MALZEMENİN SINIFLAMASI		
Derece	Sınıflama	Tipik Özellikler
I	Taze	* Orjinal durumda değişiklik yok
II	Hafifçe Ayrışmış	*hafifçe renk değişimi ve hafifçe dayanım azalması
III	Orta derecede Ayrışmış	*Fark edilebilir ölçüde dayanım azalması, kaya içersine ilerleyen renk bozulması *Büyük parçalar elle kırılmaz
IV	Yüksek derecede Ayrışmış	*Büyük parçalar elle kırılabilir *Örnekler suda kolayca parçalanmaz
V	Tamamen Ayrışmış	*Fark edilebilir ölçüde dayanım azalması *Suda dağılıma *Orjinal yapı korunmuş
VI	Kalıntı toprak	* Yerinde ayrışmayla oluşmuş toprak, fakat yapı ve fabrik korunmamış

Kaya taze durumdayken orta derecede veya daha fazla zayıftır

4.YAKLAŞIM : ATERYAL VE KÜTLE ÖZELLİKLERİNİN BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLDİĞİ SINIFLAMA		
Derece	Sınıflama	Tipik Özellikler
A	Ayrışmamış	*Orjinal renk, dayanım ve kırık özelliği
B	Kısmen Ayrışmış	*Dayanımda ve kırık ara uzaklığında hafifçe azalma, kırıklardan itibaren içeriye doğru ayrışmanın ilerlemesi, *oksidasyon rengi (kahverengi)
C	Ayrışmış	*Dayanım azalmasında ilerleme *Kırık ara uzaklığı oldukça azalmış *Redüksiyon rengi (/yeşil)
D	Tahrip olmuş	*Büyük ölçüde dayanımı azalmış ve düzensiz olan matris içersinde benekler şeklinde düzenli kayaç kalıntıları * tabakalanma bozulmuş
E	Kalıntı veya Yeniden şekillenmiş	*İçersinde yer yer, ayrışmış, gelişigüzel ve henüz kaybolmamış kayaç kırıntıları içeren matris *Tabakalanma kaybolmuş *Taşınma sonucu malzeme eklenmesi olduğundan yeniden şekillenmiş

5. YAKLAŞIM: ÖZEL DURUMLAR

Ayrışma durumu önceki yaklaşımların uygulandığı kayaçlara benzemeyen kayaçlar için özel yaklaşımlar uygulanır. Örneğin; karbonatlarda gelişen karstlaşma veya kurak iklimlerin özel etkisi

Zonal sınıflama uygulanabilir mi ve yeterli veri var mıdır?

Evet

3. YAKLAŞIM: HETEROJEN KAYAÇLAR İÇİN SINIFLAMA		
Zon	Değişik derecede ayrılmış materyal oranı	Tipik Özellikler
1	% 100 I-III . derece	*Kaya gibi davranır. Kütle özelliklerinin değerlendirilmesi ve tasarımlarında kaya mekaniği ilkeleri uygulanır
2	>%90. I-III derece <%10 IV-VI. derece	*Sürekli yüzeylerindeki zayıf materyal kesme direncini, katılığı ve geçirirliiliği etkiler
3	% 50-90 I-III derece % 10-50 IV- VI. derece	*Kaya iskeleti (bloklar) kenetlenmiş durumdadır ve bu dayanım ve katılığı etkiler *Matris geçirirliiliği kontrol eder
4	% 30-50 I-III derece % 50-70 IV- VI derece	*Kaya iskeleti tarafından dayanım artırılmakta, matris veya ayrışma ürünleri deformasyon ve geçirirliiliği kontrol etmektedir
5	>%30 I-III derece. >%70 IV-VI derece	*Zayıf dayanımlı malzememe kütlelen davranışını kontrol eder. *Çekirdektaşları yer araştırmaları ve yapılar için önemli olabilir
6	% 100 IV- VI derece	Kalıntı yapı (fabrik) önemli olmasına rağmen toprak gibi davranır

Hayır

Kaya kütle Sınıflamalarının Kullanımı Uygun

Şekil 9. IAEG (1995)'in ayrışmanın tanımlanması ve sınıflandırması için önerdiği niteliksel yaklaşım

Bu çalışmada, süreksizliklerin şev ile geometrik ilişkisi streonette çizilen yenilme zarfları yardımıyla incelenerek kaya şevlerindeki olası yenilme türleri ve sayısı belirlenmiştir. Ayrıca RMR sınıflamasında (jeomekanik sınıflandırma) ve MRMR sınıflamasındaki (madencilik için jeomekanik sınıflandırma) süreksizlik yönelimi ile düzeltme yapılırken streonette yapılan bu inceleme sonuçlarından yararlanılmıştır.

2.6.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Süreksizlik ara uzaklığı, bir süreksizlik takımındaki süreksizlikler arasında dik uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık “görünür ara uzaklık” olarak alınır. Süreksizlik takımlarında gerçek ara uzaklığı (iki süreksizlik arasındaki dik uzaklığı) bulmak için aşağıdaki düzeltme yapılmıştır

$$\text{Süreksizlik gerçek ara uzaklığı} = J_{si} \times \sin(\delta_i) \times \sin(\beta_j) \quad (16)$$

Eşitlikte, J_{si} : görünür ara uzaklık δ_i : Süreksizlik doğrultusu ile ölçüm hattı arasındaki açı, β_j : süreksizliğin eğimidir.

Bu çalışmada süreksizlik ara uzaklığını bulmak için ölçüm hattından yararlanılmış ve ayrıca incelenen yüzeylenmelerde ayırt edilen her bir süreksizlik takımı içinde ortalama süreksizlik aralığı bulunmuştur.

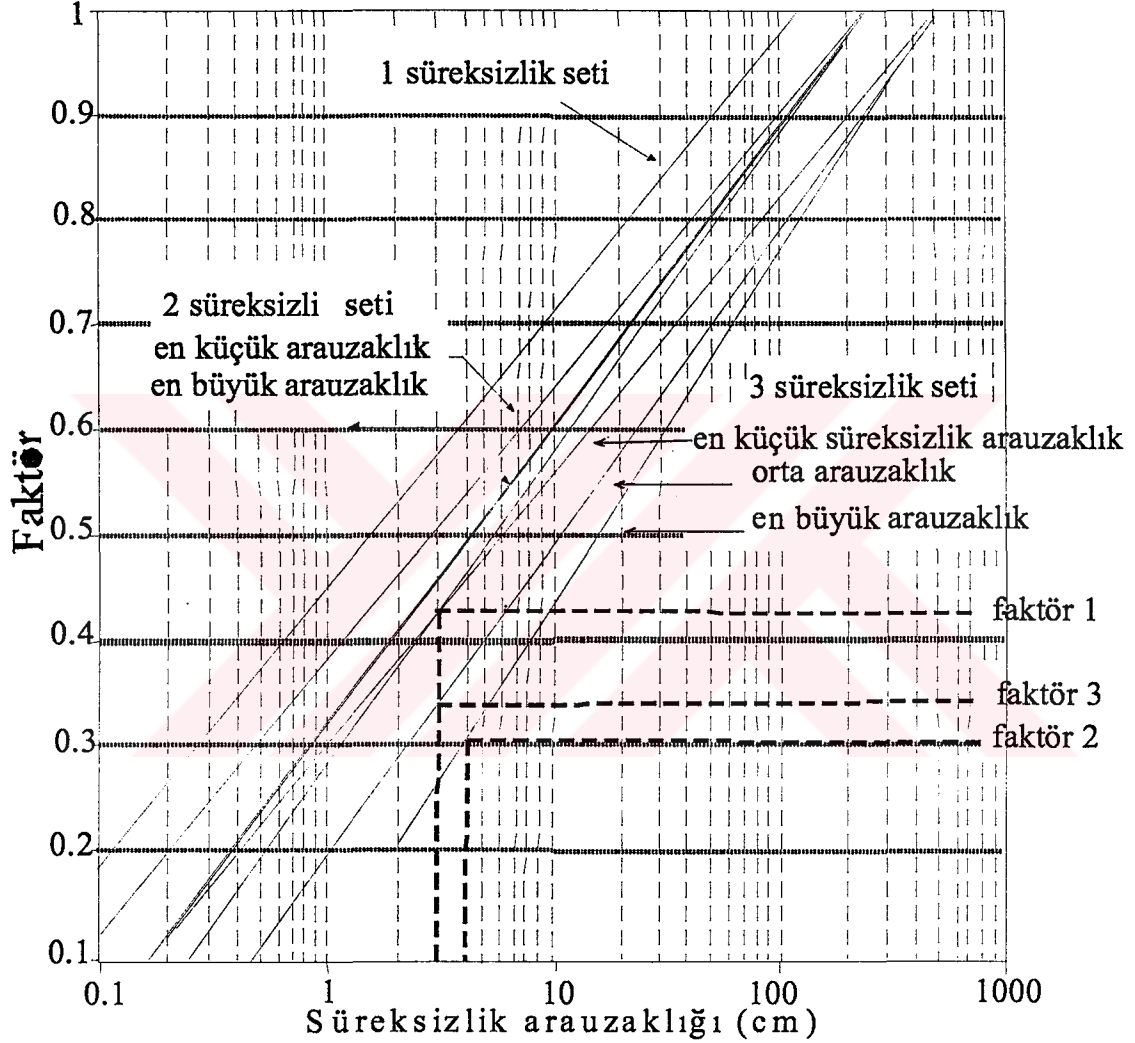
MRMR (Laubscher, 1990 ve SSPC (Hack, 1998; Hack vd., 2003) sistemlerinde jeoteknik birimine ait ortalama çatlak ara uzaklığını (ve puanını) bulmak için Taylor (1965) tarafından önerilen abak kullanılmaktadır (Şekil 10)

2.6.3. Hacimsel Çatlaklılık Sayısı

Palmström (1982, 1985 ve 1996) tarafında tanımlanan “Hacimsel çatlaklılık Sayısı (J_v) birim hacimdeki ($1m^3$ 'teki) çatlak sayısını göstermektedir ve aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır

$$J_v = \sum (1/S_i) + Nr/5 \quad (17)$$

Eşitlikte, S_i (m) her bir süreksizlik takımı için ara uzaklık, N_r : incelenen alandaki rastgele gelişmiş (random) süreksizlik sayısıdır. Bu çalışmada elde edilen J_v değerleri kaya kalitesi özelliği (RQD, blok boyutu (V_b) ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) hesaplanmasında da kullanılmıştır



Şekil 10. Taylor (1965) tarafından önerilen süreksizlik ara uzaklığı grafiği

2.6.4. Kaya Kalitesi Özelliği

Kaya kalitesi özelliği (RQD) ilk olarak Deer (1963) tarafından sondajda alınan karot boylarından yararlanarak temel kayaçların kalitesini ifade etmek için aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır;

$$RQD = \frac{\sum L_{10}}{H} \times 100 \quad (18)$$

Eşitlikte, L_{10} : Uzunluğu 10 cm ve daha fazla olan karotların toplamı, H: Manevra derinliğidir.

RQD değeri kaya kütle sınıflandırmalarının birçoğunda girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. RQD değeri sondajların olmadığı durumlarda kaya yüzeylenmelerinde oluşturulan ölçüm hatlarından yararlanılarak hesaplanabilmektedir. RQD'nin hesaplanması için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

$$RQD = 100 e^{(-0.1\lambda)} (0.1\lambda + 1) \quad (19)$$

Eşitlikte, λ : 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

Bu çalışmada RQD değerinin hesaplanmasında, yeterli ölçüm hattının oluşturulmadığı durumlarda, Palmström (1982, 1996) tarafından verilen ve J_v değerlerinin kullanıldığı aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır

$$J_v < 4,5 \text{ için } RQD = 115 - (3.3J_v) \quad (20)$$

$$J_v > 4.5 \text{ için } RQD = 100 \quad (21)$$

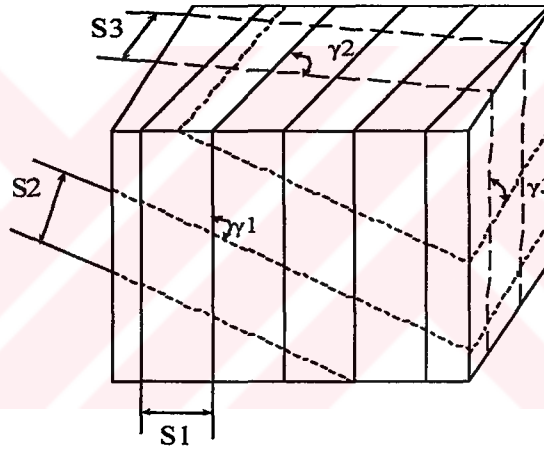
2.6.5. Blok Boyutu

Blok boyutu (V_b) süreksizlik sıklığının hacimsel olarak ifadesi olup kaya kütle kalitesini (mühendislik performansını) gösteren en önemli göstergelerden biridir (Palmström, 1996; Cai vd. 2004). V_b değeri süreksizlik ara uzaklığı, hacimsel çatlaklılık katsayısı, süreksizlik takım sayısı, süreksizlik yönelimi ve süreksizlik devamlılığına bağlıdır.

Üç veya daha fazla süreksizlik takımı içeren kaya kütlelerindeki blok boyutu süreksizlik ara uzaklığına bağlı olarak aşağıdaki formülle bulunmaktadır (Palmström, 1996) Burada süreksizliklerin devamlı olduğu kabulü vardır

$$V_b = \frac{S_1 \times S_2 \times S_3}{\sin \gamma_1 \times \sin \gamma_2 + \sin \gamma_3} = \frac{V_{bo}}{\sin \gamma_1 \times \sin \gamma_2 \times \sin \gamma_3} \quad (22)$$

Eşitlikte γ_1, γ_2 ve γ_3 süreksizlik takımları arasındaki açı, S_1, S_2 ve S_3 her bir süreksizlik takımındaki ara uzaklık (Şekil 11), V_{bo} ise süreksizlik takımları birbirine dik olduğundaki blok boyutudur



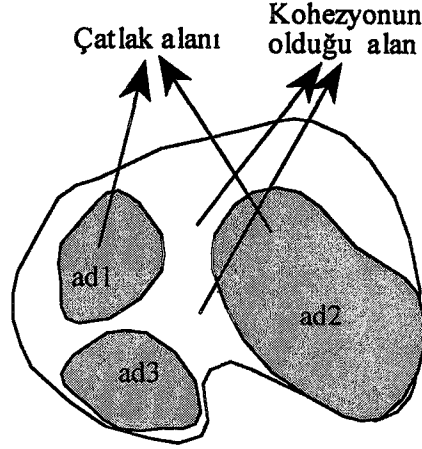
Şekil 11. Süreksizlik ara uzaklığı ve süreksizlik takımları arasındaki açıların şemaik gösterimi (ISRM, 1981)

2.6.6. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliğin devamlılığı (K), kohezyonun olmadığı alanlarının toplam çatlak alanına oranı olarak tanımlanmıştır (ISRM 1981, Şekil 12).

$$K = \lim_{AD \rightarrow \infty} \frac{\sum Ad_i}{Ad} \quad (23)$$

Eşitlikte, adi : süreksizlik yüzeyindeki kohezyonun olmadığı alanların toplamı, Ad : süreksizlik yüzeyinin toplam alanıdır



Şekil 12. Süreksizlik yüzeyinin devamlılığının tanımlanması (ISRM, 1981)

Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına rağmen, alansal ölçümün zor olmasından dolayı çoğu kez yüzeylenmedeki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır. (ISRM, 1981). Bu durumda devamlılık ya süreksizlik izi uzunluğu olarak ele alınmakta (Tablo 15) veya aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$K = \frac{\sum J_{li}}{\sum (J_{li} + K_{kop})} \quad (24)$$

Eşitlikte; J_{li} : Süreksizlik izi uzunluğu, K_{kop} : süreksizlik izi hattı üzerinde kaya köprüsü uzunluğudur

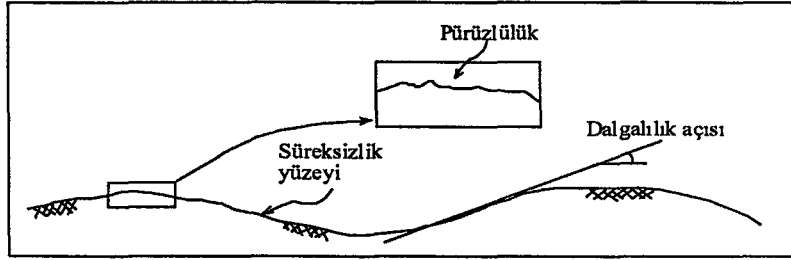
Bu çalışmada devamlılık uzunluğu ISRM (1981) deki tanımlama esas alınmıştır (Tablo 10)

Tablo 10. Süreksizlik devamlılığının tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981)

Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu (m)
Çok düşük devamlılık	<1
Düşük derecede devamlılık	1-3
Orta derecede devamlılık	3-10
Yüksek devamlılık	10-30
Çok yüksek devamlılık	>30

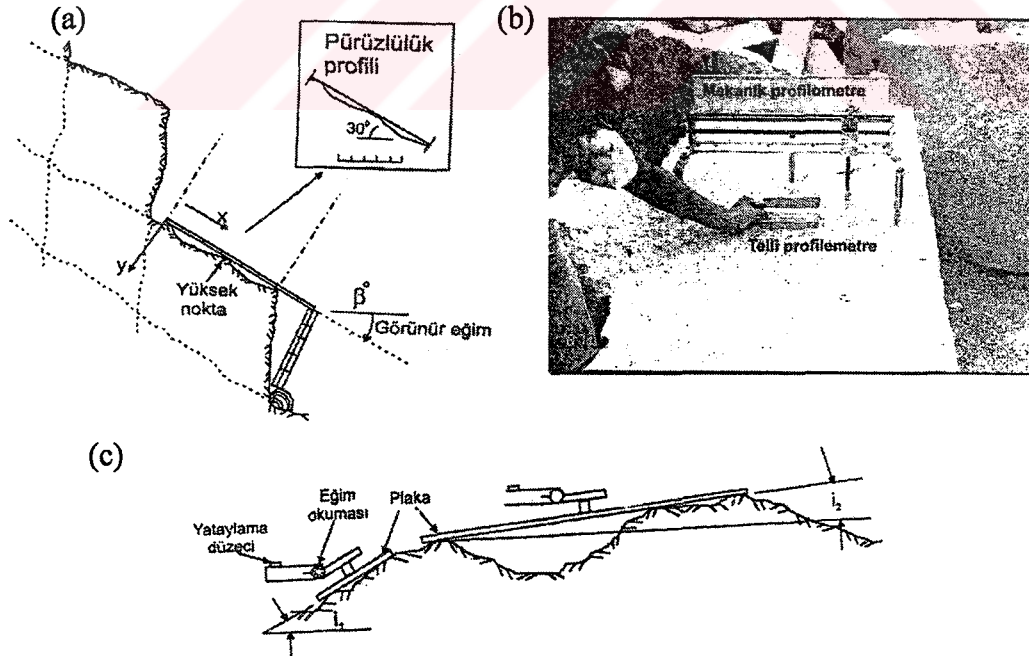
2.6.7. Süreksizlik Yüzeyinin Pürüzlülüğü

Pürüzlülük ve dalgalılık sırasıyla, süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda) ve büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (ISRM, 1981, Şekil 13)



Şekil 13. Süreksizlik yüzeyinde pürüzlülük ve dalgalılık (ISRM, 1981)

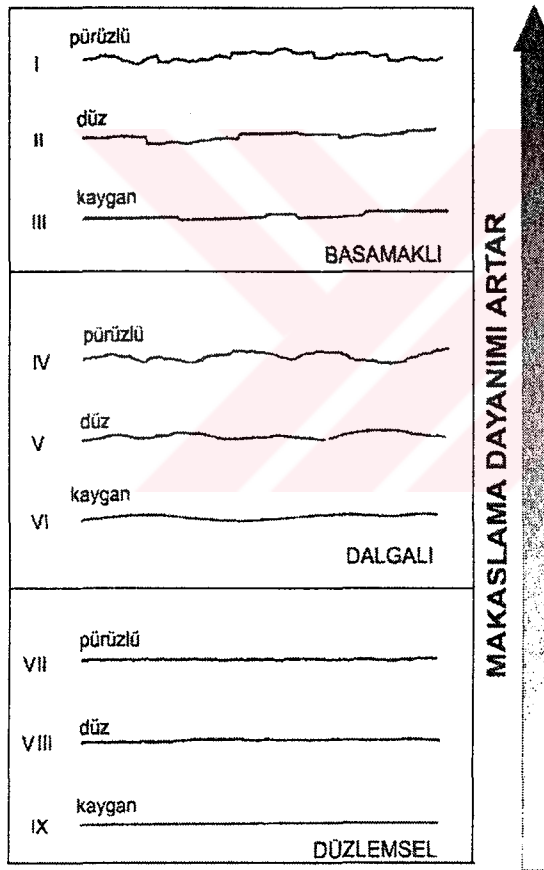
ISRM (1981)'de pürüzlülük ve dalgalılığı ölçmek için değişik yöntemler önerilmektedir (Şekil 14.a-c, Şekil 15). Barton ve Choubey (1977) küçük ölçekli pürüzlülüğü tanımlamak için arazide telli profilometre ile ölçülen süreksizlik yüzeyi profilinin önerdikleri standart profillerle karşılaştırmalarını yapmışlardır (Şekil 16)



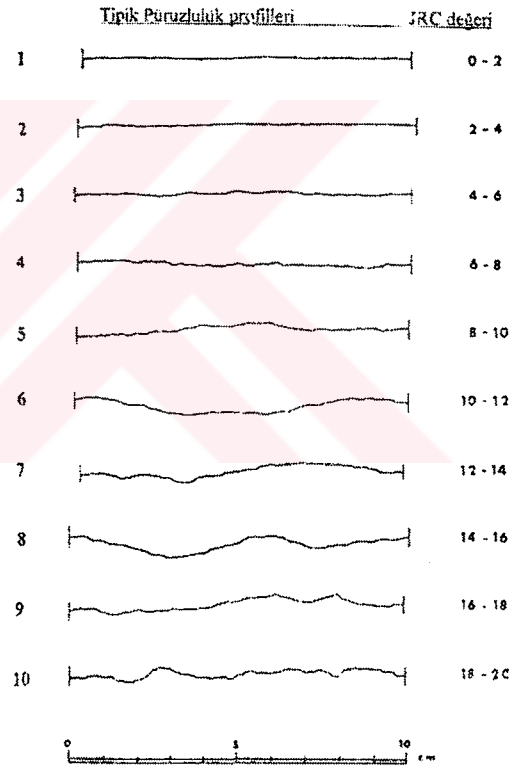
Şekil 14. Doğrusal profil alma yöntemi (a), pürüzlülüğün kalemlili ve mekanik telli profilometre ile ölçülmesi (Ulusay ve Sönmez, 2002 den alınmıştır) (b), pürüzlülüğün üç boyutlu ölçülmesi (ISRM,1981)

Standart profillerde verilen “Süreksizlik yüzeyi Pürüzlülük Sayısı (JRC)” değerleri 0-20 arasında değişmektedir. Barton ve Bandis (1982) süreksizlik yüzeyinde alınan değişik ölçüm uzunluğu için JRC değerlerini bulmak için pürüzlülük genliği ve ölçüm uzunluğundan yararlanmışlardır (Şekil 17)

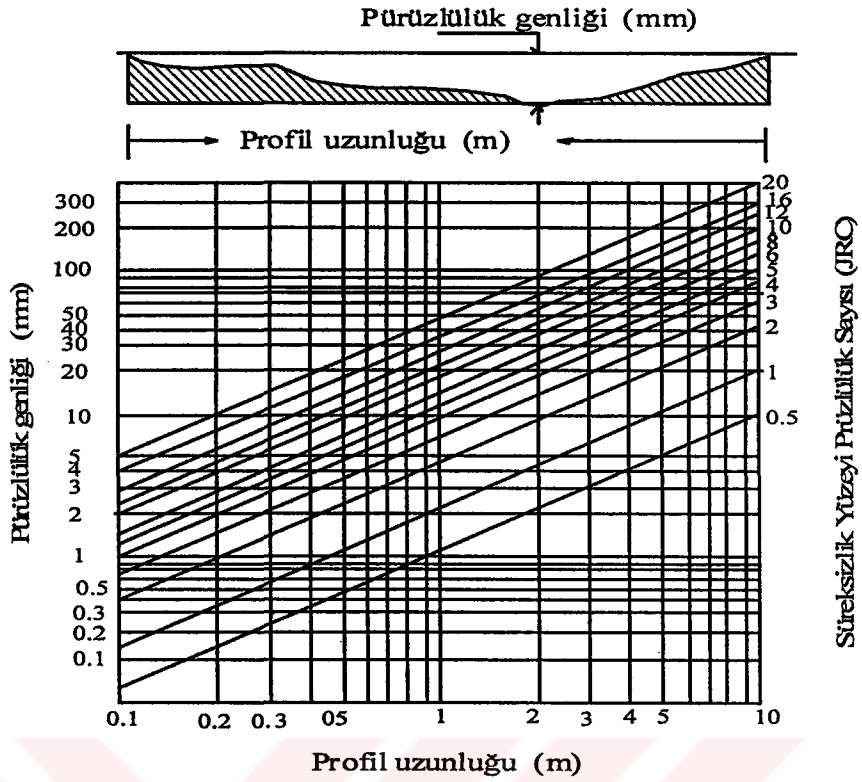
Palmström (1996) , “Kaya Kütle İndeksi (RMi)”ni oluştururken küçük ölçekli pürüzlülüğü Tablo 11’deki gibi tanımlamıştır. Yazar, büyük ölçekli pürüzlülüğü (pürüzlülüğün genliği/ ölçüm uzunluğu) oranı olarak tanımlamıştır Cai vd. (2003) GSI’yi değerlerini hesaplarken süreksizlik yüzey durumunu Palmström (1996)’ ya göre tanımlamıştır (Tablo 12)



Şekil 15. Pürüzlülüğün niteliksel ölçümü (ISRM, 1981)



Şekil 16. Standart pürüzlülük profilleri ve JRC değerleri (Barton ve Choobey, 1977)



Şekil 17. Değişik ölçüm uzunluğu için pürüzlülük genişliği ve profil uzunluğuna bağlı olarak JRC'nin belirlenmesi (Barton and Bandis, 1982)

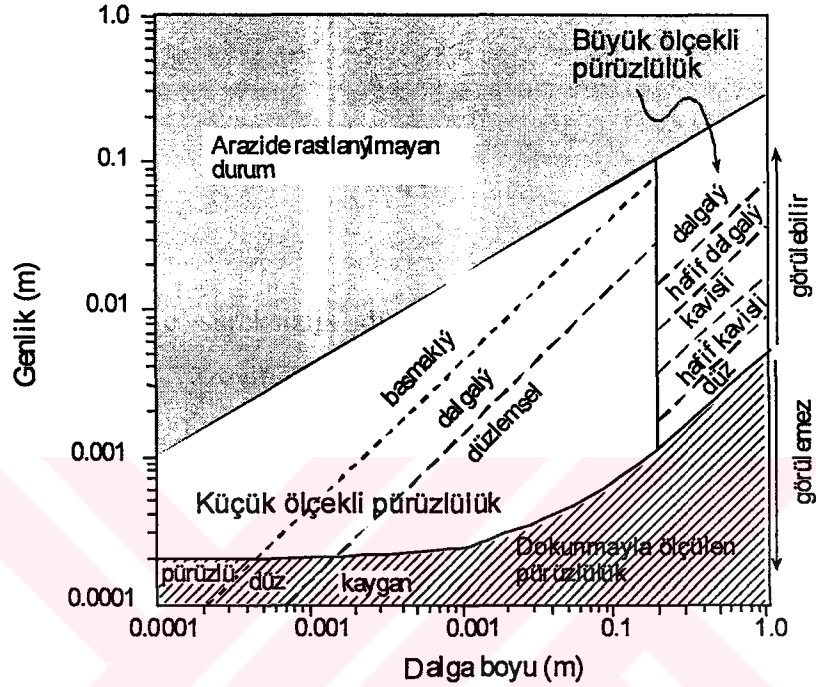
Tablo 11. Küçük ölçekli pürüzlülüğün tanımlanması (Palmström, 1996)

Sınıf	Tanımlama
Çok pürüzlü	Yaklaşık düşey basamaklar ve çıkıntılar süresizlik yüzeyinde kenetlenme oluşturur
Pürüzlü	Bazı çıkıntılar ve düşeye yakın basamaklar vardır. Pürüzlülük açıkça görülür. Yüzey oldukça aşındırıcı görünüştedir (30 numaradan büyük zımpara kağıdı)
Hafif pürüzlü	Yüzeydeki girinti ve çıkıntılar ayırt edilebilir ve (dokunulduğunda) hissedilir (Zımpara kağıdı numara 30-300)
Düz	Yüzey düzdür ve dokunulduğunda düzlüğü hissedilebilir (numarası 300 den büyük zımpara kâğıtlarına benzer)
Cilalı durum (kaygan)	Yüzeyin cilalı gibi kaygan olduğuna dair görsel kanıtlar vardır; klorit ve özellikle talk gibi minerallerin süresizlik yüzeyine sıvanması gibi
Sürtünme izli	Fay yüzeylerinde veya diğer blok hareketleri nedeniyle yüzeyde cilalanma ve sürtünme izleri var

Tablo 12. Büyük ölçekli pürüzlülüğü tanımlanması (Palmstrom, 1996, Cai vd.,2004)

Dalgalık Tanımı	Dalgalık sayısı
Kenetlenmiş (Büyük ölçekte)	
Basamaklı	
Geniş dalgalanma	> % 3
Küçük ve orta boyutta dalgalanma	% 0.3-3
Düz	< % 0.3

Hack vd. (2003)'e süreksizlik düzleminin düzlemsellikten ayrılma durumunu tanımlarken dokunmayla yüzeyin tanımlanması, küçük ölçekli 0,2x0,2 m²lik alanda ölçülen pürüzlülük ile büyük ölçekli (1x1 m² alanda ölçülen) pürüzlülükten yararlanmaktadır (Şekil 18)



Şekil 18. SSPC sisteminde küçük ve büyük ölçekteki pürüzlülüğün tanımlanması (Hack vd. (2003)

2.6.8. Süreksizlik Yüzeyi Ayrışma Durumu

Kaya kütle sınıflamalarının birçoğunda (örneğin RMS, RMR, M-RMR'de) süreksizlik yüzey malzemesinin ayrışma durumu ISRM (1981) de verilen kaya malzemesi için ayrışma sınıflaması kullanılmaktadır. ISRM (1981) 'in önerdiği bu sınıflama gözleme dayalıdır. Bu nedenle bazı durumlarda öznel değerlendirmelere neden olabilmekte; aynı süreksizlik yüzeyi için farklı kişiler farklı değerlendirmeler yapabilmektedir. Singh ve Gahroee (1989) bu tür hataları giderebilmek için bozunma derecesini aşağıda verilen sayısal indeksle tanımlamışlardır (Tablo 13).

$$W_c = \sigma_{cf} / JCS \quad (25)$$

Eşitlikte, W_c : bozunma katsayısı, σ_{cf} : taze (ayrışmamış) kaya malzemesin dayanımı, JCS: süreksizlik yüzey malzemesinin dayanımıdır

Tablo 13. Sing ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen bozunma sınıflaması

Taze az bozunmuş	$(\sigma_c/JCS) \leq 1.2$
Orta derecede bozunmuş	$1.2 < (\sigma_c/JCS) < 2$
Bozunmuş	$(\sigma_c/JCS) \geq 2$

Gökçeoğlu (1997) yukarıda verilen bozunma sınıflamasının sadece 3 gruptan oluşması ve Schmidt çekici ile dayanımın bulunmasındaki sakıncaları belirterek aşağıda verilen bozunma indeksini önermiştir (Tablo 1 9 ve Şekil 14).

$$W_c = R_f / R_w \quad (17)$$

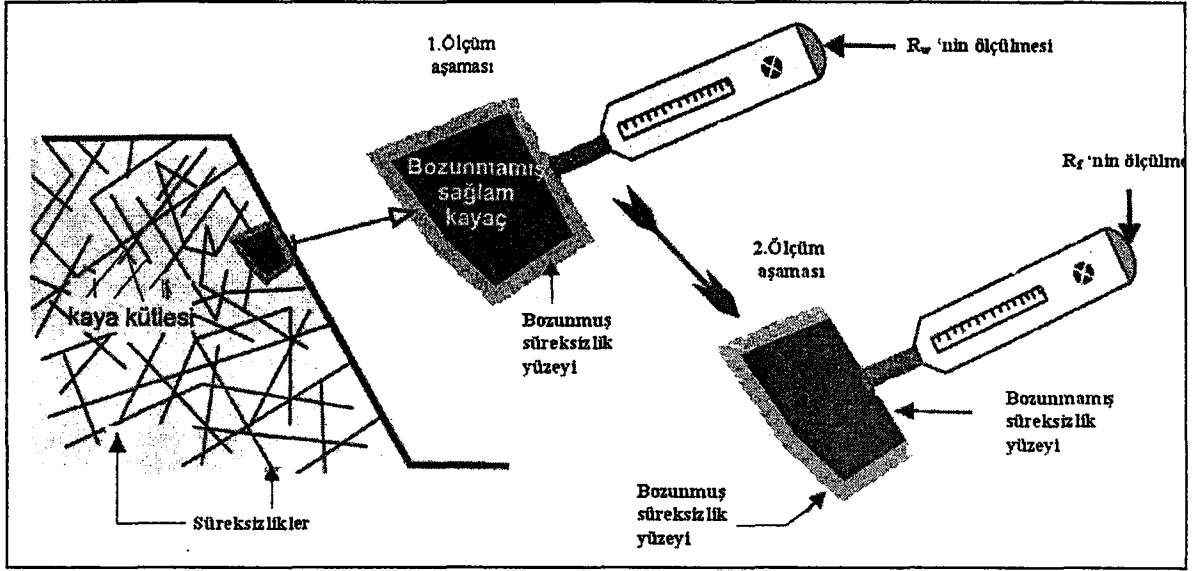
Burada; R_f taze (ayrışmamış), R_w ise bozunma sınıflaması yapılacak süreksizlik yüzeyinde ölçülen Schmidt çekici geri tepme sayısıdır

Tablo 14 Bozunma indeksine (W_c) göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997)

W_c	Sınıf	Tanım (ISRM, 1981)
<1.1	1	Bozunmamış (taze)
1.1-1.5	2	Az bozunmuş
1.5-2.0	3	Orta derecede bozunmuş
>2.0	4	Tamamen bozunmuş

Bu çalışmada RMS, RMR, M-RMR sınıflamaları uygulanırken süreksizlik yüzeyi bozunma tanımlamasında “Bozunma İndeksi (W_c)” den yararlanılmıştır.

Palmström (1996) RMI sınıflamasında “süreksizlik alterasyon faktörünü” tanımlarken Q sisteminden büyük ölçüde faydalanmıştır.



Şekil 19. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma indeksinin bulunması (Gökçeoğlu,1997)

2.6.9. Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu Durumu

Açıklık, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzey arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi su veya herhangi bir dolgu malzemesi tarafından da doldurulmuş olabilmektedir (ISRM, 1981). Açıklığın ölçülebilmesinde en basit ve en pratik çözüm milimetre bölmeli şerit metre veya mikrometre ile yapılmaktadır (Ulusay, ve Sönmeze 2002).

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayac malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. ISRM (1981) de dolgu malzemesinin tanımlanmasında kullanılan parametreler; mineraloji, tane boyu dağılımı, aşırı konsolidasyon oranı, su içeriği ve geçirgenlik, dolgunun daha önce maruz kaldığı makaslama yer değiştirmesi, süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü, dolgunun kalınlığı ve süreksizlik yüzeyini oluşturan kayacın kırılma ve parçalanma özelliğidir

3. BULGULAR

3.1. Giriş

Duraylılığı incelenen şevler Trabzon-Gümüşhane karayolunun Bekçiler Mevkii-Savalı Mahallesi arasında yer almaktadır. Bu alanda alttan üste doğru Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu, Troniyen?-Santoniyen yaşlı Kızılkaya Formasyonu ve Kampaniyen-Maastrichtiye yaşlı Çağlayan Formasyonu yüzeylemektedir (Şekil 20, 21 ve 22). İnceleme alanında seçilen şevlerde tanımlanan 64 jeoteknik birim her biri kaya kütle sınıflandırmaları ve olasılık yöntemiyle şev duraylılığı açısından değerlendirilmiştir.

3.2. Litoloji ve Stratigrafi

3.2.1. Çatak Formasyonu

İnceleme alanını içine alan bölgede, Torul (Gümüşhane)-Doğankent (Giresun)-Maçka (Trabzon) yöresinde, yaygın olarak yüzeyleyen Geç Kretase yaşlı tortul ara katkılı bazik-andezitik volkanitler değişik araştırmacılar tarafından farklı adlandırılmıştır. Söz konusu birim Türk Japon ekibi (1985) tarafından “Zigana Formasyonu A1 üyesi”, Boynukalın (1990) tarafından “Yavuzkema Formasyonu”, Köprübaşı (1992) tarafından “Aşağı Harşit Karmaşığı”, Eyüpoğlu (2000) tarafından “Sekü Formasyonu” olarak adlandırılmıştır.

Maçka ilçesi (Trabzon) güneyinde Çatak Köyü civarında, bazalt-andezit ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve killi kireçtaşlarından oluşan birim, Güven (1993) tarafından “Çatak Formasyonu” olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında yayılım gösteren Geç Kretase yaşlı tortul ara katkılı andezitik volkanitler için, Güven (1993) tarafından tanımlanan Çatak Formasyonu ile benzer litolojik özelliklere ve stratigrafik konuma sahip olduklarından, “Çatak Formasyonu” adı kullanılmıştır.

Çatak Formasyonu Savaslı Mahallesi ve Istala Mahallesi civarında yaklaşık 3,5 km² lik alanda yüzeylemektedir. Bu formasyon genelde andezit ve piroklastlarından oluşmakta olup inceleme alanındaki yüzeylemelerinde piroklastik kayaçların genellikle tuf az oranda da volkanik breşlerden meydana geldikleri görülmüştür (Şekil 23a-c).

ACIKLAMALAR

	Çağlayan Formasyonu (Killi kireçtaşı ve kumtaşı arakatkılı andezit-bazalt ve piroklastikler)		Formasyon sınırı
	Kızılkaya Formasyonu (Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüft ara katkılı dasit ve piroklastikler)		Tabaka doğrultu ve eğimi
	Catak Formasyonu (Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüft ara katkılı andezit ve piroklastikler)		Düşey fay
			Kesit hattı
			Asfalt yol
			Dere
			İncelenen şevler

Kampanyen Masmimiyen

Turonen-Santonyen

ÜST KRETASE

Çağlayan Formasyonu
(Killi kireçtaşı ve kumtaşı arakatkılı andezit-bazalt ve piroklastikler)

Kızılkaya Formasyonu
(Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüft ara katkılı dasit ve piroklastikler)

Catak Formasyonu
(Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüft ara katkılı andezit ve piroklastikler)

Formasyon sınırı

Tabaka doğrultu ve eğimi

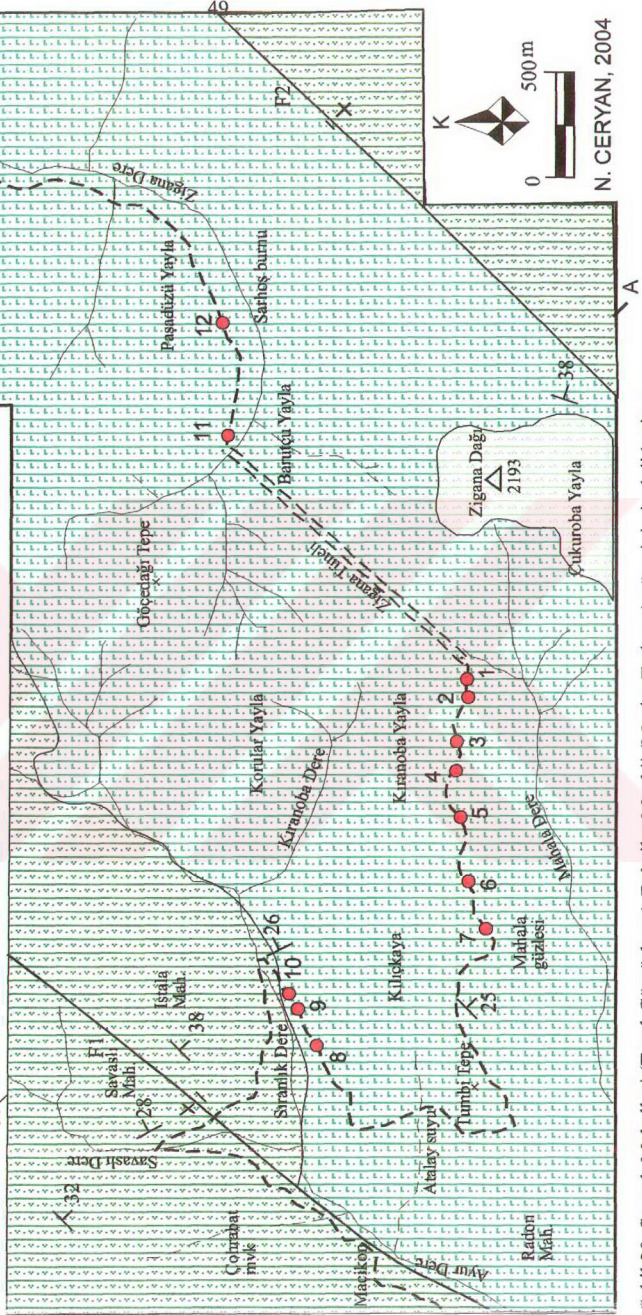
Düşey fay

Kesit hattı

Asfalt yol

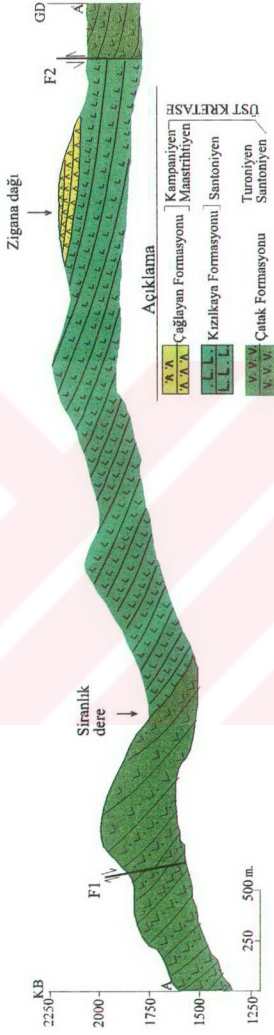
Dere

İncelenen şevler



Şekil 20. Savaslı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon) yöresinin jeolojisi haritası

N. CERYAN, 2004



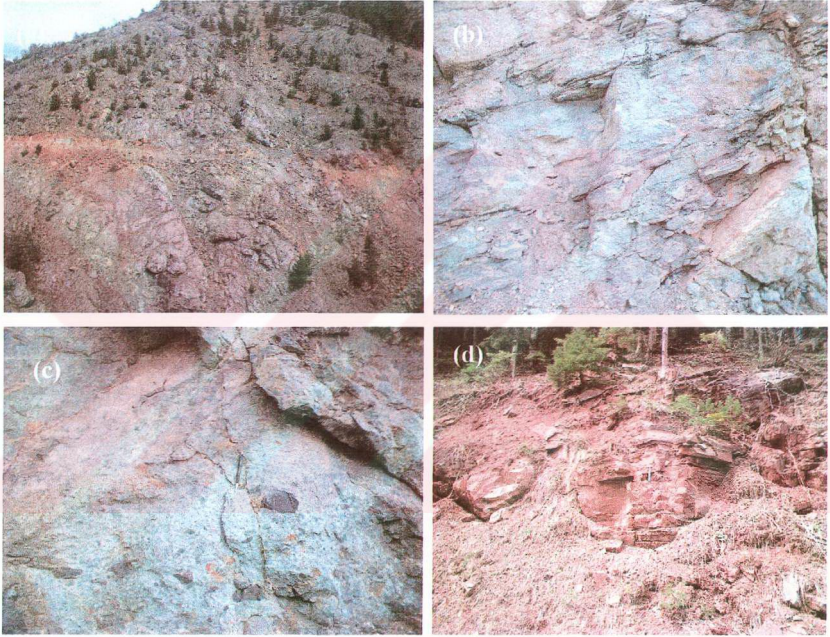
Şekil 21. Savaslı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon) yöresinin jeolojisi kesiti

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Kampaniyen Maastrihtiyen	ÇAĞLAYAN FORMASYONU	>250		Killi kireçtaşı ve kumtaşı ara katkılı andezit-bazalt ve proklastları
			Turoniyen Santoniyen	ÇATAK FORMASYONU	>400		Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüfit ara katkılı andezit ve proklastları

Şekil 22. Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane)-Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon) yöresinin geliştirilmiş dikme kesiti

Breşi oluşturan kayaç parçaları genelde köşeli andezit, kuvarslı andezit ve spilitik özelliindedir ve boyutları 2 cm den 18 cm ye kadar değişmektedir.

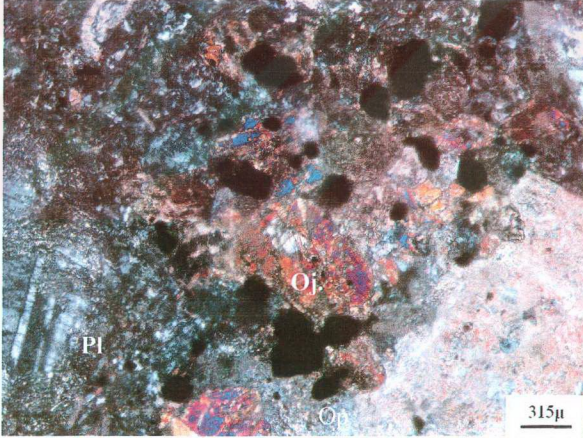
Çatak Formasyonu'nun değişik seviyelerinde, kalınlığı 1-20 m. arasında değişen, çoğunlukla yanal devamlılığı olmayan, bazen merccek şeklinde görülen, ince tabakalı, bordo renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüffit ara seviyeleri bulunmaktadır (Şekil 23d)



Şekil 23. Çatak Formasyonu'ndaki andezitik volkanitlerin (a, Yer: Savaslı Mahallesi), tabakalı tüflerin (b, Yer: Maçikon Mevkii), volkanik breşlerin, (c, Yer: Siranlık dere) ve bordo renkli killi kireçtaşların görünümü (d, Yer: Savaslı Mahallesi.)

Andezitler arazide gri yeşil, koyu yeşil renklerde görülmekte olup, makroskobik olarak ojit, hornblend, biyotit ve plajiyoklas mineralleri tanınabilmektedir. Andezitlerden alınan ince kesitlerde hamurun plajiyoklas, ojit, hornblend, biyotit, klorit ve opak mineralardan oluştuğu ve kayacın mikrolitik porfirik dokuda olduğu görülmüştür (Şekil 24).

Bu ince kesitlerde plajiyoklazlar çoğunlukla iri levhamsı kristaller halinde, hamurda da küçük kristaller halinde bulunmaktadır. İri plajiyoklas kristallerinde yapılan analizlerde bunların andezin (An_{41-46}) bileşiminde oldukları belirlenmiştir. İri andezin kristalleri öz ve yarı öz şekilli olup, polisentetik ikizlenme, küçük kristaller ise albit ikizlenmesi gösterirler. Bazı plajiyoklaslarda zonlu yapı göstermektedir. Plajiyoklaslarda çoğunlukla kalsitleşme ve serizitleşme görülmektedir. Ojit, genellikle yarı öz şekilli iri kristaller halinde bazende küçük kristaller halinde bulunmaktadır. Bazı kesitlerde görülen hornblend iri, öz ve yarı öz şekilli prizmatik kristaller halinde, hamurda ise küçük çubuğumsu kristaller halinde bulunmaktadır. Biyotit iri levhamsı kristaller, hamurda da küçük prizmatik kristaller halinde bulunmakta olup dilinimleri boyunca opak mineraller yerleşmiştir ve bazen de kenarlarından itibaren kloritleşmiştir. Opak mineraller genellikle köşeli, yuvarlak ve düzensiz şekilli olarak görülmekte olup bazı kesitlerde oldukça bol miktarda bulunmaktadır. Kalsit, serizit ve klorit mineralleri ayrışma ürünü olarak ve bazen de çatlak dolgusu şeklinde bulunmaktadır.



Şekil 24. Çatak Formasyonu'ndaki andezitlerde mikrolitik porfirik doku (ÇN, Pl:Plajiyoklas, Oj:Ojit, Op:Opak mineral Yer : Savalı Mahallesi.).

Tüfler, inceleme alanında İstala Madeni batısında andezitik breş seviyeleri ile ardışıklı olarak gözlenmiştir. Çoğunlukla katmanlaşmanın belirgin olarak izlenebildiği

tüflerde tabaka kalınlıkları 5-45 cm. arasında değişmektedir (Şekil 23b). Tüfler açık yeşil grimsi renkte görülmektedir. Tüflerden alınan ince kesitlerin incelenmesi sonucunda bunların litik-kristal tüf niteliğinde oldukları belirlenmiştir. Bu ince kesitlerde görülen kristal parçaları plajiyoklas, iri ve küçük daneler halinde ojit ve hornblend, dilinimler boyunca opaklaşmış ve kloritleşmiş biyotit ve opak minerallerden, kayaç parçaları andezit yer yer de dasit parçacıklarından oluşmaktadır. İkincil mineral olarak klorit, kalsit, zeolit ve serizit görülmüştür. Bağlayıcı malzeme plajiyoklas, hornblend, biyotit ve opak minerallerin mikro ve kripto kristallerinden oluşmaktadır.

Çatak Formasyonu'nda ara seviyeler halinde bulunan ve tabaka kalınlıkları 5 ile 25 cm arasında olan kırmızı kireçtaşının yanal devamlılığı izlenememektedir. Bu kırmızı kireçtaşı örneklerinin mikroskopik incelemelerinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Birimi oluşturan kireçtaşlarının ana karbonatlı bileşeni iskeletli tanelerden oluşur. Bunlar başlıca pelajik foraminifer (*Globotruncana* sp., % 5) ve radyolaryalar (%1) tarafından temsil edilir. Çoklukla korunmuş taneler halinde izlenen bu bileşenler bazen tümüyle sparitleşmişlerdir.. Ender olarak opak mineraller izlenmiştir. Bu taneler ince taneli ve tekdüze özellik sunan mikritik bir matriksle bağlanmıştır. Kesit alanında sparitleşme yaygın olarak izlenir. İstiflenme bazı örneklerde oldukça düşük olup çamurtaşı niteliği gösterir. Bu özellikler göz önüne alınarak kayaç **Biyomikrit** (Folk, 1962) ve **Vaketaşı/Çamurtaşı** (Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır. Birim içinde yer alan kırmızı kireçtaşlarının mikro-çökel yapı ve dokusal özelliklerine dayandırılarak düşük enerjili derin deniz ortamında biriktiği söylenebilir.

Çatak Formasyonu'nun tabanı inceleme alanında gözlenememektedir. Bu birimin üzerine uyumlu olarak Kızılkaya Formasyonu gelmektedir.

Güven (1993), bu birim içindeki kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşlarından saptadığı *Globotruncana lapparenti* Brotzen, *Globotruncana limneiana* (d'Orb), *Globotruncana* sp., *Marginatruncana* sp., *Globigerinella* sp., *Globigerinelloides* sp., *Gümbelina* sp., *Hedbergella* sp. fosil türlerine göre, birimin yaşını Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen olarak belirlemiştir.

Kaygusuz (2000), Torul-Kürtün (Gümüşhane) yöresinde yaptığı çalışmada Çatak Formasyonu'nun değişik seviyelerindeki kırmızı kireçtaşlarında belirlediği *Dicarinella* sp., *Marginotruncana* sp., *Radiolarya* sp., *Globigerinidae.*, *Lagenidae*'dan oluşan faunaya dayanarak birime Turoniyen-Santoniyen yaşını vermiştir.

MTA ekibi inceleme alanını da içine alan yörede yaptığı ve henüz tamamlanmayan çalışmada, andezitik lavların içerisinde mercerler şeklinde yer alan gri renkli pelajik kireçtaşlarında Turoniyen yaşını veren ve Helvetoglobotruncana cf. *Helvetica (BOLLİ)*, *Helvatica (BOLLİ)*, *Dicarinella sp.*, *Marginotruncana Pseudolinneiana (PESSAGNO)*, *Marginotruncana sp.*, *Globigerinidae* den oluşan fauna belirlenmiştir (Fosiller K. Erdoğan MTA tarafından tanımlanmıştır İskender Kurt, MTA, Sözlü görüşme, Ocak, 2005).

Bu çalışmalardaki bulgular Çatak Formasyonu'nun Turoniyen-Santoniyen yaşında olduğunu göstermektedir.

Çatak Formasyonu bazaltik-andezitik karakterli bir denizaltı volkanizmasının egemen olduğu ve bu volkanizmanın durakladığı dönemlerde de denizel tortul kayaçların çökeldiği denizel bir ortamda meydana gelmiştir.

Çatak Formasyonu, Torul-Zigana (Gümüşhane) yöresinde yüzeylenen Geç Kretase yaşlı Zigana Formasyonu'nun A1 Üyesi (Türk-Japon Ekibi, 1985); Doğankent (Giresun) civarında yüzeylenen Volcano-Tortul Seri (Gedikoğlu, 1978) ve Çaykara (Trabzon) yöresinde yüzeylenen Çaykara Formasyonuna ait Hadi Üyesi (Bulut, 1989) ile litolojik ve stratigrafik özellikleri açısından benzerlik gösterir.

3.2.2. Kızılkaya Formasyonu

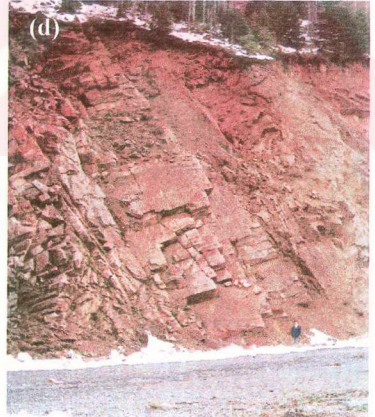
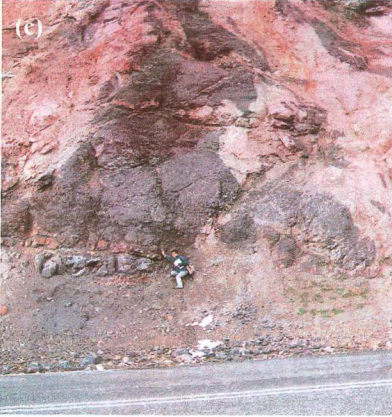
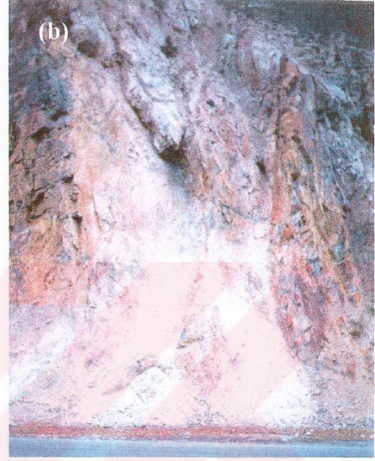
İnceleme alanını da içine alan Doğu Karadeniz Bölümü'nde yüzeylenen ve önemli cevherleşmeler (volkanojen polimetalik masif sülfid yatakları) içeren Geç Kretase yaşlı, tortul ara katmanlı dasitik volkanitleri değişik araştırmacılar farklı isimlerle adlandırmışlardır. Söz konusu dasitlerin yoğun cevherleşme içerenleri "Cevherli dasit" olarak, cevher içermeyen dasitler "Mor dasit" olarak adlandırılmıştır (Alpan, 1971; Aslaner, 1977; Pelin vd, 1982; Yalçınalp, 1992). Türk-Japon ekibi (1985) aynı birim için Zigana Formasyonu D1 ve D2 üyesi olarak adlandırmıştır. Espiye (Giresun) güneyinde Kızılkaya mevkinde yüzeylenen riyodasit-dasit ve piroklastiklerden oluşan birim, ilk olarak Güven (1993) tarafından Kızılkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında yüzeylenen ve yer yer tortul ara katmanlar içeren Geç Kretase yaşlı dasit ve piroklastitleri için Güven (1993) tarafından tanımlanan söz konusu formasyonla aynı litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olduğundan, "Kızılkaya Formasyonu" adı kullanılmıştır.

Kızılkaya Formasyonu Kıranoba Yaylası, Mahala Güzlesi, Korular Yaylası civarında yaklaşık 18 km²lik alanda yüzeylenmektedir. Bu formasyon killi kireçtaşı ve tüffit ara katkılı dasit ve piroklastlarından oluşmaktadır. Söz konusu formasyonda arazideki görünümüleri, makroskobik ve mikroskobik özellikleri birbirinden belirgin farklılık gösteren iki farklı dasit ve piroklastitler bulunmaktadır. İnceleme alanındaki bitki örtüsü ve yoğun alterasyon nedeniyle söz konusu farklı dasitik volkanitler ayrı ayrı haritalanamamıştır. Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasitik volkanitlerden ilki içerdiği cevherleşmeler nedeniyle "Cevherli Dasit" olarak adlandırılmaktadır (Alpan, 1971; Aslaner, 1977; Pelin vd., 1982; Yalçınalp, 1992). İkincisi, cevher minerali içermeyen, cevherli dasitlere göre çok daha az ayrılmış ve renginden dolayı "Mor Dasit" olarak adlandırılmıştır. (Taslı, 1984; Yalçınalp, 1992) (Şekil 25 a-d).

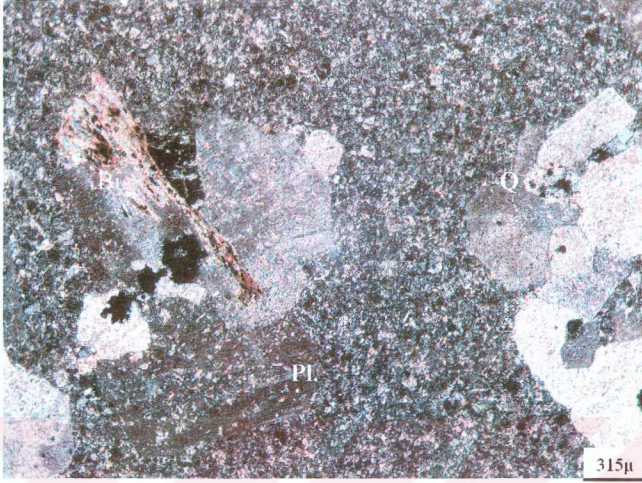
Yoğun olarak cevher içeren dasitik volkanitler ileri derecede hidrotermal alterasyona ve yüzeyel ayrışmaya uğramıştır. Yoğun bulunan ayrışma ürünlerine (kil, klorit, kalsit, limonit) bağlı olarak grimsi, açık yeşil, kahverengi ve sarı renklerinde görülen bu dasitik volkanitler çoğunlukla yoğun pirit ve kalkopirit kristalleri içeren piroklastik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 25a-c).

Cevherleşmelerin yoğun olarak görüldüğü dasitlerde iri kuvars mineralleri, pirit ve kalkopirit taneleri çıplak gözle görülebilmektedir. Bu dasitlerin ince kesitlerinde mikrogrenü porfirik doku görülmüştür. Plajiyoklas ve kuvars iri kristalleri plajiyoklas, kuvars, kalsit, klorit ve opak minerallerin çok küçük tanelerinden oluşan hamur içinde bulunurlar (Şekil 26). Plajiyoklaslar iri, öz ve yarı öz şekilli fenokristaller halinde ve hamurda küçük kristalcikler halinde bulunmakta olup oldukça ayrılmışlardır. Plajiyoklaslardan yapılan cins tayininde bileşimlerinin andezin (An₃₅) olduğu belirlenmiştir. Hem albit hem de polisentetik ikiz gösteren plajiyoklaslarda yüzeyel ayrışma ve hidrotermal alterasyon nedeniyle serisitleşme, kloritleşme ve kalsitleşme görülmektedir. Plajiyoklaslar kayaçta yaklaşık %20-25 oranında bulunmaktadır. Genellikle iri kristaller halinde ve hamurda çok küçük kristaller halinde görülen kuvars kristalleri bazen dalgalı sönme göstermekte olup kısmen hamur tarafından yenmiş olarak görülmektedir. Kuvars kristalleri kayaçta yaklaşık %20-25 oranında bulunmaktadır. Bu dasitler mafik mineral bakımından oldukça fakirdir. Sadece birkaç kesitte oldukça ayrılmış biyotit lamellerine rastlanmıştır. Biyotitin ayrışma ürünü olarak bol miktarda klorit izlenmektedir. Kalsit, hamurda çatlak ve boşluk dolgusu olarak bulunmaktadır ve tek nikelde röliyef pleokroizması gösterir. Serisit, plajiyoklasların ayrışma ürünü olarak

görülmekte olup röliyefleri düşüktür. Klorit, hamurda ayrışma ürünü olarak bulunmakta olup röliyefi düşük ve açık yeşil renktedir. Opak mineral, kayacda %3-5 oranında, bazen köşeli bazende yarı yuvarlaklaşmış halde bulunmaktadır.



Şekil 25. Cevherli dasitik kayalarda gözlenen yoğun kırıklar ve alterasyonlar (a ve b, Yer: Mahala Güzlesi), yoğun hidrotermal alterasyon, tabakalı tüfler ve biyomikrit (c, Yer: Zigana Tüneli 1,5 km batısı yol şevi), Pirizmatik debili dasit (d, Kılıçkaya Mevkinin 600 m kuzeyi yol şevi)

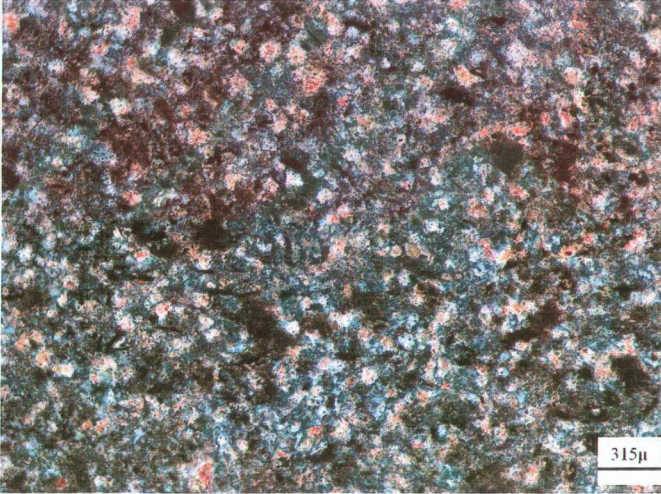


Şekil 26. Cevherli dasitlerde altere olmuş plajiyoklas (Pl), kloritleşmiş biyotit ve kuvars (Q) fenokristalleri ve mikrogranü doku (Ç.N, Yer: Mahala Güzlesi)

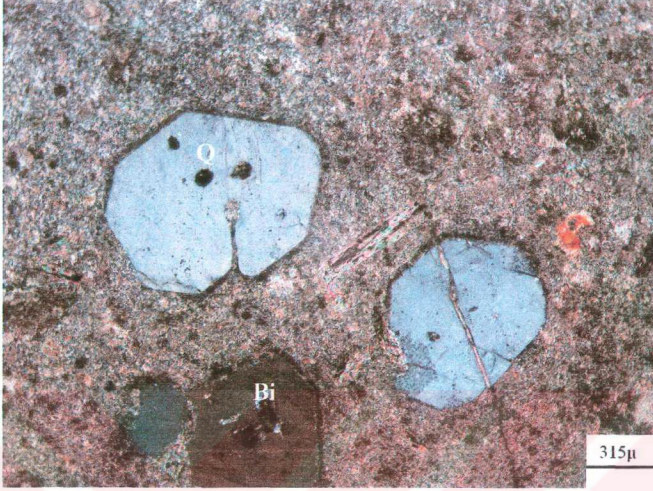
Yoğun hidrotermal alterasyona uğramış dasitik tüflerden alınan örneklerin mikroskobik incelemelerinde, bunların kristal tuf olduğu belirlenmiştir (Şekil 27). Dasitik kristal tüflerde özşekilsiz plajiyoklas küçük kuvars, biyotit parçacıkları kül boyutundaki malzemeye tutturulmuş oldukları gözlenmiştir. Çimentoyu oluşturan ince taneli malzemede ayrışarak kalsit, kil ve limonit minerallerine dönüşmüştür. Boşluklar ise kalsitlerle doldurulmuştur. Kuvars genellikle çok küçük kristaller halinde belirli seviyelerde yoğunlaşmıştır. Plajiyoklas çok küçük boyutlu kristaller halinde olup genellikle serisitleşmişlerdir. Yoğun ayrışmadan dolayı plajiyoklaslarda cins tayini yapılamamıştır. Biyotit, kayaç içerisinde az miktarda küçük kristaller halinde bulunur. Opak mineral bol miktarda dağınık düzensiz taneler halindedir.

Kızılkaya Formasyonu'ndaki yoğun olarak cevher içermeyen, sarı, kahverengi ve mor renklerinde görülen dasitik volkanitlerin en belirgin özellikleri; cevherli dasitlerin aksine, çoğunlukla prizmatik debi göstermeleri ve az ayrılmış olmalarıdır. Bu dasitik volkanitler çoğunlukla dasitlerden oluşmakta ve çok az yerde tüflerine rastlanılmaktadır. Çok az yerde az miktarda pirit ve kalkopiritin gözlenmesi dışında, cevher içermeyen bu dasitlerin mikroskobik incelemeleri sonucunda mikrogranü dokuda olduğu ve içinde bol

miktarda kuvars bulunduğu görülmüştür. Kuvars öz veya yarı öz şekilli iri kristaller halde, hamurda da mikro ve kriptokristalin halde bulunurlar. Çoğunlukla hamur tarafından yenmiş olarak görülen kuvars kristalleri genellikle çatlaklı yapıda olup, bazen dalgalı sönme gösterirler. Plajiyoklas, yarı öz şekilli, iri kristaller, hamurda ise öz şekilsiz küçük taneler halinde bulunmaktadır. Yapılan cins tayinlerinde plajiyoklasların genellikle andezin, bazen de oligoklas (An_{25-45}), karakterli olduğu belirlenmiştir. İri plajiyoklas kristallerinde, cevherli dasitlere göre daha az miktarda, killeşme ve kalsitleşme izlenmiştir. Tek nikelde renk pleokrozması ile tipik olan biyotit, özşekilli veya yarı özşekilli halde ve genellikle kloritleşmiş, küçük pulcuklar şeklinde bol miktarda görülmektedir. Kalsit ve plajiyoklasların ayrışma ürünü olarak bulunur. Klorit, biyotitlerin ayrışma ürünü olarak, yer yer de boşluk dolgusu olarak bulunur. Tali mineral olarak apatit bulunmaktadır. Apatit kristalleri kısa dikdörtgenimsi prizmalar veya ince çubuk şeklinde görülmektedir. Yer yer ve az miktarda rastlanılan opak mineral de yarı özşekilli ve özşekilli, dağınık küçük taneler halindeki piritlerden oluşmaktadır (Şekil 28).



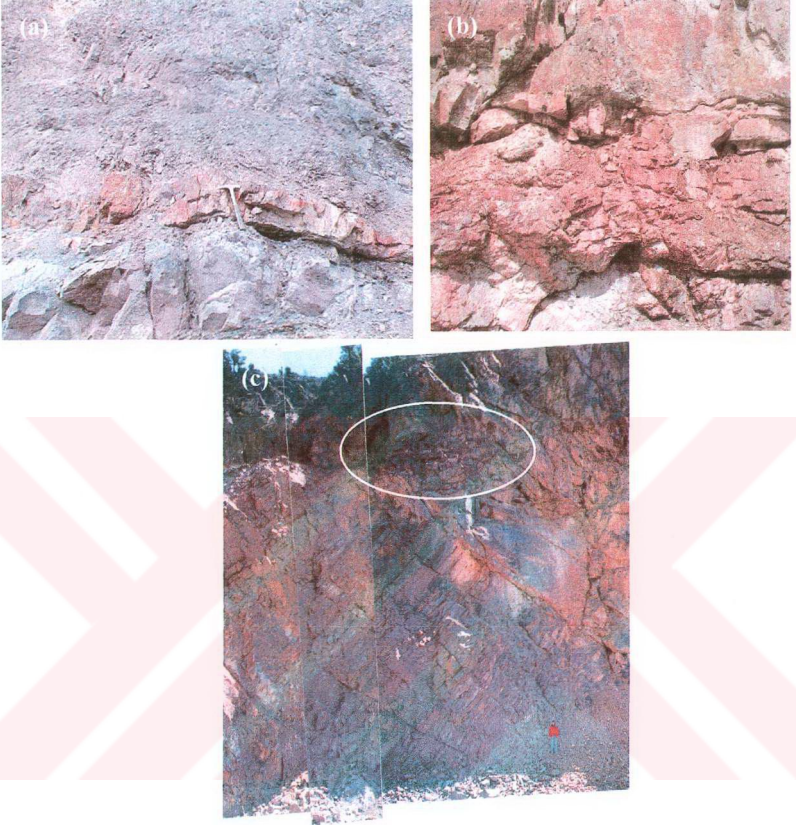
Şekil 27. Yoğun cevherleşme içeren dasitik tüflerin mikroskopta görünüşü (ÇN Yer: Zigana Tüneli 1,5 km batısı yol şevi)



Şekil 28. Dasitlerde gözlenen mikrogranü doku (Ç,N, Q: Kuvars, Bi :Biyotit, Yer: Maloba Yayla)

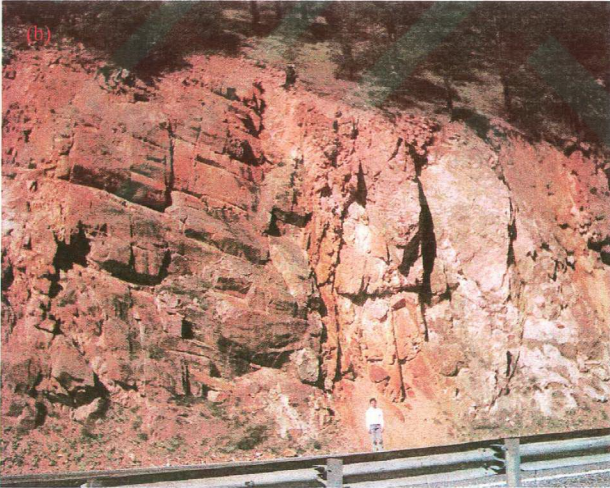
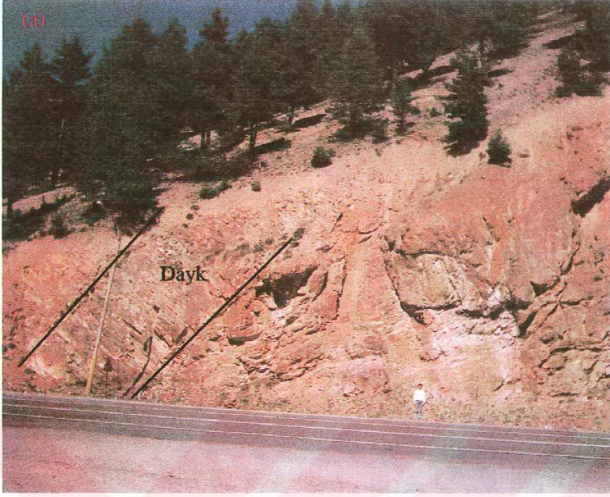
Kızılkaya Formasyonu dasitik volkanitleri içersinde yanal devamlılığı fazla olmayan ve kalınlığı 45-250 cm arasında değişen kırmızı biyomikritler yer almaktadır (Şekil 29).

İnce kesit incelemelerinde birimi oluşturan kireçtaşlarının ana karbonatlı bileşeni iskeletli tanelerden oluştuğu görülmüştür. Bunlar başlıca pelajik foraminifer (*Globotruncana* sp., %15), *Radylarya* (%3) ve pelajik bivalvler (%1) tarafından temsil edilir. Çoklukla korunmuş taneler halinde izlenen bu bileşenler yer yer sparitik kesimler içerir. Ender olarak bazı pelajik foraminiferler parçalar halinde izlenir. Kayaç silt boyutunda ve köşeli terrijen kırıntılar içerir (%2). Ender olarak opak mineraller izlenmiştir. Bazı örneklerde mikro laminalı yapı izlenmiştir. Bu taneler ince taneli ve tekdüze özellik sunan mikritik bir matrisle bağlanmıştır. Yukarıdaki özellikler göz önüne alınarak kayaç **Biyomikrit** (Folk, 1962) ve **Vaketaşı** (Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır. Birim içinde yer alan kırmızı kireçtaşlarının mikro-çökel yapı ve dokusal özelliklerine dayandırılarak düşük enerjili derin deniz ortamında biriktiği söylenebilir.



Şekil 29. Dasitik volkanitler içindeki kırmızı biyomikritler (Yer: Kılıçkaya Mevkinin 250 m güneyi yol şevi (a), Tumbi tepe güneyi yol şevi (b), Şiranlık dere güneyi yol şevi (c))

Kızılıkaya Formasyonu'nda özellikle Gümüşhane-Trabzon karayolu şevlerindeki yüzeylenmelerinde küçük ölçekli çok sayıda andezit ve dasit daykları gözlenmiştir (Şekil 30). Daykların kalınlığı 1-12 m arasında, arazide izlenebilen uzunlukları 5-30 m arasında değişmektedir.

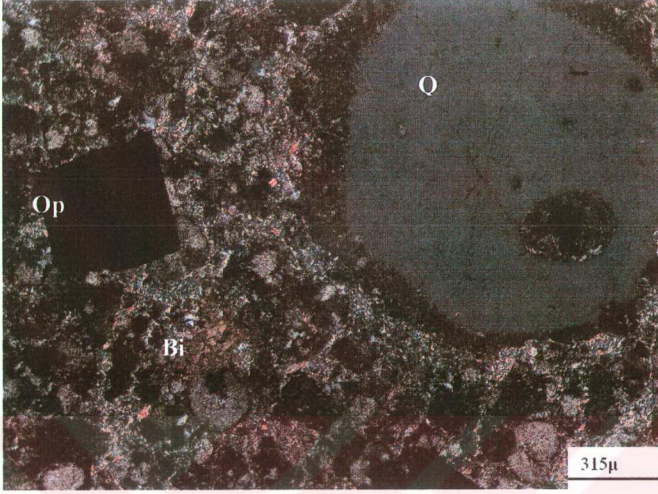


Şekil 30. Kızılkaya Formasyonu'ndaki dasit daykı (a,Yer; Zigana tüneli 100 m batısı yol şevi ve andezit daykı (b,Yer: Bekçiler köyü 200 m güneyi, yol şevi)

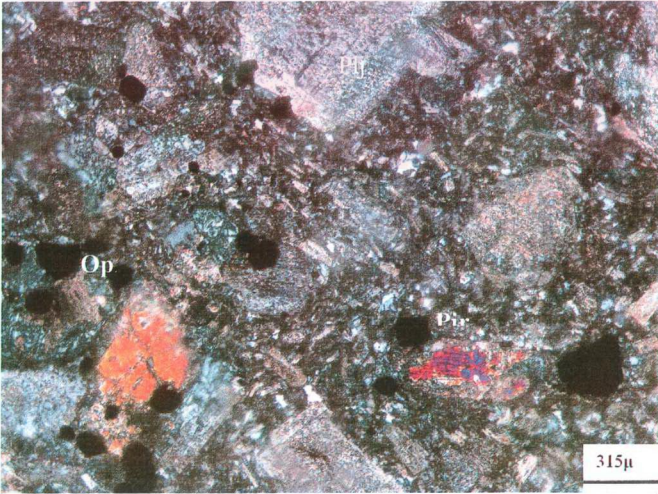
Dasit daykları özellikle yoğun cevher içeren dasititik volkanitlerde görülmüştür. Dasit dayklarının en belirgin özellikleri kolonsu debi göstermeleridir. Söz konusu bu dayklar gerek arazideki görünüşleri gerekse kolonsu debileri ile yoğun cevherleşme içermeyen dasitlere benzemektedir. Ayrıca söz konusu dasit dayklarının stratigrafik konumları (yoğun cevherleşme içeren dasitik volkanitleri kesmeleri) nedeniyle mor dasitleri oluşturan magmanın yarı derinlik kayaçları olabileceğini düşündürmektedir. Ancak söz konusu yorumun doğrulanması için dasit dayklarıyla cevherleşme içermeyen dasitler jeokimyasal olarak karşılaştırılmalı, jeokimyasal ve jeotektonik modelleme yapılmalıdır.

Dasit dayklarından alınan örneklerin ince kesit incelemesi sonucunda kayaç dokusunun mikrogrenü porfirik olduğu belirlenmiştir. Hamur kuvars, biyotit ve plajiyoklas tanelerinden oluşmaktadır (Şekil 31). Kayaçta, kuvars, biyotit, opak mineral ve genellikle serizitlemiş plajiyoklas mineralleri bulunur. Kuvars öz ve yarı öz şekilli olarak, tüm incekesitlerde oldukça bol miktarda görülmektedir. Plajiyoklas genelde kayaç içerisinde az miktarda ve çoğunlukla ayrılmış iri kristaller halinde bulunmaktadır. Yapılan cins tayinlerinde, plajiyoklasların oligoklas (An₁₈₋₂₅), oldukları belirlenmiştir. Plajiyoklaslarda çoğunlukla serizitleşme, bazende kalsitleşme ve nadiren de killeşme görülmektedir. Biyotit ise kayaç içerisinde az miktarda bulunur ve çoğunlukla kloritlemiş iri kristaller halindedir. Opak mineraller az miktarda, dağınık halde yarı öz şekilli ve özşekilsiz olarak görülmektedir.

İnceleme alanındaki Çatak Formasyonu ve Kızılkaya Formasyonu'nda rastlanılan andezit daykları genelde koyu gri, yeşilimsi kahverengimsi renkte olup genellikle çok kırıklı çatlaklıdır. Andezit dayklarından alınan örneklerin ince kesit incelemesinde kayaç dokusu mikrolitik porfirik olduğu gözlenmiştir (Şekil 32). Hamur malzemesi genellikle plajiyoklas mikrolitlerinden oluşmaktadır. Mineral içeriği plajiyoklas, piroksen, opak minerallerden oluşmaktadır. Plajiyoklaslar ise ayrışma etkisi ile genellikle serizitlemişlerdir. Piroksenler yarı öz şekilsiz ve öz şekilsiz olarak bulunmaktadır ve ojit oldukları belirlenmiştir. Opak mineraller hamurda bol miktarda ve çoğu kez iri bazen de küçük taneler halinde gözlenirler.



Şekil 31. Dasit dayklarında mikro granü porfirik doku (ÇN. Q: Kuvars, Op: Opak mineral, Bi: Biyotit. Yer: Zigana tüneli 100 m batısı yol şevi)



Şekil 32. Andezit dayklarında mikro granü doku (ÇN, Plj:Plajiloklas, Pir: Piroksen, Op: Opak mineral Yer: Bekçiler köyü 200 m güneyi, yol şevi).

Kızılkaya Formasyonu Turoniyen-Santoniyen yaşında olanı Çatak Formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Kızılkaya Formasyonunun üzerinde uyumlu olarak Çağlayan Formasyonu bulunmaktadır.

Güven (1993), bu formasyon içinde yaş verebilecek fosil içeren tortul kayaçların bulunmadığını belirterek, formasyonun Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu gelmesi ve Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile de uyumlu olarak örtülmesi nedeniyle, söz konusu formasyona Santoniyen yaşını vermiştir.

Eyüboğlu (2000), Tirebolu-Doğankent (GİRESUN) arasında yaptığı çalışmada Kızılkaya Formasyonu olarak adlandırdığı dasitik volkanitlerin arasındaki değişik tortul seviyelerden aldığı örneklerde Turoniyen(?)-Santoniyen yaşını veren *Dicarinella sp.*, *Whiteinella sp.*, *Marginotruncana coronata (BOLLİ)* mikrofosillerini belirlemiştir.

MTA ekibi inceleme alanını da içine alan yörede yaptığı ve henüz tamamlanmayan çalışmasında Kızılkaya Formasyonu'ndaki pelajik kireçtaşlarında Turoniyen- Koniasiyen-Santoniyen yaşını veren *Marginotruncana Pseudolinneiana (PESSAGNO)*, *Globigerinidae*, *Dicerinella sp.*, *Coronata (BOLLİ)*, *Marginotruncana*, *Archaeoglobigerina sp.*, *Whiteinella sp.*, *Schackoina sp.* mikrofosillerini saptamıştır. (Fosiller K. Erdoğan (MTA, 2003) tarafından tanımlanmıştır. İskender Kurt, MTA, Sözlü görüşme, Ocak, 2005). MTA ekibi, aynı çalışmada, sökonusu birimin asitik piroklastikleri içerisinden alınan kırmızı renkli pelajik karbonatlarda Santoniyen yaşını *Dicerinella Concavata (BROTZEN)*, *Marginotruncana sp.*, *Dicerinella sp.*, *Globigerinidae*, *Marginotruncana Pseudolinneiana (PESSAGNO)*, *Marginotruncana Coronata (BOLLİ)* mikrofosilleri belirlemiştir. Bu fosil verilerine ve stratigrafik verilere (Çatak Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmesi ve üzerinde uyumlu olarak Çağlayan Formasyonu'nun bulunmasına) dayanılarak Kızılkaya Formasyonu'nun yaşı Turoniyen(?)- Santoniyen olarak belirlenmiştir.

Kızılkaya Formasyonu yoğun bir dasitik volkanizmanın egemen olduğu ve bu volkanizmanın durakladığı dönemlerde ince taneli tortulların, kırmızı renkli biyomikritlerin çökeldiği derin deniz ortamında gelişmiştir.

Bu Formasyon, Harşit (Doğankent-Giresun) yöresindeki Üst Kretase yaşlı dasit, tüf ve breşler (Gediköğlu, 1978); Zigana (Tirebolu-Gümüşhane) yöresindeki Zigana Formasyonu'nun D1 Üyesi (Türk-Japon Ekibi, 1985); Maçka (Trabzon) güneyi yöresindeki dasit ve piroklastlardan oluşan D1 Üyesi (Gülibrahimoğlu, 1985); Çaykara (Trabzon) yöresindeki Şahinkaya Üyesi (Bulut, 1989); Doğankent (Giresun) civarındaki

Harşit vadisinde II. Volkanik Episod (Köprübaşı, 1992), Zigana (Gümüşhane) yöresindeki Bekçiler Formasyonu (Yalçınalp, 1992) ve Kürtün-Torul (Gümüşhane) karayolunu içene alan yörede yüzeylenen Kirazlı Formasyonu Diker Üyesi (Şirin 1995) ile hem litoloji hem de stratigrafik olarak benzerdir.

3.2.3. Çağlayan Formasyonu

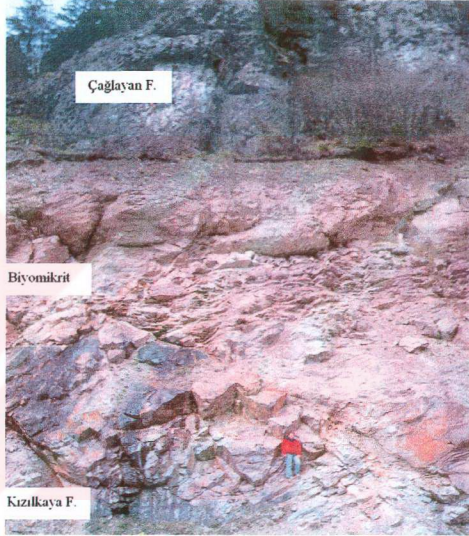
Doğu Karadeniz Bölümü'nün Kuzey kısmında yaygın olarak yüzeylenme veren bazik kayalar çeşitli araştırmacılar tarafından farklı isimler kullanılarak tanımlanmışlardır. En yaygın olarak kullanılan isimlerden biri de Alt Bazik ve Üst Bazik Volkanik Seri' dir (Gediköglü,1978). Maçka (Trabzon) kuzeyindeki Çağlayan köyü ve civarında en iyi yüzeylenmesini veren Kampaniyen- Maastrichtiyen yaşlı bazik volkano-tortul kayalardan oluşan birim ilk olarak Güven (1993) tarafından "Çağlayan Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında tortul ara katmanlı dasitik volkanitlerden oluşan Kızılkaya Formasyonu üzerine gelen bazik volkano-tortul istif Çağlayan Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olduğundan, Çağlayan Formasyonu olarak isimlendirilmiştir.

Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ve marn ara seviyeleri içeren andezitik-bazaltik volkanitlerden oluşan Çağlayan Formasyonu inceleme alanında Bekçiler mevkinin batısında, Zigana Tünelinin hemen güney batısında ve Zigana Dağı civarında yaklaşık 2 km² lik alanda yüzeylenmiştir (Şekil 33).

Çağlayan Formasyonu'ndaki bazalt ve andezitler arazide genellikle koyu gri ve yeşilimsi gri renklerde görülürler, özellikle kloritleşmenin yoğun olduğu kesimlerde ise yeşile yakın renklerde dirler.

Bazalt örneklerinin mikroskobik incelemesinde, bunların spilitik bazalt oldukları belirlenmiştir. Örneklerde mikrolitik doku; ince taneli ve çoğunlukla mikrolitik olan hamur içersinde albit mikrolitlerinden ojit ve opak mineral taneciklerinden oluştuğu görülmüştür. Plajiyoklaslar hem iri taneler hemde hamurda mikrolitler halinde bulunur İri plajiyoklas kristalleri çoğunlukla altere olmuştur. Bu alterasyon çoğunlukla killeşme ve serisitleşme şeklindedir. Tamamen altere olmamış bazı iri plajiyoklas kristallerinde zonlu yapı izlenmekte, bazılarında da albit ikizlenmesi görülmektedir. Plajiyoklasların cins tayininde albit (An₈₋₁₀) oldukları belirlenmiştir. Ojitler hamur içersinde çok küçük ve

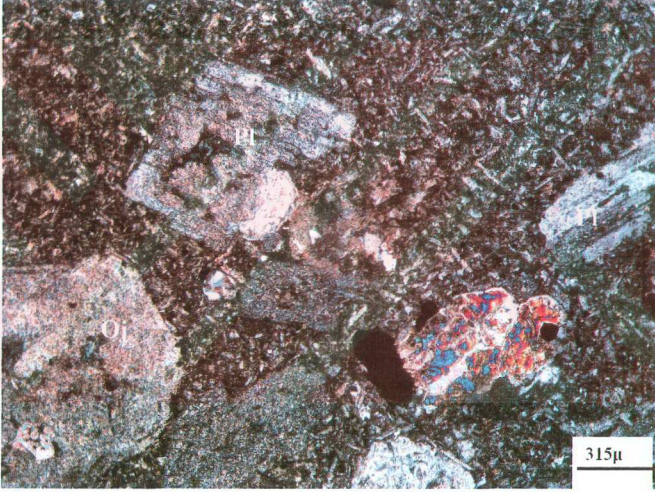
yuvarlağımsı taneler halinde bulunmakta olup kendilerine özgü yeşil renkleriyle karakteristiktirler. Klorit çoğunlukla plajiyoklasların ayrışma ürünü yer yer de boşluk dolgusu olarak bulunmakta olup yeşilimsi renkleriyle kayaç içerisindeki diğere minerallerden kolaylıkla ayırt edilmektedir. Kalsit plajiyoklasların ayrışma ürünü, yer yer de boşluk ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Opak mineral kayaç içerisinde bol miktarda dağıntık düzensiz taneler halinde yer yer de kümeleşmiş olarak bulunmaktadır.



Şekil 33. Çağlayan Formasyonu bazaltik-andezitik volkanitlerin arazideki görünüşü ve Kızılkaya Formasyonu ile sınırı (Yer: Bekçiler Mevkii)

Andezitlerde makroskobik olarak plajiyoklas ve hornblend mineralleri tanımlanabilmektedir. İnce kesit incelemelerinde andezitlerin mikrolitik porfirik dokuda oldukları görülmüştür (Şekil 34). Hamurun plajiyoklas, hornblend, biyotit ve opak minerallerin mikro ve kriptokristallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklas iri levhamsı prizmatik kristaller halinde ve hamurda da küçük kristaller halinde bulunmaktadır. İri plajiyoklas kristalleri, öz ve yarı öz şekilli olup albit ve polisentetik ikizlenmesi

göstermekte ve bazen zonlu yapı izlenmektedir Yapılan cins tayinlerinde plajiyoklasların andezin-oligoklas (An_{20-35}) bileşiminde oldukları belirlenmiştir. Plajiyoklaslar çoğunlukla kalsitleşmiş ve serizitleşmiştir. Hornblend iri, öz ve yarı öz şekilli, çubuğumsu prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde olup kenar kısımlarında da opak mineraller gelişmiştir. Biotit iri kristaller halinde ve çoğunlukla tamamen kloritleşmiş olarak görülmüştür. Opak mineraller genellikle köşeli, yuvarlak ve düzensiz şekillerden oluşmakta olup bazı kesitlerde oldukça fazladır. Kalsit hem plajiyoklasların ayrışma ürünü hemde boşluk ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Klorit mineralleri biyotitlerin ayrışma ürünü olarak bulunurlar.



Şekil 34. Çağlayan Formasyonu'ndaki andezitlerde mikrolitik porfirik doku (Ç.N. Pl: Plajiyoklas, Oj: Ojit, Yer Zigana Dağı)

Çağlayan Formasyonu'ndaki piroklastitler çoğunlukla aglomera ve tüf daha az olarak da tüffitten oluşmaktadır. Aglomeralar söz konusu formasyonun taban seviyelerinde görülmüştür (Şekil 33). Aglomera çakıllarının boyutları 5-30 cm arasında değişmekte olup koyu renkli ve ince taneli volkanik malzeme ile birbirine bağlanmıştır. Tüfler çoğunlukla tabakalı yapıda ve diğer piroklastik kayalarla ardalanmalı olarak bulunmaktadır.

İnceleme alanın yakın civarında, özellikle Zigana Dağı'nın güneyinde, Çağlayan

Formasyonu volkanitleri arasında ara katkı olarak genellikle açık sarı, gri, sarımsı gri renkte olan ince tabakalı killi kireçtaşları, kumlu kireçtaşları, kumtaşları ve marllar gözlenmiştir. Söz konusu tortul ara katmanlar belirgin tabakalanma göstermekte ve kalınlığı 2-25 m arasında değişmektedir.

Çağlayan Formasyonu Kızılkaya Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte olup üst sınırı çalışma alanında izlenememektedir.

Güven (1993), bu birim içindeki tortul kayalardan aldığı örneklerde *Globotruncana Arca CUSHMAN*, *Globotruncana Lapparenti Tricarinata (QUERREAU)*, *Globotruncana cf. Bulloides VOGLEduğR*, *Globotruncana Coronate Bolli*, *Globigerina sp.*, *Gümbelina sp.* fosil türlerine göre Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşını vermiştir. Bu çalışmada Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılan birimi Hamsiköy tortul-volkanik karmaşığı olarak haritalayan Yalçınalp (1992), bu karmaşık içindeki kırmızı biyomikritlerde Kampaniyen-Mestriştien yaşını veren *Globotruncana tricarinata QUERREAU*, *Globotruncana linneiana d'ORBIGNY*, *Globotruncana arca CUSMAN*, *Globotruncana bulloides VOGLER*, *Globotruncana cf. stuartiformis DALBIEZ*, *Globotruncana fornicata PLUMMER*, *Globotruncana falsostuarti SIGAL* ve *Globotruncana ganserri BOLLI* mikrofosillerini belirlemiştir. Bu fosil bulguları nedeniyle Çağlayan Formasyonu'nun Kampaniyen-Maastrichtiyen olduğu kabul edilmiştir.

Çağlayan Formasyonu bazaltik-andezitik volkanizmanın egemen olduğu ve bu volkanizmanın duraksadığı dönemlerde de tortul kayaların çökeldiği denizel ortamda oluşmuştur. Bu formasyonda kumtaşlarının yer alması ve tortul kayaların piroklastiklerle ardalanamalı olması, çökeltme ortamının zaman zaman sığlaştığının ve ani değişiklikler gösterdiğini düşündürmektedir.

Bu Formasyon, Doğan kent (Giresun) civarındaki Üst Bazik Volkanik Seri (Gedikoğlu 1978), Zigana yöresinde (Gümüşhane) Üst Kretase yaşlı Zigana Formasyonu'nun A2 Üyesi (Türk-Japon Ekibi, 1985), Güzelyayla (Maçka-Trabzon) yöresinde Hamsiköy Tortu-volkanik Karmaşığı (Yalçınalp, 1992); Çaykara (Trabzon) yöresinde Karona Üyesi (Bulut, 1989), Maçka (Trabzon) güney yöresinde Andezit-bazalt ve piroklastiklerden oluşan B2 Üyesi (Gülibrahimoğlu, 1985), Kürtün (Gümüşhane) yöresindeki Kirazlık Formasyonu Diker Üyesi (Şirin, 1995) ile hem litoloji hem de stratigrafik olarak benzerdir.

3.3. Yapısal Jeoloji

3.3.1.Tabakalar

Çatak Formasyonu içerisinde yer alan bordo renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, tüffit ve bazen de tüfler tabakalı yapıdadır. Tabaka kalınlıkları tüf ve tüffitlerde 5-45 cm, arasında, killi ve kumlu kireçtaçlarında 4-16 cm arasında değişmektedir. Çatak Formasyonu'ndaki tabakaların eğimi çoğunlukla 30-40 derece arasında olup eğim yönleri genellikle GD' ya doğrudur. Ancak küçük kıvrımlanmalar ve yersel ölçekteki küçük faylanmalardan dolayı söz konusu tabakalar KB'ya doğru eğim kazanmışlardır.

Kızılkaya Formasyonu'nda dasitik volkanitler içinde bulunan killi kireçtaşı ve kumtaşları kalınlıkları 5-25 cm arasında değişen iyi gelişmiş tabakalı yapı göstermektedirler. Bu tabakaların duruşları Çatak Formasyonu'ndaki tortul ara katkılarla uyumludur.

Çağlayan Formasyonu volkanitleri arasında ara katkı olarak bulunan killi kireçtaşları, kumlu kireçtaşları, kumtaşları ve marn belirgin tabakalanma göstermekte olup kalınlığı 2-25 m. arasında değişmektedir. Çağlayan Formasyonu'ndaki tortul ara katmanları doğrultu ve eğimleri Kızılkaya Formasyonu'ndaki tortul kayaçların duruşlarıyla uyumludur.

3.3.2.Çatlaklar

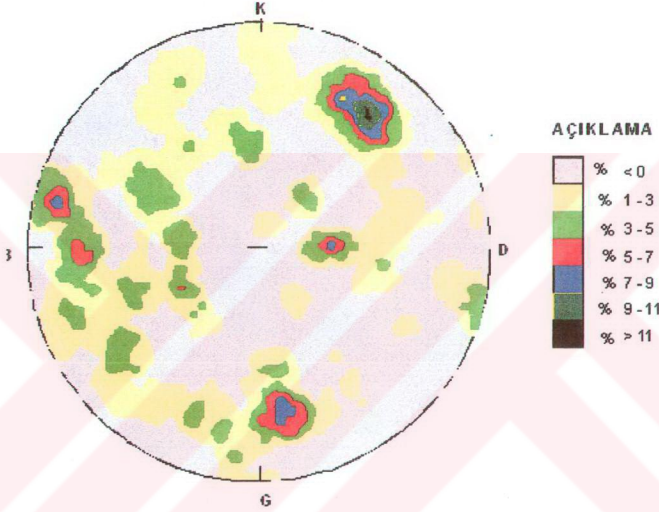
İnceleme alanında yüzeylenen andezitik-bazaltik volkanitler ve dasitik volkanitlerde egemen yapısal unsur çatlaklardır. Bu volkanitlerin arasında ara katkı olarak bulunan tortul kayaçlar hem bölgesel tektonik hareketler, hem de oluşumlarından sonra gelişen volkanik aktiviteler nedeniyle çatlaklı yapı kazanmışlardır.

Çatak Formasyonu'ndaki volkanitler çoğunlukla az ve orta derecede ayrılmıştır. Bu volkanitlerde çatlak ara uzaklığı 5 ile 60 cm arasında değişmekte olup ortalama çatlak ara uzaklığı 32 cm dir. Söz konusu volkanitlerde çatlak dolgusu çoğunlukla kalsit, yer yer de kildir.

Çağlayan Formasyonu'ndaki volkanitler çoğunlukla az ayrılmışlardır. Bu

volkanitlerde çatlak ara uzaklığı 10 cm ile 135 cm arasında değişmektedir. Çatlak yüzeyleri çoğunlukla ayırışmamış ve kalsit dolguludur.

Kızılkaya Formasyonu dasitik volkanitlerin süreksizliklerden alınan ölçümlere göre kontur diyagramı çizilmiştir (Şekil 35) Şekil 35 incelendiğinde Kızılkaya Formasyonu'ndaki volkanitlerde hakim çatlak sistemlerinin 215/78, 335/72, 104/88 ve 270/36 lduğu görülmektedir. Kızılkaya Formasyonu'ndaki daykların duruşu 215/78 ve 335/72 sistemleriyle uyumludur.



Şekil 35. Kızılkaya Formasyonu'ndan alınan 546 çatlak ölçüsüne göre hazırlanmış kontur diyagramı (Alt yarım küre)

3.3.3. Faylar

İnceleme alanında devamlılığı olan 2 tane fay mevcuttur (F1 ve F2 fayları, Şekil 20). Bu faylar hava fotoğraflarında rahatlıkla izlenebilmektedir. Her iki fay K45D doğrultusuna sahiptir

F1 fayı inceleme alanının batısında yer almakta olup 80° GD'ya doğru eğimli normal faydır. Bu fay Maçikon Mevki civarında Ayur Dere vadisinde Çatak Formasyonu ile Kızılkaya Formasyonu arasındaki sınırı oluştururken inceleme alanının Savaslı Mahallesi civarında Çatak Formasyonu yayılım gösterdiği alanda gelişmiştir (Şekil 20).

F2 fayı düşey atımlı olup inceleme alanının güney doğusunda Kızılkaya Formasyonu ile Çağlayan Formasyonu arasındaki sınırı oluşturmaktadır (Şekil 20).

Arazide, söz konusu bu iki faya paralel ve bunları yaklaşık 65-80 arasında değişen derecelik açılarla kesen devamlılığı çok az olan çok sayıda fay gözlenmiştir. Bu faylar boyunca kayaçlar oldukça kırıklı yapı kazanmış ve ayrıışmışlardır.

3.4. Kaya Malzemesi İndeks ve Dayanım Özellikleri ve Ayrıışmayla Değişimi

İncelenme alanında seçilen yol şevlerinde belirlenen jeoteknik birimlerin mühendislik amaçlı tanımlanması, kaya kütle dayanımlarının görgül olarak bulunması ve kazı şevlerinin duraylılığının kaya kütle sınıflamalarıyla incelenmesi için kaya malzemesinin indeks özelliklerinin ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada indeks özellikler kaya malzemesini tanımlamak ve tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır (Tablo 15).

İncelenen karot örneklerdeki elastik boyuna dalganın yayılma hızı örnek boyunun ultrasonik dalganın örneği katediş süresine oranından bulunmuştur. Söz konusu süre ölçümü örneklerin hem doygun hem de kuru haldeki durumları için oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Genellikle ayrıışmış kayaçlar, kil içeren kayaçlar ve zayıf kayaçlar için uygulanan indeks deneylerden biri olan suda dayanım deneyi, iki standart ıslanma-kuruma devrine tabi tutulan kaya örneklerinin suda dağılmaya karşı gösterdiği direncinin belirlenmesine yöneliktir. Bu deney ilk kez Franklin ve Chandra (1972) tarafından, çamurtaşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma şeklindeki fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek için geliştirilmiş olup ISRM (1979) tarafından standart hale getirilmiştir. Daha sonra, deney Lee ve Freitas (1988) tarafından ele alınarak yeniden düzenlenmiştir. Dasitik volkanitlerden alınan blok örneklerin suda dayanım deneyi sonuçları Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 15 . Jeoteknik birimlerde kaya malzemesinin indeks ve dayanım özellikleri

Blok	WD	G	γk kN/m ³	γd kN/m ³	n %	ne %	Vk (m/sn)	Vd (m/sn)	R	σci (MPa)		Is ₍₅₀₎ MPa
										Kuru	Doymun	
D1B*	F	2,72	26,33	26,50	3,2	1,7	4002	4214	58,0	190,0	146,9	7,4
D4A	F	2,72	25,88	26,19	4,8	3,0	3918	4109	55,0	175,0	129,4	7,0
D3-A	SW	2,67	24,53	25,04	8,1	5,1	3813	3992	48,0	167,4	120,1	7,0
D4B	SW	2,70	25,52	25,89	5,5	3,7	3855	4025	52,0	163,9	120,7	5,9
D4C	SW- MW	2,74	25,81	26,18	5,8	3,7	3630	3788	46,0	144,3	74,0	5,65
D1A	MW	2,71	24,57	25,07	9,3	5,0	3594	3722	42,0	115,6	64,3	4,91
D3B	MW	2,66	23,69	24,41	11,1	7,2	3505	3658	36,0	93,3	58,0	3,96
D1D	MW	2,72	24,53	25,08	9,8	5,5	3498	3659	38,0	99,6	40,1	4,02
D1E	MW- HW	2,710	24,44	25,03	9,8	5,8	3318	3493	37,0	89,7	36,7	3,05
D3C	HW	2,68 0	23,24	24,04	13,3	8,0	3181	3437	32,0	82,5	36,7	2,6
D1C	HW	2,710	24,20	24,82	10,7	6,3	3170	3362	26,0	74,6	35,8	3,75
D4E	HW	2,780	26,09	26,48	6,2	3,9	3129	3384	22,0	72,0	24,9	2,48
A2a**	F	2,79	26,84	27,08	3,7	2,4	3923	4058	54	181,6	98,8	6,25
A2B	SW	2,75	25,84	26,31	6,1	4,7	3658	3841	42	140,6	97,3	5,80
A2C	HW	2,73	25,25	25,81	7,5	5,6	3265	3617	37	86,8	57,9	3,20

(*D; dasitik volkanitlerden alınan blok örnekler, A**: Andezitlerden alınan blok örnekler, WD: Ayrışma derecesi, F: Ayrışmamış, SW: Az ayrılmış, MW: orta derecede ayrılmış, HW: Yüksek derecede ayrılmış, G: Özgül ağırlık, γk: kuru birim hacim ağırlık, γd: doymun birim hacim ağırlık, n : porozite, ne : efektif porozite, R: Schmidt çekiçi geri tepme sayısı, σci: tek eksenli basınç dayanımı, Is₍₅₀₎: Nokta yük dayanımı)

Tablo 16. Değişik derecede ayrılmış dasitler için bulunan suda dayanım indeksi değerleri

Blok	WD	Çevrim					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
D1B	F	99,7	99,6	97,9	97,1	96,8	96,7
D4A	F	99,8	99,5	98,4	97,3	96,9	96,9
D3-A	SW	97,3	96,7	91,3	85,3	80,3	80,2
D4B	SW	96,8	96,2	89,7	84,2	78,4	78,1
D4C	SW-MW	89,2	84,5	74,5	68,2	62,3	61,2
D1A	MW	78,2	76,6	69,5	61,8	56,6	54,3
D3B	MW	85,1	82,7	63,8	57,1	53,2	52,1
D1D	MW	83,6	78,4	66,2	60,5	54,2	52,3
D1E	MW-HW	71,8	68,2	56,2	53,1	47,5	45,2
D3C	HW	56,3	53,1	48,7	43,5	39,8	37,9
D1C	HW	60,3	57,7	52,5	44,6	37,2	36,1
D4E	HW	54,3	51,3	48,9	41,7	35,4	33,8

Arazide ayrıtılan jeoteknik birimlerde, dasitik ve andezitik volkanitlerde, ayrışmayla oluşun değişimler arazide ve laboratuarda kolaylıkla tanımlanabildiğinden söz konusu birimlerde ayrışma dereceleri kolaylıkla belirlenebilmektedir (Tablo 17 ve 18) Bu durum arazide ayrışma derecesi tanımlanan söz konusu volkanitlerin indeks ve dayanım özelliklerinin belirli aralıkta tahmin etme olanağını vermektedir.

Tablo 17. Dasitlerin indeks ve dayanım özelliklerinin ayrışmayla değişimi

İstatiksel WD değerler	G	γ_k kN/m ³	γ_d kN/m ³	n %	ne %	Vk (m/sn)	Vd (m/sn)	σ_i (MPa) Kuru Doyg		R	Is ₍₅₀₎ MPa
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	-	40
ort	2,72	26,16	26,39	3,8	2,2	3968	4166	183,1	138,2	-	7,0
max	2,732	26,47	26,62	5,6	3,5	4233	4420	236,5	162,5	64	7,4
min	2,717	25,68	26,02	2,7	1,4	3769	3916	148,0	125,0	55	6,8
ss	0,02	0,23	0,164	0,83	0,68	116	131	232	121	-	0,32
v(%)	0,7	0,9	0,6	22	31	3	3	13	9	-	4,5
N	38	38	38	38	38	38	38	38	38	-	45
ort	2,696	25,15	25,58	6,7	4,3	3779	3951	159,1	104,9	-	6,4
mak	2,74	26,09	26,44	9,6	5,7	4119	4431	175,8	146,5	58	7,0
min	2,67	24,13	24,56	3,9	2,1	3470	3621	123,8	42,4	45	5,5
ss	0,028	0,6	0,53	1,43	0,95	135	150	15,2	26,5	-	0,85
v(%)	1	2	2	21	22	4	4	10	25	-	13
N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	-	50
ort	2,701	24,31	24,90	10	5,3	3477	3632	99,5	49,8	-	4,1
max	2,72	24,86	25,44	15,4	7,8	3868	4052	121,2	68,6	48	6,1
min	2,66	22,43	23,04	7,3	4,3	3021	3133	74,6	27,5	35	3,0
ss	0,024	0,53	0,48	1,5	0,97	189	188	13,5	13,2	-	1,2
v(%)	0,9	2	2	15	18	5	5	14	26	-	29
N	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-	35
ort	2,722	24,46	25,08	11,9	6,8	3160	3396	76,6	32,4	-	2,3
max	2,78	26,36	26,74	15,8	8,4	3323	3562	108,1	44,7	38	3,2
min	2,68	22,67	23,45	5,1	3,4	2806	3124	50,6	14,9	20	2,0
ss	0,044	1,26	1,1	3,2	1,75	125	114	15,1	8,7	-	0,26
v(%)	1,7	5	4	27	26	4	3	20	27	-	11

Tek eksenli basınç dayanımı belirlemek için uygulanan yöntemlerden biri sadece basit araçların (jeolog çekici, çakı) kullanıldığı, elle uygulanabilen ve standart olmayan basit mekanik deneylerdir. Jeolog çekicinin darbelerine karşı direnç, tanelerin elle koparılması, jeolog çekicinin sivri ucuyla yapılan penetrasyon deneyi söz konusu basit mekanik deneyleri için birer örnektir. Bu deneylerin sonucu uygulayan kişiye göre farklı olabilmektedir ve doğruluğu Schimdt çekici ile sertliğin ölçümüne ve Nokta yükleme

deneyine göre daha azdır. Ancak bu tür deneyler arazide çok hızlı olarak, kolaylıkla ve daha çok sayıda uygulanabilmektedir.

Tablo 18. Andezitlerin indeks ve dayanım özelliklerinin ayrışmayla değişimi

İstatiksel WD değerler	G	γ _k kN/m ³	γ _d kN/m ³	n %	n _e %	V _k m/sn	V _d (m/sn)	σ _{ci} (MPa)		R	I _s (50) MPa	
								Kuru	Doym			
F	N	11	11	11	11	11	11	11	11	-	15	
	ort	2,79	26,8	27,1	3,7	2,4	3923	4058	181,6	98,8	6,8	
	max	2,79	27,2	27,3	5,2	3,7	4090	4245	206,3	123,0	56	7,6
	min	2,79	26,4	26,8	2,5	1,2	3674	3841	16,9	59,5	48	4,8
	ss	-	0,2	0,2	0,7	0,6	126	102	14,6	29,3	-	0,84
	v(%)	-	0,70	0,60	19,0	25,0	3,0	2	8	30	-	12
SW	N	10,	10,	10	10	10	10	10	10	10	-	20
	ort	2,75	25,8	26,3	6,1	4,7	3658	3841	140,6	97,3	-	4,7
	max	2,75	26,3	26,6	7,3	5,7	3730	4076	158,2	102,3	50	5,5
	min	2,75	25,5	26,1	4,6	3,5	3512	3665	114,0	92,3	42	3,8
	ss	-	0,3	0,2	1,0	0,9	82	119	16,3	3,9	-	0,87
	v(%)	-	1,0	0,7	16,0	19,0	2,0	3,0	12	4,0	-	18
MW	N	10	10,	10	10	10	10	10	10	10	-	15
	ort	2,73	25,3	25,8	7,5	5,6	3265	3617	86,8	57,9	-	3,8
	max	2,73	25,7	26,2	9,1	8,1	3372	3873	98,9	67,8	43	4,1
	min	2,73	24,8	25,	5,8	4,3	3118	3479	76,5	48,0	36	2,3
	ss	-	0,3	0,2	1,1	1,2	76	118	8,4	8,3	-	1,02
	v(%)	-	1,0	1,0	15,0	21,0	2,3	3,0	10,0	-	-	27

Schmidt çekiçi geri tepme sayılarından itibaren kayaların tek eksenli basınç değerini belirlemek için iki kart (grafiksel ilişki) bulunmaktadır. Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen kartla L-tipi çekiç ile ölçülen geri tepme sayısının kayanın birim hacim ağırlığına çarpılmasıyla elde edilen değerler yardımıyla tek eksenli basınç direnci tahmini yapılabilmektedir. İkinci kart, Schmidt çekiçi üreticisi tarafından (çekiç üzerinde) verilmektedir ve R ile σ_C arasında doğrusal ilişki olduğunu varsaymaktadır. Araştırmacılar, çoğu kez, σ_C ile R arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını belirtmektedirler (Tablo 19).

Tablo 19. Schmidt çekiçi sertliğinden yararlanılarak tek eksenli basınç dayanımının(σ_C) bulunmasını sağlayan bağıntılar (σ_{Ci} değerleri MPa olarak alınmıştır).

Bağıntı	Kaynak	Bağıntı	Kaynak
σ _{Ci} =1.3824R+8	Çekiçi üreticisi (1960) (Lee 1987 den alınmıştır)	log σ _{Ci} =3.46 log (R)-3.72	İrfan ve Dearman 1978
σ _{Ci} =6.9 10 ^(0.16+0.0087R_y)	Deere ve Miller 1966	σ _{Ci} =0.447 e ^(0.045R_y)	Kidybinski 1968
σ _C =6.9 10 ^{(1.348 log(R_y))}	Aufumuth 1973	σ _{Ci} =0.01645R+1.37338	Lee 1987
log(σ _C)=0.4578log(R)+0.03	Carter ve Snedden 1977	σ _{Ci} =0.02757R ^{2.86}	Ceryan,1999

Kazı şevlerinin açıldığı dasitik volkanitlerde tek eksenli basınç dayanımının, Schmidt çekici geri tepme sayısı (R) ve geri tepme sayısının birim hacim ağırlık ile çarpımından elde edilen ($R\gamma$) değerlerinden bulunabileceği belirlenmiştir (Şekil 36). Aşağıda verilen ilişkilerin anlamlılığı F testi ile kontrol edilmiş ve regresyon denklemi kurulduktan sonra korelasyon katsayısı t dağılımı ile test edilmiştir.

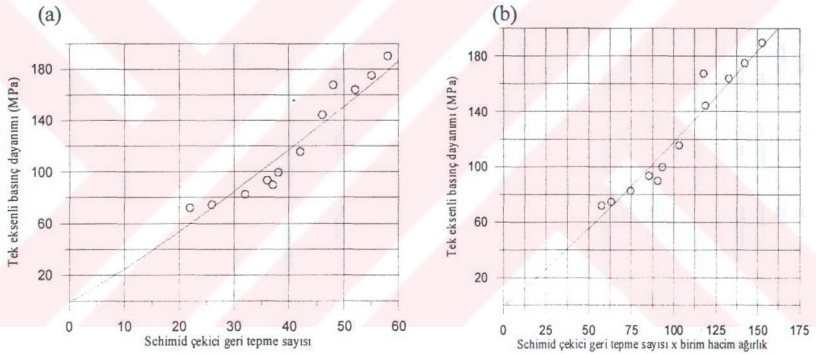
$$\log(\sigma_{ci}) = 1.1332 \log(R) + 0.584 \quad (18)$$

$$(R^2 = 0.900, N=12)$$

$$\log(\sigma_{ci}) = 1.09322 \log(R\gamma) - 0.26549 \quad (19)$$

$$(R^2 = 0.936, N=12)$$

Eşitliklerde σ_{ci} : tek eksenli basınç dayanımı (MPa), R: Schmidt çekici geri tepme sayısı, γ : birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

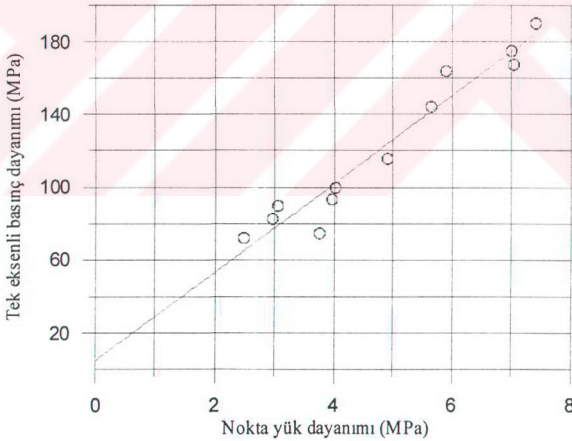


Şekil 36. Dasitlerde tek eksenli basınç dayanımı ile Schmidt çekici geri tepme sayısı arasındaki (a) ve Schmidt çekici geri tepme sayısı x birim hacim ağırlık değeri arasındaki ilişki (b)

Nokta yük deneyi avantajlarından dolayı, kayaların basınç direncini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde σ_{Ci} ile $I_{S(50)}$ arasında çoğunlukla $\sigma_{Ci} = k I_{S(50)}$ şeklinde ilişkinin olduğu belirtilmektedir (Tablo 20). Bu çalışmada da dasitlerin tek eksenli basınç dayanımının nokta yük dayanımından yararlanarak tahmin edilebileceği belirlenmiştir (Şekil 37).

Tablo 20. Nokta yük direnci ile tek eksenli basınç direnci arasındaki ilişkiler (σ_C ve I_S nin birimi MPa, çapın birimi mm dir)

Bağıntı	Kaynak	Bağıntı	Kaynak
$\sigma_{Ci}=15.31 I_S+2.4$	D'Andrea ve diğ (1965)	$\sigma_{Ci}=16.5 I_{S(50)}+51$	Gunsallus ve Kullhawy, (1984)
$\sigma_{Ci}=24 I_{S(50)}$	Broch ve Franklin (1972)	$\sigma_{Ci}=23.8 I_{S(50)}$	
$\sigma_{Ci}=18 I_{S(21.5)}$ $\sigma_{Ci}=21 I_{S(42)}$ $\sigma_{Ci}=24 I_{S(54)}$	Bieniawski (1975)	$\sigma_{Ci}= k I_{S(0)}$ homojen, izotrop kayada $k=20-25$, anizotrop kayada $k=15-50$	ISRM (1985)
$\sigma_{Ci}=29 I_{S(50)}$	Hassani vd.,(1980)	$\sigma_{Ci}= 23.55 I_{S(63)}$	Türk (1988)
$\sigma_{Ci}=22 I_{S(50)}$	Tarhan (1981)	$\sigma_{Ci}=23 I_{S(54)}+ 13$	Cargill ve Shakoor (1990)
$\sigma_{Ci}=14.5 I_{S(50)}$	Forster (1983)	$\sigma_{Ci}=18.31 I_{S(54)}+ 24.7$	Kahraman (1996)
$\sigma_{Ci}=19.03 I_{S(50)}+31,6$	Ceryan,1999	$\sigma_{Ci}= 24.25 I_{S(50)}+ 4.83$ ($R^2 = 0.944$, $N=12$)	Bu çalışma



Şekil 37. Dasitlerde tek eksenli basınç dayanımı ile Nokta yük dayanımı arasındaki ilişki

3.5. Kaya Kütle Sınıflandırmaları Kullanılarak Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması ve Seçilen Kazı Şevlerin Duraylılığının İncelenmesi

3.5.1. Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma (RMS)

Jeomorfolojik amaçlı sınıflandırma (RMS, Kaya Kütle dayanımı, Selby 1980) doğal yamaçların yüzeyi şekillendiren jeomorfolojik olaylara (erozyona) karşı kaya kütle dayanımı tahmin etmek için geliştirilmiştir. Bu çalışmada RMS sınıflandırmasında kullanılan parametreler ve puanları Monn (1984) ten alınmıştır (Tablo 21). İncelenen kazı şevlerinde tanımlanan jeoteknik birimlerde 4 değişik su durumu (kuru, eser, az ve orta miktardaki su durumu) için bulunan RMS puanı Tablo 22' de verilmiştir.

Tablo 21. Kaya kütle direncinin jeomorfolojik amaçlı ölçümü için önerilmiş sınıflaması (Moon, 1984)

A-Schmidt Çekici Geri tepme sayısı ve puanlar							
<17	17-24	25-28	29-32	33-35	36-37	38-39	40-41
5 ⁽¹⁾	6	7	8	9	10	11	12
42-43	44-45	46-47	48-49	50-52	53-56	57-69	
13	14	15	16	17	18	19	
B-Süreksizli ara uzaklığı (m) ve puanları							
<0,2	0,02-0,25	0,025-0,03	0,03-0,05	0,05-0,7	0,07-0,1	0,1-0,15	0,15-0,2
8	9	10	11	12	13	14	15
0,2-0,25	0,25-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,0
16	17	18	19	20	21	22	23
1-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,9	1,9-2,2	2,2-3	>3	
24	25	26	27	28	29	30	
C-Ayrışma durumu ve puanları							
Ayrışmamış	Az ayrılmış	Orta derece ayrılmış	Yüksek dercede ayrılmış	Tümüyle ayrılmış			
10	9	7	5				
D-Süreksizlik eğimi ve şev düzlemleri ilişkisi							
>30° ve yamaç içine doğru eğimli	<30° ve yamaç içine doğru eğimli	Yatay veya düşey	>30° ve yamaç dışına	<30° yamaç dışına			
20	18	14	9	5			
E-Süreksizlik devamlılığı ve dolgu durumu							
Devamsız	Az devamlı	Devamlı ve dolgunsuz	Devamlı ve dolgu kalınlığı az	Devamlı ve dolgu kalınlığı fazla			
7	6	5	4	1			
F-Süreksizlik açıklığı (mm)							
<0,1	0,1-1	1-5	5-20	>20			
7	6	5	4	1			
G-Su durumu							
Yok	Eser miktarda	Az <25 l/min/10 m ²	Orta miktarda 25-125 l/min/10 m ²	Çok miktarda <125 l/min/10 m ²			
6	5	4	3	1			

(1 : Parametrelerin ölçüm değerlerine göre verilen puanlar italik yazılmıştır)

Tablo 22. Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre bulunan RMS puanı

JT B No	R	Js	Wcm	Jor	Jim	Jap	Wtc	RMS				
								Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
1	Dğ	45	0,54	Orta	(a)	<5mm	2,6	yok				
	Pn	14	20	7	5	4	5	6	61	60	59	58
2	Dğ	54	0,196	Ayrışmamış	(a)	dolgunsuz	2,4	yok				
	Pn	18	15	10	5	5	5	6	64	63	62	61
3	Dğ	41	0,173	Orta	(a)	<5mm	2	yok				
	Pn	12	15	7	5	4	5	6	54	53	52	51
4	Dğ	50	0,2	Ayrışmamış	(b)	<5mm	3,6	yok				
	Pn	17	16	10	18	4	5	6	76	75	74	73
5	Dğ	54	0,3	Az	(a)	<5mm	1,4	yok				
	Pn	18	18	9	5	4	5	6	65	64	63	62
6	Dğ	39	0,121	Yüksek	(a)	>5mm	5,5	yok				
	Pn	11	14	5	5	1	4	6	46	45	44	43
7	Dğ	44	0,909	Orta	(a)	<5mm	4	yok				
	Pn	14	13	7	5	4	5	6	54	53	52	51
8	Dğ	53	0,333	Ayrışmamış	(b)	<5mm	2,5	yok				
	Pn	18	18	10	18	4	5	6	79	78	77	76
9	Dğ	53	0,74	Orta	(b)	<5mm	5,5	yok				
	Dğ	18	22	7	18	4	4	6	79	78	77	76
10	Pn	54	0,625	Ayrışmamış	(a)	<5mm	2,3	yok				
	Dğ	18	21	10	5	4	5	6	69	68	67	66
11	Pn	52	0,33	Orta	(a)	<5mm	2,5	yok				
	Dğ	17	18	7	5	4	5	6	75	74	73	72
12	Pn	53	0,625	Orta	(a)	<5mm	2,4	yok				
	Dğ	18	21	7	5	4	5	6	66	65	64	63
13	Pn	56	0,206	Ayrışmamış	(a)	<5mm	4,5	yok				
	Dğ	18	16	10	5	4	5	6	77	76	75	74
14	Pn	38	1,22	Orta	(b)	>5mm	6,8	yok				
	Dğ	11	25	7	18	1	4	6	72	71	70	69
15	Pn	56	0,85	Az	(a)	<5mm	2,2	yok				
	Dğ	18	23	9	5	4	5	6	70	69	68	67
16	Pn	50	0,299	Az	(a)	<5mm	2,7	yok				
	Dğ	17	17	9	5	4	5	6	63	62	61	60
17	Pn	51	0,215	Orta	(a)	>5mm	5	yok				
	Dğ	17	16	7	5	1	4	6	56	55	54	53
18	Dğ	60	0,48	Ayrışmamış	(a)	<5mm	2,3	yok				
	Pn	19	19	10	5	4	5	6	68	67	66	65
19	Dğ	59	0,28	Ayrışmamış	(a)	<5mm	2,2	yok				
	Pn	19	17	10	5	4	5	6	66	65	64	63
20	Dğ	41	0,44	Orta	(a)	<5mm	3,8	yok				
	Pn	12	19	7	5	4	5	6	58	57	56	55
21	Dğ	33	0,043	Yüksek	(a)	<5mm	2,2	yok				
	Pn	9	11	5	5	4	5	6	45	44	43	42
22	Dğ	50	0,198	Orta	(a)	<5mm	3	yok				
	Pn	17	15	7	5	4	5	6	59	58	57	56

Tablo 22'in devamı

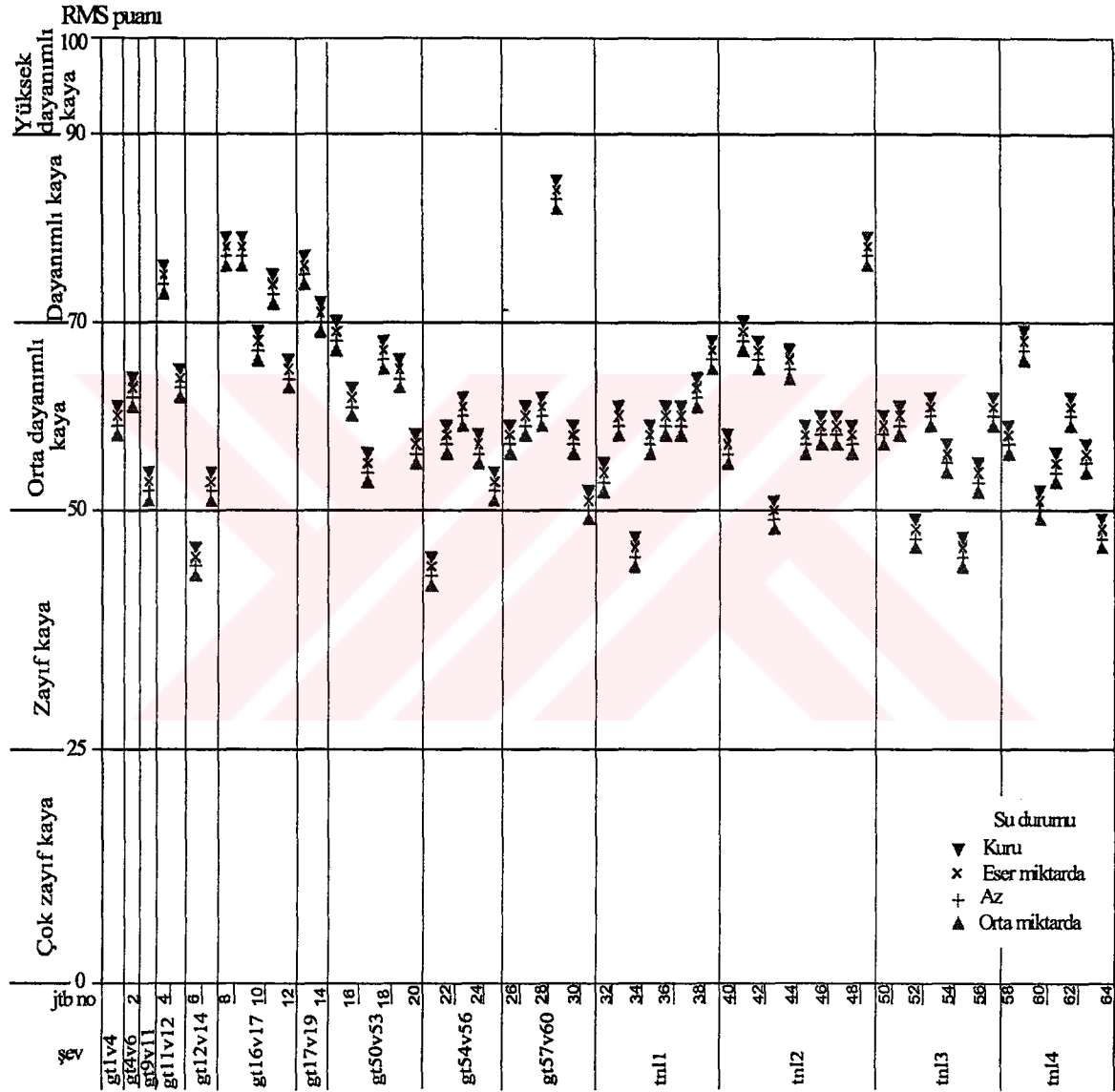
JTB No		R	Js	Wcm	Jor	Jim	Jap	Wtc	RMS			
									Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4
23	Dğ	40	0,92	Orta	(a)	<5mm	3,3	yok				
	Pn	12	23	7	5	4	5	6	62	61	60	59
24	Dğ	50	0,115	Orta	(a)	<5mm	2,8	yok				
	Pn	17	14	7	5	4	5	6	58	57	56	55
25	Dğ	40	0,278	Yüksek	(a)	<5mm	2,9	yok				
	Pn	12	17	5	5	4	5	6	54	53	52	51
26	Dğ	48	0,244	Orta	(a)	<5mm	3,1	yok				
	Dğ	16	16	7	5	4	5	6	59	58	57	56
27	Pn	38	0,813	Orta	(a)	<5mm	4,6	yok				
	Dğ	11	23	7	5	4	5	6	61	60	59	58
28	Pn	45	0,658	Orta	(a)	<5mm	4,1	yok				
	Dğ	14	21	7	5	4	5	6	62	61	60	59
29	Pn	63	0,71	Ayrışmamış	(b)	dolgusuz	2	yok				
	Dğ	19	22	10	18	5	5	6	85	84	83	82
30	Pn	45	0,3	Orta	(a)	<5mm	3,2	yok				
	Dğ	14	18	7	5	4	5	6	59	58	57	56
31	Pn	37	0,192	Orta	(a)	<5mm	2,7	yok				
	Dğ	10	15	7	5	4	5	6	52	51	50	49
32	Pn	54	0,103	Orta	(a)	>5mm	5,5	yok				
	Dğ	18	14	7	5	1	4	6	55	54	53	52
33	Pn	47	0,98	Orta	(a)	>5mm	8,3	yok				
	Dğ	15	23	7	5	1	4	6	61	60	59	58
34	Pn	39	0,391	Yüksek	(a)	>5mm	23,2	yok				
	Dğ	11	18	5	5	1	1	6	47	46	45	44
35	Dğ	38	0,595	Orta	(a)	dolgusuz	2,8	yok				
	Pn	11	20	7	5	5	5	6	59	58	57	56
36	Dğ	44	0,36	Az	(a)	<5mm	2,7	yok				
	Pn	14	18	9	5	4	5	6	61	60	59	58
37	Dğ	49	0,98	Az	(a)	<5mm	2,2	yok				
	Pn	16	16	9	5	4	5	6	61	60	59	58
38	Dğ	57	0,196	Az	(a)	dolgusuz	2,1	yok				
	Pn	19	15	9	5	5	5	6	64	63	62	61
39	Dğ	54	0,95	Orta	(a)	<5mm	2,5	yok				
	Pn	18	23	7	5	4	5	6	68	67	66	65
40	Dğ	38	0,52	Orta	(a)	<5mm	2,4	yok				
	Pn	11	20	7	5	4	5	6	58	57	56	55
41	Dğ	40	0,38	Orta	(b)	<5mm	3,5	yok				
	Pn	12	18	7	18	4	5	6	70	69	68	67
42	Dğ	60	0,516	Az	(a)	<5mm	2,6	yok				
	Pn	19	20	9	5	4	5	6	68	67	66	65
43	Dğ	36	0,556	Yüksek	(a)	>5mm	5,5	yok				
	Dğ	10	20	5	5	1	4	6	51	50	49	48

Tablo 22'in devamı

No	R	Js	Wcm	Jor	Jim	Jap	Wtc	RMS				
								Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
44	Pn	46	0,7	Az	(a)	dolgunsuz	3,4	yok				
	Dğ	15	22	9	5	5	5	6	67	66	65	64
45	Pn	46	0,263	Orta	(a)	<5mm	4,1	yok				
	Dğ	15	17	7	5	4	5	6	59	58	57	56
46	Pn	50	0,775	Yüksek	(a)	>5mm	5,7	yok				
	Dğ	17	22	5	5	1	4	6	60	59	58	57
47	Pn	51	0,78	Yüksek	(a)	>5mm	8,8	yok				
	Dğ	17	22	5	5	1	4	6	60	59	58	57
48	Pn	47	0,613	Orta	(a)	>5mm	5,9	yok				
	Dğ	15	21	7	5	1	4	6	59	58	57	56
49	Pn	61	0,385	Az	(b)	<5mm	2,8	yok				
	Dğ	19	18	9	18	4	5	6	79	78	77	76
50	Pn	46	0,341	Orta	(a)	<5mm	2,3	yok				
	Dğ	15	18	7	5	4	5	6	60	59	58	57
51	Pn	44	0,826	Yüksek	(a)	>5mm	12,7	yok				
	Dğ	14	26	5	5	1	4	6	61	60	59	58
52	Dğ	34	0,385	Yüksek	(a)	>5mm	4	yok				
	Pn	9	18	5	5	1	5	6	49	48	47	46
53	Dğ	54	0,658	Orta	(a)	>5mm	7,6	yok				
	Pn	18	21	7	5	1	4	6	62	61	60	59
54	Dğ	45	0,556	Orta	(a)	>5mm	9,5	yok				
	Pn	14	20	7	5	1	4	6	57	56	55	54
55	Dğ	32	0,104	Yüksek	(a)	<5mm	3	yok				
	Pn	8	14	5	5	4	5	6	47	46	45	44
56	Dğ	45	0,556	Yüksek	(a)	>5mm	9,5	yok				
	Pn	14	20	5	5	1	4	6	55	54	53	52
57	Dğ	50	0,31	Orta	(a)	<5mm	4,2	yok				
	Pn	17	18	7	5	4	5	6	62	61	60	59
58	Dğ	46	0,278	Orta	(a)	<5mm	4,1	yok				
	Pn	15	17	7	5	4	5	6	59	58	57	56
59	Dğ	54	0,745	Az	(a)	<5mm	2,1	yok				
	Pn	18	22	9	5	4	5	6	69	68	67	66
60	Dğ	40	0,138	Yüksek	(a)	<5mm	3,9	yok				
	Dğ	12	15	5	5	4	5	6	52	51	50	49
61	Pn	27	0,04	Yüksek	(a)	<5mm	2,2	yok				
	Dğ	7	11	5	5	4	5	6	56	55	54	53
62	Pn	47	0,323	Az	(a)	<5mm	1,8	yok				
	Dğ	15	18	9	5	4	5	6	62	61	60	59
63	Pn	45	0,125	Az	(a)	<5mm	1,2	yok				
	Dğ	14	14	9	5	4	5	6	57	56	55	54
64	Pn	24	0,323	Yüksek	(a)	<5mm	2,3	yok				
	Dğ	6	18	5	5	4	5	6	49	48	47	46

(Js: süreksizlik ara uzaklığı (m), Wcm: kaya kütlesi ayrışma derecesi, Jor: süreksizliklerin yönelimi ile şev yönelime arasındaki ilişki; (a): süreksizlik yamaç dışına doğru ve >30° eğime sahip, (b) süreksizlik yamaç içine doğru >30° eğime sahip, Jim: Dolgu türü ve kalınlığı, Jap (mm): süreksizlik açıklığı, Wtc: su durumu, Wtc1: su yok, Wtc2: su eser miktarda, Wtc3: Su az miktarda, Wtc4: Su orta miktarda)

İncelenen jeoteknik birimlerdeki tüm süreksizlikler devamlı (RMS deki tanımına göre süreksizlik uzunluğu>3m) olduğundan Tablo 22'de sadece dolgu kalınlığı gösterilmiştir. Bu sınıflandırma ile incelenen kazı şevlerinde ayırtılan her bir jeoteknik birimin erozyona (kütle hareketleri de dahil) karşı kaya kütlelerinin dayanımı bulunmuştur (Şekil 38).



Şekil 38. Jeoteknik birimlerin uzun süreli duraylılığının RMS ile tanımlanması

RMS sınıflandırmasında suyun etkisi dikkate alınmıştır. Ancak suyun olmadığı durum için bulunan RMS puanı ile orta miktarda suyun olduğu durum için bulunan RMS

puanı arasında 3 puan fark vardır (Tablo 22). Bu fark özellikle suyun ayrılmış volkanitler üzerindeki bozucu etkisini açıklamak için yeterli olmamaktadır.

3.5.2. Jeomekanik Sınıflama (RMR Sistemi)

RMR sistemine (Bieniawski, 1989) göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıda belirtilen 5 parametre esas alınmaktadır (Tablo 23) Bunlar; kayacın tek eksenli basınç dayanımı, RQD, süreksizlik ara uzaklığı, süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık) ve yeraltı suyu koşuludur

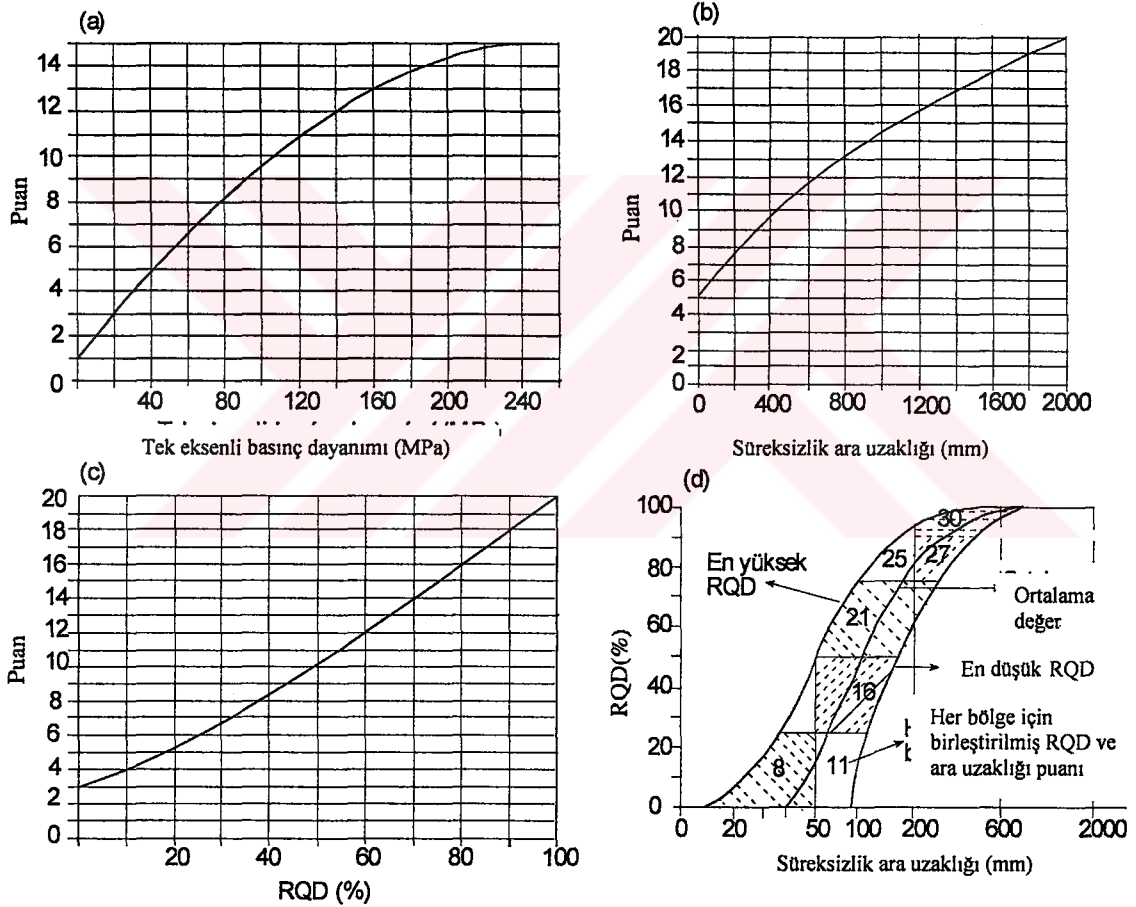
Tablo 23. RMR kaya kütle sınıflama sisteminde kullanılan parametreler ve puanları (Bieniawski, 1989)

1*	Sağlam kayacın dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>100 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2*	Kayaç kalite göstergesi, RQD		%90-%100	%75-%90	%50-%75	%25-%50	<%25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3*	Süreksizlik aralığı		>2 m	0,6-2 m	200-600mm	600-200mm	<60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4*	Süreksizliklerin durumu		Çok kaba yüzeyler	Az kaba yüzeyler	Az kaba yüzeyler	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu	Yumuşak fay dolgusu		
			Sürekli değil	Ayrılma<1m m	Ayrılma<1mm	<5mm veya 1-5 mmaçık eklemeler,sürekli eklemeler	>5mm kalınlıkta veya açık eklemeler		
			Ayrılma yok	Sert eklem yüzeyleri	Yumuşak eklem yüzeyleri		>5 mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5*	Yer altı suyu	Tünelin 10m' lik kısmından gelen su	Yok	10 lt/dk	<25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk		
		Oran	Eklemdaki su basıncı	veya		veya	veya	veya	
	Ana asal gerilme		0	0,0-01	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	Genel koşullar		Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

RQD, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik ara uzaklığı ve süreksizlik durumu ilgili puanlamanın daha sağlıklı yapılabilmesi için Tablo 24 ve Şekil 39'da verilen abaklar kullanılmaktadır.

Tablo 24. Süreksizliklerin yüzey durumu için puanlanlama (Bieniawsk,1989).

Parametre	Puanlar				
Süreksizliğin uzunluğu (devamlılık)	<1 m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	<0,1 mm (4)	0,1-1mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu	Dolgu Yok (6)	Sert dolgu <5mm (4)	>5mm (2)	Yumuşak dolgu <5mm (2)	>5mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozunmuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)



Şekil 39. Tek eksenli basınç dayanımı (a), süreksizlik ara uzaklığı (b) ve RQD parametrelerine (c) ait puanları bulmak için kullanılan grafikler (Bieniawski, 1989)

İlk 5 parametrenin toplanmasıyla elde edilen temel RMR değeri süreksizlik yönelimine göre düzeltilerek nihai RMR elde edilmektedir. Süreksizlik yönelimi için Singh ve Gahrooe(1989) tarafından önerilen puanlar dikkate alınmıştır (Tablo 25).

İncelenen jeoteknik birimlerin RMR değerleri ve bu sisteme göre kaya kütle sınıflandırmaları Tablo 26 ve Şekil 40'da verilmiştir

Tablo 25. Kaya şevleri için önerilen süreksizlik yönelimi düzeltmesi puanları (Singh ve Gahrooe, 1989)

Yenilme türleri ve sayısı	Duraysızlık yok	Olası tek duraysızlık modeli	Tek duraysızlık modeli	İki duraysızlık modeli	Çok sayıda duraysızlık modeli
Puan	0	-5	-25	-50	-60

Tablo 26. Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre hesaplanan RMR değerleri

JTB No	σ_{ci} (MPa)	RQD	Js (m)	Jl (m)	Jap (mm)	Jr	Jim (mm)	Jwd	Jor	RMR				
										RMRtm	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4
1 Dğ	133,9	98,5	0,5405	3-10	2,6	Az prz	Yumuşak-3	Orta						
1 Pn	11,6	19,8	11,4	2	1	3	2	3	-5	69	64	59	56	53
2 Dğ	172,2	90,7	0,196	3-10	2,4	Az prz	Yok	Az						
2 Pn	13,3	18,2	7,7	2	1	3	2	5	-25	67	42	37	34	31
3 Dğ	119,8	88,4	0,173	3-10	2	Az prz	Yumuşak-2	Orta						
3 Pn	10,8	17,5	7,5	2	1	3	2	3	-25	62	37	32	29	26
4 Dğ	150,4	91	0,2	3-10	3,6	Az prz	Sert-1,7	Az						
4 Pn	12,5	18,3	7,7	2	1	3	4	5	-5	69	64	59	56	53
5 Dğ	163,8	94	0,303	3-10	1,4	Az prz	Yumuşak-1	Az						
5 Pn	12,9	18,8	8,9	2	1	3	2	5	-25	69	44	39	36	33
6 Dğ	114	79	0,121	1-3	5,5	Az prz	Yumuşak-4	Yüksek						
6 Pn	10,4	15,7	6,9	4	0	3	2	0	-5	57	52	47	44	41
7 Dğ	133	99,2	0,909	3-10	4,8	Pürüzlü	Yumuşak-4	Orta						
7 Pn	11,5	19,9	15,4	2	1	5	2	3	-25	75	50	45	42	39
8 Dğ	181,6	96,9	0,303	3-10	2,5	Pürüzlü	Sert-2,4	Taze						
8 Pn	13,8	19,6	8,9	2	1	5	4	6	-5	75	70	65	62	59
9 Dğ	163,1	99	0,741	3-10	3,5	Pürüzlü	Sert-2,4	Az						
9 Pn	12,9	19,7	13,6	2	1	5	4	5	-5	78	73	68	65	62
10 Dğ	190	99	0,625	10-30	2,3	Pürüzlü	Sert-1,9	Az						
10 Pn	13,9	19,6	12,4	1	1	5	4	5	-25	77	52	47	44	41
11 Dğ	162,5	97	0,333	3-10	2,5	Az prz	Yumuşak-2,4	Az						
11 Pn	12,9	19,4	9,2	2	1	3	2	5	-5	70	65	60	57	54
12 Dğ	163,1	99,4	0,625	3-10	2,4	Az prz	Yumuşak-2,4	Az						
12 Pn	12,7	19,9	12,4	2	1	3	2	5	-5	73	68	63	60	57
13 Dğ	197,5	91	0,206	3-10	4,5	Pürüzlü	Yumuşak-3	Az						
13 Pn	14	18,1	7,8	2	1	5	2	5	-25	70	45	40	37	34

Tablo 26'nın devamı

JTB No	σ_{ci} (MPa)	RQD	Js (m)	Jl (m)	Jap (mm)	Jr	Jim (mm)	Jwd	Jor	RMR				
										RMRtm	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4
14 Dğ	111,8	100	1,22	10-30	6,8	Pürüzlü	Yumuşak-5	Yüksek						
Pn	10,3	20	18,8	1	0	5	2	0	-5	72	67	62	59	56
15 Dğ	172,8	99,3	0,85	10-30	2,2	Pürüzlü	Sert-1,4	Az						
Pn	13,2	19,8	14,8	1	1	5	4	5	-25	79	54	49	46	43
16 Dğ	153	95,5	0,299	3-10	3	Az prz	Sert-2,7	Az						
Pn	12,7	19	8,8	2	1	3	4	5	-25	71	46	41	38	35
17 Dğ	153	93	0,215	10-30	5	Az prz	Sert-5	Orta						
Pn	12,7	18,6	7,9	1	1	3	0	3	-25	62	37	32	29	26
18 Dğ	190,4	98	0,48	10-30	2,3	Az prz	Sert-1,8	Az						
Pn	13,9	19,6	10,8	1	1	3	4	5	-25	73	48	43	40	37
19 Dğ	184,4	94	0,28	3-10	2,2	Az prz	Sert-1	Az						
Pn	13,8	18,7	8,6	2	1	3	4	5	-25	71	46	41	38	35
20 Dğ	119,6	98	0,44	3-10	3,8	Pürüzlü	Sert-2,3	Orta						
Pn	10,8	19,7	10,4	2	1	5	4	3	-25	71	46	41	38	35
21 Dğ	87,6	33	0,04	3-10	2,2	Az prz	Sert-1,5	Yüksek						
Pn	8,6	7,1	6	2	1	3	5	0	-25	48	23	18	15	12
22 Dğ	151	91	0,198	3-10	3	Az prz	Sert-2,9	Az						
Pn	12,4	18,2	7,7	2	1	3	4	5	-25	68	43	38	35	32
23 Dğ	117,6	99,4	0,92	3-10	3,3	Az prz	Sert-2,5	Orta						
Pn	10,8	19,9	15,6	2	1	3	4	3	-5	74	69	64	61	58
24 Dğ	151,4	78	0,115	3-10	2,8	Az prz	Sert-2,4	Orta						
Pn	12,5	15,7	6,8	2	1	3	4	3	-25	63	38	33	30	27
25 Dğ	117,1	94,8	0,278	3-10	2,9	Az prz	Sert-2,4	Yüksek						
Pn	10,7	18,9	8,6	2	1	3	4	0	-25	63	38	33	30	27
26 Dğ	145,2	93,6	0,244	3-10	3,1	Az prz	Yumuşak2,5	Orta						
Pn	12,3	18,7	8,2	2	1	3	2	3	-25	65	40	35	32	29
27 Dğ	98,5	99	0,813	10-30	4,6	Pürüzlü	Yumuşak2,5	Orta						
Pn	9,4	19,9	14,4	1	1	5	2	3	-25	71	46	41	38	35
28 Dğ	135	98,9	0,658	3-10	4,1	Az prz	Yumuşak3,3	Orta						
Pn	11,5	19,9	12,7	2	1	3	2	3	-25	70	45	40	37	34
29 Dğ	196,2	99	0,71	3-10	2	Az prz	Yok	Taze						
Pn	14	19,9	13,3	2	1	3	6	6	-25	80	55	50	47	44
30 Dğ	134,8	95	0,3	3-10	3,2	Az prz	Yumuşak-3	Yüksek						
Pn	11,5	18,9	8,8	2	1	3	2	0	-25	62	37	32	29	26
31 Dğ	107,4	88,6	0,192	3-10	2,7	Az prz	Yumuşak2,3	Yüksek						
Pn	10	17,6	7,7	2	1	3	2	0	-5	58	53	48	45	42
32 Dğ	165,6	77,3	0,103	10-30	5,5	Pürüzlü	Yumuşak-5	Orta						
Pn	13	15,3	6,7	1	0	5	0	3	-25	59	34	29	26	23
33 Dğ	143,5	99,9	0,98	10-30	8,3	Pürüzlü	Yumuşak8,3	Orta						
Pn	12,1	19,9	16,2	1	0	5	0	3	-5	72	67	62	59	56
34 Dğ	114,1	97,3	0,391	3-10	23,2	Çok Prz	Yumuşak20	Yüksek						
Pn	10,6	19,4	9,8	2	0	6	0	0	-25	63	38	33	30	27
35 Dğ	110,6	98,7	0,595	10-30	2,8	Az prz	Yok	Orta						
Pn	10,5	19,8	12	1	1	3	6	3	-25	71	46	41	38	35
36 Dğ	118,5	96,8	0,36	10-30	2,7	Pürüzlü	Sert-2,3	Az						
Pn	10,8	19,4	9,5	1	1	5	4	5	-25	71	46	41	38	35

Tablo 26'nin devamı

JTB No	σ_{ci} (MPa)	RQD	Js (m)	Jl (m)	Jap (mm)	Jr	Jim (mm)	Jwd	Jor	RMR				
										RMRtm	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4
37 Dğ	187	99,5	0,98	1-3	2,2	Pürüzlü	Yumuşak-2	Az						
Pn	13,9	19,9	16,2	2	1	5	2	5	-25	80	55	50	47	44
38 Dğ	175,2	90,6	0,196	1-3	2,1	Pürüzlü	Yok	Az						
Pn	13,4	18	7,7	2	1	5	6	5	-5	73	68	63	60	57
39 Dğ	180	99	0,95	10-30	2,5	Az prz	Yumuşak-2	Orta						
Pn	13,505	19,9	15,9	1	1	3	2	3	-25	74	49	44	41	38
40 Dğ	110,4	98,3	0,52	3-10	2,4	Az prz	Sert-2,4	Orta						
Pn	10,4	19,7	11,2	2	1	3	4	3	-25	69	44	39	36	33
41 Dğ	116	100	0,68	3-10	4	Az prz	Yumuşak-3,5	Orta						
Pn	10,6	20	13	2	1	3	2	3	-25	70	45	40	37	34
42 Dğ	185,6	98,3	0,516	3-10	2,9	Pürüzlü	Yumuşak-3	Az						
Pn	13,6	19,7	11,2	2	1	5	2	5	-25	75	50	45	42	39
43 Dğ	103,7	98,5	0,556	3-10	5	Pürüzlü	Yumuşak-5	Yüksek						
Pn	9,8	19,8	11,6	2	0	5	0	0	-25	63	38	33	30	27
44 Dğ	138	99	0,7	3-10	3,4	Pürüzlü	Yok	Az						
Pn	11,7	19,9	13,2	2	1	5	6	5	-25	79	54	49	46	43
45 Dğ	131,7	94,4	0,263	3-10	4,1	Az prz	Sert-3,7	Orta						
Pn	11,4	18,8	8,4	2	1	3	4	3	-25	67	42	37	34	31
46 Dğ	151,9	99,2	0,775	10-30	5,7	Az prz	Yumuşak-5	Yüksek						
Pn	12,5	19,9	14	1	0	3	0	0	-25	65	40	35	32	29
47 Dğ	190	99,5	0,78	3-10	8,8	Pürüzlü	Yumuşak-7	Yüksek						
Pn	13,8	19,9	14	2	0	5	0	0	-25	70	45	40	37	34
48 Dğ	142,3	98,8	0,613	10-30	8	Pürüzlü	Yumuşak-6	Yüksek						
Pn	12	19,8	12,2	1	0	5	0	0	-5	65	60	55	52	49
49 Dğ	97,3	97,3	0,385	3-10	2,8	Az prz	Sert-1	Az						
Pn	9,4	19,4	9,8	2	1	3	4	5	-5	69	64	59	56	53
50 Dğ	140,3	96,4	0,34	10-30	2,3	Pürüzlü	Sert-1,3	Orta						
Pn	11,9	19,3	9,3	1	1	5	4	3	-25	70	45	40	37	34
51 Dğ	100	99,3	0,826	10-30	1	Pürüzlü	Sert-10	Yüksek						
Pn	9,5	19,9	14,5	1	1	5	2	0	-25	68	43	38	35	32
52 Dğ	98,5	97,2	0,385	10-30	7,4	Az prz	Sert-7,4	Yüksek						
Pn	9,4	19,5	9,8	1	0	3	2	0	-5	60	55	50	47	44
53 Dğ	163,4	98,4	0,658	3-10	0	Pürüzlü	Sert-6	Az						
Pn	12,8	19,7	12,7	2	6	5	2	5	-25	80	55	50	47	44
54 Dğ	134,6	98,5	0,556	3-10	9,5	Az prz	Yumuşak-7	Yüksek						
Pn	11,6	19,7	11,6	2	0	3	0	0	-25	63	38	33	30	27
55 Dğ	90,5	75	0,104	10-30	3	Az prz	Yumuşak-3	Yüksek						
Pn	8,8	15	6,7	1	1	3	2	0	-25	53	28	23	20	17
56 Dğ	134,6	98,5	0,556	3-10	9,5	Az prz	Sert-7	Yüksek						
Pn	11,6	19,7	11,6	2	0	3	2	0	-25	65	40	35	32	29
57 Dğ	150,9	95,8	0,31	3-10	4,2	Az prz	Sert-3	Orta						
Pn	12,3	19,2	8,9	2	1	3	4	3	-25	68	43	38	35	32
58 Dğ	137	94,7	0,278	3-10	5,1	Az prz	Sert-4	Orta						
Pn	11,8	18,9	8,6	2	0	3	4	3	-25	66	41	36	33	30
59 Dğ	164,7	99,2	0,748	10-30	2,1	Az prz	Sert-1	Az						
Pn	12,9	19,8	13,7	1	1	3	4	5	-25	75	50	45	42	39

Tablo 26'nın devamı

JT No	σ_{ci} (MPa)	RQD	Js (m)	Jl (m)	Jap (mm)	Jr	Jm	Jwd	Jor	RMR				
										RMRtm	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4
60	Dğ Pn	119 11,8	84,5 16,9	0,138 7,1	10-30 1	3,9 1	Az prz 3	Yumuşak-3 2	Yüksek 0					
									-25	58	33	28	25	22
61	Dğ Pn	73 7,6	24 5,8	0,04 6	1-3 4	2,2 1	Az prz 3	Yumuşak-2 2	Yüksek 0					
									-25	44	19	14	11	8
62	Dğ Pn	147 12,4	96 19,3	0,323 9,1	3-10 2	1,8 1	Az prz 3	Sert-1,2 4	Orta 3					
									-25	69	44	39	36	33
63	Dğ Pn	140,7 11,9	80,8 16	0,125 6,9	3-10 2	1,7 1	Az prz 3	Sert-1 4	Orta 3					
									-25	63	38	33	30	27
64	Dğ Pn	73 7,6	96,2 19,3	0,323 9,1	3-10 2	2,3 1	Az prz 3	Yumuşak-2 2	Yüksek 0					
									-25	59	34	29	26	23

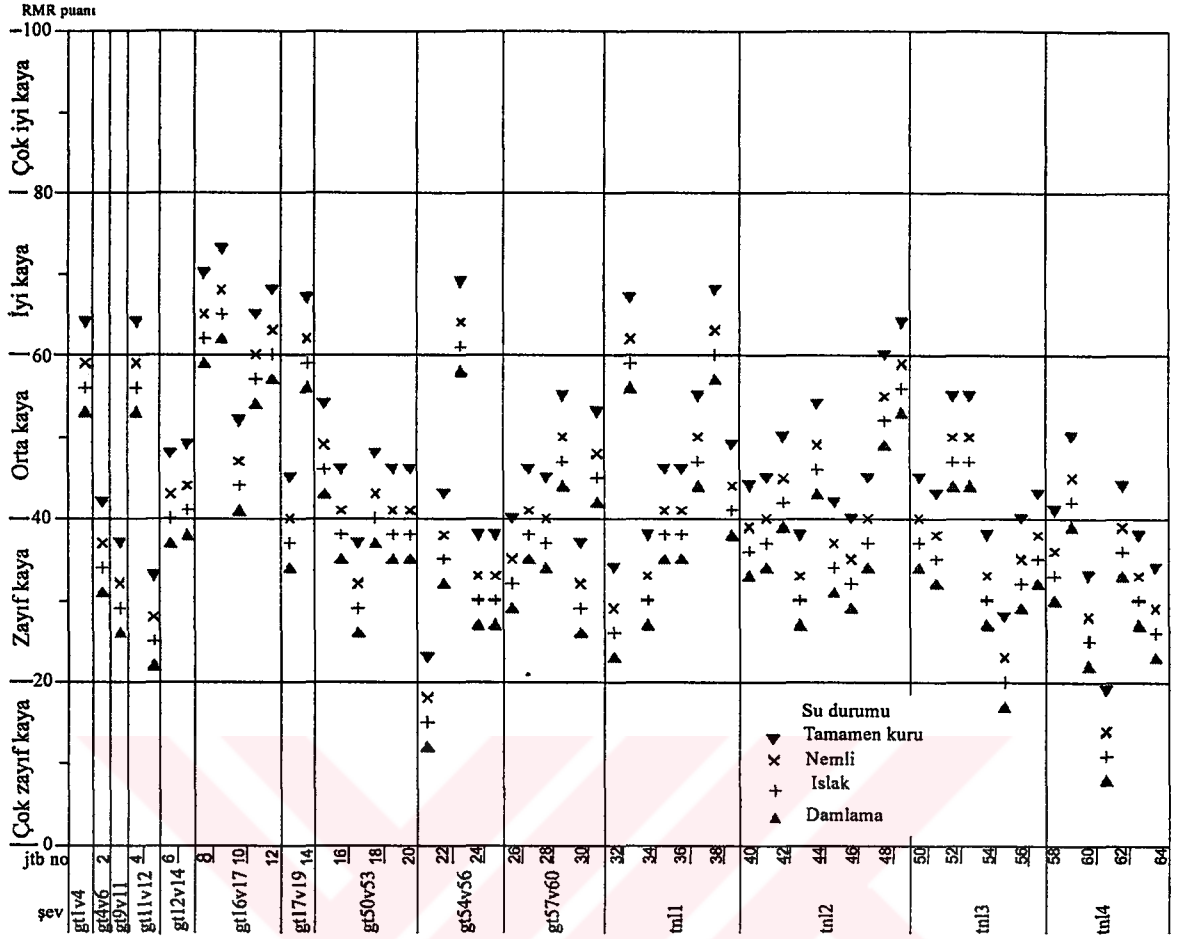
(σ_{ci} : Kaya malzemesi dayanımı, Js: süreksizlik ara uzaklığı (m), Jwd süreksizlik yüzeyi bozunma derecesi, Jl: devamlılık Jor: süreksizliklerin yönelimi ile şev yönelimi arasındaki ilişki, Jm: Dolgu türü ve kalınlığı, Jap: süreksizlik açıklığı, Jr: pürüzlülük, prz: pürüzlü RMRtm: Temel RMR değeri JWtc: su durumu, Wtc1: su yok, Wtc2: su eser miktarda, Wtc3: Su az miktarda, Wtc4: Su orta miktarda)

3.5.3. Yeniden Düzenlenmiş Jeomekanik Sınıflandırma Sistemi (M-RMR)

Bu çalışmada incelenen jeoteknik birimlerin bir kısmı çok kırıklı ve zayıf kaya kütlesi olması nedeniyle M-RMR sisteminin uygulanabilirliği ve RMR yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. M-RMR sisteminin uygulanışı Şekil 41'de özetlenmiştir. Süreksizlik yüzeyi durum için ise Tablo 27 kullanılmaktadır. Süreksizlik yüzeyi durum puanı, ayrışma, pürüzlülük, açıklık ve dolgu durumuyla ilgili puanların toplamından bulunmaktadır.

Gökçeoğlu (sözlü görüşme, 2004) sondaj olmadığı durumlarda, eğer kaya kütlesi 3 veya daha fazla süreksizlik takımı içeriyorsa süreksizlik yönelimi indeksinin (-5) olarak alınmasının yeterli olduğunu belirtmiştir.

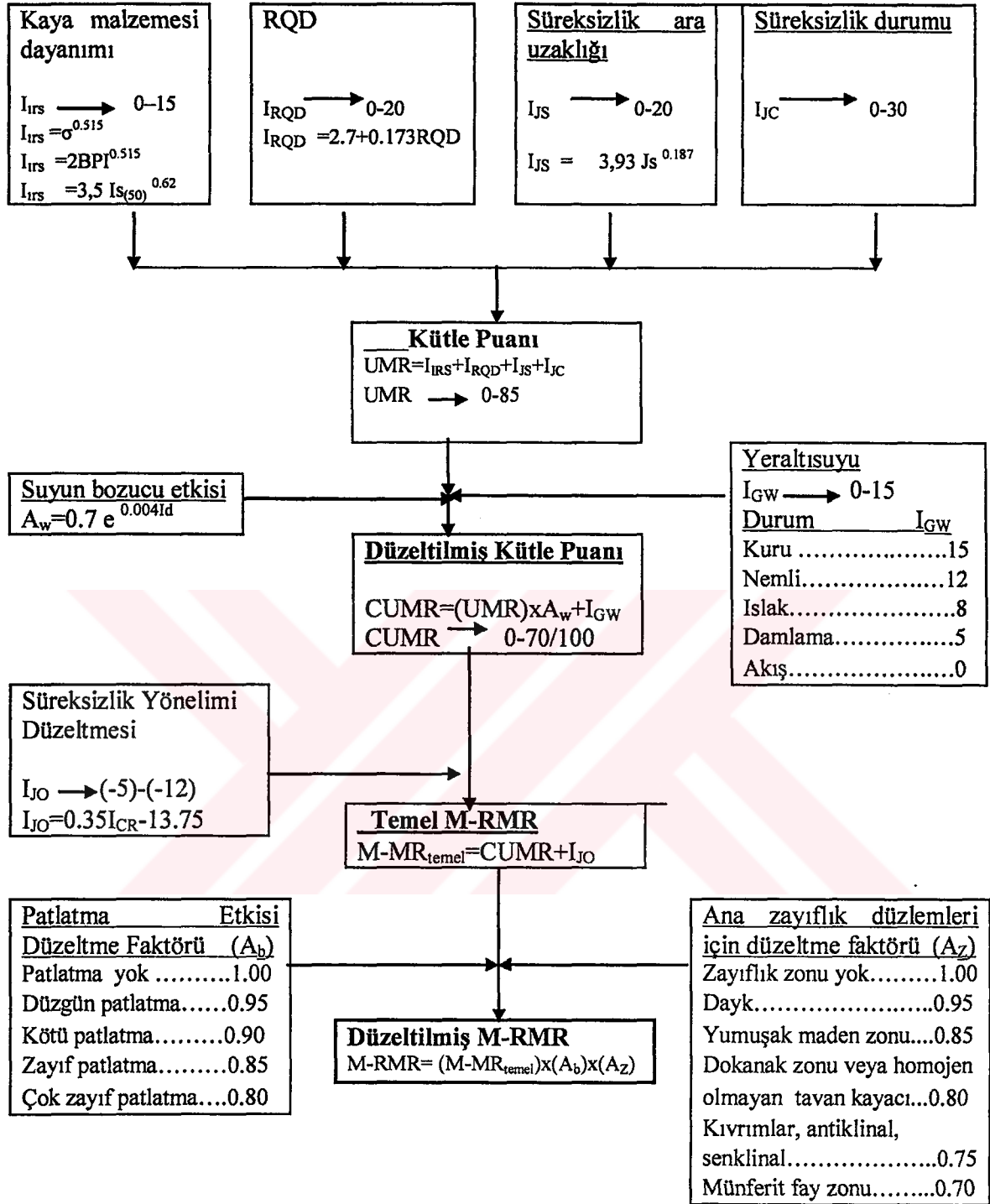
İncelenen tüm jeoteknik birimlerde 4 değişik su durumu için bulunan M-RMR değerleri Tablo 28'de, M-RMR ye göre jeoteknik birimlerin sınıflandırılması Şekil 42'de verilmiştir. Tablo 28'de verilen tüm jeoteknik birimler için süreksizlik yönelimi puanı -5, patlatma etkisi düzeltme faktörü değeri 0,9 ve ana zayıflık düzeltme faktörü değeri 1 dir.



Şekil 40. Jeoteknik birimlerin RMR'ye göre sınıflandırılması

Tablo 27. Süreksizlik yüzeyi durum indeksinin bulunuşu (Gökçeoğlu ve Aksoy(2000))

Ayrışma	Ayrışmamış		Az Ayrışmış	Orta derecede ayrılmış		Yüksek derecede ayrılmış	Tamamen ayrılmış	Kalıntı toprak		
Iw	8		7	6		4	2	0		
Pürüzlülük	Dalgalı					Düzlemsel				
IR	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Hafif pürüzlü	Düz	Kaygan	Çok pürüzlü	pürüzlü	Hafif pürüzlü	düz	Kaygan
IR	8	6	4	2	1		4	3	2	
Devamlılık	Çok düşük		Düşük	Orta devamlı		Yüksek devamlı		Çok yüksek devamlı		
Ip	4		3	2		1,5		1		
Açıklık	<0,01mm					0,01-1,0 mm				
Dolgu	Dolgunsuz	Yumuşak dolgulu		Sert dolgulu		Dolgunsuz	Yumuşak dolgulu		Sert dolgulu	
IA-I	10	8	9	8		6		7		
Açıklık	1,0-5,0 mm					>5 mm				
Dolgu	Dolgunsuz	Yumuşak dolgulu		Sert dolgulu		Dolgunsuz	Yumuşak dolgulu		Sert dolgulu	
IA-I	4	3	5	0		0		1		



Şeki 41. M-RMR sisteminin uygulanışını özetleyen akış diyagramı (Gökçeoğlu ve Aksoy 2000)

Tablo 28. Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre hesaplanan M-RMR değerleri

JTb No	σ_{ci} MPa	RQD (%)	Js (mm)	Süreksizlik Yüzey Durumu				Id(6) Aw	M-RMR					
				Jl	Jim	Jr	Jwd		temel	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
1	Dğ	133,9	98,5	540,5	Orta	Yumuşak-3	Az prz	Orta	60,2					
	Pn	12,5	19,7	12,7	2	2	4	6	0,892	59,5	54	51	47	45
2	Dğ	172,2	90,7	196	Orta	yok	Az prz	Az	75					
	Pn	14,2	18,4	10,5	2	2	4	7	0,946	62	56	53	50	47
3	Dğ	119,8	88,4	173	Orta	Yumuşak-2	Az prz	Orta	76,2					
	Pn	11,8	18	10,3	2	2	4	6	0,951	58,4	53	50	46	44
4	Dğ	150,4	91	200	Orta	Sert-1,7	Az prz	Az	77,4					
	Pn	13,2	18,4	10,6	2	4	4	7	0,955	63,5	57	54	51	48
5	Dğ	163,8	94	303	Orta	Yumuşak-1	Az prz	Az	78,6					
	Pn	13,8	19	11,4	2	2	4	7	0,96	63,8	57	55	51	48
6	Dğ	114	79	121	Düşük	Yumuşak-4	Az prz	Yüksek	54,2					
	Pn	11,5	16,4	9,6	3	2	4	4	0,87	50,9	46	43	40	37
7	Dğ	133	99,2	909	Orta	Yumuşak-4	Pürüzlü	Orta	58,5					
	Pn	12,4	19,9	14	2	2	6	6	0,886	62,2	56	53	50	47
8	Dğ	181,6	96,9	303	Orta	Sert-2,4	Pürüzlü	Taze	93					
	Pn	14,6	19,5	11,4	2	4	6	8	1,00	72,5	65	63	59	56
9	Dğ	163,1	99	741	Orta	Sert-2,4	Pürüzlü	Az	76,2					
	Dğ	13,8	19,8	13,5	2	4	6	7	0,951	69,9	63	60	57	54
10	Pn	190	99	625	Orta	Sert-1,9	Pürüzlü	Az	94,8					
	Dğ	14,9	19,8	13,1	2	4	6	7	1,00	73,8	66	64	60	57
11	Pn	162,5	97	333	Orta	Yumuşak -2,4	Az prz	Az	75,9					
	Dğ	13,8	19,5	11,6	2	2	4	7	0,95	63,9	58	55	51	49
12	Pn	163,1	99,4	625	Orta	Yumuşak2,4	Az prz	Az	77,2					
	Dğ	13,8	19,9	13,1	2	2	4	7	0,955	66	59	57	53	50
13	Pn	197,5	91	206	Orta	Yumuşak-3	Pürüzlü	Az	98,3					
	Dğ	15,2	18,4	10,6	2	2	6	7	1,00	68,2	61	59	55	52
14	Pn	111,8	100	1220	Yüksek	Yumuşak-5	Pürüzlü	Yüksek	47,6					
	Dğ	11,3	20	14,8	1,5	2	6	4	0,848	57,5	52	49	45	43
15	Pn	172,8	99,3	850	Yüksek	Sert-1,4	Pürüzlü	Az	96,1					
	Dğ	14,2	19,9	13,9	1,5	4	6	7	1,00	73,5	66	63	60	57
16	Pn	153	95,5	299	Orta	Sert-2,7	Az prz	Az	77,2					
	Dğ	13,3	19,2	11,4	2	4	4	7	0,955	65,2	59	56	52	50
17	Pn	153	93	215	Yüksek	Sert-5	Az prz	Orta	76,1					
	Dğ	13,3	18,8	10,7	1,5	0	4	6	0,95	58,6	53	50	46	44
18	Dğ	190,4	98	480	Yüksek	Sert-1,8	Az prz	Az	78,3					
	Pn	14,9	19,7	12,5	1,5	4	4	7	0,959	68	61	59	55	52

Tablo 28'in devamı

JTb No	σ_{cl} MPa	RQD (%)	Js (mm)	Süreksizlik Yüzey Durumu				Id(6) Aw	M-RMR					
				Jwd	Jim	Jr	Jwd		temel	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
19	Dğ	184,4	94	280	Orta	Sert-1	Az prz	Az	96,4					
	Pn	14,7	19	11,3	2	4	4	7	1,00	69	62	59	56	53
20	Dğ	119,6	98	440	Orta	Sert-2,3	Pürüzlü	Orta	44,8					
	Pn	11,7	19,7	12,3	2	4	6	6	0,838	58,7	53	50	47	44
21	Dğ	87,6	33	40	Orta	Sert-1,5	Az prz	Yüksek	38,7					
	Pn	10	8,4	7,8	2	5	4	4	0,818	40,7	37	34	30	28
22	Dğ	151	91	198	Orta	Sert-2,9	Az prz	Az	79,2					
	Pn	13,2	18,4	10,6	2	4	4	7	0,962	64	58	55	51	49
23	Dğ	117,6	99,4	920	Orta	Sert-2,5	Az prz	Orta	47,8					
	Pn	11,6	19,9	14,1	2	4	4	6	0,848	59,2	53	51	47	44
24	Dğ	151,4	78	115	Orta	Sert-2,4	Az prz	Orta	80,3					
	Pn	13,3	16,2	9,5	2	4	4	6	0,967	60,2	54	51	48	45
25	Dğ	117,1	94,8	278	Orta	Sert-2,4	Az prz	Yüksek	46,3					
	Pn	11,6	19,1	11,3	2	4	4	4	0,843	54,2	49	46	42	40
26	Dğ	145,2	93,6	244	Orta	Yumuşak2,5	Az prz	Orta	73,5					
	Dğ	13	18,9	11	2	2	4	6	0,941	60,5	54	52	48	45
27	Pn	98,5	99	813	Yüksek	Yumuşak2,5	Pürüzlü	Orta	25,6					
	Dğ	10,6	19,8	13,8	1,5	2	6	6	0,776	53,3	48	45	42	39
28	Pn	135	98,9	658	Orta	Yumuşak3,3	Az prz	Orta	57,6					
	Dğ	12,5	19,8	13,2	2	2	4	6	0,882	59,5	54	51	47	45
29	Pn	196,2	99	710	Orta	Yok	Az prz	Taze	89					
	Dğ	15,2	19,8	13,4	2	6	4	8	1,001	75,5	68	65	62	59
30	Pn	134,8	95	300	Orta	Yumuşak3,2	Az prz	Yüksek	58					
	Dğ	12,5	19,1	11,4	2	2	4	4	0,884	55,6	50	47	44	41
31	Pn	107,4	88,6	192	Orta	Yumuşak2,3	Az prz	Yüksek	42					
	Dğ	11,1	18	10,5	2	2	4	4	0,829	49,8	45	42	39	36
32	Pn	165,6	77,3	103	Yüksek	Yumuşak-5	Pürüzlü	Orta	78,5					
	Dğ	13,9	16,1	9,3	1,5	0	4	6	0,96	55,8	50	48	44	41
33	Pn	143,5	99,9	980	Yüksek	Yumuşak8,3	Pürüzlü	Orta	65,6					
	Dğ	12,9	20	14,2	1,5	0	6	6	0,911	62,2	56	53	50	47
34	Pn	114,1	97,3	391	Orta	Yumuşak20	Çok Prz	Yüksek	48,4					
	Dğ	11,5	19,5	12	2	0	8	4	0,85	55,5	50	47	44	41
35	Dğ	110,6	98,7	595	Yüksek	Yok	Az prz	Orta	44,3					
	Pn	11,3	19,8	13	1,5	6	4	6	0,836	58,5	53	50	46	44
36	Dğ	118,5	96,8	360	Yüksek	Sert-2,3	Pürüzlü	Az	52,4					
	Pn	11,7	19,4	11,8	1,5	4	6	7	0,864	60	54	51	48	45

Tablo 28'in devamı

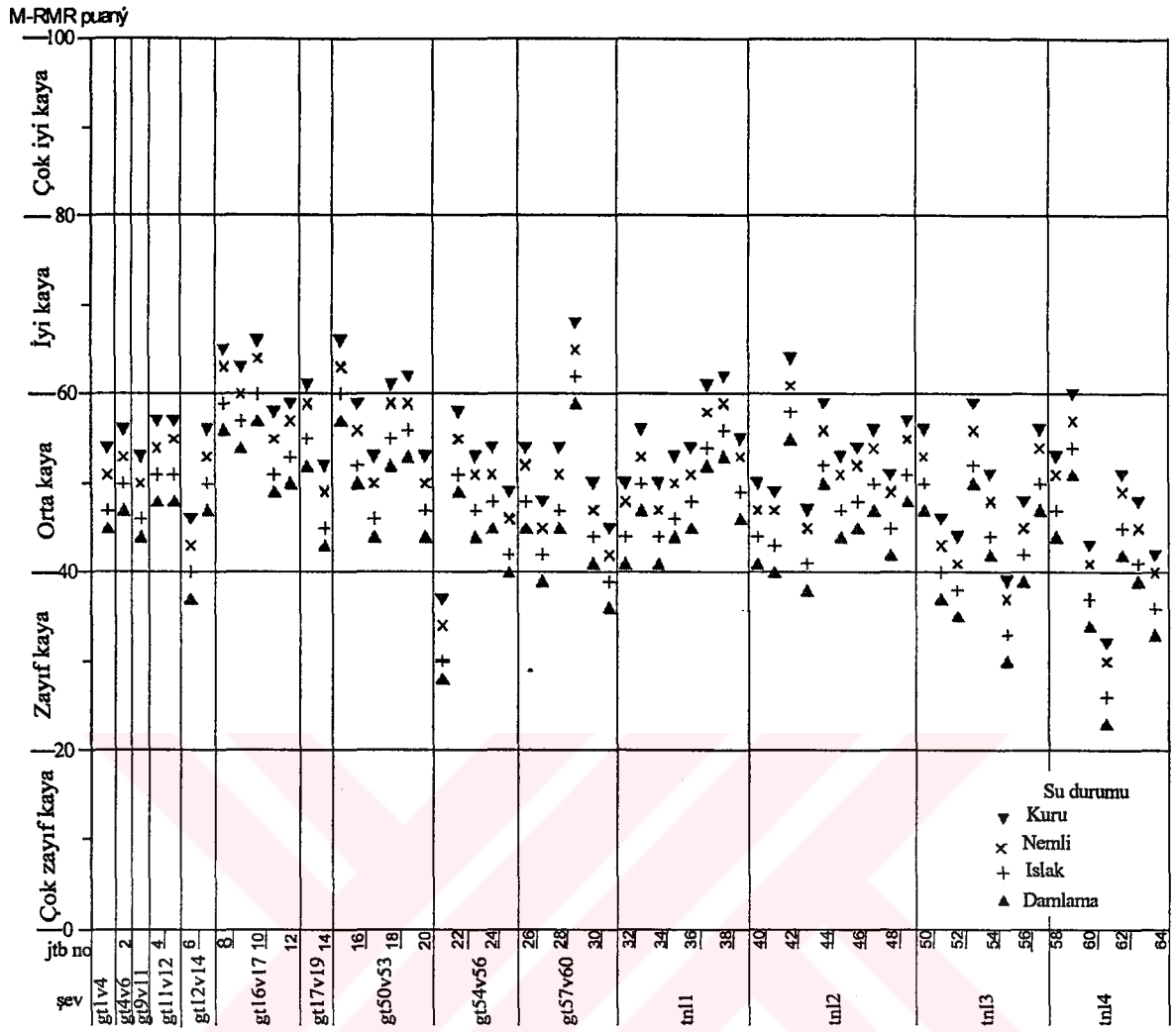
JTb No	σ_{cl} MPa	RQD (%)	Js (mm)	Süreksizlik Yüzey Durumu				Id(6) Aw	M-RMR					
				Jwd	Jim	Jr	Jwd		temel	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
37	Dğ	187	99,5	980	Yüksek	Yumuşak-2	Pürüzlü	Az	68,8					
	Pn	14,8	19,9	14,2	1,5	2	6	7	0,923	67,4	61	58	54	52
38	Dğ	175,2	90,6	196	Orta	Yok	Pürüzlü	Az	80,2					
	Pn	14,3	18,4	10,5	2	6	6	7	0,966	69	62	59	56	53
39	Dğ	180	99	950	Orta	Yumuşak-2	Az prz	Orta	54,3					
	Pn	14,5	19,8	14,2	2	2	4	6	0,871	61,4	55	53	49	46
40	Dğ	110,4	98,3	520	Orta	Sert-2,4	Az prz	Orta	37,5					
	Pn	11,3	19,7	12,7	2	4	4	6	0,814	55,6	50	47	44	41
41	Dğ	116	100	680	Orta	Yumuşak3,5	Az prz	Orta	36,4					
	Pn	11,6	20	13,3	2	2	4	6	0,81	54,7	49	47	43	40
42	Dğ	185,6	98,3	516	Yüksek	Yumuşak-3	Pürüzlü	Az	91,5					
	Pn	14,7	19,7	12,6	1,5	2	6	7	1,011	71,2	64	61	58	55
43	Dğ	103,7	98,5	556	Yüksek	Yumuşak-5	Pürüzlü	Yüksek	42,6					
	Dğ	10,9	19,7	12,8	1,5	0	6	4	0,831	52,6	47	45	41	38
44	Pn	138	99	700	Orta	Yok	Pürüzlü	Az	53,7					
	Dğ	12,6	19,8	13,4	2	6	6	7	0,869	65	59	56	52	50
45	Pn	131,7	94,4	263	Orta	Sert-3,7	Az prz	Orta	60,5					
	Dğ	12,3	19	11,1	2	4	4	6	0,893	59,2	53	51	47	44
46	Pn	151,9	99,2	775	Yüksek	Yumuşak-5	Az prz	Yüksek	75,4					
	Dğ	13,3	19,9	13,6	1,5	0	4	4	0,948	60,4	54	52	48	45
47	Pn	190	99,5	780	Orta	Yumuşak-7	Pürüzlü	Yüksek	68,4					
	Dğ	14,9	19,9	13,7	2	0	6	4	0,921	62,7	56	54	50	47
48	Pn	142,3	98,8	613	Yüksek	Yumuşak, 6	Pürüzlü	Yüksek	54,6					
	Dğ	12,8	19,8	13,1	1,5	0	6	4	0,872	56,9	51	49	45	42
49	Pn	97,3	97,3	385	Orta	Sert-1	Az prz	Az	78,6					
	Dğ	10,6	19,5	12	2	4	4	7	0,96	63,7	57	55	51	48
50	Pn	140,3	96,4	340	Yüksek	Sert-1,3	Pürüzlü	Orta	62,3					
	Dğ	12,8	19,4	11,7	1,5	4	6	6	0,899	62,2	56	53	50	47
51	Pn	100	99,3	826	Yüksek	Sert-10	Pürüzlü	Yüksek	48,6					
	Dğ	10,7	19,9	13,8	1,5	2		4	0,851	51,2	46	43	40	37
52	Dğ	98,5	97,2	385	Yüksek	Sert-7,4	Az prz	Yüksek	26,8					
	Pn	10,6	19,5	12	1,5	2	4	4	0,78	48,8	44	41	38	35
53	Dğ	163,4	98,4	658	Yüksek	Sert-6	Pürüzlü	Az	68,2					
	Pn	13,8	19,7	13,2	1,5	2	6	7	0,921	65,2	59	56	52	50
54	Dğ	134,6	98,5	556	Yüksek	Yumuşak-7	Az prz	Yüksek	64,3					
	Pn	12,5	19,7	12,8	1,5	0	4	4	0,906	56,4	51	48	44	42

Tablo 28'in devamı

JTB No	σ_{ci} MPa	RQD (%)	Js (mm)	Süreksizlik Yüzey Durumu				Id(6) Aw	M-RMR					
				Jwd	Jim	Jr	Jwd		temel	Wtc1	Wtc2	Wtc3	Wtc4	
55	Dğ	90,5	75	104	Yüksek	Yumuşak-3	Az prz	Yüksek	28,5					
	Pn	10,2	15,7	9,4	1,5	2	4	4	0,785	43,7	39	37	33	30
56	Dğ	134,6	98,5	556	Yüksek	Sert-7	Az prz	Yüksek	38,6					
	Pn	12,5	19,7	12,8	1,5	2	4	4	0,817	53,2	48	45	42	39
57	Dğ	150,9	95,8	310	Orta	Sert-3	Az prz	Orta	69,7					
	Pn	13,2	19,3	11,5	2	4	4	6	0,926	62,6	56	54	50	47
58	Dğ	137	94,7	278	Orta	Sert-4	Az prz	Orta	58,9					
	Pn	12,6	19,1	11,3	2	4	4	6	0,887	59,3	53	51	47	44
59	Dğ	164,7	99,2	748	Yüksek	Sert-1	Az prz	Az	72,8					
	Pn	13,9	19,9	13,5	1,5	4	4	7	0,938	66,8	60	57	54	51
60	Dğ	119	84,5	138	Yüksek	Yumuşak-3	Az prz	Yüksek	38,5					
	Dğ	11,7	17,3	9,9	1,5	2	4	4	0,817	48,2	43	41	37	34
61	Pn	73	24	40	Düşük	Yumuşak-2	Az prz	Yüksek	28,6					
	Dğ	9,1	6,9	7,8	3	2	4	4	0,785	35,9	32	30	26	23
62	Pn	147	96	323	Orta	Sert-1,2	Az prz	Orta	42,7					
	Dğ	13,1	19,3	11,6	2	4	4	6	0,831	56,9	51	49	45	42
63	Pn	140,7	80,8	125	Orta	Sert-1	Az prz	Orta	43,4					
	Dğ	12,8	16,7	9,7	2	4	4	6	0,833	53	48	45	41	39
64	Pn	73	96,2	323	Orta	Yumuşak-2	Az prz	Yüksek	23,4					
	Dğ	9,1	19,3	11,6	2	2	4	4	0,769	47	42	40	36	33

(σ_{ci} : Kaya malzemesi dayanımı, Js: süreksizlik ara uzaklığı (m), Jwd süreksizlik yüzeyi bozunma derecesi, Jl: devamlılık, Jim: Dolgu türü ve kalınlığı, Jr: pürüzlülük, Wtc1: su yok, Wtc2: su eser miktarda, Wtc3: Su az miktarda, Wtc4: Su orta miktarda)

İncelenen jeoteknik birimlerin tanımlanmasında, M-RMR sisteminin RMR sistemi yerine uygulanabilirliğini araştırmak için M-RMR puanlarının ile RMR puanlarından anlamlı olarak (0,05 ve 0,01 anlam düzeylerinde) farklı olup olmadığı X^2 testi ile test edilmiştir (Tablo 29). Bu test sonucunda incelenen jeoteknik birimler için temel RMR puanı ile düzeltilmiş kütle puanı (CUMR) arasında anlamlı bir fark olmadığı ancak değişik yeraltısuyu koşullarındaki şev için elde edilen nihai RMR puanları ile düzeltilmiş M-RMR puanları arasındaki farkın önemli olduğu görülmüştür. İncelenen jeoteknik birimlerin %80'inde düzeltilmiş M-RMR puanı nihai RMR puanından büyüktür. Sözkonusu puanlar arasındaki fark su içeriğiyle birlikte artmakta olup 2 ile 18 arasında değişmektedir.



Şekil 42. Jeoteknik birimlerin M-RMR'ye göre sınıflandırılması

Tablo 29 Jeoteknik birimler için bulunan M-RMR değerlerinin RMR'ye uygunluğu için uygulanan X^2 testi sonuçları

	RMR temel-CUMR	Nihai RMR- Düzeltmiş M-RMR			
		Kuru	Nemli	Islak	Damlama
$\sum X^2$	23,998	182,6131	283,3859	287,193	334,6041
Serbestlik dercesi	63	63	63	63	63
X^2_{99}		92,4			
X^2_{95}		83,4			

3.5.4. Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma (MRMR)

Bu çalışmada MRMR uygulanırken Laubscher (1984, 1990) ve Haines ve Terbrugge (1991) esas alınmıştır. MRMR sisteminde kaya malzemesi dayanımı ve RQD için puanlama Tablo 30'dan, süreksizlik ara uzaklığı puanı aşağıdaki eşitliklerden bulunmaktadır.

$$1 \text{ süreksizlik takımı için süreksizlik ara uzaklığı puanı;} \\ 25x ((26,4x\text{Log}(J_s)+45)/100) \quad (20)$$

$$2 \text{ süreksizlik takımı için süreksizlik ara uzaklığı puanı;} \\ 25x ((25,94x\text{Log}(J_{s_{\min}})+38)/100)x ((30x\text{Log}(J_{s_{\max}})+28)/100) \quad (21)$$

$$3 \text{ süreksizlik takımı için süreksizlik ara uzaklığı puanı;} \\ 25x ((25,94x\text{Log}(J_{s_{\min}})+30)/100)x ((29,6x\text{Log}(J_s)+20)/100)x((33,3x\text{Log}(J_{s_{\max}})+10)/100) \quad (22)$$

Eğer süreksizlik takımı 3 ten fazla ise süreksizlik ara uzaklığı (J_s) için puanı en düşük olacak şekilde 3 süreksizlik takımı alınır. Süreksizlik yüzey durumu puanı elde etmek için Tablo 31' da verilen büyük ölçekli pürüzlülük puanı, küçük ölçekli pürüzlülük puanı, yüzey ayrışma puanı ve dolgu puanı birbiriyle çarpılmaktadır ve çıkan puan değeri en fazla %40 olmaktadır.

Tablo 30. MRMR sisteminde kaya malzemesi dayanımı ve RQD için puanlama

σ_{ci} (MPa)	Puan %	RQD	Puan(%)
>185	20	97-100	15
165-185	18	84-96	14
145-164	16	71-83	12
125-144	14	56-70	10
105-124	12	44-55	8
85-104	10	31-43	6
65-84	8	17-30	4
45-64	6	4-16	2
35-44	5	0-3	0
25-34	4		
12-24	3		
5-11	2		
1-4	1		

MRMR'yi bulmak için yukarıda verilen jeolojik parametreler (kaya malzemesi dayanımı, RQD, süreksizlik arauzaklığı ve süreksizlik durumu) için hesaplanan toplam puan ayrışma, süreksizlik yönelimi, patlatma etkisi ve gerilme dağılımı ilgili düzeltme katsayılarıyla (K_w , K_{jor} , K_{ev} , K_{str}) çarpılarak elde edilir (Tablo 32, 33 ve 34). Laubscher

(1984,1990) süreksizlik yönelimi düzeltmesini yeraltı kazıları için önermiştir. Söz konusu düzeltme katsayısı bloğu sınırlayan süreksizlik takım sayısı ile düşeyden sapan süreksizlik takım sayısına bağlı olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada, süreksizlik yönelimi düzeltmesi katsayısı şev duraylılığı için puanlar değiştirilmeden yeniden düzenlenmiştir (Tablo 34).

Tablo 31. ..Süreksizlik durumunun değerlendirilmesi (Laubscher ,1990)

Parametre	Tanımlama	Kuru	Düzeltilme, %			
			Nemli	Orta derecede basınç 25-125 l/m	Yüksek basınç >125 l/m	
A Büyük ölçekli pürüzlülük	Çoklu dalgalı	100	100	95	90	
	Uni	95	90	85	80	
	Kıvrımlı	85	80	75	70	
	Hafif dalgalı	80	75	70	65	
	Düz	75	70	65	60	
B Küçük ölçekli pürüzlülük	Pürüzlü	95	85	85	80	
	Basamaklı Düz	90	80	80	75	
	Kaygan	85	75	75	70	
	Dalgalı	Pürüzlü	80	70	70	65
		Düz	75	65	65	60
		Kaygan	70	60	60	55
	Düzlemsel	Pürüzlü	65	55	55	50
		Düz	60	50	50	45
		Kaygan	55	45	45	40
	C Süreksizlik yüzey alterasyon zону	-Yüzey malzemesinden daha dayanımlı	100	100	100	100
-alterasyon yok		100	100	100	100	
-Yüzey malzemesinden daha zayıf dayanımlı		75	70	65	60	
D Süreksizlik dolgusu	Yumuşamayan ve makaslanmamış	İri	90	85	80	75
		Orta	85	80	75	70
		İnce	80	75	70	65
	-Yumuşak makaslanmış	İri	70	65	60	55
		Orta	60	55	50	45
		ince	50	45	40	35
	Dolgu kalınlığı <pürüzlülük	45	40	35	30	
	Dolgu kalınlığı >pürüzlülük	30	20	15	10	

Kazının yapıldığı hacimdeki doğal gerilmelerin oranı ve büyüklüğü kazı yönelimi ve geometrisine bağlı olarak yeniden düzenlenir. Bu nedenle doğal gerilmelerin oranı ve büyüklüğü bilinmelidir. Ancak bu durum daha çok yer altı kazıları için geçerlidir. Haines

ve Terbrugge (1991) MRMR sistemini şev duraylılığı ve tasarımı için kullanırken gerilme durumuna ilişkin düzeltme faktörünü 1 kabul etmişlerdir.

Tablo 32. MRMR sisteminde ayrışma için düzeltme sayısı (Laubscher,1990)

Ayrışma derecesi	Potansiyel ayrışma ve düzeltmeler, %				
	$\frac{1}{2}y$	1y	2y	3y	4+y
Taze	100	100	100	100	100
Az	88	90	92	94	96
Orta	82	84	86	88	90
Yüksek	70	72	74	76	78
Tamamen	54	56	58	60	62
Rezidüel zemin	30	32	34	36	38

Tablo 33. Yeniden düzenlenmiş süreksizlik yönelimi düzeltme puanları

Süreksizlik takım sayısı	Puan	Kendisi veya diğer süreksizliklerle arakesiti yenilme oluşturacak süreksizlik takım sayısı						
		%70	%75	%80	%85	%90	%95	%100
2	2						1	0
3	3			2			1	0
4	4	3			2		1	0
5	5	4	3	3	2	1		0
6	6	5	4	4	3	2,1		0

Tablo 34. MRMR sisteminde kazı yöntemine ilişkin düzeltme değerleri (Laubscher ,1990)

Teknik	Düzeltilme, %
Delik açma (delme)	100
Tarama patlatması	97
İyi klasik patlatma	94
Kötü patlatma	80

İncelen kazı şevleri için, jeoteknik birimlerde yapılan ölçümlere göre elde edilen MRMR değerleri Tablo 35’de, jeoteknik birimlerin MRMR’ye göre sınıflandırması Şekil 43’de verilmiştir. Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve RQD değerleri Tablo 28’de de verildiğinden Tablo35’de gösterilmemiştir.

Varyans analizleri yapılarak, şevin kuru ve nemli olduğu durumlarda jeoteknik birimlere ait MRMR değerleri ile RMR değerleri arasındaki farkın önemli olmadığı, şevde orta derecede su basıncının olduğu durumda ise söz konusu farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. MRMR ile M-RMR puanları arasındaki önemli farklılık vardır.

Tablo 35. Jeoteknik birimlerde değişik su koşullarına göre bulunan MRMR değerleri

JTB No	Js(m)			Yüzey Durumu				MRMR	Düzeltilme			MRMR			
	min	orta	max	Jlr	Jsr	Jwd	Jim		Kw	Kjor	Kev	(1)	(2)	(4)	
1	Dę Pn	0,495	0,629	0,716 9,7	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-Orta 60	50,9	Orta 90	1 95	80	35	33	31
2	Dę Pn	0,289	0,467	0,508 7,9	Kıvrımlı 85	Düz 75	100	Yok 100	65,4	Ayrışmamış 100	2 80	80	42	38	37
3	Dę Pn	0,27	0,4	0,539 7,6	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	43,2	Orta 90	2 80	80	25	23	22
4	Dę Pn	0,354	0,373	0,553 7,9	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	54,2	Ayrışmamış 100	0 100	80	43	40	38
5	Dę Pn	0,382	0,406	0,829 8,9	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	48,5	Az 96	3 70	80	26	25	24
6	Dę Pn	0,204	0,332	0,355 6,4	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	40	Yüksek 78	1 95	80	24	22	21
7	Dę Pn	0,966	1,045	1,221 12,9	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	52,1	Orta 90	2 80	80	30	28	27
8	Dę Pn	0,432	0,593	0,682 9,3	Hafif Dalgalı 80	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	58,6	Ayrışmamış 100	0 100	80	47	44	41
9	Dę Pn	0,451	0,583	0,647 9,3	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	50,5	Orta 90	0 100	80	36	34	33
10	Dę Pn	0,486	0,64	1,91 11,6	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	63,9	Ayrışmamış 100	2 80	80	41	38	36
11	Dę Pn	0,432	0,593	0,682 9,3	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	50,5	Orta 90	0 100	80	36	34	33
12	Dę Pn	0,457	0,781	0,8 10,2	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	51,4	Orta 90	1 95	80	35	33	32
13	Dę Pn	0,364	0,415	0,475 7,9	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	52,1	Ayrışmamış 100	1 95	80	40	38	36
14	Dę Pn	1,527	1,662	1,752 15,7	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	52,9	Orta 90	1 95	80	36	34	33
15	Dę Pn	0,83	0,948	1,183 12,4	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	62,7	Az 96	2 80	80	39	36	34
16	Dę Pn	0,395	0,525	0,68 9	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	55,3	Az 96	3 70	80	30	28	26
17	Dę Pn	0,125	0,127	0,127 3,6	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	49,9	Orta 90	3 70	80	25	23	22
18	Dę Pn	0,549	0,712	0,742 10,1	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	61,4	Ayrışmamış 100	1 95	80	47	44	42
19	Dę Pn	0,32	0,518	0,97 9,3	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	57,6	Ayrışmamış 100	2 80	80	37	34	33
20	Dę Pn	0,686	0,743	0,835 10,8	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	55,1	Orta 90	3 70	80	28	26	24
21	Dę Pn	0,138	0,171	0,183 4,4	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	36,7	Yüksek 78	2 80	80	18	16	15

Tablo 35'in devamı

JT B No		Js(m)			Yüzey Durumu				MRMR	Düzeltilme			MRMR		
		min	orta	max	Jlr	Jsr	Jwd	Jim		Kw	Kjor	Kev	(1)	(2)	(4)
22	Dğ Pn	0,425	0,527	0,554 8,7	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 85	54	Orta 90	2 80	80	31	29	27
23	Dğ Pn	0,951	1,225	1,418 13,6	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 85	55,9	Orta 90	1 95	80	38	36	34
24	Dğ Pn	0,227	0,231	0,34 6	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	50,3	Orta 90	1 95	80	34	32	30
25	Dğ Pn	0,45	0,508	0,525 8,6	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	50,9	Yüksek 78	1 95	80	30	28	26
26	Dğ Pn	0,435	0,438	0,523 8,3	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak- İnce 50	47,3	Orta 90	2 80	80	27	26	25
27	Dğ Pn	0,716	0,721	0,808 10,8	2,6 80	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- İnce 50	45,4	Orta 90	2 80	80	26	25	24
28	Dğ Pn	0,532	0,765	0,83 10,5	Hafif Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak- Orta 60	50,3	Orta 90	2 80	80	29	27	26
29	Dğ Pn	0,763	0,842	0,859 11,3	Hafif Dalgalı 80	Düz 75	100	Yok 100	70,3	Ayrışmamış 100	1 95	80	53	50	47
30	Dğ Pn	0,421	0,423	0,862 9,1	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak- Orta 60	47,9	Orta 90	2 80	80	28	26	25
31	Dğ Pn	0,315	0,389	0,442 7,5	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak- Orta 60	44,3	Orta 90	1 95	80	30	28	27
32	Dğ Pn	0,175	0,299	0,422 6,3	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- Orta 60	48,5	Orta 90	2 80	80	28	26	25
33	Dğ Pn	1,216	1,312	1,133 13,6	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- Orta 60	54,8	Orta 90	1 95	80	38	35	34
34	Dğ Pn	0,449	0,61	1,752 11,2	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- İnce 50	48,4	Yüksek 78	2 80	80	24	23	22
35	Dğ Pn	0,403	0,654	0,749 9,6	Kıvrımlı 85	Düz 75	100	Yok 100	62,1	Orta 90	1 95	80	42	39	37
36	Dğ Pn	0,43	0,583	0,65 9,2	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	53,5	Az 96	4 70	80	29	27	25
37	Dğ Pn	1,216	1,32	1,33 14	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- Orta 60	61,2	Az 96	3 75	80	35	34	32
38	Dğ Pn	0,329	0,426	0,462 7,7	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yok 100	60,1	Az 96	1 95	80	44	41	38
39	Dğ Pn	1,153	1,286	1,33 13,9	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak- Orta 60	59,1	Orta 90	3 75	80	32	30	29
40	Dğ Pn	0,563	0,635	0,738 10	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	54,3	Orta 90	3 70	80	27	25	24

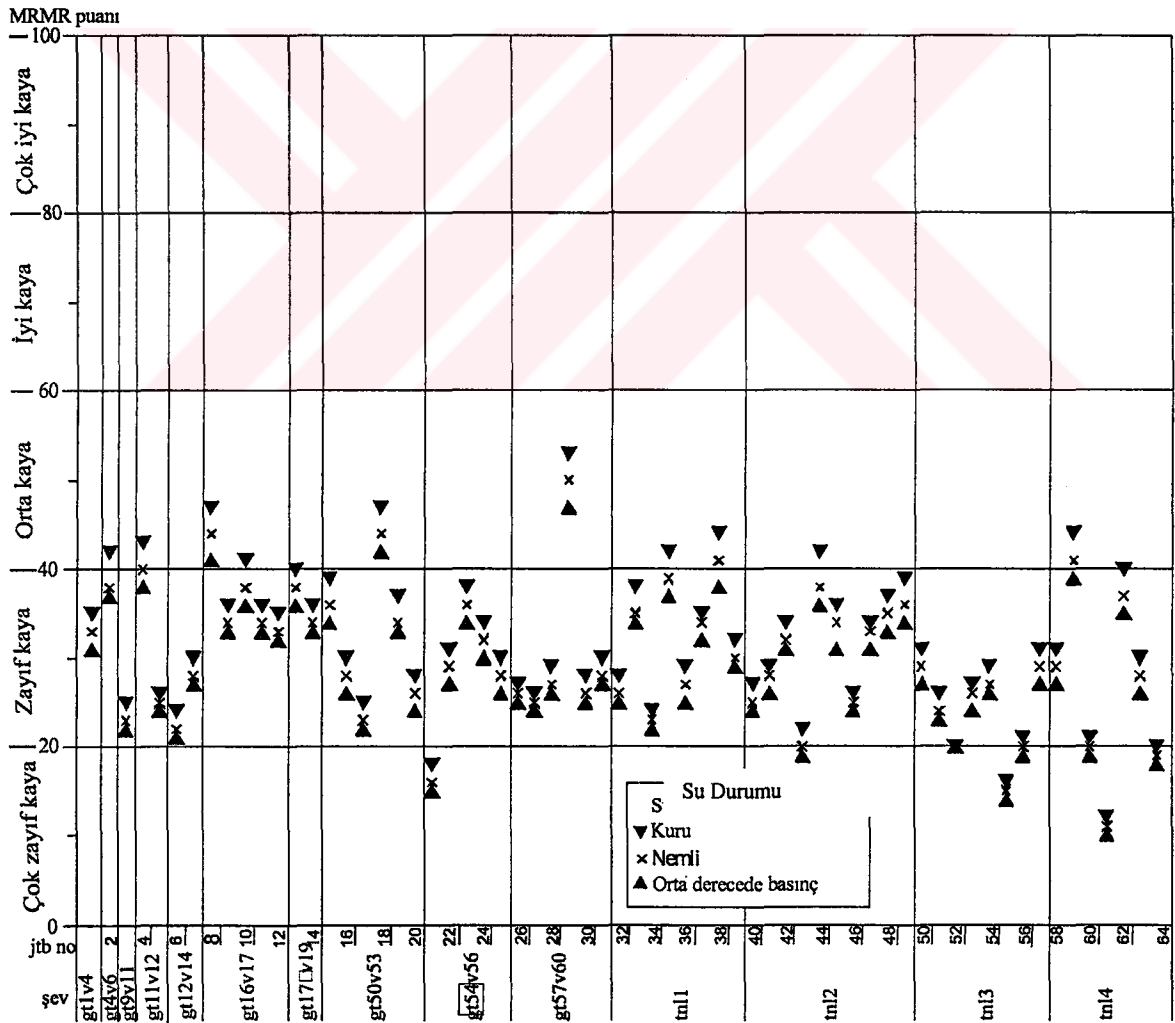
Tablo 35'in devamı

JTB No	Js(m)			Yüzey Durumu				MRMR	Düzeltilme			MRMR			
	min	orta	max	Jlr	Jsr	Jwd	Jim		Kw	Kjor	Kev	(1)	(2)	(4)	
41	Dğ Pn	0,708	0,831	1,166 11,8	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-Orta 60	51	Orta 90	2 80	80	29	28	26
42	Dğ Pn	0,55	0,616	0,71 9,8	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	55	Az 96	2 80	80	34	32	31
43	Dğ Pn	0,738	0,747	0,875 11	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	46,2	Yüksek 78	3 75	80	22	20	19
44	Dğ Pn	0,716	0,772	1,348 12	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	100	Yok 100	68,2	Az 96	2 80	80	42	38	36
45	Dğ Pn	0,475	0,483	0,488 8,5	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	52,8	Orta 90	1 95	80	36	34	31
46	Dğ Pn	0,675	0,827	0,915 11,2	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	51,8	Yüksek 78	2 80	80	26	25	24
47	Dğ Pn	0,817	1,04	1,24 12,6	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-İnce 50	57,8	Yüksek 78	1 95	80	34	33	31
48	Dğ Pn	0,477	1,313	1,621 12,7	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-Orta 60	53,9	Orta 90	1 95	80	37	35	33
49	Dğ Pn	0,434	0,625	0,661 9,4	Kıvrımlı 85	Düz 75	75	Sert-Orta 85	50,7	Az 96	0 100	80	39	36	34
50	Dğ Pn	0,479	0,513	0,638 9,1	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	54,4	Orta 90	2 80	80	31	29	27
51	Dğ Pn	0,762	1,381	1,442 13,4	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 85	55,7	Yüksek 78	3 75	80	26	24	23
52	Dğ Pn	0,425	0,532	0,853 9,5	Hf Dalgalı 80	Pürüzlü 80	75	Sert-İnce	34,5	Yüksek 78	1 95	80	20	20	20
53	Dğ Pn	0,582	0,738	0,837 10,6	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Yumuşak-Orta 60	53,8	Orta 90	3 70	80	27	26	24
54	Dğ Pn	0,441	0,734	0,738 9,9	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-Orta 60	49,7	Orta 90	2 80	80	29	27	26
55	Dğ Pn	0,228	0,244	0,287 5,8	Hif Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	36,8	Yüksek 78	3 70	80	16	15	14
56	Dğ Pn	0,44	0,734	0,738 9,9	Hafif Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 51	48,1	Yüksek 78	3 70	80	21	20	19
57	Dğ Pn	0,419	0,402	0,731 8,8	Hif Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 85	54,1	Orta 90	2 80	80	31	29	27
58	Dğ Pn	0,452	0,482	0,544 8,6	Kıvrımlı 85	Pürüzlü 80	75	Sert-Orta 86	54,1	Orta 90	2 80	80	31	29	27
59	Dğ Pn	0,627	0,727	1,386 11,7	Hafif Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 87	60,4	Az 96	1 95	80	44	41	39
60	Dğ Pn	0,294	0,313	0,373 6,8	Hafif Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	41,8	Yüksek 78	2 80	80	21	20	19

Tablo 35'in devamı

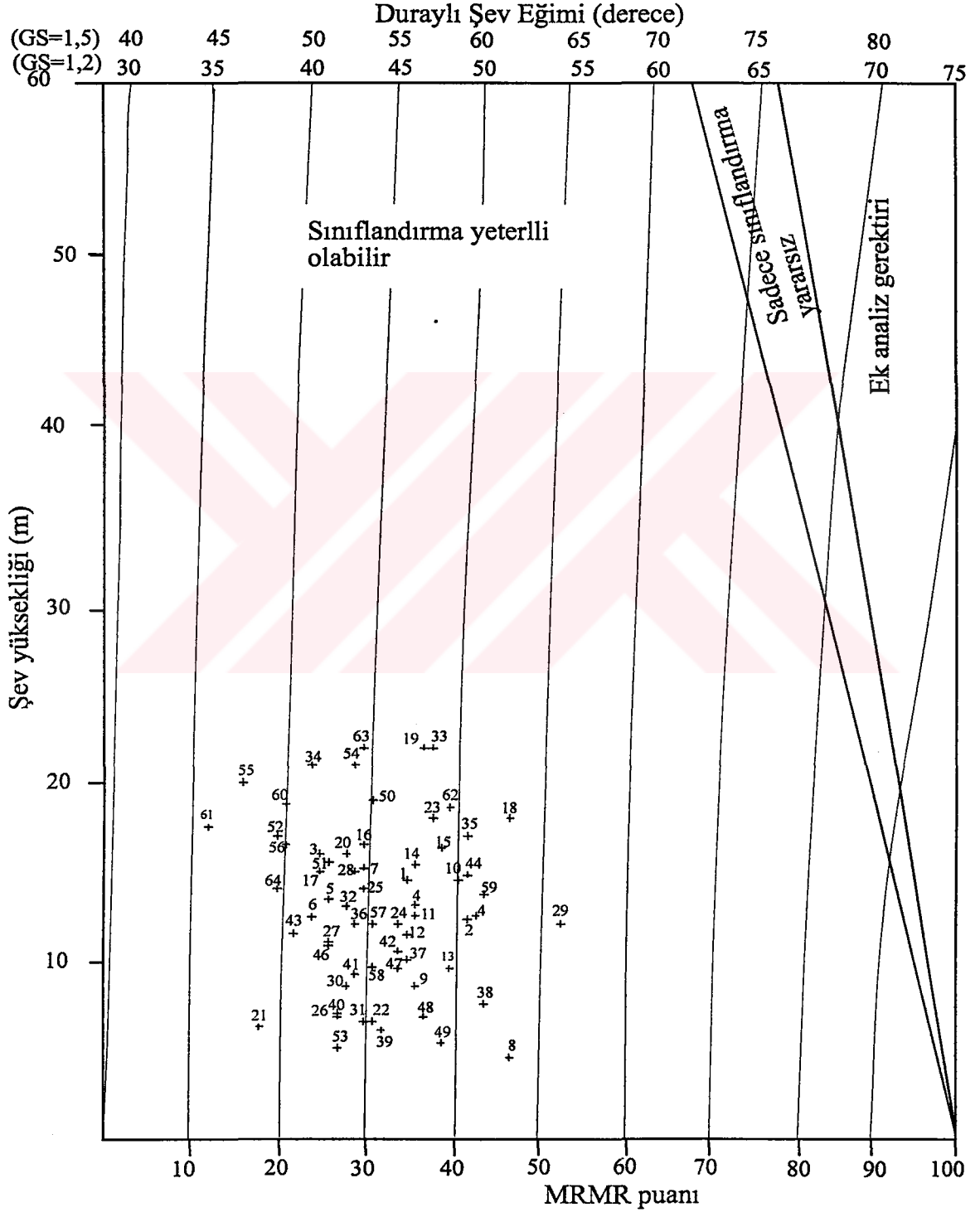
JTB No		Js(m)			Yüzey Durumu				MRMR	Düzeltilme			MRMR		
		min	orta	max	Jlr	Jsg	Jwd	Jim		Kw	Kjor	Kev	(1)	(2)	(4)
61	Dg Pn	0,144	0,145	0,147	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	25	Yüksek 78	2 80	80	12	11	10
62	Dg Pn	0,392	0,518	0,84	H Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 87	55	Az 96	1 95	80	40	37	35
63	Dg Pn	0,288	0,365	0,425	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Sert-Orta 88	49	Az 96	2 80	80	30	28	26
64	Dg Pn	0,495	0,541	0,545	Hf Dalgalı 80	Düz 75	75	Yumuşak-İnce 50	39,9	Yüksek 78	2 80	80	20	19	18

(Js: süreksizlik ara uzaklığı (m), Jlr: büyük ölçekli pürüzlülük, Jsr: küçük ölçekli pürüzlülük, Hf Dalgalı: Hafif dalgalı, Jwd süreksizlik yüzeyi bozunma derecesi, Jim: Dolgu türü ve kalınlığı Kw: ayrışma için düzeltme katsayısı, Kjor: süreksizliklerin yönelimi için düzeltme katsayısı, Kev: patlatma için düzeltme katsayısı, JWtc: su durumu, Wtc1: su yok, Wtc2: sue ser miktarda, Wtc4: Su orta miktarda)



Şekil 43. Jeoteknik birimlerin MRMR'ye göre sınıflandırılması

Haines ve Terbrugge (1991) tarafından önerilen tasarım eğrileri kullanılarak incelenen şevlerin duraylı olabilmesi için gerekli şev açıları bulunmuştur (Şekil 44 ve Tablo 36). Bu analiz yapılırken şevlerin kuru olduğu varsayılarak elde edilen MRMR puanları kullanılmıştır.



Şekil 44. Haines ve Terbrugge (1991) tasarım eğrileri kullanılarak incelenen şevlerde duraylı şev eğimlerinin bulunması

Orta derecede su basıncının olduğu durumdaki duraylı şev açılarını bulmak için Tablo 36'da verilen duraylı eğim açılarından 6 derece çıkarmak yeterli olacaktır

Tablo 36. İncelenen kaya şevlerinin duraylı olabilmesi için gerekli şev eğimi açıları

JTB	No	Eğim (derece)		(A/B)	JTB	No	Eğim (derece)		(A/B)
		Ölçülen(A)	Duraylı(B)				Ölçülen(A)	Duraylı(B)	
gt1v4	1	85	52	1,63	tn11	33	80	53	1,51
gt4v6	2	70	56	1,25		34	85	53	1,6
gt9v11	3	75	63	1,19		35	85	56	1,52
gt11v12	4	80	57	1,4		36	80	49	1,63
	5	75	47	1,6		37	75	53	1,42
gt12v14	6	76	47	1,62		38	75	58	1,29
	7	72	50	1,44		39	75	51	1,47
gt16v17	8	75	59	1,27	tn12	40	72	48	1,5
	9	75	53	1,42		41	72	49	1,47
	10	75	55	1,36		42	72	52	1,38
	11	75	53	1,42		43	72	46	1,57
	12	80	53	1,51		44	72	56	1,29
gt17v19	13	73	54	1,35		45	72	43	1,67
	14	73	54	1,35		46	72	47	1,53
gt50v53	15	85	54	1,57		47	72	52	1,38
	16	85	54	1,57		48	72	53	1,36
	17	85	47	1,81		49	72	54	1,33
	18	85	59	1,44	50	82	55	1,49	
	19	87	53	1,64	51	82	47	1,74	
	20	85	48	1,77	52	82	44	1,86	
gt54v56	21	85	44	1,93	tn13	53	82	48	1,71
	22	85	51	1,67		54	85	53	1,6
	23	85	53	1,6		55	85	43	1,98
	24	85	52	1,63		56	85	45	1,89
	25	85	50	1,7		57	85	51	1,67
gt57v60	26	66	47	1,4	tn14	58	85	51	1,67
	27	66	47	1,4		59	85	58	1,47
	28	78	48	1,63		60	85	50	1,7
	29	85	66	1,29		61	85	42	2,02
	30	85	48	1,77		62	85	54	1,57
	31	80	50	1,6		63	85	54	1,57
tn11	32	80	58	1,38		64	85	44	1,93

Tablo 36'da verilen duraylı şev açıları güvenlik sayısı 1,5 kabul edilerek çizilen tasarım eğrilerinden bulunmuştur. Güvenlik sayısı 1,5 kabul edilerek duraylı şev açısı ile güvenlik sayısı 1,2 kabul edilerek bulunan duraylı şev açısı arasında 5 derecelik fark vardır (Şekil 44). Tablo 36'da, verilen ölçülen şev açısı/ şevin duraylı olması için gerekli şev açısı) oranı değerleri incelenen şevlerin duraysız olduğu görülmektedir.

3.5.5. Şev Duraylılığı İçin Jeomekanik Sınıflandırma (SMR)

Kaya şevlerinin duraylılık açısından sınıflandırmasını amaçlayan bu puanlama sistemi Romana (1985, 1993, 1995) ve Roman vd. (2003) tarafından önerilmiştir. SMR sistemi jeomekanik kaya sınıflandırma sisteminden (RMR, Bieniawski,1989) elde edilmektedir. Bu yöntemde temel RMR puanına süreksizlik ile şevin eğim yönleri ve eğimleri arasındaki ilişkiyi ifade eden düzeltme faktörleri ve kazı yöntemine bağlı olarak örselenmeyi ifade eden faktör eklenmiştir (Tablo 37). SMR puanı aşağıdaki formülle bulunmaktadır

$$SMR=RMR_{temel} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (23)$$

F_1 faktörü, şev düzlemi ile süreksizlik düzlemi arasındaki paralellik ilişkisini gösterir (Tablo 37). Aşağıdaki eşitlikte verilen F_1 faktörünün değeri 0.15 (bu durumda düzlemler arasındaki ilişki 30° den fazladır) ile 1 (bu durumda düzlemler kendi aralarında paraleldir ve yenilme olasılığı çok düşüktür) arasında değişir

$$F_1=(1-\sin \delta)^2 \quad (24)$$

Eşitlikte, δ ; şev ve süreksizlik yüzeyinin doğrultusu arasındaki açıdır.

F_2 faktörü, düzlemsel kayma türü yenilmede süreksizlik yüzeyinin eğimine bağlıdır. Bu faktör süreksizlik kesme direncinin de bir ifadesi olarak ele alınmaktadır (Tablo 37). Aşağıdaki eşitlikte verilen F_2 faktörünün değeri 1 ile (bu durumda süreksizlik eğimi 45° den büyüktür) 0.15 (bu durumda süreksizlik eğimi 20° den daha düşüktür) arasında değişmektedir. Devrilme türü yenilme için $F_2=1$ alınır.

$$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j \quad (25)$$

Eşitlikte, β_j ise süreksizlik eğim açısıdır.

F_3 faktörü, şev düzlemi ile süreksizlik düzleminin eğimi arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu faktör ve düzlemsel kayma tipi yenilmede süreksizliğin şev düzlemini kesip kesmediğinin bir göstergesidir (Tablo 37).

F_4 faktörü ise şevin kazı yöntemine bağlı olarak şevin örülenme durumunu gösteren parametredir (Tablo 37).

SMR puanı şevlerin duraylılık açısından sınıflamasında ve duraysız şevlerde duraylılığı sağlamak ve/veya oluşabilecek zararları engellemek için alınacak önlemlerin belirlenmesinde kullanılır (Tablo 38 ve Şekil 45).

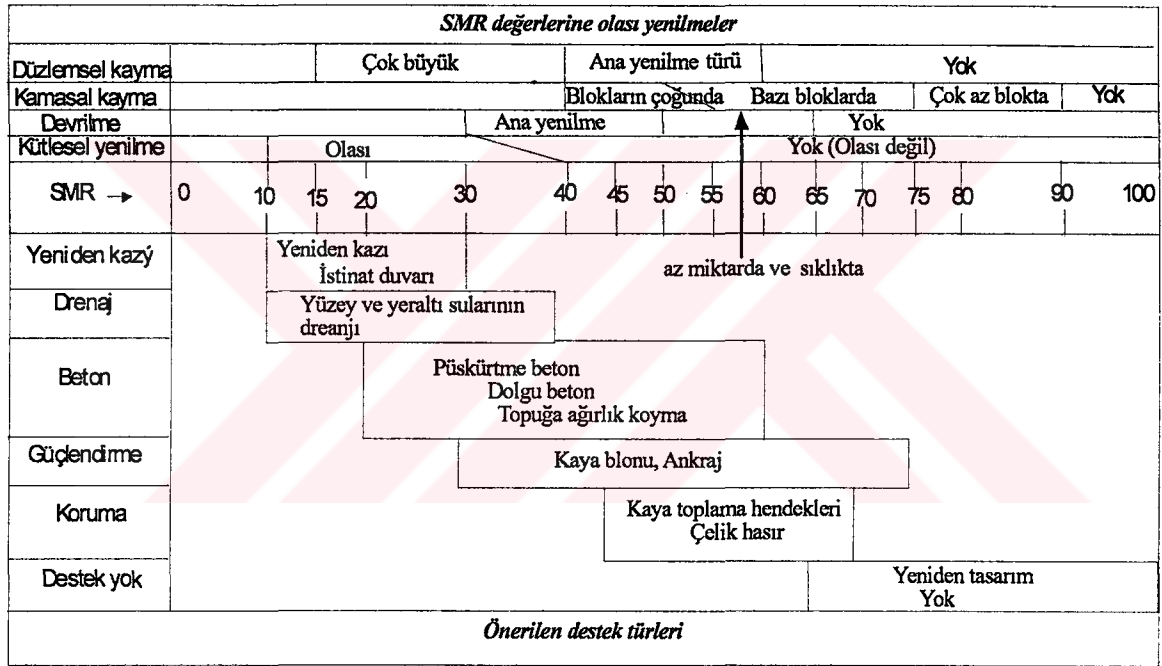
Tablo 37. SMR sistemindeki süreksizlikler için düzeltme faktörleri (F_1, F_2, F_3) ile kazı için düzeltme puanı

SMR=RMR _B +(F ₁ *F ₂ *F ₃)+F ₄ (ROMANA, 1985, 2003)					
Süreksizlikler için düzeltme faktörleri (F ₁ , F ₂ , F ₃)	α_j =Süreksizlik eğim yönü		β_j = süreksizliğin eğimi		
	α_s =şev eğim yönü		β_s =şevin eğimi		
	Çok uygun	Uygun	Zayıf	Uygun değil	Hiç uygun değil
Düzlemsel kayma için $ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
Devrilme için $ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
F ₁ değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
Düzlemsel kayma $ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
F ₂ değeri	0.15	0.4	0.7	0.85	1
Devrilme F ₂ değeri	1				
	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
Düzlemsel kayma için $(\beta_j - \beta_s)$	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<(-10°)
Devrilme için $(\beta_j + \beta_s)$	<110°	110°-120°	>120°	-	-
F ₃ değeri	0	-6	-25	-50	-60
	F ₃ (süreksizlik yönelimi için Bieniawski düzeltme puanı, 1976)				
Kazı metodu için F ₄ düzeltme puanı	F ₄ = Kazı metodu için ampirik değerler				
	Doğal şev	Ön çatlatma	Tarama patlatması	Klasik patlatma veya mekanik kazı	Kötü patlatma
F ₄ değeri	+15	+10	+8	0	-8

Tablo 38. SMR puanına göre şevin duraylılık açısından sınıflandırılması (Romana, 1985)

Sınıf no	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIB	Ila	Ib	Ia
Tanımlama	Çok kötü		Kötü		Orta		İyi		Çok iyi	
Duraylılık	Tamamen duraysız		Duraysız		Kısmen duraysız		Duraylı		Tamamen duraysız	
Yenilmeler	Büyük düzlemsel kayma veya dairesel kayma		Düzlemsel kayma veya kamasal kayma		Bazı süreksizliklere bağlı kamasal kayma		Bazı bloklar		Yok	
Destek	Yeniden kazı				Sistematik		Bazen		Yok	

Şekil 45. SMR puanına göre şevin duraylılık açısından sınıflandırılması, şevde görülebilecek yenilme türleri ve duraylılığı sağlamak için gerekli, önlemler (Romana, 2003)



İncelenen kazı şevlerinde SMR puanını hesaplariken her bir süreksizlik için elde edilen F_1 , F_2 , F_3 faktörleri Tablo 39'da verilmiştir. F_4 faktörü tüm jeoteknik birimler için (-8) olarak alınmıştır. Tablo 40'da verilen SMR puanları şevde suyun olmadığı, kuru durumu dikkate alınarak bulunmuştur. Değişik su durumu için bulunan SMR puanlarına göre şevlerin sınıflandırılması ve duraysız şevlerde duraylılığı sağlamak için alınabilecek önlemler Şekil 46'de verilmiştir.

Tablo 39'un devamı

JTB	JS1				JS2				JS3				J4							
	Kayma			Devrilme	Kayma			Devrilme	Kayma			Devrilme	Kayma			Devrilme				
42	0,15	1	-6	1	-25	0,15	0,4	-60	0,15	-25	0,15	1	0	0,15	-25					
43	0,15	1	0	0,15	-25	0,15	0,7	-60	0,15	-25	0,15	1	-6	1	-25					
44	0,7	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	0	0,15	-25					
45	0,4	1	-60	0,15	-6	0,15	1	-6	1	-6	0,15	1	-6	0,15	-6					
46	0,15	1	-50	0,15	-25	0,15	1	-6	0,15	-25	0,85	1	-25	0,15	-25					
47	0,4	1	-60	0,15	-6	0,15	1	-50	0,15	-6	0,15	1	-6	0,15	-6					
48	0,15	1	-6	0,15	-25	0,15	0,85	-60	0,15	-25	0,15	1	-6	0,15	-25					
49	0,15	1	-50	0,15	-25	0,15	1	-6	0,15	-25	0,15	1	-6	0,15	-25					
50	1	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25					
51	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,4	-25	0,4	1	-60	0,15	-25
52	0,15	1	-50	0,15	-25	0,4	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-50	0,15	-25					
53	0,4	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-50	1	-25					
54	1	1	-6	0,15	-25	0,15	1	-50	0,15	-25	1	0,7	-60	0,15	-25					
55	0,15	1	-50	0,15	-25	0,4	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-50	0,15	-25					
56	1	1	-6	0,15	-25	0,15	1	-50	0,15	-25	0,85	0,7	-60	0,15	-25					
57	0,15	1	-50	0,4	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	1	-25					
58	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	1	-25	0,15	1	-50	0,15	-25					
59	0,15	1	-50	0,15	-25	0,85	0,85	-60	0,15	-25	0,15	1	-25	0,15	-25					
60	0,15	1	-60	1	-25	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25					
61	0,15	0,85	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	1	-25	0,85	1	-25	0,15	-25					
62	0,4	1	-60	0,15	-25	0,15	0,85	-60	0,15	-25	0,15	1	-60	0,15	-25					
63	0,15	0,7	-60	0,4	-6	0,15	1	-60	0,7	-6	0,15	0,85	-60	0,15	-6	0,15	1	-50	0,15	-6
64	0,15	1	-60	0,15	-25	0,15	0,4	-60	1	-25	0,15	1	-60	0,15	-25					

SMR puanına göre şevlerin duraylılık sınıflandırması arazi gözlemleriyle uyumludur. Ancak SMR'nin şev yüksekliğini dikkate almaması ve kütleli yenilme için de süreksizlik yönelimlerini dikkate alması şev duraylılık değerlendirmeleri için önemli eksiklidir. Şevin kuru durumda olması durumunda elde edilen SMR puanı ile orta derecede su basıncının olması durumu için bulunan SMR puanları arasında 8-12 puan farkı vardır.

Romana (1985, 1993, 1995) ve Romana vd. (2003) SMR puanını blok kayması ve devrilme türü yenilmeler için hesaplamakta, kamasal kayma yenilmesini var olan süreksizliklerdeki blok kayması şeklindeki yenilmenin özel bir durumu olarak ele almaktadır. Ancak kama türü yenilme şev iki süreksizliğin arakesiti boyunca ve bu arakesitin şev yüzeyini kesmesi durumunda oluşmaktadır.

Tablo 40. Şevlerin kuru olduğu durum için bulunan SMR puanları

Şev	JTB no	Süreksizlik için SMR puanı								Şev için SMR			Düzeltilmiş SMR
		J1		J2		J3		J4		Ky	Dv	Min	KKy
gt1v4	1	60	57	52	57	52	57			52	57	52	25
gt4v6	2	60	55	24	55	52	55			24	55	24	50
gt9v11	3	54	48	47	53	37	53			37	48	37	-6
gt11v12	4	68	57	56	57	54	57			54	57	54	54
	5	19	57	52	57	54	57			19	57	19	25
gt12v14	6	53	49	42	49	42	49			42	49	42	7
	7	75	63	59	63	42	63			42	63	42	32
gt16v17	8	67	66	65	66	67	66			65	66	65	46
	9	70	69	69	69	70	69			69	69	69	45
	10	60	65	60	65	60	65			60	65	60	60
	11	62	61	60	61	62	61			60	61	60	57
gt17v18v19	12	64	61	61	61	64	48			61	48	48	41
	13	66	62	58	62	61	62			58	62	58	53
gt50v53	14	68	64	63	64	57	64			57	64	57	64
	15	75	46	63	67	64	46	62	61	62	46	46	65
	16	63	38	54	59	21	59			21	38	21	39
	17	54	29	45	50	12	50			12	29	12	46
	18	64	61	56	48	56	40			56	40	40	5
	19	46	59	54	59	54	38			46	38	38	54
gt54v56	20	20	59	56	38	56	38			20	38	20	43
	21	40	36	31	36	39	15	33	15	31	15	15	40
	22	64	56	51	50	51	39	51	56	51	39	39	9
	23	67	62	57	41	58	62			57	41	41	37
	24	39	51	51	51	48	30			39	30	30	46
gt57v60	25	39	51	51	51	48	30			39	30	30	46
	26	64	32	49	32	51	53			49	32	32	53
	27	70	38	55	38	57	59			55	38	38	59
	28	63	37	53	58	20	58			20	37	20	53
	29	73	47	71	47	68	68			68	47	47	68
	30	20	50	45	29	45	50			20	29	20	45
tnl1ş	31	50	44	43	44	44	49			43	44	43	50
	32	53	50	46	50	42	50			42	50	42	42
	33	63	60	55	60	57	60			55	60	55	4
Tnl1ş	34	56	51	47	51	54	30			47	30	30	47
	35	62	59	56	59	28	59		59	28	59	28	54
	36	65	62	56	62	39	62			39	57	39	53
	37	71	72	48	72	63	72		72	48	72	48	48
	38	69	65	58	65	64	65			58	65	58	61

Tablo 40'ın devamı

		Süreksizlik için SMR puanı								JTB için SMR			Düzeltilmiş SMR
		JS1		JS2		JS3		JS4		Ky	Dv	Min	KKy
		Ky	Dv	Ky	Dv	Ky	Dv	Ky	Dv				
Tnl1ş	39	65	66	42	66	57	66			42	66	42	46
tnl2ş	40	62	57	10	57	53	57			10	57	10	53
	41	66	58	53	58	55	41			53	41	41	53
	42	74	42	63	63	67	63			63	42	42	63
	43	63	51	49	51	54	30			49	30	30	38
	44	37	67	62	67	71	67			37	67	37	20
	45	43	58	58	53	58	58			43	53	43	53
	46	58	53	56	53	36	53			36	53	36	21
	47	46	61	55	61	61	61			46	61	46	19
	48	64	53	49	53	56	53			49	53	49	32
	49	62	57	60	57	60	57			60	57	57	1
tnl3ş	50	10	58	53	58	53	58			10	58	10	53
	51	59	56	51	56	51	50	36	56	36	50	36	51
	52	53	48	28	48	45	48			28	48	28	-8
	53	56	68	63	68	65	47			56	47	47	63
	54	57	51	48	51	13	51			13	51	13	46
	55	46	41	21	41	38	41			21	41	21	-6
	56	59	53	50	53	21	53			21	53	21	48
	57	61	50	51	56	51	35			51	35	35	50
tnl4ş	58	57	54	49	33	51	54			49	33	33	22
	59	68	63	24	63	63	63			24	63	24	24
	60	49	25	41	46	41	46			41	25	25	-1
	61	36	32	27	11	15	32			15	11	11	27
	62	45	57	53	57	52	57			45	57	45	19
	63	57	53	46	51	47	54	48	54	46	51	46	47
	64	50	47	47	26	42	47			42	26	26	51

(JTB:Jeoteknik birim, Ky: Kayma türü yenilme, Dv: Devrilme türü yenilme, KKy:Kamasal kayma türü yenilme, JS1: 1. süreksizlik takımı, JS2: İkinci süreksizlik takımı, JS3: 3. süreksizlik takımı, JS4: 4. süreksizlik takımı)

Anbalagan vd (1992) düzlemsel kaymayı ve kamasal kaymayı yukarıda da belirtildiği gibi farklı iki ayrı durum olduğunu görerek SMR'yi yeniden düzenlemişlerdir. Tablo 40'da kamasal kayma için verilen düzeltme faktörleri Romana (1985, 1993, 1995) ve Romana vd. (2003) de yer almamakta olup Anbalagan vd (1992) tarafından eklenmiştir. Bu düzenleme için söz konusu faktörler hesaplanırken süreksizlik düzleminin eğim ve doğrultu değerleri yerine arakesitin yönelimi ve eğimi alınmıştır (Anbalagan vd,1992).

önermiştir. Bu yöntem jeolojik parametrelerin ölçülmesine ve oluşan yenilme türlerinin olasılık analizlerine dayanmaktadır (Hack 1997, 1998 ; Lindsay vd. 2001; Hack vd., 2003).

SSPC sisteminde şev duraylılık olasılığı üç adımda hesaplanmaktadır.

Birinci adımda “yüzeylemiş kaya kütlelerinin (ERM)” karakteristikleri ölçülür. Bu karakteristikler; malzeme özellikleri (dayanım ve ayrışmaya karşı duyarlılık), süreksizliklerin yönelimleri (doğrultu ve eğimleri), süreksizliklerin takım veya gelişigüzel (tek) olarak bulunması ve süreksizliklerin özellikleridir (pürüzlülük, dolgu durumu, yüzeydeki çözünme durumudur).

İkinci adımda, tanımlanan ERM karakteristiklerinden faydalınarak “referans kaya kütlelerini (RRM)” oluşturmaktır. Bunun için ERM’de ölçülen parametre değerleri yüzeylemedeki yersel faktörler; örselenme ve ayrışma durumu kullanılarak düzeltilir. Bu şekilde elde edilen RRM ayrışmamış, herhangi bir nedenle örselenmemiş kaya kütlelerini ifade eder.

Üçüncü. adımda ise RRM karakteristikleri duraylılık değerlendirilmesi yapılacak şevdeki kaya kütle (SRM) karakteristiklerine dönüştürülür.

Bu çalışmada SSPC yöntemi yol kazısı ile oluşturulmuş şevlerde uygulandığından söz konusu dönüştürmeler gerekmemektedir. Başka bir deyişle bu çalışmada karakteristikleri ölçülen kaya kütleleri (ERM) ile duraylılığı araştırılan kaya kütleleri (SRM) aynıdır.

SSPC sistemi ile iki sonuç üretilir;

- kaya kütlelerinin dayanım özellikleri; kohezyonu, sürtünme açısı ve dayanımı,
- Şev duraylılığının (süreksizliklerin yönelimine bağlı olan ve yönelimden bağımsız olarak gelişebilecek yenilmelerinin) olasılık olarak tanımlanması

SSPC sisteminde kaya kütle dayanım özelliklerini veren aşağıdaki eşitlikler Mohr-Coulomb kırılma kriteri esas alınarak oluşturulmuştur (Hack vd., 2003)

$$\phi'_m = 0,2417\sigma_{ci} + 52,12SPA + 5,779CD \quad (26)$$

$$c'_m = 94,27\sigma_{ci} + 28629SPA + 3593CD \quad (27)$$

Yukardaki eşitliklerde, ϕ'_m : kaya kütleleri içsel sürtünme açısı, c'_m : kaya kütleleri kohezyonu, σ_{ci} : kaya malzemesi dayanımı, SPA: süreksizlik ara uzaklığı faktörü ve

CD: süreksizlik durumudur. Bu eşitlikler uygulanırken $\sigma_{ci} > 132$ MPa olması durumunda $\sigma_{ci} = 132$ MPa olarak alınmaktadır.

3 süreksizlik takımı içeren kaya kütlelerinde, süreksizlik ara uzaklığı faktörü (SPA) aşağıda verilen eşitlikle bulunmaktadır

$$SPA = \text{Faktör 1} \times \text{Faktör 2} \times \text{Faktör 3} \quad (28)$$

$$\text{Faktör 1} = 0,30 + 0,259 \times \log_{10}(\text{en küçük ara uzaklık}) \quad (29)$$

$$\text{Faktör 2} = 0,20 + 0,296 \times \log_{10}(\text{orta büyüklükteki ara uzaklık}) \quad (30)$$

$$\text{Faktör 3} = 0,10 + 0,333 \times \log_{10}(\text{en büyük ara uzaklık}) \quad (31)$$

Kaya kütlesi için tanımlanan süreksizlik koşulu (CD) her bir süreksizlik için tanımlanan süreksizlik ara uzaklığına (JS) ve süreksizlik koşul faktörüne bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$CD = \frac{\frac{TC_1}{JS_1} + \frac{TC_2}{JS_2} + \frac{TC_3}{JS_3}}{\frac{1}{JS_1} + \frac{1}{JS_2} + \frac{1}{JS_3}} \quad (32)$$

Eğer kaya kütlesinde 3' ten fazla süreksizlik takımı varsa, yukarıda verilen eşitlikler için en düşük TC ve JS'yi verecek 3 süreksizlik takımı dikkate alınmaktadır.

Süreksizlik koşul faktörü (TC) küçük ölçekli pürüzlülüğü, büyük ölçekli pürüzlülüğü, dolgu durumu ve yüzeyde karışma (erime boşluklarının) olup olmadığı dikkate alınarak hesaplanmaktadır

$$TC = Jlr \times Jsr \times Jim \times Kd \quad (33)$$

Eşitlikte Jlr: büyük ölçekli pürüzlülüğü, Jsr: küçük ölçekli pürüzlülüğü, Im: dolgu malzemesi türü ve Kd: yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu dur TC yi hesaplamada kullanılan bu faktörlerin puanlaması Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. Süreksizlik koşul faktörü (TC) için, büyük ölçekli pürüzlülük, küçük ölçekli pürüzlülük, dolgu malzemesi türü ve yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu ile ilgili puanlama (Hack vd. 2003)

-Büyük ölçekteki pürüzlülük (Jlr) (0,2*0,2 den (1*1 m ² kadar)	dalgalı	1,00	
	hafif dalgalı	0,95	
	Kavisli	0,85	
	hafif kavisli	0,80	
	düz	0,75	
Küçük ölçekteki pürüzlülük (Jsr) (0,2*0,2 m ² alan)	pürüzlü basamaklı	0,95	
	düz basamaklı	0,90	
	Kaygan basamaklı	0,85	
	pürüzlü dalgalı	0,80	
	düz dalgalı	0,75	
	Kaygan dalgalı	0,70	
	pürüzlü düzlemsel	0,65	
	düz düzlemsel	0,60	
	Kaygan düzlemsel	0,55	
Dolgu Malzemesi (Jim)	çimentolu/çimentolu dolgu	1,07	
	dolgu yok /yüzey boyanmış	1,00	
	yumuşamayan ve makaslanmamış	iri	0,95
		orta	0,90
		ince	0,85
	yumuşak veya makaslanmış	iri	0,75
		orta	0,65
		ince	0,55
	Dolgu kalınlığı >pürüzlülük	0,42	
	Dolgu kalınlığı <pürüzlülük	0,17	
malzeme akıcı	0,05		
-Karstik	yok	1,00	
Boşluk (Kd)	Var	0,92	

SSPC sisteminde kaya şevi duraylılığı yenilme türlerinin her biri için verilmektedir. Süreksizlik yönelimine bağlı duraysızlık analizi süreksizlikler tarafından kontrol edilen kayma ve devrilme türü yenilmeler için yapılmaktadır. Süreksizlik ve şevin yönelimine

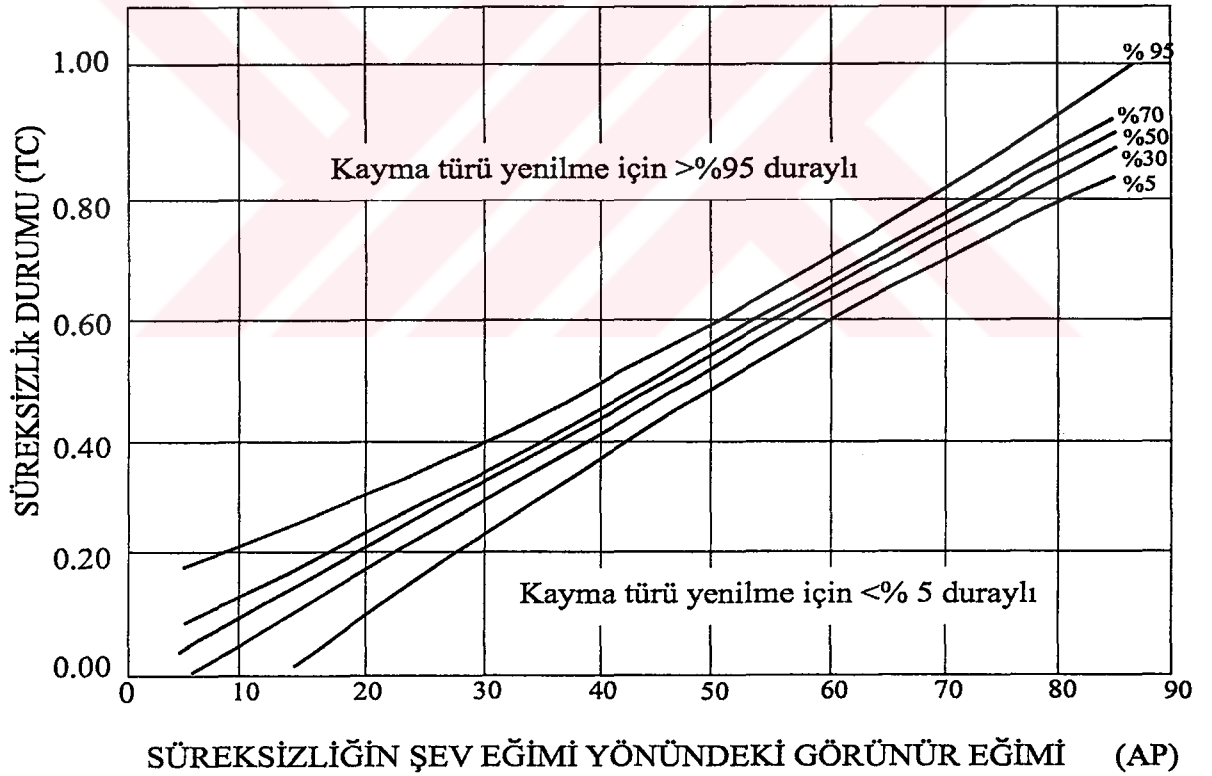
bağlı olan duraysızlık analizinde her bir süreksizlik takımı için tanımlanan “Süreksizlik koşul faktörü (TC)” ile süreksizliğin şev eğimi yönündeki görünür eğimi (AP) arasında ampirik bağıntıdan yararlanılmaktadır.

$$AP = \arctan(\cos \delta x \tan \beta_j) \quad (34)$$

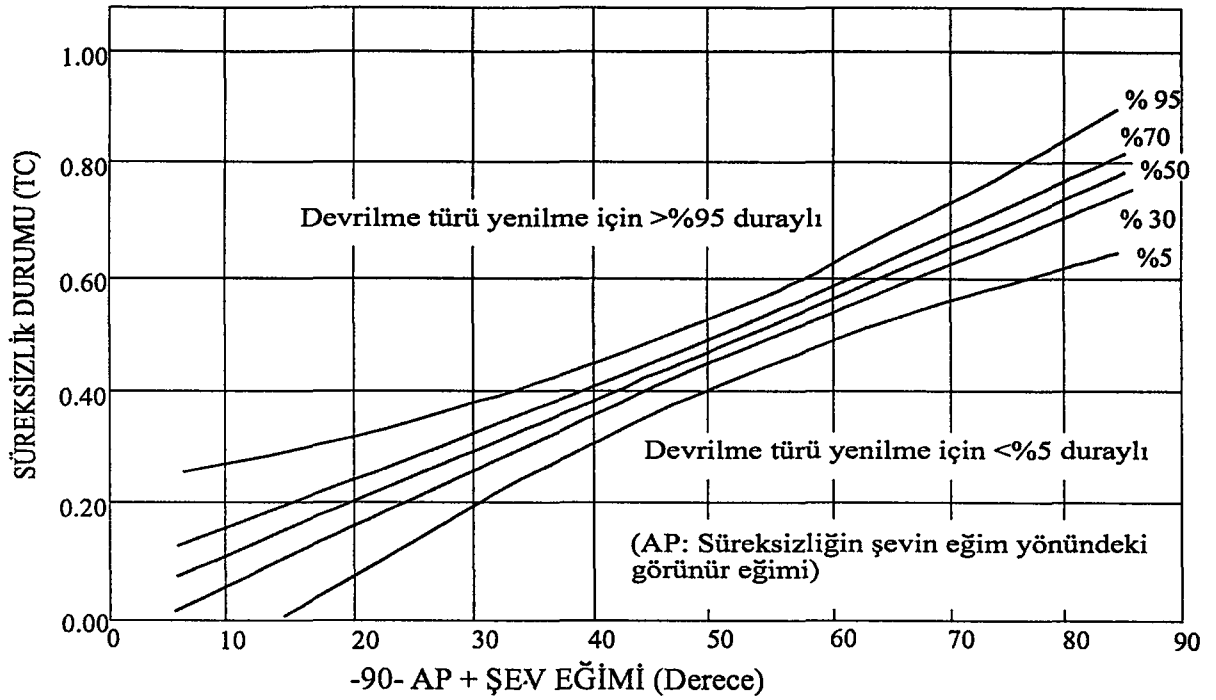
$$\delta = \beta_s - \beta_j \quad (35)$$

Yukarıdaki eşitlikte, β_s şevin eğimi, β_j ise süreksizliğin eğimidir. $AP > 0$ ise AP süreksizliğin yamaç eğimi yönündeki görünür eğimini, $AP < 0$ ise AP nin mutlak değeri süreksizliğin yamaç eğimine ters yönündeki görünür eğimin ifade etmektedir.

SSPC sisteminde kayma ve devrilme türü yenilmeler için şev duraysızlığının olasılık tanımlamak için Şekil 47 ve Şekil 48’deki grafikler verilmiştir



Şekil 47. Süreksizlik yönelimine bağımlı duraylılık analizinde kayma türü yenilmenin olasılığını belirlemek için geliştirilmiş grafik (Hack vd. 2003).



Şekil 48. Süreksizlik yönelimine bağımlı duraylılık analizinde devrilme türü yenilmenin olasılığını belirlemek için geliştirilmiş grafik (Hack vd. 2003)

SSPC yönteminde süreksizliğe bağlı kayma ve devrilme türü yenilmeler için duraylılık kriterleri (duraylı-duraysız tanımlaması için verilen ölçütler) aşağıdaki eşitliklerle oluşturulmuştur;

Kayma türü yenilmenin oluşması için;

$$TC < 0,0113AP \quad (36)$$

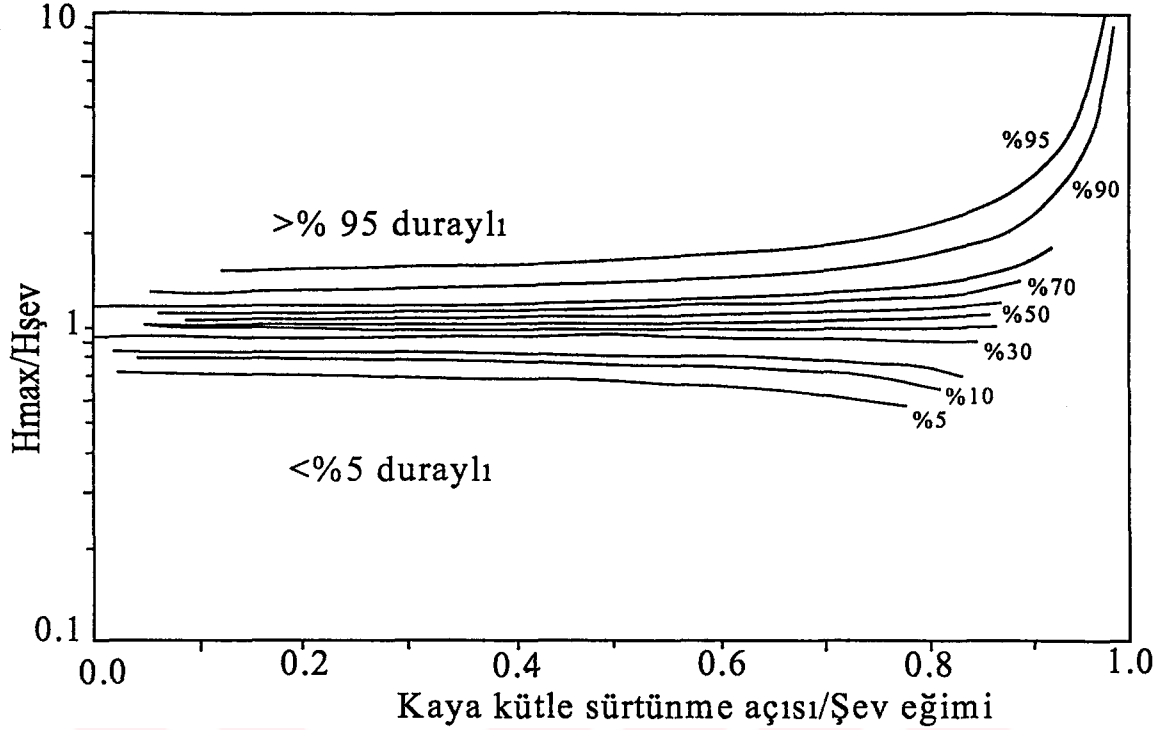
Devrilme türü yenilmenin oluşması için;

$$TC < 0,0087 (-90-AP+\text{Şev eğimi}) \quad (37)$$

şartlarının oluşması gerekmektedir

Süreksizliklerin yönelime bağlı olmayan duraysızlık analizi için ($H_{\max}/H_{\text{şev}}$) oranı ile (ϕ'_m/β_s) oranı karşılaştırılmaktadır (Şekil 49). Burada H_{\max} , şevin duraylı olarak kalabileceği en büyük şev yüksekliğini göstermektedir. Eğer şevin eğimi (β_s) kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısından (ϕ'_m) büyük veya ona eşit ise H_{\max} 'ın değeri sonsuz olmaktadır. Eğer $\beta_s < \phi'_m$ ise H_{\max} aşağıdaki gibi bulunmaktadır;

$$H_{\max} = 1,6 \times 10^{-4} x c'_m x \frac{\sin(\beta_{\text{şev}}) x \cos(\phi'_m)}{1 - \cos(\beta_{\text{şev}} - \phi'_m)} \quad (38)$$



Şekil 49. Süreksizlik yönelimindene bağımsız duraylılık analizi geliştirilmiş grafik (Hack vd. 2003)

İncelenen kazı şevlerde duraylılığın olasılık sınıflaması için ilk önce şevde tanımlanan jeoteknik birim için şevin yüksekliği ve eğimi ölçülmüştür. Daha sonra bu jeoteknik birimlerde belirlenen her bir süreksizlik takımının yüzey durumu; süreksizlik ara uzaklığı (J_s , m) küçük ölçekli pürüzlülük (R_L) büyük ölçekli pürüzlülük (R_s) ve dolgu malzemesi türü ve kalınlığı (I_m) belirlenmiş ve SSPC sistemi için puanlanmıştır (Tablo 42). Süreksizliklerin yüzeylerinin tamamında karstik boşluklar gözlenmediği için Tablo 42’de karstik boşlukla ilgili puanlama ($K_d=1$) ayrıca gösterilmemiştir. Eşitlik 28, 29, 30 ve 48’den her bir jeoteknik birim için süreksizlik ara uzaklığı değerleri, Eşitlik 33’den süreksizlik koşul faktörü (TC) ve Eşitlik 34 ve 35’den süreksizliğin şev eğimi yönündeki görünür eğimi (AP) bulunmuştur (Tablo 43). Bu TC ve AP değerleri kullanılarak Şekil 47 ve 48’den her bir süreksizlik takımına bağlı olarak kayma ve devrilme türü yenilmelerin olasılığı bulunmuştur (Tablo 43). Tablo 43’de, %100 değeri kaya şevi için “tamamen duraylılığı”, <%5 değeri ise “tamamen duraysızlığı” tanımlamaktadır.

Tablo 42. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzey durumunun SSPC sistemine göre puanlaması

JTB No	1. süreksizlik takımı (JS1)				2. Süreksizlik takımı (JS2)				3. Süreksizlik takımı (JS3)				4. Süreksizlik takımı (JS4)			
	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim
1	0,495	1	0,8	0,55	0,629	0,75	0,8	0,9	0,716	0,75	0,8	1				
2	0,289	0,95	0,75	1	0,467	0,85	0,75	1	0,508	0,85	0,75	1				
3	0,27	0,85	0,75	1	0,4	0,85	0,75	0,55	0,539	0,85	0,75	0,55				
4	0,354	0,95	0,75	1	0,373	0,95	0,75	1	0,553	0,95	0,75	0,55				
5	0,382	0,95	0,8	1	0,406	0,95	0,8	1	0,829	0,95	0,8	1				
6	0,204	0,85	0,75	0,55	0,332	0,85	0,75	0,55	0,355	0,85	0,75	0,55				
7	0,966	0,95	0,8	0,55	1,045	0,95	0,8	0,55	1,221	0,95	0,75	0,55				
8	0,432	0,85	0,8	0,9	0,593	0,85	0,8	0,9	0,682	0,85	0,8	0,9				
9	0,451	0,95	0,8	0,65	0,583	0,95	0,8	0,65	0,647	0,95	0,8	0,65				
10	0,486	0,95	0,8	0,9	0,64	0,95	0,8	0,9	1,91	0,95	0,8	0,9				
11	0,432	0,85	0,8	0,55	0,593	0,85	0,8	0,55	0,682	0,85	0,8	0,55				
12	0,457	0,95	0,8	0,65	0,781	0,95	0,8	0,55	0,8	0,95	0,8	0,55				
13	0,364	0,95	0,8	0,9	0,415	0,95	0,8	0,55	0,475	0,95	0,8	0,55				
14	1,527	0,95	0,8	0,55	1,662	0,95	0,8	0,55	1,752	0,95	0,8	0,55				
15	0,83	0,95	0,8	0,9	0,948	0,95	0,8	0,9	1,183	0,95	0,8	0,9	1,24	0,8	0,9	1
16	0,395	0,85	0,75	0,9	0,525	0,85	0,75	0,9	0,68	0,85	0,75	0,9				
17	0,125	0,85	0,75	0,9	0,127	0,85	0,75	0,9	0,127	0,85	0,75	0,9				
18	0,549	0,85	0,75	0,9	0,712	0,85	0,75	0,9	0,742	0,85	0,75	0,9				
19	0,32	0,85	0,75	0,9	0,518	0,85	0,75	0,9	0,97	0,85	0,75	0,9				
20	0,686	0,85	0,8	0,9	0,743	0,85	0,8	0,9	0,835	0,85	0,8	0,9				
21	0,138	0,85	0,75	0,9	0,171	0,85	0,75	0,9	0,183	0,85	0,75	0,9	0,183	0,75	0,9	1
22	0,425	0,85	0,75	1	0,527	0,85	0,75	1	0,554	0,85	0,75	1	0,778	0,75	1	1
23	0,951	0,8	0,75	0,9	1,225	0,8	0,75	0,9	1,418	0,8	0,75	0,9				
24	0,227	0,95	0,75	0,9	0,231	0,95	0,75	0,9	0,34	0,95	0,75	0,9				
25	0,45	0,95	0,75	0,9	0,508	0,95	0,75	0,9	0,525	0,95	0,75	0,9				
26	0,435	0,85	0,75	0,65	0,438	0,85	0,75	0,9	0,523	0,85	0,75	0,9				
27	0,716	0,85	0,8	0,55	0,721	0,85	0,8	0,55	0,808	0,85	0,8	0,9				
28	0,532	0,8	0,75	0,55	0,765	0,8	0,75	0,9	0,83	0,8	0,75	0,9				
29	0,763	0,8	0,75	1	0,842	0,8	0,75	0,9	0,859	0,8	0,75	1				
30	0,421	0,8	0,75	0,9	0,423	0,8	0,75	0,9	0,862	0,8	0,75	0,9				
31	0,315	0,8	0,75	0,55	0,389	0,8	0,75	0,55	0,442	0,8	0,75	0,55				
32	0,175	0,95	0,8	0,65	0,299	0,95	0,8	0,9	0,422	0,95	0,75	0,9				
33	1,216	0,95	0,8	0,65	1,312	0,95	0,8	0,65	1,133	0,85	0,8	0,65				
34	0,449	0,95	0,8	0,55	0,61	0,95	0,8	0,55	1,752	0,95	0,8	0,55				
35	0,403	0,85	0,75	1	0,654	0,85	0,75	1	0,749	0,85	0,75	1	0,75	0,85	0,8	0,9
36	0,43	0,85	0,8	0,9	0,583	0,85	0,8	0,9	0,65	0,85	0,75	0,9				
37	1,216	0,85	0,8	0,65	1,32	0,85	0,8	0,65	1,33	0,85	0,8	0,65	1,436	0,85	0,8	0,65
38	0,329	0,85	0,8	1	0,426	0,85	0,8	1	0,462	0,85	0,8	1				
39	1,153	0,85	0,8	1	1,286	0,85	0,8	1	1,33	0,85	0,8	1				
40	0,563	1	0,8	0,95	0,635	0,85	0,75	0,95	0,738	0,85	0,75	0,95				
41	0,708	0,95	0,8	0,65	0,831	0,95	0,8	0,95	1,166	0,95	0,8	0,95				
42	0,55	0,95	0,8	0,65	0,616	0,95	0,8	0,65	0,71	0,95	0,8	0,65				

Tablo 42'nin devamı

JTB No	1. Süreksizlik takımı (JS1)				2. Süreksizlik takımı (JS2)				3. Süreksizlik takımı (JS3)				4. Süreksizlik takımı (JS4)			
	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim	Js	Jlr	Jsr	Jim
43	0,738	0,95	0,8	0,55	0,747	0,95	0,8	0,55	0,875	0,95	0,8	0,55				
44	0,716	0,95	0,8	1	0,772	0,95	0,8	1	1,348	0,95	0,8	1				
45	0,475	0,95	0,75	0,9	0,483	0,95	0,75	0,9	0,488	0,95	0,75	0,9				
46	0,675	0,95	0,75	0,55	0,827	0,95	0,75	0,55	0,915	0,95	0,75	0,55				
47	0,817	0,95	0,8	0,55	1,04	0,95	0,8	0,55	1,24	0,95	0,8	0,55				
48	0,477	0,95	0,75	0,9	1,313	0,95	0,8	0,9	1,621	0,95	0,8	0,9				
49	0,434	0,85	0,75	0,9	0,625	0,85	0,75	0,9	0,661	0,85	0,75	0,9				
50	0,479	0,95	0,8	1	0,513	0,95	0,8	0,9	0,638	0,95	0,8	0,9				
51	0,762	1	0,8	0,9	1,381	1	0,8	0,9	1,442	1	0,8	0,9	1,662	1	0,8	0,9
52	0,425	0,8	0,75	0,9	0,532	0,85	0,75	0,9	0,853	0,8	0,75	0,65				
53	0,582	0,95	0,75	0,9	0,738	0,95	0,75	0,65	0,837	0,95	0,75	0,65				
54	0,441	0,85	0,75	0,9	0,734	0,85	0,75	0,55	0,738	0,85	0,75	0,55				
55	0,228	0,85	0,75	0,55	0,244	0,85	0,75	0,55	0,287	0,85	0,75	0,55				
56	0,44	0,85	0,75	0,65	0,734	0,85	0,75	0,65	0,738	0,85	0,75	0,9				
57	0,419	0,85	0,75	0,9	0,402	0,85	0,75	0,9	0,731	0,85	0,75	0,9				
58	0,452	0,85	0,8	0,9	0,482	0,85	0,8	0,9	0,544	0,85	0,8	0,9				
59	0,627	0,85	0,75	1	0,727	0,85	0,75	0,9	1,386	0,85	0,75	0,9				
60	0,294	0,85	0,75	0,65	0,313	0,85	0,75	0,65	0,373	0,85	0,75	0,65				
61	0,144	0,85	0,75	0,55	0,145	0,85	0,75	0,55	0,147	0,85	0,75	0,55				
62	0,392	0,85	0,75	0,9	0,518	0,85	0,75	0,9	0,84	0,85	0,75	0,9				
63	0,288	0,8	0,75	0,9	0,365	0,8	0,75	0,9	0,425	0,8	0,75	0,9	0,643	0,8	0,75	0,9
	0,495	0,85	0,75	0,55	0,541	0,85	0,75	0,55	0,545	0,85	0,75	0,55				

(Js (m.): Süreksizlik ara uzaklığı, Jlr: büyük ölçekli pürüzlülüğü, Jsr: küçük ölçekli pürüzlülük, Ji m: dolgu malzemesi türü, Kd: yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu)

Eşitlik 36 ve 37'de verilen kayma ve devrilme kriterleri kullanılarak her bir süreksizlik takımına bağlı olarak kayma ve devrilme türü yenilmenin oluşup oluşmayacağı belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre söz konusu yenilmeler için duraylılık tanımlaması yapılmıştır (Tablo 44).

İncelenen kazı şevlerinde, SSPC sisteminde tanımlandığı gibi, süreksizlik yöneliminden bağımsız yenilme için duraylılık tanımlamasını hesaplarken önce her jeoteknik birimdeki kaya malzemesinin basınç dayanımı bulunmuştur. Daha sonra, Eşitlik 32'dan süreksizlik koşulu (CD), Eşitlik 26 ve 27'den kaya kütlesi kayma dayanımı parametreleri (sürtünme açısı ve kohezyon) ve Eşitlik 38'den şevin duraylı kalabileceği en büyük yükseklik (H_{max}) bulunmuştur (Tablo 44).

Tablo 43. Jeoteknik birimlerde her bir süreksizlik takımı için süreksizlerin yüzey koşulu (TC) ve şev eğimi yönündeki görünür eğimlerine (AP) bağlı olarak bulunan kayma ve devrilme türü yenilmeler (Ky ve Dv) için duraylılık olasılıkları

	JS1				JS2				JS3				JS4				Şev	
	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	Ky	DV
1	0,44	-52	100	50	0,54	0	100	100	0,6	58	26	100					26	50
2	0,71	-21	100	100	0,64	59	60	100	0,64	-13	100	100					60	100
3	0,64	-45	100	100	0,35	-56	100	39	0,35	74	100	100					100	39
4	0,71	69	100	100	0,71	34	100	100	0,39	47	<5	100					<5	100
5	0,76	-37	100	100	0,76	83	100	100	0,76	-61	100	100					100	100
6	0,35	-7	100	100	0,35	68	<5	100	0,35	46	<5	100					<5	100
7	0,42	0	100	100	0,42	-24	100	100	0,39	72	100	100					100	100
8	0,61	-31	100	100	0,61	77	100	100	0,61	68	<5	100					<5	100
9	0,49	-26	100	100	0,49	75	100	100	0,49	82	100	100					100	100
10	0,68	74	100	100	0,68	22	100	100	0,68	-45	100	100					100	100
11	0,37	-31	100	100	0,37	77	100	100	0,37	68	<5	100					<5	100
12	0,49	45	14	100	0,42	75	<5	100	0,42	-85	100	<5					<5	<5
13	0,68	-29	100	100	0,42	32	100	100	0,42	-68	100	23					100	23
14	0,42	-28	100	100	0,42	80	100	100	0,42	-56	100	86					100	86
15	0,68	-76	100	100	0,68	-17	100	100	0,68	72	<5	100	0,72	-59	100	100	<5	100
16	0,57	24	100	100	0,57	24	100	100	0,57	70	<5	100					<5	100
17	0,57	1	100	100	0,57	24	100	100	0,57	70	<5	100					<5	100
18	0,57	63	<5	100	0,57	-59	100	84	0,57	-24	100	100					<5	84
19	0,57	87	100	100	0,57	-3	100	100	0,57	-24	100	100					100	100
20	0,61	42	100	100	0,61	67	<5	100	0,61	-78	100	20					<5	20
21	0,57	-39	100	100	0,57	-53	100	100	0,57	-11	100	100	0,68	71	<5	100	<5	100
22	0,64	71	<5	100	0,64	-54	100	100	0,64	-54	100	100	0,75	47	100	100	<5	100
23	0,54	-58	100	82	0,54	60	<5	100	0,54	28	100	100					<5	82
24	0,64	71	<5	100	0,64	15	100	100	0,64	-81	100	20					<5	20
25	0,64	71	<5	100	0,64	15	100	100	0,64	-81	100	20					<5	20
26	0,41	29	100	100	0,57	-26	100	100	0,57	-13	100	100					<5	100
27	0,37	29	86	100	0,37	-26	100	100	0,61	-13	100	100					86	100
28	0,33	-52	100	26	0,54	35	100	100	0,54	75	100	100					100	26
29	0,6	-65	100	77	0,54	86	100	100	0,6	-1	100	100					100	77
30	0,54	51	45	100	0,54	27	100	100	0,54	-5	100	100					45	100
31	0,33	-12	100	100	0,33	58	<5	100	0,33	-23	100	100					<5	100
32	0,49	-10	100	100	0,68	83	100	100	0,64	49	100	100					100	100
33	0,49	12	100	100	0,49	50	11	100	0,44	-31	100	100					11	100
34	0,42	-35	100	100	0,42	14	100	100	0,42	-15	100	100					100	100
35	0,64	68	<5	100	0,64	5	100	100	0,64	84	100	100	0,61	-36	100	100	<5	100
36	0,61	18	100	100	0,61	-65	100	100	0,57	74	<5	100					<5	100
37	0,44	15	100	100	0,44	46	8	100	0,44	18	100	100	0,44	-45	100	100	8	100
38	0,68	-1	100	100	0,68	-54	100	100	0,68	75	100	100					100	100
39	0,68	15	100	100	0,68	46	100	100	0,68	18	100	100					100	100
40	0,76	-48	100	100	0,61	52	100	100	0,61	-19	100	100					100	100
41	0,49	45	70	100	0,72	11	100	100	0,72	-64	100	100					70	100
42	0,42	-67	100	17	0,49	28	100	100	0,49	-82	100	<5					100	<5

Tablo 43'ün devamı.

	JS1				JS2				JS3				JS4				Şev	
	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	TC	AP	Ky	Dv	Ky	DV
43	0,49	77	100	100	0,42	38	6	100	0,42	-67	100	12					6	12
44	0,42	57	<5	100	0,76	-36	100	100	0,76	0	100	100					<5	100
45	0,64	44	100	100	0,64	-74	100	100	0,64	26	100	100					100	100
46	0,39	29	100	100	0,39	61	<5	100	0,39	72	100	100					<5	100
47	0,42	43	20	100	0,42	23	100	100	0,42	57	<5	100					<5	100
48	0,64	73	100	100	0,68	27	100	100	0,68	73	100	100					100	100
49	0,57	54	14	100	0,57	-71	100	95	0,57	61	<5	100					<5	95
50	0,76	82	100	100	0,68	-51	100	100	0,68	2	100	100					100	100
51	0,72	-54	100	100	0,49	21	100	100	0,49	-66	100	18	0,72	61	100		100	18
52	0,54	73	<5	100	0,57	55	28	100	0,33	73	<5	100					<5	100
53	0,64	61	30	100	0,46	-33	100	100	0,39	-65	100	<5					30	<5
54	0,57	77	<5	100	0,35	-72	100	<5	0,41	35	72	100					<5	<5
55	0,35	74	<5	100	0,35	50	<5	100	0,35	59	<5	100					<5	100
56	0,57	87	100	100	0,41	-72	100	100	0,61	35	100	100					100	100
57	0,57	-74	100	6	0,57	43	100	100	0,57	19	100	100					100	6
58	0,61	47	100	100	0,61	7	100	100	0,61	-76	100	24					100	24
59	0,64	-73	100	41	0,57	42	100	100	0,57	-31	100	100					100	41
60	0,41	4	100	100	0,41	48	<5	100	0,41	59	<5	100					<5	100
61	0,35	-34	100	82	0,35	0	100	100	0,35	85	100	100					100	82
62	0,57	63	<5	100	0,57	-30	100	100	0,57	50	83	100					<5	100
63	0,54	-12	100	100	0,54	-57	100	67	0,54	34	100	100	0,54	79	<5		100	67
	0,35	66	<5	100	0,35	-30	100	95	0,35	18	100	100					<5	95

İncelenen kazı şevleri için, süreksizlik yöneliminden bağımsız yenilmeler için duraylılık tanımlamasında son adım olarak Şekil 49 kullanılarak ($H_{\max}/H_{\text{şev}}$) oranı ile (ϕ'_m/β_s) oranı karşılaştırılması yapılmıştır. İncelenen kazı şevlerinin hiçbirinde ($H_{\max}/H_{\text{şev}}$) oranı ile (ϕ'_m/β_s) oranının 1 den küçük değer aldığı duruma rastlanmamıştır (Tablo 44). Başka bir deyişle, incelenen kazı şevleri süreksizlikten bağımsız yenilme için % 100 duraylıdır. Ancak, SSPC sistemi şevde mühendislik zaman içerisinde ilerleyen ayrışmayla oluşan duraysızlıkları ve yeraltı ve yer üstü sularının yapacağı bozucu etkiyi dikkate almamaktadır.

SSPC yöntemiyle yapılan analizlerin sonunda her jeoteknik birim için duraylılık tanımlaması yapılmıştır (Tablo 44)

Tablo 44. Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan duraylılık tanımlaması

JTB	No	Şevin				Hmax H	φm βs	Sbsz Duray. (%)	Yenilme türü			Duraylılık tanımlaması
		Eğim yönü	βs derece	H (m)	Hmax (m)				Ky	Dv	Sbsz Duray.	
gt1v4	1	215	85	14,5	17,4	1,2	1,54	100	var	yok	yok	duraysız
gt4v6	2	242	70	12,3	46	3,74	1,34	100	var	yok	yok	duraysız
gt9v11	3	105	75	16	20,3	1,27	1,57	100	var	var	yok	duraysız
gt11v12	4	180	80	12,5	19,8	1,58	1,54	100	var	yok	yok	duraysız
	5	184	75	13,4	36,7	2,74	1,37	100	var	yok	yok	duraysız
gt12v14	6	180	76	12,4	13,5	1,09	1,77	100	var	yok	yok	duraysız
	7	185	72	15,2	118,8	7,82	1,18	100	var	yok	yok	duraysız
gt16v17	8	190	75	4,5	36,9	8,2	1,37	100	var	yok	yok	duraysız
	9	180	75	8,5	33,9	3,99	1,39	100	var	yok	yok	duraysız
	10	190	75	14,5	64,6	4,46	1,25	100	yok	yok	yok	duraylı
	11	190	75	12,5	32,3	2,58	1,4	100	var	yok	yok	duraysız
g417v18v19	12	160	80	11,4	25,8	2,26	1,44	100	var	yok	yok	duraysız
	13	121	73	9,5	31,5	3,32	1,42	100	var	var	yok	duraysız
gt50v53	14	121	73	15,4	121,1	7,86	1,17	100	var	yok	yok	duraysız
	15	317	85	16,3	26,8	1,64	1,38	100	var	yok	yok	duraysız
	16	335	85	16,5	16,2	0,98	1,58	100	var	yok	yok	duraysız
	17	335	85	15	8,4	0,56	1,99	100	var	yok	yok	duraysız
	18	335	85	18	18,9	1,05	1,51	100	yok	yok	yok	duraylı
	19	5	87	22	14,9	0,68	1,59	100	yok	yok	yok	duraylı
gt54v56	20	335	85	16	17,6	1,1	1,55	100	var	var	yok	duraysız
	21	312	85	6,2	5,4	0,87	2,53	100	var	yok	yok	duraysız
	22	318	85	6,5	16,1	2,48	1,58	100	var	yok	yok	duraysız
	23	318	85	18	24,1	1,34	1,42	100	var	yok	yok	duraysız
	24	325	85	12	11,5	0,96	1,77	100	yok	var	yok	duraysız
gt57v60	25	325	85	14	13,2	0,94	1,7	100	yok	var	yok	duraysız
	26	333	66	6,8	74,9	11,01	1,26	100	yok	yok	yok	duraylı
	27	333	66	11	49,9	4,54	1,35	100	yok	yok	yok	duraylı
	28	342	78	15	33,8	2,25	1,37	100	var	var	yok	duraysız
	29	355	85	12	22,1	1,84	1,45	100	var	yok	yok	duraysız
	30	355	85	8,5	16,4	1,93	1,57	100	yok	yok	yok	duraylı
	31	355	80	6,5	11,5	1,77	1,84	100	var	yok	yok	duraysız
tnl1ş	32	167	80	13	15,4	1,18	1,65	100	var	yok	yok	duraysız
	33	167	80	22	48,7	2,21	1,27	100	var	yok	yok	duraysız
	34	193	85	21	16,1	0,77	1,59	100	yok	yok	yok	duraylı
	35	193	85	17	13,5	0,79	1,69	100	yok	yok	yok	duraylı
	36	190	80	12	19,1	1,59	1,56	100	yok	yok	yok	duraylı
	37	205	75	10	106,3	10,63	1,18	100	var	yok	yok	duraysız
	38	205	75	7,5	28,2	3,76	1,45	100	var	yok	yok	duraysız
	39	205	75	6	128,1	21,35	1,16	100	var	yok	yok	duraysız

Tablo 44'ün devamı

JTB	No	Şevin geometrisi				Hmax H	φm βs	Sbgsz Duray. (%)	Yenilme türü			Duraylılık tanımlaması
		Eğim yönü	βs derece	H (m)	Hmax (m)				Ky	Dv	Sbgsz Duray	
tnl2ş	40	155	72	7	35,7	5,1	1,4	100	yok	yok	yok	duraylı
	41	155	72	9,2	60,4	6,57	1,28	100	yok	yok	yok	duraylı
	42	115	72	10,5	51,1	4,87	1,31	100	yok	yok	yok	duraylı
	43	115	72	11,5	33,9	2,95	1,42	100	yok	var	yok	duraysız
	44	155	72	14,8	133,9	9,05	1,16	100	var	var	yok	duraysız
	45	155	72	13,1	42,1	3,21	1,35	100	yok	yok	yok	duraylı
	46	155	72	10,8	68,4	6,33	1,25	100	yok	yok	yok	duraylı
	47	155	72	9,5	109,1	11,48	1,19	100	var	yok	yok	duraysız
	48	155	72	6,8	142,7	20,99	1,16	100	var	yok	yok	duraysız
49	155	72	5,3	23,3	4,4	1,56	100	var	yok	yok	duraysız	
tnl3ş	50	100	82	19	21,2	1,12	1,49	100	var	yok	yok	duraysız
	51	100	82	15,5	23,1	1,49	1,47	100	yok	yok	yok	duraylı
	52	100	82	17	13	0,76	1,76	100	yok	yok	yok	duraylı
	53	100	82	5	24,2	4,84	1,44	100	var	yok	yok	duraysız
	54	80	85	21	17,4	0,83	1,54	100	yok	var	yok	duraysız
	55	80	85	20	6,2	0,31	2,36	100	yok	var	yok	duraysız
	56	80	85	16,5	17,9	1,08	1,53	100	var	yok	yok	duraysız
	57	80	85	12	15,7	1,31	1,59	100	yok	var	yok	duraysız
tnl4ş	58	82	85	9,6	15,7	1,64	1,59	100	yok	var	yok	duraysız
	59	82	85	13,7	23,6	1,72	1,42	100	yok	var	yok	duraysız
	60	82	85	18,8	10	0,53	1,87	100	yok	yok	yok	duraylı
	61	82	85	17,5	3,9	0,22	3,04	100	var	yok	yok	duraysız
	62	82	85	18,6	16,9	0,91	1,56	100	var	yok	yok	duraysız
	63	82	85	22	12,8	0,58	1,7	100	yok	yok	yok	duraylı
		82	85	14	7,3	0,52	2,22	100	yok	yok	yok	duraylı

(H (m): Şev yüksekliği, Hmax (m): SSPC yöntemine göre kütleli yenilmeler oluşmadan şevin duraylı kalabileceği en büyük yükseklik, φm (derece): Kaya kütle sürtünme açısı, βs (derece): şev açısı, SbgszDuray(%): Süreksizlik yöneliminden bağımsız duraylılığın olasılığı, Ky: Kayma türü yenilme, Dv: devrilme türü yenilme)

4. İRDELEME

4.1 Giriş

Bu çalışmanın amaçlarından biri, Bölüm 1.1'de (sayfa 1) belirtildiği gibi, Trabzon-Gümüşhane devlet karayolunun inceleme alanındaki kalan kısmındaki seçilen kazı şevlerde duraylılığın incelenmesidir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için yapılan çalışmalardan biri de incelenen şevlerin açıldığı kaya kütlelerinin lito-stratigrafik ve yapısal özelliklerini belirlemektir. Söz konusu çalışmada elde edilen bulgular ve bu bulguların yörede yapılan önceki çalışmalarla birlikte irdelenmesi Bölüm 3.2 ve 3.3'de (sayfa 48-72) verildiği için çalışmanın bu bölümünde tekrar edilmemiştir.

İnceleme alanında seçilen şevlerde duraylılığın araştırılması için gerekli parametrelerden biri olan kaya malzemesi dayanım özellikleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular ve bulguların irdelenmesi Bölüm 3.4'de (sayfa 72-76) verilmiştir.

Bu çalışmanın diğer amacı; yine Bölüm 1.1'de (sayfa 1) belirtildiği gibi, şev duraylılığı için yaygın olarak kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri irdelenerek, duraylılığının tahmininde pratikte yarar sağlayan; şevlerdeki bozulmaları tanımlayabilen, güvenilirlikle uygulanabilen, zaman ve paradan ekonomi sağlayan ve mühendislik anlamı olan sonuçlar üretebilen sınıflandırma sistem ve/veya sistemleri belirlenmesidir. Çalışmanın bu bölümünde, kaya kütle sınıflandırmalarının jeoteknik birimleri tanımlamadaki ve şev duraylılık tahmini için uygulanmasındaki zorluklar ve olanakları irdelenecektir. Bu irdeleme yapılırken, kaya kütle sınıflandırmaları kullandıkları parametrelerle birlikte ele alınmış, özellikle bu parametrelerin şev duraylılık tahmininde kullanımı üzerinde durulmuş ve bu çalışmada elde edilen bulgularla birlikte önceki çalışmalarda (özellikle Haines ve Terbrugge (1991), Duran ve Dauglas (1999), Hack (2002), Ulusay ve Sönmez (2002), Dauglas (2002), Romana vd. (2003) ve Hack vd., 2003) sunulan bulgular birlikte yorumlanmıştır.

Aşağıda verilen irdelemelerde, RMS (Jeomorfolojik Amaçlı Sınıflandırma) için Selby (1980) ve Moon (1984), RMR (Jeomekanik Sınıflandırma) için Bieniawski (1989), M-RMR (Yeniden Düzenlenmiş Jeomekanik Sınıflandırma) için Gökçeoğlu ve Aksoy (2000), MRMR (Madencilik İçin Jeomekanik Sınıflandırma) için Laubscher (1990) ve Haines ve Terbrugge (1991), SMR (Şevler İçin Kaya Kütle Puanı) için Romana (1985) ve

Romana vd. (2003), SSPC (Şev Duraylılığının Olasılık Sınıflaması) için Hack (1998) ve Hack vd. (2003) esas alınmıştır.

4.2. Kaya Kütle Sınıflandırmalarında Kullanılan Parametrelerle İlgili Güçlükler ve Olanaklar

4.2.1. Kaya Malzemesi Dayanımı

RMS, RMR M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemlerinde kaya malzemesi dayanımı süreksizlikler tarafından sınırlanan kaya malzemesinin dayanımı olarak tanımlanmıştır.

Şevdeki yenilmenin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda kaya malzemesinin dayanımının yenilme üzerine etkisi olmayacaktır. Kaya malzemesi dayanımı kaya köprülerinin kesilmesi ve/veya kaya malzemesinin kırılmasını sağlayacak kadar yüksek gerilme durumlarında (dolayısıyla şev yüksekliğine bağlı olarak) önem kazanmaktadır. Ancak RMS, RMR, M-RMR, MRMR ve SMR sınıflandırma sistemlerinin hepsinde kaya malzemesi dayanımının son hesaplanan puan üzerinde önemli etkisi vardır. Ayrıca kaya malzemesi dayanımının tanımlanmasıyla ve kullanılmasıyla ilgili de problemler vardır.

Kaya malzemesi dayanımını bulmak için yapılan serbest basınç deneyi 10 cm boyutundaki örnekler üzerinde uygulanır. Eğer süreksizlik ara uzaklığı 10 cm den küçükse örnek süreksizlik içerebilir. Bu durumda, M-RMR sisteminde önerildiği gibi (Gökçeoğlu ve Aksoy, 2000) kaya malzemesinin serbest basınç dayanımı disk makaslama deneyi ile bulunabilmektedir.

Laboratuarda test edilen örnekler genellikle ortalama kaya niteliğinden daha iyi olma eğilimindedir. Zayıf kayalar örnek alınırken ve hazırlanırken örselenmeye ve kırılmaya uğrayabileceğinden test edilmesi zordur. RMS, RMR ve M-RMR sisteminde ortalama kaya malzemesi dayanımı dikkate alınırken MRMR sisteminde kaya malzemesi dayanımı puanı incelenen jeoteknik birimdeki (sağlam kaya malzeme oranı/zayıf kaya malzeme) oranı dikkate alınmaktadır. Bu durum SMR ve SSPC sistemleri içinde geçerlidir.

Kaya malzemesinde serbest dayanımı yönelime bağlı olabilir. Bu durum söz konusu sınıflandırmalarının hiç birinde dikkate alınmamıştır. Ancak bu çalışmada ve

önceki çalışmalarda da (Koca, 1988) çalışılan volkanitlerde dayanım anizotropisinin çok düşük olduğu görülmüştür.

Kayaçlar, arazide, serbest basınç deneyi şartlarından daha çok 3 eksenli gerilme altındadır. Bu nedenle serbest basınç deneyi ile elde edilen dayanım uygun bir parametre değildir (Lindsay vd., 2001; Hack, 2002). Bu durum söz konusu sınıflandırmaların hiç birinde dikkate alınmamaktadır. Kaya malzemesi dayanımı, tek eksenli basınç direnci yerine üç eksenli basınç deneyiyle ve farklı su içeriğinde test edilerek belirlenmelidir (Lindsay vd. 2001). Ancak çevre gerilmesinin sıfır olduğu durumdaki dayanım çevre gerilmesinin sıfırdan büyük olduğu üç eksenli durumdaki dayanımdan küçük olduğundan söz konusu sınıflandırmalar daha tutucudur (emniyetli davranmaktadır).

Kaya malzemesi dayanımını tahmin etmek için bazen Schimidt çekici kullanılmaktadır. ISRM (1981)'de önerilen şekliyle, Schmidt çekici geri tepme ölçümlerinin elde edilmesi ve değerlendirilmesinde zorluklar vardır.

4.2.2. Süreksizlik Sıklığı

Kaya kütle sınıflandırma sistemlerinin tümünde süreksizlik sıklığıyla ilgili bir veya birden çok parametre kullanılmaktadır. RMS sistemi sadece süreksizlik ara uzaklığını, M-RMR, RMR ve SMR 'de süreksizlik ara uzaklığını ve RQD'yi kullanmaktadır. MRMR sistemi uygulanırken RQD ve süreksizlik ara uzaklığı veya süreksizlik sıklığı kullanılmaktadır. RMR, M-RMR ve MRMR de süreksizlik ara uzaklığı bir parametre olarak bulunmasına rağmen süreksizlik ara uzaklığının diğer bir göstergesi olan RQD'de bulunur. Bu anlamsızdır ve bu durumun süreksizlik sıklığının kaya kütle puanına etkisini önemli miktarda arttırmaya yönelik olduğu düşünülmektedir (Ceryan, 1999). SSPC sisteminde sadece süreksizlik yöneliminden bağımsız duraylılık analizlerinde süreksizlik ara uzaklığı kullanılmaktadır.

RQD sisteminin ölçümü basit olmasına rağmen tanımlanması ve kullanımında zorluklar vardır. Kırılmamış kaya parçasının boyutunun en az 10 cm olarak seçilmesi keyfidir ve aynı zamanda muğlak değerlendirmelere yol açmaktadır (Hack, 2002). Bir diğer zorluk RQD ölçümü süreksizlik doğrultu ve eğimi ile sondaj (veya ölçüm hattı) yönü arasındaki ilişkiye, sondaj ekipmanına ve sondörün becerisine bağlı olmasıdır. Bu nedenlerle kaya kütle sınıflandırmalarının şev duraylılığına uygulamasında RQD yerine

hacimsel çatlaklılık katsayısının veya blok boyutunun kullanılması daha anlamlı olduğu söylenebilir.

4.2.3. Süreksizlik Yüzeyi Durumu

Süreksizliklerin kesme dayanımı, büyük ölçüde, süreksizlik yüzeyinin durumu (pürüzlülük, yüzey malzemesi dayanımı ve ayrışma durumu, dolgu malzemesi, devamlılık) tarafından belirlenmektedir. Sistemlerin çoğunda süreksizlik durumunu farklı parametrelere göre tanımlamaktadır. RMR ve MRMR de ya süreksizlik yüzey durumu en kötü olanın alınması ya da kaya kalitesini en olumsuz etkileyen süreksizlik takımının dikkate alınması önerilmektedir. RMR ve yeniden düzenlenmiş şekillerinde süreksizlik ara uzaklığı sadece bir süreksizlik takımı için tanımlanmasına rağmen bu problem üzerinde önemle durulmuş ve RMR sistemine göre duraysızlığa en fazla olumsuz etki eden süreksizlik takımı dikkate alınması önerilmiştir (Hack, 2002). Süreksizlik ara uzaklığı büyük süreksizlik takımı ara uzaklığı daha küçük olan süreksizlik takımına göre daha kötü süreksizlik yüzey durumuna sahip olabilir. Bu durumda hangi süreksizlik takımının duraysızlığa daha kötü etki yapabileceğine nasıl karar verileceği açık değildir (Hack, 2002). Bu durum M-RMR ve MRMR sistemlerinde de geçerlidir. SMR ve SSPC sistemleri süreksizlik takımının her biri için olası kayma ve devrilme türü yenilmeler için analiz yapılmaktadır.

MRMR sisteminde yüzey durumu puanı suyun varlığına bağlı olarak değişmektedir. Bu durum en son elde edilen MRMR puanı üzerinde suyun etkisini gösterse de, suyun yalnızca süreksizlik yüzey durumunu etkilediği şeklindeki bu yaklaşım eksiktir.

Süreksizlik pürüzlülüğü genellikle anizotropdur. Pürüzlülük anizotrop olduğunda süreksizlik kesme dayanımı da anizotrop olmaktadır. Ancak bu durum RMS, RMR, M-RMR MRMR, SMR ve SSPC sistemlerinde dikkate alınmamıştır. Bu nedenle pürüzlülük süreksizlik yönelimiyle birlikte değerlendirilmeli ve bir sınıflandırma sisteminde şev duraysızlığı açısından en önemli yönlerdeki pürüzlülük dikkate alınması gerekmektedir (Hack, 2002). Robertson (1988) mümkün kayma yönündeki pürüzlülüğün alınmasını önermektedir. Bu çalışmada da olası kayma yönündeki pürüzlülük esas alınmıştır.

Devamlılığı olmayan süreksizliklerin şev duraylılığına etkisi devamlı süreksizliklerle aynı olmayacaktır. Devamlılığın nasıl tanımlanacağı jeomorfolojik amaçlı sınıflandırmada (Selby, 1980, 1982) ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu sistem devamlılığı

süreksizliklerin kesme direnciyle birleştirmiştir. RMR, SMR M-RMR ve MRMR'de devamlılık süreksizliklerin kesme dayanımıyla ilgili olarak ele alınmaktadır. Ancak çoğu kez devamsızlığın gerçek durumunu (yüzeydeki kohezyonsuz alanın tam alana oranı) ölçmek çoğunlukla kolay ve pratik değildir. Devamlılık blok boyutunu da etkilemektedir. Bu etki süreksizlik sıklığının blok boyutu etkisiyle kısmen örtüşmektedir. Ancak RMS, RMR, SMR M-RMR ve MRMR sistemlerinde devamlılığın bu etkisi üzerinde durulmamaktadır.

Süreksizlik yüzeyindeki erime boşluklarının olması şev duraylılığı için önemlidir (Hack, 2002). Yüzeydeki boşluklar kaya kalitesini zayıflatmaktadır. Bu boşluklar süreksizlik yüzeyindeki çözülme şeklindeki ayrışmadan meydana gelmektedir. Çözülme ile oluşan boşluklar nedeniyle süreksizlik yüzeyinde blokların birbirine temas alanı azalır ve bu durum kesme dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Temas noktalarında gerilme artacağından burada kırılmalar olur. Ayrıca, kaya kütledeki karstik boşluklar kazı sırasındaki patlatmanın etkisini azaltırlar (Hack, 2002). Ancak süreksizlik yüzeyindeki erime boşluklarının kesme dayanımı üzerindeki bu etkisi sadece SSPC sisteminde dikkate alınmış, RMS, RMR, SMR M-RMR ve MRMR sistemlerinde dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada, M-RMR de olduğu gibi, incelenen jeoteknik birimi genel durumunu yansıtan ortalama değerler; ölçüm hattından bulunan ortalama süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik izi uzunluğunun ortalaması, pürüzlülük değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Ancak yenilmelerin en kötü yüzey durumuna sahip süreksizlik takımına bağlı olarak gelişmesi olasılığı olduğu durumda, söz konusu süreksizlik takımının yüzey durumu ortalama değer yerine kullanılmıştır.

4.2.4. Süreksizlik Yönelimi

Kaya kütle sınıflandırmalarında süreksizliklerin ve şev yönelimi arasındaki ilişkinin şev duraylılığı için önemi bilinmekte ve çoğu kez de dikkate alınmaktadır. Ancak sistemlerde süreksizliklerin ve şev yönelimi arasındaki ilişkinin şev duraylılığına etkisini tanımlayan parametreler oldukça kaba ve muğlaktır. RMS de söz konusu ilişki süreksizliklerin şev içine veya dışına doğru eğimli olması ve eğiminin 30 dereceden büyük olup olmamasına göre tanımlanmakta ve puanlanmaktadır. Örneğin süreksizlik şevin içine doğru eğimli ve eğimi 30 dereceden büyükse puanı 18, yatay ise puanı 14 dür. Bu örnekteki birinci durumda yenilme olasılığı (devrilme türü) yüksekken ikinci durumda

şevdeki yenilme olasılığı birinciye göre daha azdır. Bu durum RMS'deki süreksizlik yönelimi ile ilgili puanlamanın çelişkili olduğunu göstermektedir

RMR de kaya şevleri için de süreksizlik yönelimine bağlı düzeltme parametresi tanımlanması ve uygulanmasında muğlaklıklar ve anlamsızlık vardır (Ulusay ve Sönmez, 2002). Örneğin zayıf nitelikli kaya kütlelerinde -60 lara varan düzeltme puanı uygulamasıyla negatif RMR değeri elde edilebilmektedir. Ulusay ve Sönmez (2002) çok kırıklı kaya şevlerinde süreksizlik yöneliminin etkisi ortadan kalktığından (bu durumda tek bir yenilme türü gelişir) Singh ve Ghrooe (1989)'nun birden fazla duraysızlık modeli ve -60 varan yönelim düzeltmesi puanlarının anlamlı olmadığını belirtmektedir. Bu durum temel RMR puanını esas alan SMR sistemi içinde geçerlidir. RMR de, eğer süreksizlik yönelimi şev için "hiç uygun değilse" toplam puan 60 azalırken benzer şekilde SMR de bu azalma miktarı %52 ye varmaktadır. Ünal ve Özkan (1990) RMR sisteminde süreksizlik yönelimi ile ilgili var olan belirsizliği gidermek için süreksizlik yönelimi ile ilgili düzeltmeyi sağlam karot verimine bağlı olarak yapılmasını önermişlerdir. M-RMR sisteminde, bu çalışmada olduğu gibi karotlu sondaj imkanı olmadığına 3 veya daha fazla süreksizlik takımı içeren kaya kütleleri için süreksizlik yönelimi düzeltme puanı (-5) olarak alınmaktadır (Gökçeoğlu, sözlü görüşme, 2004). Ancak M-RMR sisteminde karotlu sondajın olmadığı diğer durumlarda düzeltme puanı ile ilgili belirsizlik vardır.

MRMR sistemi süreksizlik yönelimi düzeltme puanlarını yeraltı kazıları için önermiştir (Laubscher 1984, 1990). Bu sistemde yönelim düzeltmesi süreksizlik takımı sayısı ve düşeyden farklı süreksizlik takımı sayısına bağlı olarak verilmektedir. Haines ve Terbrugge (1991)'nin şev duraylılığı için MRMR uygulamalarında süreksizlik yönelimi düzeltme puanı nasıl elde ettikleri açık olarak verilmediği için Laubscher (1990)'da olduğu şekliyle alındığı düşünülmektedir. Bu çalışmada söz konusu puanlama şev duraylılığı uygulaması için düzeltilmiştir. Bu düzeltme yapılırken süreksizlik takım sayısı ile olası kayma ve devrilme türü yenilmeleri oluşturacak süreksizlik takım sayısı dikkate alınmıştır.

4.2.5. Su Durumu

Şev duraylılığında etkili olan ve sınıflandırma sistemlerinde "su veya su basıncı" olarak ele alan parametreler özellikle Hack (2002) tarafından pratik ve kavramsal olarak ayrıntılı olarak sorgulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler önceki çalışmalarla ortaya konan verilerle birlikte değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaya kütle sınıflandırmaların çoğunda, suyun etkisi %3-%15 gibi bir aralıkta değişim gösterir. Örneğin suyun etkisi RMR (Bieniawski,1989) da %15, SMR (Romana, 1985)'de %13, RMS (Selby, 1980)'de %6, MRMR (Haines ve Terbrugge, 1991)'de % 3'tür. SSPC (Hack vd. 2003) sisteminde su basıncının varlığı toplam puana etkisi kesin olarak yoktur, ancak suyun varlığı durumunda dayanımını kaybeden süreksizlik dolguları için toplam puana dolaylı etkisi olmaktadır. Bu çalışmada duraylılığı incelenen şevlerin kuru olduğu durum için bulunan toplam puan ile şevde orta derecede su basıncının olduğu durum için bulunan toplam puan arasında çok az fark vardır. Söz konusu fark en fazla RMS için 3, RMR için 11, M-RMR için 9, MRMR (Laubscher,1990) için 6, SMR için 12 olmaktadır. Söz konusu bu farkların incelenen kazı şevlerindeki su nedeniyle oluşacak/oluşan duraysızlığı açıklamaya yeterli olmadığı söylenebilir. Bu durum özellikle orta ve daha yüksek derecede ayrılmış dasitik kayaların olduğu şevler için geçerlidir.

RMS, RMR, SMR, M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemlerinde su parametresi “kuru”, “nemli”, “ıslak” ve damlama” gibi terimlerle veya kaya kütesinden boşalan suyun debisi ile tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar kişilere göre değişir. Ayrıca genellikle şev topuğuna kadar su akışı görülmediğinden süreksizliklerden boşalan su miktarını ölçmek pratik olarak da zordur.

RMS, RMR ve M-RMR ve MRMR sistemlerinde ve bunların şev duraylılığı için uygulamalarında sadece su debisi dikkate alınmakta, süreksizliklerdeki su basıncı dikkate alınmamaktadır. Düşük geçirgenliğe sahip kaya kütlelerinde boşalan düşük debili su yüksek geçirgenliğe sahip kaya kütlelerinden (serbest drenaj koşullarında) boşalan yüksek debili suya göre daha büyük su basıncı oluşturabilir Ayrıca söz konusu sistemlerde, şev büyüklüğü su parametresi ile ilişkilendirilmemiştir. Ancak suyu drene eden süreksizlik sayısı ve dolayısıyla şev dışına akan su miktarı şev büyüklüğüyle ilgilidir. (Hack. 2002, Hack vd. 2003).

RMS, RMR ve SMR sınıflandırmalarında yeraltı suyu koşulları bir parametre olarak alınmasına rağmen, özellikle ayrılmış kayalarda, killi kayalarda suyun kaya kütesi üzerinde yapacağı olumsuz etkileri tanımlayacak bir parametre bulunmamaktadır. Suyun kayaç üzerindeki bu bozucu etkileri sadece M-RMR sisteminde dikkate alınmış ve bu etki kaya malzemesinin suda dayanım indeksi ile ifade edilmiştir. M-RMR sisteminde suyun bozucu etkisi yanı sıra yeraltı suyu koşulları da dikkate alınmıştır. MRMR sisteminde ise suyun varlığı ve miktarının etkisi süreksizlik kayma dayanımıyla ilişkilendirilmiştir.

Su boşalımı şev yüksekliği boyunca sabit değildir. Şevin yüksek kısımlarında su boşalımı, daha alçak kısımlarına göre basıncın az olmasından dolayı daha azdır. Boşalan suyun ortalamasının alınacağı, yoksa boşalımının miktarına bağlı olarak sınıflandırmalar ayrı yerlerde ayrı ayrı mı uygulanacağı sorunu var olan sınıflandırma sistemlerinde yeterince açıklanmamıştır (Hack, 2002).

Yeraltı kazılarında, açılan boşluk civarındaki gerilme durumu kazı boşluğu yüzeyi ve yakınında yüksek basınç gerilmesini sonuçlayacaktır. Yüksek basınç direnci kazı boşluğu yönünde süreksizlikleri kapanmasına yol açar. Bu nedenle kazı boşluğu yakınında su basıncı oluşur. Şevlerde gerilme durumu şev yüzeyine yakın süreksizliklerin açılmasına ve sonuçta su basıncının azalmasına neden olmaktadır. Bu farklı durumlar nedeniyle yeraltı kazılar için uygulanan sınıflandırma sistemlerinin şevler için iyileştirilmesi gerekmektedir (Hack, 2002).

Şev yüzeyi üzerindeki (yüzeysel) su akışı yamaç duraysızlığına neden olabilir ve bu kaya kütleleri içindeki su dolaşımıyla ilgili olmayabilir. Yağmur boyunca şev yüzeyinde görülen suyun, kaya kütlelerindeki süreksizliklerden boşanan su mu yoksa şev yüzeyinde akan (yüzeysel) su mu olduğunu tartışmak anlamsızdır (Hack, 2002).

Şev duraylılığı için uygulanan sistemlerde kar ve buzun etkisini belirten her hangi bir parametre bulunmamaktadır. Ancak şev duraylılığında suyun donması önemli problemler oluşturacağı açıktır. Örneğin; süreksizlikteki suyun donma ve erimesi olayının tekrarlanması kaya kütlelerindeki blokların hareketlenmesine neden olmakta, donan su, aynı zamanda süreksizliklerdeki su akışını engellemekte ve kar ve buz şevlerde ek yük oluşturabilmektedir.

4.2.6. Şev Yüksekliği, Gerilme Durumu, Kaya Malzemesi Deformasyonu

Şev yüksekliği şevi oluşturan kaya kütlelerindeki gerilme düzeyi ile direkt ilgilidir. Kaya malzemesi dayanımından daha yüksek olan gerilme düzeyi kaya malzemesinin kırılmasına neden olacağı için şev de yenilmeler oluşacaktır. Şev yüksekliğinin şev duraylılığı açısından bu etkisi bilinmesine rağmen sadece Haines ve Terbrugge (1991), Shuk (1994) ve Hack (1998) şev yüksekliğini bir parametre olarak ele almışlardır.

Şevin açıldığı kaya kütlelerindeki doğal gerilme durumu ve bunun şev kazısı nedeniyle değişiminin şev duraylılığına etkisi, ölçümlerin pratikte zor, zaman ve para açısından ekonomik olmadığından, çoğu kez dikkate alınmamaktadır. RMS, M-RMR ve

RMR de arazideki gerilme durumu dikkate alınmamıştır. MRMR ise en büyük ve en küçük asal gerilme durumlarını ve bunların kazı sonrasındaki değişimini dikkate almıştır (Laubscher, 1984, 1990). Ancak bu sistemin şev duraylılığı uygulamalarında arazideki gerilme durumu ele alınışı açık değildir. Haines ve Terbrugge (1991) çalışmasında gerilme durumu için düzeltme faktörünü 1 olarak almıştır.

RMS, RMR, SMR, M-RMR ve MRMR sistemlerinin hiç birinde, kaya malzemesi deformasyonu direkt olarak düşünülmemiştir. Ancak gerilme boşalımı (özellikle zayıf veya kesme zonları ile ilgili olmayan) ve dış yüklerle oluşan kaya kütle deformasyonu şev duraylılığı için önemlidir. Dış yükler ve şevin yüksekliğiyle birlikte artacak olan kaya kütledeki gerilme düzeyi ve buna bağlı deformasyonlar süreksizlikler boyunca kaymalara neden olabilmektedir (Hack, 2002). Kaya malzemesi deformasyonu sadece SSPC yönteminde süreksizliğe bağlı olmayan yenilme türleri analizi için girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

Kazı yöntemine ve kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerine bağlı olarak şevin açıldığı kaya kütleleri az veya önemli miktarda örselenebilmektedir. RMS sistemi doğal yamaçların dayanımını araştırdığından kazı etkisi faktörünü parametre olarak kullanmamaktadır. RMR (Beiniawski, 1974) sisteminde önceleri kazı etkisi faktörü dikkate alınmazken sonraları bu sistemin yeraltı kazıları için uygulamalarında patlatma etkisi sisteme dahil edilmiştir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Ayrıca RMR nin şev duraylılığı için düzenlenmiş şekli olan SMR'de (Romana, 1985, 1993; Romana vd., 2003), M-RMR sisteminde, ve MRMR sisteminde (Laubscher, 1984,1990; Haines ve Terbrugge 1991) kazı nedeniyle oluşan örselenme dikkate alınmaktadır.

MRMR ve SSPC yönteminde kazı şevinin örselenmesi, şevdeki kaya kütlelerinde şevin ömrü boyunca oluşmuş ve/veya oluşacak ayrışmanın durumu dikkate alınmaktadır. Ancak SSPC tektonik gerilme veya şevin arkasındaki kaya kütleleri tarafından oluşturulan gerilmelerin önemli olduğu durumlarda uygulanması önerilmemektedir (Hack vd. 2003).

4.3. Sınıflandırma Parametreleri ve Şev Geometrisindeki Değişimler ve Bunların Ölçümündeki Belirsizlikler

Arazide ölçülebilen her bir veri belli oranda belirsizlik içerebilir bu nedenle sınıflandırma sistemlerine dayanan şev duraysızlık değerlendirmeleri de belli ölçüde belirsizlik içerir (Gama 1994). Buna rağmen, çoğunlukla sınıflandırma sistemleri belirsizlik olayını dikkate almamaktadır.

Sınıflandırmalarda kullanılan parametreler için yapılan puanlama söz konusu parametrelerin ortalama değerleri için yapılmakta, ortalama değerden sapan ölçümler göz önüne alınmamaktadır. Bu durum SSPC hariç bu çalışmada kullanılan tüm sınıflandırma sistemleri için geçerlidir. Hack (1998) şev duraysızlığının olasılık tanımlamasını yapmak için yöntem geliştirirken Monte-Carlo sayısal modelleme yöntemini kullanmıştır (Hack vd. 2003).

Jeoteknik birimlerin tanımlaması da belirsizlik içerir. Duraylılık analizi homojen kabul edilen her bir jeoteknik birim için yapılır. Fakat jeoteknik birimin özellikleri her yerde aynı olmamakta, kaya kütlelerinin kompleksliğine bağlı olarak özelliklerde mutlaka belirli bir farklılık göstermektedir.

Şev geometrisi çoğunlukla tek düze değildir ve özellikle şevde hareket etmesi olası kütle dikkate alındığında, küçük alanlarda bile büyük değişiklikler göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin hiç biri şev geometrisindeki değişikliği dikkate almamaktadır.

4.4. Şev Duraylılığın Sağlamak İçin Yapılan Öneriler

Kaya şevlerinde duraylılık analizleri için kullanılan sınıflandırma sistemleri, şev duraylılığını sağlamak için gerekli destekleme türlerini yeraltı kazıları için kullanılan sınıflandırma sistemlerinin destekleme önerilerinden miras olarak almışlardır. (Romana, 1985, 1991). Bu çalışmada uygulanan kaya kütle sınıflandırmalarından sadece SMR şev duraylılığı için destekleme türleri

İnceleme alanında seçilen ve SMR'ye göre tamamen duraysız, duraysız ve kısmen duraysız olarak tanımlanan şevlerde duraylılığı sağlamak için (SMR'ye göre) önerilen destek türleri Şekil 46'da (sayfa 111) verilmiştir. Söz konusu şevlerin geometrisi (şevin yüksekliği ve eğimi, şev üst yüzeyinin eğimi) dikkate alındığında bu önerilerin gözden geçirilme ihtiyacı olduğu görülmektedir. İncelene şevlerin tamamında kaya düşmeleri

mevcuttur. Kaya düşmelerinin oluşturacağı tehlikeleri engellemek için bu şevlerde çelik hasır kullanılabilir. Kaya hendeklerinin oluşturulabilmesi için yapılması gereken kazılar, şevlerin yüksekliğinin ve eğiminin büyük olması nedeniyle mümkün görülmemektedir. Bu durum duraysız şevlerin eğimlerinin azaltılmasında da geçerlidir. Ancak kütleli yenilmelerin oluşabileceği yüksek derecede ve daha fazla ayrılmış, çok kırıklı şevlerde (SMR puanı <20) şevin basamaklandırılması (yer üstü ve yeraltı sularının drenajı ve istinat duvarlarıyla birlikte) düşünülebilir. Süreksizliklere bağlı yenilmelerin oluşabileceği şevlerde, hareket etmesi olası bloklar belirlenmeli ve bunların kontrollü düşürülmesi veya kaya blonu ve ankrajlarla sağlamlaştırılması (hareketlerinin engellenmesi) düşünülmelidir. SMR puanının 20-60 arasında olduğu, küçük ve çok küçük bloklu ($J_v > 10$, Palmström, 1996), orta derecede ve daha az ayrılmış volkanitlerde açılan şevlerde çelik hasırın kullanılması, şev yüzeyinin püskürtme betonla kaplanması ve kaya blonu ve ankrajlarla sağlamlaştırma birlikte düşünülmelidir.

Hack (2002)' a göre bu yeraltı kazıları için geliştirilen destekleme önerilerine dayanan bu yaklaşımların şevler için uygulanması ve geliştirilmesi oldukça zordur ve göreceli olarak güvenilirliği daha azdır. Yazar, ömrü boyunca desteğin bakımı ve onarımı karmaşık ve pahalı olduğunu belirterek duraylılığı sağlamak için destekleme önerisi yapmak yerine şevin yüksekliğinin ve eğiminin düzeltilmesini daha anlamlı bulmaktadır. Bu yaklaşım SSPC sisteminden sağlayacak yararı azaltmaktadır. Özellikle bu çalışmadaki incelenen şevlerde olduğu gibi yüksekliği fazla ve eğimi büyük şevlerde eğim ve yüksekliğin yeniden tasarlanması pratikte zor olmaktadır.

4.5. Kaya Kütlelerinin Niteliği ile Yenilme Türlerinin Arasındaki İlişki

İncelenen şevlerde duraylılık bozulmaları esas olarak; süreksizliklere bağlı kayma ve devrilme türü yenilmeler, süreksizliklerden bağımsız kütleli yenilmeler, şevin ömrü boyunca oluşan/oluşacak ayrışma ve kaya kütlelerindeki gerilmeler nedeniyle oluşan yenilmeler ve yer altı ve yer üstü sularının oluşturduğu bozulmalardır..

Süreksizliklere bağlı olarak gelişen kayma ve devrilme türü yenilmeler orta ve daha fazla dayanımlı kaya kütlelerinde ($RMR > 40$) meydana gelmektedir. Ayrıca zayıf kaya kütlelerinde iyi gelişmiş ve kesme dayanımı düşük süreksizlikler söz konusu yenilmeler için olanak sunmaktadır. Kütleli yenilmeler daha çok zayıf kaya kütlelerinde;

kaya malzemesi dayanımı düşük, çok kırıklı, parçalı kaya kütlelerinde ($RMR < 40$) meydana gelmektedir (Robertson, 1988). Şev yüksekliğinin çok yüksek olması; şevde kaya malzemesinin dayanımını aşacak kadar öz ağırlıktan ileri gelen gerilmelerin olması durumunda da kütleli yenilmeler oluşabilmektedir .

Bu çalışmada uygulanan sınıflandırma sistemlerinden RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sistemleri kaya kütlelerinde oluşabilecek yenilme türlerini dikkate almadan duraylılık tahmini yapmaktadırlar. Bu durum söz konusu sistemlerinin şev duraylılığı tahmininde ve şev tasarımında kullanımını kısıtlamaktadır.

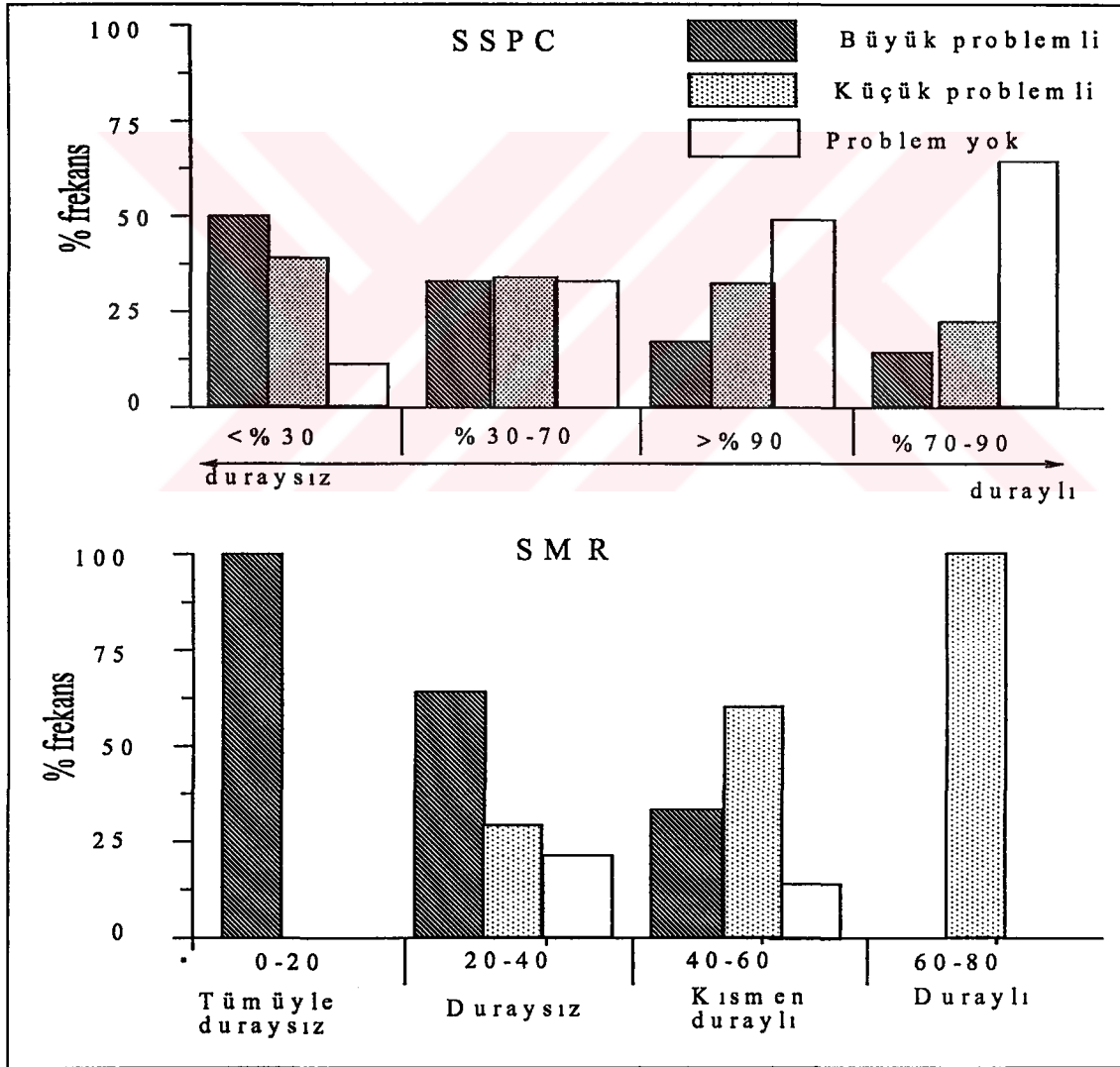
SMR sistemi süreksizliğe bağlı yenilmeler için gerekli parametreleri içermekte olup bu sistemde olası kayma ve devrilme türü yenilmeler belirlenmektedir.. SMR sisteminde puanın düşük olduğu ($SMR < 20$) durumda heyelan şeklinde (kütleli yenilmelerin) gelişeceği öngörülmektedir. Ancak bu durumda da SMR puanı süreksizliklerin özelliklerine (eğimi, şev düzlemiyle olan ilişkisine) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu SMR sisteminin, özellikle zayıf kayalarda açılan şevlerin duraylılık tahmininde kullanılmasını sınırlamaktadır. Ancak bu çalışmada, zayıf kayalarda açılan şevler için SMR sistemi ile yapılan duraylılık tanımlanması ile arazide yapılan görsel tanımlama arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir (Tablo 45 ve Şekil 50) Bu durumun veri azlığından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Şekil 50’de verilen incelenen şevlerin görsel tanımlaması Hack vd. (2003)’e göre yapılmıştır. Bu tanımlamaya göre şevde hareket etmiş veya etmesi olası kütleli ağırlığı ton düzeyinde ise şev için "büyük problemlili", kg boyutunda ise "küçük problemlili", ve eğer hareket olmamış ise "problem yok" tanımlamaları yapılmaktadır. Tablo 45 ve Şekil 50’de incelenen şevlerdeki görsel tanımlama ile SSPC sistemi ile elde edilen duraylılığın olasılık tanımlaması arasındaki ilişki de verilmiştir. Bu tablo ve şekil incelendiğinde hem SMR hem de SSPC ile elde edilen sonuçların görsel tanımlamayla uyumlu olduğu görülmektedir.

SSPC sistemi SMR den farklı olarak hem süreksizliklere bağlı duraylılığı, hem de süreksizliklerden bağımsız duraylılığı olasılık olarak tanımlamaktadır. Ayrıca SMR sisteminde şev yüksekliği duraylılık tanımlamasında bir girdi parametresi olarak kullanılmazken SSPC yönteminde süreksizlik yöneliminden bağımsız duraylılığın tanımlamasında şev yüksekliği önemli parametredir.

Tablo 45. Şevlerin görsel tanımlaması ile SMR ve SSPC yöntemiyle elde edilen duraylılık tanımlamaların sayısal karşılaştırılması

SMR	Büyük problemliler*	Küçük problemliler	Yok (duraylı)	toplam	SSPC (%)	Büyük problemliler	Küçük problemliler	Yok (duraylı)	toplam
0-20	7	0	0	7	<30	19	15	4	38
20-40	15	8	5	28	30-70	2	2	2	6
40-60	7	15	3	25	70-90	1	2	3	6
60*80	-	4	-	4	>90	2	3	9	14
80*100	-	-	-	-					

(*:SSPC yöntemindeki tanıma göre hareket eden malzeme kg boyutunda ise şev büyük problemliler, ton boyutunda ise şev küçük problemliler olarak tanımlanmaktadır)



Şekil 50. Duraylılığı araştırılan şevlerde yapılan görsel tanımlama ile SSPC ve SMR sistemiyle yapılan tanımlamaların karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Trabzon-Gümüşhane devlet karayolunun Bekçiler Mevkii (Maçka-Trabzon)-Savaşlı Mahallesi (Torul-Gümüşhane) arasında kalan kısmında seçilen kazı şevlerinin duraylılığını incelenmesini ve kaya şev duraylılığı için yaygın olarak kullanılan kaya kütle sınıflandırma sistemleri irdelenerek, duraylılığının tahmininde pratikte yarar sağlayan sınıflandırma sistem ve/veya sistemleri belirlenmesini amaç edinen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1-Bu çalışmada, inceleme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve yörede yüzeylenen kayaçlarının lito-stratigrafik ve yapısal özellikleri araştırılmıştır.

Çalışma sahasında en altta Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu yer almaktadır. Bu formasyon kalınlığı 1-20 m. arasında değişen, çoğunlukla yanal devamlılığı olmayan, bazen mercek şeklinde görülen, ince tabakalı, bordo renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüffit ara seviyeleri içeren andezit ve piroklastlarından oluşmuştur. Çatak Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen ve Troniyen?-Santoniyen yaşlı tortul ara katmanlar içeren Kızılkaya Formasyonu'nda iki farklı dasit ve piroklastitler bulunmaktadır. Bunlardan ilki içerdiği cevherleşmeler nedeniyle "Cevherli Dasit", ikincisi ise renginden dolayı "Mor Dasit" olarak adlandırılmaktadır. Mor Dasitler genelde cevher minerali içermemekte ve Cevherli Dasitlere göre daha az ayrılmış olarak gözlenmiştir. Kızılkaya Formasyonu üzerine Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Bu formasyon killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ve marn ara seviyeleri içeren andezitik-bazaltik volkanitlerden oluşmaktadır.

- Kızılkaya Formasyonu dasitik volkanitlerde hakim çatlak sistemlerinin 215/78, 335/72, 104/88 ve 270/36 olduğu belirlenmiştir. Kızılkaya Formasyonu'ndaki andezit ve dasit dayklarının duruşu 215/78 ve 335/72 yönelimli çatlak takımının duruşuyla uyumludur.

- İnceleme alanında devamlılığı olan ve K45D doğrultuya sahip 2 tane fay mevcuttur (F1 ve F2 fayları). F1 fayı inceleme alanının batısında yer almakta olup 80° GD'ya doğru eğimli normal faydır. F2 fayı düşey atımlı olup inceleme alanının güney doğusunda Kızılkaya Formasyonu ile Çağlayan Formasyonu arasındaki sınırı oluşturmaktadır

2- Duraylılığı incelenen yol kazısı ile oluşmuş kaya şevlerinde şev geometrisi, litolojik özellikler, ayrışma durumu ve süreksizlik sıklığı dikkate alınarak 64 jeoteknik birim tanımlanmıştır. Bu jeoteknik birimlerin dayanım özelliklerini bulmak için yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Jeoteknik birimlerin dayanım özellikleri ayrışmayla belirgin değişim göstermektedir. Dasitik volkanitlerde kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ayrışmamış malzemede 236-148 MPa, az ayrışmış malzemede 176-124 MPa, orta derecede ayrışmış malzemede 69-28 MPa ve yüksek derecede ayrışmış malzemede 45-15 MPa arasında değişmektedir. IAEG (1995)'nin ayrışma sınıflandırılması kullanılarak değişik derecede ayrışmış dasitik ve andezitik volkanitler için dayanım özellikleri büyük güvenilirlikle tahmin edilebilmektedir.

- Dasitik volkanitlerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci} , MPa) Schmidt çekici geri tepme sayısı (R) ve nokta yük dayanımı ($I_{s(50)}$, MPa) değerleri kullanılarak, aşağıda verilen bağıntılarla tahmin edilebilmektedir

$$\log(\sigma_{ci}) = 1.1332 \ln(R) + 0.584 \quad (R^2 = 0.900, N=12)$$

$$\sigma_{C=} = 24.25 I_{s(50)} + 4.83 \quad (R^2 = 0.944, N=12)$$

3- İncelenen kazı şevlerini duraylılık açısından tanımlamak için kullanılan RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemlerinin uygulanmasıyla elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir

-RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemlerinde kullanılan girdi parametrelerinin tanımlanmasında ve ölçülmesinde güçlükler vardır. Bu güçlükler Bölüm 4.2'de (sayfa 125-133) tartışıldığı için burada tekrarı yapılmamış, sadece bu çalışmadaki uygulamada görülen zorluklar belirtilmiştir.

-İncelenen şevlerde duraylılığın bozulmaları esas olarak; süreksizliklere bağlı kayma ve devrilme türü yenilmeler, kaya düşmeleri, süreksizliklerden bağımsız kütsel yenilmeler, şevin ömrü boyunca oluşan/oluşacak ayrışma ve kaya kütsesindeki gerilmeler nedeniyle meydana gelen yenilmeler ve yeraltı ve yer üstü sularının oluşturduğu bozulmalardır. Bu çalışmada kaya şevlerinin duraylılığını tanımlamak için kullanılan RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sınıflandırma sistemleri şevdeki söz konusu yenilme türlerini dikkate almamakta sadece şev duraylılığı açısından kaya kütsesini tanımlamaktadır. Şev duraylılığın bu şekilde

tanımlanması şev tasarımı için yapılması gereken/önerilecek olan mühendislik çalışmaları için yeterli olmamaktadır.

- Doğal yamaçların yüzeyi şekillendiren jeomorfolojik olaylara (erozyona) karşı kaya kütle dayanımı tahmin etmek için geliştirilmiş olan RMS' de özellikle süreksizlik yönelimi ile ilgili puanlamada muğlaklık ve yanlış değerlendirmeler mevcuttur.

- RMR sisteminin şev duraylılık tahmini ve şev tasarımı için önerilmeme nedenleri; süreksizlik yöneliminin şevin konumuna göre nasıl değerlendirileceği ve yönelim düzeltilmesi puanı seçimi konusu belirsiz olması, sık çatlaklı jeoteknik birimlerde de süreksizlik yönelimi ile ilgili puanın toplam puana etkisi olması, özellikle orta derecede ve daha fazla ayrılmış kaya kütlelerinde suyun olumsuz etkilerini tanımlayacak bir parametre olmamasıdır.

-İncelenen jeoteknik birimler için M-RMR sistemi ile bulunan puanların RMR ile bulunan puanlara uyumluluğu X^2 testi kullanılarak araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda jeoteknik birimler için temel RMR puanı ile düzeltilmiş kütle puanı (CUMR) arasında anlamlı bir fark olmadığı ancak değişik yeraltı suyu koşullarındaki şev için elde edilen nihai RMR puanları ile düzeltilmiş M-RMR puanları arasındaki farkın önemli olduğu görülmüştür. İncelenen jeoteknik birimlerin % 80'inde, düzeltilmiş M-RMR puanı nihai RMR puanından büyüktür. Söz konusu puanlar arasındaki fark su içeriğiyle birlikte artmakta olup 2 ile 18 arasında değişmektedir.

-Bu çalışmada şevlerin duraylılığını tanımlamada kullanılan diğer bir yöntemde MRMR sistemidir (Laubscher,1990). Bu sistemde, süreksizlik yönelimi düzeltilmesi yer altı kazıları için önerilmiştir (Laubscher 1984,1990). Söz konusu düzeltme katsayısı bloğu sınırlayan süreksizlik takım sayısına ve düşeyden sapan süreksizlik takım sayısına bağlı olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada, süreksizlik yönelimi düzeltilmesi katsayısı kendisi veya diğer süreksizliklerle arakesiti yenilme oluşturacak süreksizlik takım sayısı ile süreksizlik takım sayısı dikkate alınarak şev duraylılığı için yeniden düzenlenmiştir

-Varyans analizleri sonucunda; şevin kuru ve nemli olduğu durumlarda jeoteknik birimlere ait MRMR değerleri ile RMR değerleri arasındaki farkın önemli olmadığı, şevde orta derecede su basıncının olduğu durumda ise söz konusu farkın anlamlı olduğu belirlenmiştir. MRMR ile M-RMR puanları arasındaki önemli farklılık vardır.

-Haines ve Terbrugge (1991)'in şev tasarım eğrileri kullanılarak incelenen şevlerin duraylı olabileceği şev eğimleri irdelenmiştir. Bu irdeleme sonucu incelenen bütün şevler duraysız olarak tanımlanmıştır. Bu durum arazi gözlemleriyle iyi uyum sağlamamaktadır.

Haines ve Terbrugge (1991)'in şev tasarım eğrileri, yenilme türlerini dikkate almamakta, duraylı şev açılarını gösteren eğriler eşit aralıklı almakta (MRMR puanı ve şev yüksekliği ile duraylı eğimi arasındaki ilişkilerin doğrusal olarak almakta), özellikle 100 m'ye kadar olan yüksekliğe erişen şevlerde duraylı şev yüksekliği-şev eğimi ilişkisinin doğrusal kabul etmekte ve şevin duraylı olabileceği eğim açısının şev yüksekliğinden bağımsız olarak tanımlamaktadır. Bu nedenlerle bu çalışmada söz konusu eğrilerin şevlerin duraylılık tanımlamasında ve tasarım eğrisi olarak kullanılmaları doğru bulunmamıştır.

-Duraylılığı incelenen şevlerin kuru olduğu durum için kaya kütle sınıflandırma sistemleri ile bulunan toplam puan ile şevde orta derecede su basıncının olduğu durum için bulunan toplam puan arasında çok az fark vardır. Söz konusu fark en fazla, RMS için 3, RMR için 11, M-RMR için 9, MRMR (Laubscher,1990) için 6, SMR için 12 olmaktadır. Söz konusu bu farkların incelenen kazı şevlerindeki suyun bozucu açıklamaya yeterli olmadığı söylenebilir. Bu durum özellikle orta ve daha yüksek derecede ayrılmış dasitik kayaların olduğu şevler için geçerlidir. Arazide yapılan gözlemler, bu tür şevlerin duraylılığının bozulmasında suyun önemli ölçüde etkili olduğunu göstermiştir.

4- Duraylılığı araştırılan şevlerde yapılan gözlemler ve duraylılığın görsel tanımlamaları ile bu şevler için SMR ve SSPC ve sistemiyle yapılan duraylılık tanımlamaları arasında, iyi bir uyum olduğu belirlenmiştir. Ancak bu durum özellikle kültürel yenilmelerin görüldüğü şevler için tartışmalıdır. Söz konusu iyi uyumun varlığı, özellikle SMR ve SSPC yöntemlerinin olası yenilme türlerini dikkate alması ve süreksizlik yönelimi ile şev yönelimi arasındaki ilişkiyi anlamlı kurması sonucu olduğu düşünülmektedir. Söz konusu uyumun varlığı SMR ve SSPC sisteminin kaya şevlerinin duraylılığının araştırılmasında kullanılabilirliğini gösterse de her iki sistemin de şev duraylılığına yaklaşımlarıyla ilgili güçlükleri ve olanakları vardır. Bu çalışmada elde edilen veriler ve önceki çalışmalarda sunulan bulgular birlikte değerlendirilmiş ve söz konusu güçlükler ve olanaklar aşağıda özetlenmiştir.

-SMR puanını elde etmek için temel RMR değeri kullanılmaktadır. Bu nedenle RMR'de kullanılan parametreler için yapılan değerlendirme SRM sistemi içinde geçerlidir. Özellikle Bieniawski (1989) tarafından önerilen süreksizlik yönelimi düzeltilmesi ilgili parametrenin abartılı değerlerinin (-50 ve -60) kullanımı zordur. SMR yöntemi zemin gibi davranan ve bazı yumuşak kayalardaki şevler için yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu durum zayıf kaya kütlelerinin olduğu şevlerde kütleli yenilme meydana gelmesine karşın

süreksizlik özelliklerini esas almasından kaynaklanmaktadır. Bir miktar tutucu (güvenli tarafta kalma eğiliminde) olan SMR sisteminin en zayıf noktalarından biri de şev duraylılığı analizlerinde şev yüksekliğini parametre olarak almamasıdır. SMR sisteminin öngördüğü olası yenilme türleri (kayma, devrilme ve kütleli yenilme) inceleme alanındaki şevlerde duraysızlığı oluşturan yenilme türlerinin önemli bir kısmını oluşturması ve kazı nedeniyle kaya kütlelerinde meydana gelen örselenmeyi dikkate alması söz konusu sistemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Ayrıca, SMR sisteminde, kazı şevleri duraylılığına uygulanan diğer tüm sistemlerden farklı olarak şev duraylılığını sağlamak için gerekli destek türü önerilmektedir. Ancak, SMR sistemi şev yüksekliğini dikkate almaması destekleme türü önerisinde de zorluklar oluşturmaktadır. İncelediğimiz şevlerde olduğu gibi, yüksekliği, eğimi ve şev üst yüzeyinin eğimi büyük olan şevlerde şevin yeniden tasarımı (eğiminin ve yüksekliğinin düşürülmesi), istinat duvarlarının yapılması ve kaya toplama hendeklerinin oluşturulması pratikte zor olabilmektedir. Bu çalışmada duraysız şevler için yapılan destekleme önerileri Bölüm 4.4'de (sayfa 133-134) tartışıldığından burada tekrar edilmemiştir.

- SSPC sistemi SMR den farklı olarak, hem süreksizliklere bağlı duraylılığı, hem de süreksizliklerden bağımsız duraylılığı olasılık olarak tanımlamakta, yöneliminden bağımsız duraylılığın tanımlanmasında şev yüksekliğini önemli parametre olarak kullanmakta, açılan kazı şevleri veya doğal yamaçlardan elde edilen ölçümleri açılması düşünülen kazı şevlerinin duraylılığı analizi için gerekli ölçümlere dönüştürebilmektedir. Söz konusu bu düzeltme için şev geometrisi, ayrışma durumu ve kazı yapılırken kaya kütlelerinde oluşabilecek örselenmeyi dikkate almaktadır. SSPC yönteminin SMR sistemine göre en büyük olumsuzluğu duraysız şevler için desteklemeyi gereksiz görmesi, desteklemeyi önermemesidir.

5- Kaya kütle sınıflandırmalarının kaya şevi duraylılığı analizlerinde ve şev tasarımında kullanılabilmesi için yapılması gerekenler aşağıda özetlenmiştir.

-Kaya kütle sınıflandırmaları şev duraylılığının tanımlanması yalnızca ilk aşamada (ön çalışmalarda) kullanılmalı veya detaylı haritalama ve analizi tamamlamak için belli bir bölgeye ait araç olarak düşünülmelidir.

- RMS, RMR, M-RMR ve MRMR sistemleri özellikle kullandıkları parametreler yeniden gözden geçirilmek koşuluyla, ancak zayıf kaya kütleleri (45'den düşük GSI değerine

sahip kaya kütlelerinde) için jeoteknik modellerin oluşturulmasında ve şev tasarımında (şevin duraylı olduğu şev yüksekliği-şev eğimini gösteren ilişkilerinin belirlenmesinde) kullanılabilir. Söz konusu sistemlerin şu anki biçimleriyle kaya şevlerine uygulanması önerilmez.

-SMR ve SSPC yöntemleri şev duraylılığının tanımlanmasında ve analizlerinde kullanılabilmesi için bu sistemler için yukarıda verilen güçlükler ve olanaklar göz önüne alınmalıdır. Ancak, bu çalışmada elde edilen bulguların farklı alanlarda çalışılarak duraylı ve duraysız şevlerde test edilmesi gerekmektedir.

-Farklı alanlarda şev duraylılığı için yapılacak çalışmalarda; istatistiksel değerlendirmeler için yeterli nitelikte ve sayıda veri toplanması, kayacın litolojisi ve ayrışma durumu, süreksizlik sıklığı, şev geometrisi ve yenilme türünü dikkate alarak jeoteknik modellerin oluşturulması, bu modeller üzerinde sayısal yöntemlerle analizlerin yapılması ve bu analiz sonuçlarının arazide test edilmesi yararlı olacaktır. Tüm bu çalışmalar kaya şevlerinin duraylılık açısından tanımlamasını yapabilecek yeni bir kaya kütle sınıflandırma için ilk adım olacaktır. Kaya şevlerinin duraylılık açısından değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşıma da ihtiyaç olduğu açıktır.

6. KAYNAKLAR

- Abrahams, A.D. ve Parsons, A.J., 1987. Identification of strength equilibrium rock slopes: further statistical considerations. Earth Surface Processes and Landforms, 12(6), 631-635.
- Alpan, T., 1971. Of – Trabzon Arasının Jeolojik Etüdü, M.T.A. Rap. No: 1177, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Anbalagan, R Sharma, Sanjeey ve Raghuvanshi, T. K. 1992. Rock Mass Stability Evaluation Using Modified SMR Approach. Proc. 6th Nat, Sym. on Rock Meeting. Bangalore, India, .258-268.
- Aslaner, M., 1977. Türkiye Bakır, Kurgun, Çinko Yataklarının jeolojik ve Bölgesel Sınıflamasıyla Plaka Tektoniği Yönünden İncelenmei, K.T.Ü., Yayın No: 85, 1977.
- Aufmuth, R. E. 1973. A Systematic Determination of Engineering Criteria for Rocks, Bulletin of Associate of Engineering Geologist, 11.,235-245.
- Barton, N. ve Bandis, S. 1982. Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock. Keynote Lecture, 23rd US Symposium on Rock Mechanics, Berkeley, California.
- Barton. N.R. ve Bandis, S.,1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. Rock Joints, Leon, Norway. Balkema,Rotterdam, 603-610.
- Barton, N.R. ve Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, 10, 1-54.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 15, 335-43.
- Bieniawski, Z.T., 1974. Estimating the strength of rock materials. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 74 (8), 312-320.
- Bieniawski, Z.T., 1975. Case studies: Prediction of rock mass behaviour by the geomechanics classification. Proceedings of the 2nd Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Brisbane, Australia, 36-41.
- Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classifications in rock engineering. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, 97-107.

- 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., 1988. The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice. In Rock Classification Systems for Engineering Purposes (Kirkaldie ed.), ASTM, Philadelphia, 17-34.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York, 238 p.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) Baraj Yeri Ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri. Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 255 s.
- Broch, E. ve Franklin, J.A., 1972. The Point Load Strength Test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 669-697.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara -Trabzon) Barajı ve Uzungöl Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 183 s.
- Bye, A.R. ve Bell, F.G., 2001. Stability assessment and slope design at Sandsloot open pit, South Africa International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 8, 449-466
- 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.
- Cargill J.S. ve Shakoor A. 1990. Evaluation of empirical methods. for measuring the uniaxial compressive strength. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 27, 495-503.
- Carter, P.G ve Snedden M., 1977. Comparison of Schmidt Hammer, Point Load and Unconfined Compression Tests in Carboniferous Strata. Proceeding of a Conference on Rock Engineering. University of New Castle, Tyne, England.
- Ceryan, Ş., 1999. Harşit Granitoidi'nin Ayrışması, Sınıflandırılması, Ayrışmanın Mühendislik Özelliklerine Etkisi. , Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 300s.
- Ceryan, Ş. ve Korkmaz, N., 2003. Torul (Gümüşhane)-Diker Mahallesi (Torul) karayolunda yüzeylenen bazik volkanitlerin jeo-mühendislik özellikleri. Gümüşhane Yöresinin Kalkınması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Gümüşhane, Cilt 1, 298-310.

- Chen, Z., 1995. Recent developments in slope stability analysis. ISRM International Congress on Rock Mechanics, (Herausgeber ed.) Tokyo, ISRM. Vol. 3 , 1041-1048.
- D'Andrea, D.V., Fisher, R.L. ve Fogelson, D.E., 1965. Prediction of compressive strength of rock from other rock properties. U.S. Bureau of Mines, Report of Investigation. 5702.
- Davis, J.C., 1986. Statistics and Data Analyses in Geology. Wiley, New York, 646 p.
- Deere, D.U. ve Miller, R.P., 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Technical Report, Air Force Weapons Laboratory, No. AFNL-TR- 65-116, New Mexico, 30 pp.
- Deere, D. U., 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology, 1, 16-22.
- Douglas, B.E., 2002. The Shear Strength of Rock Masses. PhD thesis's. Ciivil and Environmental Engineering The University of New South Wales Sydney, Australia, 565 p.
- Duncan, C. R., 1992. Foundation on Rock, Wiley, New York, 432 p.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture, 108-121 in Ham, W.E., ed., Classification of carbonate rocks., Tulsa, Okla., Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem., 1, 279 p.
- Duran, A. ve Douglas, K., 1999. "Do slopes designed with empirical rock mass strength criteria stand up?" Proceedings ISRM 9th International Congress on Rock Mechanics, Paris, France, 1, 87-90. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 070 1.
- Duran, A. ve Douglas, K.J., 2000. Experience with empirical rock slope design. GeoEng2000. An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering. 19-24 November, Melbourne, Australia.
- Ergüvanlı, K., 1953. Görele-Espiye-Gümüşhane arasındaki bölgenin jeolojisi hakkında rapor. MTA, Rapor No:2629.24, Ankara (Yayınlanmamış).
- Eyüboğlu, Y., 2000. Tirebolu – Doğankent Arası Jeolojisi ve Jeokimyasal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon ,196 s.
- Folk, R. L., 1962. Spectral Sudivision of Limestone Types in W. E. Ham. (Ed) Classification of Carbonate Rock, A.A.P.G.
- Forster, I.R., 1993. Influence of core sample geometry on the axial point load test. Technical Note .. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. & Geomechanics. Abstract. 20, 291-295.

- Franklin, J. A. and Chandra, R., 1972. The slake-durability test.. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 325-341.
- Gama, C. 1994. Variability and uncertainty evaluations for rock slope design. Proc. 1st North American Rock Mechanics Symp, Austin, Texas.publ. Balkema, Rotterdam, 547- 555.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granitik Karmaşığı ve evre Kayaaları, Doentlik Tezi, KTÜ Yer Bilimleri Fakóltesi, Trabzon.178 s.
- Gökeođlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Gülüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., 214 s.
- Gökeođlu, C., Aksoy, H., 2000. New approaches to the characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses. Engineering Geology, 58 1-23.
- Göktan, R. M. ve Ayday, C., 1993. A Suggested Improvement to the Schmidt Rebound Hardness ISRM Suggested Method with Particular Reference to Rock Machineability, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. & Geomechanics. Abstract, 30,3, 321-322.
- Gunsallus, K. L. ve Kullhawy, F. H. (1984) A comparative evaluation of rock strength measures. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. & Geomechanics. Abstract , 21, 233-248.
- Gülibrahimoğlu,İ. 1985. Maka Güneyinin Jeolojik Etüd Raporu, Rap. No: 1328, MTA, Ankara, (Yayınlanmamış).
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/ 250 000 Ölekli Kompilasyonu, MTA. Genel Müd., Ankara (Yayınlanmamış).
- Hack, R, 1996. Slope stability probability classification, SSPC.pub I.ITC,Enschede, The Netherlands .ISBN 906164125X, .258 pp.
- Hack, R., 1998. Slope stability probability classification, SSPC. 2nd edition. publ. ITC, Enschede, The Netherlands. ISBN 90 6164 154 3. 258 pp.
- Hack, R., 2002. An Evaluation of slope stability classification ISRM EUROCK'2002, Portugal, Madeira, Funchal, 3-32.
- Hack, R., Alkema, D., Kruse, G., Leenders, N., ve Luzi, L., 2002. Influence of earthquakes on the stability of slopes. Journal of Engineering Geology. Special issue.
- Hack, R., Price, D. ve Rengers, N., 2003 . A new approach to rock slope stability a probability classification (SSPC). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 62, 167-184.

- Haines, A. and Terbrugge, P.J., 1991. Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems. Proceedings 7th International Society Rock Mechanics, (Herausgeber ed.) Aachen, 2 , 887-892.
- Hall, B.E., 1985. Preliminary estimation of slope angles. Symp. on Rock Mass Characteristics, South African National Group on Rock Mechanics Johannesburg. 12-121.
- Haramy, K.Y. ve De Marco, M.I., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing, 26th U.S. Symp. on Rock Mechanics, 26-28 June, Rapid City, 549-555.
- Hassani, F.P., Scobic, M.J. ve Whittaker, B.N., 1980. Application of the point load index test to strength of rock, and proposals for a new size correction chart. Proc. 21st U.S. Symp. on Rock Mechanics Rolla, Missouri, 543-556.
- Hudson, J.A. 1992. Rock Engineering Systems. Ellis Horwood Ltd., England. 185 pp.
- IAEG, 1995. The description and classification of weathered for engineering purposes (Geological Society engineering Group Working, Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1995, 28, 207-242.
- ISRM, 1978. International Society for Rock Mechanics, Commission 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, 1979. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 16, 2, 141-156.
- ISRM., 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.
- ISRM., 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 22, 53-60.
- İrfan, T.Y., Dearman, W.R 1978. Engineering classification and index properties of a weathered granite. Buletin of the International Association of Engineering Geology, 17: 79-90.
- Kahraman, S., 1996. Basınç Direnci Tahmininde Schmidt ve Nokta Yük İndeksi Kullanmanın Güvenirliliği. Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri, Cilt I, K.T.Ü-Trabzon., 362-369.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, 275 s.

- Kidybinski A. 1968. .Rebound number and the quality of mine roof strata International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences , 5 , 283–92.
- Koca, M.Y., 1988. Açılmakta Olan Zigana Tüneli – Gürgenagaç Arası Yol Şevlerinin Duraylılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Tranzon, 204 s.
- Korkmaz, T., 1988. Maçka-Gürgenagaç (Trabzon) Yeni Yol Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 131 s.
- Köprübaşı, N., 1992. Aşağı Harşit Bölgesinin Mağmatik Petrojenezi Ve Masif Sülfidlerde Jeokimyasal Hedef Saptama Uygulamaları. Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 134 s.
- Laubscher, D. H., 1975. Class distinction in rock masses. *Coal, Gold and Base Minerals of Southern Africa*, 37-50.
- 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 (Jan),. A1-A8.
- Laubscher, D.H., 1984. Design aspects and effectiveness of support systems in different mining conditions, *T. Min. Metall A.*, 93, A70-A81.
- Laubscher, D.H., 1990. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 90 (10), .257-273.
- Laubscher, D.H. ve Jakubec, J., 2000. The IRMR/MRMR rock mass classification system for jointed rock masses, In: SME Annual Meeting, February 28 - March 1, 475-481, Salt Lake City, Utah.
- Lee, S., G., 1987. Weathering and Geotechnical Ccharacterization of Korean Granites. PhD thesis, Imperial College, University of London, 325 p.
- Lee, S., G. ve De Freitas, M., H., 1988. Quantitative Definition of Highly Weathered Granite Using the Slake Durability test. Geotechnique, 38,.123-128
- Lindsay, P., Anderson, J., Bourke, F., Campbell, RN. ve Clarke, L., 2000. Prediction slope stability open pit gold coal mines. 2000 New Zeland Minerals and Mining Conference Proc., 14 pp.
- Lindsay, P., Campbell, R.N., Fergusson, D.A., Gillard, G.R.,T. ve Moore, T.A., 2001. CRL. New Zealand Slope stability probability classification, Waikato Coal Measures. *New Zealand International Journal of Coal Geology* 45 127-145.

- McMahon, B.K., 1976. Estimation of Upper Bounds to Rock Slopes by Analysis of Existing Slope Data. CANMET Report 76-14, Canada Centre for Mineral and Energy Technology.
- Moon, B.P. ve Selby, M.J., 1983. Rock Mass Strength and scarp forms it; Southern Africa. *Geografiska annaler. Ser. A*, 65,135-145.
- Moon, B.P., 1984. Refinement of a technique for determining rock mass strength for geomorphological purposes. *Earth. Surface Processes and Landforms*, 9, 2, 189-193
- Moon, V.,Russl, H, C. ve Sicwuri, M., 2001. The value of ruck mass classification systems for weak rock masses: a case example from Hintly. New Zealand. *Engineering. Geology*. 61, 53-67.
- Orr, C.M., 1992. Assessment of rock slope stability using the rock mass rating (RMR) system. *The AusIMM Proceedings*, 297 (2), 25-29.
- Orr, C.M., 1996. Use of the Rock Mass Rating (RMR) system in assessing the stability of rock slopes. In *Milestones in Rock Engineering the Bieniawski Jubilee Collection*. A.A.Balkema, Rotterdam, 159-171.
- Özkan, İ. ve Ünal, E., 1996. Kaya kütleli sınıflama sistemleri üzerine kritik bir değerlendirme. 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 181-193.
- Palmström, A., 1982. The volumetric joint count-a useful and simple measure of the degree of jointing. 4th Int. Congress IAEG, New Delhi. V221-V228.
- Palmström, A., 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing. *Proc. Int. Symp. on Fundamentals of Rock Joints*, Bjorkliden, 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, 1 (2), 69-108.
- Pelin, S., Özsayar, T., Gedikoğlu, A. ve Tülümen, E., 1982. Doğu Pontidlerde Üst Kretase Yaşlı Biyomikritlerin Oluşumu, *K.T.Ü. Jeoloji Dergisi*. 2, 1-2, 69-81.
- Poole, R.W. and Farmer, I.W., 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing, . *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*.17, 167-171.
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1976. Discontinuity spacing in rock. . *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13, 135-148.
- Robertson, A.M., 1988. Estimating weak rock strength. SME Annual Meeting, Phoenix. Arizona, Society of Mining Engineers, Preprint No. 88-145, 1-5.

- 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.
- Romana, M., 1991. SMR classification. 7th International Congress on Rock Mechanics, (Herausgeber ed.) Aachen, ISRM. Vol. 2 . 955-960.
- Romana, M., 1993. A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating. (In Comprehensive Rock Engineering. Ed. I. Hudson). Pergamon. VoJ 3. 575-600.
- Romana, M., 1995. The geomechanical classification SMR for slope correction. Proc. 8th Int. Congress Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, 3, 1085-1092.
- Romana, M., Serón, J.B. ve Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation ISRM 2003–Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 4 pp.
- Selby, M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. Zeitschrift für Geomorphologie. 23. 31-51.
- Selby, M.J., 1982. Hillslope materials and processes. Oxford University Press, Oxford. 264 p.
- Shuk, T., 1994. Key elements and applications of the natural slope methodology (NSM) with some emphasis on slope stability aspects. Proc. 4th South American Congr. on Rock Mechanics. Santiago de Chile. 255-266.
- Singh, R.N. ve Gahrooe, D.R., 1989. Application of rock mass vveakening coefficient for stability assessment of slopes in heavily jointed rock masses. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 3, 207-219.
- Steffen, O.K.H., 1976. Research and development needs in data collection for rock engineering. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, (Bieniawski ed.) Johannesburg, Balkema. Vol. 2 pp. 93-104.
- Szalavin, J., 1974. Relationship between same Physical Pproperties of Rock Determined by Laboratory Test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 11, 107-113.
- Şirin, A., 1995. Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 217 s.
- Tarhan, F., 1981. Artvin Baraj Yerinde Nokta Yük Aleti ile Bir Uygulama. KTÜ Yerbilimleri Dergisi Cilt I., Sayı 2, Trabzon.

- Taşlı, K., 1984. İkisu (Gümüşhane) ile Hamsiköy (Trabzon) Yörelerinin Jeolojisi ve Berdiga Formasyonunun Biyo-stratigrafik Deneştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 223 s.
- Taylor HW (1980) A geomechanics classification applied to mining problems in the Shabanie and King mines.1. Zimbabwe. M. Phil. Thesis, University of Rhodesia, 165p.
- Terzaghi, R.D., 1965. Sources of error in joint surveys. Geotechnique 15, 287-304.
- T.S.E., 1975. Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini. UDK 622.02, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1987. Tabii Yapıtaşlarının Muayene ve Dene Metotları. TS 699, UDK 6912, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1990. Kaya Mekanığı Deneyleeri İçin Karot Numunelerinin Hazırlanması, Boyut ve Şekil Toleranslarının Tespiti. TS 8614, UDK 622.02.624.121, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tsiambaos, G. ve Telli, D., 1991. Application of rock mass classification systems on stability of limestone slopes. Landslides. Proceedings of the Sixth International Symposium, (Belled.) Christchurch, Balkema.2, 1065-1069.
- Türk, N., 1988. Kayaçların Nokta Yükleme dayanımını bulmak için yeni bir yöntem, Mühendislik Jeolojisi Bütteni, 10, 25-31.
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1 Metal Mining Agency of Japan.
- Türk, N. ve Dearman, W.R. 1984. A new procedure for determination of point load strength in site investigation. Site Investigation Practice: Assessing B.S. 5930. 20th Regional Meeting of the Engineering Group of the Geological Society of London. Ed. A.B. Hawkins. I, 462-473.
- Türk, N. ve Dearman, W.R., 1985. Improvements in the determination of point-load strength.. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 31, 137-142,
- Ulusay, R., 2001. Uygulamah Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Genişletilmiş 4. Baskı, 385 s.
- Ulusay, R., Özkan, İ. ve Ünal, E., 1995a. Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses for engineering applications. Proc. of the Fractured and Jointed Rock Masses Conference, June 3-5, 1992, Lake Tahoe, California, L. R. Myer, N. G. W. Cook, R. E. Goodman, and C. F. Tsans (eds.), 229-235.

- Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F., Çağlan, D., 1995b. Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. Engineering Geology, 40, 77-101.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları No:60, Ankara, 243s.
- Ünal, E., 1996. Modified rock mass classification: M-RMR System. Milestones in Rock Engineering, The Bieniawski Jubilee Collection, Balkema, Rotterdam, 203-223.
- Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses. ISRM Symposium: EUROCK'92 Rock Characterization, Chester, UK, J. A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.
- Ünal, E., ve Özkan, İ., 1990. Determination of classification parameters for clay-bearing and stratified rock mass. Proc. 9 th Int. Conf. on Ground Control in Mining, West Virginia Univ., 250-259.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-Trabzon) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 177 s.

ÖZGEÇMİŞ

Nurcihan CERYAN 1980 yılında İstanbul'da doğdu. 1987–1997 yılları arasında ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1997 yılında KTÜ Gümüşhane Mühendislik- Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı. Haziran 2001 'de lisans öğrenimini tamamladıktan sonra Eylül 2002'de KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve aynı tarihte KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi olarak atandı. Evli ve bir çocuk annesi olan Nurcihan CERYAN İngilizce bilmektedir.

