

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İKİ FARKLI ŞEVDE SÜREKSİZLİK DÜZLEMLERİ BOYUNCA
OLUŞAN YENİLMELERİN BARTON GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Engin ELGÜN
DANIŞMAN: Doç. Dr. Ali ÖZVAN

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İKİ FARKLI ŞEVDE SÜREKSİZLİK DÜZLEMLERİ BOYUNCA
OLUŞAN YENİLMELERİN BARTON GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Engin ELGÜN

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-6894 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Ali ÖZVAN danışmanlığında, Engin ELGÜN tarafından sunulan "İki Farklı Şevde Süreksizlik Düzlemleri Boyunca Oluşan Yenilmelerin Barton Görgül Yenilme Ölçütü İle Değerlendirilmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Mutluhan AKIN

İmza:

Üye: Doç.Dr. Levent SELÇUK

İmza:

Üye: Doç.Dr. Ali ÖZVAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.08/2019 tarih ve 2019/41-A sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

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

Engin ELGÜN

ÖZET

İKİ FARKLI ŞEVDE SÜREKSİZLİK DÜZLEMLERİ BOYUNCA OLUŞAN YENİLMELERİN BARTON GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ELGÜN, Engin

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr Ali ÖZVAN

Ağustos 2019, 93 sayfa

Düzlem tipi bir yenilmede şevin dengesi, kaya kütlesi özellikleri, süreksizliğin eğim ve eğim yönleri, şevin eğim açısı, süreksizlik sürtünme açısı, kaya türü, yeraltı suyu koşulları, dinamik yükleme ve normal gerilme terimleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Düzlemsel tip yenilmeye sahip olan şevin stabilitesi, geleneksel ve sayısal yaklaşımlarla değerlendirilebilir. Tabakalı sedimanter kayalarda, düzlemsel yenilme tipi çok sık gözlenmektedir. Bu çalışmada tortul kayalardan oluşan Gürpınar (Van) ve Çukurca (Hakkari) bölgelerinde iki farklı şevdeki düzlemsel yenilmeler incelenmiştir. Kalkarenit ve şeylden oluşan birimler içerisindeki kaymalar, laboratuvar testleri ve arazi testlerine bağlı Barton ölçütü ile değerlendirilmiştir. Makaslama deneyi ve Barton görgül ölçütü ile elde edilen lineer olmayan yenilme eğrileri karşılaştırılmış ve düzlemsel kayma ile ilgili veriler yorumlanmıştır. Yapılan deterministik analizde, süreksizlik yüzey dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı daha yüksek olan kayanın, beklenenin aksine daha düşük makaslama dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, makaslama dayanımını kontrol eden asıl mekanizmanın kaya malzemesinin dayanımından çok kayayı oluşturan tanelerin dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Barton yenilme ölçütü, Düzlemsel kayma, Makaslama dayanımı, Süreksizlik düzlemi.

ABSTRACT

EVALUATION BY BARTON FAILURE CRITERIA OF FAILURES ON DISCONTINUITY PLANES IN TWO DIFFERENT SLOPE

ELGÜN, Engin

M. Sc. Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali OZVAN

August 2019, 93 pages

The balance of the slope, having plane type of failure, depends on much factor such as rock mass properties dip and dip directions of discontinuity, slope angle, friction angle of discontinuity, rock type, groundwater conditions, dynamic loading and the normal stress terms. The stability of the slope, having plane type of failure, can be evaluated by conventional and numerical approaches. In stratified sedimentary rock formations plane type of rock failure is very observed. Planar failure in two different slopes in Gürpınar (Van) and Çukurca (Hakkari) regions, which are composed of sedimentary rocks, were investigated in this study. In this study, planar failure in units consisting of calcarenite and shale were evaluated by laboratory tests and Barton criterion that depend on field tests. Non-linear curves obtained by shear test and Barton empirical criterion were compared and data related to planar shift were interpreted on the plane failures in the discontinuities. In the deterministic analysis, it was found that the rock having higher discontinuity surface strength and uniaxial compressive strength had lower shear strength contrary to expectations. As a result, it was found that the main mechanism controlling the shear strength is the strength and surface discontinuity roughness of the rocks forming the rock rather than the strength of the rock material.

Keywords: Barton failure criterion, Discontinuity plane, Plane failure, Shear strength.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali ÖZVAN'a teşekkür ederim. Tezin son halinin ortaya çıkmasında katkılar sağlayan tez jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Mutluhan AKIN'a ve Doç. Dr. Levent SELÇUK'a katkı ve görüşlerinden dolayı teşekkür ederim. Tez çalışması süresince hiçbir yardımı esirgemeyen Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisi Sayın Murat KAÇMAZ'a ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması kapsamında her türlü bilgi ve belge paylaşımında bulunarak çalışmalara katkıda bulunan hocalarım, Doç. Dr. Vural OYAN ve Doç. Dr. Yavuz ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında çalışmaları büyük ölçüde birlikte yürüttüğümüz ve her türlü destekte bulunan Jeoloji Yüksek Mühendisi Sayın Mesut BOR ve Kemal GEZİCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Yine bu çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Elif ÖZVAN, Ahmet EREZ ve Bilal CENK'e teşekkürlerimi sunarım. Son olarak hayatımın her alanında olduğu gibi bu tez çalışması sürecinde de yanımda olan babam Fuat ELGÜN ve annem Hadice ELGÜN'e diğer aile üyelerimize her türlü maddi ve manevi desteğinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

2019

Engin ELGÜN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Çalışma Alanlarının Konumları ve Tanımları.....	2
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
2.1. Konu ile İlgili Çalışmalar	7
2.2. İnceleme Alanları İle İlgili Çalışmalar	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal	19
3.2. Yöntem	19
3.2.1. Jeoloji ve stratigrafi	20
3.2.2. Petrografi	21
3.2.3. Yapısal jeoloji çalışmaları	21
3.2.4. Kaya kütle tanımlama.....	23
3.2.5. Karotlu sondaj çalışmaları	23
3.2.6. Örnekleme çalışmaları.....	25
3.2.7. Laboratuvar çalışmaları	26
3.2.7.1. Fiziksel deneyler	27
3.2.7.2. Mekanik deneyler	29
3.2.7.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	29
3.2.7.2.2. Doğrudan makaslama deneyi	31
3.2.8. Süreksizlik pürüzlülüğünün ölçülmesi	35
3.2.9. Tilt testi.....	36

	Sayfa
3.2.10. Eklem basınç dayanımı (Schmidt çekiç testi)	37
3.2.11. Değerlendirme ve büro çalışmaları	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Jeoloji ve Stratigrafi	41
4.1.1. Bitlis metamorfikleri (p-8-s)	43
4.1.2. Bakışık melanj ve olistostromu ($\omega\psi Mz-k2$)	43
4.1.3. Van formasyonu (ol2m1-18-sy)	44
4.1.4. Alüvyonlar (Q-21-k).....	45
4.1.5. Köprülü formasyonu (d3c1-3-s)	46
4.1.6. Belek formasyonu (c1-8-s)	48
4.1.7. Gomaniibrik formasyonu (p2-20-sk)	48
4.1.8. Cudi grubu (t1-7-s)	48
4.1.9. Uzungeçit formasyonu (t1-3-s).....	49
4.1.10. Ayrılmamış zabuk ve sedan formasyonu (t2k1-9-s)	50
4.1.10.1. Sedan formasyonu	50
4.1.10.2. Zabuk formasyonu	50
4.1.11. Yoncalı formasyonu (ta-8-s)	51
4.2. Çalışmada Kullanılan Kayaçların Petrografik Özellikleri	51
4.3. Yapısal Jeoloji	53
4.3.1. Tabakalar ve eklemler	53
4.4. Çalışma Alanlarının Kaya Kütle Değerlendirmesi (RMR)	54
4.5. İncelenen Birimlerin Fiziksel Özellikleri	57
4.6. İncelenen Birimlerin Mekanik Özellikleri	59
4.6.1. Süreksizlik düzlemlerinin yüzey dayanımı değerleri	59
4.6.2. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri	61
4.7. Tilt Testi ile Temel Sürtünme Açısı (ϕ_b) Değerinin Belirlenmesi	63
4.8. Barton-Choubey Yenilme Ölçütüne Göre İncelenen Şevlerdeki Kesme Dayanımının Değerlendirilmesi	64
4.9. Doğrudan Makaslama Deneyi Sonuçları	68
4.10. Düzlemsel Yenilmenin Belirlenmesi	70

	Sayfa
4.10.1. Kinematik analiz sonuçları	72
4.10.2. Kritik düzlemlerdeki limit denge analizleri	74
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZ GEÇMİŞ	93



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çalışma alanlarında yapılan sondaj çalışmalarına ait bilgiler	25
Çizelge 3.2. Laboratuvar ortamında, fiziksel ve mekanik deneyler kapsamında numunelere uygulanan deneyler, örnek türleri ve deney standartları	27
Çizelge 4.1. RMR sınıflama sistemine ait kaya sınıfı puanlaması	55
Çizelge 4.2. Eklem takımına dayalı RQD değerlerinin, incelen şevler için değerleri ...	55
Çizelge 4.3. Çalışma alanlarındaki kayaların kaya kütle sınıflama parametreleri, RMR puanları ve kaya sınıfı	60
Çizelge 4.4. KRBS çalışma alanındaki karot örneklerine ait fiziksel özellik değerleri .	58
Çizelge 4.5. ÇKRC çalışma alanındaki karot örneklerine ait fiziksel özellik değerleri .	58
Çizelge 4.6. Çalışma alanlarında ölçülen SHR değerleri ve bu değerlere göre bulunan UCS değerleri	60
Çizelge 4.7. Bozunma indeksine (W_c) göre eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997)	60
Çizelge 4.8. Deneye tabi tutulan silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri	61
Çizelge 4.9. Tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre kaya dayanım sınıflama niteliği (Deere ve Miller, 1966)	62
Çizelge 4.10. İncelenen örneklerden elde edilen ortalama tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin karşılaştırılması	62
Çizelge 4.11. Deneye tabi tutulan örneklerden elde edilen kuru ve doymuş haldeki tilt değerleri	63
Çizelge 4.12. Deneye tabi tutulan örneklerden elde edilen en düşük kayma açlarına bağlı, en düşük temel sürtünme açıları ve en düşük rezidüel sürtünme açıları	64
Çizelge 4.13. Bu çalışmada Barton-Choubey yenilme ölçütünde kullanılan ortalama değerler	65
Çizelge 4.14. Bu çalışmada Mohr-Coulomb yenilme zarfından elde edilen değerler	69
Çizelge 4.15. Kinematik analizde kullanılan değerler ve kinematik analiz sonucu	74

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 4.16. KRBSŞ ve ÇKRC alanlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen parametrelerin karşılaştırılması	74
Çizelge 4.17. Deterministik analizde kullanılan tüm parametrelerin özeti	75



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kurubaş Geçidindeki çalışma alanına ait yerbulduru haritası.	2
Şekil 1.2 Kurubaş mevkiisindeki inceleme alanından bir görüntü (bakış yönü kuzeydoğu).	3
Şekil 1.3 Hakkari-Çukurca yolu üzerindeki çalışma alanına ait yerbulduru haritası.	4
Şekil 1.4 İnceleme alanındaki Zap suyu ve Çukurca dağlarına ait bir görüntü (bakış yönü kuzey).	4
Şekil 1.5 İnceleme alanındaki Çukurca Tüneli girişinden bir görüntü (bakış yönü güney).	5
Şekil 2.1. Yüzey pürüzlülüğünün ve normal gerilmenin süreksizlik yüzeyinin içsel sürtünme açısına etkisi (Patton (1966) ve Wyllie (1992)' dan değiştirilerek).	7
Şekil 2.2. Barton (1973) tarafından önerilen tipik JRC değerlerini gösteren pürüzlülük profilleri.....	8
Şekil 2.3. ϕ_b 'yi tahmin etmek için önerilen teste ilişkin görüntüler Stimpson (1981) (görüntüler Alejano ve ark., 2012'den alınmıştır).	11
Şekil 2.4. ϕ_b değerini tahmin etmek için önerilen yöntemlere ait görüntüler (fotoğraflar Alejano ve ark., 2012'den alınmıştır).	15
Şekil 3.1. KRBSÇ çalışma alanında yer alan birime ait bir görüntü.	20
Şekil 3.2. ÇKRC çalışma alanında yer alan birime ait bir görüntü.	21
Şekil 3.3. Çalışma alanında yapılan eklem ve tabaka ölçümüne ait bir görüntü.	22
Şekil 3.4. KRBSÇ çalışma alanına ait bir görüntü (a), ÇKRC çalışma alanına ait bir görüntü (b).	24
Şekil 3.5. Karotların korunması ve taşınmasına ait bir görüntü.	24
Şekil 3.6. Makaslama deneyi için hazırlanan numuneler (a), fiziksel ve mekanik deneyler için hazırlanan silindirik numuneler (b), Tilt deneyi için hazırlanan numuneler (c).	26

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. Karotların alt ve üst yüzeylerinin düz hale getirilmesinde kullanılan yüksek hassasiyetli torna makinasına ait bir görüntü.	26
Şekil 3.8. KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarının fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar çalışmaları.	29
Şekil 3.9. KRBS ve ÇKRC alanlarından alınan karot örneklerine uygulanan tek eksenli basınç dayanımı testi.	30
Şekil 3.10. Taşınabilir doğrudan makaslama deney düzeneği (a), numunelerin alçı kalıplara yerleştirilmesi (b).	31
Şekil 3.11. Doğrudan kesme deney düzeneğine yerleştirilen numuneye ait görüntü.....	32
Şekil 3.12. Bir süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımının tanımı, süreksizlikte kesme deneyi (a), kesme yerdeğiştirilmesi ile kesme gerilmesi ilişkisi (b), pik.....	33
Şekil 3.13. KRBS çalışma alanındaki süreksizlik pürüzlülüğünün, Barton tip tel profilmetre ile ölçümüne ait bir görüntü.	35
Şekil 3.14. ÇKRC çalışma alanındaki süreksizlik pürüzlülüğünün, Barton tip tel profilmetre ile ölçümüne ait bir görüntü.	35
Şekil 3.15. Tilt sehпасı düzeneğine ve deneye ait bir görüntü.	37
Şekil 3.16. Schmidt çekici ile çalışma alanlarının taze ve ayrılmış yüzeylerinden dayanımın belirlenmesi. KRBS çalışma alanına ait ölçüm (a), ÇKRC çalışma alanına ait ölçüm (b).	38
Şekil 3.17. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller, 1966).	39
Şekil 4.1. KRBS çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (H. Mengi 1986). 41	
Şekil 4.2. Bölgenin genelleştirilmiş tektono-stratigrafik kolon kesiti (Koçyiğit, 2013'den değiştirilmiştir).	42
Şekil 4.3. KRBS çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Google Earth, ölçeksiz).	43
Şekil 4.4. ÇKRC çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (Türkiye Jeoloji Veritabanı, MTA Genel Müdürlüğü).	45
Şekil 4.5. ÇKRC çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Google Earth, ölçeksiz).	46

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. ÇKRC çalışma alanına ait stratigrafik kesit (MTA, 2002).....	47
Şekil 4.7. KRBSÇ çalışma alanındaki numune ile hazırlanan incekesitin çapraz nikoldeki görüntüsü.	52
Şekil 4.8. ÇKRC çalışma alanındaki numuneden alınan incekesitin çapraz nikoldeki görüntüsü.	52
Şekil 4.9. KRBSÇ çalışma alanına ait eklem ve tabaka ölçümlerine dayalı gül-kontur diyagramı.	54
Şekil 4.10. ÇKRC çalışma alanına ait eklem ve tabaka ölçümlerine dayalı gül-kontur diyagramı.	54
Şekil 4.11. KRBSÇ ve ÇKRC bölgelerinde incelenen şevlere ait bir görüntü.	55
Şekil 4.12. KRBSÇ ve ÇKRC çalışma alanlarına ait silindirik örnekler üzerinde uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait görüntüler. .	61
Şekil 4.13. KRBSÇ çalışma alanındaki süreksizlere ait normal – makaslama gerilme eğrisi.	66
Şekil 4.14. ÇKRC çalışma alanındaki süreksizlere ait değişen normal – makaslama gerilme eğrisi.	67
Şekil 4.15. KRBSÇ ve ÇKRC süreksizlik düzlemlerindeki yenilme eğrileri.	68
Şekil 4.16. KRBSÇ ve ÇKRC şevlerinden makaslama deneyi için alınan numunelere ait bir görüntü.	69
Şekil 4.17. KRBSÇ kaya kütesindeki süreksizlik düzleminden elde edilen doğrudan makaslama deney sonucu	69
Şekil 4.18. ÇKRC kaya kütesindeki süreksizlik düzleminden elde edilen doğrudan makaslama deney sonucu.	70
Şekil 4.19. Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bunların stereonette gösterimi (a), ÇKRC çalışma alanında gözlenen düzlemsel kayma yenilmesi (b).	71
Şekil 4.20. Düzlemsel kaymanın oluşabilme koşuluna ait duraysızlık türleri (Hoek ve Bray, 1977).	72
Şekil 4.21. KRBSÇ şevinde düzlemsel kayma için yapılan kinematik analiz sonucu.	73

Şekil	Sayfa
Şekil 4.22. ÇKRC şevinde düzlemsel kayma için yapılan kinematik analiz sonucu.	73
Şekil 4.23. Türkiye güncel deprem tehlike haritası (AFAD, 2018).	76
Şekil 4.24. KRBSŞ inceleme alanı için PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD, 2018).	76
Şekil 4.25. ÇKRC inceleme alanı için PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD,2018).....	77
Şekil 4.26. Makaslama deneyinden elde edilen parametreler ile KRBSŞ’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları. 78	78
Şekil 4.27. Barton-Choubey ölçütünden elde edilen parametreler ile KRBSŞ’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.	79
Şekil 4.28. Makaslama deneyinden elde edilen parametreler ile ÇKRC’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları ...	80
Şekil 4.29. Barton-Choubey ölçütünden elde edilen parametreler ile ÇKRC’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.	81
Şekil 4.30. KRBSŞ ve ÇKRC numunelerinin makaslama deneyi sonrasında ait bir görüntü	82
Şekil 4.31. Çukurca Tüneli giriş kısmında ÇKRC düzlemlerinde oluşan düzlemsel kaymalara ait görüntüler.	83
Şekil 4.32. Çukurca Tüneli giriş kısmında ÇKRC düzlemlerinde oluşan düzlemsel kaymalar için alınan önleme ait bir görüntü.	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ϕ_p	Pik sürtünme açısı
ϕ_r	Rezidüel sürtünme açısı
ϕ_b	Temel sürtünme açısı
i	Yüzey pürüzlülüğü açısı
σ	Normal gerilme
σ_n	Normal gerilmeler
σ_1	En büyük asal gerilme
σ_2	Orta dereceli asal gerilme
σ_3	En küçük asal gerilme
τ	Kesme (makaslama) dayanımı
β	Kayma açısı
c	Kohezyon
R	Schmidt taze yüzey sıçrama değeri
r	Schmidt ayrışmış yüzey sıçrama değeri
γ	Birim hacim ağırlık
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
γ_d	Doğal birim hacim ağırlık
F	Örnek üzerine uygulanan yük
A	Alan
δ_s	Kesme yer değiştirmesi
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
sn	Saniye

Simgeler**Açıklama**

g	Gram
V_p	Boyuna dalga hızı
V_s	Kayma dalga hızı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
V	Hacim
W	Ağırlık
KSE	Kütlece su emme
n	Porozite
Ψ_f	Şevin eğim açısı
Ψ_p	Süreksizlik eğim açısı
JRC_n	Blok kenar uzunluğu
π	Pi sayısı
a	Elipsin uzun eksen
b	Elipsin kısa eksen
J_v	Hacimsel eklem sayısı
P	Boyuna dalga
S	Kayma dalgası
R_f	Taze yüzey Schmidt sıçrama değeri
R_w	Bozunmuş yüzey Schmidt sıçrama değeri
W_c	Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması

Kısaltmalar**Açıklama**

KRBŞ	Kurubaş bölgesi çalışma alanı
ÇKRC	Çukurca bölgesi çalışma alanı
MTA	Maden Tetkik Arama
JRC	Eklem pürüzlülük katsayısı
JCS	Eklem duvarı basınç dayanımı
RQD	Kaya kalite göstergesi

Kısaltmalar

Açıklama

RMR	Kaya kütle puanlaması
ISRM	Uluslararası Kaya Mekanîği Derneği
ASTM	Amerikan Deney ve Malzemeler Derneği
kN	Kilonewton
UCS	Tek eksenli sıkışma dayanımı
MPa	Megapaskal
kPa	Kilopaskal
KBHA	Kuru birim hacim ağırlık
DBHA	Doğal birim hacim ağırlık
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
KSE	Kütlece su emme
TS	Türk Standartları
SHR	Schmidt çekici geri sıçrama değeri
NX	Karot çapı
sin	Sinüs
tan	Tanjant
log	Logaritma
kHz	Kilohertz



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Tünel, baraj ve kaya şev tasarımlarında süreksizlik düzlemleri boyunca kesme dayanımının kaya şev stabilitesi üzerine etkisi büyüktür. Bu nedenle süreksizlik düzlemlerinin doğru tanımlanması önem arz etmektedir. Doğal süreksizlik yüzeyleri genellikle düzensizlikler gösterirler. Bu özelliklerin kesme dayanımı üzerindeki etkisi farklı yaklaşımlarla belirlenebilmektedir.

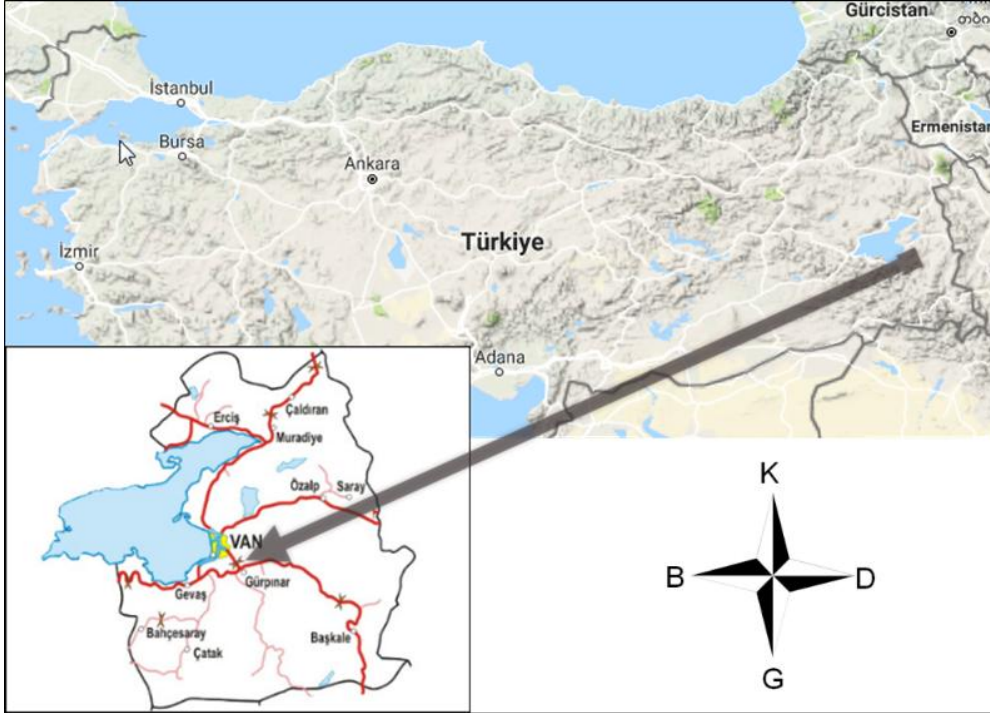
Süreksizlik düzlemleri üzerindeki kesme dayanımı, mühendislik tasarımlarının doğru bir şekilde oluşturulmasında önemli bir parametredir. Kesme dayanımını kontrol eden en önemli parametrelerden biri ise pürüzlülüktür. Pürüzlü yüzeylerde kesme dayanımı artarken, ayrışma ile bu dayanım azalmaktadır. Bazı kayalarda ayrışmanın artmasıyla pürüzlülük de artabilmektedir (Özvan ve ark., 2014). Yüzey düzensizlikleri, kaya şevinin duyarlılığını önemli ölçüde etkileyebildiklerinden dolayı, tasarım aşamasında göz ardı edilmemelidir.

Kaya malzemesinin tanımı ile birlikte kaya kütlelerinin özelliklerinin de mühendislik tasarımlarda doğru bir şekilde tanımlanması gerektiği birçok çalışmada açıklanmıştır (Hoek ve Bray, 1977-1981; Hoek 2007). Bu amaçla bu tez çalışmasında, düzlemsel yenilme gerçekleşmiş iki farklı kaya kütlesi içerisinde bulunan süreksizlik düzlemleri ve kaya kütle özellikleri tanımlanmış ve süreksizlik düzlemlerden alınan örnekler üzerinde makaslama deneyi yapılmıştır. Çalışmada bileşimsel olarak birbirine yakın olan kalkarenit ve şeyl birimlerinin olduğu şevler seçilmiştir. Bu şevlerden alınan örnekler üzerinde makaslama deneyi ve Barton görgül yenilme ölçütü ile elde edilen lineer olmayan yenilme eğrileri karşılaştırılmış ve elde edilen veriler ile düzlemsel kayma analizi yapılmıştır. Düzlemsel kayma analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayılarının sonuçları üzerinden, malzemenin makaslama dayanımları üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

1.2. Çalışma Alanlarının Konumları ve Tanıtları

İnceleme alanlarından birincisi, Van ilini Gürpınar ilçesine bağlayan ve bu güzergah ile de Hakkari'ye ulaşım sağlayan Kurubaş Geçidi'nde (2225m) yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı, Van ilinin yaklaşık 15 km güneyinde yer almakta olup, batı tarafında Van Gölü, doğusunda Van-Hakkari yolu, güneyinde Gürpınar ilçesi ve kuzeyinde ise Van ili bulunmaktadır.

Çalışma alanı, 1/25000 ölçekli VAN-L50_{b3}, paftası içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının ulaşım açısından herhangi bir problemi bulunmamaktadır. Arazinin her yerine Kurubaş Geçidine bağlı stabilize yollar ile ulaşım mümkündür.



Şekil 1.1. Kurubaş Geçidindeki çalışma alanına ait yerbulduru haritası.

Bölge iklim koşulları değerlendirildiğinde, yaz ve ilkbahar aylarında ılıman olup, arazi çalışmalarının bu dönemlerde yapılması uygundur. Bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda, arazi çalışmalarına ilkbahar ve yaz dönemlerinde başlanmıştır. Bölgenin genel iklimi, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve çoğunlukla kar yağışlıdır.

Çalışma alanı, yer yer geniş düzlükler, yüksek tepeler, sırtlar ve vadileri

bünyesinde bulundurur (Şekil 1.2). Eğim, kuru dere yataklarının oluşturduğu vadi diplerinde yüksektir. Çalışma alanında çok sayıda kuru dere özelliğinde vadi ve akarsu yatağı bulunmaktadır. Çalışma alanının güney kesiminde ise Van şehrinin en büyük akarsularından olan Engil Çayı bulunmaktadır.

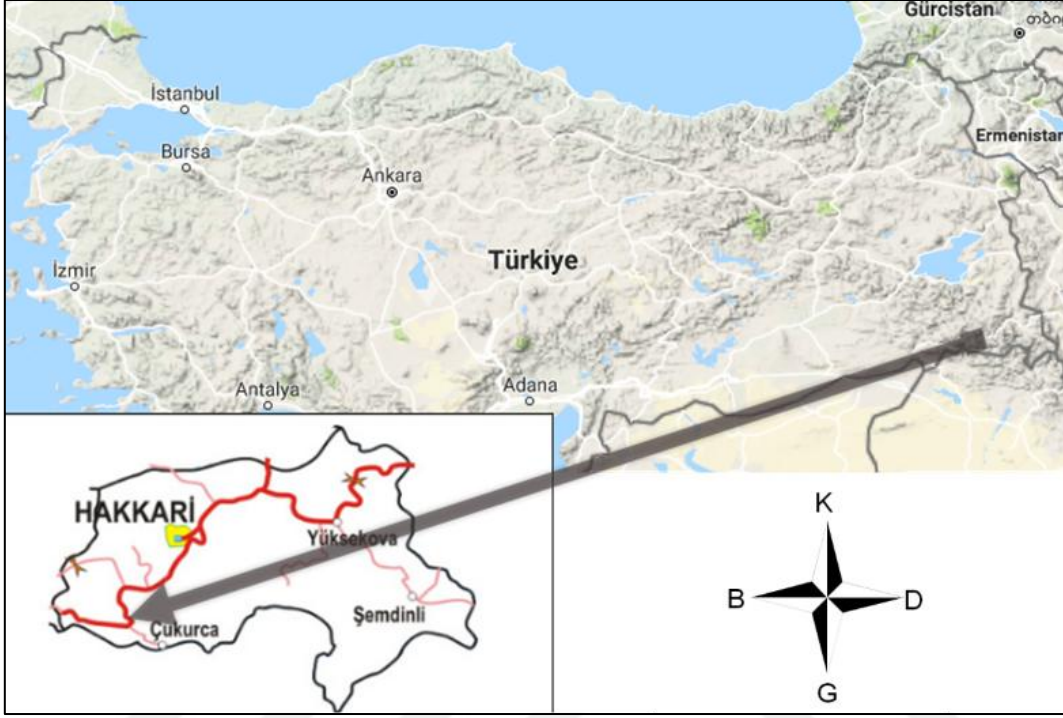


Şekil 1.2. Kurubaş mevkiindeki inceleme alanından bir görüntü (bakış yönü kuzeydoğu).

İkinci çalışma alanı, Hakkari ilini Çukurca ilçesine bağlayan aynı zamanda Şırnak iline de geçiş sağlayan güzergah üzerinde olup, Zap Suyuna paralel olarak ilerlemektedir (Şekil 1.3). Zap Suyunun araziye aşındırması nedeniyle engebeli bir coğrafyaya sahip olan çalışma alanı, yüksek dağların arasında ilerlemektedir (Şekil 1.4). Çalışma alanı, Hakkari iline yaklaşık 50 km, Çukurca ilçesine ise yaklaşık olarak 20 km uzaklıktadır. Çalışma alanının devamındaki tünel, mevcut Hakkari-Çukurca yolunun bu kesimdeki kısmı ileriki yıllarda baraj suları altında kalacağından dolayı inşa edilmiş ve güzergah bu kesimde yamaca alınmıştır. Çalışma alanının güneyinde Irak sınırı, batısında Şırnak ili ve doğusunda ise Çukurca ilçesi bulunmaktadır.

Çalışılan kesim, 1/25000 ölçekli HAKKARİ-N51_{a4}, paftası içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının ulaşım açısından herhangi bir problemi bulunmamaktadır.

Araziye, mevcut güzergah ve yapımı devam eden devlet yolu güzergahı ile ulaşım sağlanabilmektedir.



Şekil 1.3. Hakkari-Çukurca yolu üzerindeki çalışma alanına ait yerbulduru haritası.



Şekil 1.4. İnceleme alanındaki Zap suyu ve Çukurca dağlarına ait bir görüntü (bakış yönü kuzey).

İnceleme alanında, karasal iklim etkili olup, kış aylarında aşırı kar almasına rağmen bölge ılıman bir iklime sahiptir. Bölgenin genel iklimi, yazları aşırı sıcak ve

kurak, kışları ise ılıman ve çoğunlukla kar yağışlıdır. Bu kesimde arazi çalışmaları ilkbahar ve yaz aylarında yapılmıştır.

Çalışma alanının topoğrafyası, oldukça engebelidir. Yüksek dağları, tepeleri, sırtları ve vadileri ile sarp kayalıklarla çevrilidir (Şekil 1.5). Kış aylarında çığ riski oranı yüksek olan bir bölge olmasının yanında yüksek eğimli çok sayıda vadiyi de bünyesinde bulundurmaktadır.



Şekil 1.5. İnceleme alanındaki Çukurca Tüneli girişinden bir görüntü (bakış yönü güney).

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

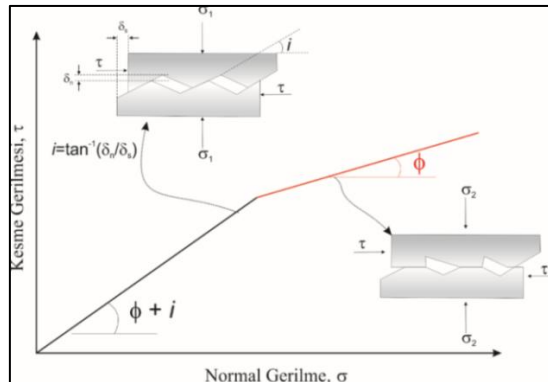
Barton görgül yenilme ölçütüne ve çalışılan alanlara ait yapılan bazı literatür araştırmalarına bu başlık altında yer verilmiştir.

2.1. Konu ile İlgili Çalışmalar

(Horn ve Deere, 1962), kayayı oluşturan minerallerin, sürtünme katsayısında etkili olduklarını, ıslak koşullar altında kalsit, kuvars ve feldspat gibi minerallerin sürtünme katsayılarının arttığını, ayrıca mika mineralleri (muskovit, biyotit) ve talk için ise aynı koşullar altında sürtünme katsayısının azaldığını belirtilmişlerdir.

Patton (1966), kesme dayanımı üzerinde, doğal bir eklem yüzeyindeki pürüzlülüklerin önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiş ve bunu “testere dişi” olarak nitelendirdiği numuneler üzerinde yaptığı kesme deneyleri ile de göstermiştir. Kayma hareketinin bu örneklerde, yukarı doğru hareket eden yüzeyler sonucunda ortaya çıktığını belirtmiştir. Bozunmanın ihmal edildiği durumlarda ve düşük normal gerilme aralığı için, testere dişi gibi süreksizliklerin kesme dayanımını incelediği çalışmasında ise “Eş. 2.1”deki denklemi önermiştir. Burada ϕ_b : temel sürtünme açısını (derece) ve i : testere dişlerinin açısını (derece) ifade etmektedir (Şekil 2.1).

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i) \quad (2.1)$$



Şekil 2.1. Yüzey pürüzlülüğünün ve normal gerilmenin süreksizlik yüzeyinin içsel sürtünme açısına etkisi (Patton (1966) ve Wyllie (1992)'dan değiştirilerek).

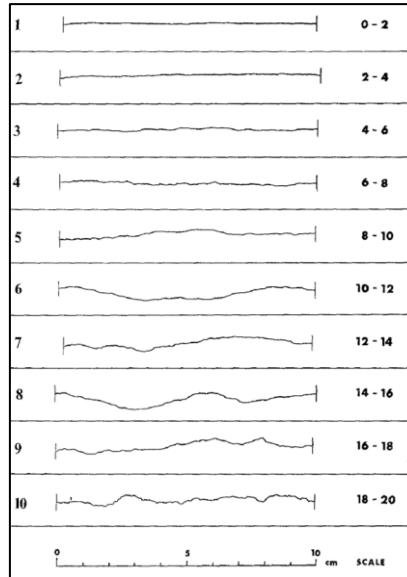
Coulson (1971), kayaçların düzlemsel yüzeylerine ait sürtünme açısının, yüzey cilalaması ile değiştiğini göstermiştir.

(Fecker ve Rengers, 1971), pürüzlülüğün önemini ortaya koyarak büyük ölçekteki süreksizliklerin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için, bir disk-klinometre ve jeolojik pusula kullanmışlardır.

Barton (1973), kaya kütlelerindeki süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğünü, ilk olarak deneye dayalı ve sayısal verilerle ortaya koymuştur. Deneyler neticesinde, 10 cm'lik bir profil kullanmış ve bu profil boyunca düz yüzeyden çok pürüzlüye doğru 0 – 20 aralığında değişen değerlere denk gelen pürüzlü yüzeyleri tanımlamıştır. Ayrıca, ilk kez JRC (eklem pürüzlülüğü katsayısı) ve JCS (eklem basınç dayanımı) terimlerini kullanılmıştır.

Barton (1973; 1976), Patton'un yaklaşımının basit olduğunu ve normal stresi artırarak kayma mukavemetindeki değişimlerin ani olmayıp kademeli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca doğal kaya eklemlerinin davranışlarını incelemiş ve “Eş. 2.1”in “Eş. 2.2”deki denklemde olduğu gibi yeniden yazılabileceğini öne sürmüştür.

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Barton (1973) tarafından önerilen tipik JRC değerlerini gösteren pürüzlülük profilleri.

Barton (1976), Barton'un bir önceki çalışması deneysel olarak desteklenmiş olup, bu deneyler arasındaki sonuçlar birleştirilip yeniden yorumlanmıştır. Bu çalışmada, normal gerilmenin tek eksenli basınç dayanımına eşit olduğu durumda kabarmaların (dilatasyonların) tamamen önleneyeceğini, düşük normal gerilmelerde ise kabarmaların olacağını belirlemiştir. Bu çalışmalar kaya kütlelerinde yapraklanmanın olmadığı eklemlerde belirlenmiştir.

(Engelder ve Scholtz, 1976), sürtünme mukavemetinin çoğunun, yüzey tekstürlü bileşenlerin sürtünmesi ve deformasyonundan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

(Barton ve Choubey, 1977), literatürdeki eklem dayanımı verilerinin analizinden, kaya eklemleri (temel sürtünme açısını ϕ_b kullanarak) için ilk lineer olmayan kuvvet ölçütünü geliştirerek, değişken ve bozunmaya uğramış kaya dolgularının, doğrudan kayma testi sonuçlarına dayalı olarak "Eş. 2.3"deki bağıntıyı önermişlerdir. Bu çalışma ile hem kaya eklemlerini hem de kaya kesme dayanım verilerini elde etmek ve tahmin etmek üzere bir sürtünme kanununu açıklamaktadır. Denklem; 1) eklem pürüzlülük katsayısı JRC, 2) eklem duvarı basınç dayanımı JCS, 3) artık (rezidüel) sürtünme açısı ϕ_r olmak üzere üç indeks parametresine dayanır.

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \quad (2.3)$$

Barton ve Choubey ϕ_r 'nin tahmini için ise "Eş. 2.4"ü önermişlerdir.

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \frac{r}{R} \quad (2.4)$$

Burada; r : ayrılmış yüzeyin Schmidt geri tepme değeri, R : ayrılmamış (taze) yüzeyin Schmidt geri tepme değerini ifade etmektedir. "Eş. 2.3" ve "Eş. 2.4"deki denklemler, kaya eklemi dayanımı ve deforme olabilirlik açısından, Barton-Bandis kriterinin bir parçası haline gelmiştir (Barton ve Bandis, 1990).

Hencher (1977), testere kesim yüzeylerinden elde edilmiş olan temel sürtünme açısını, cilalı yüzeylerle karşılaştırıldığı zaman, aralarında daima büyük bir farkın olduğunu ve testere kesim yüzeylerinin her zaman daha büyük temel sürtünme açısına sahip olduğunu belirtmiştir.

(Hoek ve Bray, 1977), kaya şevlerinin stabilite analizlerinde, şevin açıldığı kaya kütlelerinin geometrisinden sonraki en önemli faktörün, kayma yüzeyinin makaslama dayanımı olduğunu belirtmiştir. Bu parametrelerde olacak küçük değişikliklerin, güvenli şev yüksekliği ve şev açısı üzerinde önemli değişikliklere neden olacağını vurgulamışlardır.

(Ketin ve Canitez, 1979), farklı kaya türlerini barındıran kaya kütleleri içinde, kütleyi ayıran birçok süreksizlik düzleminin olduğunu belirtmişlerdir. Bu düzlemlerin, kayayı değişik uzunluklarda bloklara ayırdığı ve bu süreksizlik düzlemlerinin, kesme gerilmesi, bükülme, çekme gerilme, deprem, kuruma, soğuma ve sedimentasyon sonucu oluşan yük etkileriyle meydana gelebileceğini vurgulamışlardır.

(Hoek ve Brown, 1980), günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan “*Hoek-Brown Failure Criterion*” adlı çalışmalarında, kaya kütlelerindeki yenilme mekanizmalarını sınıflandırmış ve yenilme kuvvetleri için hesap yöntemleri önermişlerdir.

(Hoek ve Bray, 1981), Patton 1966 modelinde olduğu gibi, normal gerilme artarken pürüzlerin kırılıp parçalanacağını, dolayısıyla pürüzlü yüzeyin sürekli aynı kalmayacağını belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak, kesme yerdeğiştirmesinin Coulomb ölçütündeki gibi kohezyona bağlı olduğunu ve pürüzlülük açısının sıfırlandığını belirtmişlerdir.

Stimpson (1981), ϕ_b 'yi elde etmek için, üç silindirik numune (UCS testi için tavsiye edildiği şekilde hazırlanmış) kullanmıştır (Şekil 2.3). Bu yöntem ile, bir numune diğer iki numune üzerine paralel olacak şekilde yerleştirilerek kayma gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonucunda kayma açısı (β) belirlenerek “Eş. 2.5”deki denklem önerilmiştir.

$$\tan\phi_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \tan\beta \quad (2.5)$$



Şekil 2.3. ϕ_b 'yi tahmin etmek için önerilen teste ilişkin görüntüler Stimpson (1981) (görüntüler Alejano ve ark., 2012'den alınmıştır).

(Barton ve Bandis, 1982), JRC için “Eş. 2.6”daki denklemde tanımlanan ölçek düzeltmelerini önermişlerdir.

$$JRC_n = JRC_o \left(\frac{L_n}{L_o} \right)^{-0.02 JRC_o} \quad (2.6)$$

Burada; JRC_o ve L_o (uzunluk) 100 mm ölçekli laboratuvar örneklerine, JRC_n ve L_n ise yerinde blok boyutlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca, büyük bir yüzeyde bulunabilecek daha fazla zayıflık olasılığı sebebiyle, ortalama eklem duvarının basınç dayanımının (JCS) artan ölçek ile azalmasının muhtemel olduğu belirtilmiştir. Barton ve Bandis (1982), JCS için ise “Eş. 2.7”deki denklem ile tanımlanan ölçek düzeltmelerini önermişlerdir.

$$JCS_n = JCS_o \left(\frac{L_n}{L_o} \right)^{-0.03 JRC_o} \quad (2.7)$$

Burada; JRC_o ve L_o (uzunluk) 100 mm ölçekli laboratuvar örneklerine, JRC_n ve L_n ise yerinde blok boyutlarına karşılık gelmektedir.

(Cruden ve Hu, 1988), portatif bir eğim masası yardımı ile ϕ_b 'yi hesaplamak için bazı girişimlerde bulunmuşlardır. Kanada’da, Calgary kentinin batısında bulunan Kananaskis dolaylarından seçilen dolomitik karbonat kayaçlarının tilt testi ile temel sürtünme açısını elde eden bu araştırmacılar, temel sürtünme açısının mineraloji ve tane boyutları yönünden kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca artmış dolomit içeriğinin

saf karbonat kayaları için temel sürtünme açısını azalttığını, büyük tanecik içeren boyutlarının ise temel sürtünme açısını artırdığını gözlemlemişlerdir.

Bienawski (1989), sağlam kayada kaya kalitesi tanımı (RQD), tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik durumu, süreksizlik yönelimi, süreksizlik aralığı ve yer altı suyu durumu olmak üzere başlıca 6 temel parametre yardımıyla RMR kaya kütle sınıflama sistemini geliştirmiştir.

Goodman (1989), kinematik analizin genellikle stereografikprojeksiyon yaklaşımı veya analitik yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilebileceğini öne sürmüştür.

(Hencher ve Richards, (1989); Hencher, (1995), testere ile kesilmiş yüzeylerin veya diğer yapay olarak düzeltilmiş yüzeylerin mukavemetinin, genellikle dilatasyona neden olan numuneye özgü pürüzlülük için düzeltmelerin yapıldığı doğal eklemlerdeki doğrudan kesme deneylerinden ölçülen temel sürtünme açısından önemli ölçüde daha düşük olduğuna dikkat edilmelidir.

Aydan ve ark. (1995), kesme yüzeyi üzerinde bulunan efektif normal gerilmenin belli olmadığı durumlarda belirlenen temel sürtünme açılarını, kuru ve ıslak koşullar altında karşılaştırmış, ıslak şartlardaki ϕ_b değerlerinin, kuru şartlardaki ϕ_b değerlerinden daha küçük olduğunu belirtmişlerdir.

Kulatilake ve ark. (1995), laboratuvar kayma testlerinde, 1 MPa'nın altındaki normal bir gerilmenin, düşük normal gerilme olarak düşünülebileceğini belirtmişlerdir.

Aydan (1998), su altında dört kaya tipi numune üzerinde eğim testleri gerçekleştirmiş, batık şartlar altında belirlediği temel sürtünme açısının, su yüksekliğinden etkilenmediğini ve en büyük değişimin yalnızca %2-3 civarı olduğunu gözlemlemiştir.

Morrow ve ark. (2000), doygunluğun derecesine bağlı, kil mineralleri, kalsit, klorit, muskovit, talk ve lizardit gibi bazı mineralleri içeren kayaların temel sürtünme açılarında, farklı derecelerde (%5 ile %70 arasında) azalmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir.

(Sönmez ve Ulusay, 2002), tarafından yayınlanmış olan "Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri" adlı kitapta, kaya kütlelerinin genel sınıflama yöntemlerine değinmişler ve kaya kütleleri ile süreksizliklere dayalı bütün temel kavramları açıklamışlardır.

Hack ve ark. (2003), pürüzlülüğün, bir profile veya bir yüzeye göre

tanımlanabileceğini ifade etmişler ve süreksizlik profilinin, bir referans düzlemine göre süreksizlik yüzeyinin düzensizliği tarafından belirlenebileceğinden bahsetmişlerdir.

(Moore ve Lockner, 2004), kayaç içerisinde bulunan kil minerallerinin yüksek oranda bulunmasının, genel olarak ıslak şartlar altında sürtünme açısının azalmasına neden olduğunu, ayrıca kayaç içerisinde bulunan kuvarsın ise kuru, ıslak ya da doymun durumlarda, kayacın temel sürtünme açısı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.

(Wyllie ve Mah, 2004), Hoek ve Bray (2004) tarafından yayınlanmış “Rock Slope Stability” isimli kitabın devamı niteliğindeki “Rock Slope Engineering: Civil and Mining” isimli kitapta, şev duraylılık analizlerinin yer aldığı tüm temel tanımlamalar, yöntemler ve temel kavramlardan söz edilmiştir.

Schmitz ve ark. (2006), Soumange tüneline bulunan aşırı sökümlerde yaptıkları çalışmalarda, bu sökümlerin kaya kütle oranı (RMR) gibi değerlerle bağlantılı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Hoek (2007), bir kaya kütlelerinin kayma direncini ve kaya kütlelerindeki kazıların istikrarını belirlerken, süreksizlik pürüzlülüğünün önemine dikkat çekmiştir.

John (2007), süreksizliklerin tüm kaya kütlelerinde meydana geldiğini, kütlelerin genel davranışını büyük ölçüde veya daha az ölçüde belirleyecek önceden var olan zayıflık çizgilerini temsil ettiğini belirtmiştir.

Harrison (2008), Ge’otechnique'deki 60 yıllık makalelerini gözden geçirirken şöyle yazmıştır: “Ne yazık ki, bu değerli katkılar, daha sonra tilt testlerinin geliştirilmesinde kaya mekaniği topluluğu tarafından göz ardı edilmiş gibi görünmektedir”. Ayrıca, kayma hareketinin çok büyük değerlere kadar artmaya devam etmesi nedeniyle sürtünme açısının düşebileceği prensibi muhtemelen hatalı olarak jeoteknik mühendislerinin üstlendiği analizlerin çoğunda dikkate alınmamaktadır.

Kveldsvik ve ark. (2008), Barton-Bandis kesme kuvveti kriteri için giriş parametrelerini temel alan ana veri kümesi ile bir veri seti elde etmiş, veri kümesinin değerlendirilmesi için 100.000 m³’lük kaya kaymasının geri hesaplamalarını yapmışlardır. Sonuç olarak limit denge analizi, eklem pürüzlülüğü katsayısının (JRC), kaymanın hesaplanan güvenlik faktörü üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu gösterdiği gerçeğine ulaşmışlardır.

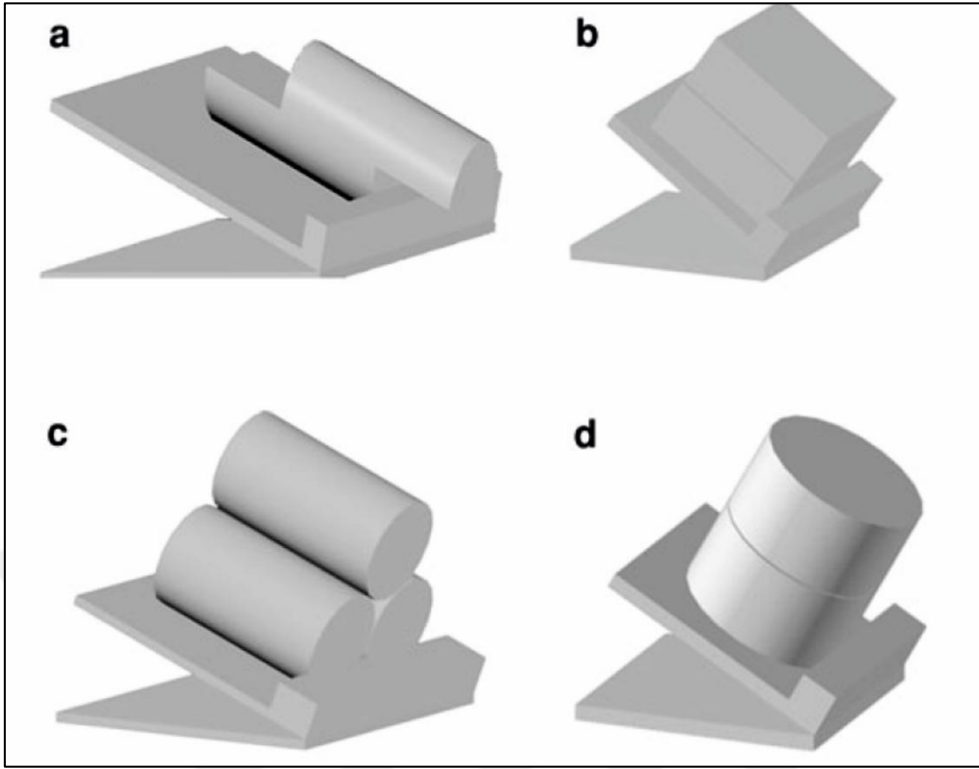
USBR 6258 (2009), alt ve üst tabladan oluşan bir düzeneğe, düzeneğin, su

kabarcığı seviyesi ölçeri kullanılarak dengelendikten sonra, üst tablanın açısının yatay yöne 0° olarak ayarlanması gerektiğini ve örneği üst tabla üzerine yerleştirdikten sonra, dişli milin krankını $2.5^\circ / \text{dak}$ hızında yavaşça döndürerek örneğin, süreksizlik düzlemi boyunca kayma meydana geldiği açısını bulmaya yarayan bir yöntem olduğundan bahsetmiş, testin her numune için birkaç kez tekrarlanması gerektiğini ve bunların ortalamasının alınması gerektiğinden söz etmiştir.

Zandarin (2010), yapay olarak hazırlanmış olan kıltaşının, farklı pürüz profillerine sahip ek yerlerindeki emme etkisini araştırmış, buhar denge tekniği yöntemiyle numuneler üzerinde bir ıslatma döngüsü kullanmıştır. Bununla birlikte, emme kontrolü ile direkt kesme testleri gerçekleştirmiş ve eklemlerin kesilme direncinin ise emme artışıyla birlikte arttığını gözlemlemiştir.

Alejano ve ark. (2012), tilt testi için, Stimpson'ın metodundaki temel sürtünme açısı eşitliğinde bir hatanın olduğunu rapor etmişler ve tilt deneylerinin güvenilir temel sürtünme açısı elde etmek amacıyla ana doğru üzerinde yapılmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, literatürde önerilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, buldukları değerlere göre ϕ_b değerinin, literatürde abartılı olduğunu ve temel sürtünme açısına ait önemli ölçüde daha düşük (Stimpson'ın test sonuçlarından 10 derece daha düşük) değerlerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Stimpson'ın metodunda ϕ_b değerinin abartılmış olduğunu göstermiş ve "Eş. 2.8"i önermişlerdir. Aynı zamanda bu araştırmacılar, eğim testinde şekilsiz durumdaki küçük numuneleri ve boyuna kesilen silindirik karot numunelerini kullanmaktan da kaçınılması gerektiğini önermişlerdir (Şekil 2.4a). Bunun yanı sıra, kaya levhaların en az 50 cm^2 bir yüzey alanında kullanılması gerektiğini önermişlerdir. Ayrıca, çok sayıda levha numuneleri üzerinde yapılan eğim testlerine dayanarak, tilt testinde üç tekrarın yeterli olduğunu da önermişlerdir. Ancak, elde edilen sonuçlardan biri ve orta değer arasındaki en büyük sapmanın 3° 'den daha büyük olması durumunda ise dördüncü bir takım tekrarın yapılması önerisinde bulunmuşlardır.

$$\tan\phi_b = \frac{\sqrt{3}}{2} \tan\beta \quad (2.8)$$



Şekil 2.4. ϕ_b değerini tahmin etmek için önerilen yöntemlere ait görüntüler (fotoğraflar Alejano ve ark., 2012'den alınmıştır).

Hencher (2012b), her bir aşamada kayan açı basit bir şekilde yüzeydeki farklı yüzey koşullarını, aşınmayı, herhangi bir kırıntının varlığını ve yapısını yansıtır.

Jiang ve ark. (2013), bir süreksizlik takımı, bazı pratik durumlarda çok çeşitli yönelimleri kapsar ve bu nedenle, her bir süreksizlik setinin sadece temsili yönelimini (tipik olarak ortalama değer) kullanan kinematik analiz, kaya yamaçlarının stabilitesinin fazla veya daha az değerlerle tahmin edilmesine yol açabilir.

Dinçer (2014), “Tatların (Nevşehir) Yeraltı Şehrini ve Çevresini Etkileyen Kaya Düşmeleri” isimli projesinde; çalışma sahasındaki kaya kütle duraysızlıklarında, süreksizliğin büyük rol oynadığı vurgulanmıştır. İnceleme alanında bulunan tuf ve bazalt üzerindeki çalışmada, kaya kütle duraysızlıklarının meydana gelmesinde önemli rolü olan süreksizlik düzlemlerinin kaya dayanımları değerlendirilmiş ve yapılan tilt deney sonuçlarında temel sürtünme açısını, bazalt için; 27° , tuf için ise 35° olarak tespit etmiştir. Farklı mühendislik jeolojisi ve yapısal özelliklere göre tanımlanan şevlerin büyük bir kesiminde, kinematik yönden farklı kaya kütle duraysızlıklarını oluşturabilecek süreksizlik sistemlerinin var olduğunu ve duraysız blokların ağırlıklı

olarak bazaltlardan meydana geldiğini ifade etmiştir.

Gonza'lez ve ark. (2014), Alejano ve arkadaşlarının önerdiği boyutları destekleyen çalışmalar yapmışlar ve ϕ_b değerinin hızlı, aynı zamanda yaklaşık bir değerle belirlenebilmesi için yalnızca karot tabanlı yöntemlerin kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır (Şekil 2.4d). Benzer ölçülerdeki testere ile kesilmiş numuneler üzerinde yapılan ilk ardışık beş eğim testine ait ortalama değer, Barton ölçütünde belirtilen temel sürtünme açısı gibi kullanılabileceğini de önerilmiştir. Ancak, ilk olarak Hencher (1976, 2012), daha sonra Gonza'lez ve ark. (2014) ve Pe'rez-Rey ve ark. (2015) testere ile kesilmiş ve kaya kaydırıcıları ile tekrarlanan eğim testinin temel sürtünme açısını etkilediğini ve bu yüzden tilt testleri neticesinde elde edilen kayma açısı üzerindeki aşınma etkisinin de göz ardı edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Pérez-Rey ve ark. (2015), temel sürtünme açısını hesaplamak için, bazı kesme numune çiftlerinde birkaç metreye (yaklaşık 5 m) kadar bir dizi eğim testi gerçekleştirmiş ve geçici bir yaklaşım önermişlerdir.

(Hencher ve Richards, 2015), Yaklaşık 70 m kayaya eşdeğer olan 2 MPa'ya kadar normal gerilme altında örneklerde (boyut ≤ 100 mm x 100 mm) laboratuvar kesme testlerinin yapılabileceğini belirtmişlerdir.

(Tang ve Wong, 2016), doğal bir kaya eklemine temas yüzeylerinin, farklı pürüzlülük özelliklerine sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bunun nedenini, doğal ortamdaki kaya eklemlerinin çeşitli akışkanların hareketlerinden, hava şartlarının bozulması ve ardından temas düzlemlerindeki erozyon olarak açıklamışlardır. Bazen de, patlatmanın, kazının veya depremin neden olduğu titremelere bağlı olabileceğinden bahsetmişlerdir.

(Ulusay ve Karakul, 2016), laboratuvar ortamında farklı kaya türleri üzerinde yaptıkları tilt testiyle, önceki çalışmalara katkıda bulunmayı hedeflemişler ve geniş yelpazedeki kaya türleri üzerinde deneysel bir program kullanılarak tilt testleri yapılmışlardır. Suyun temel sürtünme açısına etkisini belirlemek amacıyla, kuru, ıslak ve batık haldeki koşullardaki örnekler deneye tabi tutulmuştur. Temel sürtünme açısının, yapılan tilt testinde su seviyesinden etkilenmediğini ve aynı zamanda sınırlı sayıdaki kayaç türlerine dayanan daha önce yapılan bir çalışmanın sonuçlarını doğruladığını da göstermişlerdir. Ayrıca feldspat haricindeki minerallerin, ıslaklığa bağlı temel sürtünme açısının değişimi üzerinde artan veya azalan yönde herhangi bir

belirgin etkisinin olmadığını belirleyerek, temel sürtünme açısındaki düşüşün tahmin edilmesinde kayaların mineral içeriğinin bilinmesinin yardımcı olacağını vurgulamışlardır.

(Çağlan ve Tosun, 2016), Balıkesir-Şamlı Doğu Açık Ocağında yaptıkları çalışmada, Barton görgül yenilme ölçütünü kullanarak, birimlerin, makaslama dayanım parametrelerini belirlemişlerdir. Elde edilen veriler ışığında farklı normal gerilmelere ait makaslama değerlerini hesaplamışlardır. Barton tarafından önerilen yenilme ölçütünde normal gerilme-makaslama zarfının eğrisel olması gerektiğini, ancak elde edilen zarfın doğrusal olduğunu, bunun nedeninin ise pürüzlülüğün azaldıkça makaslama gerilmelerinin eğriselden doğrusala doğru yöneldiğini, normal gerilme değerinin ise 3 MPa ve daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Zheng ve ark. (2016a), büyük ölçüde hesaplama yapılmamasından dolayı, eski yaklaşım, kişisel bilgisayarların popüler olmasından önce, çağdaki kinematik analizlere önemli bir katkı sağlamıştır.

Mu ve ark. (2017), kumtaşları üzerinde sayısı giderek artan döngüsel donma-çözülme deneyi yapmışlardır. Yapılan deney neticesinde, döngü sayısı arttıkça, kohezyon ve içsel sürtünme açısının bariz şekilde azaldığını, bunun yanı sıra süreksizlik düzleminin kayma mukavemetinin, donma-çözülme döngüsünün artmasıyla azaldığını ve normal gerilmelerin makaslama gerilmesinden daha yüksek basınç değerleri verdiğini yaptıkları bu çalışma ile ortaya koymuşlardır.

Alejano ve ark. (2018), Alejano ve arkadaşlarının önerdiği bu yöntemde, test cihazı, örnek hazırlama, şekiller, boyutlar ve test prosedürünün yanı sıra, eğim testi ve temel sürtünme açısı ile ilgili, test makinesinde hızlanma nedeniyle oluşan titreşimlerin etkisi gibi hususlara değinmişlerdir. Ayrıca, numuneler tarafından sağlanan temas tipi ile ilgili düzenlemeye değinen araştırmacılar, üç karotlu kaydırma yönteminde kullanılan “Eş. 2.9”daki denklemin, temel sürtünme açısı kullanılarak gerçekleştirilen 5 tekrara ait eğim açılarının, ortalama değeri olarak hesaplanarak, 5’ten fazla tekrar yapıldığı takdirde denklemin uygun şekilde değiştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, nem oranının, kırılabilir kireçtaşları, çamurtaşları veya alçıtaşı gibi çeşitli kaya litolojilerinin adezyon yüzeylerini harekete geçirdiğinden bahsetmiş ve eğim testi sonuçlarının sadece sürtünme ile ilişkili değil, aynı zamanda özel koşullar altında yapışma ve dokusal (mikro-sertlik) olgular ile de ilişkilendirilebilir olduğuna

dikkat çekmişlerdir. Üçlü karot kontakları için, temel sürtünme açısı aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$\phi_b = \text{ortalama} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \tan \beta_{i=1, \dots, 5} \right) \right] \quad (2.9)$$

(Ram ve Basu, 2019), Toplam 41 numune üzerinde yaptıkları doğrudan kesme testi ile yıpranmış, doldurulmamış, doğal düzlemsel kuvarsitik kaya eklemlerini, düşük normal streslerde (yani, <1 MPa) ve kuru koşullar altında incelenmişlerdir. Dolgu maddesi, JRC, mineraloji ve su gibi parametrelerin kaya eklemlerinin kayma davranışı üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması veya en aza indirgenmesini araştıran bu araştırmacılar, bu inceleme sonucunda, ayrışma koşulları arttıkça hem pik kayma dayanımı hem de pik sürtünme açısında genel bir bozulmanın görüldüğünü, yüksek normal gerilmelerdeki makaslama aşamalarında, ayrışma derecelerine göre pik kayma dayanımı farkının belirginleştiğini, ayrıca düzlemsel eklemlerde, kaya kuvvetini etkileyen yıpranma derecesinin, kesilme direncini belirlemede kilit bir rol oynadığını ve bu etkinin yüksek normal gerilmelerde belirgin hale geldiği sonucuna varmışlardır.

2.2. İnceleme Alanları İle İlgili Çalışmalar

MTA (2002), Irak-Türkiye sınırı ile Hakkari ili arasında yer alan Hakkari-N51 paftasının kapsandığı alanda, Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait Prekambriyen-Alt Tersiyer yaşlı sedimenter kayalar yüzeylenmiştir.

Sağlam (2003), Geç Oligosen–Erken Miyosen yaşlı denizel Van Formasyonunun, genel olarak ince–orta katmanlı kiltası-kumtaşı-çakiltası aralanmasından oluştuğunu belirtmiştir.

MTA (2008), Van-L50 paftasında, paraallokton konumlu, Oligosen-Erken Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, kiltası, silttaşı vb. kayatürlerinden oluşan Kırkgeçit formasyonu ile kumtaşı, kiltası, silttaşı, marn, kireçtaşı, breşik kireçtaşı, killi kireçtaşı, konglomera vb. kayatürlerinden oluşan Van formasyonu, Bitlis-Pötürge-Malatya napları üzerinde açısız uyumsuz olarak yer alır. Bu formasyonlar yanal yönde birbirleriyle geçişli olup Miyosende Bitlis-Pötürge-Malatya napları ile güneye doğru sürüklenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak iki farklı şev kullanılmış ve düzlemsel yenilmelerin olduğu iki ayrı şev üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, Van ilini Gürpınar ilçesine bağlayan ve Van iline yaklaşık 15 kilometre uzaklıktaki Kurubaş geçidinde bulunan şevdeki birimler, KRBS olarak anılmıştır. Hakkari ilini Çukurca ilçesine bağlayan ve Hakkari iline yaklaşık 50 kilometre uzaklıktaki bu çalışma alanı ise tez içerisinde ÇKRC olarak anılmıştır.

Tez çalışmasında incelenen bölgelere ait 1/25000 ölçekli topoğrafik ve jeolojik haritalar, süreksizlik düzleminde yerinde karot örnekleri alınması için ise taşınabilir karot makinası kullanılmıştır. Fiziksel, mekanik ve doğrudan makaslama deneylerinin yürütülmesi için alınan numuneler, numune torbaları ile muhafaza edilmiştir. Ayrıca arazide süreksizlik düzlemlerinin özellikleri tanımlanmıştır. Süreksizlik yüzeylerinin taze ve bozunmuş yüzeylerinden duvar dayanımlarını belirlemek için Schmidt çekici ve düzlemlerin konumlarının belirlenmesi için jeolog pusulası kullanılmıştır. Bunların yanı sıra pürüzlülük ölçümleri için Barton tipi tel profilmetre, şeritmetre ve fotoğraf makinasından faydalanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya ve Zemin Mekaniği laboratuvarında bulunan, tek eksenli basınç dayanımı ve doğrudan makaslama dayanımı cihazları ile Pundit Plus test cihazı kullanılmıştır. Büro çalışmalarında ise, bilgisayar ve bilgisayarlara ait ilgili paket programlar kullanılmıştır. Bilgisayar tabanlı analizlerde, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi'ndeki lisanslı Rocscience yazılımları kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu tez çalışması, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır.

3.2.1. Jeoloji ve stratigrafi

Yapılan arazi çalışmaları kapsamında, çalışma alanlarının jeolojik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak, inceleme alanının 1/25000 ölçekli topoğrafya haritası, uydu görüntüleri, jeolog çekici, jeolog pusulası ve mevcut jeoloji haritalarından yararlanılmıştır. Çalışma alanlarındaki formasyonlar belirlenerek bu formasyonların sınırları harita üzerine işlenip, bu alanların jeoloji haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca bu formasyonların, jeolojisi, stragrafisi, fiziksel özellikleri, çalışma alanlarındaki konumları ve başka birimlerle olan sınır ilişkileri gibi özellikler belirlenmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. KRBS çalışma alanında yer alan birime ait bir görüntü.



Şekil 3.2. ÇKRC çalışma alanında yer alan birime ait bir görüntü.

3.2.2. Petrografi

Detaylı arazi çalışmaları neticesinde, iki farklı şevdeki kayalardan alınan örneklerden, detaylı petrografik incelemeler için Dokuz Eylül Üniversitesinde ince kesitler hazırlanmış ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mikroskop Laboratuvarı'nda bu kesitlerin incelemesi yapılmıştır. Çalışma alanlarının petrografik özellikleri, alınan numunelerle yapılan incekesitlerin detaylı incelenmesi sonucunda belirlenmiştir.

3.2.3. Yapısal jeoloji çalışmaları

Çalışma alanındaki jeolojik birimlerde gözlenen, tabakalanmalar, bu tabakalanmaların yönelimleri, eklemler ve çatlak sistemlerinin yönelimleri gibi lokal bazda yapısal unsurların belirlenmesi yönünde de bazı arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında Brunton ve Silva marka pusula, şerit metre gibi araç ve gereç kullanılmış, çalışma alanlarında gözlemlenen tabakaların doğrultuları, eğim yönleri ve

eğim açıları belirlenmiştir (Şekil 3.3). KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarında süreksizlik düzlemlerinin, doğrultu-eğim yönelimi, eklem aralığı, devamlılığı, açıklığı, dolgu ve su durumuna ilişkin çalışmalar ISRM (2007) ölçütüne uygun olarak yürütülmüştür. Çalışma alanındaki birimlerden alınan eklem ve tabaka ölçümleri kullanılarak, gül diyagramlarının oluşturulması için Dips (Rocscience) programından faydalanılmıştır. Dips (Rocscience) programı eklem ve tabakaların doğrultularına göre diyagram oluşturmakta olup KRBS ve ÇKRC çalışma alanları için sahadan ölçülen eklem ve tabaka yönelimleri kullanılarak ayrı ayrı diyagramlar oluşturulmuştur. Son olarak yapısal jeoloji kapsamında bu eklem ve tabaka ölçümlerinin tamamı kullanılarak, KRBS ve ÇKRC alanlarının ayrı ayrı bütününe kapsayacak şekilde gül diyagramları oluşturulmak suretiyle sıkışma yönleri tespit edilmiştir. Çalışmalar kapsamında elde edilen veriler, dördüncü bölüm olan Bulgular ana başlığı altında değerlendirilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanında yapılan eklem ve tabaka ölçümüne ait bir görüntü.

3.2.4. Kaya kütle tanımlama

Örnek alınan kaya kütleleri, RMR sınıflama sistemlerine göre tanımlanmıştır. Eklem ve tabakaların ölçümleri esnasında süreksizliklere ait açıklık, aralık, pürüzlülük, dolgu, su durumu, yönelim gibi özelliklere ilişkin ölçümler ve gözlemler de her iki çalışma alanında yapılmıştır. Bieniawski (1989) tarafından önerilen kaya kütle değerlendirme sistemine göre, KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarının kaya kütle özellikleri yorumlanmıştır. Çalışma alanlarında yayılım alanlarının tamamını karakterize edecek şekilde alınan ölçümlerle RMR kaya kalitesi değeri belirlenmiştir.

RMR hesaplamalarında çalışılan alanlardan alınan silindirik numunelere uygulanan tek eksenli basınç deneyi değerleri ile kütle üzerinden belirlenen Kaya Kalite Göstergesi (RQD) değerleri de kullanılmıştır. RQD, karotlu sondajlarla saptanabileceği gibi yarmadan yararlanılarak da saptanabilmektedir. Bu çalışmada düzensiz süreksizliklerin de zaman zaman gözlenmiş olması nedeniyle RQD değerini belirlemek için Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen bağıntı kullanılarak RQD değeri hesaplanmıştır.

3.2.5. Karotlu sondaj çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında HILTI DD-120 marka el karot makinası ile KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarında süreksizlik düzlemlerini kesecek şekillerde sondajlar yapılarak bu kesimlerden yeterli miktarda örnekler alınmıştır (Şekil 3.4). Makaslama deneyi laboratuvar ortamında doğal süreksizlik yüzeyi kullanılarak yapıldığından, karot örnekleri en az bir süreksizlik düzlemini kesecek şekilde alınmıştır. Aynı zamanda bu örneklerin tek eksenli deneyde kullanılması için boy/çap oranı en az 2.5 olacak şekilde karotlar alınmıştır (Şekil 3.5). Daha sonra örnekler, mekanik ve fiziksel deneylerde kullanılmak üzere uygun şekilde kesilerek deneyler için hazırlanmıştır. Sondajlara ait bilgiler, Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Sondaj çalışmalarından elde edilen verilere, detaylı olarak Bulgular başlığı altında yer verilmiştir.



Şekil 3.4. KRBS çalışma alanına ait bir görüntü (a), ÇKRC çalışma alanına ait bir görüntü (b).



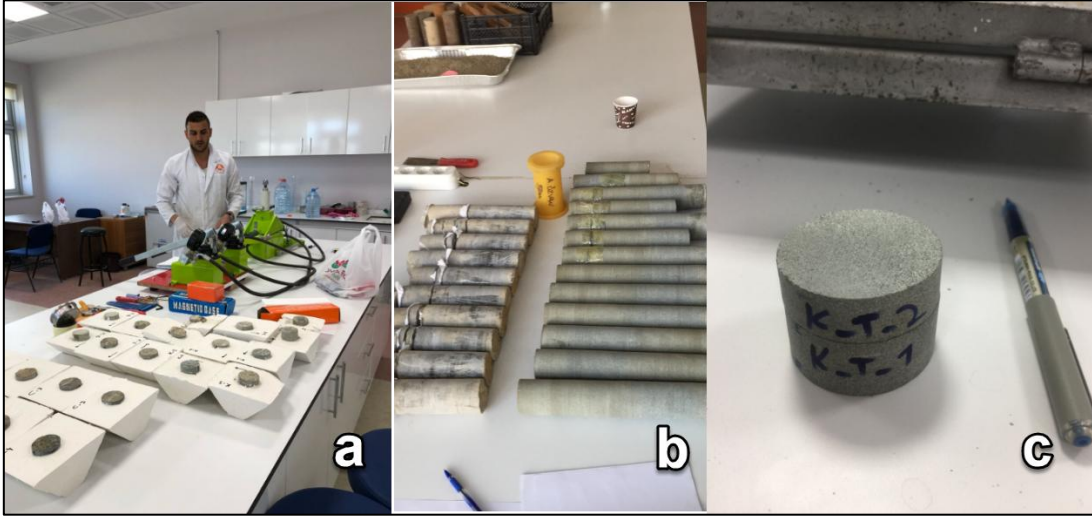
Şekil 3.5. Karotların korunması ve taşınmasına ait bir görüntü.

Çizelge 3.1. Çalışma alanlarında yapılan sondaj çalışmalarına ait bilgiler

Sondaj Adı	Sondaj Yerileri		Karat Sayısı	Yükseklik (m)	Sondaj Derinliği
	Y	X			
KRBSŞ	38.364741	43.394415	13	2047	30cm
ÇKRC	37.327486	43.509594	10	1097	30cm

3.2.6. Örneklemeye çalışmaları

Örneklemeye, kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere farklı boyutlarda hazırlanmıştır. Bu kapsamda çalışma alanlarından silindirik karot örnekleri alınarak, bunların her deney için TSE ve ISRM gibi standart ve önerilerinde belirtilen ölçülerde kestirilmesiyle çeşitli örnekler derlenmiştir. KRBSŞ ve ÇKRC alanlarından alınan örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini (birim hacim ağırlık, boşluk oranı, su emme, basınç dayanımı vb.) belirlemeye yönelik deneyleri yapmak için yine bu örnekler kullanılmıştır. KRBSŞ çalışma alanından tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere 54mm çapında (NX) 5, tilt testi için 17, incekesit için 1 ve makaslama deneyi için 6 adet deney numunesi hazırlanmıştır. ÇKRC çalışma alanından ise tek eksenli basınç dayanımı deneylerinde kullanılmak üzere 54mm çapında (NX) 4, tilt testi için 8, incekesit için 1 ve makaslama deneyi için 6 adet deney numunesi hazırlanmıştır (Şekil 3.6). Tek eksenli basınç deneyinde kullanılacak karot numunelerinin alt ve üst yüzeylerinin düzeltilmesi için yüksek hassasiyetli torna tesviye makinesinden faydalanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Makaslama deneyi için hazırlanan numuneler (a), fiziksel ve mekanik deneyler için hazırlanan silindirik numuneler (b), Tilt deneyi için hazırlanan numuneler (c).



Şekil 3.7. Karotların alt ve üst yüzeylerinin düz hale getirilmesinde kullanılan yüksek hassasiyetli torna makinasına ait bir görüntü.

3.2.7. Laboratuvar çalışmaları

Arazi çalışmaları gibi laboratuvar çalışmaları da tüm araştırma ve incelemelerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu kapsamda, KRBS ve ÇKRC çalışma

alanlarından alınan numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney standartlarında, TSE ve ISRM gibi standartlar ve öneriler kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Laboratuvar ortamında, fiziksel ve mekanik deneyler kapsamında numunelere uygulanan deneyler, örnek türleri ve deney standartları

Deney Türü	Uygulanan Deneyler	Örnek Tipi	Deney Standardı
Fiziksel özellik deneyleri	Özgül ağırlık,		
	Birim hacim ağırlık,		
	Porozite ve boşluk oranı,	-Silindirik karot örnekler	TS 699 (2009) ve ISRM 2007
	Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri		
	Ultrasonik hız testi deneyi		TS EN 12504-4
Mekanik özellik deneyleri	Makaslama dayanımı deneyi		ISRM (2014)
	Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	-Silindirik karot örnekler	ISRM (2007)
	Tilt Testi		Alejano ve ark. (2018)

3.2.7.1. Fiziksel deneyler

Çalışma alanlarından alınan karot örneklerinin ilk aşamada fiziksel özellikleri tanımlanmıştır. Bu aşamada karot örneklerin alt ve üst yüzeyleri düzeltilmiş, doygun ve kuru ağırlıkları ile hacimleri belirlenmiş olup örneklerin birim hacim ağırlıkları ISRM 2007'ye göre hesaplanmıştır. Ayrıca ISRM 2007'ye göre örneklerin su emmeleri, poroziteleri ve dalga hızları fiziksel deneyler kapsamında hesaplanmıştır.

KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanlarından alınan numunelere uygulanan deneyler, Van YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numuneler, laboratuvar ortamında etüve konularak 105 ± 5 °C de

24 saat süre ile kurutulmuş ve 0.0001 g hassasiyetli dijital terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında numuneler suya konularak, 48 saat süre boyunca suda bekletilmiş ve tamamen suya doymun hale gelen numunelerin doymun ağırlıkları, yine 0.0001 g hassasiyetli dijital terazi yardımıyla belirlenmiştir.

Kayaçların toplam hacmi, doğada buldukları şekliyle, katı kısım, boşluk ve içerdiği su hacimlerinin toplamı olarak ifade edilir. Kayaçların, katı kısımdan oluşan ağırlığının, hacme oranı “Eş. 3.1”deki kuru birim hacim ağırlık (KBHA) (γ_k) değerini verir. Boşlukların tamamen su ile dolduğu durumdaki toplam ağırlığın, hacime oranlanmış hali ise “Eş. 3.2”deki doymun birim hacim ağırlık (DBHA) (γ_d) değeri olarak ifade edilmektedir. Ayrıca kayaç içerisinde bulunan boşluk hacminin tüm hacme oranı ise gözeneklilik (n , porozite) değeri olarak nitelendirilir. Kayaç içinde bulunan boşluk oranını belirlerken, numune tamamen kurutulmuş kuru ağırlığı belirlenmiş, daha sonra kuru ağırlığı belirlenen numunenin, içerdiği boşluklar tamamen saf suyla dolacak şekilde suda bekletilmiş ve doymun ağırlığı belirlenmiştir. Bulunan bu doymun ağırlık ile kuru ağırlığın farkı hesaplanarak boşluklardaki su içeriği belirlenmiştir. Bulunan bu su içeriği aynı zamanda “Eş. 3.3”deki boşluk hacmine eşittir.

$$\gamma_k = \frac{W_{kuru}}{V_{tüm}} \quad (3.1)$$

$$\gamma_d = \frac{W_{doy}}{V_{tüm}} \quad (3.2)$$

$$n = \frac{W_{doy} - W_{kuru}}{V_{tüm}} \times 100 \quad (3.3)$$

Kayacın içerebileceği en büyük su miktarının, katı kısmının ağırlığına oranının yüz ile çarpılması “Eş. 3.4”deki kütlece su emme değeri olarak ifade edilmektedir.

$$w = \frac{W_{su}}{W_{kuru}} = \frac{W_{doy} - W_{kuru}}{W_{kuru}} \times 100 \quad (3.4)$$

Gerek arazide gerekse laboratuvar ortamında malzemeden geçen, boyuna ve enine dalgaların hızları, kayaçların karakterizasyonu amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Kaya malzemelerin ultrasonik dalga hızlarının ölçümü çok pratik ve ekonomik bir yöntemdir. Bu sebeple özellikle mekanik parametrelerin tahmininde yaygın olarak kullanılagelmiştir. Numunenin bir ucundan diğer ucuna ultrasonik dalganın geçiş zamanı ölçüldükten sonra, bu değer dalganın geçiş yolu uzunluğuna bölünmesiyle ilgili hız belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında Pundit (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester) ultrasonik test deney cihazı kullanılmıştır (Proceq, 2014). Ultrasonik test cihazının kullanılmasıyla, malzeme içerisine gönderilen P ve S dalgalarının, malzemenin bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmüş olup, boyuna dalga hızları (V_p) ve kayma dalga hızları (V_s) ölçülmüştür. Söz konusu deney ASTM C-597'ye göre yapılmıştır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile malzemenin basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilebilmiştir. V_p ölçümleri 54 kHz frekanslı, V_s ölçümleri ise 250 kHz frekanslı transdüserler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında her örneğin V_p ve V_s hızları ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarının fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan laboratuvar çalışmaları.

3.2.7.2. Mekanik deneyler

3.2.7.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Deney, karşılıklı iki yönden sürekli artan basınç altında, kayacın yenilmeye uğradığı andaki dayanımın belirlenmesine yönelik olarak yapılan bir deneydir. Bu

deney, silindirik karot örnekleri üzerinde ISRM (2007) önerilerinde belirtilen hususlara göre uygulanmıştır.

Fiziksel özellikleri belirlenen ve standartta boy/çap oranları belirtilen şartları sağlayan numuneler tek eksenli basınç dayanımı test cihazı kullanılarak deneye tabi tutulmuştur (Şekil 3.9).



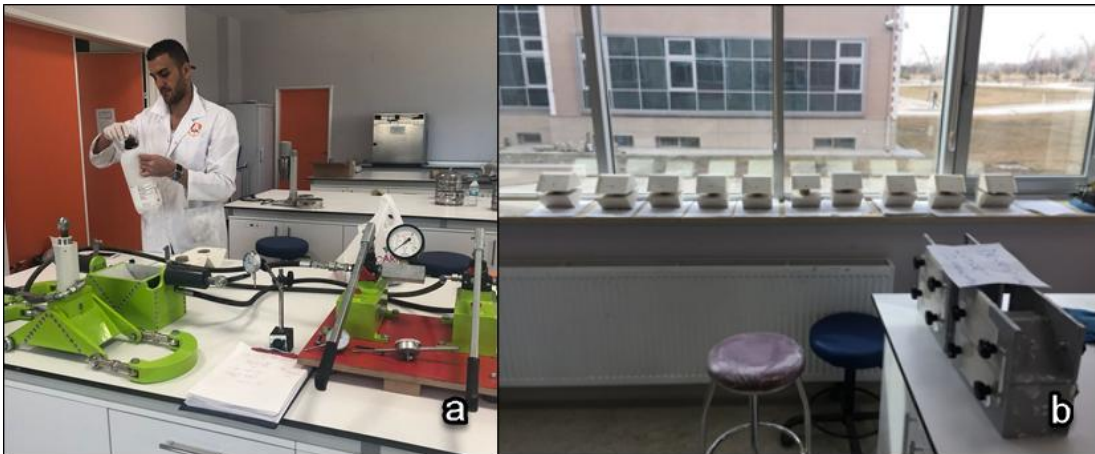
Şekil 3.9. KRBS ve ÇKRC alanlarından alınan karot örneklerine uygulanan tek eksenli basınç dayanımı testi.

Basınç test cihazında yer alan yazılım programı vasıtasıyla deneyler yürütülmektedir. Hidrolik güç ünitesi üzerinde yer alan ekrana veriler işlenmekte ve bu ekran üzerinden okunmaktadır. Deney öncesinde karot örneklerinin çap ve boyları cihaza girilmiştir. Standartlara uygun olarak cihazın, karot örneklerini 10-15 dakika civarında kırması için saniyede uygulanan yük artışı miktarı manuel olarak ayarlanmıştır. Cihaz belirlenen bu yük artış miktarını, numune üzerine saniyelik olarak uygulamış ve örneklerin kırılma noktalarına kadar bu yük artışı sabit bir şekilde devam etmiştir. Örneğin kırıldığı andaki dayanımı, programa verileri girilen numunenin alan bilgisini kullanarak “Eş. 3.5”deki yük/alan hesabını yapmış ve basınç dayanımları otomatik olarak cihaz tarafından hesaplamıştır.

$$\sigma_1 = F(\text{kN})/A(\text{m}^2) \quad (3.5)$$

3.2.7.2.2. Doğrudan makaslama deneyi

Bu başlık kapsamında süreksizlik düzlemlerindeki yenilme zarfının belirlenebilmesi için taşınabilir doğrudan makaslama deney düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.10a). Bu deney düzeneği düşey ve yanal yükler verebilen hidrolik kollar ve basınç okuma saatlerinden oluşmaktadır. Arazide süreksizlik düzleminde alınan karot numuneleri üzerinde, doğrudan kesme (makaslama) deneyine geçilmeden önce, örneklerin deney düzeneği içerisine uygun şekilde yerleştirilmesi için deney esnasında hızlı donabilen bir tür alçı kullanılmıştır. Alçı, kalıba süreksizlik yüzeyi boyunca uygulanacak normal gerilmeye dik olacak şekilde dökülmüştür. Daha sonra doğrudan kesme deneyi için hazırlanan numuneler, süreksizlik düzlemi boyunca bantlı bir şekilde alçı malzemesi içerisine yerleştirilirken, kalıbın yan tarafındaki açıklıktan süreksizlik düzleminin konumu ayarlanmış ve süreksizlik düzleminin 4-5 mm'lik bir kısmı açıkta kalmıştır. Sonrasında örneğin diğer yarısının batırılması için bir başka alçı kalıbı hazırlanmış ve örneğin bulunduğu kalıp, yeni hazırlanan kalıba ters daldırılarak alçı malzemesinin donması beklenmiştir. Donma işlemi gerçekleştikten sonra, kaya örneğini tutan bant ve sabitleme vidaları çıkarılarak, alçı kalıplar deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.10b). Kalıptan çıkarılan alçıların tam olarak kuruması sağlanmıştır. Bu nedenle alçı kalıplar, deney öncesinde yaklaşık 3-4 gün açık havada bekletildikten sonra deneye başlanmıştır.



Şekil 3.10. Taşınabilir doğrudan makaslama deney düzeneği (a), numunelerin alçı kalıplara yerleştirilmesi (b).

Kayma yüzeyinin kesme dayanımı kohezyon (c) ve sürtünme açısı (ϕ) ile ifade edilir (Coulomb, 1773). Deney düzeneğine, süreksizlik düzlemleri zarar görmeyecek şekilde yerleştirilen alçı kalıpları, üst üste konularak düzenekteki vidalar yardımı ile sabitlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Doğrudan kesme deney düzeneğine yerleştirilen numuneye ait görüntü.

Sabitlenen numuneye, düzenekteki kol ve basınç göstergesi yardımıyla, bir önceki numuneden fazla ve dik yönde olacak şekilde normal gerilme (σ) uygulanmıştır. Daha sonra düzeneğe bağlı diğer kol ile süreksizliğe paralel yönde bir kuvvet olan kesme gerilmesi (τ) uygulanarak, göstergelerden, her basınç değerine karşılık gelen kesme yerdeğiştirmesi (δ_s) kaydedilmiştir (Şekil 3.12a).

Küçük yerdeğiştirmelerde numune elastik olarak davranır ve kesme gerilmesi yerdeğiştirme ile birlikte doğrusal olarak artar. Harekete direnen kuvvet aşılrken, gerilme-yerdeğiştirme ilişkisi doğrusallığını yitirir ve daha sonra süreksizliğin pik kesme dayanımını temsil eden en büyük değere ulaşır. Bu aşamadan sonra yerdeğiştirmeyi sağlamak için gerekli gerilme azalır ve sonuçta rezidüel kesme dayanımı olarak adlandırılan sabit değere erişilir (Şekil 3.12b).

Değişik normal gerilme düzeylerinde yapılan deneylerden elde edilen en az 3 adet pik kesme dayanımı verileri grafiğe aktarıldığında, Şekil 3.12c'de görülen ilişki

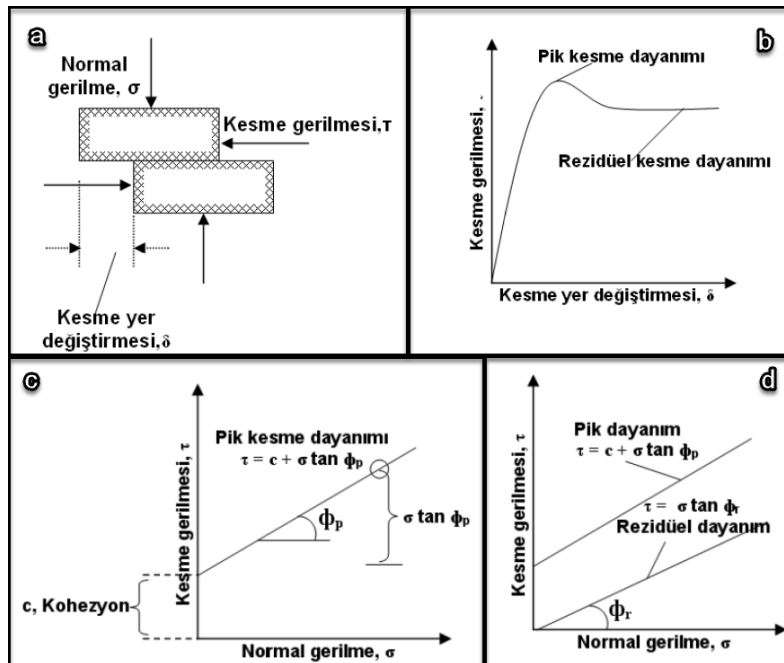
elde edilir ve buna Mohr diyagramı denir (Mohr, 1900). Burada dairelere çizilen teğetin yatay ile yaptığı açı içsel sürtünme açısı olan (ϕ)'yi, kesme gerilmesi eksenini kestiği yerin orijine uzaklığı ise kohezyon olan (c)'yi verir (Şekil 3.12c). Pik kesme dayanımı “Eş. 3.6”daki bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_p \quad (3.6)$$

Uygulanan her bir normal gerilme düzeyindeki rezidüel kesme dayanımı değerleri Mohr diyagramına çizildiğinde (Şekil 3.12d) ise rezidüel kesme dayanımı elde edilir ve “Eş. 3.7”deki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_r \quad (3.7)$$

Burada ϕ_r rezidüel (artık) sürtünme açısıdır. Rezidüel dayanım koşulu için, yerdeğiştirmenin çimentolayıcı malzemeyi kırmasıyla kohezyon kaybolur. Mohr diyagramında bu durum grafiğin orijinden geçen dayanım çizgisi ile temsil edilir.



Şekil 3.12. Bir süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımının tanımı, süreksizlikte kesme deneyi (a), kesme yerdeğiştirmesi ile kesme gerilmesi ilişkisi (b), pik dayanım Mohr diyagramı (c), pik ve rezidüel dayanım Mohr diyagramı (d) (Wyllie and Mah, 2004).

Yukarıdaki eşitlikler, süreksizlik düzleminin (τ) kesme gerilmesi yönünde geliştiği durumlar için kullanılır. Süreksizlik düzleminin kesme gerilmesi ile (i) açısı yaptığı durumda ise “Eş. 3.8”deki kesme gerilmesi ile normal gerilme arasında, açığa bağlı bir ilişki bulunmaktadır. Patton (1966) duraysız kireçtaşı şevlerinde yaptığı deneyler ile ortalama i açısını hesaplamış ve bu ilişkiyi deneylerle doğrulamıştır. Bu çalışma sonucunda tabakalanma düzleminin pürüzlülüğünün artması ile kayma açısının da doğru orantılı olarak bir noktaya kadar artacağını ortaya koymuştur. Tabakalanma düzlemi eğiminin, yaklaşık olarak kayaların laboratuvar ortamındaki düzlemsel yüzeyler üzerinde bulunan sürtünme açısı (ϕ) ile ortalama pürüzlülük açısının (i) toplamına eşit olduğunu belirlemiştir.

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi + i) \quad (3.8)$$

Kesme dayanımı bulunduktan sonra, normal gerilmenin bulunması için, “Eş. 3.9”da belirtilen denklemde olduğu gibi örnek üzerine uygulanan yük (F) süreksizlik yüzeyinin alanına (A) bölünmüştür.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.9)$$

Hencher ve Richards (1989), eğimli bir sondaj kuyusuna ait karot örneği için, süreksizlik düzleminin elips şeklini alacağını belirtmişlerdir. Bu tarz bir durumda yüzey temas alanı hesaplanırken, “Eş. 3.10”daki bağıntının kullanılacağını ifade etmişlerdir.

$$A = \pi ab - \left[\frac{\delta_s b (4a^2 - \delta_s^2)}{2a} \right]^{1/2} - 2ab \sin^{-1} \left(\frac{\delta_s}{2a} \right) \quad (3.10)$$

Burada;

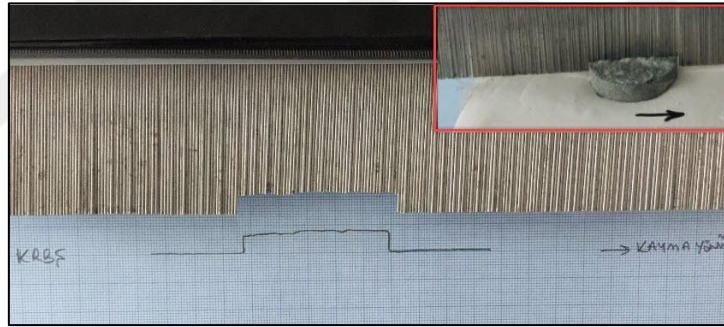
A=Toplam temas alanı, a=Elipsin uzun ekseni, b=Elipsin kısa ekseni, δ_s =Kesme yer değiştirmesi olarak ifade edilir.

Tüm bu değerlendirmeler kapsamında, numunelere uygulanan deneylerden elde edilen bulgular, bir sonraki ana başlık altında detaylı olarak irdelenmiştir.

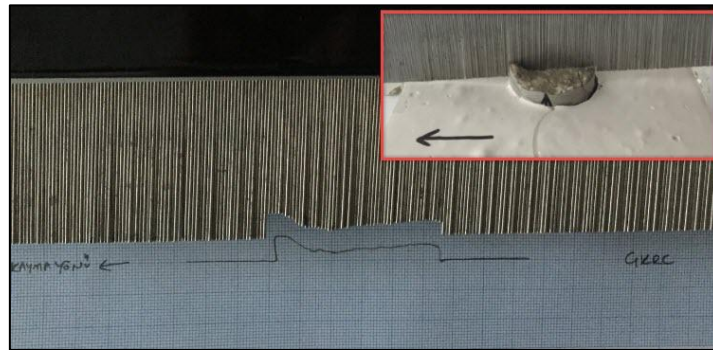
3.2.8. Süreksizlik pürüzlülüğünün ölçülmesi

Pürüzlülüğün ölçümünde kullanılan en basit yöntem, Barton tip tel profilmetrelerdir (Şekil 3.13). JRC değeri pürüzsüz, düzlemsel ve kısmen çizikli yüzeyler için sıfırdan başlayarak, pürüzlü ve dalgalı yüzeyler için 20'ye kadar çıkmaktadır. JRC değeri (birkaç cm ölçeğindeki) yüzey düzensizliklerinin ve dalgalılığın (birkaç metre ölçeğindeki) kombinasyonuna dayalı standart profiller ile yüzey koşullarını görsel olarak karşılaştırmak suretiyle tahmin edilebilir (Bkz. Şekil 2.1).

Bu tez çalışmasında pürüzlülüğün belirlenmesi kapsamında Barton tip tel profilmetre kullanılmıştır. Her iki çalışma alanına ait makaslama dayanımı deneyine tabi tutulacak numunelerin, süreksizlik düzlemleri üzerine oturtulan tel profilmetre üzerinde gözlenen şekil, milimetrik kağıt üzerine işlenmiş ve eklem pürüzlülük katsayısı tablosu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.13 - 3.14).



Şekil 3.13. KRBS çalışma alanındaki süreksizlik pürüzlülüğünün, Barton tip tel profilmetre ile ölçümüne ait bir görüntü.



Şekil 3.14. ÇKRC çalışma alanındaki süreksizlik pürüzlülüğünün, Barton tip tel profilmetre ile ölçümüne ait bir görüntü.

Bunun sonucunda en yakın eklem pürüzlülük katsayısı (JRC) değeri bulunmuştur. Bulunan bu JRC değeri, Bulgular başlığı altında “Eş. 3.11”de belirtilen Barton ve Choubey (1977) ölçütündeki kesme gerilmesini bulmanın tayininde nicel olarak irdelenmiştir.

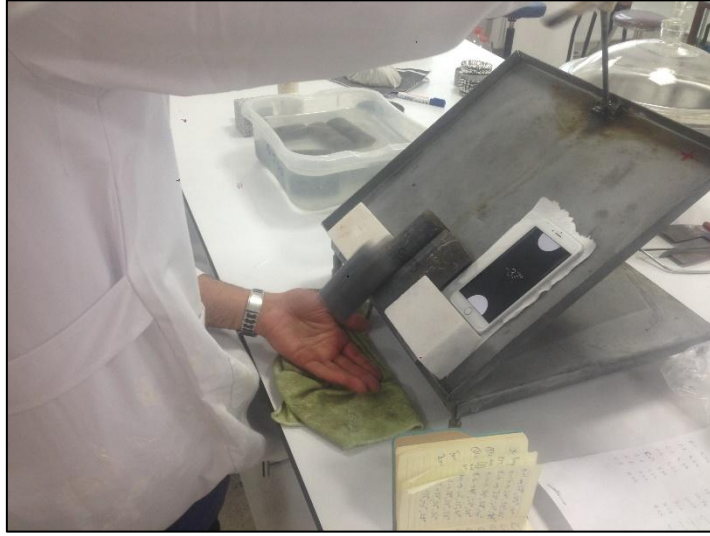
$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.11)$$

3.2.9. Tilt testi

Alınan örneklerin düz ve ayrışmamış yüzeyleri üzerinde temel sürtünme açısını (ϕ_b) belirlemek için tilt deneyi yapılmıştır.

Örnek, tilt adı verilen sehpaaya yerleştirilmiş ve sehpanın üst platformu bir kol yardımıyla kademeli bir şekilde kaldırılarak, karot örneklerinin iki aynı numune arasında boyuna 5 tekrar olacak şekilde kaydırılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15). Üç karot örneğinin kantağında gelişen kaymanın gerçekleştiği bu açı değeri β açısı olarak tanımlanmakta olup, bu değerden yola çıkarak temel sürtünme açısı olan (ϕ_b), “Eş. 3.12”deki Alejano ve ark. (2018) tarafından önerilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır. Deney, hem kuru hem de ıslak yüzeyli numunler ile yapılmış, suyun kayma açısındaki önemi de bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

$$\phi_b = ortalama \left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \tan \beta_{i=1, \dots, 5} \right) \right] \quad (3.12)$$



Şekil 3.15. Tilt sehpası düzeneğine ve deneye ait bir görüntü.

3.2.10. Eklem basınç dayanımı (Schmidt çekiç testi)

Çalışma alanlarının yüzey sertliğini belirlemeye yönelik olarak arazide Schmidt çekici geri sıçrama deneyi yapılmıştır (Şekil 3.16). Schmidt çekicine ait farklı darbe enerji seviyelerinde bulunan modeller mevcuttur. Arazi ölçümlerinde önerilen, 0.735 Nm darbe enerjisi olan L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır.

Schmidt çekicinin çalışma prensibi şu şekildedir; çekicinin basınç silindiri ölçüm yapılacak yüzey üzerine gelecek şekilde konular ve çekiç yüzey üzerine bastırılarak silindir içeri doğru itilir. Belirli bir enerji seviyesinde bulunan ve basınç silindiri üzerine bir kütle olarak serbest bırakan bir yayda bu enerji depolanır. Geri tepme değeri belirlendikten sonra bu değer yüzey sertliği olarak kaydedilir. Yapılan arazi çalışmalarında, taze (R) ve ayrılmış (r) yüzeylerden Schmidt çekici ile en az 20'şer ölçüm alınmış (ISRM 2007) ve bu ölçümlerin en yüksek ve en az olan 5 değeri atılmış geri kalan 10 değerinin ortalaması nihai değer olarak kullanılmıştır.

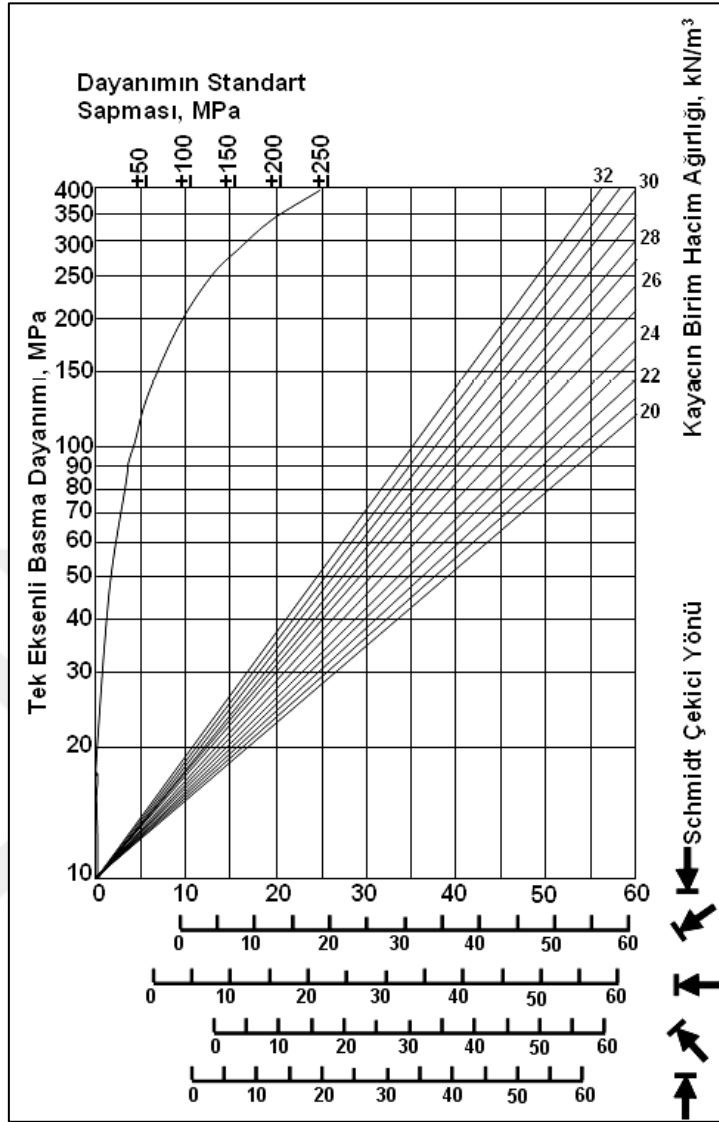
Burada, bulunan taze (R) ve ayrılmış (r) değerleri kullanılarak süreksizliklerin rezidüel sürtünme açısı olan ϕ_r bulunmuştur. ϕ_r , düzlemsel bir eklemin dayanımını kontrol eder (JRC=0) ve Barton ve Choubey (1977)'e göre “Eş. 3.13”deki bağıntıda belirtildiği gibi hesaplanır.

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + \frac{r}{R} \quad (3.13)$$



Şekil 3.16. Schmidt çekici ile çalışma alanlarının taze ve ayrılmış yüzeylerinden dayanımın belirlenmesi. KRBSŞ çalışma alanına ait ölçüm (a), ÇKRC çalışma alanına ait ölçüm (b).

Schmidt geri sıçrama değeri, Barton ve Choubey (1977) tarafından kullanılan JCS değerinin belirlenmesine dayalı bir arazi deneyidir. Bu değer fiziksel özellik deneylerinden elde edilen numunelerin birim hacim ağırlık değeri kullanılarak, Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen çizelge yardımıyla tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerine dönüştürülmüştür (Şekil 3.17). Dönüştürme sırasında çekicinin konumu dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgulara dördüncü bölüm kapsamında detaylı olarak değinilmiştir.



Şekil 3.17. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller, 1966).

3.2.11. Değerlendirme ve büro çalışmaları

Değerlendirme ve büro, araştırmanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu kapsamda arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında elde edilen veriler analiz edilmiş ve değerlendirilerek teze aktarılmıştır. Bu analizler sırasında çeşitli hesaplamalar yapılmış ve bazı bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Bu yazılımlardan yararlanılarak jeoloji haritası, jeolojik kesitler, kinematik analizler, kayma analizleri ve çizimler oluşturulmuştur. Schmidt çekici değeri, tabaka eklem ve ölçüleri, eklem özellikleri gibi parametreler, Microsoft Office Excel programı vasıtasıyla oluşturulan tablolara

aktarılmıştır. Ayrıca laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler, oluşturulan Microsoft Office Excel tablolarına aktarılmış ve gerekli hesaplamalar bu tablolar aracılığıyla yapılmıştır.

Kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerine ait deney verilerinden elde edilen birim hacim ağırlıklar, porozite, boşluk oranı, ultrasonik hız testi, tek eksenli basınç dayanımı ve benzeri deney verileri, hazırlanan Microsoft Office Excel tablolarında hesaplanmıştır. Çalışma alanlarından derlenen tabaka ve eklem ölçüleri, Dips programı (Rocscience) yardımı ile eğim yönüne bağlı gül diyagramı çizimleri oluşturulmuş ve bu alanların gerilme koşulları belirlenmiştir. Bu sayısal ortamlar dışında laboratuvar deneyleri ve arazi çalışmaları sırasında yapılan bazı gözlem ve hesaplamalar mevcuttur.

Tez sonunda, elde edilen deneysel sonuçlar ile yenilme düzlemleri üzerinde yapılacak geri analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizler yapılırken, Rocscience Inc. tarafından hazırlanan Dips ve RocPlane yazılımları kullanılmıştır.

Bu hesaplamalarda, literatürden faydalanılarak bazı eşitlikler ve grafiksel yorumlamalardan bahsedilmiştir. Bu verilerden elde edilen parametreler neticesinde, tez, bilgisayar destekli Microsoft Office Word programı vasıtasıyla yazılmıştır.

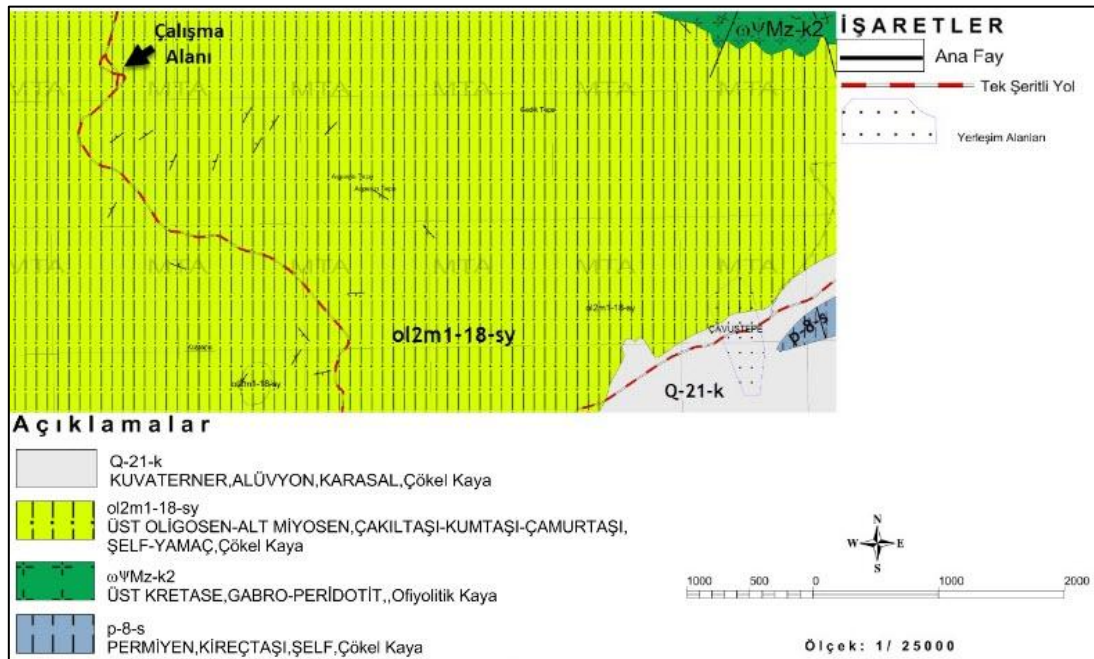
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İki farklı şevde süreksizlik düzlemleri boyunca oluşan yenilmelerin Barton görgül yenilme ölçütü ile değerlendirilmesinin araştırıldığı bu çalışma, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak yürütülmüştür. Bu veriler ışığında elde edilen bulgulara aşağıdaki başlıklar altında yer verilmiştir.

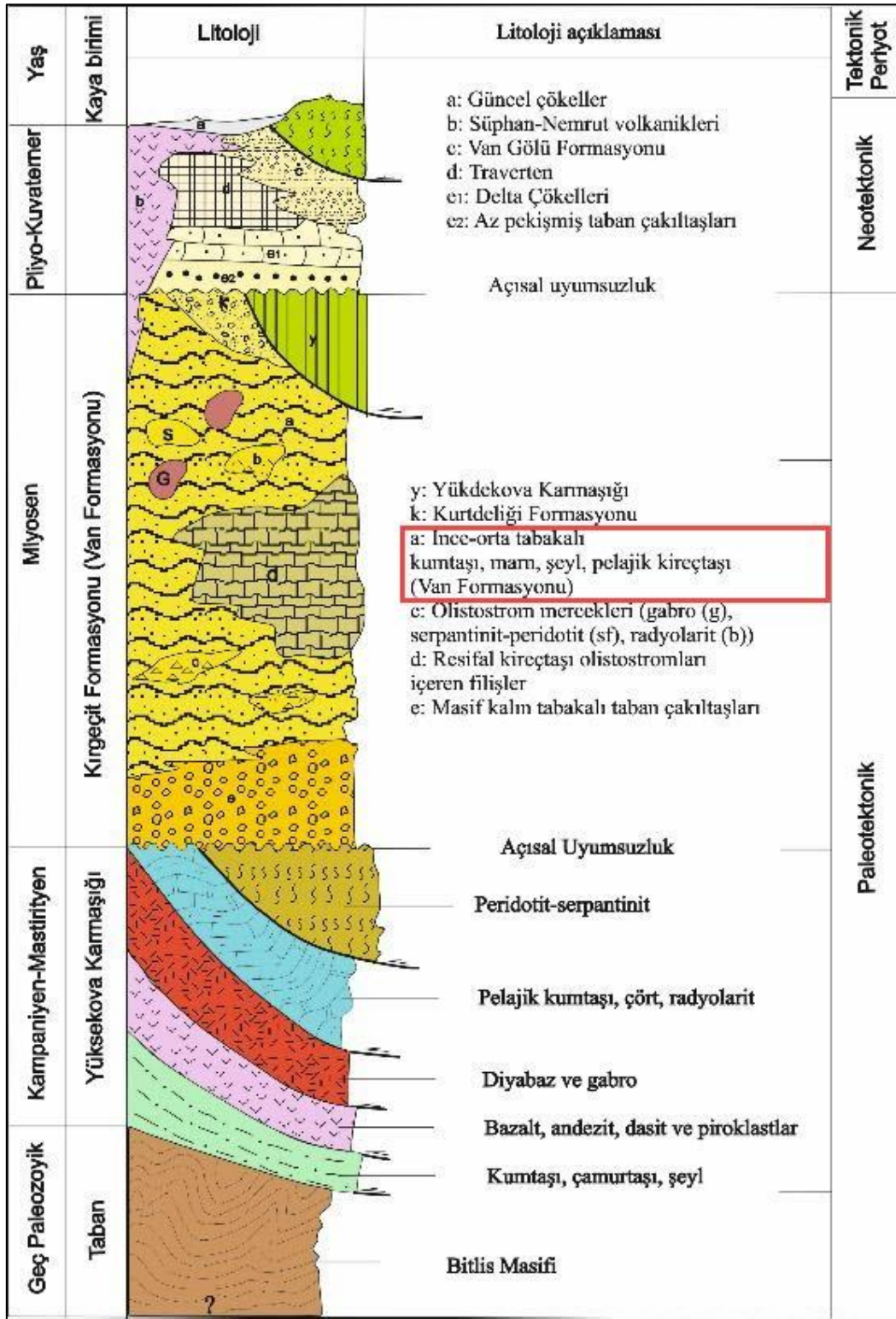
4.1. Jeoloji ve Stratigrafi

KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanları ve yakın çevrelerinde jeoloji, tektonik, jeoteknik ve hidrojeoloji konularında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmalar neticesinde VAN-L50_{b3} paftası içinde bulunan KRBŞ çalışma alanında 1/25000'lik harita üzerinde yapılan çalışmalar ile bölgenin jeolojisi ve arazi ölçümleri ile süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri ortaya konmuştur. Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (Şekil 4.1), genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Şekil 4.2) ve Google Earth uydu görüntüsü (Şekil 4.3) üzerinde yapılan çalışmalara ait genel bilgiler bu bölüm altında verilmiştir.



Şekil 4.1. KRBŞ çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (H. Mengi 1986).



Şekil 4.2. Bölgenin geliştirilmiş tektono-stratigrafik kolon kesiti (Koçyiğit, 2013'den değiştirilmiştir).



Şekil 4.3. KRBSŞ çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Google Earth, ölçeksiz).

4.1.1. Bitlis metamorfileri (p-8-s)

Gözlü gnays, granat gnays, biyotit gnays, amfibol şist, amfibolit, kuvars şist, kuvarsit, şist, mermer vb. kaya türlerinden oluşan birim, Boray (1976) tarafından adlandırılmıştır. Bitlis metamorfileri Van-L50 paftasında, yer yer ayrılmamış şist, fillat, mermer (PzMzbs) ile Mermer ve rekristalize kireçtaşları (PzMzbm) olarak ayırtlanmıştır. Ayrılmamış şist, fillat ve mermerler (PzMzbs) değişik renklerde çeşitli şistlerden oluşur. Bunların içinde yer yer kuvarsit ve mermerler izlenir. Mermer ve rekristalize kireçtaşları (PzMzbm) genelde masif karakterde, gri, koyu gri, siyah vb. renklerde metakarbonatlardan oluşur. Bunların çoğu Permiyen yaşlı kabul edilir (MTA 2008).

4.1.2. Bakışık melanj ve olistostromu ($\omega\psi Mz-k2$)

Ofiyolitli melanj ve olistostromdan oluşan birim, Özalp ve çevresinde Şenel ve ark. (1984) tarafından Bakışık karmaşığı olarak adlandırılmıştır. Serpantinit, harzburjit, dunit, gabro, radyolarit, çört, şeyi, kireçtaşı, metamorfit, kumtaşı, kıltaşı, bazik volkanit

vb. kayatürlerinden oluşan birim oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu belirtilen birim içinde büyük boyutta mermer, dolomit, metadetritik, bazik volkanik vb. tektonik dilimler bulunmaktadır (MTA, 2008). Birim içerisinde yer yer kumtaşı, konglomera, silttaşı gibi kırıntılı olistostrom karakterinde kayalar da izlenmektedir (MTA, 2008).

Alt ve üst ilişkisi genellikle tektonik olan birimin üzerinde Geç Paleosen-Eosen ve Oligo-Miyosen yaşlı kaya birimleri açısız uyumsuz olarak bulunur. Kalınlığı 0-400 m arasında değişen birim, yanal yönde çok sık kayatürü değişimi göstermektedir (MTA, 2008).

4.1.3. Van formasyonu (ol2m1-18-sy)

KRBŞ çalışma alanındaki birim olan Van Formasyonu (tabanda ince-orta taneli), grimsi renk tonlarındaki kumtaşları ile başlamaktadır (MTA, 2008). Üst seviyelere doğru ilerledikçe (iri taneli) yine grimsi renk tonlarına sahip kumtaşı birimi bulunmaktadır. İnceleme alanındaki kumtaşı tabaka kalınlıklarının 0-10 cm ile 10-30 cm arasında (ince-orta) olduğu gözlenmiştir. Tabakalar yaklaşık 40° lik açılarla güneydoğu'ya eğimli olarak ölçülmüştür. Grimsi renkli kumtaşlarının denizel ortamı ifade ettiği düşünülmektedir (MTA, 2008).

Acarlar ve ark. (1991), tarafından ilk olarak Van Formasyonu şeklinde tanımlanan bu birim, tipik olarak Kurubaş, Aşit Köyleri ve Doğanlar civarında gözlenmektedir (MTA, 2008). Van ilinin güney kesimlerinde Perinçek (1978)'in yaptığı çalışmalarda, Van Formasyonuna benzerlik gösteren kaya birimlerini, Kırkgeçit Formasyonu olarak adlandırmıştır. Aksoy (1988) ve Koçyiğit (2013) tarafından da Kırkgeçit Formasyon ismi kullanılmıştır.

Formasyonun tabanında bulunan bentonik foraminiferli - algli - tanetaşı - ekinitli istiftaşı fasiyesinde, mikro ve makro fauna fosil içeriğine göre, birimin alt kesimlerinin Alt Miyosen yaşlı olduğu ve bu istifin üzerinde bulunan kalkarenit ve şeyller içerisindeki mikro faunaya göre de Orta Miyosen yaşına sahip olduğu Sağlam (2003) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. Fosil içeriğine bağlı üst sınır ilişkilerine göre ise, birime Alt-Orta Miyosen yaşı verilmiştir.

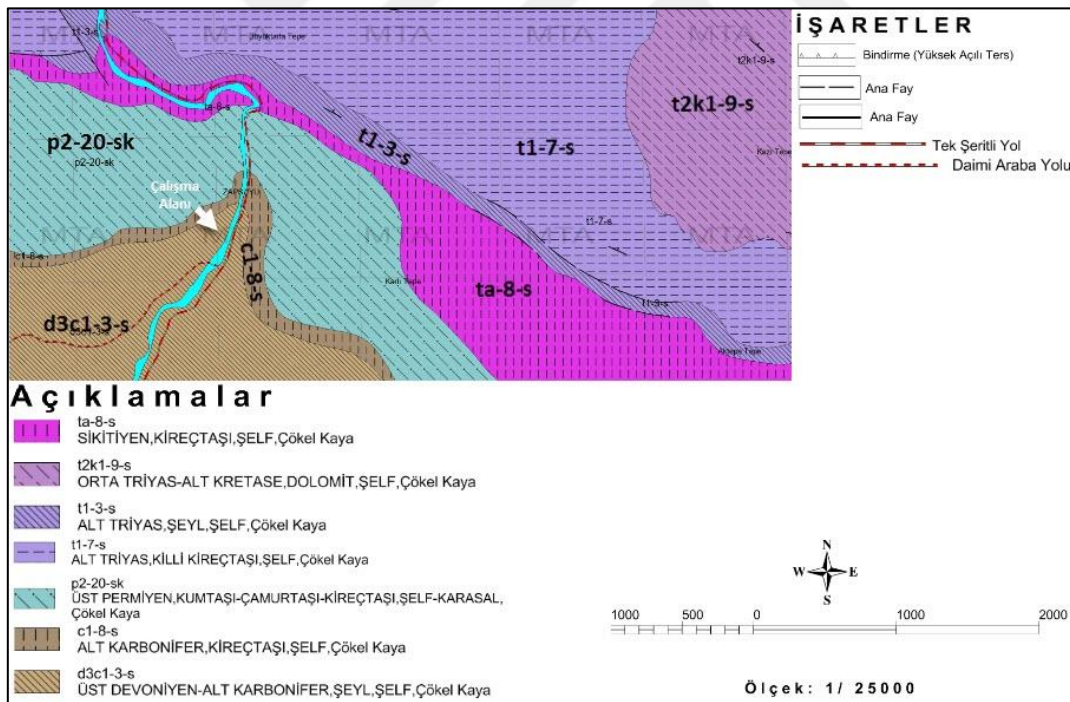
Acarlar ve ark. (1991), Sağlam (2003), Özkaymak (2003) tarafından yapılan çalışmalarda birimin sığ karbonat şelfinden derin karbonat şelfine ve havzaya doğru

değişim gösteren ortamlarda çökeldiğini belirtmişlerdir.

4.1.4. Alüvyonlar (Q-21-k)

Akarsu yatakları, çöküntü alanları ve ovalarda birikmiş olan çakıl, kum ve çamur birikintileridir.

İkinci çalışma alanı olan Çukurca bölgesinde 1/25000'lik harita üzerinde yapılan çalışmalar ile bölgenin jeolojisi ve arazi ölçümleri ile süreksizlik düzlemlerinin yönelimleri ortaya konmuştur (Şekil 4.4). Google Earth uydu görüntüsü (Şekil 4.5) ve Köprülü formasyonu, Belek formasyonu, Gomanibrik formasyonu, Cudi grubu, Uzungeçit formasyonu, Ayrılmamış Zabuk ve Sedan formasyonu ve Yoncalı formasyonu birimlerinden oluşan yaşlıdan gence doğru sıralanmış stratigrafik sütuna ait genel bilgilere yer verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.4. ÇKRC çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (Türkiye Jeoloji Veritabanı, MTA Genel Müdürlüğü).



Şekil 4.5. ÇKRC çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Google Earth, ölçeksiz).

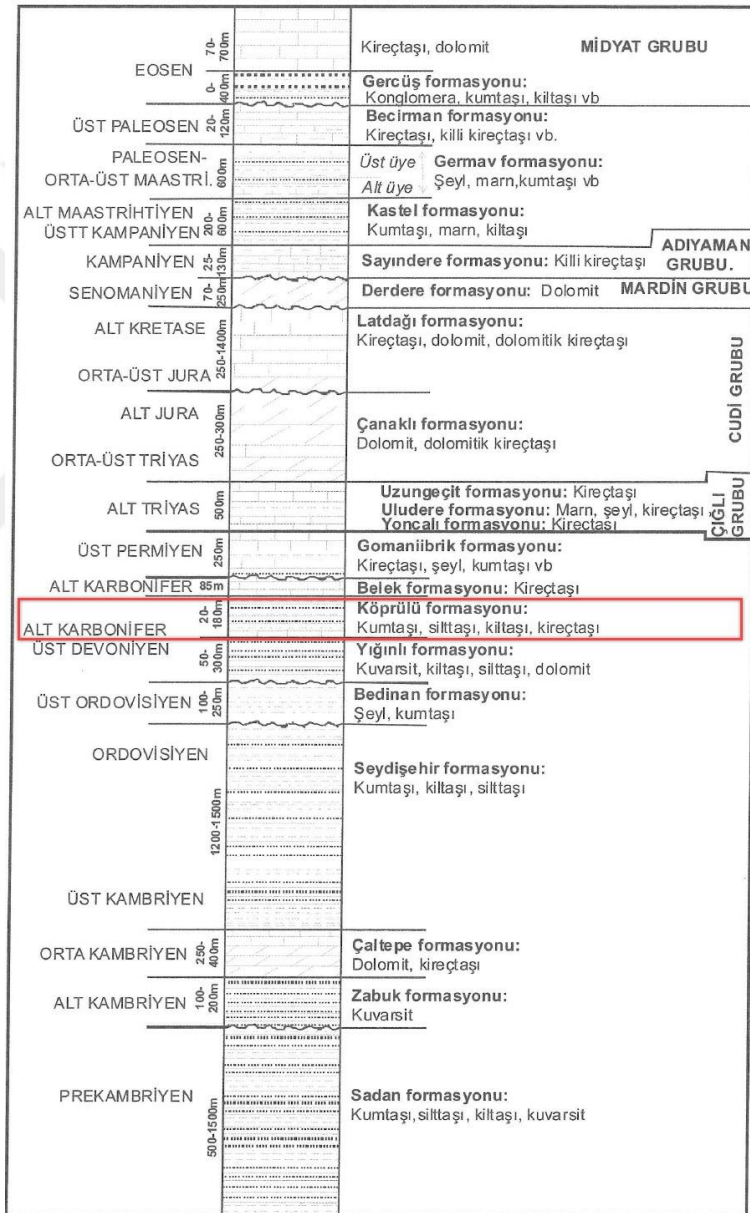
4.1.5. Köprülü formasyonu (d3c1-3-s)

ÇKRC çalışma alanındaki birim olan Köprülü Formasyonu, Açıkbaş ve ark. (1977; Açıkbaş, 1978'den) tarafından adlandırılmıştır. Birim şeyl, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Tabakalar yaklaşık 60° lik açılarla kuzeydoğu'ya eğimli olarak ölçülmüştür. Formasyonun tip kesiti Hakkari-Çukurca ilçesinin 11 km kuzeybatısında Köprülü (Geymede) köyünde izlenir.

Formasyonun tabanında yaklaşık 27 m kalınlıkta ince-orta tabakalı, açık gri, kirli sarı, az gözenekli, sert, kumlu, stilolitli, konkoidal kırıklı, az killi yer yer dolomitik ve fosilli kireçtaşları yer alır. Bu kireçtaşları üzerinde 2 m kalınlığında açık gri, siyah renkli şeyl, 12 m kalınlığında, ince-orta tabakalı, açık gri, kirli sarı renkli kumlu-killi, fosilli kumtaşı ara seviyeli kireçtaşı ve 11 m kalınlığında ince-orta tabakalı, sarımsı kahve renkli, gözenekli, ince-orta taneli, orta-kötü boylanmalı, sert, mikalı, laminalı, yer yer limonitleşmeli, sıvama fosil yüzeyli kumtaşları bulunur (MTA, 2002). Bunlarında üzerinde yaklaşık 123 m kalınlığında, ince-orta tabakalı, açık gri, siyah, sarı, kahve renkli mikalı, bol fosilli, ince-orta tabakalı, sarımsı kahve renkli, ince taneli, orta-kötü boylanmalı, stilolitli kumtaşı ara seviyeli şeyller izlenir. Birim üstte 2 m kalınlığında

açık gri renkli killi kireçtaşı ve 4 m kalınlığında açık gri, siyah renkli şeyllerle sonlanır (Yılmaz ve Duran, 1997).

Yığınlı formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alan Köprülü formasyonu üstte Belek formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülür. 20-400 m arasında kalınlık gösteren Köprülü formasyonunun belirgin bir yanıl değişimi izlenmemektedir. Birim sığ deniz-lagün ortamında çökelmiftir (Açıkbaş, 1978; Köylüoğlu ve Erten, 1985).



Şekil 4.6. ÇKRC çalışma alanına ait stratigrafik kesit (MTA, 2002).

4.1.6. Belek formasyonu (c1-8-s)

Neritik kireçtaşlarından oluşan formasyon, Açıkbaş ve ark. (1977; Açıkbaş, 1978'den) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun tip kesiti Hakkari-Çukurca ilçesinin yaklaşık 38 km kuzeybatısındaki Belek yaylasında izlenir.

Formasyon, orta-kalın, yer yer ince tabakalı kahverengimsi gri, koyu gri, siyah renklere, gözenekli, sıkı, sert, hidrokarbon kokulu, yer yer breş görümlü krinoid, brachiopod, gastropod vb. fosilli kireçtaşları ile temsil edilir (MTA, 2002).

Kalınlığı 85-365 m arasında değişen Belek formasyonu, Köprülü formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçiş gösterir. Birim Alt Karbonifer yaşlı kabul edilmiştir (Tanyol ve ark., 1997). Belek formasyonu sığ deniz-lagün-resifal ortamda çökelmiştir (Açıkbaş, 1978; Köylüoğlu ve Erten, 1985).

4.1.7. Gomanibrik formasyonu (p2-20-sk)

Alt kesimde kireçtaşı, orta kesimde kömürlü kumtaşı, silttaşı ve kilttaşları, üst kesimde kumtaşı, kilttaşı, marn ara seviyeli kireçtaşları kapsayan formasyon, Kellogg ve Kayar (1959; Kellogg, 1960a'dan) tarafından tanımlanmıştır. Birimin tip kesiti Diyarbakır ili Hazro ilçesinin 1 km kadar doğu-kuzeydoğusundaki Gomanibrik köyünde izlenir.

Gomanibrik formasyonu, ince-orta-kalın tabakalı, gri, koyu gri, siyah, bej, kirli sarı, açık gri vb. renklere bol fosilli kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve şeyllerden oluşur. Formasyon içinde yer yer kumtaşı, silttaşı ve kömür düzeyleri yer alır (MTA, 2002).

En fazla 1020 m kalınlık gösteren formasyon yanal yönde kırıntılı kayaları karbonatlara geçiş gösterir. Birim Üst Permiyen yaşlı kabul edilmiştir (Tanyol ve ark., 1997). Formasyon sığ deniz-fluviyal-gel/git etkili dalga düzlüğü-kıyı bataklığı ortamlarında çökelmiştir (Bozdoğan ve ark., 1988).

4.1.8. Cudi grubu (t1-7-s)

Altınlı (1952) tarafından adlandırılan bu birim, kalın dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarında oluşum gösterir. Şırnak-Uludere ilçesi güneyinde bulunan Cudi

dağında, tip kesiti izlenir. Cudi grubu, Orta Triyas-Alt Jura yaşlı dolomit ve kireçtaşlarından oluşan Çanaklı formasyonu ile Orta Jura-Alt Kretase yaşlı dolomit ve kireçtaşlarından oluşan Latdağı formasyonu olmak üzere iki formasyona ayrılmıştır (MTA, 2002).

Cudi grubu masif, orta-kalın tabakalı, açık gri, gri, koyu gri, siyahımsı gri, bej, sarımsı gri, kahverengimsi siyah renkli dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Egemen kaya türü dolomittir. Yer yer makro fosil (lamelli, gastropod, mercan, brachiopod, ammonit, belemnit, ekinid) düzeylidir (MTA, 2002).

Çığlı grubu üzerinde uyumlu olarak yer alır. Bazı bölgelerde Seydişehir, Bedinan formasyonları üzerinde açısız uyumsuz olarak bulunur. Birim üstte Mardin grubu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Cudi grubu yer yer 3790 m (Perinçek, 1980b) kalınlığa ulaşmaktadır. Cudi grubunun Triyas yaşlı karbonatları yanal yönde evaporitik karbonatlara geçer. Orta Triyas-Alt Kretase yaşlı kabul edilen Cudi grubu sınırlı-yarı sınırlı sığ deniz ortamında çökelmiştir (MTA, 2002).

4.1.9. Uzungeçit formasyonu (t1-3-s)

Çığlı grubunun üst kesimini oluşturan kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan formasyon, Kozak ve ark. (1977a, b) ve Perinçek ve ark. (1977; Açıkbay, 1978'den) tarafından adlandırılmıştır. Birimin tip kesiti Şırnak-Uludere ilçesinin 14 km kuzeydoğusunda ve Uludere-Beytüşşebap yolu üzerindeki Uzungeçit köyünde izlenir.

Uzungeçit formasyonu ince-orta tabakalı, yer yer ince laminalı, gri, yeşil, yeşilimsi gri, açık gri, kirli sarı, sarımsı yeşil, kahve, koyu gri, bej, siyah vb renklerde kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşur. Formasyonda yer yer ince marn, şeyl, silttaşı, kiltası, kumtaşı ve dolomit ara seviyeleri gözlenir. Bazı düzeylerde lamelli ve gastropod izleri kapsar (MTA, 2002). Bazı bölgelerde Uzungeçit formasyonu, Yoncalı formasyonu üzerine Uludere formasyonu kamalandığından uyumlu olarak yer alır. Kalınlığı 95-483 metre arasında değişir. Birimde yanal yönde kumtaşı ve şeyl oranı yer yer artar. Uzungeçit formasyonu sığ deniz-gel/git düzlüğü ortamında çökelmiştir (MTA, 2002).

4.1.10. Ayrılmamış zabuk ve sedan formasyonu (t2k1-9-s)

4.1.10.1. Sedan formasyonu

Prekambriyen yaşlı kırıntılı kayalardan oluşan formasyonun adı ilk kez Taylor (1955) tarafından Mardin-Derik bölgesinde kullanılmıştır.

Sadan formasyonu, ince-orta-kalın tabakalı, yeşilimsi gri, gri, koyu gri, sarımsı, pembemsi mor vb renklerde kumtaşı, kiltası ve silttaşı ardalanmasından oluşur. Kumtaşları ince-orta taneli, orta-iyi boylanmalı, silis çimentolu, yer yer çapraz tabakalı, taban yapılı ve yer yer killidir. Silttaşları kuvars ve mika taneli iyi boylanmalı, karbonat ve silis çimentolu, laminalı, yer yer demir-oksitli ve çapraz tabakalı olup ince-orta katmanlı kuvarsit ara seviyelidir. Formasyon içinde ender olarak diyabaz, diyorit ve tüfitler gözlenir. Sadan formasyonunda yer yer çapraz tabakalanma, dalga yapısı, girişim kırışığı, çamur çatlağı izlenir. Birim, bazen birkaç metre kalınlıkta rekristalize kireçtaşı katkısında kapsar (MTA, 2002).

Taban ilişkisi izlenmeyen Sadan formasyonu, üstte Alt Kambriyen yaşlı Zabuk formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Kalınlığı 130-1500 m arasında değişir. Fosil saptanamayan formasyonun üzerinde Alt Kambriyen yaşlı kabul edilen Zabuk formasyonunun yer alması dolayısıyla Prekambriyen yaşlı kabul edilmiştir. Birimin sığ deniz-kıyı yakını ortamında çökeldiği belirtilmiştir (Bozdoğan, 1982b).

4.1.10.2. Zabuk formasyonu

Kuvarsitlerle temsil edilen formasyon (Schmidt, 1964a) tarafından adlandırılmıştır. Zabuk formasyonu, orta-kalın, yer yer ince tabakalı, bazen çapraz tabakalı, beyaz, krem, kirli beyaz, kirli sarı, bej, yeşil gri, mor, pembe vb renklerde, sert, genelde kuvars bazen feldspat taneli, orta-kaba dokulu, yer yer paralel laminalı, bazen çapraz laminalı, yer yer ince silttaşı, kiltası ve ince taneli kumtaşı ara seviyeli kumtaşlarından oluşur. Bazı bölgelerde tabanında konglomera seviyesi kapsar. Polijenik olan bu konglomeralar yuvarlak köşeli, çakıllı, kötü boylanmalı ve hamur desteklidir (MTA, 2002).

Kalınlığı 100-600 m arasında değişen Zabuk formasyonu, bazen salt kuvarsitlerle temsil edilirken yer yer konglomera, kuvars kumtaşı, silttaşı vb kırıntılılarla temsil edilir. Alt Kambriyen yaşlı kabul edilen Zabuk formasyonunun üzerinde genelde Orta Kambriyen yaşlı kabul edilen ancak yer yer Geç Alt Kambriyen'i de kapsayan Çaltepe formasyonunun yer alması, yaşının Alt Kambriyen olduğunu yansıtır. Birim kıyı yakını-kıyı ilerisi (dalga kırılması ve sürüklenme zonu)-kıyı gerisi ve /veya sahil ortamında çökelmiştir (Bozdoğan, 1982b).

4.1.11. Yoncalı formasyonu (ta-8-s)

Çıgılı grubu alt kesiminde yer alan oolitik kireçtaşı ve killi kireçtaşları, Perinçek ve ark. (1977; Açıkbaş, 1978'den) tarafından adlandırılmıştır. Birimin tip kesiti Şırnak-Beytüşşebap ilçesinin 20 km güneydoğusundaki Yoncalı köyünde izlenir.

Yoncalı formasyonunun tabanında, masif ve kalın tabakalı, kırılma yüzeyi sarı, gri, aşınma yüzeyi sarımsı gri, sert, düşük-zayıf poroziteli, sık çatlaklı ve çatlaklar kalsit dolgulu oolitik kireçtaşı ve rekristalize kireçtaşları yer alır (MTA, 2002).

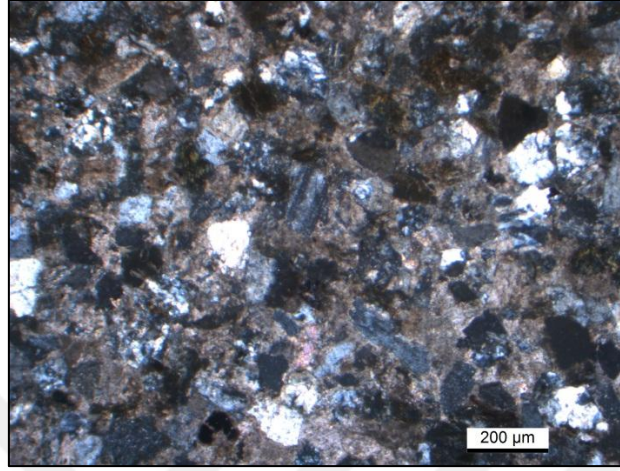
Üst Permiyen yaşlı kayalar üzerinde uyumsuz olarak yer alan Yoncalı formasyonu, üstte Uludere formasyonu ile geçişlidir. Kalınlığı 47-175 metre arasında değişir. Bulakbaşı üyesinin kalınlığı en fazla 46 metredir. Belirgin bir yanıl değişimi izlenmeyen birimin kireçtaşları yanıl yönde killi kireçtaşı ile geçiş gösterir. Yoncalı formasyonu gel/git düzlüğü-sığ deniz ortamında çökelmiştir (Perinçek ve ark., 1991).

4.2. Çalışmada Kullanılan Kayaların Petrografik Özellikleri

KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanlarından alınan numunelerden ince kesitler hazırlanmış ve bu kesitler polarizan mikroskobu ile incelenmiştir. Bunun sonucunda kaya içerisinde gözle görülmeyen mineraller ile yapısal unsurlar belirlenmiştir.

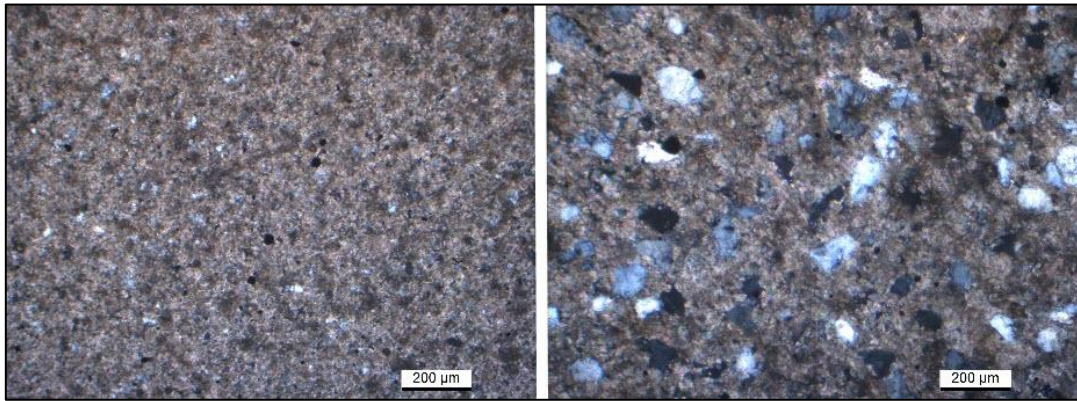
KRBŞ çalışma alanından alınan kayadan yapılan incekesit örneği polarizan mikroskopta incelendiğinde, içerdiği mineral oranları yaklaşık olarak; %75-85 kuvars, %10-15 kalsit parçaları ve %5-10 feldispattan oluştuğu ve az miktarda da klorit mineralleri gözlenmiştir. Ayrıca, kayaç içerisindeki feldispatların kısmen bozunmaya

uğrayıp killeştikleri gözlenmiştir (Şekil 4.7). Kayaç, iri taneli “kuvarsarkoz - kalkarenit” olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.7. KRBSÇ çalışma alanındaki numune ile hazırlanan incekesitin çapraz nikoldeki görüntüsü.

ÇKRC çalışma alanından alınan kayadan yapılan incekesit örneği polarizan mikroskopta incelendiğinde, içerdiği mineral oranları yaklaşık olarak; %7-10 dolomit, %10-15 kalsit, %75-85 mikrit (mikrokristalin kalsit) ile kuvars minerallerinden oluştuğu ve karbonat matrisli olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.8). Kayaç, “çamurtaşı-şeyl” olarak tanımlanmıştır. Bu kaya örneğindeki tanelerin boylarının KRBSÇ örneğindeki tane boylarından daha küçük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.8. ÇKRC çalışma alanındaki numuneden alınan incekesitin çapraz nikoldeki görüntüsü.

4.3. Yapısal Jeoloji

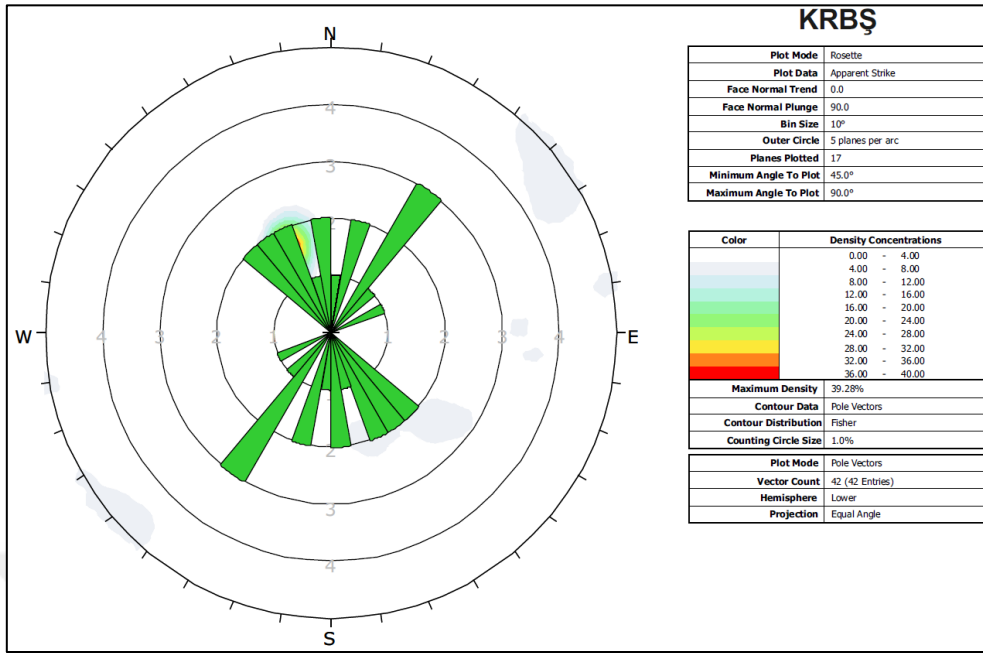
Arazi çalışmaları esnasında KRBSŞ ve ÇKRC çalışma alanlarının eklem ve tabaka yönelimleri belirlenmiştir. Bu eklem ve tabaka yönelimlerine dayalı bölgenin etkin gerilme yönlerinin belirlenmesine yönelik olarak bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

4.3.1. Tabakalar ve eklemler

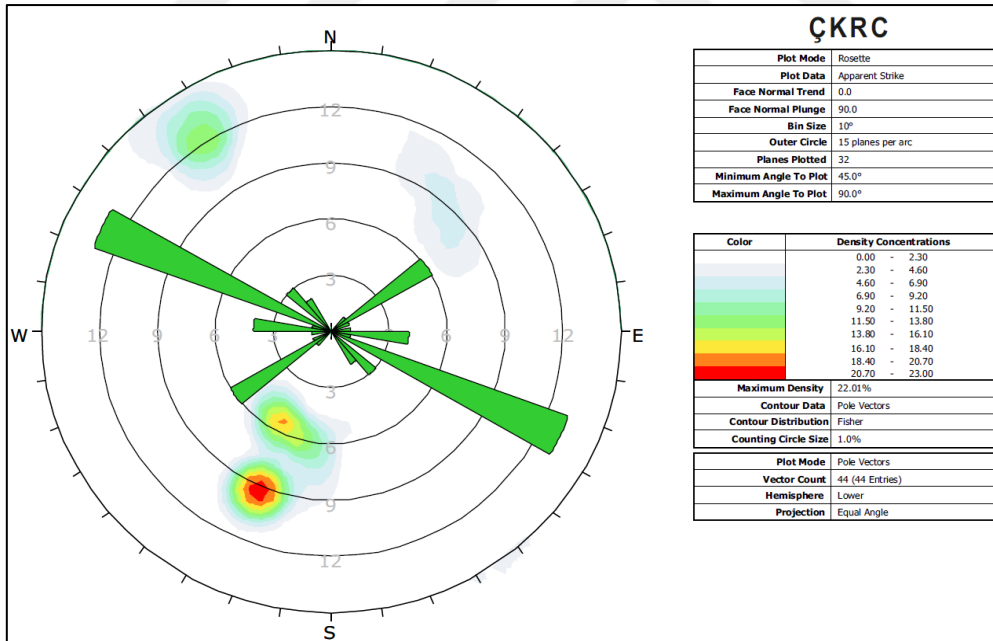
Çalışma alanlarında yapılan ölçümler gül-kontur diyagramlarına aktarılmış ve çalışılan alanlardaki yapısal unsurların genel yönleri, tabaka ve eklemlere ait etkin gerilme yönleri belirlenmiştir. İnceleme alanlarında birçok farklı yönelimli eklemin varlığı tespit edilmiştir. Alınan ölçümler neticesinde, eklemlerin ve tabakaların duruşlarına dayalı gül diyagramları hazırlanmış ve çalışma alanlarının etkin gerilme yönleri ile kontur diyagramları bu doğrultuda belirlenmiştir (Şekil 4.9 - 4.10).

KRBSŞ çalışma alanından alınan eklem ve tabaka ölçümleri, gül-kontur diyagramlarına yerleştirildiğinde (Şekil 4.9), genelde eklem ve tabaka doğrultularının yaklaşık K30°D duruşlu olduğu, tabakalarının yaklaşık açısının 40°, doğrultusunun K65°D ve eğim yönlerinin ise genelde GD yönünde olduğu belirlenmiştir.

ÇKRC çalışma alanından alınan eklem ve tabaka ölçümleri, gül-kontur diyagramlarına yerleştirildiğinde (Şekil 4.10), genelde eklem ve tabaka doğrultularının yaklaşık K70°B duruşlu olduğu, tabakalarının yaklaşık açısının 40°, doğrultusunun K65°B ve eğim yönlerinin ise genelde KD yönünde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.9. KRBS çalışma alanına ait eklem ve tabaka ölçümlerine dayalı gül-kontur diyagramı.



Şekil 4.10. ÇKRC çalışma alanına ait eklem ve tabaka ölçümlerine dayalı gül-kontur diyagramı.

4.4. Çalışma Alanlarının Kaya Kütle Değerlendirmesi (RMR)

KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarındaki arazi çalışmalarında, süreksizliklere ait

dolgu, pürüzlülük, açıklık, aralık ve su durumu gibi özelliklere ait ölçümler yapılmıştır. Her iki çalışma alanındaki kayaç türlerinin kütle özellikleri, Bieniawski (1989) kaya kütle değerlendirme sistemine (RMR) göre yorumlanmış ve RMR kaya kütle kalitesi değeri belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. RMR sınıflama sistemine ait kaya sınıfı puanlaması

Sınıf	I	II	III	IV	V
Tanım	Çok Zayıf Kaya	Zayıf Kaya	Orta Kaya	İyi Kaya	Çok İyi Kaya
Puan	20<	21-40	41-60	61-80	81-100

RQD değerlerini hesaplarken, KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarındaki 1m³'lük şev yüzeyinden ölçülen eklem sayıları (Jv) kullanılmış ve "Eş. 4.1"deki denklemdeki gibi hesaplanmıştır (Şekil 4.11). Bu değerlendirmeye göre KRBS bölgesindeki RQD değeri %45.7, ÇKRC bölgesindeki RQD değeri ise %52.3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

$$RQD=115-3.3Jv \quad (4.1)$$



Şekil 4.11. KRBS ve ÇKRC bölgelerinde incelenen şevlere ait bir görüntü.

Çizelge 4.2. Eklem takımına dayalı RQD değerlerinin, incelen şevler için değerleri

Çalışma Alanı	Jv (eklem/m ³)	% RQD Değeri
KRBŞ	21	45.7
ÇKRC	19	52.3

KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanlarından RMR puanlaması yapabilmek amacıyla ölçümler alınmıştır. Ölçümler sırasında, şevlerin genel özelliklerini yansıtacak alanlardan ölçümlerin alınmasına özen gösterilmiştir. Elde edilen bu veriler ile RMR puanları hesaplanmış ve kaya kalitesi sınıfı ortaya konulmuştur. Yapılan değerlendirmelerde, süreksizlik özellikleri gerek KRBŞ gerekse ÇKRC çalışma alanları için değişkenlik gösterse de genel olarak KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanlarının her ikisi de “az pürüzlü yüzey ve az bozunmuş duvar kayası” niteliğindedir. Her iki çalışma alanı için su durumu, yeraltı suyu ve mevsimsel su seviyesine göre değişkenlik gösterebileceğinden “nemli” olarak nitelendirilmişlerdir. RMR sistemi kullanılarak sınıflama parametreleri ve bunlara bağlı hesaplanan puanlara göre, KRBŞ ve ÇKRC çalışma alanları “orta kaya” kaya kütlesi özelliği taşımaktadırlar (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Çalışma alanlarındaki kayaların kaya kütle sınıflama parametreleri, RMR puanları ve kaya sınıfı

Çalışma Alanı	UCS (MPa)	RQD (%)	Süreksizlik aralığı (mm)	Süreksizlik durumu	Yeraltı suyu	RMR Puanı	RMR Sınıfı
KRBŞ	Ortalama 75.28	45.7	~70	Az pürüzlü yüzey Az bozunmuş duvar kayası	Nemli	48	III- Orta Kaya
ÇKRC	Ortalama 108.93	52.3	~50	Az pürüzlü yüzey Az bozunmuş duvar kayası	Nemli	53	III- Orta Kaya

Bu sonuçlar, kaya içi mühendislik çalışmalarında kullanılmak üzere oluşturulacak projelerde, süreksizliklerin eğim ve eğim yönü etkisi ile proje türü göz önünde bulundurularak yapılacak düzeltmelerin sonrasında, nihai RMR puanı ile kullanılmalıdır.

4.5. İncelenen Birimlerin Fiziksel Özellikleri

İncelenen şevlerden alınan örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak, KRBS çalışma alanından 17 adet ve ÇKRC çalışma alanından ise 8 adet silindirik karot numuneleri alınmıştır. Her iki çalışma alanından alınan bu numunelerin, kuru birim hacim ağırlık (KBHA), doymun birim hacim ağırlık (DBHA), kütlece su emme (KSE), görünür porozite (n) ve ultrasonik dalga hızı değerleri ISRM (2007; 2014) ve TS 699 (2009)'ye göre belirlenmiştir (Çizelge 4.4–4.5). KRBS çalışma alanından alınan her bir karot K harfi ile, ÇKRC çalışma alanından alınan her bir karot ise Ç harfi ile isimlendirilmiştir.

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi KRBS çalışma alanından alınan numunelere uygulanan fiziksel deneyler sonucu, kuru birim hacim ağırlık ve doymun birim hacim ağırlık değerleri birbirine yakın aralıklardadır. KBHA değerleri ortalama 24.58 kN/m^3 , DBHA değerleri ise ortalama 25.13 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Kütlece su emme ortalama değeri %2.23, görünür porozite değeri ise ortalama %5.55 olarak belirlenmiştir. Kayalar poroziteye göre sınıflandırıldığında, KRBS çalışma alanındaki kayaların ortalama %5.55 ile oldukça boşluklu kaya grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.5'de görüldüğü gibi ÇKRC çalışma alanından alınan numunelere uygulanan fiziksel deneyler sonucu, KBHA değerleri ve DBHA değerleri birbirine yakın aralıklardadır. KBHA değerleri ortalama 26.30 kN/m^3 , DBHA değerleri ise ortalama 26.39 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Kütlece su emme ortalama değeri %0.34, görünür porozite değeri ise ortalama %0.92 olarak belirlenmiştir. Kayalar poroziteye göre sınıflandırıldığında, ÇKRC çalışma alanındaki kayaların ortalama %0.92 ile az boşluklu kaya grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. KRBSÇ çalışma alanındaki karot örneklerine ait fiziksel özellik değerleri

Örnek Türü	Ultrasonik		Ultrasonik		K.B.H.A (kN/m ³)	D.B.H.A (kN/m ³)	Görünür Porozite (n) (%)	K.S.E. %
	Hız Kuru (m/s)		Hız Doygun (m/s)					
	V _p	V _s	V _p	V _s				
K1	3282	2589	3639	2781	24.20	24.86	6.77	2.74
K2	3917	2862	4502	3148	24.98	25.37	3.93	1.54
K3	3081	2421	3376	2310	23.79	24.57	7.94	3.27
K4	3739	2883	4331	3205	24.62	25.07	4.58	1.82
K5	3249	2473	3565	2663	24.23	24.92	6.97	2.82
K6	3316	2555	3593	2918	24.48	25.14	6.72	2.69
K7	3856	2772	4453	3017	25.87	26.24	3.81	1.45
K8	3896	3038	4472	3231	24.74	25.14	4.01	1.59
K9	3862	2800	4507	3141	24.92	25.37	4.61	1.81
K10	3864	2708	4498	3379	24.88	25.31	4.42	1.74
K11	3359	2521	3668	2818	24.27	24.90	6.44	2.60
K12	3203	2599	3374	2873	24.00	24.70	7.19	2.94
K13	3342	2490	3799	2906	24.25	24.93	6.90	2.79
K14	3299	2462	3704	2801	24.20	24.87	6.84	2.77
K15	3708	2769	4221	2935	24.65	25.12	4.74	1.89
K16	3926	2743	4460	3681	25.02	25.39	3.80	1.49
K17	3713	2793	4218	3425	24.79	25.25	4.71	1.87
Genel Ortalama	3565	2675	4022	3014	24.58	25.13	5.55	2.23

Çizelge 4.5. ÇKRC çalışma alanındaki karot örneklerine ait fiziksel özellik değerleri

Örnek Türü	Ultrasonik		Ultrasonik		K.B.H.A (kN/m ³)	D.B.H.A (kN/m ³)	Görünür Porozite (n) (%)	K.S.E. %
	Hız Kuru (m/s)		Hız Doygun (m/s)					
	V _p	V _s	V _p	V _s				
Ç1	5385	3575	5753	3657	26.11	26.23	1.19	0.45
Ç2	4981	3460	5513	3817	26.09	26.23	1.46	0.55
Ç3	5356	3577	5845	3637	26.36	26.44	0.78	0.29
Ç4	5100	3416	5546	4204	26.10	26.21	1.14	0.43
Ç5	4880	2881	5489	2801	26.42	26.50	0.78	0.29
Ç6	5385	3204	5909	2944	26.47	26.53	0.54	0.20
Ç7	4691	2827	5723	2741	26.33	26.42	0.91	0.34
Ç8	5455	3014	5971	2849	26.50	26.56	0.54	0.20
Genel Ortalama	5154	3244	5718	3331	26.30	26.39	0.92	0.34

İnceleme alanlarındaki fiziksel sonuçlar değerlendirildiğinde KRBS biriminin porozitesinin, ÇKRC biriminden daha yüksek, KBHA ve DBHA değerlerinin ise ÇKRC birimine oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir.

4.6. İncelenen Birimlerin Mekanik Özellikleri

Mekanik deneyler kapsamında, çalışma alanlarından alınan örneklerin, laboratuvarında tek eksenli basınç dayanımı değerleri ve arazide Schmidt Çekici ile süreksizlik düzlemlerinin duvar yüzeyi dayanımı değerleri belirlenmiştir.

4.6.1. Süreksizlik düzlemlerinin yüzey dayanımı değerleri

Çalışma alanlarındaki birimlerin süreksizlik yüzeylerindeki dayanım değerini elde etmek amacıyla, L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Schmidt çekici geri sıçrama değerleri (SHR) süreksizlik düzlemlerinin hem taze hem de ayrılmış yüzeyleri için belirlenmiştir. Her iki çalışma alanındaki süreksizlik düzlemlerinden 20'şer adet ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin en büyük ve en küçük 5 tanesi atılarak, geriye kalan değerlerin ortalaması kullanılmıştır ISRM (2007). Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen grafik kullanılarak, ortalama kuru birim hacim ağırlık ve SHR değerine karşılık gelen tek eksenli basınç dayanım değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

KRBS çalışma alanındaki SHR değerleri, taze yüzey için 30-37 arasında, ayrılmış yüzey için 30-33 arasında ölçülmüş olup, genel ortalama SHR değeri, taze yüzey için 34.0, ayrılmış yüzey için ise 31.6 olarak hesaplanmıştır. ÇKRC çalışma alanındaki SHR değerleri, taze yüzey için 52-59 arasında, ayrılmış yüzey için 43-50 arasında ölçülmüş olup, genel ortalama SHR değeri, taze yüzey için 54.6, ayrılmış yüzey için ise 45.1 olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler ve hesaplamalar sonucu elde edilen süreksizlik düzlemlerinin tek eksenli basınç dayanım (UCS) değerleri, KRBS'da taze yüzey için 45-61 MPa aralığında, ayrılmış yüzey için 45-51 MPa aralığında ve ortalama taze yüzey için 53.5 MPa, ayrılmış yüzey için ise 46.1 MPa olarak hesaplanmıştır.

ÇKRC'da ise, taze yüzey için 154-233 MPa aralığında, ayrılmış yüzey için 95-142 MPa aralığında ve ortalama taze yüzey için 182.4 MPa, ayrılmış yüzey için ise

108.8 MPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Çalışma alanlarında ölçülen SHR değerleri ve bu değerlere göre bulunan UCS değerleri

Çalışma Alanı	Ölçüm Noktası	Değişkenler	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
KRBSŞ	10	Taze yüzey SHR değeri	30	37	34.0
		UCS (MPa)	45	61	53.5
	10	Ayrılmış yüzey SHR değeri	30	33	31.6
		UCS (MPa)	45	51	46.1
ÇKRC	10	Taze yüzey SHR değeri	52	59	54.6
		UCS (MPa)	154	233	182.4
	10	Ayrılmış yüzey SHR değeri	43	50	45.1
		UCS (MPa)	95	142	108.8

Gökçeoğlu (1997) tarafından modifiye edilmiş, taze ve bozunmaya uğramış süreksizlik yüzeylerine ait bozunma indeksleri “Eş. 4.2”deki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$W_c = \frac{R_f}{R_w} \quad (4.2)$$

Burada;

R_f : taze (bozunmamış), R_w : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmidt geri sıçrama değerleridir. ISRM (1981) tarafından tanımlanan bozunma sınıflarından ilk dördü esas alınarak, W_c değerlerine göre bozunma sınıflaması, KRBSŞ çalışma alanı için “az bozunmuş”, ÇKRC çalışma alanı için ise “bozunmamış (taze)” olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Bozunma indeksine (W_c) göre eklem 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

4.6.2. Numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Tek eksenli basınç dayanımı değerleri (UCS), Schmidt geri sıçrama testi yardımıyla dolaylı yoldan bulunmasının yanı sıra, KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarından el karotiyeri ile alınan numunelere uygulanan tek eksenli basınç deneyi ile doğrudan yöntem kullanılarak da belirlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarına ait silindirik örnekler üzerinde uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait görüntüler.

KRBS numunelerinin kuru UCS değerleri, en büyük 98.18 MPa, en küçük 38.51 MPa ve ortalama UCS değeri 75.28 MPa olarak belirlenmiştir. ÇKRC numunelerinin kuru UCS değerleri ise, en büyük 142.95 MPa, en küçük 89.90 MPa ve ortalama 108.93 MPa olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Deneye tabi tutulan silindirik numunelerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Çalışma Alanı	Deney Sayısı	Değişkenler	En Düşük	En Yüksek	Ortalama
KRBS	5	UCS (MPa)	38.51	98.18	75.28
ÇKRC	4	UCS (MPa)	89.90	142.95	108.93

Bu ortalama değerler Deere ve Miller (1966)'ya göre (Çizelge 4.9) değerlendirildiğinde, KRBS bölgesinden alınan kayaların “orta dayanımlı”, ÇKRC bölgesinden alınan kayaların ise “yüksek dayanımlı” olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre kaya dayanım sınıflama niteliği (Deere ve Miller, 1966)

Sınıfı	Niteliği	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
A	Çok yüksek dayanımlı	<200
B	Yüksek dayanımlı	100-200
C	Orta dayanımlı	50-100
D	Düşük dayanımlı	25-50
E	Çok düşük dayanımlı	>25

Çizelge 4.10'da çalışma alanlarındaki kayalar için farklı yöntemlerle elde edilen UCS değerleri verilmiştir. Kayalarda basınç dayanımını belirlemenin en doğru yöntemi, doğrudan yöntem olan tek eksenli basınç dayanımıdır. Schmidt çekici, UCS değerine dolaylı yoldan ulaşmada pratik bir yöntem olmakla birlikte, kesin sonuçların elde edilemediği ve kaya türüne göre birçok farklı yaklaşımın ortaya çıktığı bir yöntemdir. Schmidt çekici ile KRBSÇ çalışma alanından alınan ölçümlerden elde edilen UCS değerleri, Deere ve Miller (1966)'a göre değerlendirildiğinde, kayanın düşük dayanımlı, ÇKRC numunelerinin ise yüksek dayanımlı kaya grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Doğrudan yöntemle hesaplanan sonuçlara göre KRBSÇ numuneleri orta dayanımlı, ÇKRC numuneleri ise yüksek dayanımlı kaya grubunda yer almaktadır. Dönüştürülmüş Schmidt çekici sonuçları ve doğrudan yöntem sonuçları birlikte değerlendirilecek olursa, her iki yöntemle ölçülen değerlerin benzer olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.10. İncelenen örneklerden elde edilen ortalama tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin karşılaştırılması

Çalışma Alanı	Ortalama Silindir Örnek UCS (MPa)	Ortalama Ayrışmış Yüzey Schmidt UCS (MPa)
KRBSÇ	75.28	44.0
ÇKRC	108.93	108.80

4.7. Tilt Testi ile Temel Sürtünme Açısı (ϕ_b) Değerinin Belirlenmesi

Alejano ve ark. (2018) tarafından açıklanan yöntem ile Tilt testi üzerinden temel sürtünme açıları (ϕ_b) değerleri belirlenmiştir. KRBS çalışma alanından alınan 54 mm çapındaki 17 ve ÇKRC çalışma alanlarından alınan 8 karot numunesi üzerinde boyuna tilt testi yapılmıştır. Her bir deney üç silindirik numune kullanılarak (iki numune altta bir numune üstte olacak şekilde) (Bkz. Şekil 3.15) tilt sehпасı yardımı ile hem kuru hem de doygun halde kaydırılmış ve kayma değerleri (β) kaydedilmiştir. Kaydırma gerçekleştirildikten sonra, numune yerleri ve yüzeyleri değiştirilerek, her bir numune, farklı iki karot örneğinin birbirine temas etmesini sağlayarak oluşturulan yeni kayar hat boyunca 5 kez tekrar edilmiştir. Alejano ve ark. (2018) tarafından önerilen kayma anındaki eğim olan β açısı tespit edilerek, temel sürtünme açısı (ϕ_b) değeri hesaplanmıştır.

KRBS bölgesinden alınan karotlara ait kuru β değerleri, en küçük 37° , en büyük 42° ve ortalama 39° ölçülmüştür. Elde edilen doygun β değerleri de kuru değerler ile aynı açılara sahip olup, en küçük 37° , en büyük 42° ve ortalama 39° olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Diğer çalışma alanı olan ÇKRC bölgesinden alınan karotlara ait kuru β değerleri, en küçük 34° , en büyük 39° ve ortalama 36° ölçülmüştür. Doygun haldeki β değerleri ise, en küçük 36° , en büyük 39° ve ortalama 38° olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Deneye tabi tutulan örneklerden elde edilen kuru ve doygun haldeki tilt değerleri

Çalışma Alanı	Kuru Tilt (min.)	Kuru Tilt (max.)	Kuru Tilt (ort.)	Doygun Tilt (min.)	Doygun Tilt (max.)	Doygun Tilt (ort.)
KRBS	37°	42°	39°	37°	42°	39°
ÇKRC	34°	39°	36°	36°	39°	38°

β değerleri kullanılarak Alejano ve ark. (2018)'na göre hesaplanan ϕ_b değeri, KRBS'nin kuru numuneleri için en düşük 35° , ÇKRC'nin kuru numuneleri için ise, 32° olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.12). Hesaplanan ϕ_b ve taze ve ayrılmış yüzeye ait

Schmidt çekici geri sıçrama değerlerini kullanarak “Bkz. Eş. 3.13” kuru ve doymuş koşullardaki örnekler için ϕ_r değerleri de hesaplanmıştır (Çizelge 4.12). Hesaplanan tüm değerler sonucunda, en düşük sürtünme açısı KRBS için 33° , ÇKRC için 31° olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu en düşük sürtünme açısı değerleri kinematik analizde kullanılmak üzere en kötü senaryo için seçilmiştir.

Çizelge 4.12. Deneye tabi tutulan örneklerden elde edilen en düşük kayma açılarına bağlı, en düşük temel sürtünme açıları ve en düşük rezidüel sürtünme açıları

Çalışma Alanı	$\beta_{(kuru)}$	$\beta_{(doymuş)}$	$\phi_{b(kuru)}$	$\phi_{b(doymuş)}$	$\phi_{r(kuru)}$	$\phi_{r(doymuş)}$
KRBS	39°	39°	36°	35°	34°	33°
ÇKRC	36°	38°	32°	34°	31°	32°

4.8. Barton-Choubey Yenilme Ölçütüne Göre İncelenen Şevlerdeki Kesme Dayanımının Değerlendirilmesi

KRBS ve ÇKRC çalışma alanlarında yapılan incelemeler neticesinde elde edilen veriler kullanılarak Barton-Choubey (1977) yenilme ölçütüne göre yenilme düzlemlerindeki kesme (makaslama) gerilmesi (τ) hesaplanmıştır. Bu ölçütte, taze ve ayrılmış yüzeylere ait Schmidt çekici geri sıçrama değerleri (r ve R), tilt açısı (β), temel sürtünme açısı (ϕ_b), rezidüel sürtünme açısı (ϕ_r) değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, tel profilmetre ile belirlenen süreksizlik düzlemi yüzeyindeki pürüzlülük (JRC) ve eklem yüzeyinin basınç dayanım değerleri (JCS) de parametre olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Her iki çalışma alanı için laboratuvar ve arazide belirlenen değerler (Çizelge 4.13) Barton ve Choubey (1977) yenilme ölçütünde “Bkz. Eş. 3.11” yerlerine koyularak süreksizlik düzlemlerinde olabilecek farklı normal gerilme değerleri için yenilme zarfı çizilmiştir (Şekil 4.13 – Şekil 4.14).

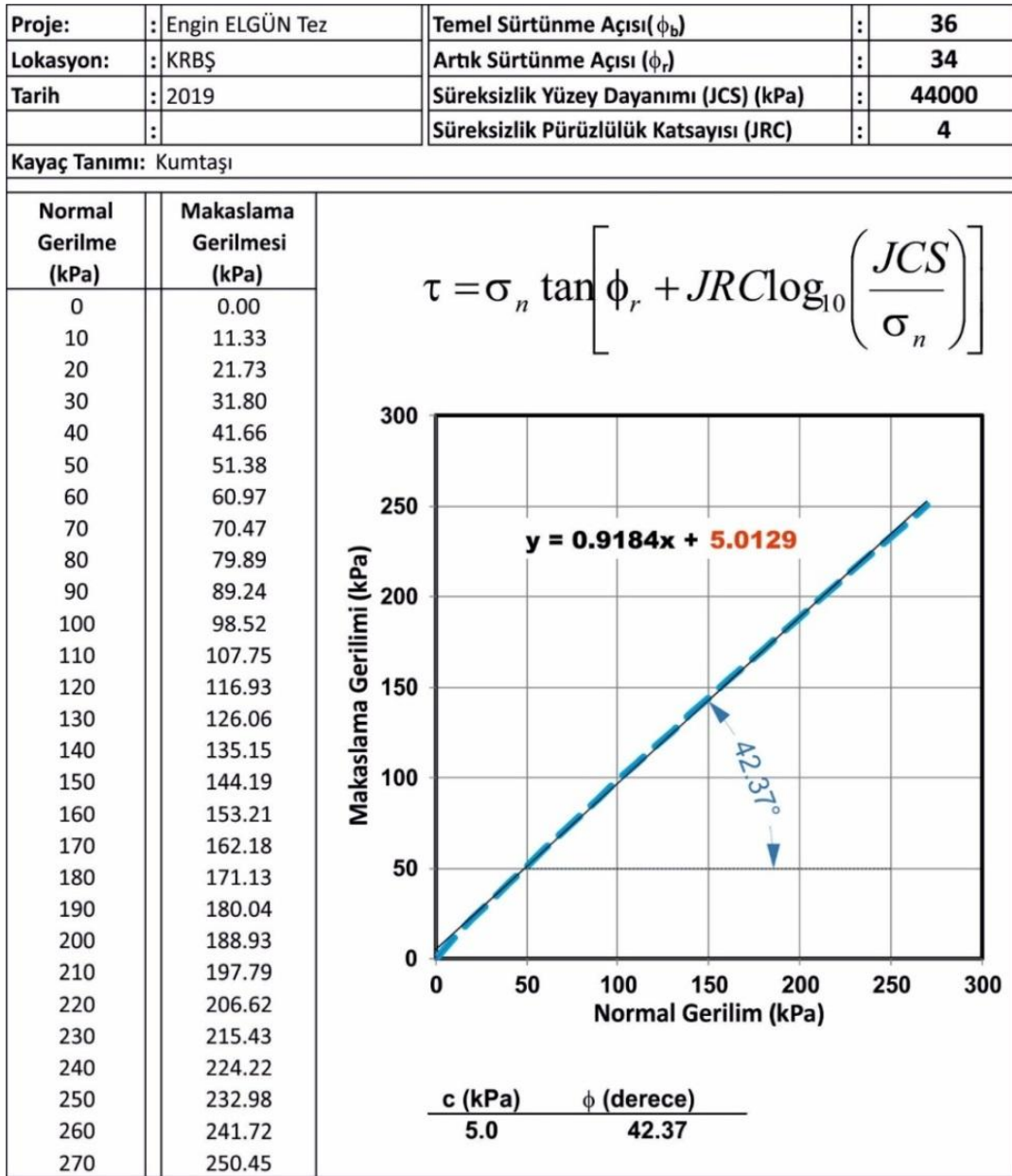
Her iki şeve ait yenilme eğrileri incelendiğinde KRBS şevindeki süreksizlik düzlemlerindeki makaslama (kesme) gerilmesi değerlerinin az da olsa ÇKRC şevindeki süreksizlik düzlemlerindeki makaslama yenilmelerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.15). Her iki şevde de JRC değerleri eşit alınmasına ve ÇKRC'nın JCS değerlerinin daha yüksek olmasına rağmen bu farkın oluşmasındaki en önemli

etkenin temel sürtünme açısı olduğu belirlenmiştir. Her iki şevdeki yaklaşık 3 derecelik fark yenilme düzlemlerindeki kesme dayanımını Barton-Choubey yenilme ölçütünde en çok etkileyen parametre olmuştur. Her iki malzeme incelendiğinde KRBS malzemesindeki kalsit tanelerinin, ÇKRC malzemesindeki tanelerden daha iri olması bu farkın oluşmasında etkili olmuştur. Bu sonuçlara bağlı olarak, Barton-Choubey ölçütündeki en önemli testin, tilt testi olduğunu, tilt testine tabi tutulacak örneklerin doygunluk, ayrışma ve mineralojik durumlarının oldukça önemli olduğunu, ayrıca analiz sonuçlarını etkilediğini göstermektedir.

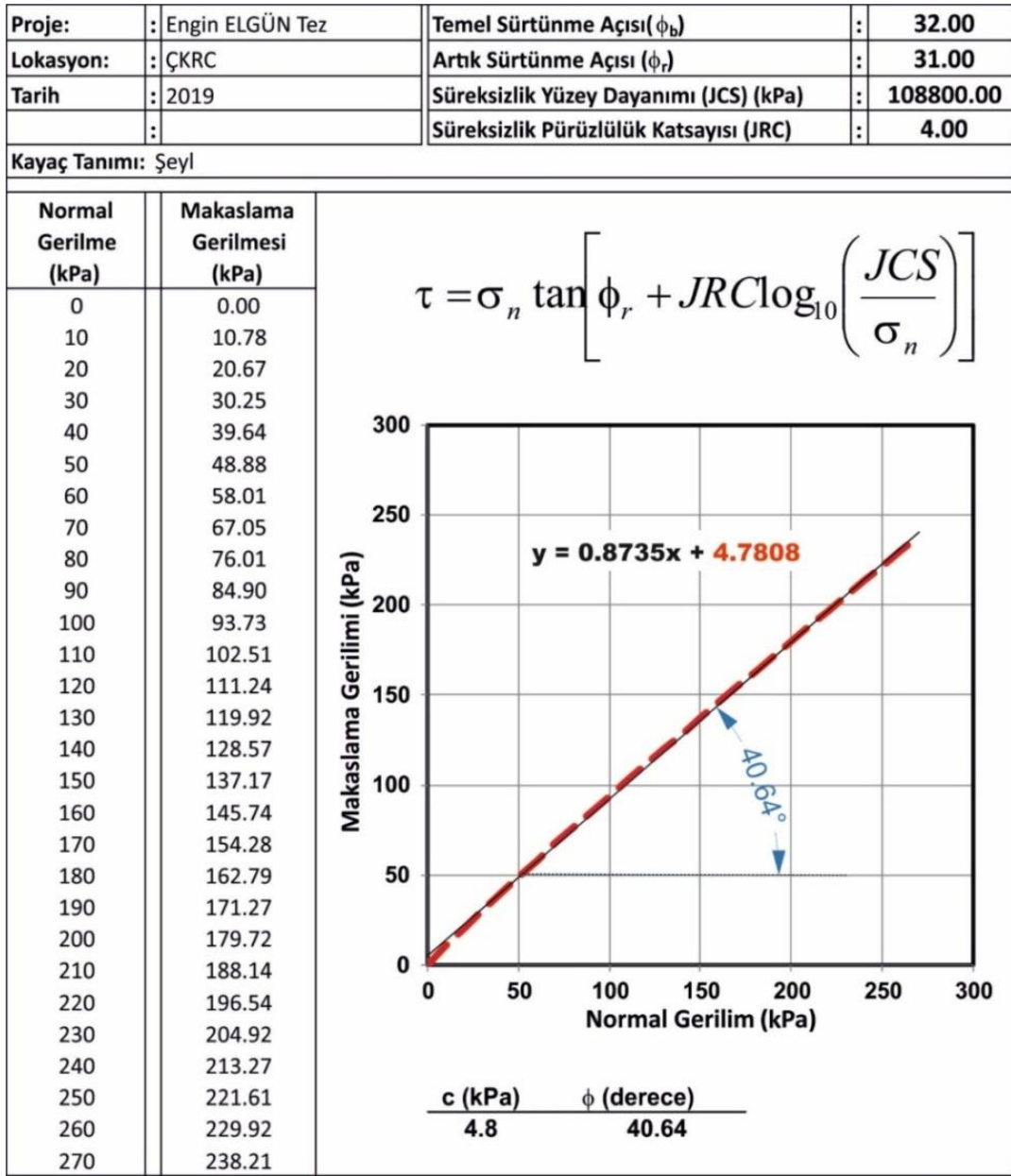
Cruden ve Hu, (1988), yaptıkları çalışmada, artmış dolomit içeriğinin saf karbonat kayaları için temel sürtünme açısını azalttığını, büyük tanecik içeren boyutlarının ise temel sürtünme açısını artırdığını belirtmişlerdir. Cruden ve Hu, (1988)'nin ulaştıkları bu sonuç, tez kapsamında elde ettiğimiz sonucu destekler niteliktedir.

Çizelge 4.13. Bu çalışmada Barton-Choubey yenilme ölçütünde kullanılan ortalama değerler

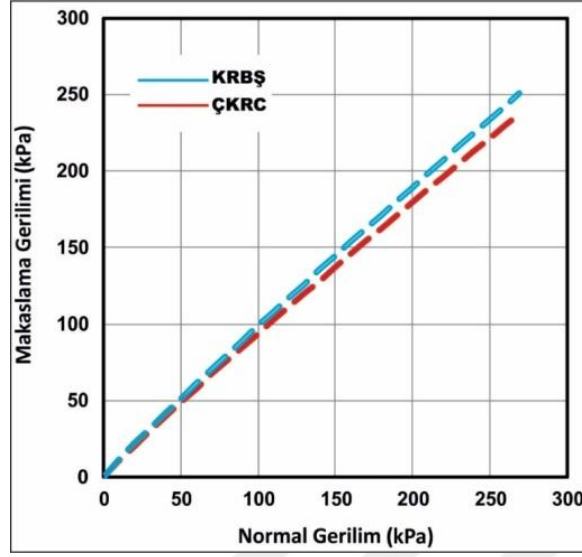
Çalışma Alanı	Ayrılmış yüzey SHR değeri (r)	Taze yüzey SHR değeri (R)	Tilt Açısı (β)	Temel Sürtünme Açısı (ϕ_b)	Rezidüel Sürtünme Açısı (ϕ_r)	JRC	JCS (MPa)
KRBS	32	34	40°	36°	34°	4	44.0
ÇKRC	45	55	36°	32°	31°	4	108.8



Şekil 4.13. KRBS çalışma alanındaki süreksizlere ait normal – makaslama gerilme eğrisi.



Şekil 4.14. ÇKRC çalışma alanındaki süreksizlere ait değişen normal – makaslama gerilme eğrisi.



Şekil 4.15. KRBS ve ÇKRC süreksizlik düzlemlerindeki yenilme eğrileri.

Çağlan ve Tosun, (2016), yaptıkları çalışmada, Barton tarafından önerilen yenilme ölçütünde normal gerilme-makaslama zarfının eğrisel olması gerektiğini, ancak elde edilen zarfın doğrusal olduğunu, bunun nedeninin ise pürüzlülüğün azaldıkça makaslama gerilmelerinin eğriselden doğrusala doğru yöneldiğini belirtmişlerdir. Bu tez kapsamında yapılan süreksizlik düzlemlerindeki yenilme eğrileri, Çağlan ve Tosun, (2016)'un çalışmasını destekler niteliktedir.

4.9. Doğrudan Makaslama Deneyi Sonuçları

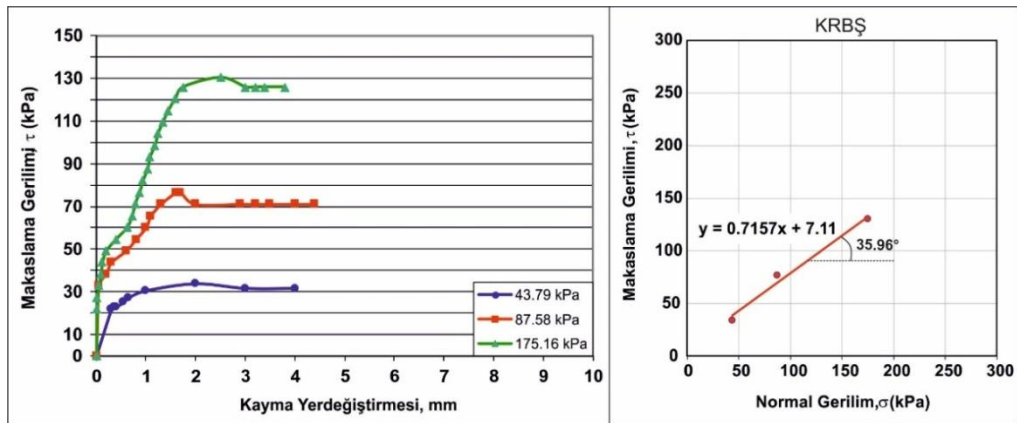
Arazide süreksizlik düzlemini kesecek şekilde alınan karot numuneleri üzerinde doğrudan makaslama testi yapılmıştır. Bu test ISRM (2014) ölçütüne göre yapılmıştır. Test doğal süreksizlik yüzeyinde farklı normal gerilmeler altında en az 6 numune üzerinde yapılmış (Şekil 4.16), fakat değerlendirme aşamasında sonuçları mantıklı çıkan 3 numune yüzeyine ait normal (σ) ve makaslama tepe noktası (τ) değerlerine göre (Çizelge 4.15) Mohr-Coulomb yenilme zarfları çizilmiştir (Şekil 4.17 – 4.18). Yapılan analiz sonucunda KRBS süreksizlik düzleminin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri, Barton ölçütünden elde edilen değerlerde olduğu gibi ÇKRC süreksizlik düzlemlerinden az da olsa daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.14. Bu çalışmada Mohr-Coulomb yenilme zarfından elde edilen değerler

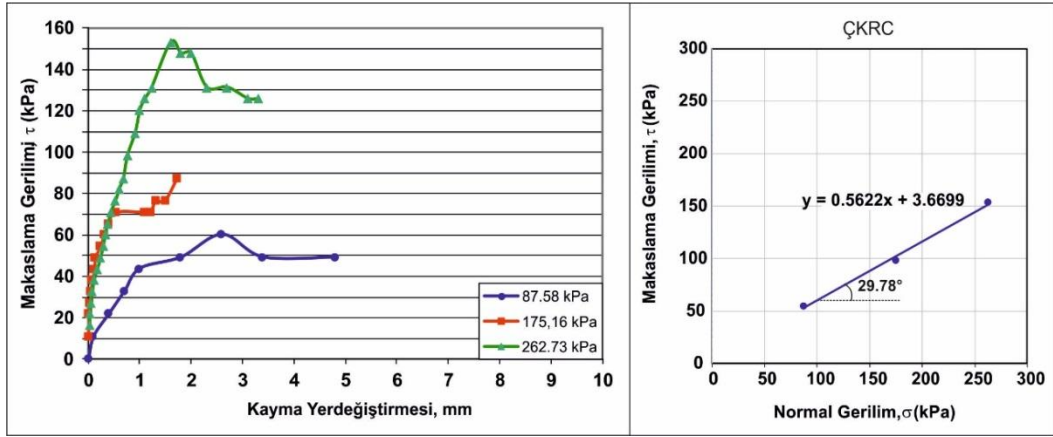
Çalışma Alanı	σ_1 (kPa)	σ_2 (kPa)	σ_3 (kPa)	τ_1 (kPa)	τ_2 (kPa)	τ_3 (kPa)	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (derece)
KRBŞ	43.79	87.58	175.16	33.92	76.59	130.21	7	36°
ÇKRC	87.58	175.16	262.73	54.71	98.47	153.18	4	30°



Şekil 4.16. KRBŞ ve ÇKRC şevlerinden makaslama deneyi için alınan numunelere ait bir görüntü.



Şekil 4.17. KRBŞ kaya kütleindeki süreksizlik düzleminde elde edilen doğrudan makaslama deney sonucu.



Şekil 4.18. ÇKRC kaya kütesindeki süreksizlik düzleminde elde edilen doğrudan makaslama deney sonucu.

4.10. Düzlemsel Yenilmenin Belirlenmesi

Kaya kütlelerini oluşturan fay, çatlak, eklem ve tabakalanma gibi düzlemsel süreksizlik yüzeyleri boyunca yamaç veya şev eğimi yönündeki hareketine, düzlemsel kayma adı verilir (Şekil 4.19). Kayan kütle yaklaşık olarak süreksizlik düzleminin genel eğimine paralel yönde hareket eder. Bu tür duraysızlıkta hareket eden kütle için makaslama dayanımı, kaymanın gelişeceği yüzeyin makaslama dayanımından çok yüksektir (MTA, 2012).

Düzlemsel kaymanın oluşabilmesi için birçok geometrik koşulun bir araya gelmesi gerekmektedir (Şekil 4.20).

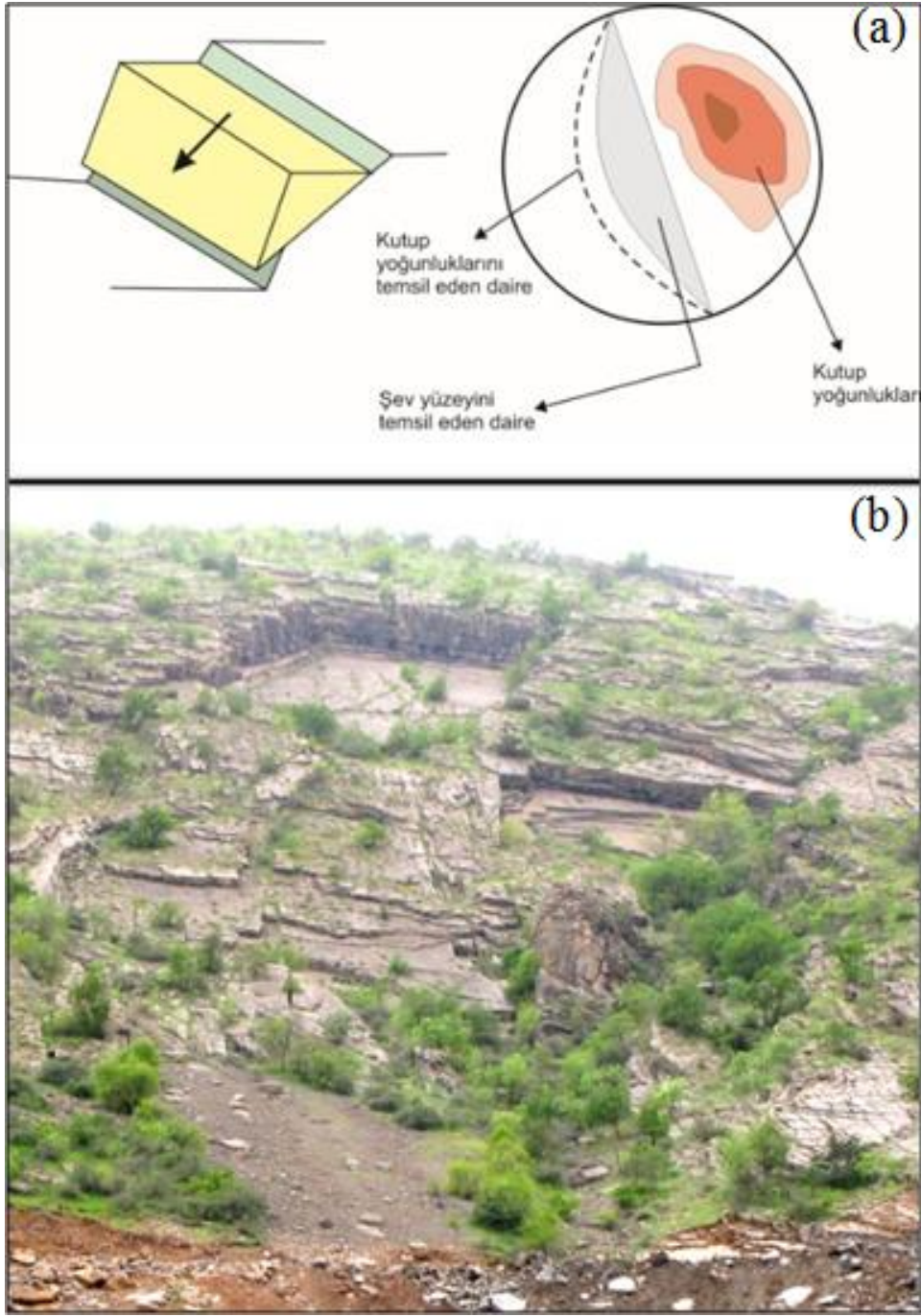
Bunlar;

-Kayma düzleminin doğrultusu şev aynasına paralel ya da paralele yakın olmalıdır (yaklaşık $\pm 20^\circ$).

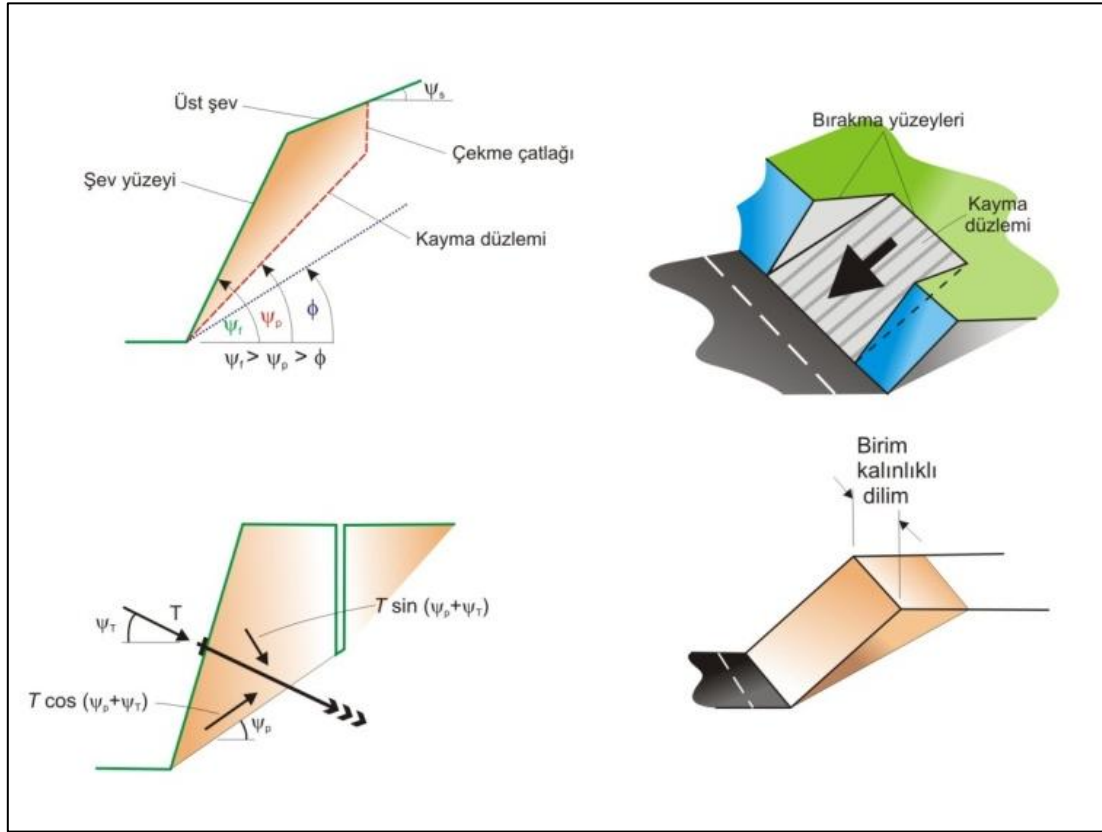
-Şev eğiminin (ψ_f) kayma düzlemi eğiminden (ψ_p), kayma düzlemi eğiminin ise bu yüzeyin sürtünme açısından (ϕ) büyük olması gerekmektedir ($\psi_f > \psi_p > \phi$).

-Kayan kütle için iki tarafında kaymaya karşı direnç gösteren yan yüzeyler bulunmamalıdır.

Belirtilen bu üç koşul sağlandığı takdirde, düzlemsel kayma kinematik anlamda gerçekleşir (MTA, 2012).



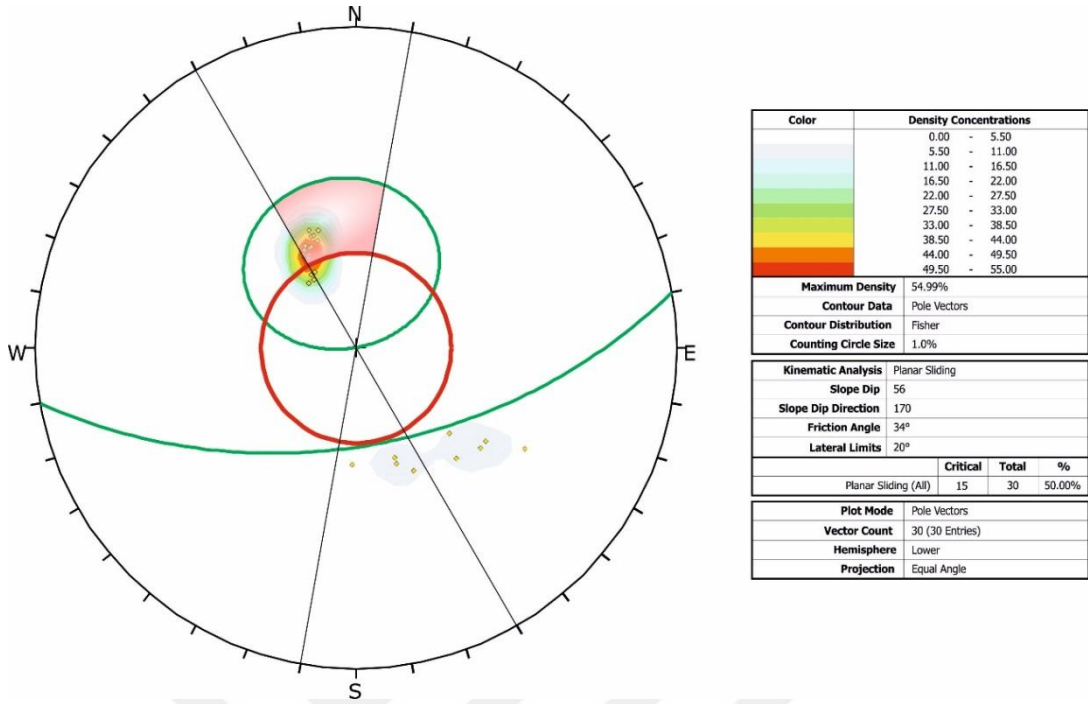
Şekil 4.19. Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bunların stereonette gösterimi (a), ÇKRC çalışma alanında gözlenen düzlemsel kayma yenilmesi (b).



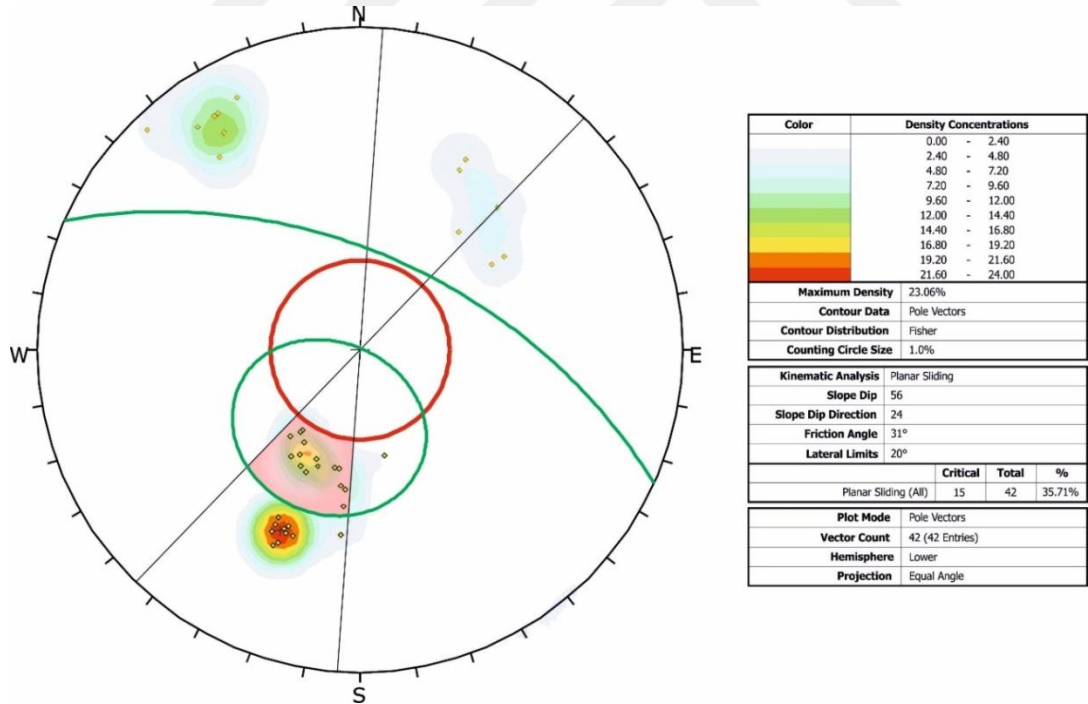
Şekil 4.20. Düzlemsel kaymanın oluşabilme koşuluna ait duraysızlık türleri (Hoek ve Bray, 1977).

4.10.1. Kinematik analiz sonuçları

Her iki çalışma alanında yapılan gözlemler sonucunda, kaymanın düzlemsel olduğu belirlenmiştir. Her iki şevde ölçülen süreksizlik düzlemleri, mevcut şev yönü, şev açısı ve en kritik sürtünme açısı ile birlikte kinematik olarak da incelendiğinde, genel yenilme tipinin düzlemsel olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21 – 4.22). Yapılan kinematik analizler sonucunda, KRBS şevinde düzlemsel kaymaya neden olan ana süreksizlik düzlemlerinin genel eğim yönünün 158 ve eğim açısının 38 derece (Şekil 4.21), ÇKRC şevinde ise genel eğim yönünün 24 ve eğim açısının 63 derece olduğu (Şekil 4.22) belirlenmiştir (Çizelge 4.16).



Şekil 4.21. KRBS şevinde düzlemsel kayma için yapılan kinematik analiz sonucu.



Şekil 4.22. ÇKRC şevinde düzlemsel kayma için yapılan kinematik analiz sonucu.

Çizelge 4.15. Kinematik analizde kullanılan değerler ve kinematik analiz sonucu

Çalışma Alanı	Veri Sayısı	Şev Yönü	Şev Açısı	Sürtünme Açısı (ϕ)	Yenilme Yönü	Yenilme Açısı
KRBŞ	30	170	56	34	160	40
ÇKRC	42	24	56	31	26	40

4.10.2. Kritik düzlemlerdeki limit denge analizleri

Her iki şevde deneysel sonuçlar ve ölçütlere göre elde edilen parametreler kullanılarak, sahada kaydığı gözlenen düzlemler için limit denge analizleri yapılmıştır. Düzlemsel kayma için yapılan analitik çözümlerde, RocPlane (Rocscience) yazılımı kullanılmıştır. Duraylılık analizleri, limit denge kavramına dayanan iki boyutlu deterministik analiz yöntemleri ile yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, JCS hariç KRBŞ noktasındaki süreksizlik düzlemi üzerinden elde edilen tüm sonuçların, ÇKRC'den yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17). Deterministik analizler, depremsiz ve depremlı koşullara göre, bu çalışmada elde edilen tüm parametreler üzerinden yapılmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.16. KRBŞ ve ÇKRC alanlarından alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen parametrelerin karşılaştırılması

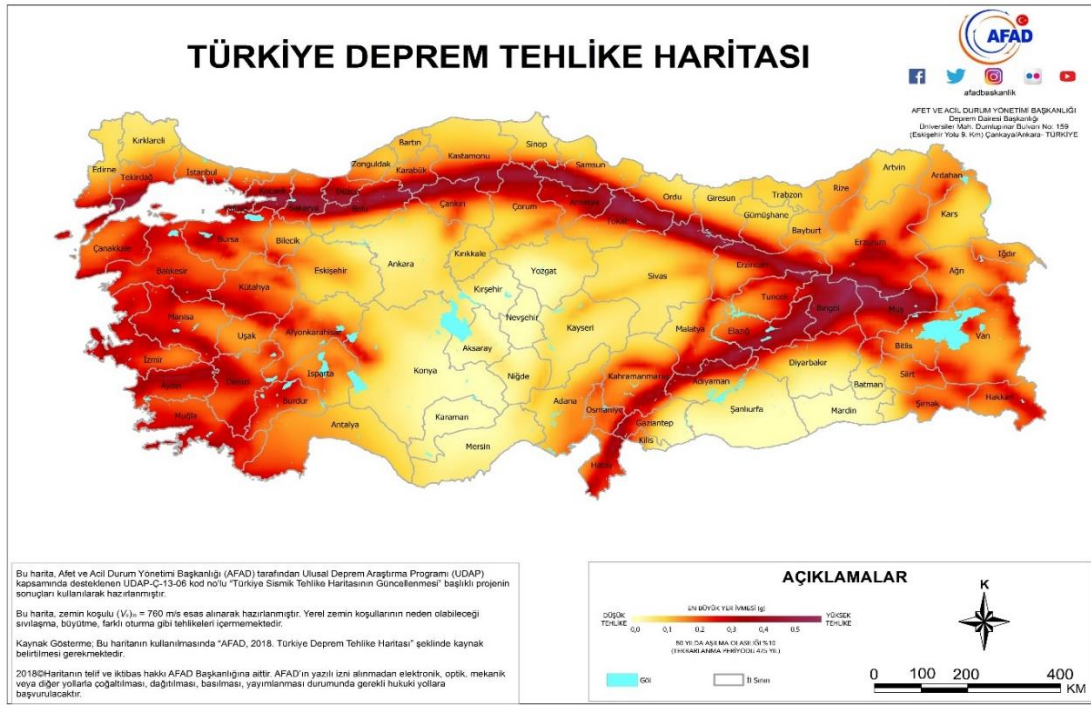
c (Kohezyon)	ϕ (İçsel Sürtünme Açısı)	JRC (Eklem Pürüzlülük Katsayısı)	JCS (Eklem Duvarı Basınç Dayanımı)	ϕ_b (Temel Sürtünme Açısı)	ϕ_r (Rezidüel Sürtünme Açısı)
KRBŞ > ÇKRC	KRBŞ > ÇKRC	KRBŞ = ÇKRC	ÇKRC > KRBŞ	KRBŞ > ÇKRC	KRBŞ > ÇKRC

Çizelge 4.17. Deterministik analizde kullanılan tüm parametrelerin özeti

Parametre	KRBS	ÇKRC
Kritik Şev Açısı	56°	56°
Kritik Şev Yönü	170	24
Kritik Şev Yüksekliği	10m	10m
Temel Sürtünme Açısı (ϕ_b)	36°	32°
Artık Sürtünme Açısı (ϕ_r)	34°	31°
Kohezyon (Mohr-Coulomb)	0.7 t/m ²	0.4 t/m ²
İçsel Sürtünme Açısı (Mohr-Coulomb)	36°	30°
Kohezyon (Barton yenilme zarfı)	0.5 t/m ²	0.5 t/m ²
İçsel Sürtünme Açısı (Barton yenilme zarfı)	42°	41°
JRC	4	4
JCS	4400 t/m ²	10880 t/m ²
Kuru Birim Hacim Ağırlık	2.50 t/m ³	2.65 t/m ³
Kritik Süreksizlik Yönü	160	26
Kritik Süreksizlik Açısı	40°	40°
Süreksizlik Yüzeyi Su Durumu	Nemli	Nemli
Deprem Durumu (PGA 245 için)	0.242g	0.262g

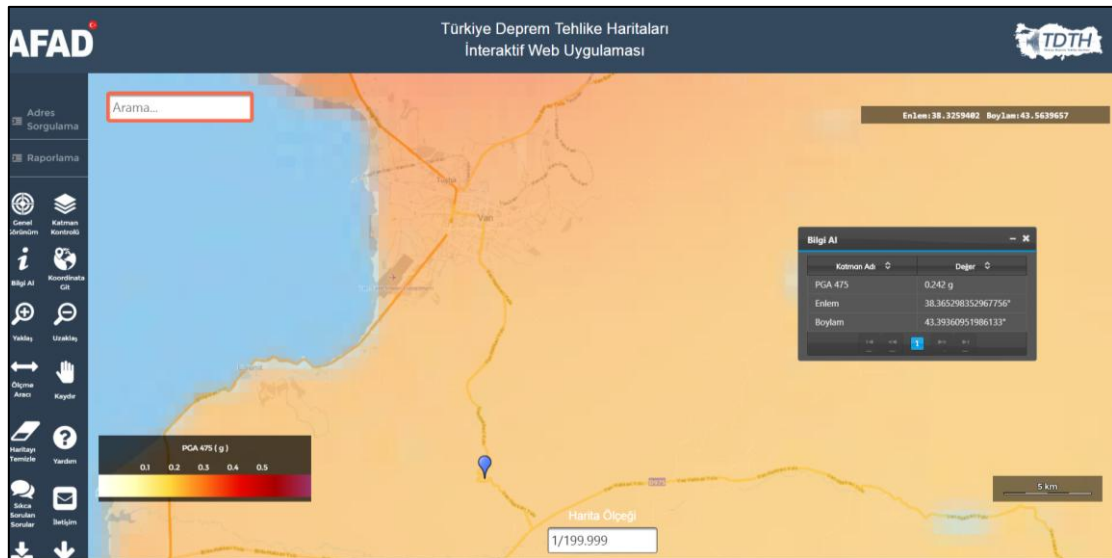
Depremlili durum analizlerinde, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilene ve 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete'de yayımlanmış harita kullanılmıştır. Yeni harita, AFAD Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) tarafından desteklenen Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi başlıklı proje ile kamu ve üniversite işbirliği kapsamında hazırlanmıştır.

1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren yeni haritaya (Şekil 4.23) göre inceleme alanlarına ait ivme kayıtları alınmış ve analitik analizlerde bu ivme değerleri üzerinden güvenlik katsayısı, depremlili duruma göre ayrıca hesaplanmıştır.

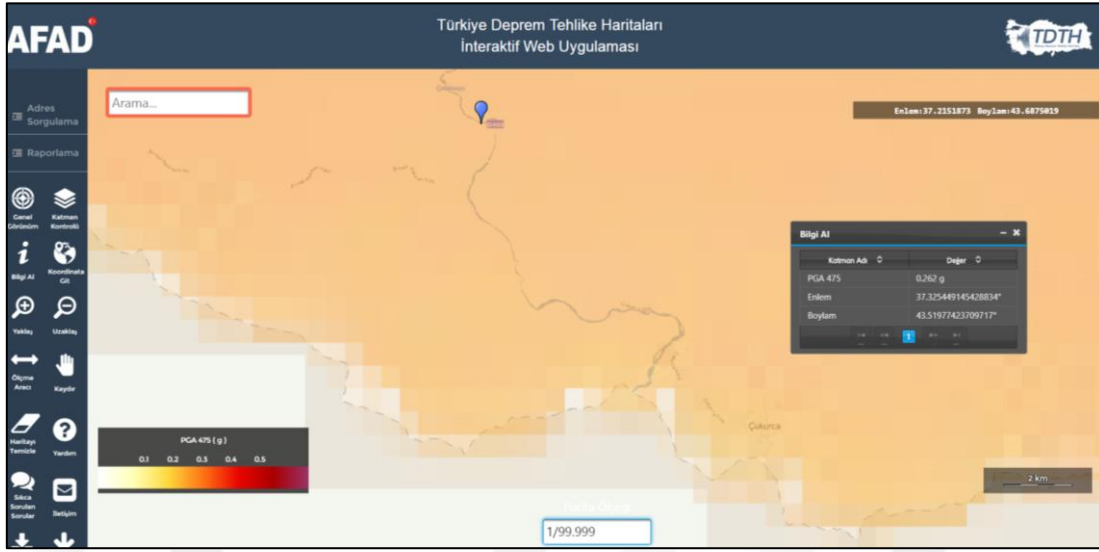


Şekil 4.23. Türkiye güncel deprem tehlike haritası (AFAD, 2018).

Yeni haritada, bir önceki haritadan farklı olarak deprem bölgeleri yerine inceleme alanına ait en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiştir (Şekil 4.24-4.25).

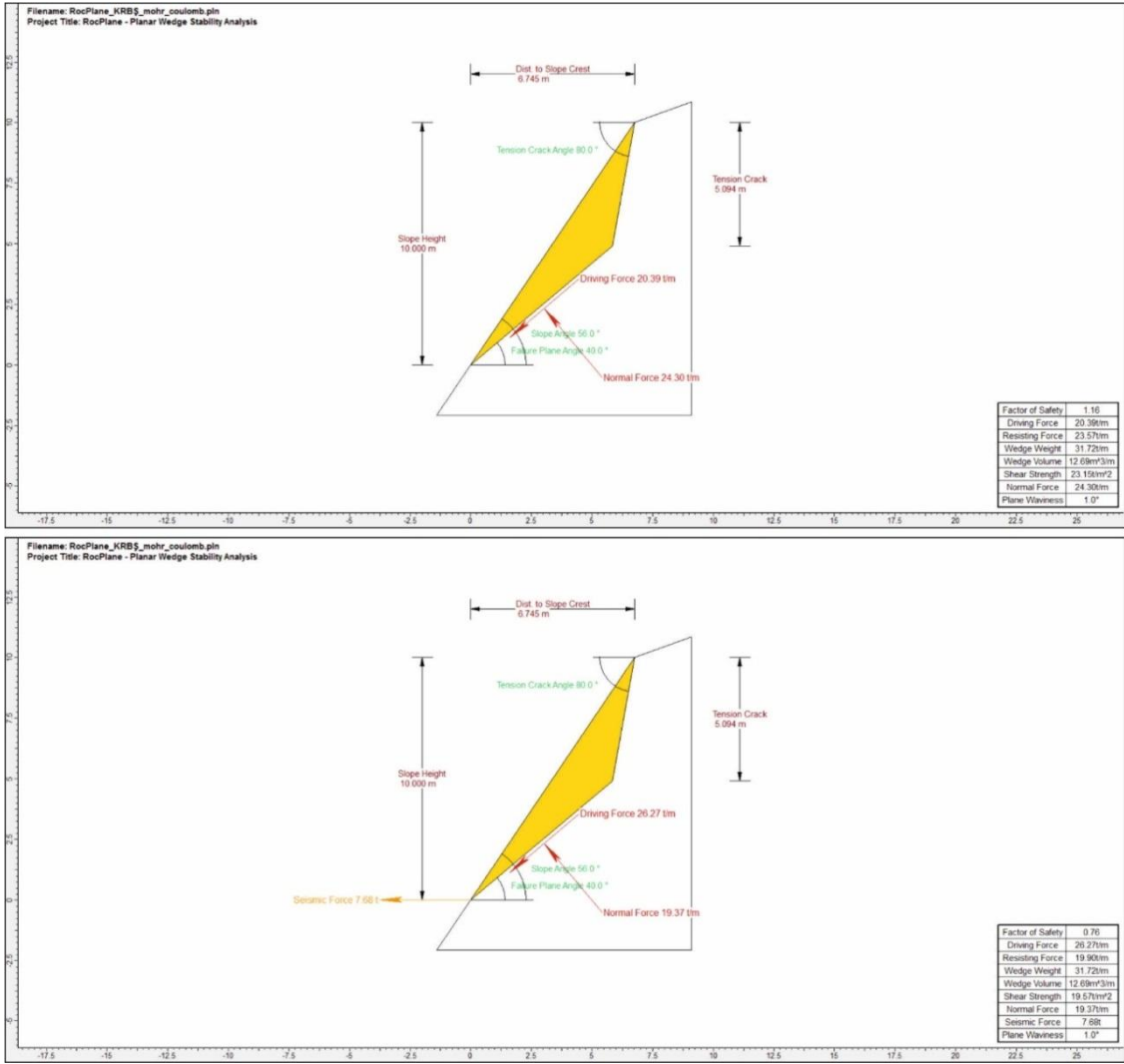


Şekil 4.24. KRBS inceleme alanı için PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD, 2018).

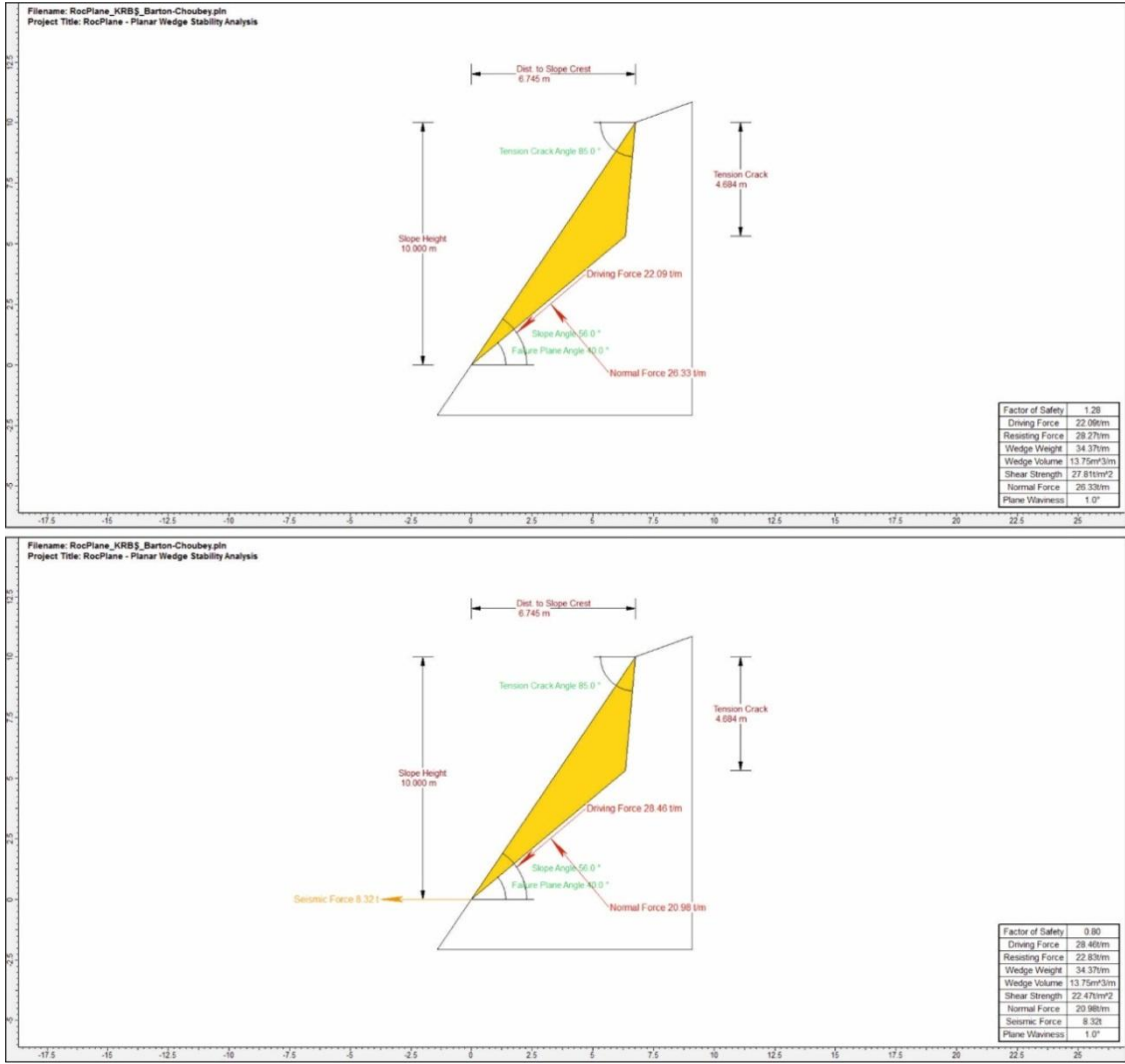


Şekil 4.25. ÇKRC inceleme alanı için PGA 475 yıl için elde edilen ivme değeri (AFAD, 2018).

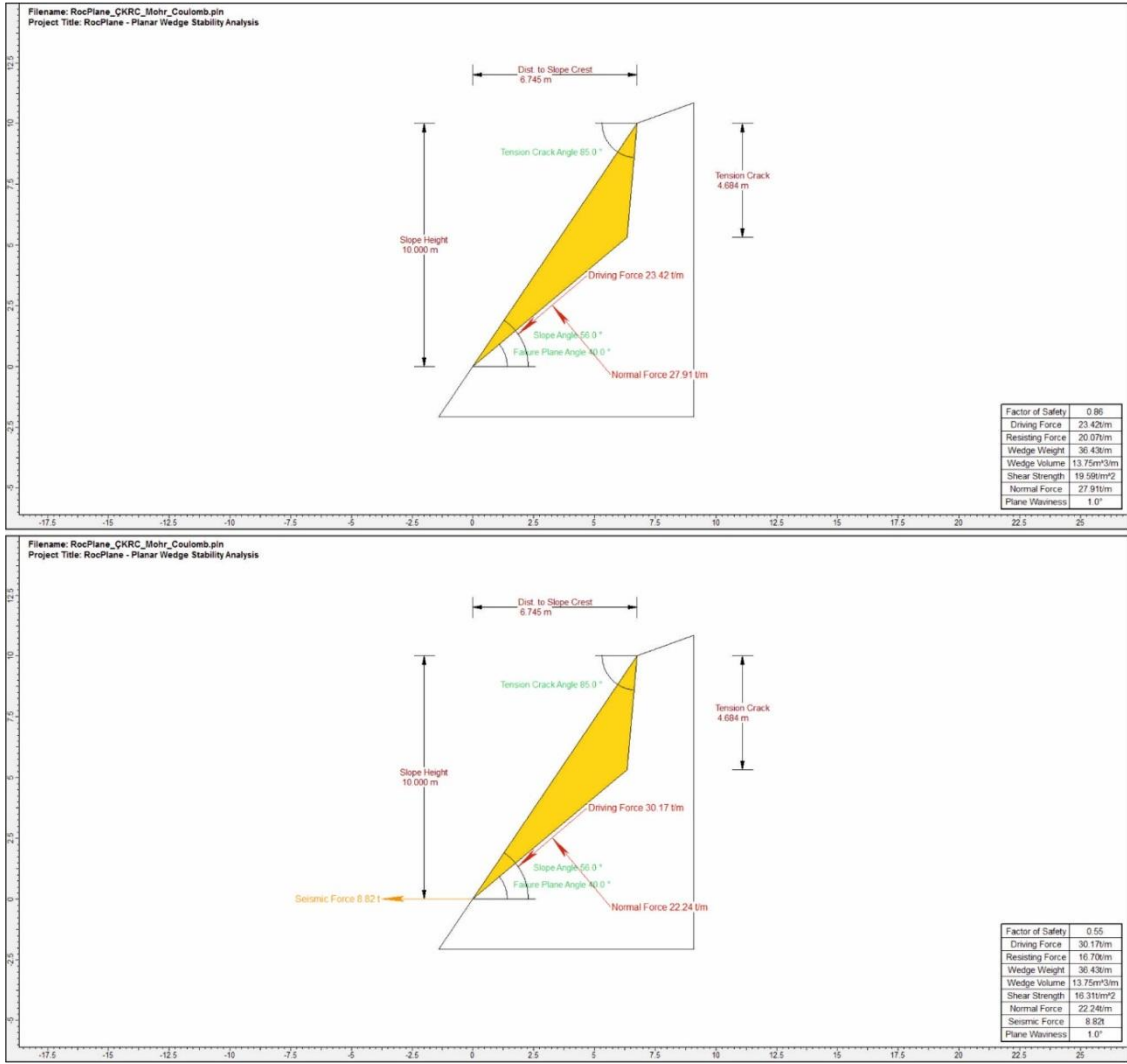
Yapılan deterministik analizde, sadece JCS bakımından üstün olan ÇKRC düzleminden elde edilen depremlili ve depremsiz güvenlik katsayısının (F_s), KRBSŞ'den elde edilen F_s değerinden düşük çıktığı belirlenmiştir (Şekil 4.26 – 4.29). Depremsiz durumdaki güvenlik katsayısı, sadece ÇKRC'nin Mohr-Coulomb parametrelerine göre yapılan çözümde düşük değerde çıkmıştır. Bunun en temel nedeni, makaslama deneyinde ÇKRC birimini oluşturan tanelerin, KRBSŞ birimini oluşturan tanelerden daha küçük olmasıdır. Buna bağlı olarak, makaslama deneyinde numune yüzeyinde aşınmanın daha fazla olması (Şekil 4.30), içsel sürtünme açısının düşmesinin sebebi olabilir. İçsel sürtünme açısının düşmesi ile birlikte güvenlik katsayısı da doğal olarak düşmektedir.



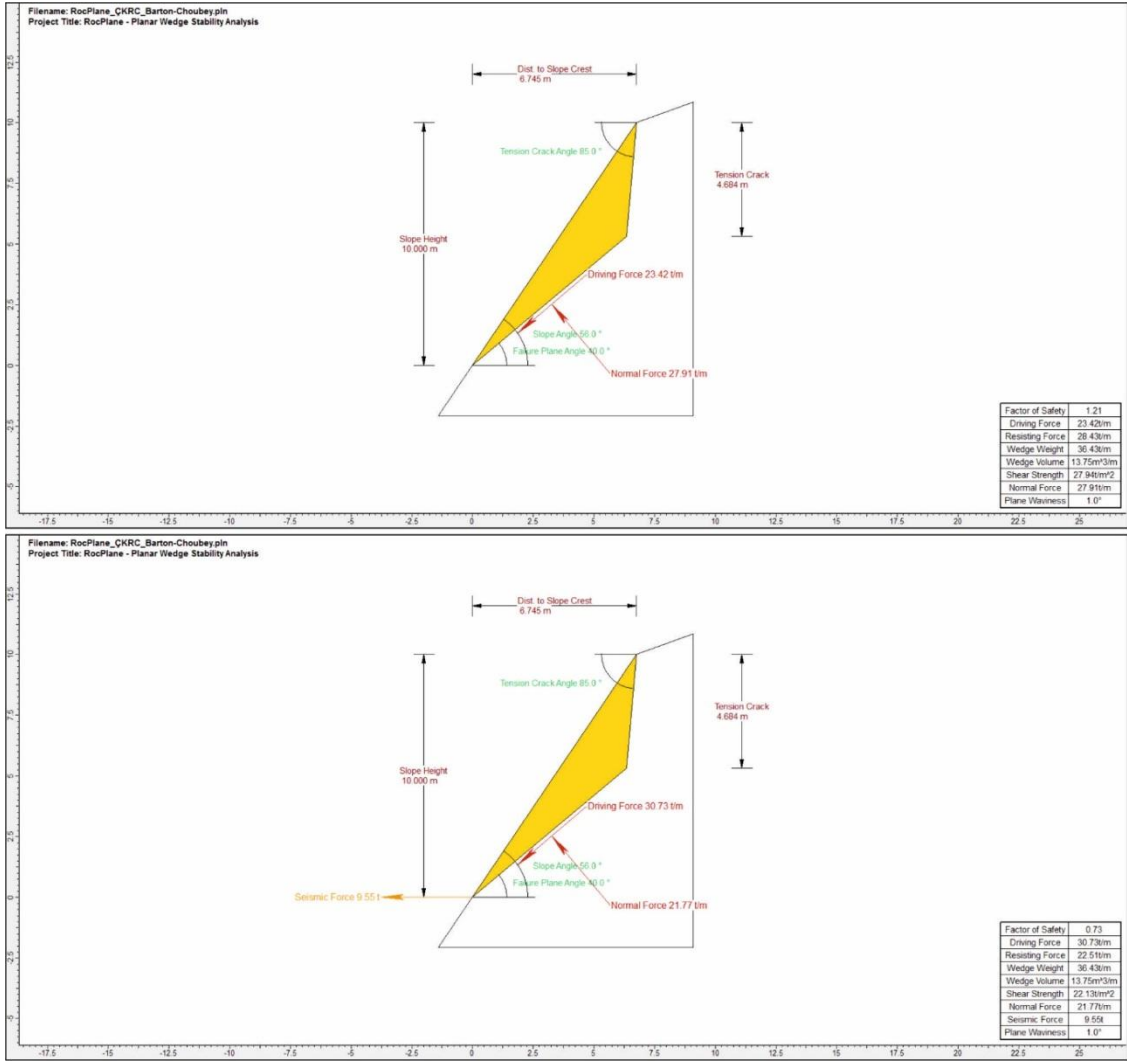
Şekil 4.26. Makaslama deneyinden elde edilen parametreler ile KRBS’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.



Şekil 4.27. Barton-Choubey ölçütünden elde edilen parametreler ile KRBS'de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.



Şekil 4.28. Makaslama deneyinden elde edilen parametreler ile ÇKRC’de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.



Şekil 4.29. Barton-Choubey ölçütünden elde edilen parametreler ile ÇKRC'de depremsiz ve depremlı durum için yapılan deterministik analiz sonuçları.



Şekil 4.30. KRBS ve ÇKRC numunelerinin makaslama deneyi sonrasına ait bir görüntü.

Deterministik analiz sonuçlarına bakıldığında, Barton-Choubey ölçütüne göre yapılan analiz sonuçlarının, Mohr-Coulomb'dan elde edilen parametreler ile yapılan analiz sonuçlarından az da olsa daha yüksek güvenlik katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen tüm güvenlik katsayılarının, limit denge koşullarına yakın olduğu görülmektedir. Bu durum sahadaki kaymaların sonucunu açıklar niteliktedir. Özellikle ÇKRC şevinin olduğu kesimlerde her iki yöntemden elde edilen parametrelere göre çözüm yapıldığında, deterministik analizlerde de kaymaların varlığı tespit edilmektedir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Çukurca Tüneli giriş kısmında ÇKRC düzlemlerinde oluşan düzlemsel kaymalara ait görüntüler.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, ÇKRC süreksizlik düzlemlerindeki bu kaymaların, Çukurca Tüneli girişinde sorunlar teşkil etmesi nedeniyle, tünel girişi uzatılarak, oluşan kütleli yenilmelere karşı önlem alınmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Çukurca Tüneli giriş kısmında ÇKRC düzlemlerinde oluşan düzlemsel kaymalar için alınan önleme ait bir görüntü.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Barton yenilme ölçütü, düzlemsel kaymaların gözlemlendiği iki şev için irdelenmiştir. Çalışmada seçilen örnekleme alanları, Van ili sınırları içerisindeki Kurubaş Mevkisi (KRBS) ile Hakkari ili sınırları içerisinde kalan Çukurca Tüneli girişi (ÇKRC) olarak seçilmiştir. Her iki kaya numunesi de sedimanter kaya sınıfında yer almaktadır. KRBS kütlesini oluşturan kayanın tanelerinin, ÇKRC kaya örneğinin tanelerinden çok daha iri boyutlu olduğu mikroskobik olarak belirlenmiştir.

KRBS numunesinin ortalama kuru birim hacim ağırlığı ve görünür porozitesi sırasıyla; 24.58 kN/m^3 ve %5.55 olarak belirlenirken, ÇKRC numunesinin 26.30 kN/m^3 ve %0.92 olarak belirlenmiştir.

Süreksizlik düzlemlerinin Schmidt çekicinden belirlenen tek eksenli basınç dayanım (UCS) değerleri, KRBS'da ortalama taze yüzey için 53.5 MPa, ayrılmış yüzey için 46.1 MPa olarak, ÇKRC'da, ortalama taze yüzey için 182.4 MPa, ayrılmış yüzey için ise 108.8 MPa olarak bulunmuştur.

Karot numuneleri üzerinde ise, KRBS'a ait numunelerin kuru UCS değerleri ortalama 75.28 MPa, ÇKRC'ya ait numunelerin kuru UCS değerleri ise ortalama 108.93 MPa olarak belirlenmiştir.

Her iki numunenin tilt testi ile belirlenen temel sürtünme açıları KRBS için ortalama 36° , ÇKRC için 32° olarak bulunmuştur. Rezidüel (artık) sürtünme açısı değerleri ise, KRBS için ortalama 34° , ÇKRC için 31° olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu açılara göre kinematik analiz yapılmış ve her iki şevdeki süreksizlik düzlemlerinde düzlemsel kaymaların olduğu tespit edilmiştir.

Süreksizlik düzleminde alınan numuneler üzerinde yapılan doğrudan makaslama testi sonuçlarına bakıldığında, KRBS numunesinin kohezyon değeri 0.7 t/m^2 ve içsel sürtünme açısı 36° olarak belirlenirken, ÇKRC numunesinin kohezyon değeri 0.4 t/m^2 ve içsel sürtünme açısı 30° olarak bulunmuştur. JCS ve UCS değeri daha yüksek olan ÇKRC numunesinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin düşük olmasının temel nedeni, bu kayayı oluşturan minerallerin tane boyunun küçük olması ve süreksizlik düzleminin makaslama yenilmesinden daha fazla etkilenmesi olarak düşünülmektedir.

Deterministik analiz için elde edilen tüm parametrelere bakıldığında, UCS ve JCS değerleri hariç diğer tüm parametreler, KRBS numunelerinde daha yüksek değerlerde belirlenmiştir. Bu sonuca bakıldığında, makaslama kuvvetlerinin belirlenmesinde JCS'nin etkisinin, sürtünme açıları ile JRC'nin etkisinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deterministik analizler incelendiğinde, Mohr-Coulomb'a ait parametreler ile yapılan analizin ÇKRC bölgesindeki kaymaları daha iyi yansıttığı ve yapılan analizlerde elde edilen $F_s < 1.00$ değerinin ise kaymayı analitik olarak doğruladığı gözlenmiştir.

Aynı kaya sınıfındaki iki farklı kaya malzemesi ve bu kayaların süreksizlik özelliklerine ait veriler analizler ile değerlendirildiğinde, düşük pürüzlülüğe sahip süreksizliklerde makaslama yenilmelerini kontrol eden esas mekanizmanın, kayanın dayanımı ve pürüzlülüğünden ziyade kayayı oluşturan tanelerin dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Kayayı oluşturan tanelerin özellikleri ile makaslama yenilmeleri arasındaki ilişkilerin, farklı kayalar için de araştırılması önerilmektedir. Ayrıca, farklı kaya türü malzemelerde yapılacak makaslama testleri ile Barton yenilme ölçütündeki JCS parametresinin yeniden değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin A.Z., Elibol E., Erkan, T., Güner, E., Hakyemez, Y., Sen, A.M., Uguz, M.F., Umut, M., 1991. *Van Gölü Doğusu ve Kuzeyinin Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüd Dairesi Yayını. Rapor No: 9469. 94. Ankara.
- Açıkbaş, D., 1978. *Çukurca-Köprülü-Yığınlı (Hakkari ili) Alanının Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları* TPAO Arama Grubu, Rapor No: 2303. 67.
- Aksoy, E., 1988. *Van İli Doğu-Kuzeydoğu Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği* Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- AFAD, 2018. *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*.
- Alejano, L. R., Gonza'lez, J., Muralha, J., 2012. Comparison of different techniques of tilt testing and basic friction angle variability assessment. *Rock Mech. Rock Eng.* **45** (6):1023-1035.
- Alejano, L. R., Muralha, J., Ulusay, R., Li, C. C., Pérez-Rey, I., Karakul, H., Chryssanthakis, P., Aydan, Ö., 2018. ISRM Suggested Method for Determining the Basic Friction Angle of Planar Rock Surfaces by Means of Tilt Tests. *Rock Mech. Rock Eng.* **51**:3853-3859.
- Altınlı, İ. E., 1952. *Sürt Güneydoğusunun Jeolojik İncelemesi*: MTA Derleme No: 1977, 95.
- ASTM C 597-16, 2016. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Annual Book of ASTM Standards.
- Aydan, Ö., 1998. Simple tests on the validation of the effective stress law for rock discontinuities. *In: Proceedings of Poromechanics, Belgium*. 539-544.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y., Kawamoto, T., 1995. A portable system for insitu characterization of surface morphology and friction al properties of rock discontinuities. *In: Proceedings of 4th International Symposium Field Measurements in Geomechanics*, Bergamo, Italy. 463-470.
- Barton, N. N., Bandis, S. C., 1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. *In: Proc. Int. Semp. on Rock Joints*, Loen, Rotterdam, Balkema. 603-610.
- Barton, N., 1973. Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Engineering Geology. Elsevier*, **17**:287-332.
- Barton, N., 1976. The shear strength of rock and rock joints. *Int. J. Rock Mechanics and Min. Sci.* **13**:255-279.
- Barton, N., Bandis, S., 1982. Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock. *Proceedings of the 23rd US Symposium on Rock Mechanics*. Berkeley, California. 739-760.
- Barton, N., Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory an practice. *Rock Mech.* **10**:1-54.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley and Sons, New York. 251.
- Boray, A., 1976. Bitlis metamorfitleleri (masifi) üzerine: *TJK Yeryuvarı ve İnsan*. **1** (1):74-76.
- Bozdoğan, N., 1982b. *Güneydoğu Anadolu Mardin ve Adıyaman Bölgeleri Kambriyen ve Öncesi Tortul İstifinin Stratigrafik ve Sedimentolojik Deneştirilmesi*. Yüksek

- Mühendislik Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Bozdoğan, N., Bayçelebi, O., Alışan, C., 1988. **Güneydoğu Anadolu X. ve XI. Bölgeler Kuzeyindeki Ordovisiyen Sonrası Paleozoyik İstifin Stratigrafisi**: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No: 1280, 126.
- Coulomb, C. A., 1773. Sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de stratique relatifs à l'Architecture. **Académie Royal Des Sciences Mémoires de Mathématique et de Physique Par Divers Savants**, 7:343-382.
- Coulson, J. H., 1971. Shear strength of flat surfaces in rock stability of rock slopes. **In: Proc. of the 13th Symp. on Rock Mech.** ASCE 1971 New York. 77–105.
- Cruden, D. M., Hu, X. Q., 1988. Basic friction angles of carbonate rocks from Kananaskis country, Canada. **Bull of the Int. Association of Eng. Geol.** 38:55–59.
- Çağlan, D., Tosun, L., 2016. Şamlı (Balıkesir) Demir Madeni Doğu Ocağı Batı Şevlerini Oluşturan Kaya Kütlelerinin Duraylılık Değerlendirmesi. **Jeoloji Mühendisliği Dergisi.** 40 (1):1-26.
- Deere, D. U., Miller, R. P., 1966. **Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock**. Tech. Report. No. AFWL-TR 65–116. Air Force Weapons Laboratory, New Mexico.
- Dinçer, İ., Orhan, A., Frattini, P., Crosta, G. B., 2014. Rock mass instabilities in Tatların Underground City (Cappadocia-Turkey). **IAEG Congress: Engineering Geology for Society and Territory.** 8:361-365.
- Engelder J. T., Scholtz C. H., 1976. The Role of Asperity Indentation and Ploughing In Rock Friction-II. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.** 13:155–163.
- Fecker, E., Rengers, N., 1971. Measurement of large scale roughness of rock planes by means of profilograph and geological compass. **Rock Fracture, Proc. of Int. Symp. On Rock Mech.** Nancy, France. 1-18.
- Gonza'lez, J., Gonza'lez-Pastoriza, N., Castro, U., Alejano, L. R., Muralha J., 2014. Considerations on the laboratory estimate of the basic friction angle of rock joints. In: Alejano L. R, Perucho A, Olalla C, Jimenez R (eds), **Rock Mechanics and Rock Engineering: Structures on and in Rock Masses**, EUROCK 2014, Vigo, Rotterdam, Balkema. 98–99 (on CD).
- Goodman R. E., 1989. **Introduction to Rock Mechanics**, 2nd edition. Wiley Publisher, New York.
- Gökçeoğlu, C., 1997. **Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar**. (Doktora tezi, yayınlanmamış). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Hack, R., Price, D., Rengers, N., 2003. A new approach of rock slope stability - a probability classification (SSPC). **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 62 (2):167-184.
- Harrison J. P., 2008. Contributions to Ge'otechnique 1948–2008: Engineering Geology, Rock Mechanics and Rock Engineering. **Ge'otechnique** 58 (5):449-455.
- Hencher, S. R., 1976. A simple sliding apparatus for the measurement of rock friction. **Geotechnique** 26 (4):641–644.
- Hencher, S. R., 1977. **The Effect of Vibration on the Friction Between Planar Rock Surfaces**. Unpublished Ph. D Thesis, Imperial College of Science and Technology, London University.

- Hencher, S. R., 1995. Interpretation of direct shear tests on rock joints. *In: Proceedings of the 35th US Symposium on Rock Mechanics*, Lake Tahoe. 99–106.
- Hencher, S. R., 2012. Discussion of the Paper “Comparison of Different Techniques of Tilt Testing and Basic Friction Angle Variability Assessment”. *Rock Mech. Rock Eng.* **45**:1141–1143.
- Hencher, S. R., 2012b. Discussion of comparison of different techniques of tilt testing and Basic friction angle variability assessment by Alejano, Gonzalez and Muralha. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* **45**:1137–1139.
- Hencher, S. R., Richards, L. R., 1989. Laboratory direct shear testing of rock discontinuities. *Ground Eng.* **22** (2):24–31.
- Hencher, S. R., Richards, L. R., 2015. Assessing the shear strength of rock discontinuities at laboratory and field scales. *Rock Mech. Rock Eng.* **48**:883–905.
- Hoek, E., 2007. Practical rock engineering. Course notes, Hoek Corner. <https://www.rocscience.com/>
- Hoek, E., Bray, J. W., 1977. *Rock Slope Engineering 2nd Edition*. Institution of Mining and Metallurgy, London. 402.
- Hoek, E., Bray, J. W., 1981. *Rock Slope Engineering Revised 3rd Edition*. The Institution of Mining and Metallurgy, London. 341–351.
- Hoek, E., Brown, E. T., 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Reston, VA, **106** (GT9):1013–1035.
- Horn, H. M., Deere, D. U., 1962. Frictional characteristics of minerals. *Geotechnique*, **12**:319–335.
- ISRM, 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring*. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford.
- ISRM, 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods, for Rock Characterization, Testing and Monitoring, 1974–2006*. (Eds. R. Ulusay, J. A. Hudson). ISRM Turkish National Group, Ankara. 628.
- ISRM, 2014. *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, 2007–2014*, (Eds. R. Ulusay). Springer International Publishing, Switzerland. 101–106.
- Jiang, Q., Liu, X., Wei, W., Zhou, C., 2013. A new method for analyzing the stability of rock wedges. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.* **60** (8):413–422.
- John, P., 2007. *A Manual of Geology for Civil Engineers*. Nanyang Technological Institute, Singapore. 228.
- Kellogg, H. E., 1960a. *Stratigraphic Report, Hazro area, Petroleum District V, SE Turkey* (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report): Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 126, Rapor No: 1.
- Ketin, İ., Canitez, N., 1979. *Yapısal Jeoloji*. İTÜ yayınları, Sayı:1143, İstanbul. 519.
- Koçyiğit, A., 2013. *New Field and Seismic Data About the Intraplate Strike-Slip Deformation in Van Region. East Anatolian Plateau. E. Turkey*. Middle East Technical University. Department of Geological Engineering. Active Tectonics and Earthquake Research Lab.. TR-06800 Ankara. Turkey.
- Kozak, S., Pasin, C., Mancarcı, M., Tosunkara, A., 1977a. *Uzungeçit Ölçülmüş Stratigrafi Kesiti*: TPAO Arama Grubu, Arşiv No: 8622.
- Kozak, S., Perinçek, D., Aksu, R., Balkaş, Ö., 1977b. *Üçkiraz Ölçülmüş Stratigrafi Kesiti*: T.P.A.O Arama arşiv No:7883.
- Köylüoğlu, M., Erten, T., 1985. *Üst Devoniyen-Alt Karbonifer Yaşlı Köprülü ve Belek*

Formasyonlarının (IX. Bölge) Mikropaleontoloji ve Petrografi Verileri ile Değerlendirilmesi ve Petrol Olanaklarının Tartışılması: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No: 711.

- Kulatilake, P. H. S. W., Shou, G., Huang, T. H., Morgan, R. M., 1995. New peak shear strength criteria for anisotropic rock joints. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr.* **32**:673–697.
- Kveldsvik, V., Nilsen, B., Einstein, H. H., Nadim, F., 2008. Alternative approaches for analyses of a 100,000 m³ rock slide based on Barton-Bandis shear strength criterion. *Landslides*, **5** (2):161-176.
- Mengi H., 1986. *1/25.000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, VAN-L50-b3 Paftası*, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mohr, O. 1900. Welche Umstände bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materials? *Zeitschrift Des Vereines Deutscher Ingenieure* **44**:1524-30; 1572-77.
- Moore, D. E., Lockner, D. A., 2004. Crystallographic controls on the frictional behaviour of dry and water-saturated sheet structure minerals. *J. Geophys Res.* **109**:1–16
- Morrow, C. A., Moore, D. E., Lockner, D. A., 2000. The effect of mineral bond strength and adsorbed water on fault gouge frictional strength. *Geophysical Research Letters* **27**:815–818.
- MTA, 2002. *Hakkari İlinin Yerbilimi Verileri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- MTA, 2008. *Van İlinin Yerbilimi Verileri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- MTA, 2012. *Şev Duraylılığı Eğitim Serisi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Mu, J. Q., Pei, X. J., Huang, R. Q., Rengers, N., Zou, X. Q., 2017. Degradation characteristics of shear strength of joints in three rock types due to cyclic freezing and thawing. *Cold Regions Science and Technology*. **138**: 91-97.
- Özkaymak, Ç., 2003. *Van Şehri Yakın Çevresinin Aktif Tektonik Özellikleri*. (Yüksek lisans tezi). YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Van.
- Özvan, A., Dinçer, İ., Acar, A., Özvan, B., 2014. The effects of discontinuity surface roughness on the shear strength of weathered granite joints. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (73):801-813.
- Patton, F. D., 1966. *Multiple modes of Shear Failure in Rock and Related Materials* Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Pe´rez-Rey, I., Alejano, L. R., Gonza´lez-Pastoriza, N., Gonza´lez, J., Arzu´a, J., 2015. Effect of time and wear on the basic friction angle of rock discontinuities. *In: Schubert W (ed) EUROCK 2015 and 64th Geomechanics Colloquium*, Salzburg, Austria.
- Perincek, D., 1978. *The Geology of Hazro-Korudağ-Cungus-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Area*. Guide Book. Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını.
- Perincek, D., 1980b. *IX. Bölge Hakkari, Yüksekova, Çukurca, Beytüşşebap, Uludere, Pervari Dolayının Jeolojisi*: TPAO Arama Grubu, Rapor No: 1481.
- Perincek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., Çoruh, T., 1991. *Stratigraphy and Paleogeographical Evolution of the Autochthonous Sedimentary Rocks in the SE Turkey (Güneydoğu Türkiye'de Otokton Sedimanter Kayaların Stratigrafisi ve Paleocoğrafik Evrimi)*: Ozan Sungurlu Symposium proceedings. 274-305.

- Priest S. D., Hudson J., 1976. Discontinuity spacing in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13 (5):135-48.
- Proceq, 2014. *Pundit Lab/Pundit Lab+ Ultrasonic Instrument Operating Instructions*. Proceq SA.
- Ram, B. K., Basu, A., 2019. Shear Behavior of Unfilled-Planar Quartzitic Rock Joints with Reference to Weathering Grade of Joint Surfaces. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 1-9.
- Sağlam, A., 2003. *Van Gölü Doğusu ve Güneydoğusunda Yüzeyleyen Van Formasyonunun Stratigrafisi, Paleontolojisi ve Çökelme Ortamları*. (Yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Schmidt, G. C., 1964a. *Proposed Rock Unit Nomenclature Petroleum District V, SE-Turkey (Autochthonous Terrain) (Mobil Exploration Mediterranean Inc.)*: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Arşiv No: 3955/1.
- Schmitz, R. M., Viroux, S., Charlier. R., Hick, S., 2006. The role of rock mechanics in analyzing over break: application to the soumagne tunnel. *EURock 2006-Multiphysics Coupling and Long Term Behavior in Rock Mechanics*. Taylor & Francis, London. 631-636.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, (26):77-99.
- Stimpson, B., 1981. A suggested technique for determinin the basic friction angle of rock surfaces using core. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 18:63-65
- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoğlu, A., Dağar, Z., Erkanol, D., Özçen, S., Taşkıran, M. A., Ulu, Ümit., Ünal, M. F., Yıldırım, H., 1984. *Özalp (Van)-İran Sınırı Arasındaki Alanın Jeolojisi*: MTA Rap. No: 7623 (yayımlanmamış), Ankara.
- Tang, Z. C., Wong, L. N. Y., 2016. New criterion for evaluating the peak shear strength of rock joints under different contact states. *Rock Mech. Rock Eng.* (49):1191-1199.
- Tanyol, Ç., Yakar, H., Ediger, V. Ş., 1997. *Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton İstifinin Biyostratigrafi Atlası*, TPAO Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı, Eğitim Yayınları No: 30, Ankara.
- Taylor, P. B., 1955. *Stratigraphic Studies Bozova (Urfa) Area (Mobil Exploration Mediterranean Inc, Report)*: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No: 332, Rapor No: 1.
- TS 12504-4, 2012. *Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699, 2009. *Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Deney Metotları*. Türk Standartları Enstitüsü Ankara.
- Ulusay, R., Karakul, H., 2016. Assessment of basic friction angles of various rock types from Turkey under dry, wet and submerged conditions and some considerations on tilt testing. *Bull. of Eng. Geo. and the Environment*. 75:1683-1699.
- USBR-6258, 2009. Procedure for determining the angle of basic friction (static) using a tilting table test (Designation USBR 6258-09). <http://www.usbr.gov>
- Wyllie, D.C., 1992. *Foundations on Rock*. Chapman&Hall, London.
- Wyllie, C., Mah, W., 2004. Rock Slope Engineering Civil and Mining. In: (Hoek, E. and Bray, J.W., Eds.), *Rock Slope Engineering*, Taylor & Francis Group, London and New York. 431.

- Yılmaz, E., Duran, O., 1997. *Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlana Sözlüğü "Lexicon"*, TPAO Eğitim Yayınları, No: 31.
- Zandarin, M. T., 2010. *Thermo-Hydro-Mechanical Analysis of Joints Theoretical and Experimental Study*. Ph. D. Thesis, Department of Geotechnical Engineering and Geosciences, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Zheng, J., Kulatilake., P. H. S. W., Deng, J., Wei, J., 2016a. Development of a probabilistic kinematic wedge sliding analysis procedure and application to a rock slope at a hydropower site in China. *Bull. of Eng. Geo. and the Environment* **75**:1413–1428.



ÖZ GEÇMİŞ

Mayıs, 1986 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladı. Lise öğrenimini tamamladıktan sonra 2005 yılında lisans eğitimine başladığı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2013 yılında başladığı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Şu an Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği bünyesinde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 30/07/2019

Tez Başlığı / Konusu: *İki Farklı Şevde Süreksizlik Düzlemleri Boyunca Oluşan Yenilmelerin Barton Görgül Yenilme Ölçütü İle Değerlendirilmesi*

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 87 sayfalık kısmına ilişkin, 30/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNITIN intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 5 (Beş) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Engin ELGÜN
30/07/2019

Adı Soyadı: Engin ELGÜN
Öğrenci No: 149101061
Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği
Programı: Yüksek Lisans
Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Doç. Dr. Ali ÖZVAN

(Ünvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

(Ünvan, Ad Soyad, İmza)