

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTLİS REGÜLATÖRÜ VE HES PROJE ALANININ MÜHENDİSLİK
JEOLJİSİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ali Engin GÖKSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2014

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTLİS REGÜLATÖRÜ VE HES PROJE ALANININ MÜHENDİSLİK
JEOLJİSİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ali Engin GÖKSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2014

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİTLİS REGÜLATÖRÜ VE HES PROJE ALANININ MÜHENDİSLİK
JEOLJİSİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ali Engin GÖKSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez .././2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (....) not takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Yasemin LEVENTELİ

(Danışman)

Doç.Dr. Nihat DİPOVA.....

Yrd.Doç.Dr. Özgür AKTÜRK.....

ÖZET

BİTLİS REGÜLATÖRÜ VE HES PROJE ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ali Engin GÖKSU

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Yasemin LEVENTELİ

Mart 2014, 199 Sayfa

Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla büyük barajların yerini, nehir tipi hidroelektrik santraller (HES) almaya başlamıştır. Her mühendislik projesinde olduğu gibi, bu tip yapıların yer seçiminde maliyet – emniyet/güvenlik – zaman – estetik/çevre parametreleri göz önünde tutulmalıdır. Bitlis çayı üzerinde yapılması planlanan “Bitlis Regülatörü ve HES Projesi” bunlardan bir tanesidir.

Bu tez kapsamında, proje alanında temel mühendislik jeolojisi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sanat yapılarının yer alacağı birimlerde süreksizlik analizleri ve kaya kütle sınıflamaları yapılmıştır. Ayrıca 9 adet etüd sondajı açılmış ve zeminlerin taşıma güçleri hesaplanmıştır. Tünel portallarının olası yenilme riskleri kinematik analiz yöntemiyle irdelenmiştir. Proje alanında olduğu gibi, sert bir morfolojiye ve yüksek eğime sahip, taşıma sorunu olmayan arazilerde; tercih edilen yüksek eğimli şevlerin duraylılıklarının jeolojik ve jeoteknik parametrelerce kontrolünün önemi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bitlis, Hidroelektrik santrali, Kaya kütlesi sınıflaması, Mühendislik jeolojisi

JÜRİ

Yrd.Doç.Dr.Yasemin LEVENTELİ

Doç.Dr. Nihat DİPOVA

Yrd.Doç.Dr. Özgür AKTÜRK

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE ENGINEERING GEOLOGICAL PROPERTIES OF BITLIS REGULATOR AND HEPP PROJECT AREA

Ali Engin GÖKSU

MSc. Thesis in, Department of Geological Engineering

Adviser: Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

March - 2014, 199 pages

In the present, to meet increasing energy demands, the river type of hydroelectric power plant (HPP) has begun to replace big dams. Main parameters in site selection for engineering structures, cost-safety / security-time- aesthetic / environmental parameters, should be considered. The planned “Bitlis Regulator and HEPP Project” is one of them.

In this study, basic engineering geological studies were carried out in the “Bitlis Regulator and HEPP Projects” site which is planned on the Bitlis creek. The discontinuities were examined and than rock masses were classified in the site of engineering structures. In addition that, 9 boreholes have been drilled in the site of engineering structures and the bearing capacities have been determined. The tunnel portals were analyzed via the kinematic analysis method to determine of the potential failure risks. The importance of the geological and geotechnical parameters have been revealed in the slope stability particularly for high slopes.

Key Words: Bitlis, Hydroelectric power plant hydroelectric, Rock mass classification, Engineering geology

COMMITTEE

Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Assoc. Prof. Dr. Nihat DİPOVA

Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince beni yönlendirip tavsiyeleri ile bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen, her türlü desteği veren değerli hocam ve danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ'ye çok teşekkür ederim.

Topoğrafik haritaların sayısallaştırılması ve jeoloji haritasının çizilmesinde çok büyük yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşım Harita Yük. Müh. Gizem Gül TANRIVERDİ'ye ve Jeoloji Müh. Celal PENBEGÜL'e,

Arazi çalışmaları sırasında benimle beraber araziye gelerek yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşlarım Jeoloji Müh. Aziz AKBABA, Jeoloji Mühendisi Koray SELÇUK, Harita Tek. Ferhat SAKİN ve Yavuz ACUN'a,

Tez yazımı ve çoğaltılması sırasında büyük yardımlarını gördüğüm değerli dostum Av. Fatih GÜNDÜZ ve Samet KÖSE'ye,

Sondaj ve laboratuvar verilerini kullanmam için izin veren Yersu Müh.Son.İnş Ltd.Şti çalışanlarına ve değerli sahibi Jeoloji Yüksek Müh. Adem ESEN'e,

Eğitim ve çalışma hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteği veren ve bu günlere gelmemin en büyük sebebi olan aileme; hayatımdaki en büyük yere sahip canım annem Nesrin GÖKSU'ya ve babam Yalçın GÖKSU'ya, çalışmalarım nedeniyle vakitlerinden çaldığım, ihtiyacım olduğu her anda yanımda olan varlıkları ile bana güç veren Kardeşlerim Tuba GÖKSU ve Tuğçe GÖKSU'ya çok çok teşekkür ederim.

Çalışma süresince destek ve katkılarını gördüğüm, olumlu eleştirileri ile tez çalışmama yön veren sayın Doç.Dr. Nihat DİPOVA'ya ve sayın Yrd.Doç.Dr. Özgür AKTÜRK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞELİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1. Proje Alanının Morfolojik Durumu.....	3
1.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	5
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	8
2.1 Hidroelektrik Enerji ve Türkiye’deki Gelişimi.....	10
2.2. Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli.....	11
2.3. Dünyanın Hidroelektrik Potansiyeli.....	12
2.4. Küçük Hidroelektrik Santraller (HES).....	12
2.5. Küçük Hidroelektrik Santrallerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri.....	13
2.5.1. Olumlu Yönleri	13
2.5.2. Küçük Hidroelektrik Santrallerin Olumsuz Yönleri.....	14
2.6. Su Yapılarında Jeolojik ve Jeoteknik Etütler.....	14
2.7. Çalışma Alanının Depremselliği:.....	16
3. MATERYAL VE METOD	18
3.1. Materyal.....	18
3.2. Metot	18
3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar	18

3.2.2. Arazi Çalışmaları.....	18
3.2.3. Büro Çalışmaları.....	19
3.2.3.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri.....	19
A. Kaya Kalite Göstergesi (RQD)	21
B. Kaya Kütle Oranı (RMR-Rock Mass Rating).....	21
C. Q Sınıflama Sistemi.....	26
D. GSI (Hook-Brown Görgül Yenilme Ölçütü ve Jeolojik Dayanım İndeksi) .	33
4. BULGULAR	34
4.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi.....	34
4.1.1. İstifsel ilişki.....	35
4.1.1.1. Yolcular Grubu (Pey).....	37
4.1.1.2 Mutki grubu.....	39
4.1.1.2.1. Meydan Formasyonu (Pzmm)	39
4.1.1.2.2. Çırrık Formasyonu (Pzmc).....	40
4.1.1.2.3. Tütü Formasyonu (Mzt)	41
4.1.1.3. Guleman Ofiyolitleri (Mzg)	43
4.1.1.4. Maden Karmaşığı (Tm).....	44
4.1.1.5. Nemrut Formasyonu (Pl-Qn).....	47
4.1.1.6. Güncel Çökeller (Qal).....	48
4.2. Yapısal Jeoloji.....	49
4.3. Hidroloji.....	50
4.4. Hidrojeoloji.....	51
4.4.1. Birimlerin Hidrojeolojik özellikleri.....	51
4.5. Mühendislik Jeolojisi	54
4.5.1. Saha Çalışmaları ve Süreksizlik İncelemeleri.....	59
4.5.1.1. Yolcular Grubu (Pey) :.....	59

4.5.1.1.1. Süreksizlik incelemeleri	60
4.5.1.1.2. Kaya kütlesi sınıflaması	67
4.5.1.1.3. Duraylılık Analizi	78
4.5.1.2. Meydan Formasyonu (Pzmm):	81
4.5.1.2.1. Süreksizlik incelemeleri	81
4.5.1.2.2. Kaya kütlesi sınıflaması	86
4.5.1.2.3. Duraylılık Analizi	94
4.5.1.3. Çırrık Formasyonu (Pzmc):	96
4.5.1.3.1. Süreksizlik incelemeleri	96
4.5.1.3.2. Kaya kütlesi sınıflaması	100
4.5.1.3.3. Duraylılık Analizi	108
4.5.1.4 Tütü Formasyonu (Mzt)	111
4.5.1.4.1. Süreksizlik incelemeleri	111
4.5.1.4.2. Kaya kütlesi sınıflaması	115
4.5.1.4.3. Duraylılık Analizi	124
4.5.1.5. Guleman Ofiyoliti (Mzg):	126
4.5.1.6. Maden Karmaşığı (Tm):	127
4.3.2.6.1. Süreksizlik incelemeleri	128
4.5.1.6.1. Kaya kütlesi sınıflaması	131
4.5.1.6.3. Duraylılık Analizi	140
4.5.1.7. Genel Değerlendirme	141
4.5.2. Taşıma Gücü	143
4.5.4. Doğal Afet Tehlikeleri	148
4.5.4.1. Deprem Durumu	148
4.5.4.2. Kütle Hareketleri	148
4.3.4.3. Çığ	148

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	149
6. KAYNAKLAR	152
7. EKLER	160
EK-1 İnceleme alanı 1/25000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası.....	162
EK-2 İnceleme alanı süreksizlik ölçüm formları.....	164
EK-3 Sondaj karot fotoğrafları.....	175
EK-4 Sondaj logları ve laboratuvar sonuçları.....	181

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ao: Etkin yer ivme katsayısı

B: Temel genişliği-Tünel genişliği

C_{f1} ve C_{f2} : Düzeltme faktörleri (Taşıma gücü)

c: Kohezyon

c_i : Anlık kohezyon

D_f : Temel derinliği

E: Elastisite modülü

E_{din} : Dinamik elastisite modülü

E_m : Kaya kütlelerinin elastisite modülü

GSI: Jeolojik dayanım indeksi

Ja: Q sisteminde eklem alterasyon sayısı

Jn: Q sisteminde eklem set sayısı

Jr: Q sisteminde eklem pürüzlülük sayısı

Jv: Hacimsel eklem sayısı

Jw: Q sisteminde eklem suyu azaltma faktörü

m: Hoek-Brown yenilme ölçütünde boyutsuz malzeme sabiti

m_i : Hoek-Brown yenilme ölçütünde kayaç malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti

N_c , N_γ , N_g : Boyutsuz taşıma gücü faktörleri

P: Destek basıncı

Q: Q kaya kütleleri sınıflama sisteminde kaya kalitesi

RMR: Kaya kütleleri sınıflama puanı

RQD: Kaya kalite göstergesi

TCR: Toplam karot verimi
SCR: Sağlam karot verimi
SRF: Q sisteminde gerilme azaltma faktörü
s: Hoek-Brown yenilme ölçütünde boyutsuz malzeme sabiti
 γ : Birim hacim ağırlık
 σ : Normal Gerilme
 σ' : Etkin normal gerilme
 σ_c : Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
 σ_c : Kaya kütesinin tek eksenli basınç dayanımı
 σ_t : Kayaç malzemesinin çekme dayanımı
 σ_1 : En büyük asal gerilme
 σ_3 : En küçük asal gerilme
 τ : Makaslama gerilmesi
 ϕ : İçsel sürtünme açısı
 ϕ' : Etkin içsel sürtünme açısı
 ϕ_i : Anlık İçsel sürtünme açısı
 ϕ_i' : Anlık etkin içsel sürtünme açısı

Kısaltmalar

DSİ:Devlet Su işleri
GSI: Jeolojik Dayanım İndeksi
HES: Hidroelektrik santrali
MTA: Maden Tetkik Arama
RMR: Kaya Kalitesi Oranı
Q: Norveç Jeoteknik Enstitüsü Sınıflama Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanını gösteren yerbulduru haritası.....	4
Şekil 1.2. Çalışma alanında yıllık ortalama yağış miktarı (Anonim-2)	7
Şekil 1.3. Çalışma alanında yıllık ortalama sıcaklık değerleri (Anonim-3).....	7
Şekil 2.1. Tipik HES yapısı (Anonim-6).....	10
Şekil 2.2. Afet İşleri Gen. Müd. tarafından hazırlanan (1996) ve yürürlükte olan resmi deprem bölgeleri haritası.....	16
Şekil 2.3. Çalışma alanının çevresinde meydana gelen tarihsel depremler (İmamoğlu ve Çetin 2007)	17
Şekil 3.1. RMR puanına göre tavan açıklığı ve desteksiz ayakta kalma süresi (Bieniawski 1989).....	24
Şekil 3.2. Tünel ve yeraltı açıklıkları için kalıcı destek ve güçlendirme sistemlerini tespit için Q destek grafiği (Grimstad 1993 modifiye hali)	33
Şekil 4.1. Çalışma alanının Güncüoğlu ve Turhan (1983)'ten faydalanılarak hazırlanan ölçeksiz dikme kesiti.....	36
Şekil 4.2. Yolcular formasyonunda gözlenen kıvrımlanmalar	38
Şekil 4.3. Yolcular formasyonu üzerinde gözlenen Nemrut volkanik bazaltları	38
Şekil 4.4. Meydan Formasyonunda gözlenen kireçtaşları	39
Şekil 4.5. Döşkaya köyü yakınlarında gözlenen Çırrık formasyonuna ait kireçtaşları... 40	
Şekil 4.6. Yol yarmasında gözlenen taze yüzeyli Çırrık formasyonu kireçtaşları	41
Şekil 4.7. Tütü formasyonunun temelini oluşturan kristalize kireçtaşları	42
Şekil 4.8. Tütü Formasyonu içerisinde gözlenen metaaglomeralar.....	42
Şekil 4.9. Tütü formasyonu içerisinde gözlenen kalkıştiller.....	43
Şekil 4.10. Direktaş köyü civarında gözlenen Tütü Formasyonu-Guleman ofiyoliti bindirme dokanağı	44
Şekil 4.11. Maden Karmaşığında gözlenen yastık lavlar.....	45
Şekil 4.12. Maden Karmaşığı içerisinde gözlenen kristalize kireçtaşları	46
Şekil 4.13. Maden Karmaşığı Çırrık formasyonu bindirme dokanağı.....	46
Şekil 4.14. Regülatör sahası civarında bulunan sütun eklemler ve tüfler.....	47
Şekil 4.15. Santral binası civarında gözlenen ignimbitler	48
Şekil 4.16. Regülatör alanında gözlenen alüvyonlar	49
Şekil 4.17. Tektonik birlikler ve suturelar (Okan ve Tüysüz 1999).....	50

Şekil 4.18. Litolojik birimlerin su geçirimsizliğine (K) m/s göre genel anlamda sınıflandırılması (Yılmaz vd 1999).....	53
Şekil 4.19. Olası regülatör sahası jeolojik kesiti	55
Şekil 4.20. Olası yükleme havuzu sahası jeolojik kesiti.....	56
Şekil 4.21. Olası santral binası sahası jeolojik kesiti.....	57
Şekil 4.22. Schmidt geri sıçrama değeri ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller 1966, Hoek ve Bray 1977).	58
Şekil 4.23. Standart at nalı tünel kesiti (Cofcof, 1996).....	59
Şekil 4.24. Yolcular grubunda yapılan süreksizlik eğim miktarı histogram çözümlemesi	60
Şekil 4.25. Yolcular grubunda yapılan süreksizlik eğim yönü histogram çözümlemesi.	61
Şekil 4.26. Süreksizlik ölçümlerinden elde edilen gül diyagramları	61
Şekil 4.27. Yolcular grubunda süreksizliklerin aralıklarını gösterir histogram	62
Şekil 4.28. Yolcular grubunda süreksizliklerin açıklıklarını gösterir histogram	63
Şekil 4.29. Yolcular grubunda süreksizliklerin açıklıklarını gösterir histogram	64
Şekil 4.30. Özgün GSI sınıflama sistemi (Hoek ve Brown 1997).....	73
Şekil 4.31. Yolcular grubu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	75
Şekil 4.32. Yolcular grubu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	76
Şekil 4.33. Yolcular grubu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	77
Şekil 4.34. Giriş portalı yamaç duraylılık analizi.....	79
Şekil 4.35. Çıkış portalı yamaç duraylılık analizi	80
Şekil 4.36. Meydan formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram	82
Şekil 4.37. Meydan formasyonunda süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram	82
Şekil 4.38. Süreksizliklere ait gül diyagramı.	83
Şekil 4.39. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin aralıklarını gösterir histogram..	84
Şekil 4.40. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin açıklıklarını gösterir histogram	84
Şekil 4.41. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin devamlılığını gösterir histogram	85

Şekil 4.42. Meydan formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	91
Şekil 4.43. Meydan formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	92
Şekil 4.44. Meydan formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	93
Şekil 4.45. Giriş portalı yamaç duraylılık analizi.....	94
Şekil 4.46. Çıkış portalı yamaç duraylılık analizi	95
Şekil 4.47. Çırrık formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram çözümlemesi.....	96
Şekil 4.48. Çırrık formasyonunda süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram ...	97
Şekil 4.49. Süreksizliklere ait gül diyagramı.	97
Şekil 4.50. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin aralığını gösterir histogram.....	98
Şekil 4.51. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin açıklığını gösterir histogram	99
Şekil 4.52. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin devamlılığını gösterir histogram .	99
Şekil 4.53. Çırrık formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	106
Şekil 4.54. Çırrık formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	107
Şekil 4.55. Çırrık formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama	108
Şekil 4.56. Giriş portalı şev duraylılık analizi.....	109
Şekil 4.57. Çıkış portalı şev duraylılık analizi	110
Şekil 4.58. Tütü formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram.	112
Şekil 4.59. Tütü formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram.	112
Şekil 4.60. Süreksizliklere ait gül diyagramı.	113
Şekil 4.61. Tütü formasyonunda süreksizliklerin aralık değerlerini gösteren histogram	113
Şekil 4.62. Tütü formasyonunda süreksizliklerin açıklıklarını gösteren histogram.....	114
Şekil 4.63. Tütü formasyonunda süreksizliklerin devamlılıklarını gösteren histogram	115
Şekil 4.64. Tütü formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	121

Şekil 4.65. Tütü formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	122
Şekil 4.66. Tütü formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	123
Şekil 4.67. Giriş portalı süreksizlik duraylılık analizi	124
Şekil 4.68. Çıkış portalı süreksizlik duraylılık analizi.....	125
Şekil 4.69. Bitlis-Diyarbakır karayolunda Guleman ofiyolitlerinde serpantinlerin neden olduğu heyelan ve yıkılan istinat duvarı	126
Şekil 4.70. Guleman ofiyolitlerinde gözlenen serpantinler.....	127
Şekil 4.71. Maden karmaşığında süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram.	128
Şekil 4.72. Maden karmaşığında süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram ...	128
Şekil 4.73. Süreksizliklere ait gül diyagramı	129
Şekil 4.74. Maden karmaşığında süreksizlik aralıklarını gösteren histogram.....	130
Şekil 4.75. Maden karmaşığında süreksizlik aralıklarını gösteren histogram.....	130
Şekil 4.76. Maden karmaşığında süreksizlik devamlılıklarını gösteren histogram.....	131
Şekil 4.77. Maden karmaşığı en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	137
Şekil 4.78. Maden karmaşığı en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	138
Şekil 4.79. Maden karmaşığı normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri	139
Şekil 4.80. Giriş portalı süreksizlik duraylılık analizi	140
Şekil 4.81. Çıkış portalı süreksizlik duraylılık analizi.....	141
Şekil 4.82. Yatay topoğrafya üzerine inşa edilen temeller için taşıma gücü faktörleri (US Department of the Navy,1982).....	144

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 4628 Sayılı elektrik piyasası kanunu çerçevesinde gerçekleştirilecek projeler (Anonim-7).....	2
Çizelge 1.2. Çalışma Alanında yer alan belli başlı yükseltmeler.....	5
Çizelge 1.3. Çalışma alanında yer alan belli başlı akarsular.....	5
Çizelge 1.4. Çalışma alanında yer alan belli başlı akarsular.....	6
Çizelge 2.1.Dünya hidroelektrik potansiyeli (Gökdemir vd 2012).	12
Çizelge 2.2. HES'lerin sınıflandırılması (Çeçen 1983).....	13
Çizelge 3.1. Kaya kütle sınıflama sistemleri (Palmström 2000).....	20
Çizelge 3.2. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere 1964).....	21
Çizelge 3.3. RMR Kaya Kütle Sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski 1989).....	22
Çizelge 3.4. Kaya tünellerinde RMR'ye dayalı destek tipleri (Bieniawski 1989).....	25
Çizelge 3.5. Q sisteminin girdi parametreleri ve değerleri (Barton vd 1974 ve Barton 2000).....	27
Çizelge 4.1.1/25000 ölçekli MTA haritalarında yapılan sadeleştirmeler.....	34
Çizelge 4.2.Bitlis ili coğrafik ve hidrometrik verileri (Anonim-7).....	51
Çizelge 4.3.Bitlis ili su kaynakları verileri (Anonim-7).....	51
Çizelge 4.4. Süreksizlik aralığı tanımlama esasları (ISRM 1981).....	62
Çizelge 4.5. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ait esaslar (ISRM 1981).....	63
Çizelge 4.6. Süreksizlik devamlılığının tanımlama esasları (ISRM 1981).....	64
Çizelge 4.7. Dolgusuz ve dolgulu süreksizlikler için su durumunun sınıflandırılması ve tanımlanması (ISRM, 1981).....	65
Çizelge 4.8. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımları ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981).....	66
Çizelge 4.9.Yolcular Grubu için RMR sınıflaması.....	68
Çizelge 4.10.Yolcular Grubu için kütle parametreleri.....	69
Çizelge 4.11.Yolcular gurubu içersinde bulunan kuvvet tüneli giriş kısmı için önerilen destek sistemi önerileri.....	69
Çizelge 4.12.Yolcular Grubu için Q sınıflaması.....	71
Çizelge 4.13.Yolcular Grubu için kaya kütle özellikleri.....	72

Çizelge 4.14.Yolcular gurubu içersinde bulunan kuvvet tüneli giriş kısmı için Q sistemine göre önerilen destek sistemi önerileri.....	72
Çizelge 4.15.Yolcular Grubu için GSI ve Hook - Brown görgül yenilme ölçütü değerleri	74
Çizelge 4.16. Meydan Formasyonu için RMR sınıflaması	86
Çizelge 4.17. Meydan Formasyonu için kaya kütle parametreleri	87
Çizelge 4.18. Meydan Formasyonu için RMR sınıflamasına göre tünel destek önerileri	87
Çizelge 4.19. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre yapılan kaya sınıflaması	88
Çizelge 4.20. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre kaya kütle özellikleri.....	89
Çizelge 4.21. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre önerilen destek sistemleri	89
Çizelge 4.22. Meydan formasyonu için GSI ve Hook-Brown görgül yenilme ölçütü değerleri.....	90
Çizelge 4.23. Çırrık formasyonu için RMR sınıflaması	101
Çizelge 4.24. Çırrık formasyonu için kaya kütle parametreleri	102
Çizelge 4.25. Çırrık formasyonu için RMR sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri	102
Çizelge 4.26. Çırrık formasyonu için Q sınıflaması	103
Çizelge 4.27. Çırrık formasyonu için kaya kütle özellikleri	104
Çizelge 4.28. Q sınıflamasına göre önerilen destek sistemleri.....	104
Çizelge 4.29. Çırrık formasyonu için GSI ve Hook Brown görgül yenilme ölçütü değerleri.....	105
Çizelge 4.30. Tütü formasyonu için RMR sınıflaması	116
Çizelge 4.31.Tütü formasyonu için kaya kütle parametreleri	117
Çizelge 4.32. Tütü formasyonunda RMR sınıflamasına göre kazı ve destek sistemleri	117
Çizelge 4.33.Tütü formasyonu için Q sınıflama sistemi.....	118
Çizelge 4.34. Q sınıflamasına göre kaya kütle özellikleri	119
Çizelge 4.35.Q sınıflamasına göre destek sistemleri	119

Çizelge 4.36. Tütü formasyonu için GSI ve Hook-Brown görgül yenilme ölçütü değerleri.....	120
Çizelge 4.37. Maden karmaşığı için yapılan RMR sınıflaması.....	132
Çizelge 4.38. Maden karmaşığı kaya kütle parametreleri.....	133
Çizelge 4.39. RMR sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri	133
Çizelge 4.40. Maden karmaşığı için yapılan Q sınıflaması.....	134
Çizelge 4.41. Maden karmaşığı kaya kütle özellikleri.....	135
Çizelge 4.42. Q sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri	135
Çizelge 4.43. Maden karmaşığı için GSI ve Hook Brown görgül yenilme ölçütü değerleri.....	136
Çizelge 4.44. Birimlerin kütle özellikleri ve sınıflama sistemleri değerleri	142
Çizelge 4.45. Düzeltme Faktörleri (Wyllie,1992)	144
Çizelge 4.46. Deprem Bölgelerine göre etkin yer ivme katsayılar.....	146
Çizelge 4.47. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelik esaslarına göre zemin gurupları (DBYBHY 2007).....	147
Çizelge 4.48. Kandilli rasathanesi 1900-2008 yılları arası meydana gelen deprem verileri.....	148

1.GİRİŞ

Hidroelektrik enerji suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen, iklim şartlarındaki değişikliklere karşı hassas bir enerji türüdür. Anadolu'da ilk baraj, Hititler tarafından MÖ. 1300 yılında inşa edilmiştir. Urartular MÖ. 1000 yılında Van ilinde iki önemli hidrolik yapı tertip etmiştir. Bu sistemin bazı bölümleri hala kullanılmaktadır. Dara barajı, Anadolu'da Mardin ili yakınlarında 6. yüzyılda kurulmuştur ve bu baraj dünyadaki ilk ince kemer tipli baraj olarak kaydedilmiştir (Gökdemir vd 2012).

Ülkemizin topoğrafik ve hidrojeolojik yapısı ve bazı yörelerdeki yağış yoğunluğu büyük su gücü potansiyeli yanında, küçük hidroelektrik güç potansiyelinin de yaygın olarak bulunmasına olanak sağlamıştır. Türkiye'de küçük hidroelektrik santrallerin gelişimi 1902 yılında başlamıştır. Bu tarihten itibaren, ülkenin pek çok bölgesinde hükümet birimleri, özel sektör ve yerel belediyeler tarafından çok sayıda küçük HES inşa edilmiştir. Ancak, günümüze kadar enerji tüketimi alanındaki hızlı artışın bir sonucu olarak, Türkiye ekonomisine maksimum enerji temin etmek ve artan enerji talebini karşılamak amacıyla büyük ölçekli HES projelerinin gelişimine öncelik verilmiştir. Son 30 yıl süresince küçük HES kapasitesindeki ortalama yıllık artış %5-%10 civarındadır (Gökdemir vd 2012). 2011 yılı itibari ile özel sektörece gerçekleştirilecek HES projelerine ait bilgiler Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. 4628 Sayılı elektrik piyasası kanunu çerçevesinde gerçekleştirilecek projeler (Anonim-7)

	Toplam HES Adedi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Başvurulan ve Başvurulacak DSİ/EİE HES projeleri		
Kati Projesi Hazır Olan HES	8	253.72
Planlama Raporu Hazır Olan HES	68	3619.95
Master Plan Raporu Hazır olan HES	65	3304.90
Ön İnceleme Raporu Hazır olan HES	59	1425.56
İlk Etüdü Hazır Olan HES	159	1647.50
Toplam	359	10251.63
Tüzel Kişiler Tarafından Geliştirilen HES Projeleri		
Toplam	1215	9201.90
İnşaatı Devam Etmekte Olan Başvurulan ve Vurulacak HES Projeleri		
Toplam	8	369.18
İkili Anlaşmalar Kapsamında Çıkarılan Başvurulan ve Vurulacak HES Projeleri		
Toplam	13	2216.28
Genel Toplam	1595	22038.99

Ülkemizde özellikle baraj, tünel, otoyol gibi büyük mühendislik projeleri yapılırken proje öncesi ve proje aşamalarında jeolojik ve jeoteknik etütlere gerekli bütçe ve zaman ayrılmamakta da bunun sonucunda ise projelerde geri dönüşü olmayan zararlara yol açmaktadır.

Bu çalışmada yapımı planlama aşamasında bulunan “Bitlis Regülatörü ve HES Projesinin” regülatör, yükleme havuzu, santral yeri gibi sanat yapılarının inşa edileceği alanların temel zemin özelliklerinin belirlenmesi ve suyun iletiminde kullanılacak kuvvet tünelinin geçeceği güzergahtaki birimlerin, mühendislik özelliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

“Bitlis Regülatörü ve HES Projesi” Bitlis-Diyarbakır karayolu güzergahında, uzunluğu yaklaşık 15 km olan bir koridorda planlanmıştır. Proje alanının imar durumu ve yerleşime uygunluğunun belirlenmesi amacıyla 2010 yılında Yersu Mühendislik Son.İnş Ltd.Şti. tarafından proje alanının imara esas jeolojik ve jeoteknik raporu hazırlanmıştır. Rapor kapsamında sanat yapılarının planlandığı alanlarda toplam

uzunluğu 209 m olan 9 araştırma sondajı açılmış ve alınan karot örnekleri üzerinde Akademi Jeolojik Jeoteknik İnşaat Ltd.şti zemin mekaniği laboratuvarında gerekli deneyler yaptırılmıştır.

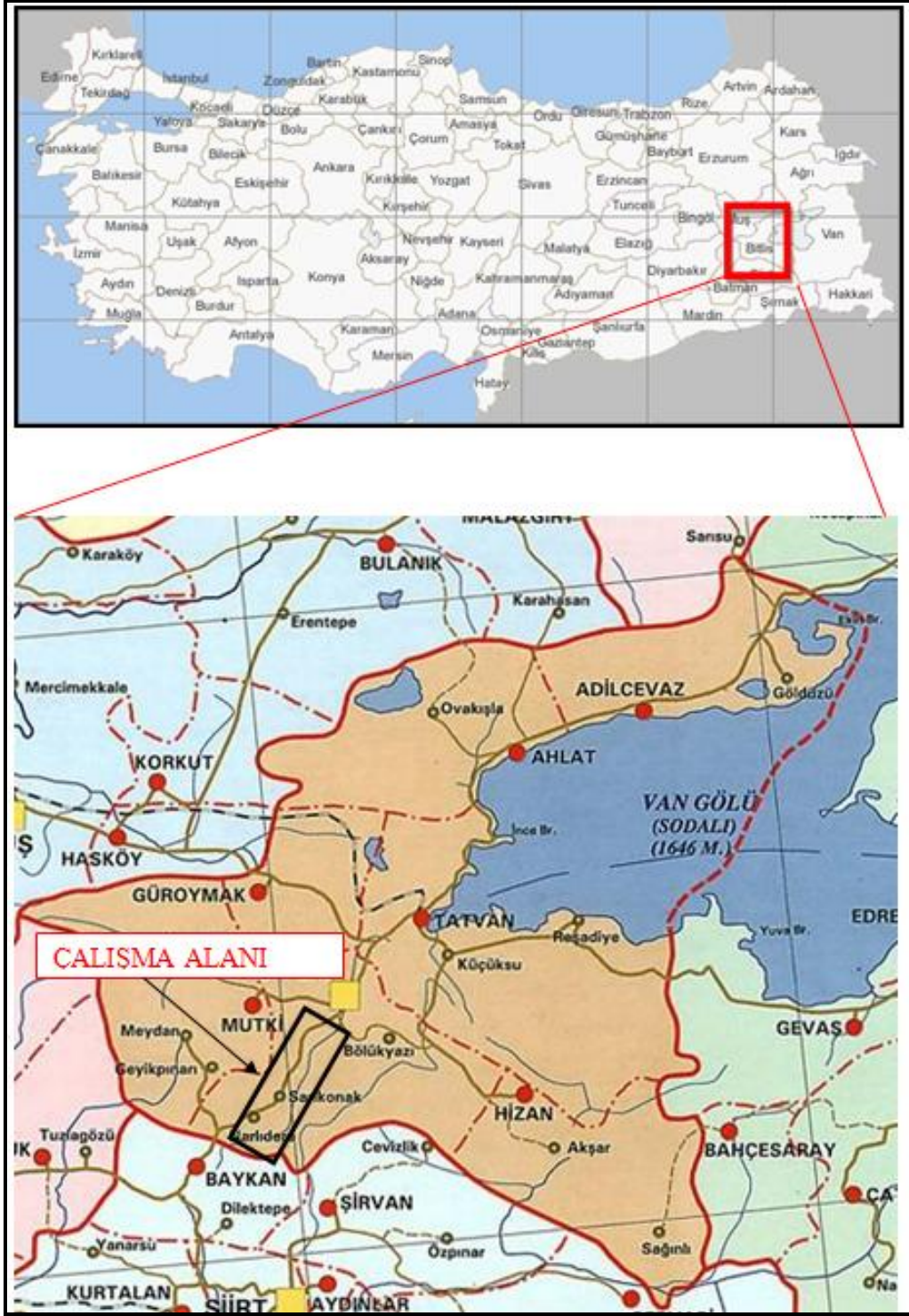
Bu çalışmada; Bitlis çayı üzerinde yapılması planlanan “Bitlis Regülatörü ve HES Proje” sahasının sanat yapıları ve kuvvet tüneli geçkisini de içine alan, yaklaşık 85 km²’lik bir alanın 1/25000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır. Olası kuvvet tünelinin geçeceği birimlerde kaya kütesinin özelliklerini belirlemek ve kaya kütesi sınıflandırmalarında kullanılmak üzere süreksizlik ölçümleri yapılmış, birimlerdeki kaya kütlelerinin RMR, Q ve GSI’ya göre en iyi, en kötü ve normal koşullarda ki sınıflamaları yapılarak, kazı ve destek önerileri verilmiştir. Sanat yapılarının bulunduğu alanlardaki araştırma sondajlarından numuneler alınmış ve elde edilen laboratuvar verilerine dayanarak zeminlerdeki taşıma gücü hesaplanmaya çalışılmıştır.

1.1 Proje Alanının Morfolojik Durumu

“Bitlis Regülatörü ve HES Projesi’nde; Bitlis deresi üzerinde 1238.00 m talveg kotunda inşa edilecek regülatör yapısı ve sağ sahilde çökeltim havuzu ile, elde edilecek suyun yaklaşık 12 km uzunluğundaki iletim tüneli aracılığıyla önce 1242.00 m kotundaki yükleme havuzuna, buradan da cebri borular ile yaklaşık 880.00 m kotunda bulunan santral binasına iletilmesi ile enerji üretimi amaçlanmaktadır.

İnceleme alanı Bitlis il merkezinin 20 km kadar güneybatısında merkez ilçesi sınırları içersinde 1/25000 ölçekli, Muş L47-C2, Muş L47-B3 ve Van L48 A4 paftaları içersinde yer almaktadır.

Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasında bulunan çalışma alanı Zagros kenet kuşağının kuzeyinde morfolojik olarak ortalamanın üstündeki bir yükseklikte bulunmaktadır (şekil 1.1). Çalışma alanındaki belli başlı yükseklikler Çizelge 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanını gösteren yerbulduru haritası

Çizelge 1.2. Çalışma Alanında yer alan belli başlı yükseltiler

N0	TEPE ADI	YÜKSEKLİK (m)
1	Biheri	1779
2	Yeşil	1551
3	Hıdırnebi	1860
4	Nalça	1649
5	Kaşamir	1179
6	Gazi	1782
7	Salme	2049
8	Berge	1574
9	Kalem	2087
10	Miçin	1877
11	Şeyhzerayik	1511

Çalışma alanı ve çevresinde çoğu Bitlis çayına karışan ve mevsimlik olarak akışa geçen irili ufaklı birçok kuru dere bulunmaktadır. Bunların bazıları Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Çalışma alanında yer alan belli başlı akarsular

N0	DERE ADI
1	Hapukan
2	Serkisan
3	Mezra
4	Dam
5	Çır
6	Germik
7	Törek
8	Darı
9	Navalakesk

1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanın içinde bulunduğu Doğu Anadolu'da kışlar sert ve yağışlı yazlar sıcak ve kurak geçmektedir. İnceleme alanının içinde bulunduğu Bitlis vadisinin memba kısmında kışlar daha sert ve yağışlı geçerken mansaba doğru ilerledikçe kışların daha yumuşak kar yağışının az ve yazların daha sıcak geçtiği görülmektedir.

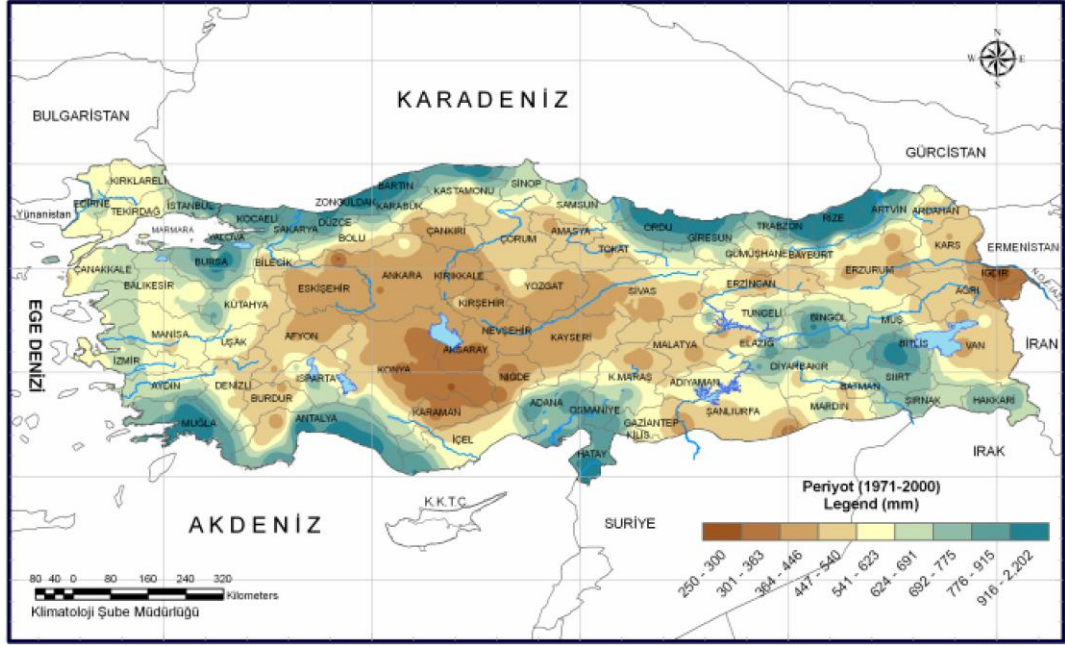
Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre en yüksek sıcaklık 38⁰C, en düşük sıcaklık -22⁰C olarak ölçülmüştür. Bitlis ili yıllık toplam yağış dağılımında en fazla yağış ise 1899 mm ile 1987 yılında gerçekleşmiştir. Bölgenin bitki örtüsü genellikle bahar mevsiminde yağışlarla yeşeren yazın ise kuruyan step bozkırdır. Ancak inceleme

alanın içinde bulunduğu vadide daha yumuşak iklim şartları olduğundan bu bölgede sınırlı alanlarda meyve ve sebze yetiştiriciliği yapılmaktadır.

Devlet Meteoroloji Müdürlüğü tarafından 1960-2012 yılları arasında yapılan ölçümler Çizelge 1.4'te, çalışma alanına ait yıllık ortalama yağış, Şekil 1.2'de ve çalışma alanına ait yıllık ortalama sıcaklık Şekil 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Çalışma alanında yer alan belli başlı akarsular

BİTLİS	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun yıllar içerisinde gerçekleşen ortalama değerler (1960-2012)												
Ortalama sıcaklık (C ⁰)	-2.9	-2.1	1.7	7.6	13.2	18.5	22.8	22.3	17.6	11.3	4.7	-0.8
Ortalama en yüksek sıcaklık (C ⁰)	1.2	2.3	6.2	12.8	19.3	25.5	30.5	30.8	26.4	18.6	10.4	3.4
Ortalama en düşük sıcaklık (C ⁰)	-6.4	-5.7	-2.0	3.2	7.4	11.5	15.6	15.0	10.8	6.3	0.9	-4.1
Ortalama güneşlenme süresi (saat)	2.3	3.2	5.0	5.8	7.3	9.2	9.7	9.7	9.1	5.3	2.8	1.9
Ortalama yağışlı gün sayısı	13.6	13.4	15.4	15.9	14.2	5.9	2.4	2.3	3.5	10.2	11.1	13.2
Aylık toplam yağış miktarı ortalaması (kg/m ²)	148.6	176.6	167.7	167.8	97.6	22.8	5.7	4.2	17.0	89.8	146.7	156.7
Uzun yıllar içerisinde gerçekleşen ortalama değerler (1960-2012)												
En yüksek sıcaklık (C ⁰)	15.1	13.2	23.0	27.8	29.4	34.0	38.0	37.4	35.5	30.2	22.0	15.6
En düşük sıcaklık (C ⁰)	-21.3	-22.0	-20.3	-12.0	-2.5	1.9	7.0	7.0	1.8	-6.0	-17.0	-21.9



Şekil 1.2. Çalışma alanında yıllık ortalama yağış miktarı (Anonim-2)



Şekil 1.3. Çalışma alanında yıllık ortalama sıcaklık değerleri (Anonim-3)

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Bitlis Masifi Güneydoğu Toros Dağları sisteminde bulunup batıda Akdağ'dan başlayarak, doğuya doğru Muş Ovası ve Van Gölü'nün güneyinden geçmekte Hakkari'nin kuzeyindeki Karadağ'a kadar devam etmektedir. Kuzeyinde Van Gölü, Karasu ve Murat nehirleri, güneyinde ise Güneydoğu Anadolu bindirme zonu ile sınırlanmış olan masif; aynı zamanda doğu, batı ve güneyde ofiyolitli karmaşık seriler ile çevrilmiştir. Gerek çalışma bölgesinde yapılan araştırmaların bazıları, gerekse konu ile ilgili taranan kaynaklar aşağıda verilmiştir.

Maxon (1937), bölgedeki ofiyolitik kayaçları “Hakkari Karmaşığı” olarak adlandırmıştır. Çalışmasında Bitlis Metamorfik Kuşağını, güneyde yer alan yapıların kuzeyden itilme ile gelişen, ters faylara bağlı olduğunu ve metamorfik kayaçlar ile birlikte bulunan fosilsiz, kalın kuvarsit serisinin yapısal veriler dayanarak Permiyen yaşlı olduğunu ileri sürmüştür.

Bingöl (1989), bölgenin 1/2.000.000 ölçekli genel jeoloji haritasını yapmıştır. Hazırlanmış olduğu raporunda Bitlis metamorfik kuşağının Doğu Toros'ların en üst tektonik birliğini oluşturduğunu bildirmiştir.

Arni (1939), Bitlis metamorfiklerinin çok kıvrımlı mermer ve şistlerden oluştuğunu belirterek kenar kıvrımları kuşağını tanımlamıştır. Yazar, şistlerin üstünde yer alan kristalize kireçtaşlarının Permiyen yaşlı olduğunu ileri, sürmüştür.

Tolun (1948, 1953, 1954, 1960), Bitlis metamorfiklerinin Hersinyen orojenezi öncesi kıvrımlandığını ve Permiyen kireçtaşı ile uyumsuz olarak örtüldüğünü belirtmiştir. Ayrıca yazar Permiyen sonrası da yeni bir orojenez geçiren masifin Üst Kretase'ye kadar aşınmaya uğradığını ileri sürmüştür.

Kellog (1960), Siirt-Bitlis yöresinde yaptığı stratigrafi çalışmalarında; Bitlis masifinde, Karbonifer öncesi yaşlı gnays, şist ve mermerlerden oluşan bir çekirdek üzerine, Alt Paleozoyik ve Mesozoyik karbonatlarının geldiğini savunmaktadır. Yazara göre istifdeki karbonatların yaşı üst Kretase'ye çıkmaktadır.

Altınlı (1963), tarafından düzenlenen 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Van ve Erzurum paftalarının açıklamasında; metamorfik kayaların Kaledoniyen ya da daha eski bir orojenezin ürünü olduğu söylemiştir. Plajiyoklas gnays, amfibol-biyotit gnays, metabazikler ve şistler ile değişik türde kireçtaşları içerdiğini öne sürülmektedir.

Göğer (1969), Bitlis'in doğusunda yaptığı çalışmada; bölgedeki dizilimi tanımlamıştır. Çalışmasında gnays amfibolit ve granitlerin üzerine uyumsuz olarak Paleozoyik yaşlı kuvarsit ve karbonatların geldiğini ileri sürmüştür.

Hall ve Mason (1972), çalışma alanında yer alan ofiyolitli kayaların bir tektonik melanj oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu melanjın Bitlis Masifi içinde tektonik konumla yer aldığını ve Üst Kretase yaşlı birimler içerdiğini ileri sürmüşlerdir.

Boray (1973, 1975), Bitlis yöresinde ilk ayrıntılı harita alımını yürütmüş ve Bitlis Metamorfiklerinde iki birliğin varlığını göstermiştir. Bu birliklerde birden fazla deformasyon ve metamorfizma aşamaları ayırtlamıştır.

Yılmaz (1971, 1975) ve Yılmaz vd (1981), Cacas yöresinde yaptığı çalışmada; Bitlis metamorfiklerini eski temel ve epimetamorfik örtü olarak bölümlendirmiştir. Yaptıkları çalışmalarda magmatik ve metamorfik kayaların yaşlarını araştırmışlardır.

Özkaya (1974), Sason ile Baykan arasında yaptığı çalışmada; Bitlis metamorfiklerini allohton metamorfik blok olarak adlandırmıştır. İstifin üst kesimindeki dolomitik kireçtaşının yaşının Kretase'ye dek çıkacağını ileri sürmüştür.

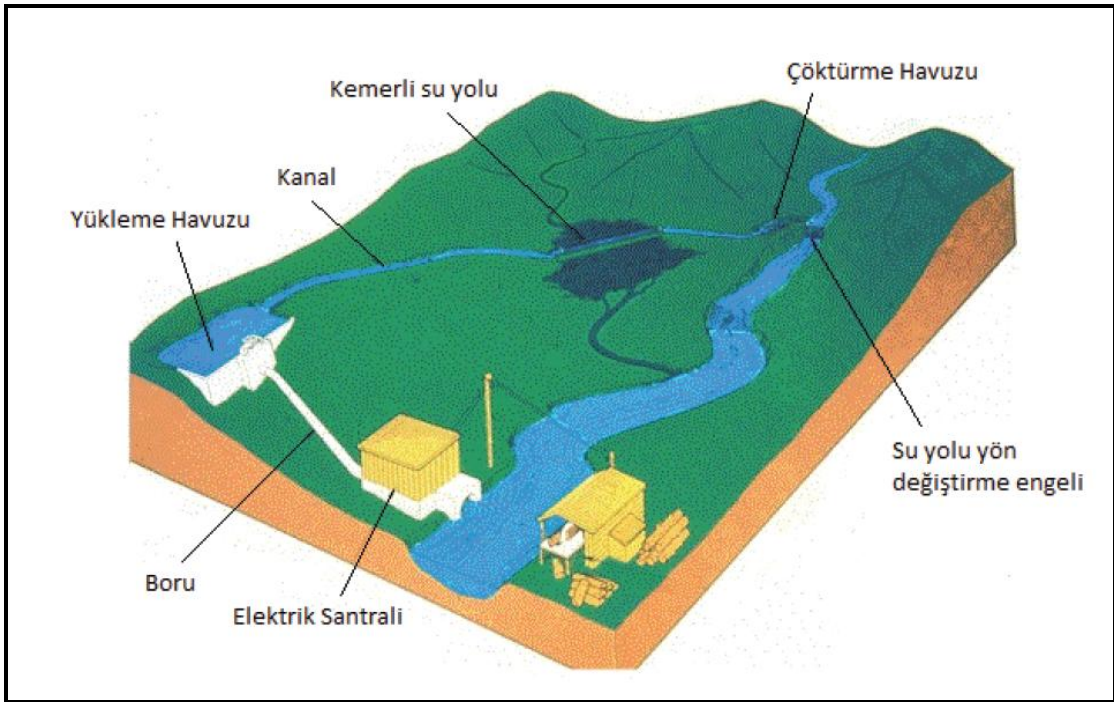
Açıkbaş ve Baştuğ (1975), Bitlis metamorfiklerinin epimetamorfik örtü olarak adlandırdıkları üst kesiminde altı birim ayırt etmişlerdir. Bu birimlerin her birini Arap otoktonundaki Üst Paleozoyik-Üst Mesozoyik birimleri ile karşılaştırmışlardır.

Erdoğan (1982), Ergani yöresinde güneydoğu Anadolu ofiyolit kuşağının Guleman ve Maden grubu kayalarından oluştuğunu belirtir. Araştırmacı, Guleman grubunun okyanus kabuğu kayalarını içerdiğini, bunun üstünde uyumsuz oturan Maden grubunun (Maestrihtiyen-Üst Eosen) ise ada yayı özellikli olduğunu savunmaktadır.

Göncüoğlu ve Turhan (1983, 1985), Bitlis masifinin orta kesiminde yaptıkları çalışmalarda; bölgenin her biri kendi içinde pek çok tektonik dilim kapsayan üç tektonostratigrafik birimden oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Bu birimlerden en kuzeyde ve üstte yer alan Bitlis metamorfileri kuşağı, bunun altındaki birimin dilimli kuşak, en alttaki birimin ise otokton kuşak adı altında incelendiğini belirtmişlerdir.

2.1 Hidroelektrik Enerji ve Türkiye'deki Gelişimi

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür (Şekil 2.1). Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamak ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Hidrolik potansiyel, yağış rejimine bağlıdır. Dolayısıyla, hidrolik enerji, iklim şartlarındaki değişimlere karşı hassas bir enerji türüdür. Hidroelektrik santraller, diğer üretim tipleri ile kıyaslandığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime haizdirler (Gökdemir vd 2012).



Şekil 2.1. Tipik HES yapısı (Anonim-6)

Anadolu'da ilk baraj, Hititler tarafından MÖ. 1300 yılında inşa edilmiştir. Urartular MÖ. 1000 yılında Van ilinde iki önemli hidrolik yapı tertip etmiştir. Bu sistemin bazı bölümleri hala kullanılmaktadır. Dara barajı, Anadolu'da Mardin ili yakınlarında altıncı yüzyılda kurulmuştur ve bu baraj dünyadaki ilk ince kemer tipli baraj olarak kaydedilmiştir. Osmanlılar zamanında İstanbul'da inşa edilen su taşıma sistemlerinin ve barajların bazıları hala kullanımdadır (Gökdemir vd 2012).

İlk hidroelektrik üretim 1902 yılında Tarsus'da küçük ölçekli hidroelektrik santral ile başlamıştır. Büyük ölçekli ilk güç santrali ise 1913 yılında İstanbul'da inşa edilmiştir. 1933'te Hidroelektrik enerji ile işleyen aydınlatma ve elektrik şebekesi ilk kez Ödemiş'te kurulmuştur. 1935 yılında elektrik üretimi ile ilgili birkaç devlet kuruluşu tesis edilmiştir (Gökdemir vd 2012).

2.2. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli

Ülkemizdeki 26 adet hidrolojik havzasında bulunan irili ufaklı çok sayıdaki nehrin yıllık ortalama akımları 193 milyar m³'dür. Akarsuların hidroelektrik potansiyelleri belirlenirken; "teorik potansiyel", "teknik yapılabilir potansiyel" ve "ekonomik yapılabilir potansiyel" olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Gökdemir vd 2012).

Mevcut hidroelektrik kaynakların üretim potansiyelinin, teknik ve ekonomik yapılabilirlik koşulları göz önüne alınmadan, teorik olarak mevcut tüm düşü ve ortalama debi kullanılarak hesaplanan potansiyel "Brüt Potansiyel" olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli Devlet Su İşleri verilerine göre 433 milyar kwh civarındadır. Bu değer dünya hidroelektrik potansiyelinin %1'ine, Avrupa hidroelektrik enerji potansiyelinin %14'üne eşittir. Ekonomik yapılabilir olması koşulu göz önüne alınmadan, ülkenin hidroelektrik kaynaklarından teknik olanlarının tümünün değerlendirilmesi durumunda oluşabilecek üretim miktarı "Teknik Potansiyel" olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizin teknik hidroelektrik enerji potansiyeli, 215 milyar kwh mertebesindedir. Ülkenin brüt hidroelektrik potansiyelinin hem teknik hem de ekonomik olarak değerlendirilebilir bölümüne ise "Teknik ve Ekonomik Potansiyel"

denilmektedir. Yıllardan yıla küçük farklılıklar göstermekle birlikte bugün için Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 129.9 milyar kwh'dir. Bu potansiyelin belirli bir kısmı geliştirilmiş bulunmaktadır (Gökdemir vd 2012).

2.3. Dünyanın Hidroelektrik Potansiyeli

Dünyada yeni hidroelektrik santraller için muazzam büyüklükte keşfedilmemiş potansiyel bulunmaktadır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da uygun hidroelektrik alanların çoğunun geliştirilmesine rağmen, özellikle gelişmekte olan ülkelerin bulunduğu Asya, Latin Amerika ve Afrika kıtalarında geliştirilebilecek önemli hidroelektrik potansiyel mevcuttur (Gökdemir vd 2012). Dünyadaki bazı bölgelerin hidroelektrik potansiyellerine ait veriler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünya hidroelektrik potansiyeli (Gökdemir vd 2012).

Bölge	Brüt Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik ve Ekonomik Hidroelektrik Enerji Potansiyeli (GWh/yıl)
Afrika	4.000.000	1.665.000	1.000.000
Asya	19.000.000	6.800.000	3.600.000
Avustralya/Okyanusya	600.000	270.000	105.000
Avrupa	3.150.000	1.225.000	800.000
Kuzey ve Orta Amerika	6.000.000	1.500.000	1.100.000
Güney Amerika	7.400.000	2.600.000	2.300.000
Dünya	40.150.000	14.060.000	8.905.000
Türkiye	433.000	216.000	127.820
Türkiye/Dünya (%)	1.07	1.54	1.84

2.4. Küçük Hidroelektrik Santraller (HES)

Bir veya birden fazla türbin-jeneratör ünitesi bulunan ve ünitelerin toplam kurulu gücü 10 MW'tan daha küçük santrallere "küçük hidroelektrik santraller" denilmektedir. Küçük hidroelektrik santralleri değişik kısıtlara göre sınıflandırmak mümkündür. Ülkelerin ekonomik yapılarındaki ve hidrolik potansiyellerindeki

özelliklerin farklılıklar göstermesi, tüm ülkeler için standart bir sınıflandırma sistemine gitmeyi engellemektedir. Bu nedenlerle çeşitli ülkelerde farklı sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır. Sınıflandırmada şu kıstaslar göz önüne alınabilir.

- Su ekonomisi yönünden sınıflandırma
- Enerji ekonomisi yönünden sınıflandırma
- Teknik özelliklerine göre sınıflandırma
- Topoğrafik duruma göre sınıflandırma

Çeşitli ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de küçük hidroelektrik santrallerin sınıflandırması santralin kurulu gücüne göre yapılmaktadır. Ancak; ülkelerin ekonomik ve teknolojik özelliklerine göre küçük hidroelektrik santrallerin tesis gücünün sınırları değişik değerler almaktadır. Ülkemizde, Birleşmiş Milletler Endüstriyi Geliştirme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization, UNİDO) tarafından yapılmış olan sınıflandırma sistemi benimsenmiştir. Buna göre; kurulu güce göre sınıflama sistemi benimsenmiştir (Çizelge 2.2, Çeçen 1983).

Çizelge 2.2. HES'lerin sınıflandırılması (Çeçen 1983)

Büüklüğü	Uygulama Yeri	Güç	Sınıfı
En Küçük	Müstakil Ev	0-5 kW	Pico
Çok Küçük	Küçük Yerleşim Yerleri	5-100 kW	Mikro
Küçük	Yerel Ağlar ve Ulusal Şebeke	100 kW-5MW	Mini
Büyük	Ulusal Şebeke	5MW ve Üzeri	Full-Scale

2.5. Küçük Hidroelektrik Santrallerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

2.5.1. Olumlu Yönleri

- Küçük hidroelektrik santralleri; barajlı hidroelektrik santrallerine kıyasla yapısı itibari ile akarsu üzerinde büyük bir set gerektirmemesi, buna bağlı olarak da bir rezervuara sahip olmaması nedeniyle barajlı hidroelektrik santrallerinin neden olduğu yaşam ve tarım alanları ile kültürel mirasların su altında kalması, oluşan

rezervuar gölünün ekolojik ve iklimsel dengeyi bozması gibi olumsuzluklara neden olmaz.

- Barajlı hidroelektrik santrallerinde karşılaşılan siltlenme ve aşırı yağışlarda baraj kapaklarının açılması nedeniyle oluşan sel baskınları, küçük hidroelektrik santrallerde yaşanmaz.
- Ulaşımı güç olan ve ulusal sistemden beslenemeyen kırsal bölgelerdeki köy ve diğer ünitelerin enerji ihtiyacını karşılar. Böylece, bu bölgelerin sosyoekonomik ve kültürel gelişimlerinin hızlanmasına yardım eder.
- Küçük hidroelektrik santrallerde, üretilen enerji genellikle bölgede kullanıldığı için, uzun iletim şebekelerine ihtiyaç duyulmaz. Bu durum büyük oranda enerji kayıplarını engellemektedir.
- Küçük hidroelektrik santraller çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli (% 90'ın üzerinde), yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa (5-10 yıl), işletme gideri çok düşük (yaklaşık 0.2 cent/kwh), dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır (Anonim-6).

2.5.2. Küçük Hidroelektrik Santrallerin Olumsuz Yönleri

- Sel kontrolü, içme ve kullanma suyu sağlamak gibi ek işlevleri yoktur.
- 1kw kurulu güç için gerekli yatırım maliyeti büyük santrallerden yüksektir.
- Depolama özellikleri olmadığından, enerji üretimi akıma bağlıdır. Bu sebepten dolayı küçük hidroelektrik santrallerin verimleri düşüktür.
- Uzun tünel alternatifleri ve baraj yapısından santrale kadar olan nehir kesitine yeterli miktarda su bırakılmayabilir. Ekolojik denge debisi (EDD) bozulabilir. İşletme aşamasında ise akış aşağı bırakılacak su miktarının ayarlanması ve projede belirtilen seviyede tutulması, akış aşağı ekolojik denge üzerinde olumsuz etkisi olmaktadır (Anonim-6).

2.6. Su Yapılarında Jeolojik ve Jeoteknik Etütler

Yeryüzü ve yeraltında inşa edilen tüm yapılarda, jeoloji ve jeotekniğin ne kadar önemli olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu durum özellikle baraj, tünel otoyol gibi büyük mühendislik projelerinde daha çok önem kazanmaktadır. Proje ve uygulama aşamasında eksik ya da yanlış yapılan jeoteknik çalışmalar, telafisi olmayan zararlara

yol açmaktadır. Su yapılarında karşılaşılan problemlerin başlıcaları; gerekli geçirimsizliğin sağlanamaması, rezervuar alanındaki şevlerin stabilite sorunlarından kaynaklanan heyelanlar, derivasyon ve iletim tünellerinde karşılaşılan kaynak boşalımı, gaz, aşırı sökülme v.b olarak sıralanabilir. Bu tür problemlerle karşılaşmamak veya en aza indirmek için jeolojik ve jeoteknik çalışmaların yeterli ve doğru olarak yapılması, projelendirme ve yapı güvenliği bakımından önemlidir. Tüm su yapılarında genellikle yapım maliyetlerinin %0.05 ile %3'üne karşılık gelen bir maliyetle araştırma çalışmalarının yapılması gerekmektedir (Koçbay 2013). Mühendislik projelerinde planlama, araştırma, proje ve yapım süresi ile faydalı ömrü sürekli göz önünde tutulması gereken önemli ölçütlerdir. Jeoteknik sorunların varlığı dolayısıyla iyileştirme çalışmaları, proje süresini ve maliyetini arttırmaktadır (Leventeli ve Yılmaz 2003).

Su yapılarında yapılan jeolojik ve jeoteknik çalışmalarda; mühendislik jeolojisi, temel sondajları, yerinde deneyler, laboratuvar deneyleri, yeraltı suyu gözlemleri, jeofizik etütler, görsel incelemeler ve yerel deneyimlerin bir bütün halinde değerlendirilmesi sonucunda yeraltı zemin koşullarının belirlenmesi hedeflenir. Bunun için büro çalışması, araştırma programı hazırlanması ve arazi çalışması şeklinde üç kademeli bir programın yapılması ve bunun uygulanması gerekmektedir (Koçbay 2013).

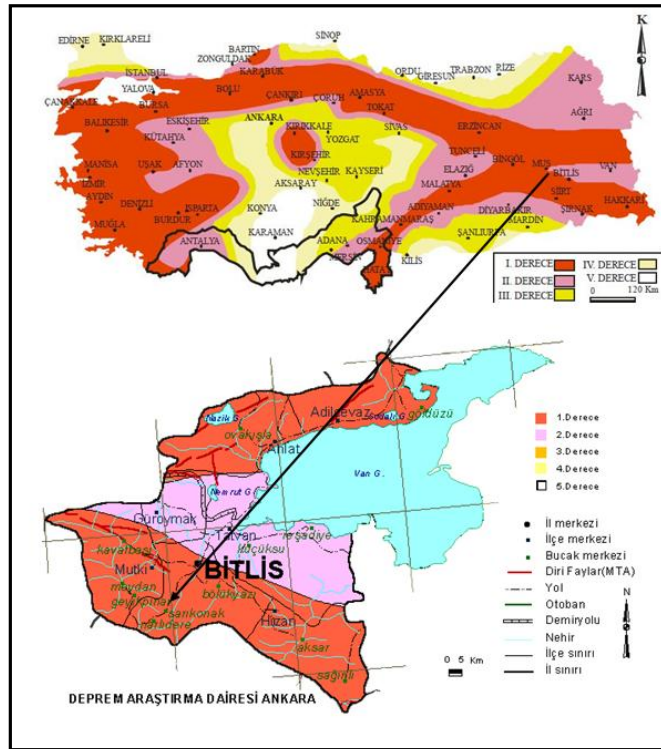
Ön çalışmalarda; rezervuar alanından diğer havzalara kaçak olup olmadığı, eski ve aktif heyelanlar, mevcut topoğrafyadaki çığ riski, yapı yerlerinde yeraltı su seviyesi gibi faktörler göz önüne alınarak planlama aşamasında gerekli görülen araştırmalar belirlenmelidir.

Planlama aşamasında projenin büyüklüğüne göre 1/25000–1/5000–1/1000 ölçekli haritalar kullanılarak göl alanının, güzergahların ve yapı yerlerinin jeolojik yapısı incelenmeli geçirimsizlik ve duraylılık yönünden yapı-temel ilişkisi ile doğal yapı gereç alanları ortaya konularak projenin yapılabilirliği araştırılmalıdır. Araştırma programı kapsamında yapılacak çalışmalar ile örtü birimlerinin, ayrılmış ve zayıf kayaçların, temel olabilecek kayaçların jeolojik ve jeoteknik özellikleri belirlenmelidir. Yapı yerinde vadi tabanı ve yamaçları oluşturan birimler incelenerek, arazi deneyleriyle geçirimsizlik katsayısı (K) ve Lugeon değerleri hesaplanmalı; inşaat sırasında kazı

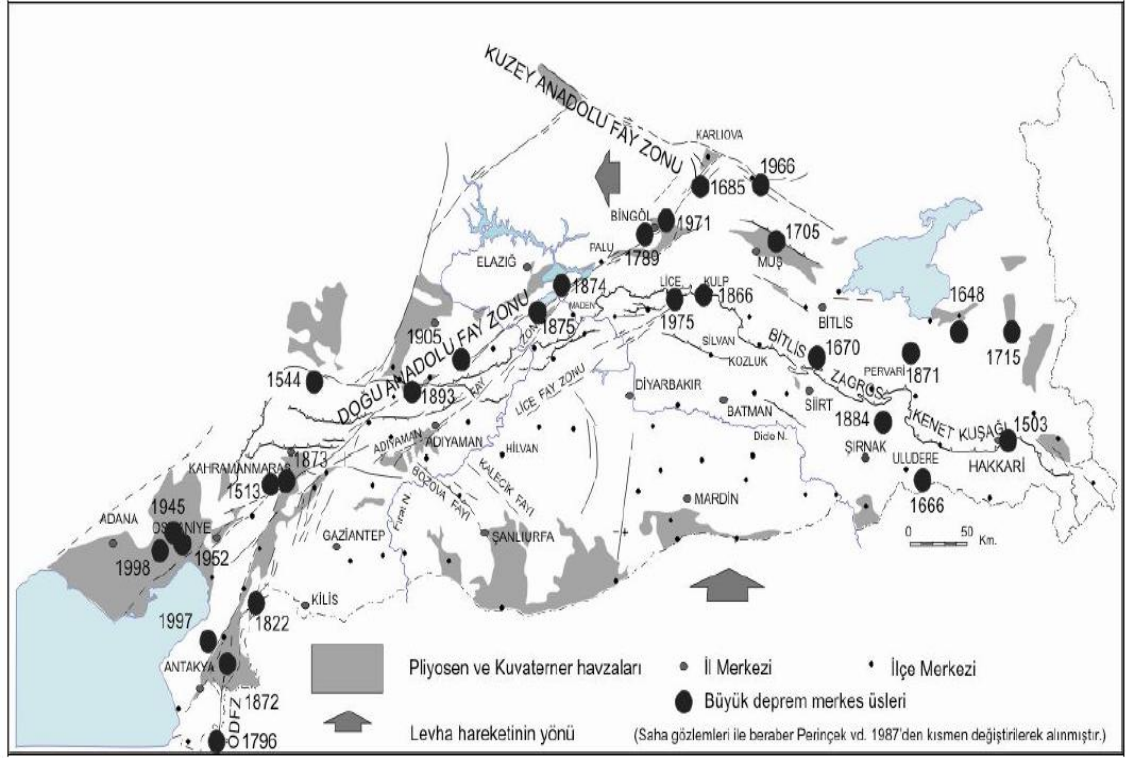
çukuruna gelebilecek suyun yeri ve miktarı belirlenmeli, kazıyı kuruda yapmak amacıyla uygun geçirimsizlik perdesi (bulamaç hendeği, geçirimsiz ince duvar, enjeksiyon perdesi v.b) önerilmeli, temel kayasında geçirimsizliği sağlamak için enjeksiyon perdesi yapılmasının gerekli olduğu durumlarda; enjeksiyon yöntemini belirlemek amacıyla deneme enjeksiyonu yapılmalı, araştırma programı sonuçlarına ve jeolojik yapıya göre uygun iyileştirme yöntemleri belirlenmelidir. Derivasyon ve iletim tünellerinin bulunduğu formasyonlar incelenmeli, özellikle kaya zeminlerde kaya kütle sınıflamaları yapılmalı (RMR, Q, gibi), kayaçların desteksiz kendini tutabilme özelliklerine göre destek sınıfları önerilmelidir (Koçbay 2013).

2.7. Çalışma Alanının Depremselliği:

Çalışma alanı; Türkiye deprem bölgeleri haritasında 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır (Şekil 2.2). Bu nedenle proje hazırlanırken deprem riskinin göz önünde bulundurulup ilgili yönetmeliklere uyulması gerekmektedir. İnceleme alanı ve çevresinde meydana gelen tarihsel depremler Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.2. Afet İşleri Gen. Müd. tarafından hazırlatılan (1996) ve yürürlükte olan resmi deprem bölgeleri haritası



Şekil 2.3. Çalışma alanının çevresinde meydana gelen tarihsel depremler (İmamoğlu ve Çetin 2007)

İnceleme alanına en yakın aktif fay yaklaşık 45 km kuzey batıda bulunan Kavakbaşı fayıdır. Kavakbaşı fayı Bitlis'in KB'sında, Kavakbaşı ile Muş'un batısında Murat nehri arasında uzanan yaklaşık 55 km uzunlukta K75-85B gidişli fay olarak tanımlanmıştır (Göncüoğlu ve Turhan 1985, Şaroğlu vd 1987). Bu fay ters faylanma mekanizmasına sahip olup K-G yönlü basınç deformasyonuna iyi bir kanıt teşkil etmektedir. Ancak arazi üzerinde jeomorfik yapısı açık değildir (Örgülü vd 2003).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Çalışma alanı, Bitlis-Diyarbakır yolu güzergâhında bulunmaktadır. Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasında bir geçiş koridorunda, Zagros kenet kuşağının kuzeyinde bulunmaktadır. Tezin ana konusu; Bitlis çayı üzerinde yapılması planlanan “Bitlis Regülatörü ve HES Projesi”nin olası sanat yapılarının yer alacağı alanların zemin özelliklerinin incelenmesi, suyun iletiminde kullanılacak kuvvet tünelinin geçeceği birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve yapı yerlerindeki olası afet risklerinin değerlendirilmesidir.

3.2. Metot

Çalışma aşağıda detayları verilen 3 aşamada yürütülmüştür. Bunlar; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, büro çalışmaları ve tez yazımıdır.

3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar

Bu aşamada; hem çalışma alanı ve yakın çevresi hem de konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yapılmış 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalar derlenerek incelenmiş ve ön bilgiler edinilmiştir.

3.2.2. Arazi Çalışmaları

Bitlis-Diyarbakır yolu üzerinde bulunan çalışma alanında gerçekleştirilen arazi çalışmaları süresince, çalışma alanının 1/25.000 ölçekli topografik ve MTA'nın hazırladığı jeolojik haritalar temel alınmıştır. Çalışmalar sırasında, bu jeolojik haritalar, amaca yönelik olarak sadeleştirilmiştir. Gerekli durumlarda kesitler çizilmiştir. *Yersu Mühendislik Son.İnş Ltd.Şti.* tarafından açılmış sondajların verilerinden yararlanılmış, sondaj noktalarında alınan karotlar *Akademi Jeolojik Jeoteknik İnşaat Ltd.Şti.* zemin mekaniği laboratuvarı'na gönderilerek gerekli deneyler yaptırılmıştır. Olası tünel güzergahındaki birimlerde ISRM (1978)'e göre süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Topoğrafik şartların uygun olmaması ve bir çok alanda birimlerin üzerinin toprak örtü ile kapalı olması sebebiyle ölçümler uygun mostralarda tarama etüdü şeklinde

yapılmıştır. Her bir süreksizlik için; süreksizlik türü, yönelim, aralık, açıklık, devamlılık, pürüzlülük, su durumu, dolgu malzemesi incelenmiştir.

3.2.3.Büro Çalışmaları

Bu aşamada saha ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak şu çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası literatür ve arazi çalışmaları sonucunda sadeleştirilmiş ve sonrasında bölgeye ait jeoloji haritası ve jeolojik kesitler hazırlanmıştır.
- Literatür ve arazi çalışmaları doğrultusunda birimlerin stratigrafik dizilimi oluşturulmuştur.
- Laboratuvar sonuçları ışığında hesaplamalar yapılarak yapı yerlerindeki zeminlerin taşıma güçleri ortaya çıkarılmıştır.
- Arazide yapılan süreksizlik ölçümlerine göre; olası tünel güzergahındaki birimlerde RMR, Q ve GSI'ye göre kaya kütlesi sınıflamaları yapılmış; açılacak tünel için kazı ve destek sistemi önerilerinde bulunulmuştur.
- Tez içerisinde kullanılan şekiller Net Cad ve CoralDraw; çizelgeler ise Excell programları yardımıyla hazırlanmıştır.

3.2.3.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinin sınıflama çalışmaları ilk kez 1879'da Ritter tarafından tünel tasarımlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir (Hoek 2000). O zamandan günümüze kadar birçok araştırmacı çeşitli sınıflama sistemleri ileri sürmüş ve bunlar uzun yıllar boyunca kullanılmıştır. Bu sistemlerden yaygın olarak kullanılanları 2000 yılında Palmström tarafından bir araya getirilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Kaya kütle sınıflama sistemleri (Palmström 2000)

Sınıflama sistemi adı		Geliştiren Araştırmacı	Uygulama Alanı
1	Kaya yükü	Terzaghi, 1946	Tünelcilik
2	Desteksiz durma süresi	Desteksiz durma süresi Lauffer, 1958 Tünelcilik	Tünelcilik
3	NATM	Rabcewich, Müller, Pacher, 1958-1964	Tünelcilik
4	Kaya mekaniği için kaya sınıflaması	Paching ve Coates, 1968	Kaya mekaniği temel veri girişi
5	RQD Sondaj	Deere ve diğ., 1964	Karot logları
6	Boyut-dayanım sınıflaması	Franklin, 1975	Madencilik
7	RSR	Wickham ve diğ., 1972	Tünel destek tipleri seçimi
8	Kaya kütle sınıflama sistemi RMR	Bieniawski, 1973	Tünel, madencilik
9	Q sistemi	Barton ve diğ. 1974	Tüneller ve maden
10	Temel jeoteknik sınıflama	ISRM, 1981	Genel amaçlı kaya mekaniği
11	MBR	Cumming ve diğ., 1982	Madencilik
12	Birleştirilmiş sınıflama	Williamson, 1980	Genelleştirme amaçlı
13	Jeoteknik dayanım indeksi (GSI) dizaynı	Hoek, 1994	Yeraltı kazıları için destek sistemi
14	Kaya kütle indeksi (RMI)	Palmstrom, 1995	Tünelcilik

A. Kaya Kalite Göstergesi (RQD)

Kaya kütlesi tanımlamalarında sıklıkla kullanılan bir girdi olup, ilk olarak (Deere 1964) tarafından geliştirilmiştir. RQD (%), sondajda boyu 10 cm ve daha fazla olan sağlam karotların toplam uzunluğunun kademe ilerlemesine oranı olarak tanımlanmıştır. RQD'ye dayalı kaya kalitesi sınıflaması Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. RQD kaya kalite sınıflaması (Deere 1964)

RQD %	KAYA KALİTESİ
0-25	A: Çok Düşük
25-50	B: Düşük
50-75	C: Orta
75-90	D: İyi
90-100	E: Çok İyi

B. Kaya Kütlesi Oranı (RMR-Rock Mass Rating)

Jeomekanik kaya kütle sınıflaması olarak da bilinen sistem, ilk defa Bienawski (1973) tarafından geliştirilmiş ve 1974, 1979 ve son olarak da 1989'da değişikliklere uğramıştır. Çizelge 3.3'te sınıflamada kullanılan değişkenlerin sınır değerleri ve tanımlamaları verilmiştir. RMR sisteminde 6 temel parametre kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1-Kayacın tek eksenli basınç dayanımı veya nokta yük indisi
- 2- Kaya kalitesi yüzdesi (RQD)
- 3-Süreksizlik aralığı
- 4-Süreksizlik durumu
- 5-Yer altı suyu durumu
- 6-Süreksizlik yönelimi Düzeltmesi

Kaya kütlesinde hesaplanan RMR puanı ve kazı açıklığına göre tünel desteksiz ayakta kalma süresi ilişkisi Şekil 3.1'de verilmiştir. Düz tavanlı yeraltı açıklıklarında destek basıncını hesaplamak için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Ünal 1983).
$$P = [(100 - RMR)/100] \cdot \gamma \cdot B$$
(B-tünel genişliği, γ -kayacın birim ağırlığı)

Çizelge 3.3. RMR Kaya Kütleli Sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski 1989)

I. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE PUANLARI

1	Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>10	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım			
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	>250	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa	
	Puan		15	12	7	4	2	1	0	
2	Kaya kalite göstergesi,RQD		%90-%100	%75-%90	%50-%75	%25-%50	<%25			
	Puan		20	17	13	8	3			
3	Süreksizlik aralığı		>2m	0.6-2m	200-600mm	60-200 mm	<60 mm			
	Puan		20	15	10	8	5			
4	Süreksizliklerin durumu		Çok kaba yüzeyler sürekli değil ayrılma yok sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler ayrılma<1mm sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler ayrılma <1mm yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu <5 mm veya 1-5 mm açık eklemli sürekli eklemli	Yumuşak fay dolgusu>5 mm kalınlıkta veya açık eklemli >5 mm devamlı süreksizlikler			
	Puan		30	25	20	10	0			
5	Yer altı suyu	Tünelin 10 m'lik kısmından gelen su	Yok	10lt/dk	<25lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk			
		Oran	Eklemdaki su basıncı	VEYA 0	0.0-0.1	VEYA 0.1-0.2	VEYA 0.2-0.5	VEYA >0.5		
			Ana asal gerilme	VEYA	Nemli	VEYA	VEYA	VEYA		
	Genel koşullar	Tamamen kuru	Islak	Damlama	Su akışı					
Puan		15	10	7	4	0				

II. TÜNELLERDE SÜREKSİZLİK EĞİM ve DOĞRULTUSUNUN ETKİSİ

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0 ⁰ -20 ⁰
Eğim yönünde ilerleme		Eğime karşı yönde ilerleme				
Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	Eğim 45 ⁰ -90 ⁰	Eğim 20 ⁰ -45 ⁰	
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

III. SÜREKSİZLİK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTME

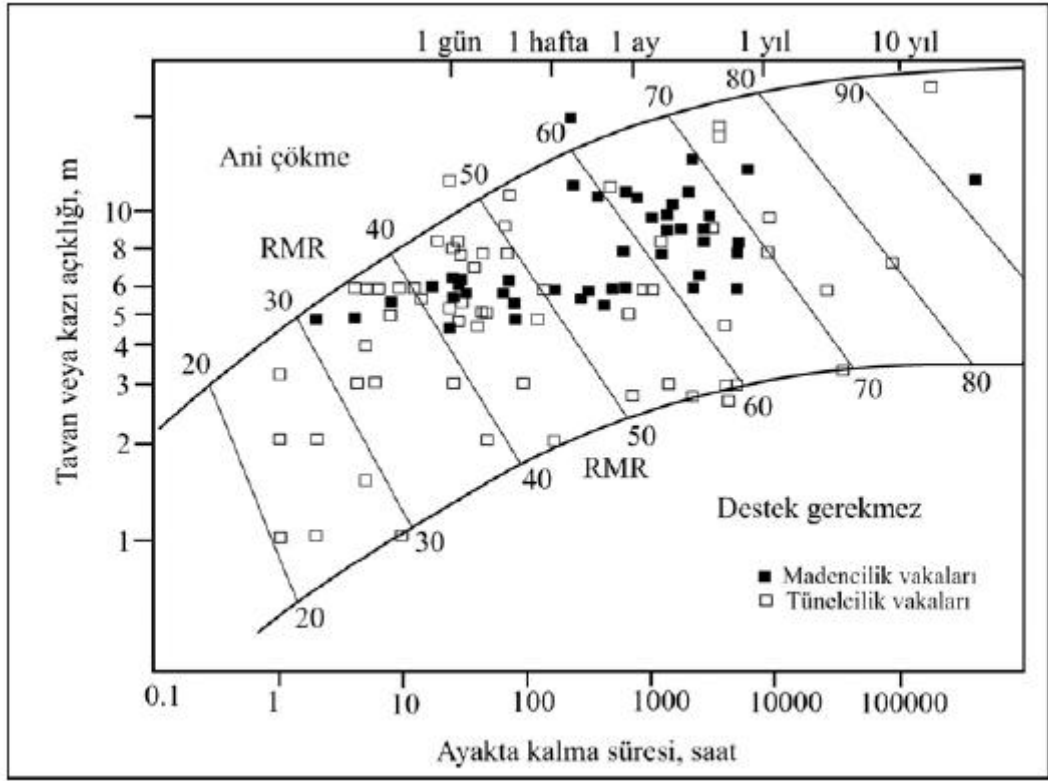
Süreksizlik doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller*	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler*	0	-5	-25	-50	-60

IV. KAYA SINIFLARI ve PUANLARI

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

V. KAYA SINIFLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ

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



Şekil 3.1. RMR puanına göre tavan açıklığı ve desteksiz ayakta kalma süresi (Bieniawski 1989)

Bu parametrelerden elde edilen RMR puanına göre, kaya kütlesi içinde açılacak yer altı boşluğunu destek sistemini Çizelge 3.4'ten belirlenebilmektedir.

Çizelge 3.4. Kaya tünellerinde RMR'ye dayalı destek tipleri (Bieniawski 1989)

RMR SINIFI	KAZI	DESTEK		
		Kaya bulonu	Püskürtme	Çelik iksa
81-100	Tam kesit 3 m ilerlemeli	Destek gerekmez gereken yerde lokal bulonlama		
61-80	Tam kesit 1-1.5 m ilerlemeli destek tamamlanması aynadan 20 m uzakta	3 m uzunluğunda, 2.5 m aralıklı lokal bulonlama, çelik ağ genellikle gerekir	Gereken yerlere 50 mm	
41-60	Üst ayna ve tabanda 1.5-3 m ilerleme, her bir patlatmadan sonra ön destekleme, aynanın 10 ilerlemesi ile nihai destek	4 m uzunluğunda, 1.5-2 m aralıklı sistematik bulonlama, tavan ve yanlarda çelik ağ	Tavanda 50-10 mm, yanlarda 30 mm	
21-40	Üst ayna ve tabanda 1-1.5 m ilerleme, aynanın 10 ilerlemesi ile destekleme hemen yapılmalı	4 -5 m uzunluğunda, 1-1.5 m aralıklı sistematik bulonlama, tavan ve yanlarda çelik ağ	Tavanda 100-150 mm, yanlarda 100 mm	Gerekli yerlere 1.5 m aralıklı hafif çelik iksa
0-20	Çoklu kazılar üstte 0.5-1.5 m ilerleme kazı ile birlikte destekler hemen yerleştirilmeli püskürtme beton patlatmadan sonra mümkün olan en kısa zamanda yapılmalı	5-6 m uzunluğunda, 1-1.5 m aralıklı sistematik bulonlama, tavan ve yanlarda çelik ağ	Tavanda 150-200 mm, yanlarda 150 mm aynada 50 mm	0.75 m aralıklı ağır çelik iksa kesit kapatılmalı

C. Q Sınıflama Sistemi

Q sistemi Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde Barton vd (1974) tarafından geliştirilmiştir. İskandinavya'da yaklaşık 200 ayrı tünel çalışmaları sonucunda oluşturulan sistem niceliksel olup, iksa tasarımına yöneliktir. 1993 ve 2002 yılında değişikliklere uğramıştır. Q sisteminde 6 parametre kullanılmakta olup bunlar;

1-RQD değeri

2-Süreksizlik seti sayısı (J_n)

3-Süreksizlik pürüzlülük sayısı (J_r)

4-Süreksizli alterasyon sayısı (J_a)

5-Süreksizlik su azaltma faktörü (J_w)

6-Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)

şeklinde sıralanmaktadır. Bu parametrelerden Q değerinin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmaktadır

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki ilk ifade (RQD/ J_n) blok boyutu, (J_r/J_a) bloklar arası kayma mukavemetini ve (J_w/SRF) ise aktif gerilme koşullarının ifadesidir. Q sınıflama sisteminde kullanılan kavramlar aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.5). Ayrıca Q sistemine göre tüneller ve yeraltı açıklıkları için kalıcı destek ve güçlendirme sistemlerini tespit için Q destek grafiği Şekil. 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Q sisteminin girdi parametreleri ve değerleri (Barton vd 1974 ve Barton 2000)

1.RQD KAYA KALİTE GÖSTERGESİ TANIMI

Kaya tanımı	RQD %	Notlar
A: Çok düşük	0-25	1.0 < RQD < 10 olursa hesaplama da pratik olarak 10 alınır
B: Düşük	25-50	
C: Orta	50-75	
D: İyi	75-90	
E: Çok iyi	90-100	

2. EKLEM TAKIMI SAYISI

Eklem takım sayısı	J_n	Notlar
A: Masif hiç veya birkaç eklem	0.5-1.0	Kesişmede ($3 \times J_n$) Portalda ($2 \times J_n$)
B: Bir eklem takımı	2	
C: Bir eklem takımı, düzensiz eklemler	3	
D: İki eklem takımı	4	
E: İki eklem takımı ve düzensiz eklemler	6	
F: Üç eklem takımı	9	
G: Üç eklem takımı ve düzensiz eklemler	12	
H: Dört veya daha fazla eklem takımı, düzensiz çok eklemler	15	
J: Tamamen ufalanmış kaya, zemin gibi	20	

3. EKLEM PÜRÜZLÜLÜK SAYISI

Eklem pürüzlülüğü	J_r	Notlar
(a) Eklem yüzeyleri temasta veya		Ortalama eklem aralığı 3 m'den fazla ise değerlere 1 eklenmelidir Makaslama izleri olan düzlemsel cilalı eklemlerde J_r değeri 1.5 alınabilir
(b) temasın 10 cm'den az bir makaslama ile sağlanması		
A: Süreksiz eklemler	4	
B: Dalgalı pürüzlü	3	
C: Daşgalı düz	2	
D: Dalgalı cilalı	1.5	
E: Düzlemsel pürüzlü	1.5	
F: Düzlemsel düz	1.0	
G: Düzlemsel cilalı	0.5	
(c) Makaslama duvar ile temas yok		
H: Kaya duvarı temasını önleyecek kalınlıkta kil mineralli zon	1.0	
I: Kaya duvarı temasını önleyecek kalınlıkta çakıllı veya ezilme zonu	1.0	

4. EKLEM ALTERASYON SAYISI

Eklem ayrışma sayısı	Ja	Yaklaşık ϕ^0
(a) Kaya yüzeyi ile temasta (mineral dolgu yok, sadece sıvama)		
A: Temas yüzeyi sert dolgu halinde	0.75	
B: Eklem cidarı ayrışmamış, yüzeysel lekeler var	1.0	25-35
C: Eklem cidarları az ayrışmış yumuşaya tipte kumlu parçacıklar, kilsiz ayrışmış kaya vb.	2.0	25-30
D: Siltli ve kumlu killi sıvama az miktarda yumuşamayan tipte killi malzeme	3.0	20-25
E: Yumuşayabilen, düşük sürtünmeli kil mineralli sıvama kaolinit talk grafit vb. az miktarda şişen kil	4.0	8-10
(b) Temas 10 cm bir makasla ile sağlanması		
F: Kumlu parçalar kilsiz ayrışmış kaya vb.	4.0	25-30
G: Yüksek derecede aşırı konsolide kil, yumuşamayan tip kil minerali dolgu (5mm'den ince süreklili)	6.0	16-24
H: Orta veya az derecede aşırı konsolide kil, yumuşamayan tip kil minerali dolgu (5mm'den ince süreklili)	8.0	12-16
J: Şişen killi dolgu, montmorillonit vb.(5mm'den ince, süreklili) Ja şişen malzeme yüzdesine göre ve temas şartlarına göre değişir	8.0-12.0	6-12
(c) makaslama duvarla temas yok		
K: Ayrışmış veya ezilmiş	6.0	
L: Bölgeler, bantlar veya ufalanmış kaya veya kil	8.0	
M: G, H ve J maddelerine bakınız	8.0-12.0	6-24
N: siltli veya kumlu kil, az miktarda ince taneli malzeme, bölgesel veya bant şeklinde	5.0	
O: Kalın, süreklili kil bölgeleri veya bantları (kil için)	10.0-13.0	6-24
P: G,H ve J maddelerine bakınız	13.0-20.0	6-24

5. EKLEM SU İNDİRGEME FAKTÖRÜ

Eklem suyu indirgeme faktörü	Jw	Su basıncı MPa
A: Kuru kazı veya çok az su gelimi (ör. 5.0 l/dk)	1.0	<0.1
B: Orta derecede su gelimi, eklem dolgularında yıkanma	0.66	01.-0.25
C: Sağlam kayada fazla su gelimi ve basıncı, dolgunsuz eklemler	0.5	0.25-1.0
D: Fazla su gelimi ve basıncı dolgularında belirgin yıkanma	0.33	0.25-1.0
E: Patlama aşamasında fazla su gelimi ve basıncı, zamanla azalacak şekilde	0.2-0.1	>1.0
F: Patlama aşamasında fazla su gelimi ve basıncı, zamanla azalma yok	0.1-0.005	>1.0

6. GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ

Gerilme azaltma faktörü	SRF
(a) Tünel kazısı sırasında kaya kütlelerinde gevşeme oluşturabilecek ve kazıyı kesen zayıflık zonları	
A: Kimyasal olarak parçalanmış veya killi zon oluşumları, çok zayıf çevre kayası (herhangi bir derinlikte)	10
B: Kimyasal olarak parçalanmış veya killi tek zayıflık zonu içeren kaya (kazı derinliği <50 m)	5
C: Kimyasal olarak parçalanmış veya killi tek zayıflık zonu içeren kaya (kazı derinliği >50 m)	2.5
D: Sağlam kayada bir çok makaslama zonu, zayıf çevre kayası (herhangi bir derinlikte)	7.5
E: Sağlam kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği <50)	5.0
F: Sağlam kayada tek makaslama zonu, (kazı derinliği >50)	2.5
G: Gevşek, açık eklemler, yoğun eklemler (herhangi bir derinlikte)	5.0
(b) Sağlam kaya, kayada gerilme problemleri	
H: Düşük gerilme yüzeye yakın açık eklemler	2.5
J: Orta gerilme gerilme koşulları elverişli	1.0
K: Yüksek oranda gerilme, çok yakın yapı (Tünel duvarlarının stabilitesinde problemler olabilir)	0.5-2.0
L: Masif kayada 1 saat içinde orta derecede dilimlenme	5-50
M: Masif kayada birkaç dakika içinde kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	50-200
N: Sağlam kayada yamulma şeklinde kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	200-400
(c) Sıkışan kaya: Yüksek gerilme altında yumuşayan kayanın plastik deformasyonu	
O: Orta derecede sıkıştıran kaya basıncı	5-10
P: Yüksek derecede sıkıştıran kaya basıncı	10-20
(d) Şişen kaya: Su içeriğine bağlı olarak kimyasal şişme	
R: Düşük kaya basıncında şişme	5-10
S: Yüksek kaya basıncında şişme	10-15

7. KAZI TİPİ

Kazı tipi	ESR
Geçici maden kazıları	3-5
Düşey bacalar	
i. Düşey kesitli	2.5
ii. Kare/daire kesitli	2.0
Kalıcı maden kazıları, hidroelektrik amaçlı su tünelleri (çok yüksek basınçlı olanlar hariç), pilot tüneller, geniş kazılarda giriş galerileri vs.	1.6
Depolama odaları, su arıtma tesisleri, yol ve demiryolu tünelleri, yaklaşım ve dalga tünelleri	1.3
Depolama açıklıkları, güç istasyonları, giriş kesişme, sığınak vs.	1.0
Nükleer yer altı santralleri, demiryolu istasyonları, fabrika ve halka açık tesisler, spor tesisleri	0.8

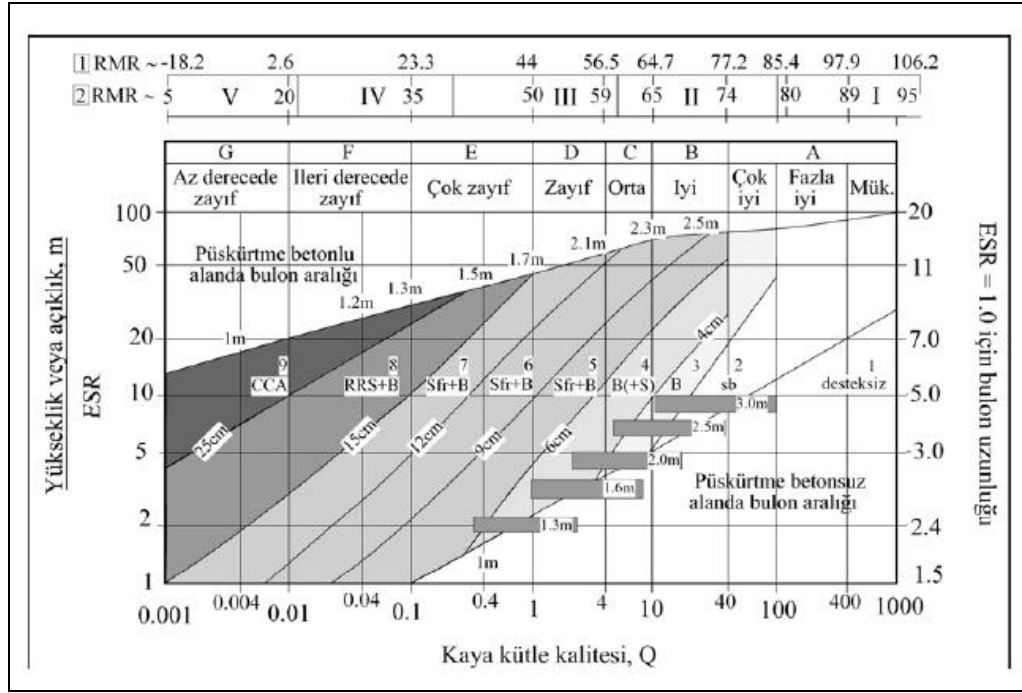
Özetle, yukarıda belirtilen açıklamaların ışığında Q sayısı aşağıda verilen 3 değişkenin bir fonksiyonudur:

1. Blok boyutları (RQD/J_n)
2. Bloklar arası rnakaslama dayanımı (J_r/J_a)
3. Etken gerilme $(J_w./SRF)$

Q sistemini kullanarak kayanın mekanik davranışını ve destek gerektirip gerektirmediğini bulabilmek için Barton, Lien ve Lunde eşdeğer boyut (De) olarak adlandırılan yeni bir kavram tanımlamışlardır. Eşdeğer boyut, kazı çapının, tavan açıklığının veya kazı yüksekliğinin kazı tahkimat oranı (ESR)'na bölümü olarak tanımlanmıştır.

$$D_c = \text{Kazı genişliği, çapı veya yüksekliği} / \text{Kazı destek oranı (ESR)}$$

Elde edilen eşdeğer boyut değerine göre (Şekil 3.2) yeraltı açıklıklarında Q sistemine göre destek ve güçlendirme sistemlerinin tespiti yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Tünel ve yeraltı açıklıkları için kalıcı destek ve güçlendirme sistemlerini tespit için Q destek grafiği (Grimstad 1993 modifiye hali)

D. GSI (Hook-Brown Görgül Yenilme Ölçütü ve Jeolojik Dayanım İndeksi)

Hoek ve Brown (1980a ve 1980b) tarafından geliştirilen Hoek – Brown görgül yenilme sistemi, süreksizlik içeren kaya kütlelerinin makaslama dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sistem Hoek (1983), Hoek ve Brown (1988), Hoek vd (1992), Hoek vd (1995), Hoek ve Brown (1997) ve Hoek vd (2002) tarafından değiştirilerek günümüzdeki halini almıştır. Bu çalışmada sistemin son hali olan Hoek vd (2002) kullanılmıştır. Sistem 1995'e kadar RMR puanını parametre olarak kullanırken, 1995 de RMR nin kullanımından vazgeçilmiş ve bunun yerine Jeolojik dayanım indeksi (GSI) olarak adlanan sınıflama kullanılmaya başlanılmıştır.

Mohr - Cloumb yenilme ölçütüne göre; normal gerilme (σ) ve makaslama gerilmesi (τ) arasındaki doğrusal olan ilişkinin bu sistemde eğrisel olduğu belirtilmektedir (Hoek 1980a ve 1980b).

4. BULGULAR

4.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

İnceleme alanı; Türkiye tektonik birlikler sınıflamasında, Ketin (1966) tarafından Toridler olarak adlandırılan birliğin güneyinde yer almaktadır. Bölgede, birbiri üzerinde tektonik dokanakla yer alan üç ana tektonostratigrafik birim görülmektedir (Göncüoğlu ve Turhan 1985). Bu birimlerden en üstte yer alanına “Bitlis Metamorfikleri Kuşağı” adı verilmiştir. Sayısız tektonik dilimlerden oluşan Bitlis Metamorfik Kuşağı altında, Baykan ve Ziyaret karmaşıklarını içeren “Dilimli Kuşak” yüzeyleyir. Dilimli kuşak, bindirme dokanağı ile Arap Platformu çökellerini içeren, “Otokton Kuşağı” üzerinde yer alır. Çalışma alanı 1/25000 lik topoğrafik haritada Muş L47-C2, Muş L47-B3 ve Van L48 A4 paftalarının dahil olduğu bir koridor içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanının çok geniş olması nedeniyle, jeolojik tanımlamalar sırasında MTA tarafından yapılan 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalar temel alınarak, inceleme alanına ait sadeleştirilmiş 1/25000’lik mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır (Ek-1). Harita hazırlanırken yapılan sadeleştirmeler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1/25000 ölçekli MTA haritalarında yapılan sadeleştirmeler

1/25000 ölçekli MTA haritalarında proje sahasındaki birimler	Sadeleştirme sonucu hazırlanan 1/25000 ölçekli haritadaki birimler
Ordovisyen-Silüriyen yaşlı şist, kuvarsit	Yolcular grubu (P _{ey})
Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermer	Çırrık formasyonu (P _{zmc})
Alt Permiyen yaşlı mermer	
Orta Devoniyen-Üst Devoniyen yaşlı metakumtaşı, metaçakıltaşı	Meydan formasyonu (P _{zmn})
Üst Devoniyen yaşlı kuvarsit, şist,	
Üst Permiyen yaşlı şist, kalkşist,	Tütü formasyonu (M _{zt})
Üst Trias-Alt Kretase yaşlı şist kakşist	
Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kaya	Guleman ofiyolitikleri (M _{zg})
Kreatese yaşlı ofiyolitik kaya, melanj	Maden karmaşığı (T _m)
Kuvaterner yaşlı tuf, ignimbirit	Nemrut formasyonu (P _{l-Qn})
Kuvaterner yaşlı bazalt	

4.1.1.İstifsel ilişki

Arazi öncesinde literatür taraması yapılmıştır. Arazi sırasında MTA (1981)'nın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritaları temel alınmıştır. Bu veriler ışığında, çalışma alanının jeolojik haritası sadeleştirilmiştir. Bölgedeki jeolojik birimlerin stratigrafik dizilimi Şekil 4.1'de sunulmuştur.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	GRUP	FORMASYON	SİMGELER	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER		ALÜVYON	Qal		Akmarsu yatağında çökelen gevşek güncel örtü ve yamaç molozu
	PİLYOSEN		NEMRUT FORMASYONU	Pl-Qn		— UYUMSUZLUK — Bazalt, Tüf, İğnimbrit
	ALT EÖSEN		MADEN KARMAŞIĞI	Tm		— UYUMSUZLUK — Kumtaşı, Çakıltaşı, Yastık Lav, Kreçtaşı, Pembemsi Gri Şeyl arabantlı
MESOZOYİK	ÜST KRETASE		GULEMAN OFİYOLİTİ	Mzg		— Tektonik Dokanak — Perdotit Serpantinit yeşil, koyu yeşil, Yeşil Şist, Meta Bazalt, Kreçtaşı
	ÜST TRIAS		TÜTÜ FORMASYONU	Mzt		— Tektonik Dokanak — Meta aglomera, Meta tüf, rekristalize Kreçtaşı Şeyl, Kalkşist yeşil renkli
PALEOZOYİK	ALT PERMİYEN	MUTKİ GRUBU (Pzbtü)	ÇIRRIK FORMASYONU	Pzmc		Rekristalize Kreçtaşı gri sarı renkli, kalkşist, kloritşist
	DEVONİYEN		MEYDAN FORMASYONU	Pzmm		— UYUMSUZLUK — Rekristalize Kreçtaşı orta kalın tabakalı Gri, beyaz renkli
PREKAMBRIYEN		YOLCULAR GRUBU (PEY)		PEY		— UYUMSUZLUK — Pegmatit, Kuvarso-Feldispatik Gnays, Paragnays Şist, Muskovit, Mikaşist

Şekil 4.1. Çalışma alanının Güncüoğlu ve Turhan (1983)'ten faydalanılarak hazırlanan ölçeşiz dikme kesiti

4.1.1.1.Yolcular Grubu (Pəy)

Yolcular grubu, doğu-batı uzanımlı, her iki yöne dalımlı orta/yüksek dereceli açıyla kuzeye devrik, Gevaş-Bitlis antiklinalinin çekirdeğinde yüzeyleir. (Çağlayan vd 1983b). Amfibolit, biyotit, gnays, muskovit gnays, mikaşistler ile bunları kesen ve Alphin metamorfizmaya uğramış granitik kökenli gözlü gnays, biyotitli metagranit kuvarsofeldspatik gnays ve metapegmatitten oluşan Panafrikan temel kayaları, Yolcular grubu olarak isimlendirilir. Birim granit kökenli gözlü gnays (Yastıktaş gözlü gnaysı) kuvarsofeldspatik gnayslar (Doğruyol gnaysı) ve amfibolitler (Karakuş amfiboliti) ile Doğruyol gnaysına ait Ağaçköprü metapegmatit üyesinden oluşur. Yolcular grubu kayalarının rengi mineral bileşimine göre, kirli beyazdan kırmızı kahve ve yeşilimsi siyaha kadar değişir. Bitlis masifindeki en yaşlı kayaları oluşturan Yolcular Grubu üzerinde, transgressif karakterdeki Gökçimen formasyonu ile başlayıp, Kuştaşı formasyonu ile sonlanan Paleozoyik yaşlı Bitlis grubu ile Permo-Mezozoyik yaşlı Çadırdağı grubu kayaları yer almaktadır. Bitlis grubu kayalarının üste yakın kesimlerinde, Orta Devoniyen'i belgeleyen fosilleri bulunmuştur (Şengün vd 1991). Ayrıca yapılan jeokronolojik çalışmalarda, masifin metamorfizma yaşının 454 ile 570 milyon yıl olduğu ileri sürülmektedir (Yılmaz 1971, Helvacı ve Griffin 1983). Bu veriler Yolcular grubu kayaları ile Bitlis grubu kayalarının transgressif ilişkisi ile aralarındaki deformasyon ve metamorfizma farkı, Yolcular grubu kayalarının Prekambriyen yaşta olmasını gerektirmektedir (Çağlayan ve Şengün 2002). Çalışma bölgesinde, regülötörün de yer aldığı geniş bir alanda yüzlek vermektedirler. Birim vadi içersinde açılmış yol yarmalarında kıvrımlı bir yapıda gözlenmektedir (Şekil 4.2). Birim üzerinde özellikle akarsu yatağı boyunca Nemrut Formasyonuna ait tüfler ve bazaltlar uyumsuzluk ile Yolcular formasyonun üzerinde yer almaktadır.



Şekil 4.2. Yolcular formasyonunda gözlenen kıvrımlanmalar



Şekil 4.3. Yolcular formasyonu üzerinde gözlenen Nemrut volkanik bazaltları

4.1.1.2 Mutki grubu

Mutki Grubu, Bitlis Metamorfik kuşağının Paleozoyik - Alt Mesozoyik yaşlı birimleri ile temsil edilen metamorfik örtüsünü oluşturur. Mutki Grubunu oluşturan Meydan, Çırrık ve Tütü formasyonları inceleme alanı içerisinde geniş yer kaplamaktadır.

4.1.1.2.1. Meydan Formasyonu (Pzmm)

Kırıntılı karbonatlar ile volkanoklastiklerden oluşan Meydan formasyonu Bitlis metamorfik kuşağının orta kesimlerindeki tektonik dilimlerde geniş yayılım göstermektedir. Görünür en alt kesiminde kırıntılarını granit, gnays ve şistlerin oluşturduğu karbonat çimentolu mikro-konglomeralar yer alır. Orta kısımlarda ise dolomitler, üst kısımlarda ise Permiyen yaşlı kireçtaşları yer alır (Şekil 4.4). Döşkaya köyü yakınlarında Çırrık formasyonu ile dokanağı bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Meydan Formasyonunda gözlenen kireçtaşları

4.1.1.2.2. ırrık Formasyonu (Pzmc)

Ana kaya türünü gri-siyah renkli, bitümlü orta- kalın tabakalı rekristalize kireçtaşları ve yer yer bunlar ile ara tabakalı sarı-gri renkli kalkşıstler, grafitşist ve kuvarsitler oluşturur. Formasyon adı birimin ırrık Dağı kuzey yamacındaki düzenli diziliminden dolayı verilmiştir (Gncoğlu ve Turhan 1985). Formasyon alışma alanının güney kesimine doğru geniş yayılım sunmaktadır. ırrık formasyonunda gözlenen kireçtaşları bozunmuş yüzeylerde gri-kül rengi, taze yüzeylerde beyazımsı-sarı renkli düzensiz tabakalı ve bol eklemli olarak gözlenmektedir (şekil 4.5 ve şekil 4.6). Birim Meydan formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. ırrık formasyonunun üstünde ise Tütü formasyonu yer almaktadır. Birimin orta bölümünde koyu gri renkli bitümlü kireçtaşlarında gözlenen fosillerle birime Alt Permiyen yaşı verilmiştir (Gncoğlu ve Turhan 1992).



şekil 4.5. Döşkaya köyü yakınılarında gözlenen Çırrık formasyonuna ait kireçtaşları



Şekil 4.6. Yol yarmasında gözlenen taze yüzeyli Çırrık formasyonu kireçtaşları

4.1.1.2.3. Tütü Formasyonu (Mzt)

İnceleme alanında Çırrık formasyonunun üzerinde gözlenen birim Bitlis metamorfik kuşağının en genç birimini oluşturmaktadır. Karbonatlardan ve volkanosedimanter kayalardan oluşan birim adını tip kesitinin görüldüğü Kambos Dağı güneyindeki Tütü köyünden almaktadır (Göncüoğlu ve Turhan 1985). Bitlis metamorfik biriminin ofiyolitik yerleşimi öncesi çökelmiş en genç birimini oluşturan Tütü formasyonu, en alt kesiminde gri renkli kalın tabakalı kireçtaşı ile başlar üste doğru sarı yeşil kalkışist ve şeyl arabantlı, orta ince tabakalı kireçtaşı ile devam eder (Şekil 4.7). İstifin üst bölümünde sarı-yeşil renkli metatüf, metaaglomera ve metabazik kayalar yüzeylenir (Şekil 4.8). Birim içersinde gözlenen kalkışistler gri-yeşil renkli ince tabakalı iyi gelişmiş foliasyona sahiptirler (Şekil 4.9). Direktaşı köyünün üst kısmı, Yeşil tepe ve Biheri tepesi civarından Kuzey-Güney yönünde Tütü formasyonu üzerinde, Guleman ofiyoliti bindirme dokanağı şeklinde yer almaktadır. Volkanik ara katkılarının ilk izlendiği kesimdeki karbonatlarda gözlenen fosillerde, birimin bu kesiminin yaşının Üst Trias olduğu ileri sürülmüştür (Göncüoğlu ve Turhan 1895).



Şekil 4.7. Tütü formasyonunun temelini oluşturan kristalize kireçtaşları



Şekil 4.8. Tütü Formasyonu içerisinde gözlenen metaaglomeralar



Şekil 4.9. Tütü formasyonu içerisinde gözlenen kalkıştler

4.1.1.3. Guleman Ofiyolitleri (Mzg)

Bitlis metamorfik kuşağı üstünde tektonik dokanakla yer alan ileri derecede serpantinleşmiş ultramafik ile bunlarla ilişkili volkanosedimanter kayalardan oluşan karışık Guleman ofiyoliti olarak tanımlanmıştır (Göncüoğlu ve Turhan 1985). Birimi Sungurlu (1974) Çüngüş-Maden-Hazar civarında “Guleman ultramafikleri”, Açıkbaz ve Baştuğ (1975) Cacas-Hani yöresinde “Şimin karmaşığı”, Özkaya (1978) Maden-Ergani-Guleman yöresinde “Bahro ultrabazikleri ve serpantinitleri”, Erdoğan (1982), Aktaş ve Robertson (1984), Bingöl (1984,1986) ile Perinçek (1979) “Guleman gurubu”, Özkan (1982) “Guleman ofiyoliti” olarak adlandırmışlardır (Kaya 2002). Birim için Üst Kretase (Soytürk ve Baştuğ 1974) Jura (Açıkbaz ve Baştuğ 1975), Kretase (Özkaya 1978) yaşlarını benimsemişlerdir (Perinçek 1980). Serpantinitler Guleman ofiyolitini oluşturan en yaygın kayaç türüdür. Yeşil tepe ve Biheri tepesi civarından yaklaşık Kuzey-Güney yönünde Tütü formasyonu üzerinde Guleman ofiyoliti bindirme dokanağı şeklinde yer almaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Direktaş köyü civarında gözlenen Tütü Formasyonu - Guleman ofiyoliti bindirme dokanağı

4.1.1.4. Maden Karmaşığı (Tm)

İnceleme alanı içerisinde yükleme havuzu ve santral binasının planlandığı alanda çok geniş yayılım sunan birimi ilk defa Rigo de Righi ve Cartesini (1964) “Maden birimi” olarak adlandırmışlardır. Aynı birimi daha sonra Özkaya (1978) “Sason-Baykan grubu”, Açıkbaş ve Baştuğ (1975) “Baykan karmaşığı”, Erdoğan (1982), Yiğitbaş ve ark. (1991), Yılmaz (1993) “Maden grubu”, Perinçek (1979), Perinçek ve Özkaya (1981), Yazgan (1983,1986), Hempton (1984), Aktaş ve Robertson (1985), Yiğitbaş ve Yılmaz (1996) “Maden karmaşığı” olarak isimlendirmişlerdir (Kaya 2002). Maden karmaşığı kaya türü olarak olistostromal kumtaşı ve çakıltaşı, çamurtaşı, yastık lavlar ve volkaktitler düzensiz konumlu pembe-gri kireçtaşı birimlerinden oluşur (Şekil 4.11). Özellikle Yeşilsirt köyü civarında yastık lavlar ve şeyl ara bantlı olistostromal kumtaşları gözlenirken, Cumhuriyet köyü yakınlarında sarı-koyu kahverengi, gri-kül rengi kristalize kireçtaşları gözlenir (Şekil 4.12). Kireçtaşları yer yer erime boşluklu bol çatlaklı ve düzensiz tabakalıdır. Birimin yaşı için Özkaya (1978), Perinçek (1979), Hempton (1984,1985) Orta Eosen olduğunu belirtirken; Erdoğan (1982) Üst Kretase

Alt Eosen, Aktaş ve Robertson (1985) ise Paleosen-Eosen olarak belirtmişlerdir. Birimin, olası yüklem havuzu dolaylarında ırık formasyonu ile bindirme dokanağı bulunmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.11. Maden Karmaşığında gözlenen yastık lavlar



Şekil 4.12. Maden Karmaşığı içerisinde gözlenen kristalize kireçtaşları



Şekil 4.13. Maden Karmaşığı Çırrık formasyonu bindirme dokanağı

4.1.1.5. Nemrut Formasyonu (Pl-Qn)

Bitlis Metamorfikleri üzerinde yer alan volkanoklastikler ile Bitlis çayı boyunca yüzeylenen volkanitler Nemrut formasyonu adı ile tanımlanmıştır. İnceleme alanı boyunca, vadi içerisinde dere yamacında gözlenirler. Genellikle andezit-bazalt bileşiminde lav, kaynamış tuf ve pomzadan oluşur ve Pliyo-Kuvaterner olarak yaşlandırılmıştır. Sıkı dokulu oluşu nedeniyle masif görülen bazaltlarda sütun eklemler, akma yapıları ve üzerinde aktıkları birimlerde pişmeler gözlenir. Volkanikler arasındaki ignimbiritler, siyah, gri ve alacalı renklidir. Çok kalın tabakalı ve akma yapılıdır. Bazaltik bileşimli tüfler özellikle Bitlis vadisinde, sütun eklemlili yapıları ile bazaltlara benzetilirler (Çağlayan ve Şengün 2002). İnceleme bölgesinde olası regülatör alanında Yolcular formasyonu üzerinde (Şekil 4.14), olası santral binası dolaylarında ise Maden karmaşığı içerisinde ve olası cebri boru güzergahında gözlenirler (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Regülatör sahası civarında bulunan sütun eklemlili bazaltlar ve tüfler



Şekil 4.15. Santral binası civarında gözlenen ignimbitler

4.1.1.6. Güncel Çökeller (Qal)

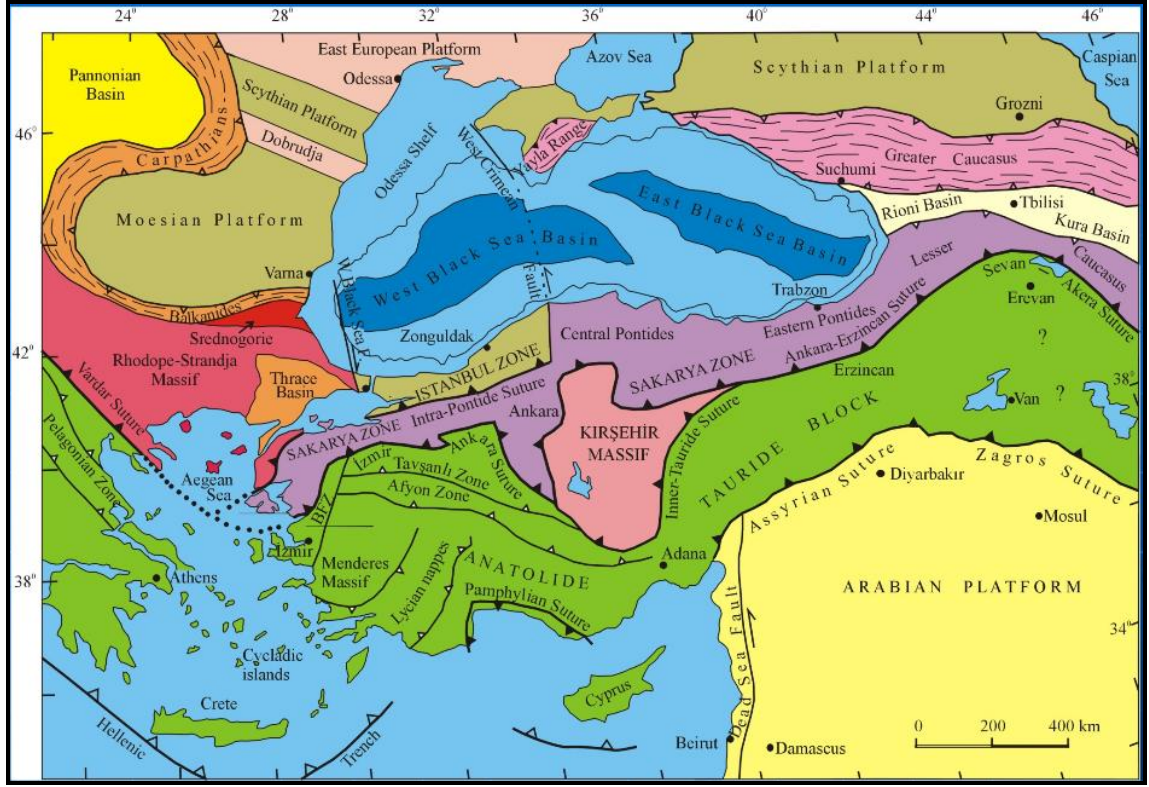
Dik yamaçların ve sırtların eteklerinde bulunan yamaç molozları, vadide yaygın görülen birimlerdir. Ayrıca Bitlis deresinde gözlenen alüvyonlar, çevredeki kayaların tutturulmamış ince-kaba boyuttaki yuvarlak-küresel parçalarından oluşmaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Regülatör alanında gözlenen alüvyonlar

4.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, büyük tektonik hareketlerin etkisinde kalmış Toridlerde yer almaktadır (Okan ve Tüysüz 1999). Çeşitli dönemlerde meydana gelen tektonik hareketler inceleme alanındaki birimlerin ilksel yerleşimlerini değiştirmiş ve birimlerin faylı, kıvrımlı ve oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmasına sebep olmuştur. İncelenen formasyonlarda gelişen eklemler, farklı dönemlerde tektonik hareketlerin etkisinde kalmaları nedeniyle farklı yönelimler göstermektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Tektonik birlikler ve suturelar (Okan ve Tüysüz 1999)

İnceleme alanında gözlenen uyumsuzluklardan ilki Yocular grubu ile Meydan formasyonu arasındaki diskordanstır. Diğer bir uyumsuzluk ise Direktaş köyü civarında gözlenen Tütü formasyonu ile Guleman ofiyoliti arasındaki tektonik sürüklenme dokanağıdır. Narlıdere köyünün üst kısmında, yükleme havuzunun da bulunduğu alanda, Çırrık formasyonu ile Maden karmaşığı arasında diğer bir tektonik sürüklenme dokanağı gözlenmektedir.

4.3. Hidroloji

İnceleme alanında Bitlis çayı dışında sürekli akış gösterir dere bulunmamaktadır. Ortalama yüksekliğin fazla olduğu vadide, yüksek tepe ve yamaçlarda mevsimsel akış gösteren kuru dereler mevcuttur. Bu dereler; özellikle kar erimelerinin ve yağışın fazla olduğu bahar mevsimlerinde Bitlis çayını beslemektedir. “Bitlis Regülatörü ve HES Projesi”nde, olası kuvvet tünelinin olası güzergahı üzerindeki bazı kuru dereler Törek ve Germik dereleridir. Çalışma alanındaki drenaj ağları genellikle Bitlis çayına doğru akmaktadır. Bitlis İline ait hidrolik veriler Çizelge 4.2 ve 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2 .Bitlis ili coğrafik ve hidrometrik verileri (Anonim-7)

BİTLİS	DEĞER	BİRİM
Yüzölçümü	8.587	Km ²
Rakım	1500	m
Yıllık ortalama yağış	1.066.06	mm
Ortalama akış verimi	9.26	l/s/km ²
Ortalama akış/yağış oranı	27	%

Çizelge 4.3. Bitlis ili su kaynakları verileri (Anonim-7)

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ	İL ÇIKIŞI TOPLAM ORTALAMA AKIM (hm³/yıl)
Süfresor deresi	43.8
Güzeldere	281.2
Keyburan çayı	276.6
Hizan deresi	1232.5
Bitlis çayı	607
Küçüksu deresi	66.7
Toplam yerüstü su potansiyeli	2507.8
Yer altı su potansiyeli	41.83
TOPLAM POTANSİYEL	2549.63

4.4. Hidrojeoloji

4.4.1. Birimlerin Hidrojeolojik özellikleri

Şekil 4.18'de litolojik özellikler temel olarak alınan genelleştirilmiş hidrojeolojik tanımlamalar verilmiştir. Proje alanında yer alan birimlerin hidrojeolojik özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Yılmaz vd 1999).

Kirectaşları: Kristalize ve bol miktarda süreksizlik içeren yapıları nedeniyle yağışın büyük kısmının yer altı suyuna dönüşmesine neden olur. 8×10^{-4} ile 6×10^{-6} m/s arasında değişen hidrolik geçirimsizliğe (K) sahiptir. Buna göre yüksek geçirimsiz- geçirimsiz sınıfta yer almaktadır.

Mermer: Tütü formasyonunun önemli bileşenlerinden biridir. Hidrolik geçirimsizliği (K) 3×10^{-4} ile 2×10^{-6} m/s arasında değişmektedir. Tepe–dağ tektaşlarında bu geçirimsizlik göreceli olarak artmaktadır.

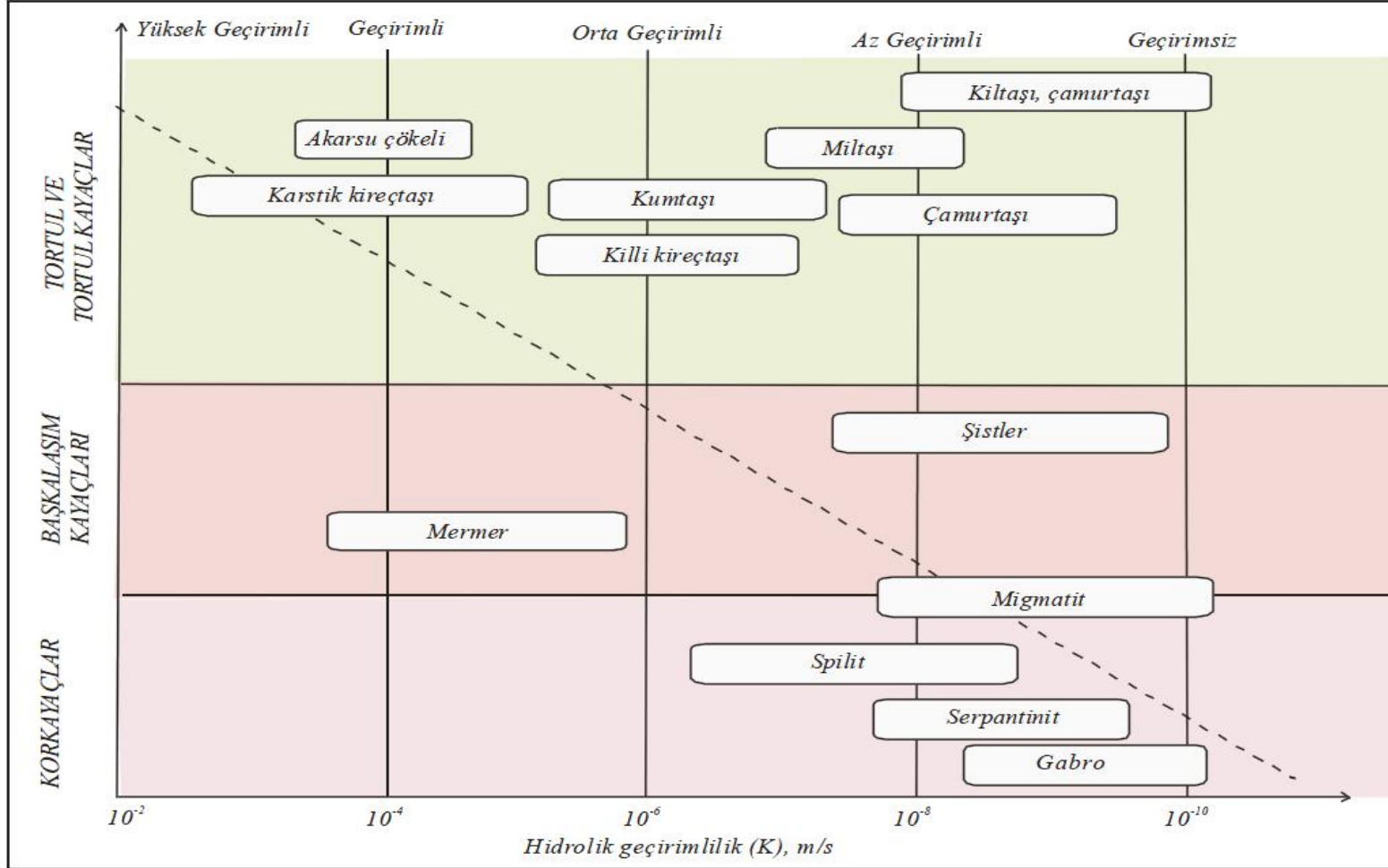
Sist: Hidrolik geçirimsizliği (K) 10^{-8} ile 10^{-10} m/s arasında değişmektedir. Buna göre az geçirimsiz- geçirimsiz sınıfta yer almaktadır.

Serpantinit: Hidrolik geçirimsizliği (K) 10^{-7} ile 10^{-9} m/s arasında değişmektedir. buna göre orta geçirimsiz- az geçirimsiz sınıfta yer almaktadır.

Gabro: Hidrolik geçirimsizliği (K) 10^{-9} ile 10^{-10} m/s arasında değişmektedir. Buna göre az geçirimsiz- geçirimsiz sınıfta yer almaktadır.

Güncel çökeller: Dere yataklarında gözlenen akarsu çökelleri 10^{-3} ile 10^{-5} m/sn arasındaki hidrolik geçirimsizlik (K) ile genellikle geçirimsiz olarak sınıflandırılabilir.

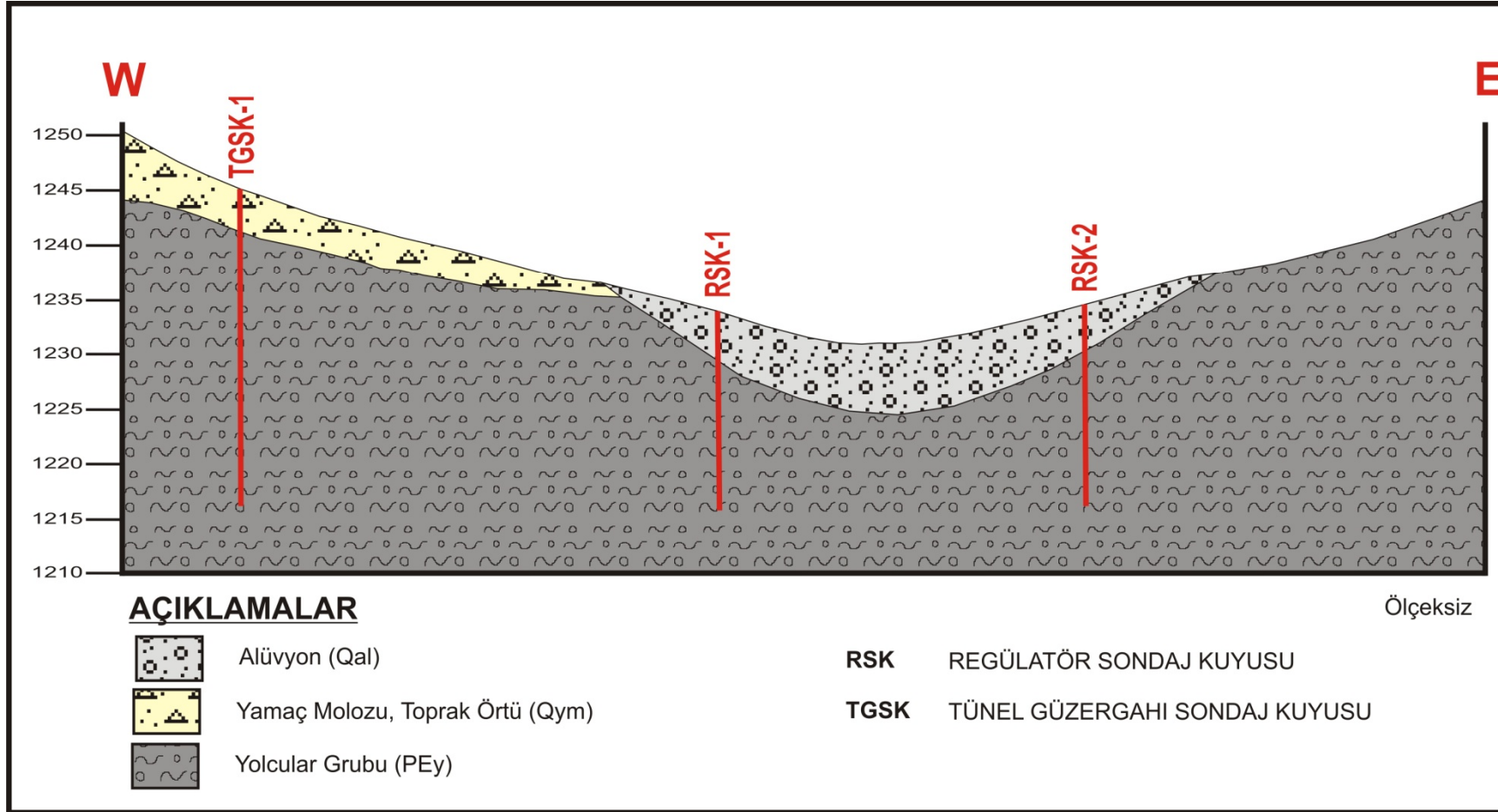
Kumtaşı: Bu kayaç türü Paleosen yaşlı ve daha genç birimlerin önemli bir bileşenidir. Hidrolik geçirimsizliği (K) 10^{-5} ile 10^{-7} m/s arasında değişmektedir. Pompajla su elde etmek açısından önemli seviyelerdir.



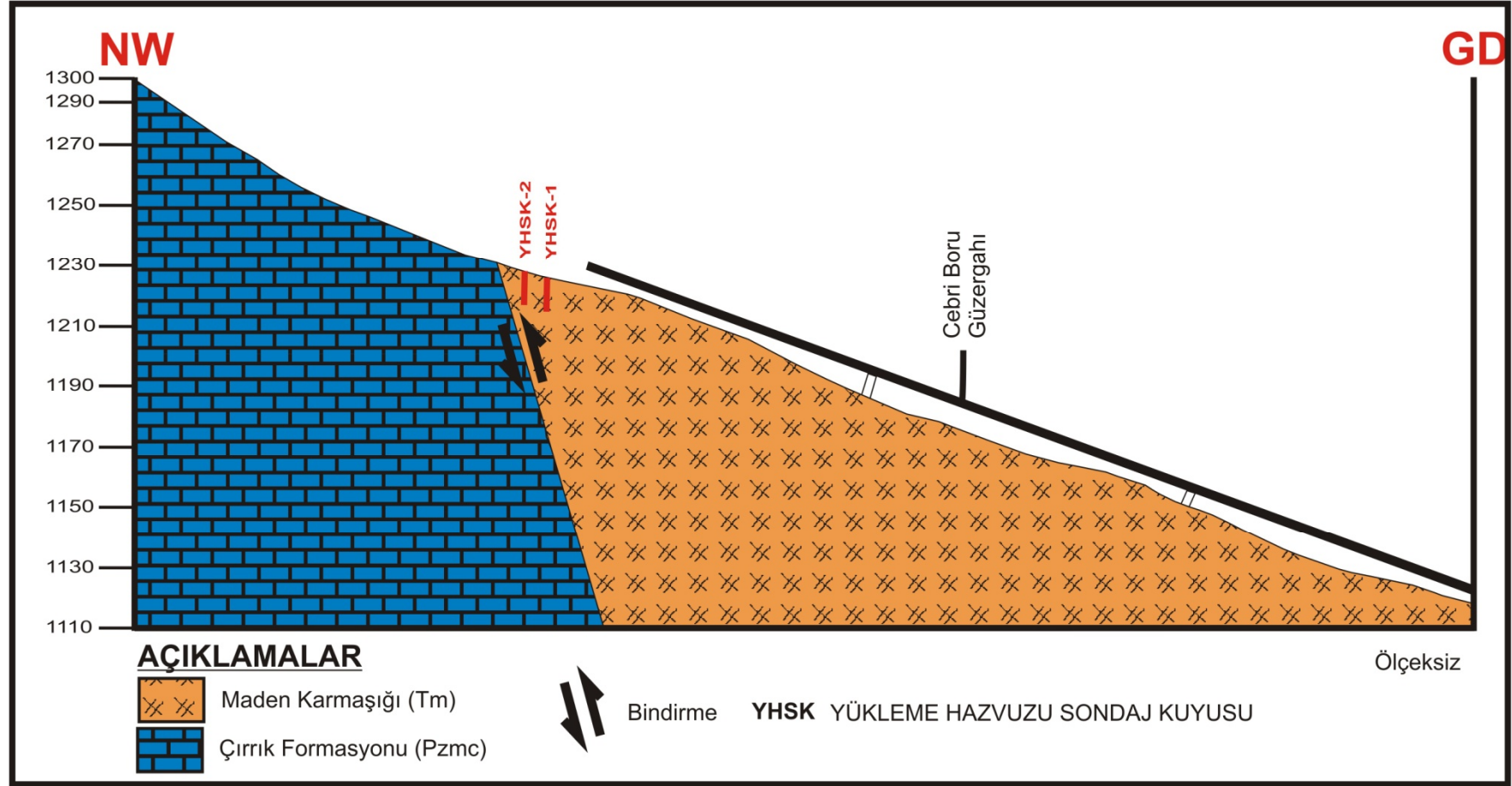
Şekil 4.18. Litolojik birimlerin su geçirimsizliğine (K) m/s göre genel anlamda sınıflandırılması (Yılmaz vd 1999)

4.5. Mühendislik Jeolojisi

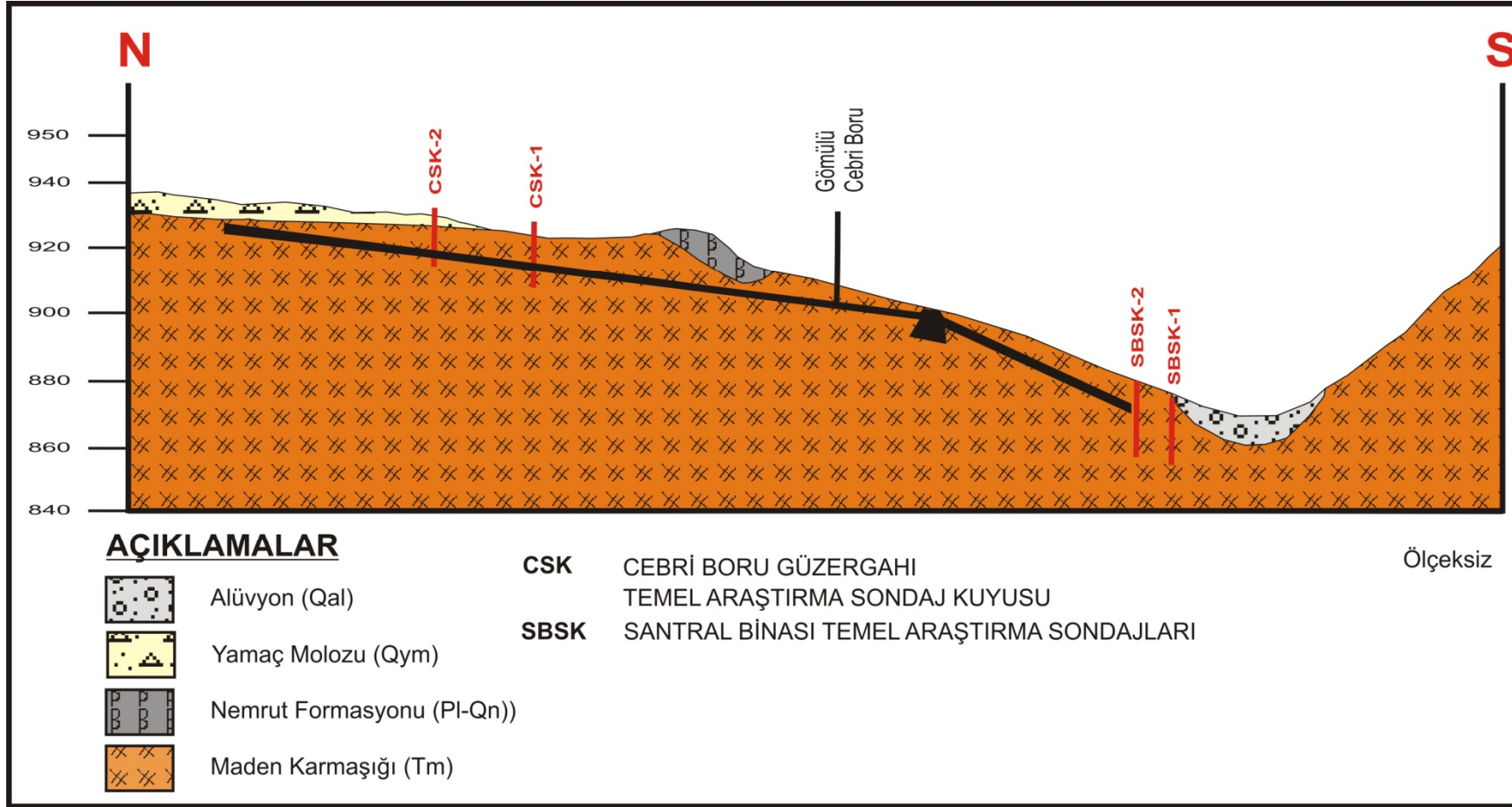
Bu bölümde; mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılarak, proje alanındaki birimlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler belirlenirken; sondaj verileri, arazi gözlemleri ve pratik saha deneylerine dayanılarak veriler toplanmıştır. Ölçüm yapılabilen birimlerde Schmidt değerleri tespit edilmiştir. MTA ya ait 1/25000 ölçekli jeolojik haritalar temel alınarak proje alanının 1/25000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası (Ek-1) ve sanat yapılarının bulunduğu alanların jeolojik kesitleri hazırlanmıştır (Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21). Topoğrafyanın uygun olduğu alanlarda ISRM (1978)'e göre süreksizlik ölçümleri yapılmıştır. Her bir süreksizlik için süreksizlik türü, yönelim, aralık, açıklık, devamlılık, süreksizlik duvarının durumu, dalgalılık, pürüzlülük, su durumu ve varsa dolgu malzemesi incelenerek kaydedilmiştir (Ek-2). Ayrıca olası sanat yapılarının bulunduğu alanlarda Yersu Mühendislik Son.İnş.Ltd.Şti. tarafından 9 adet toplam 205 m derinliğinde sondaj kuyuları açılmış elde edilen karot numuneleri üzerinde Kaya Kalite Göstergesi (RQD), Toplam Karot Verimi (TCR) ve Sağlam Karot Verimi (SCR) ölçümleri yapılmıştır. Yapılan sondajlara ait loglar ve laboratuvar sonuçları Ek-3'de verilmiştir. Sondajların bulunmadığı alanlarda RQD tanımlaması $RQD=115-3,3xJv$ (Bieniawski 1973) bağıntısından yararlanılmıştır. Birim hacim ağırlıkları (γ) sondaj yapılan alanlarda laboratuvar verilerinden sondajların bulunmadığı alanlarda ise literatür verilerinden yola çıkılarak belirlenmiştir. Tek eksenli sıkışma dayanımlarının belirlenmesinde; Schmidt geri sıçrama değeri ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişkiden (Deere ve Miller 1966, Hoek ve Bray 1977) faydalanılmıştır (Şekil 4.23). Tüm bu bilgiler ışığında olası kuvvet tüneli güzergahındaki birimler için Kaya Kalite Göstergesi Sınıflaması (RQD), Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi (RMR), Norveç Jeoteknik Enstitüsü sistemi (Q) ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) sistemlerine göre kaya sınıflaması yapılmış ve elde edilen değerlere göre kazı ve destek sistemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu projede yapımı planlanan tünel, proje aşamasında olup geometrik özellikleri henüz belli olmadığından, hesaplamalar su iletim tünellerinde en çok kullanılan kesit şekli olan standart at nalı ve kazı çapı 4.00 m kabul edilerek yapılmıştır (Şekil 4.24). Ayrıca sanat yapılarının bulunduğu alanlarda yapılan sondajlardan elde edilen bilgiler ile bu alanlarda taşıma gücü hesapları yapılmıştır.



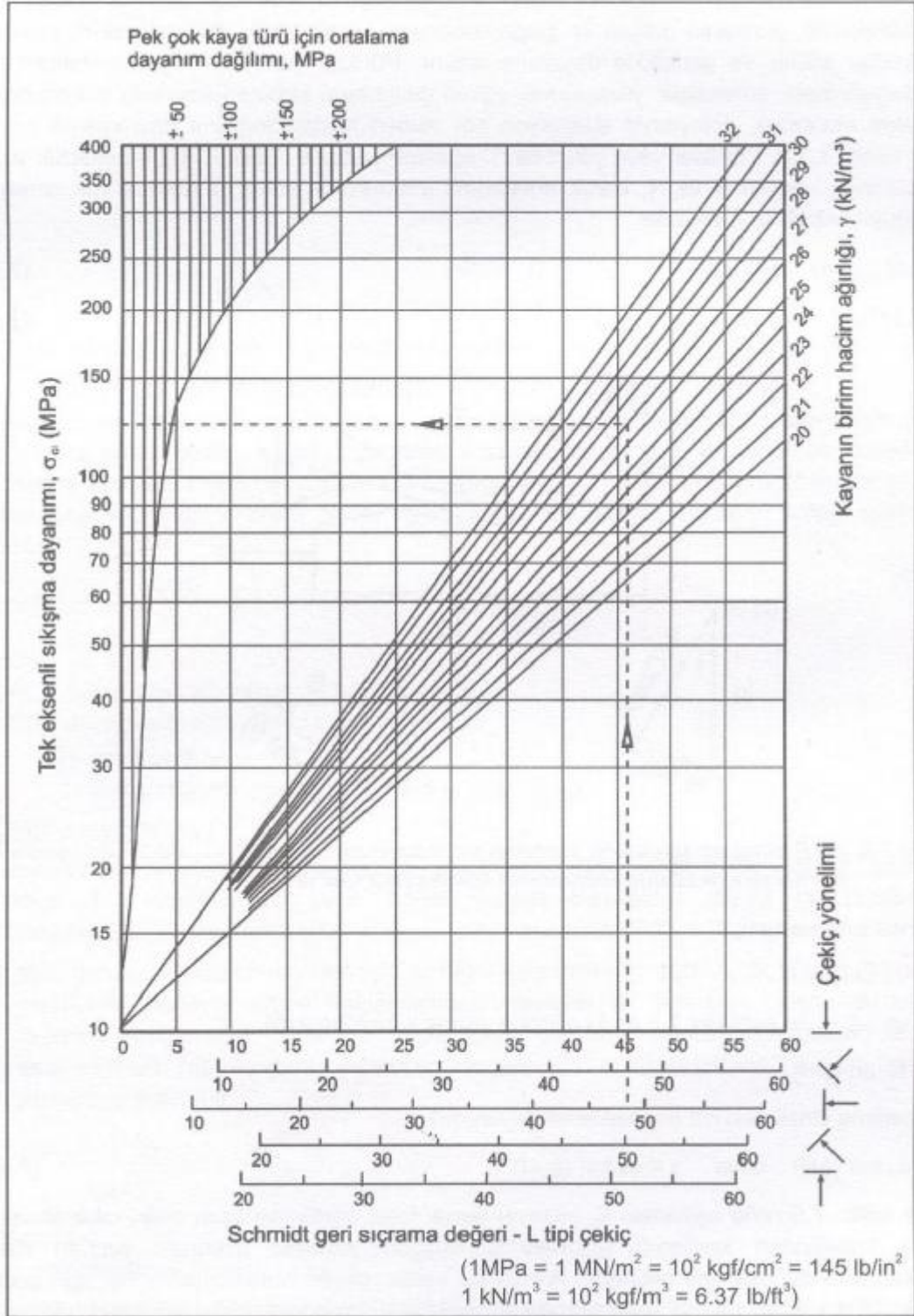
Şekil 4.19. Olası regülatör sahası jeolojik kesiti



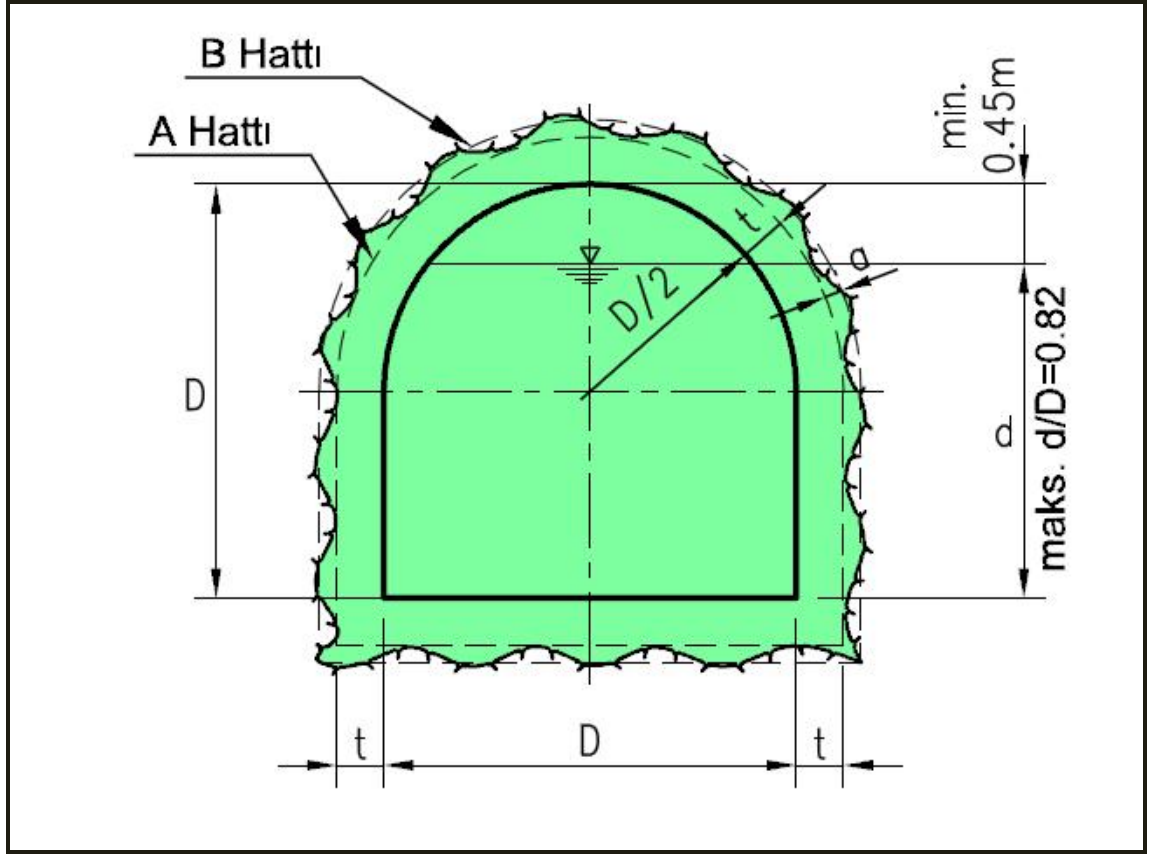
Şekil 4.20. Olası yükleme havuzu sahası jeolojik kesiti



Şekil 4.21. Olası santral binası sahası jeolojik kesiti



Şekil 4.22. Schmidt geri sıçrama değeri ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere ve Miller 1966, Hoek ve Bray 1977)



Şekil 4.23. Standart at nalı tünel kesiti (Cofcof 1996)

4.5.1. Saha Çalışmaları ve Süreksizlik İncelemeleri

4.5.1.1. Yolcular Grubu (Pey) :

Birim inceleme alanında olası regülatör yeri ve dolaylarında geniş yayılım sunmaktadır. Regülatör ve kuvvet tüneli giriş kısmı bu formasyon içerisinde planlanmaktadır. Genellikle metagranit, amfibolit, paragnays, gnays, pegmatit ve resifal karbonatlardan oluşan birimde kayaçların rengi kirli beyazdan kızıl kahve ve siyaha doğru değişmektedir. Birim içerisinde gözlenen mikaşistlerde bol miktarda foliasyon gözlenmektedir. Mikaşistler açık gri yeşilimsi renkte olup el içerisinde foliasyon düzlemleri boyunca dağılıp parçalanmaktadır. Birim içerisindeki gnays pegmatitler ve rekristalize kireçtaşları orta-yüksek dayanımlıdır. Regülatör alanında kuvvet tüneli giriş kısmında yapılan süreksizlik ölçümlerinde süreksizlikler, pürüzlü dalgalı, yakın-orta aralıklı olarak tanımlanmıştır. Schmidt değerleri 55, 60, 45, 50, 52, 65, 60, 57, 50, 55 olarak belirlenmiştir. Bu ölçümler sonucunda Schmidt değeri 55 olarak

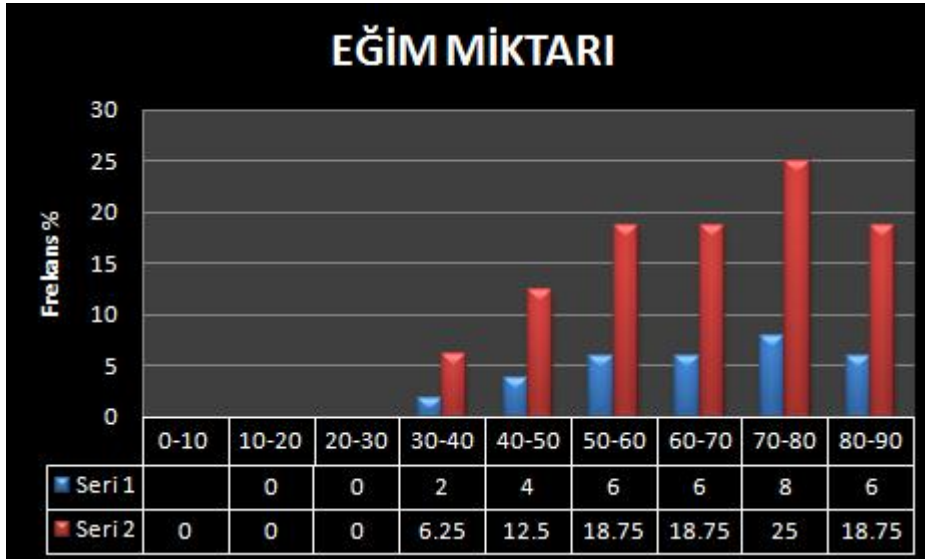
belirlenmiştir. Birim hacim ağırlık (γ) ise formasyon içerisinde açılmış 3 adet araştırma sondajından elde edilen karotlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucu ortalama 25 kN/m^3 alınmıştır.

4.5.1.1.1. Süreksizlik incelemeleri

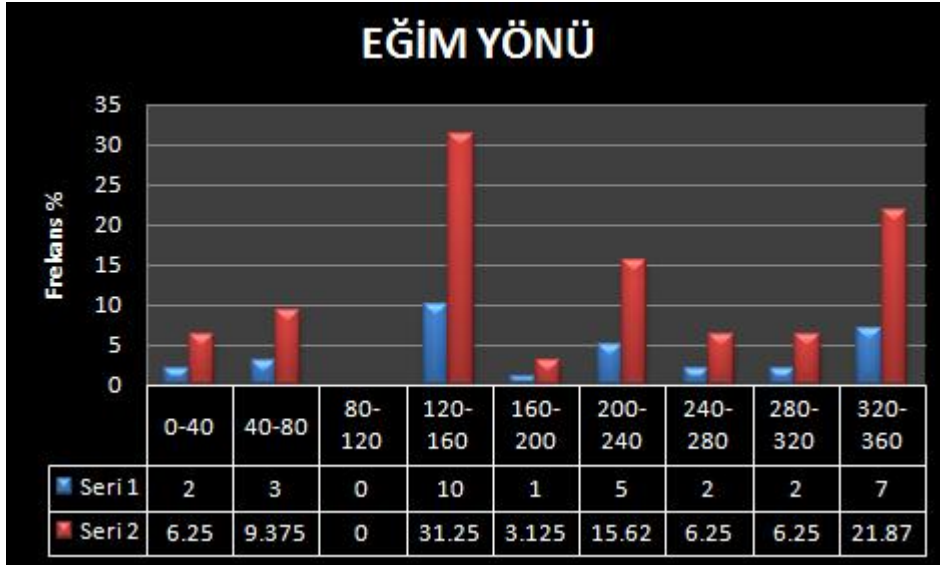
İnceleme alanı regülatör yeri kuvvet tüneli giriş kısmında jeolog pusulası ve metre yardımıyla yapılan süreksizlik ölçülerine ait bilgiler Ek-2’de verilmiştir.

a) Süreksizlik yönelimi

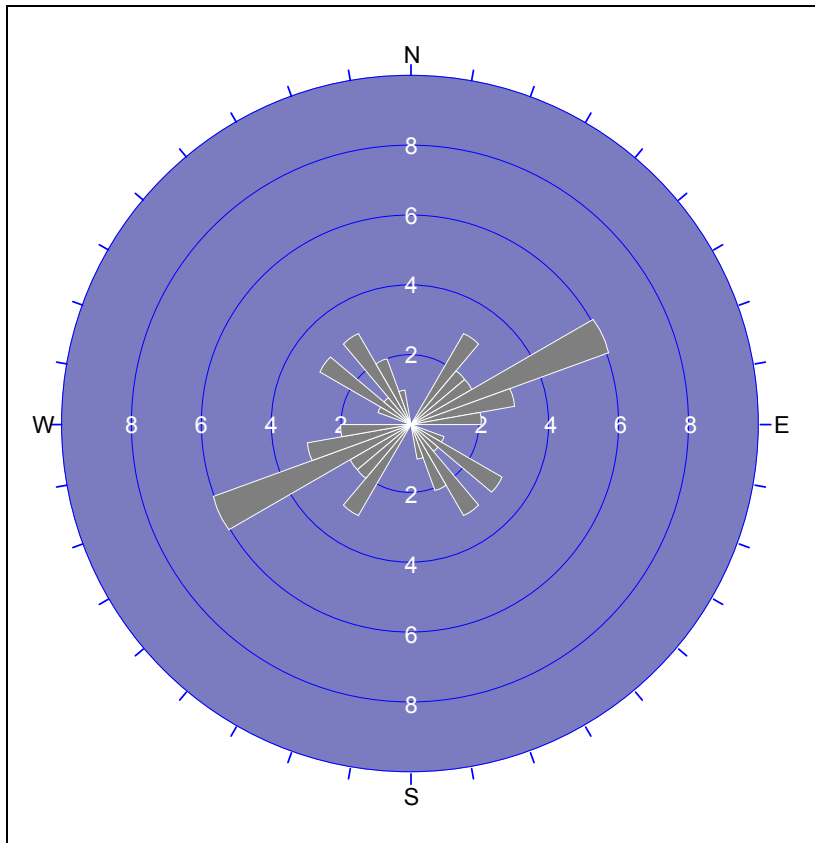
Kireçtaşlarında yapılan süreksizlik ölçümleri sonucu hazırlanan histogram çözümleri Şekil 4.24 ve 4.25’de, gül diyagramları ise Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.24. Yolcular grubunda yapılan süreksizlik eğim miktarı histogram çözümlemesi



Şekil 4.25. Yolcular grubunda yapılan süreksizlik eğim yönü histogram çözümlemesi



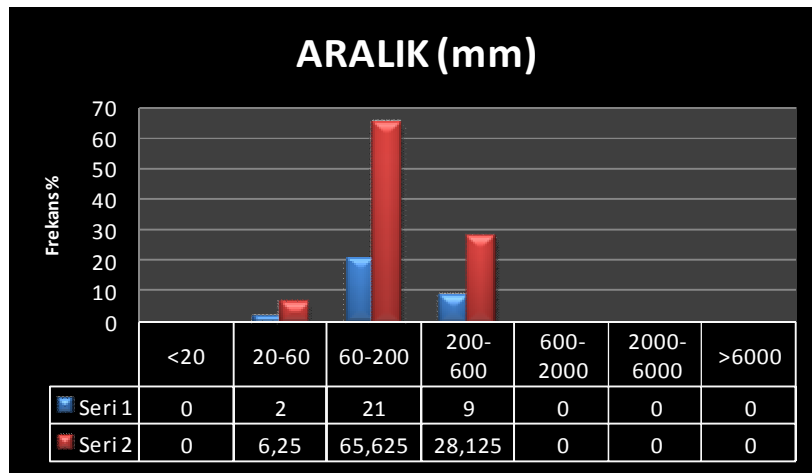
Şekil 4.26. Süreksizlik ölçümlerinden elde edilen gül diyagramları

b) Süreksizlik aralıkları

Yolcular grubunda yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda süreksizlik aralığı olarak adlandırılan komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeler ölçülmüştür. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir. (Çizelge 4.4). Ölçüm sonuçları sonunda elde edilen aralık değerlerinin histogram analizi sonucunda eklem aralıklarının yakın- orta derecede aralıklı sınıfta yığıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.27).

Çizelge 4.4. Süreksizlik aralığı tanımlama esasları (ISRM 1981)

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



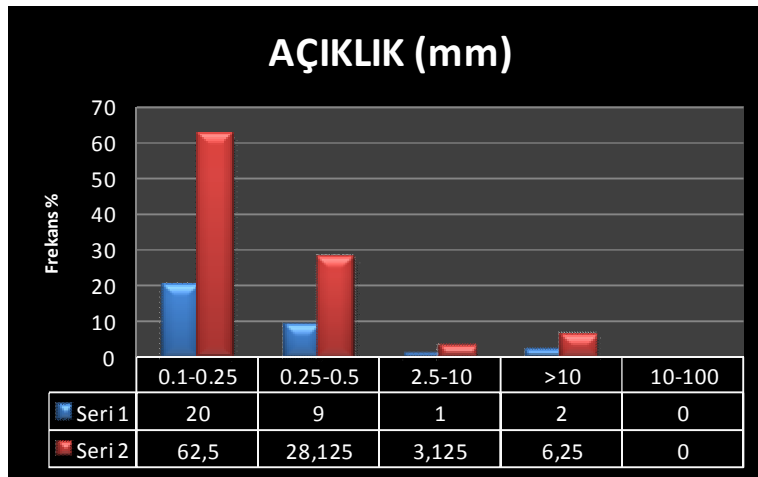
Şekil 4.27. Yolcular grubunda süreksizliklerin aralıklarını gösterir histogram

c) Süreksizlik açıklıkları

Saha çalışmalarında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler ölçülmüş elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiş, (Çizelge 4.5) ve Şekil 4.28'deki histogram hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre eklem açıklıkları sıkı-kısmen, açık sınıfına girmektedir.

Çizelge 4.5. Süreksizlik açıklığının tanımlamasına ait esaslar (ISRM 1981)

Açıklık	Tanımlama	
<0,1mm	Çok sıkı	KAPALI
0,1-0,25 mm	Sıkı	
0,25-0,5 mm	Kısmen açık	
0,5-2,5mm	Açık	BOŞLUKLU
2,5-10 mm	Orta derecede geniş	
>10 mm	Geniş	
1-10cm	Çok geniş	AÇIK
10-100 cm	Aşırı geniş	
>100cm	Boşluklu	



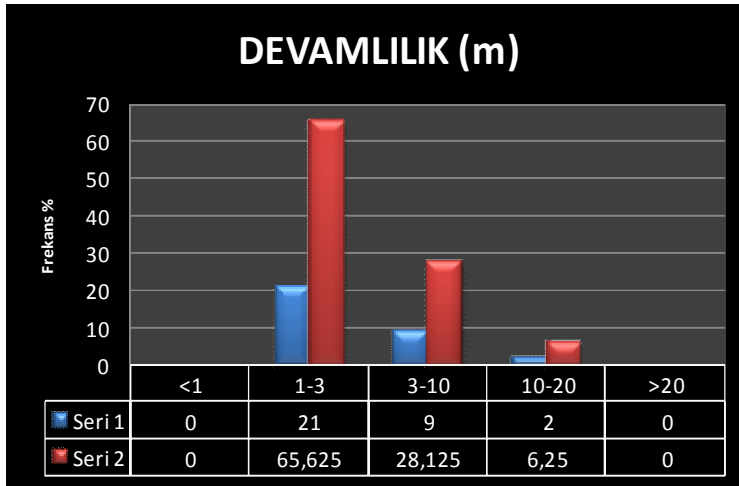
Şekil 4.28. Yolcular grubunda süreksizliklerin açıklıklarını gösterir histogram

d) Süreksizlik devamlılığı

Saha çalışmalarında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit etmek amacı ile devamlılıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.6). Ölçüm sonuçlarına göre yapılan histogram analizi sonucunda eklem devamlılıkları düşük-orta devamlılık sınıfına girmektedir (Şekil 4.29).

Çizelge 4.6. Süreksizlik devamlılığının tanımlama esasları (ISRM 1981)

Tanımlama	Süreksizlik Devamlılığı
Çok Düşük Devamlılık	<1m
Düşük Devamlılık	1-3m
Orta devamlılık	3-10m
Yüksek devamlılık	10-20m
Çok Yüksek Devamlılık	>20m



Şekil 4.29. Yolcular grubunda süreksizliklerin açıklıklarını gösterir histogram

e) Süreksizliklerin su durumu

Yapılan gözlemlerde süreksizliklerin yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır. ISRM (1981)'e göre dolgunsuz ve dolgulu süreksizlikler için su durumunun sınıflandırılması ve tanımlanması Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Bu sınıflamaya göre kuvvet tünelinin giriş kısmının bulunduğu alan dolgunsuz süreksizlikler kısmının birinci sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.7. Dolgunsuz ve dolgulu süreksizlikler için su durumunun sınıflandırılması ve tanımlanması (ISRM, 1981)

Sızıntı Sınıflaması	TANIMLAMA
f) Süreksizlik duvarının durumu	
1	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, su akışı yok
2	Süreksizlik yüzeyi kuru ve suyun aktığına dair bir belirti yok
3	Süreksizlik yüzeyi kuru ancak suyun akmış olduğunu gösterir izler var
4	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
5	Süreksizlik yüzeyinde damlalar halinde sızıntı var ancak sürekli bir akış gözlenmiyor.
6	Süreksizlik yüzeyi boyunca sürekli bir su akışı var
DOLGULU SÜREKSİZLİKLER	
1	Dolgu malzemesi aşırı derecede konsalide olmuş malzemedan oluşuyor ve geçirimsizliğinin az olması sebebi ile önemli bir su akışı gözlenmiyor.
2	Dolgu ıslak yer yer su damlacıkları gözleniyor
3	Dolgu malzemesi su damlaları ile ıslanmış
4	Dolgu malzemesinin yıkanmış ıslanmış olduğuna ilişkin izler ve sürekli su akışı izleniyor.
5	Dolgu malzemesi yerel olarak yıkanmış-taşınmış ve yıkama kanalları boyunca dikkate değer su akışı izleniyor.
6	Dolgu malzemesi tamamen taşınmış su basıncı yüksek

f) Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, bozunmaların yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımları ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek eksenli sıkışma dayanımı (σ cMpa)
R0	Aşırı derecede zayıf kayaç	Kayaçın yüzeyinde çentik ile çizik oluşturulabilir	0.25-1.0
R1	Çok zayıf kayaç	Jeolog çekici ile sert bir darbe ile ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir	1.0-5.0
R2	Zayıf Kayaç	Kayaç, çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır	5.0-25
R3	Orta derecede sağlam kaya	Kayaç, çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği, jeolog çekici ile yapılacak tek ve sert bir darbe ile kırılabilir.	25-50
R4	Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir	50-100
R5	Çok Sağlam kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir	100-250
R6	Aşırı derecede sağlam kayaç	Kayaç örneği, jeolog çekici ile sadece yontulabilir	>250

4.5.1.1.2. Kaya kütlesi sınıflaması

Bu kesimde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılmak amacıyla süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu ve süreksizlik yüzeyinin dayanım parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. En iyi en kötü ve normal koşullardaki RQD belirlenirken giriş kısmında yapılan sondajdan elde edilen veriler kullanılmıştır. En iyi koşullarda RQD değeri 25, en kötü koşullarda 7, normal koşullarda ortalama 16 olarak alınmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı ise laboratuvar deneyi sonucu en iyi koşullarda 53 MPa en kötü koşullarda 6 MPa normal koşullarda 30 MPa olarak alınmıştır. RMR sınıflama sistemine göre kuvvet tüneli giriş portalının içerisinde bulunduğu Yolcular grubunda kaya kütlesi en iyi koşullar için II. en kötü koşullar için III. ve normal koşullar için III. sınıfta yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı küttele özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.9, 4.10 ve 4.11’de verilmiştir. RMR’ye bağlı olarak kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesinde ise aşağıdaki eşitliklerden faydalanılmıştır.

Kohezyon (kPa) $C=5 \cdot RMR$ (Trueman 1988, Beniaowski 1978).

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)= $0.5 \cdot RMR + 5^0$ (Trueman 1988, Beniaowski 1978).

E Modülü(GPa)= $E_m=2RMR-100$ ($RMR > 50$)

E Modülü(GPa)= $E_m=10^{(RMR-10/40)}$ ($RMR \leq 50$) (Bieniawski 1978, Serafim ve Pereira 1983)

Destek Basıncı (kN/m^2) $P=(100-RMR/100) \cdot \gamma \cdot B$ (Ünal 1992) Burada;

P = Destek basıncı (kN/m^2)

γ = Kayacın birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

B = Tünel genişliği (m) olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.9.Yolcular Grubu için RMR sınıflaması

PARAMERTRE		En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)		53	6	30
Puan		7	2	4
RQD		25	7	16
Puan		8	3	3
Süreksizlik Aralığı (mm)		200-600	20-60	60-200
Puan		10	5	8
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	1-3 (4 puan)	3-10 (2 puan)	3-10 (2 puan)
	Açıklık (mm)	0.1-0.25 (4puan)	>10 (0 puan)	0.25-0.5 (1 puan)
	Pürüzlülük	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)
	Dolgu	Dolgu yok (6 puan)	Dolgu yok (6 puan)	Dolgu yok (6 puan)
	Bozunma	Orta derecede Bozunmuş (3 puan)	Orta derecede Bozunmuş (3 puan)	Orta derecede Bozunmuş
	Puan	22	16	17
Yeraltı suyu		Yok	Yok	Yok
Puan		15	15	15
Temel RMR Puanı		62	41	47
Süreksizlik Yönelimine Göre		0	0	0
Düzeltilmiş RMR Puanı		62	41	47
Kaya Kütle Sınıfı		II iyi kaya	III orta kaya	III orta kaya

Çizelge 4.10.Yolcular Grubu için kütle parametreleri

Koşullar	Kütle Parametreleri				
	Kohezyon (c) (kPa) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	E Modülü (GPa) (Bieniawski 1978, Serafim ve Pereira 1983)	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal, 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski 1989)
En iyi koşullar	310	36 ⁰	24	38	16.5 gün
En kötü koşullar	205	25.5 ⁰	5.95	59	10 saat
Normal koşullar	235	28.5 ⁰	8.41	53	1 gün

Çizelge 4.11.Yolcular gurubu içersinde bulunan kuvvet tüneli giriş kısmı için önerilen destek sistemi önerileri

Koşullar	Destek Sistemleri			
	Kazı Yöntemi	Kaya Saplamaları	Püskürtme Beton	Çelik Destek
En İyi Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamalar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez
En Kötü Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm	Çelik hasır
Normal Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 30 mm	Çelik hasır

Yolcular grubu için yapılan Q sınıflama sistemine göre en iyi koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” En kötü koşullar “aşırı derecede zayıf kaya” ve normal koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.12, 4.13 ve 4.14’te verilmiştir. Q’ya bağlı olarak kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesinde ise aşağıdaki eşitliklerden faydalanılmıştır.

$$\text{Blok boyutu : } \frac{RQD}{J_n}$$

$$\text{Bloklar arası makaslama dayanımı: } \frac{J_r}{J_n}$$

$$\text{Etkin gerilme: } \frac{J_w}{SRF}$$

$$\text{Max. desteksiz açıklık : } 2 \times (ESR) \times Q^{0.4}$$

$$\text{Tavan destek basıncı: } \left(\frac{2}{J_r} \right) \times Q^{-1/3}$$

Çizelge 4.12.Yolcular Grubu için Q sınıflaması

PARAMERTRE	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
RQD	25	7	16
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15*2	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15*2	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15*2
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı
	3	3	3
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	2	2	2
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü(Jw)	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu
	7.5	7.5	7.5
Q	0.16	0.03	0.1
Kütle Sınıfı	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf

Çizelge 4.13.Yolcular Grubu için kaya kütle özellikleri

Kütle özellikleri	En iyi koşullar	En kötü koşullar	Normal koşullar
Tünel açıklığı (m)	4.0	4.0	4.0
Tünel yüksekliği (m)	4.0	4.0	4.0
Blok boyutu	0.83	0.23	0.53
Bloklar arası makaslama	1.5	1.5	1.5
Etkin gerilme	0.13	0.13	0.13
ESR (kazı destek puanı)	1.0	1.0	1.0
Max. desteksiz açıklık	0.96	0.49	0.80
Tavan destek basıncı	$1.2kg/cm^2$	$2.1kg/cm^2$	$1.41kg/cm^2$

Çizelge 4.14.Yolcular gurubu içersinde bulunan kuvvet tüneli giriş kısmı için Q sistemine göre önerilen destek sistemi önerileri

Koşullar	Destek Sistemleri
En İyi Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5-7.5 cm
En Kötü Koşullar	0.5-1 metre ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 10-20 cm
Normal Koşullar	0.5-1 metre ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 10-20 cm

Yolcular Grubunda GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünün belirlenmesinde Rocscience firması tarafından üretilen ve ölçütün 2002 versiyonunu kullanan RocLab v. 1.009 yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda GSI değerinin seçiminin görsel ve öznel değerlere sahip olması nedeniyle GSI'nın belirlenmesinde Hoek ve Brown (1997) kullanılmıştır (Şekil 4.30). Hesaplama kullanılan *mi* sabiti kristalize kireçtaşları için önerilen ± 12 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü olan D'nin belirlenmesinde ise mekanik kazı ile açılacak tüneller için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Tünel derinliği ise giriş kısmı için 128 m olarak

alınmıştır. Ölçütte kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütle normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 4.15 ve Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33'te sunulmuştur.

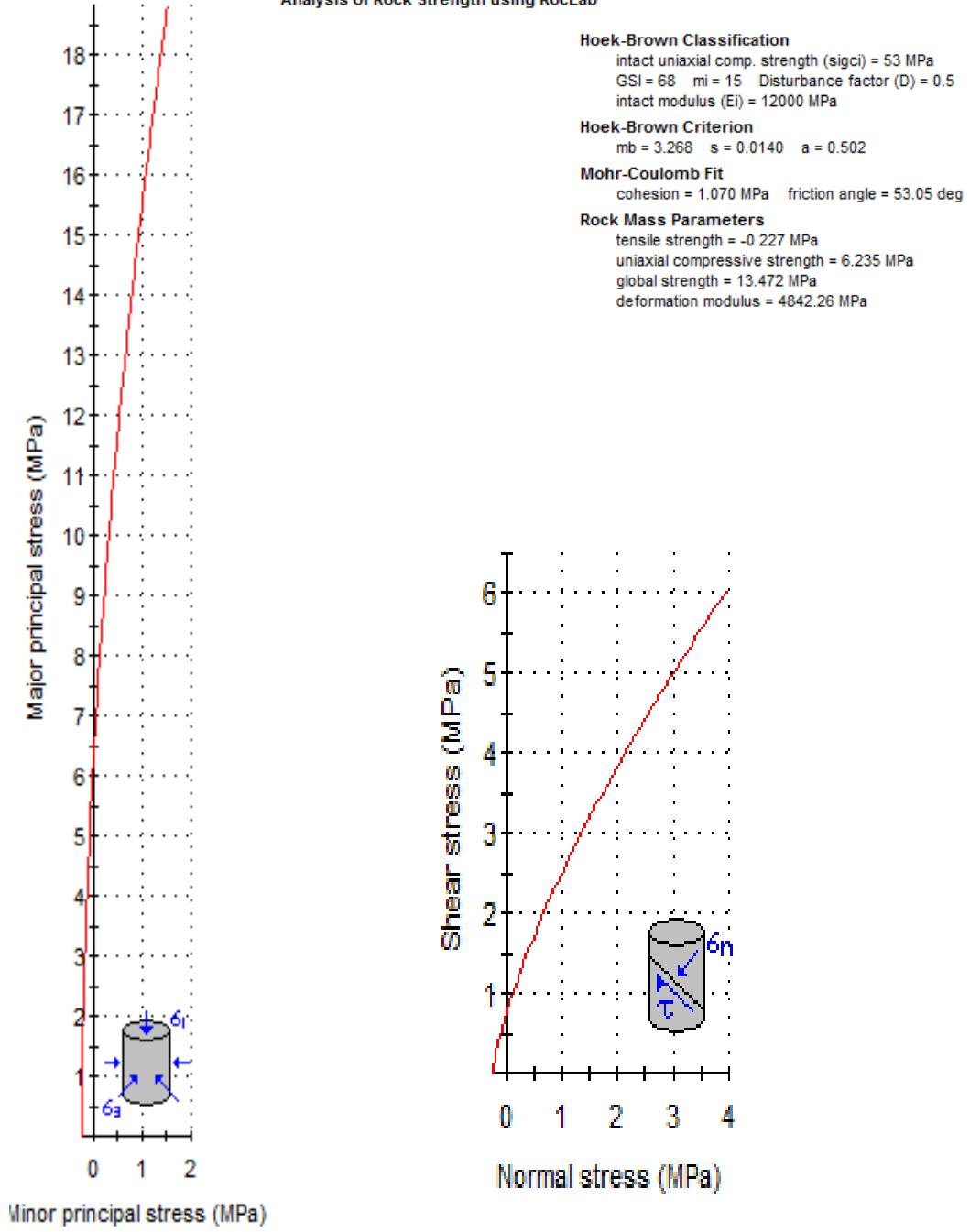
JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU				
Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.						
YAPI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →				
	BLOKLU- 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselememiş kaya kütleli	80 B/Çİ	70 B/İ	60 B/O	50 B/Z	40 B/ÇZ
	ÇOK BLOKLU- Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselemiş kaya kütleli	30 ÇB/Çİ	20 ÇB/İ	10 ÇB/O	0 ÇB/Z	0 ÇB/ÇZ
	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ- Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrılmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleli	30 BÖ/Çİ	20 BÖ/İ	10 BÖ/O	0 BÖ/Z	0 BÖ/ÇZ
	PARÇALANMIŞ- Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırık kaya kütleli	10 P/Çİ	0 P/İ	0 P/O	0 P/Z	0 P/ÇZ
		KAYA PARÇALARININ KENETLENME DEREJESİNDE AZALMA ↓				
		10				

Şekil 4.30. Özgün GSI sınıflama sistemi (Hoek ve Brown 1997)

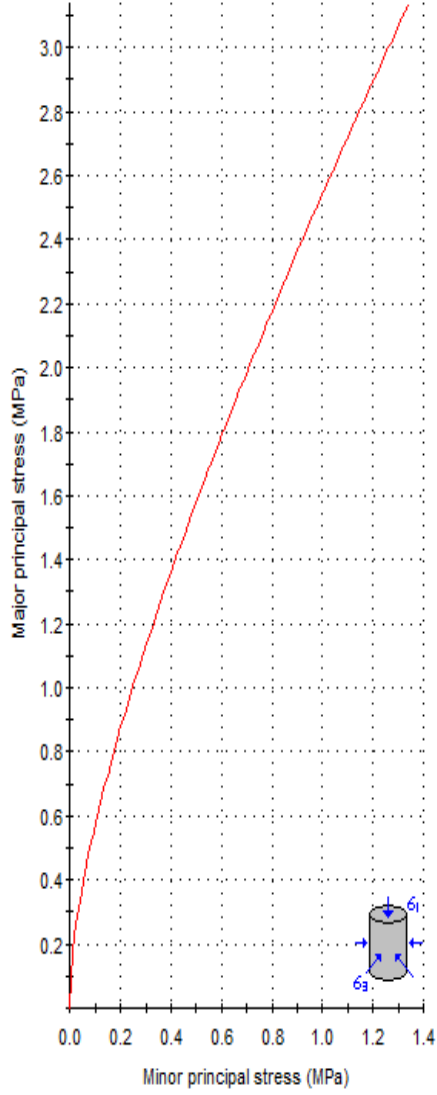
Çizelge 4.15.Yolcular Grubu için GSI ve Hook - Brown görgül yenilme ölçütü değerleri

Kütle Özellikleri		En İyi	En Kötü	Normal
GSI		68	36	62
Tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci} MPa		53	6	30
mi (malzeme sabiti) kristalize kireçtaşı		15	9	12
D (örseleme faktörü)		0.5	0.5	0.5
Uygulama		Tünel	Tünel	Tünel
mb		3.268	0.427	1.965
s		0.0140	0.0002	0.0063
a		0.502	0.515	0.502
σ_3 max(MPa)		1.5844	0.5499	1.5587
Birim hacim ağırlık (MN/m ³)		0.025	0.025	0.025
Tünel derinliği		128	128	128
Mohr-Cloumb	c Kohezyon(MPa)	0.793	0.159	0.637
	ϕ İçsel Sürtünme	48.71	20.54	44.76
Kaya kütleli parametreleri	σ_t (Çekme Gerilmesi)	-0.129	-0.003	-0.096
	Tek eksenli basınç (σ_c)	3.529	0.074	2.352
	Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa	7.625	0.486	5.805
	Elastisite Modülü (Em) MPa	4842.26	725.83	3637.87

Analysis of Rock Strength using RocLab



Şekil 4.31. Yolcular grubu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 6 MPa
 GSI = 36 m_i = 9 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

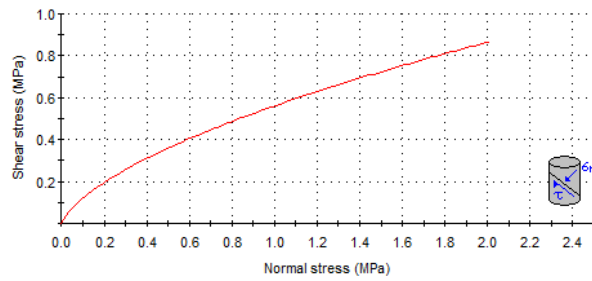
m_b = 0.427 s = 0.0002 a = 0.515

Mohr-Coulomb Fit

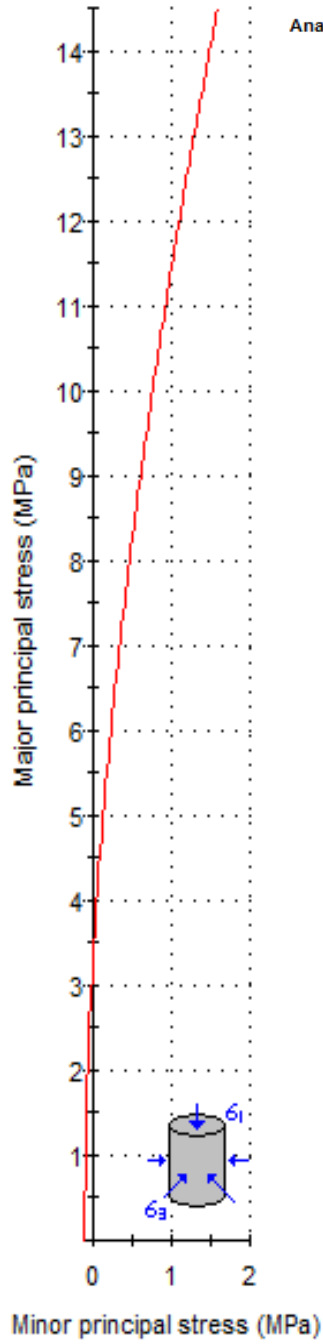
cohesion = 0.159 MPa friction angle = 20.54 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.003 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.074 MPa
 global strength = 0.486 MPa
 deformation modulus = 725.83 MPa



Şekil 4.32. Yolcular grubu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 30 MPa
 GSI = 68 m_i = 15 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

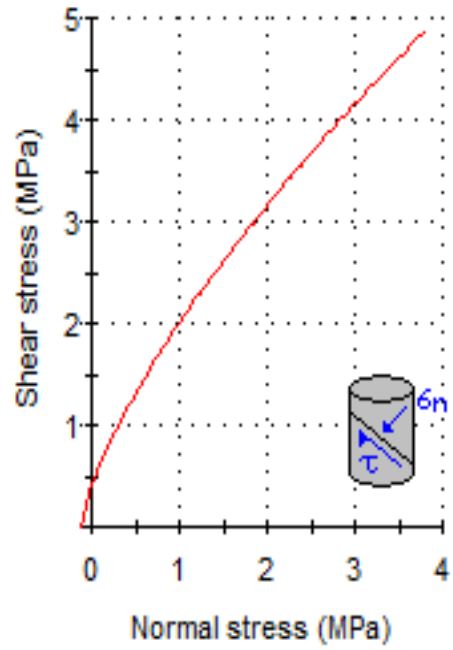
m_b = 3.268 s = 0.0140 a = 0.502

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.793 MPa friction angle = 48.71 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.129 MPa
 uniaxial compressive strength = 3.529 MPa
 global strength = 7.625 MPa
 deformation modulus = 4842.26 MPa

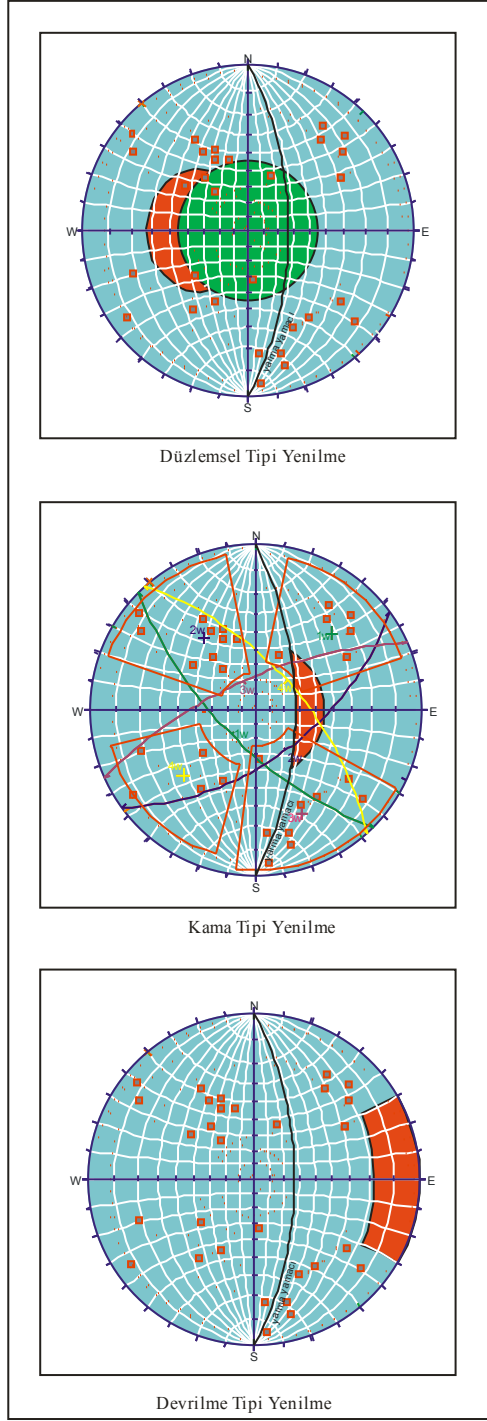


Şekil 4.33. Yolcular grubu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri

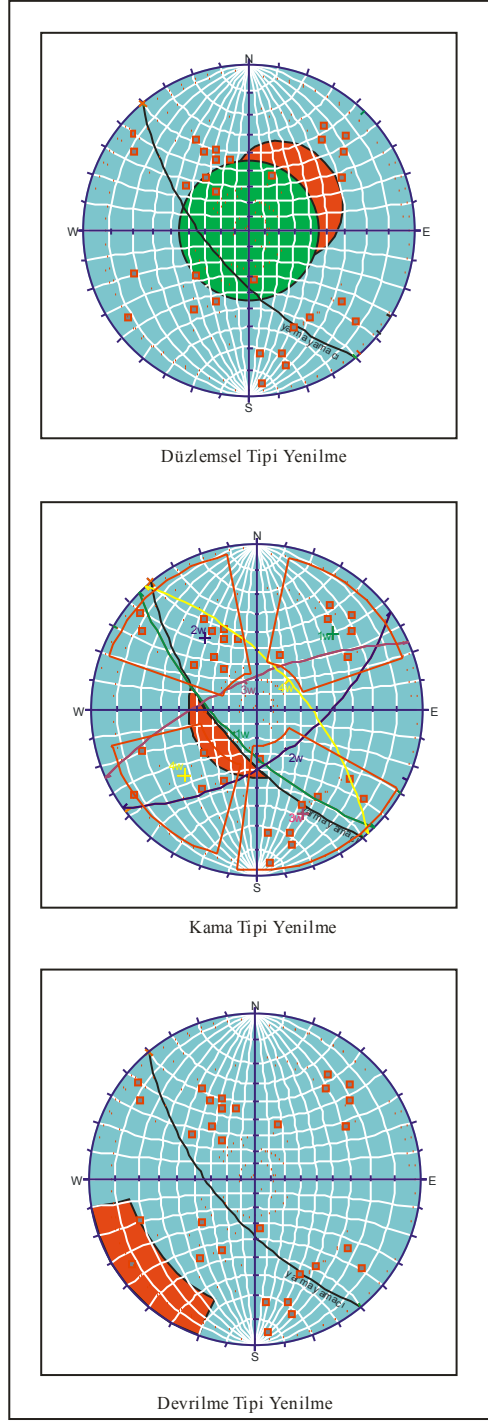
4.5.1.1.3. Duraylılık Analizi

Proje alanında arazi eğimi oldukça yüksektir. Bu nedenle, burada yapılacak kazıların mümkün olduğu kadar dik yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde, kazı miktarı ile kazı maliyeti artacak ve doğaya geri dönüşü olmayan zararlar verilecektir. Bu gerekçelerle; iletim tüneli portallarında yapılan tüm kinematik analiz çalışmalarında, şevin eğimi 63° (2:1) olarak belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan kayma dayanımı parametreleri için kohezyon ihmal edilerek $c=0$ alınmıştır. İçsel sürtünme açısının belirlenmesi için ise, mostranın tamamını simgeleyecek sayıda numune almak mümkün olmadığından, Barton vd (1985)'de tanımlanan arazi prosedürü ve ISRM (1981)'de tanımlanan kesme kutusu deneyi yerine, Agliardi vd (2013) ve Akgün vd (2004)'de uygulandığı gibi arazide yapılan kütle gözlemlerine dayalı olarak belirlenen “kütle içsel sürtünme açısı değerleri” kullanılmıştır. Buna göre içsel sürtünme açısı (ϕ°) “normal koşullar” için 45° alınmıştır.

Yolcular formasyonu rekristalize kireçtaşlarında yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir. Giriş portalında yapılan analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi yenilme olasıdır, devrilme riski ön görülmemiştir. Çıkış portalında yapılan analiz sonucunda, düzlemsel ve kama tipi yenilme beklenmezken, devrilme yenilme riski taşıdığı görülmektedir.



Şekil 4.34. Giriş portalı yamaç duraylılık analizi



Şekil 4.35. Çıkış portalı yamaç duraylılık analizi

4.5.1.2. Meydan Formasyonu (Pzmm):

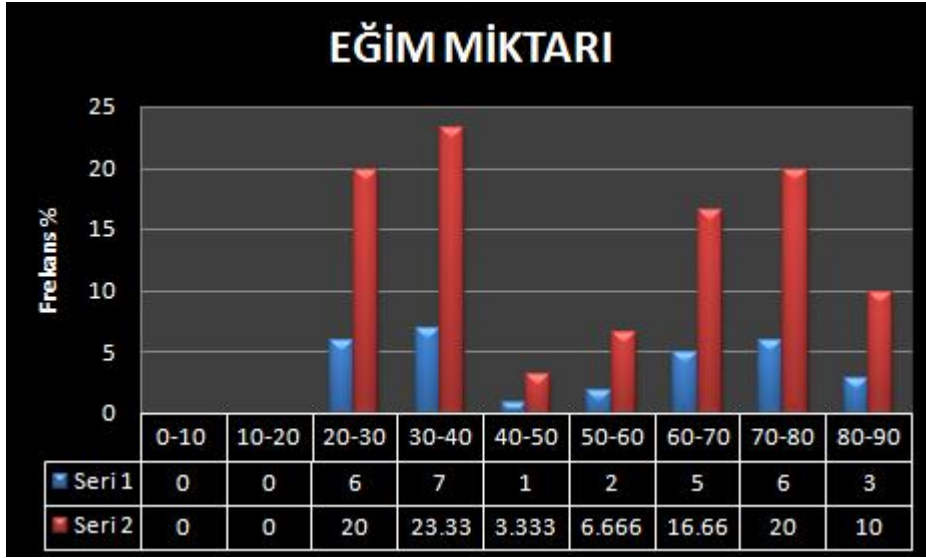
Çalışma bölgesinde olası regülatör alanından sonra Bitlis vadisinin sağ ve sol yamacında dar bir aralıkta gözlenmektedir. Meydan formasyonu; kırıntılı karbonatlar ve volkanoklastiklerden oluşmaktadır. Birim içerisinde dolomitik kireçtaşları beyazımsı-gri renkli şist kırıntılı olarak gözlenmektedir. Kireçtaşları masif ve düzensiz tabakalıdır. Orta derecede bozunma gözlenen kireçtaşlarında yapılan süreksizlik ölçümlerinde; süreksizlik aralıkları yakın-orta derecede (200-600 mm) aralıklı olarak belirlenmiştir. Genellikle düşük devamlılıktadır (1-3 m). Açıklığı orta derecede geniş (2.5-10 mm), dalgalı-pürüzlü, dolgu malzemesi çoğunlukla kil ve kalsittir. RQD ortalama 65 olarak bulunmuş ve tanımlama “orta” olarak yapılmıştır. Birimde ölçülen Schmidt değerleri 30, 35, 32, 40, 52, 45, 37, 40, 35, 55 olarak ölçülmüş ve ortalama olarak 40 olarak alınmıştır. Birim hacim ağırlığı (γ) literatürden ortalama 26 kN/m³ alınmış tek eksenli basınç dayanımı Şekil 4.22’den 80 MPa olarak belirlenmiştir.

4.5.1.2.1. Süreksizlik incelemeleri

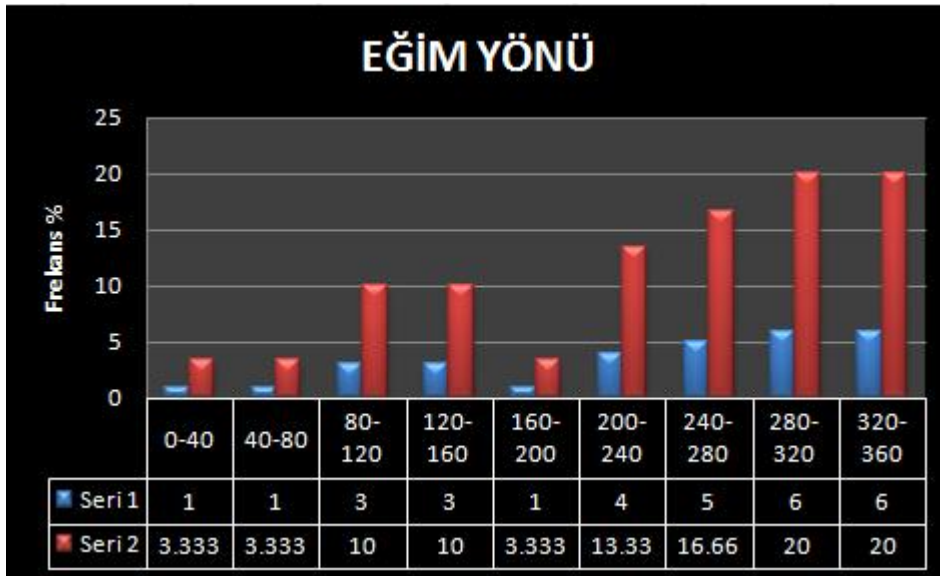
Meydan formasyonunda dolomitik kireçtaşlarında yapılan süreksizlik ölçümlerine ait bilgiler Ek-2’de verilmiştir.

a) Süreksizlik Yönelimi

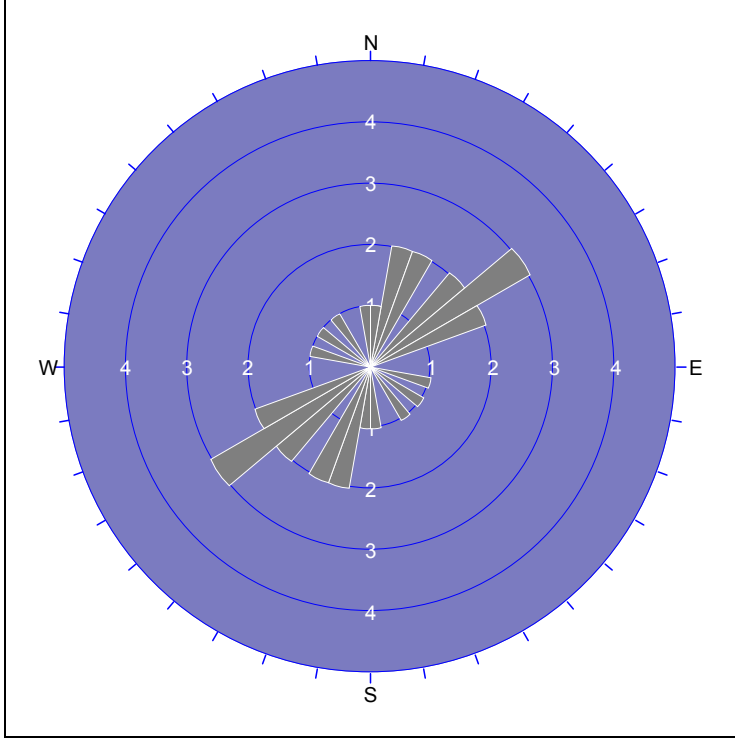
Yapılan süreksizlik ölçümleri sonucu hazırlanan histogram çözümleri Şekil 4.36 ve 4.37’de görüldüğü gibidir. Şekil 4.38’de bu süreksizliklere ait gül diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.36. Meydan formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram



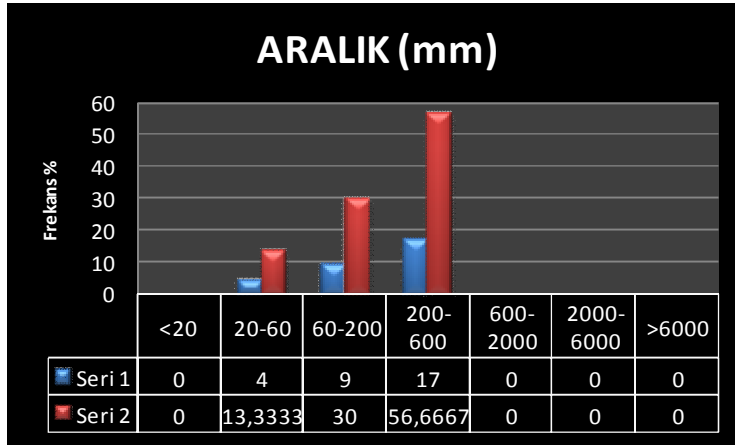
Şekil 4.37. Meydan formasyonunda süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram



Şekil 4.38. Süreksizliklere ait gül diyagramı.

b) Süreksizlik aralıkları

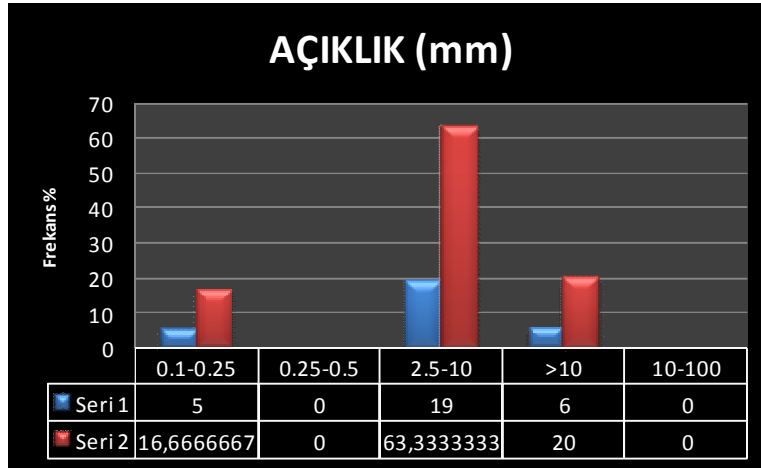
Meydan formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda süreksizlik aralığı olarak adlandırılan komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeler ölçülmüştür. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.4). Ölçüm sonuçları sonunda elde edilen aralık değerlerinin histogram analizi sonucunda eklem aralıklarının yakın-orta derece aralıklı sınıfta yığıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin aralıklarını gösterir histogram

c) Süreksizlik açıklıkları

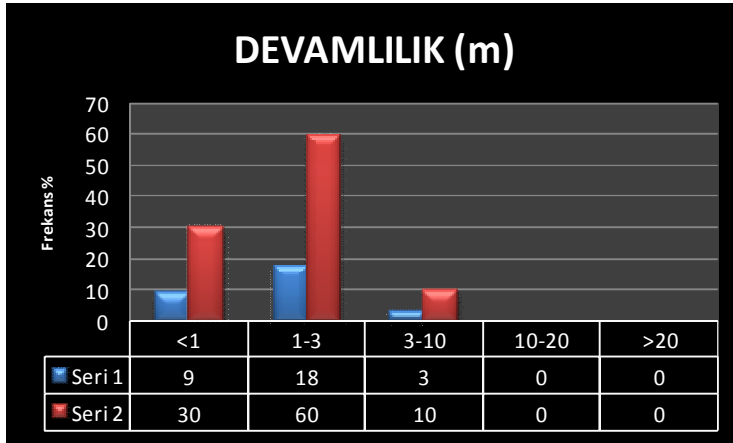
Saha çalışmalarında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler ölçülmüş elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiş (Bkz. Çizelge 4.5) ve şekil 4.40'teki histogram hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre eklem açıklıkları orta derecede geniş açıklık sınıfına girmektedir.



Şekil 4.40. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin açıklıklarını gösterir histogram

d) Devamlılık

Saha çalışmalarında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit etmek amacı ile devamlılıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.6). Ölçüm sonuçlarına göre yapılan histogram analizi sonucunda eklem devamlılıkları düşük devamlılık sınıfına girmektedir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Meydan formasyonunda süreksizliklerinin devamlılığını gösterir histogram

e) Süreksizliklerin su durumu

Yapılan gözlemlerde süreksizliklerin yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır. ISRM (1981)'e göre Meydan formasyonunda ölçülen süreksizlikler “dolgulu süreksizlikler kısmının birinci sınıfında” yer almaktadır (Bkz. Çizelge 4.7).

f) Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, bozunmaların yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.8).

4.5.1.2.2. Kaya kütlesi sınıflaması

Bu kesimde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılmak amacıyla süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu ve süreksizlik yüzeyinin dayanım parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. En iyi, en kötü ve normal koşullardaki RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı sondaj verisi olmadığından sabit olarak alınmıştır. RMR sınıflama sistemine göre Meydan formasyonunda kaya kütlesi en iyi koşullar için II. en kötü koşullar için III. ve normal koşullar için III. sınıfta yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Meydan Formasyonu için RMR sınıflaması

PARAMETRE		En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)		80	80	80
Puan		7	7	7
RQD		65	65	65
Puan		13	13	13
Süreksizlik Aralığı (mm)		200-600	20-60	60-200
Puan		10	5	8
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1 (6 puan)	3-10 (2 puan)	1-3
	Açıklık (mm)	0.1-0.25 (4 puan)	>10 (0)	2.5-10 (0)
	Pürüzlülük	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)
	Dolgu	Dolgu yok (6 puan)	Kil dolgu (0)	Kil dolgu (0)
	Bozunma	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)
	Puan	24	10	10
Yeraltı suyu		Yok	Yok	Yok
Puan		15	15	15
Temel RMR Puanı		69	50	57
Süreksizlik Yönelimine Göre		0	0	0
Düzeltilmiş RMR Puanı		69	50	57
Kaya Kütlesi Sınıfı		II iyi kaya	III orta kaya	III orta kaya

Çizelge 4.17. Meydan Formasyonu için kaya kütle parametreleri

Koşullar	Kütle Parametreleri				
	Kohezyon (c) (kPa) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	E Modülü (GPa) (Bieniawski 1978, Serafim ve Pereira 1983)	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski 1989)
En iyi koşullar	345	39.5 ⁰	38	32.24	1 ay
En kötü koşullar	250	30 ⁰	10	52	45 saat
Normal koşullar	285	33.5 ⁰	14	44.72	1 hafta

Çizelge 4.18. Meydan Formasyonu için RMR sınıflamasına göre tünel destek önerileri

Koşullar	Destek Sistemleri			
	Kazı Yöntemi	Kaya Saplama	Püskürtme Beton	Çelik Destek
En İyi Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplama	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez
En Kötü Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır
Normal Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır

Meydan formasyonu için yapılan Q sınıflama sistemine göre en iyi koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” en kötü koşullar “aşırı derecede zayıf kaya” ve normal koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütle sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.19, 4.20 ve 4.21’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre yapılan kaya sınıflaması

PARAMETRE	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
RQD	65	65	65
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü düzensiz dalgalı	Kaygan dalgalı	Pürüzlü düzensiz dalgalı
	3	1.5	3
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	5	5	5
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü (Jw)	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)
	5	5	5
Q	0.5	0.26	0.5
Kütle Sınıfı	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf

Çizelge 4.20. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre kaya kütle özellikleri

Kütle özellikleri	En iyi koşullar	En kötü koşullar	Normal koşullar
Tünel açıklığı (m)	4.0	4.0	4.0
Tünel yüksekliği (m)	4.0	4.0	4.0
Blok boyutu	4.3	4.3	4.3
Bloklar arası makaslama dayanımı	0.6	0.3	0.6
Etkin gerilme	0.2	0.2	0.2
ESR (kazı destek puanı)	1.6	1.6	1.6
Max. desteksiz açıklık	2.425 m	1.83 m	2.425 m
Tavan destek basıncı	0.82kg/cm ²	2.07kg/cm ²	0.82kg/cm ²

Çizelge 4.21. Meydan Formasyonunda Q sınıflama sistemine göre önerilen destek sistemleri

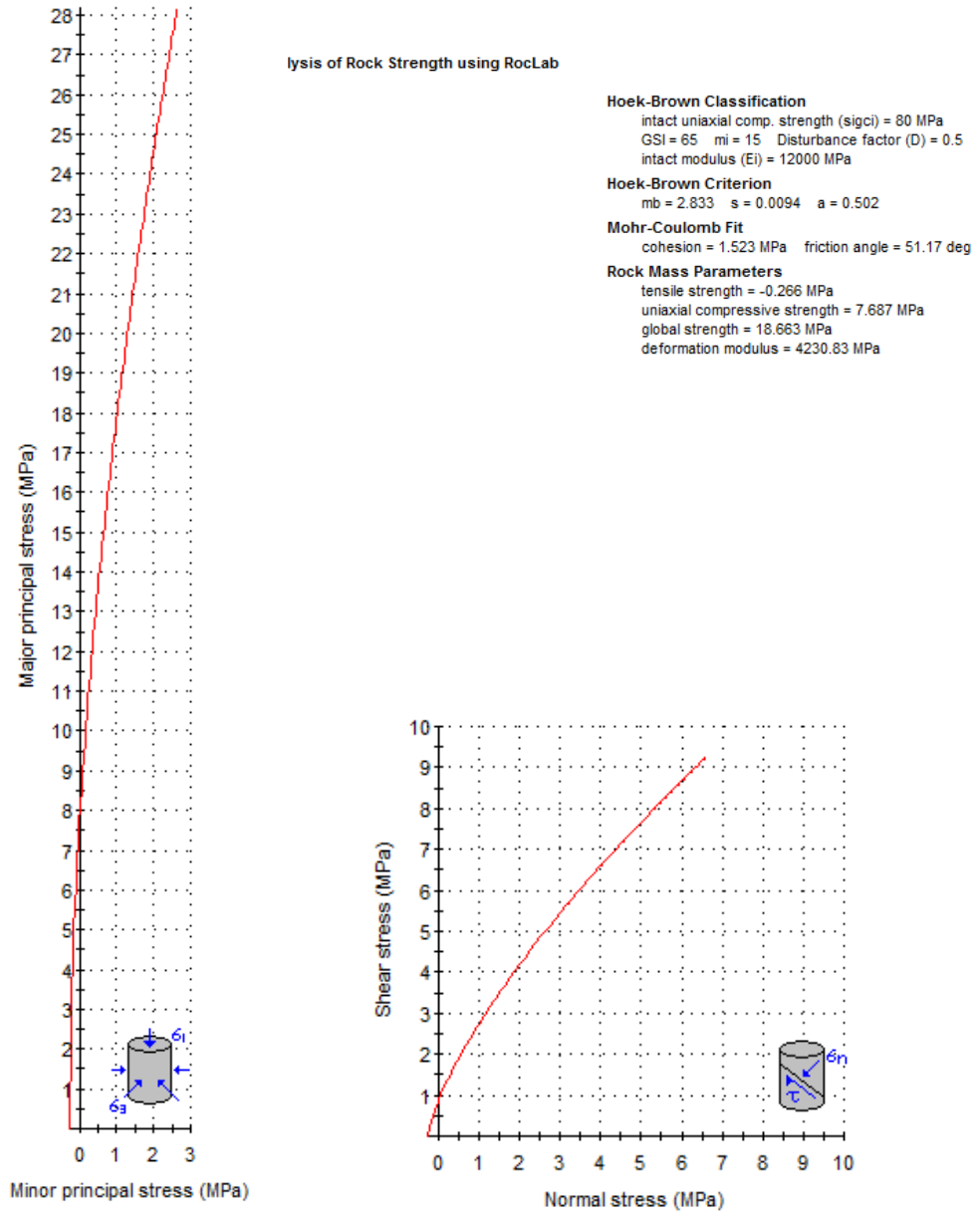
Koşullar	Destek Sistemleri
En İyi Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5 cm
En Kötü Koşullar	0.5- 1 metre ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5-10 cm
Normal Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5 cm

Meydan formasyonunda GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü hesaplamalarında Hoek ve Brown (1997) kullanılmıştır. Hesaplama kullanılan *m*i sabiti kireçtaşları için önerilen ±12 değeri kullanılmıştır. Örstenme faktörü olan D'nin belirlenmesinde ise mekanik kazı ile açılacak tüneller için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Tünel derinliği ise 200 m olarak alınmıştır. Ölçütte kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütlenin normal ve

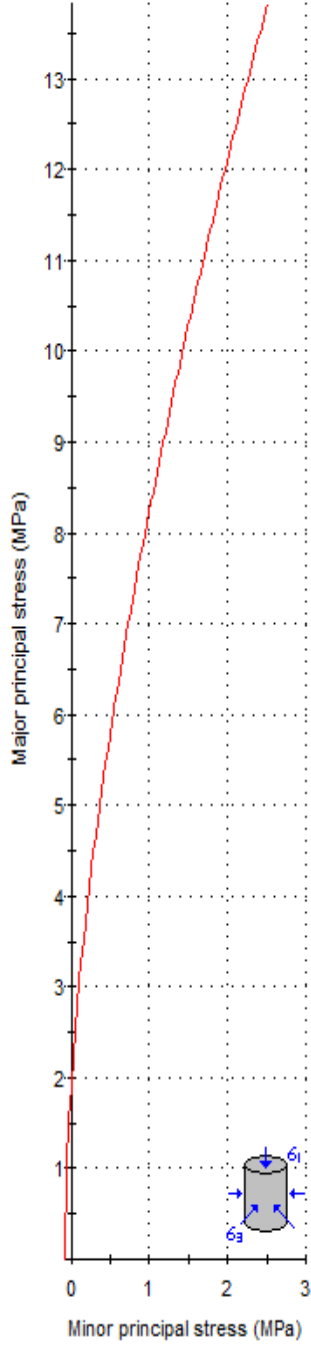
makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 4.22 ve Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44'te sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Meydan formasyonu için GSI ve Hook-Brown görgül yenilme ölçütü değerleri

Kütle Özellikleri		En İyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
GSI		65	45	52
Tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci} MPa		80	80	80
mi (malzeme sabiti) kristalize kireçtaşı		15	9	12
D (örselenme faktörü)		0.5	0.5	0.5
Uygulama		Tünel	Tünel	Tünel
mb		2.833	0.656	1.220
s		0.0094	0.007	0.0017
a		0.502	0.508	0.505
σ_3 max (MPa)		2.6388	2.5158	2.5656
Hacim kütle (MN/m ³)		0.026	0.026	0.026
Tünel derinliği		200	200	200
Mohr-Cloumb	c Kohezyon(MPa)	1.523	0.758	0.977
	ϕ İçsel Sürtünme	51.17	39.58	44.82
Kaya kütleli parametreleri	σ_t (Çekme Gerilmesi)	-0.266	-0.080	-0.109
	Tek eksenli basınç (σ_c)	7.687	1.927	3.158
	Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa	18.663	8.423	11.759
	Elastisite Modülü (Em) MPa	4230.83	1270.61	2007.40



Şekil 4.42. Meydan formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 80 MPa
 GSI = 45 m_i = 9 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

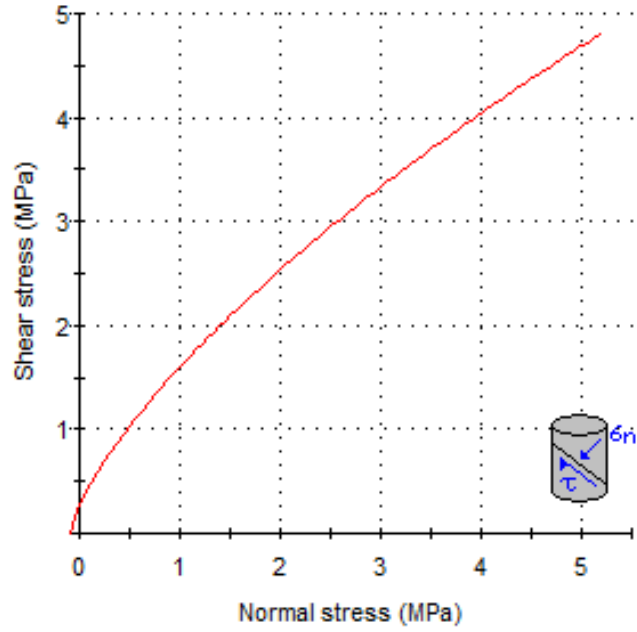
m_b = 0.656 s = 0.0007 a = 0.508

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.758 MPa friction angle = 39.58 deg

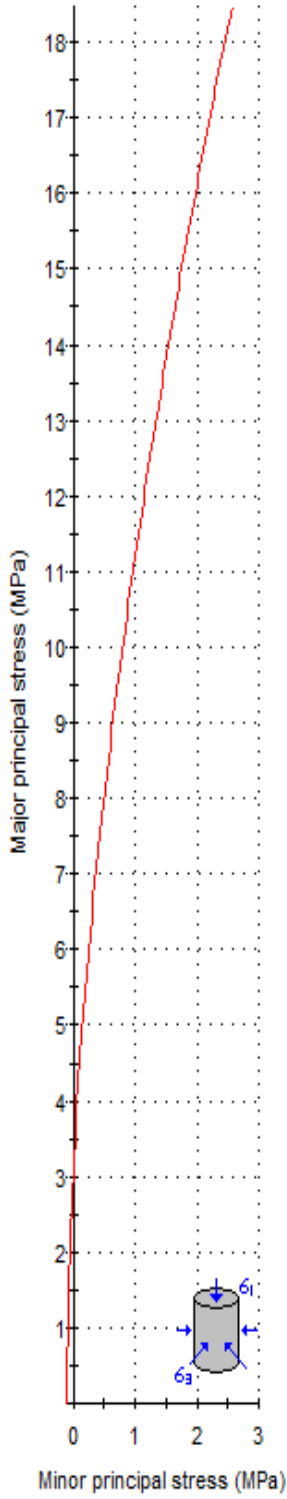
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.080 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.927 MPa
 global strength = 8.423 MPa
 deformation modulus = 1270.61 MPa



Şekil 4.43. Meydan formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütleinin normal ve makaslama gerilmeleri

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 80 MPa
GSI = 52 m_i = 12 Disturbance factor (D) = 0.5
intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

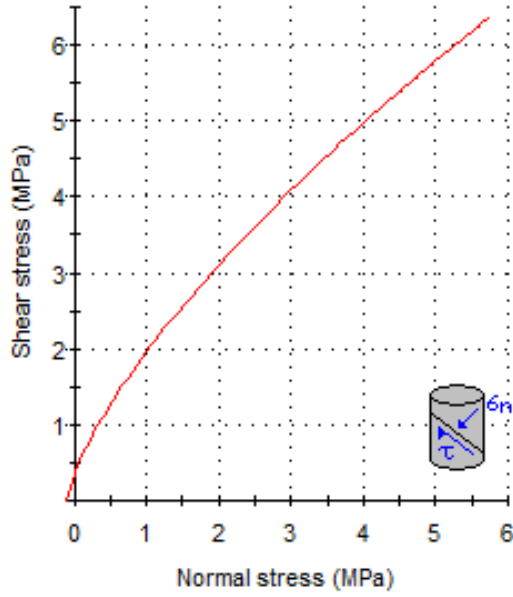
m_b = 1.220 s = 0.0017 a = 0.505

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.977 MPa friction angle = 44.82 deg

Rock Mass Parameters

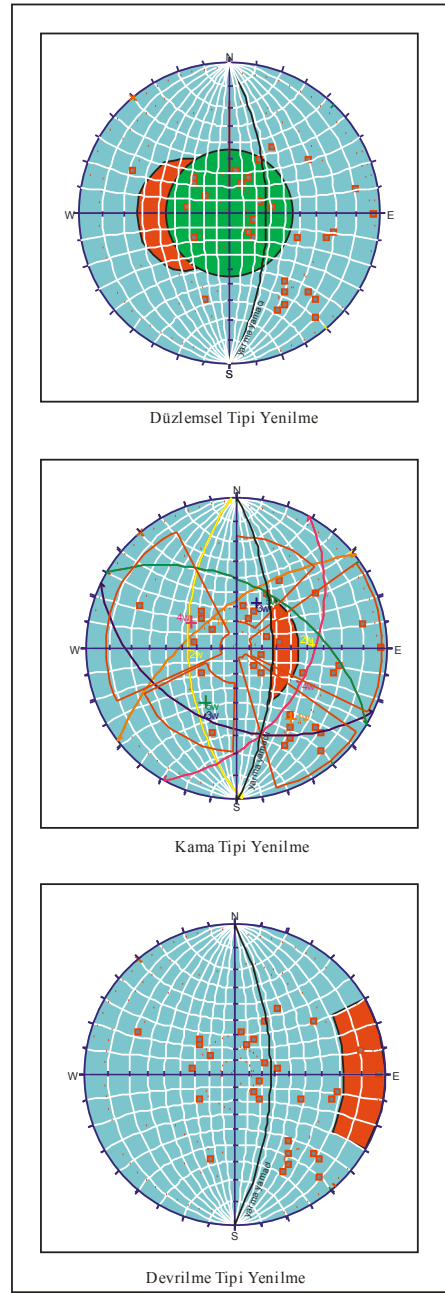
tensile strength = -0.109 MPa
uniaxial compressive strength = 3.158 MPa
global strength = 11.759 MPa
deformation modulus = 2007.40 MPa



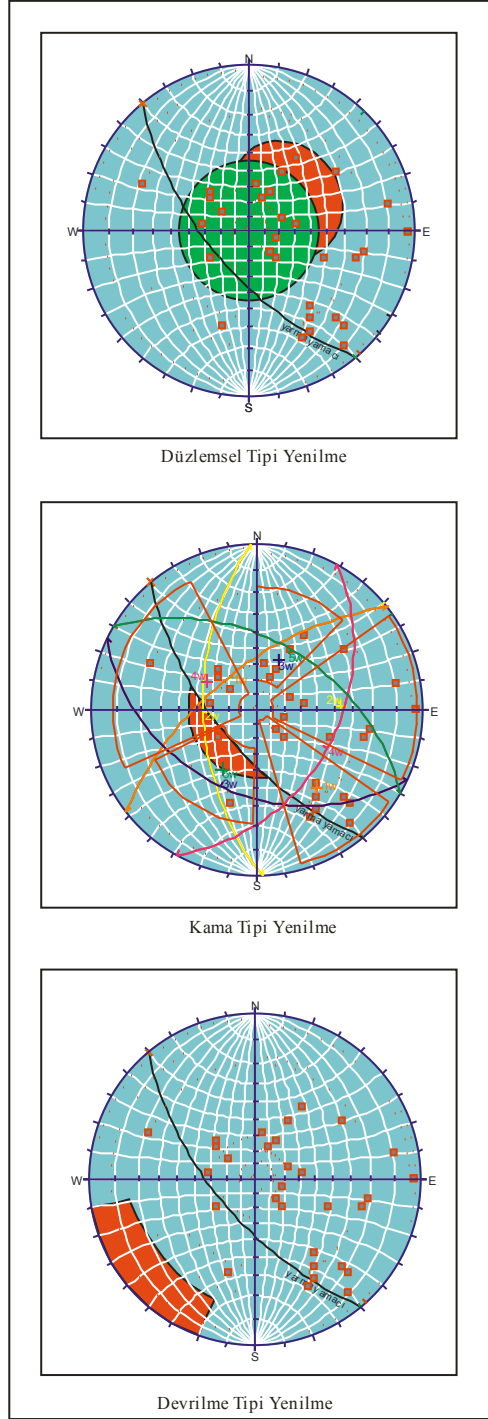
Şekil 4.44. Meydan formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri

4.5.1.2.3. Duraylılık Analizi

Meydan formasyonu dolomitik kireçtaşlarında yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da verilmiştir. Giriş portalında yapılan analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi yenilme beklenmemekte; devrilme yenilme riski olduğu görülmektedir. Çıkış portalında yapılan analiz sonucunda, devrilme ve kama tipi yenilme beklenmezken, düzlemsel yenilme riski taşıdığı görülmektedir.



Şekil 4.45. Giriş portalı yamaç duraylılık analizi



Şekil 4.46. Çıkış portalı yamaç duraylılık analizi

4.5.1.3. Çırrık Formasyonu (Pzmc):

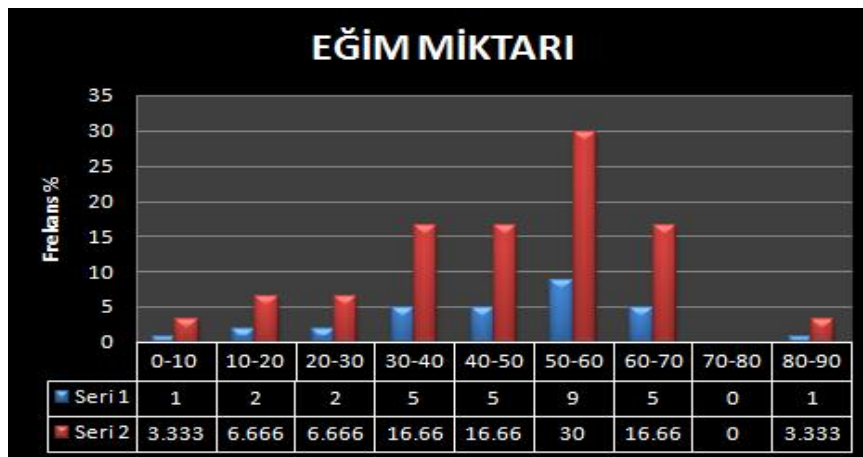
Birim taze yüzeyleri sarı-kirli beyaz bozunmuş yüzeyleri siyahımsı-gri olan kalkıştı, kuvarsit batları içeren kristalize kireçtaşları ve mermerlerden oluşmaktadır. Kireçtaşları orta-kalın tabakalıdır. Birimde yapılan süreksizlik ölçümlerinde süreksizlik aralıkları “yakın-orta aralıklı” (60-200 mm) aralıklı olarak ölçülmüştür. Genellikle yüksek devamlılıklıdır (10-20 m). Süreksizlik açıklığı ise aşırı geniş (1-10 cm), dalgalı-pürüzlü, dolgu malzemesi ise çoğunlukla kildir. Birimde yapılan süreksizlik ölçümlerinde RQD değeri 70 olarak bulunmuş ve tanımlama “orta” olarak yapılmıştır. Birimde ölçülen Schmidt değerleri 55, 60, 50, 50, 48, 65, 52, 45, 50, 52 olarak ölçülmüş ve ortalama olarak 52 olarak alınmıştır. Birim hacim ağırlığı (γ) literatürden ortalama 26 kN/m^3 alınmış tek eksenli sıkışma dayanımı Şekil 4.22’den 120 MPa olarak belirlenmiştir.

4.5.1.3.1. Süreksizlik incelemeleri

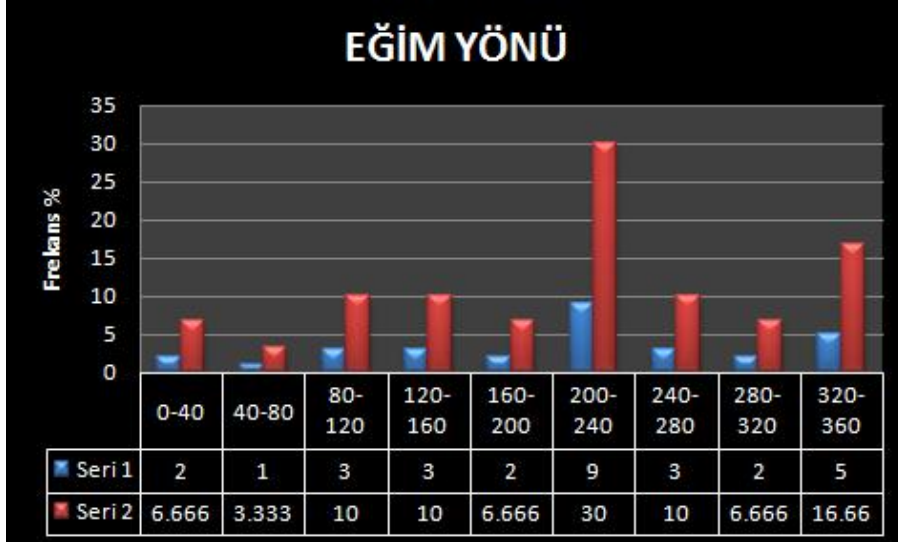
Çırrık formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümlerine ait özellikler Ek-1’de verilmiştir.

a) Süreksizlik Yönelimi

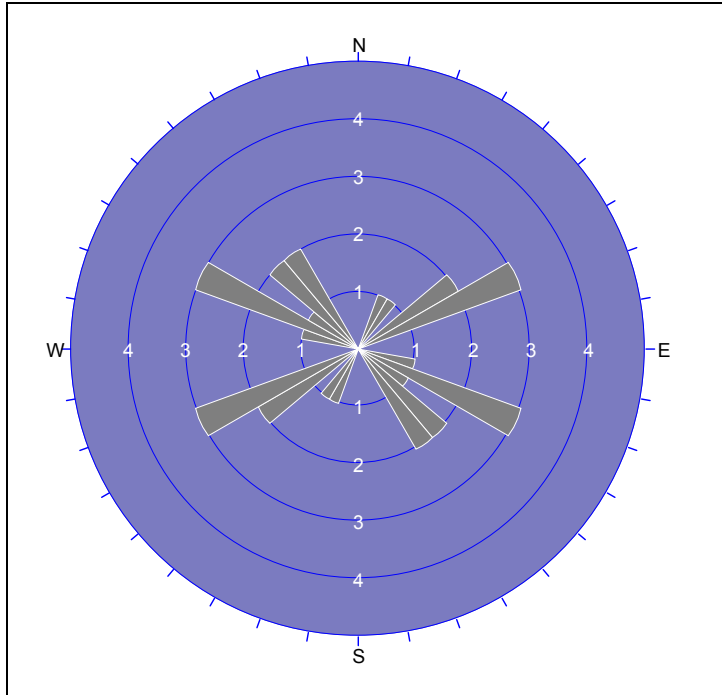
Yapılan süreksizlik ölçümleri sonucu hazırlanan histogram çözümleri Şekil 4.47 ve 4.48’de görüldüğü gibidir. Şekil 4.49’da ise aynı süreksizlikler için hazırlanan gül diyagramları verilmiştir.



Şekil 4.47. Çırrık formasyonunda süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram



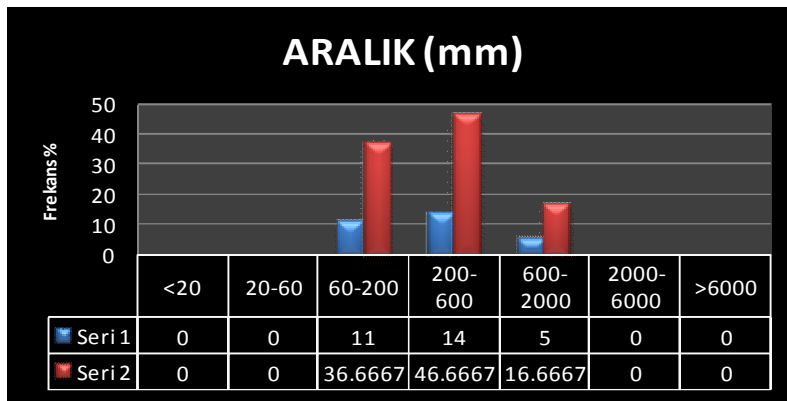
Şekil 4.48. Çırrık formasyonunda süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram



Şekil 4.49. Süreksizliklere ait gül diyagramı.

b) Süreksizlik aralıkları

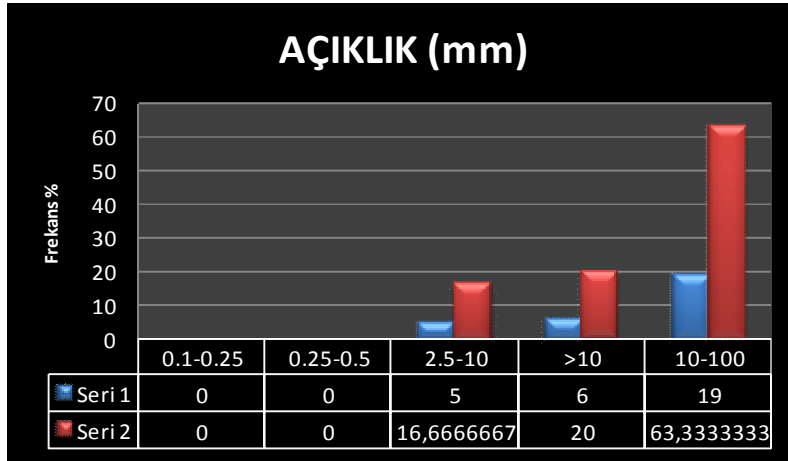
Çırrık formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda süreksizlik aralığı olarak adlandırılan komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeler ölçülmüştür. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.4). Ölçüm sonuçları sonunda elde edilen aralık değerlerinin histogram analizi sonucunda eklem aralıklarının yakın-orta aralıklı sınıfta yığıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin aralığını gösterir histogram

c) Süreksizlik açıklıkları

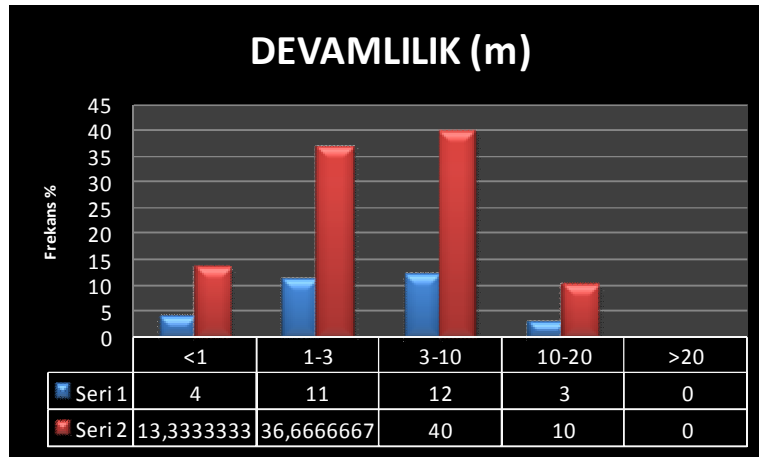
Saha çalışmalarında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler ölçülmüş elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiş (Bkz. Çizelge 4.5) ve Şekil 4.51'deki histogram hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre eklem açıklıkları aşırı geniş sınıfına girmektedir.



Şekil 4.51. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin açıklığını gösterir histogram

d) Devamlılık

Saha çalışmalarında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit etmek amacı ile devamlılıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.6). Ölçüm sonuçlarına göre yapılan histogram analizi sonucunda eklem devamlılıkları düşük-orta devamlılık sınıfına girmektedir (Şekil 4.52).



Şekil 4.52. Çırrık formasyonunda süreksizliklerinin devamlılığını gösterir histogram

e) Süreksizliklerin su durumu

Yapılan gözlemlerde süreksizliklerin yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır. ISRM (1981)'e göre Çırrık formasyonunda ölçülen süreksizlikler “dolgulu süreksizlikler kısmının birinci sınıfında” yer almaktadır (Bkz. Çizelge 4.7).

f) Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, bozunmaların yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.8).

4.5.1.3.2. Kaya kütlesi sınıflaması

Bu kesimde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılmak amacıyla süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu ve süreksizlik yüzeyinin dayanım parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. En iyi, en kötü ve normal koşullardaki RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı sondaj verisi olmadığından sabit olarak alınmıştır. RMR sınıflama sistemine göre Çırrık formasyonunda kaya kütlesi en iyi koşullar için II. en kötü koşullar için III. ve normal koşullar için II. sınıfta yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.23, 4.24 ve 4.25’ de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Çırrık formasyonu için RMR sınıflaması

PARAMERTRE		En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)		120	120	120
Puan		12	12	12
RQD		70	70	70
Puan		13	13	13
Süreksizlik Aralığı (mm)		600-2000	60-200	200-600
Puan		15	8	10
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1 (6 puan)	10-20 (1 puan)	1-3 (4 puan)
	Açıklık (mm)	2.5-10 (0 puan)	>10 (0 puan)	10-100 (0 puan)
	Pürüzlülük	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)
	Dolgu	Kil dolgu (0 puan)	Kil dolgu (0)	Kil dolgu (0)
	Bozunma	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)
	Puan	14	9	12
Yeraltı suyu		Yok	Yok	Yok
Puan		15	15	15
Temel RMR Puanı		69	57	62
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme		0	0	0
Düzeltilmiş RMR Puanı		69	57	62
Kaya Kütle Sınıfı		II iyi kaya	III orta kaya	II iyi kaya

Çizelge 4.24. Çırrık formasyonu için kaya kütle parametreleri

Koşullar	Kütle Parametreleri				
	Kohezyon (c) (kPa) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	E Modülü (GPa) (Bieniawski 1978 Serafim ve Pereira 1983)	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski 1989)
En iyi koşullar	345	39.5 ⁰	38	32.24	1 ay
En kötü koşullar	285	33.5 ⁰	14	44.72	1 hafta
Normal koşullar	310	36 ⁰	24	39.52	300 saat

Çizelge 4.25. Çırrık formasyonu için RMR sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri

Koşullar	Destek Sistemleri			
	Kazı Yöntemi	Kaya Saplamları	Püskürtme Beton	Çelik Destek
En İyi Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamlar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez
En Kötü Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır
Normal Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamlar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez

Çırrık formasyonu için yapılan Q sınıflama sistemine göre en iyi koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” En kötü koşullar “aşırı derecede zayıf kaya” ve normal koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütle sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.26, 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Çırrık formasyonu için Q sınıflaması

PARAMERTRE	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
RQD	70	70	70
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15	4 veya daha fazla eklem takımı düzensiz eklemler 15
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü düzensiz dalgalı	Pürüzlü düzensiz dalgalı	Pürüzlü düzensiz dalgalı
	3	3	3
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	10	10	10
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü(Jw)	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)	Gevşek ve açık eklemler, ileri derecede eklemler (herhangi bir derinlikte)
	5	5	5
Q	0.28	0.28	0.28
Kütle Sınıfı	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf	Aşırı derecede zayıf

Çizelge 4.27. Çırrık formasyonu için kaya kütle özellikleri

Kütle özellikleri	En iyi koşullar	En kötü koşullar	Normal koşullar
Tünel açıklığı (m)	4.0	4.0	4.0
Tünel yüksekliği (m)	4.0	4.0	4.0
Blok boyutu	4.6	4.6	4.6
Bloklar arası makaslama dayanımı	0.3	0.3	0.3
Etkin gerilme	10	10	10
ESR (kazı destek puanı)	1.6	1.6	1.6
Max.desteksiz açıklık	1.92 m	1.92 m	1.92 m
Tavan destek basıncı	1.00kg/cm ²	1.00kg/cm ²	1.00kg/cm ²

Çizelge 4.28. Q sınıflamasına göre önerilen destek sistemleri

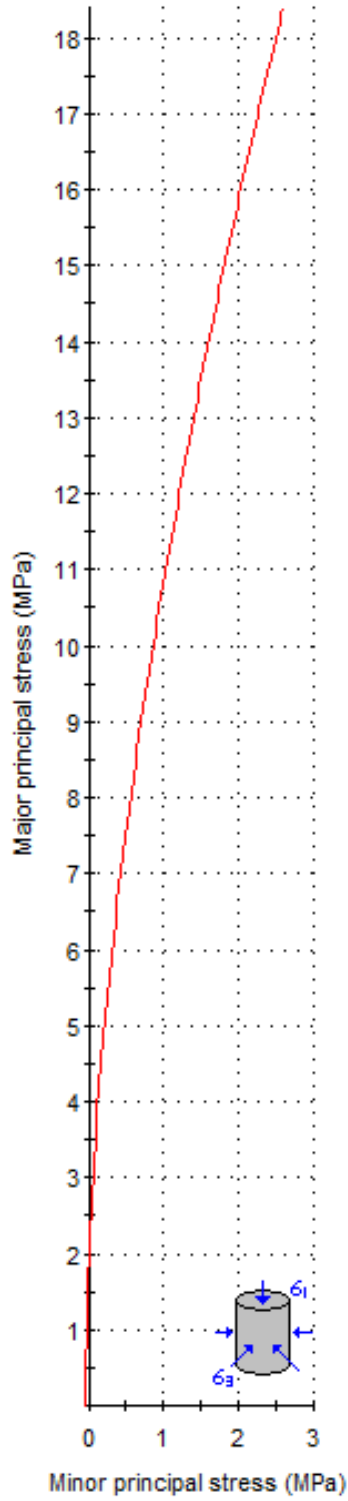
Koşullar	Destek Sistemleri
En İyi Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistemlik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5-12.5
En Kötü Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistemlik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5-12.5
Normal Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistemlik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5-12.5

Çırrık formasyonunda GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü hesaplamalarında Hoek ve Brown (1997) kullanılmıştır. Hesaplama kullanılan *m*i sabiti kristalize kireçtaşları için önerilen ±12 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü olan D'nin belirlenmesinde ise mekanik kazı ile açılacak tüneller için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Tünel derinliği ise 85 m olarak alınmıştır. Ölçütte

kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütlenin normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 4.29 ve Şekil 4.53, 4.54 ve 4.55'te sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Çırrık formasyonu için GSI ve Hook Brown görgül yenilme ölçütü değerleri

Kütle Özellikleri		En İyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
GSI		40	26	30
Tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci} MPa		120	120	120
mi (malzeme sabiti) kristalize kireçtaşı		15	9	12
D (örseleme faktörü)		0.5	0.5	0.5
Uygulama		Tünel	Tünel	Tünel
mb		0.861	0.265	0.428
s		0.0003	0.0001	0.0001
a		0.511	0.529	0.522
σ_3 max(MPa)		2.5955	1.1128	2.5311
Hacim kütle (MN/m ³)		0.026	0.026	0.026
Tünel derinliği		85	85	85
Mohr-Cloumb	c Kohezyon(MPa)	0.889	0.305	0.639
	ϕ İçsel Sürtünme	45.02	40.23	38.48
Kaya kütlesi parametreleri	σ_t (Çekme Gerilmesi)	-0.047	-0.023	-0.025
	Tek eksenli basınç (σ_c)	2.007	0.648	0.916
	Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa	14.171	6.972	9.320
	Elastisite Modülü (Em) MPa	922.72	442.25	528.11



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 120 MPa
 GSI = 40 m_i = 15 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

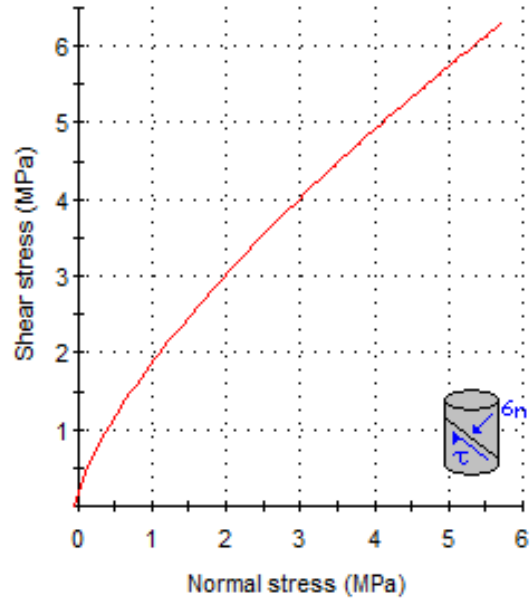
m_b = 0.861 s = 0.0003 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit

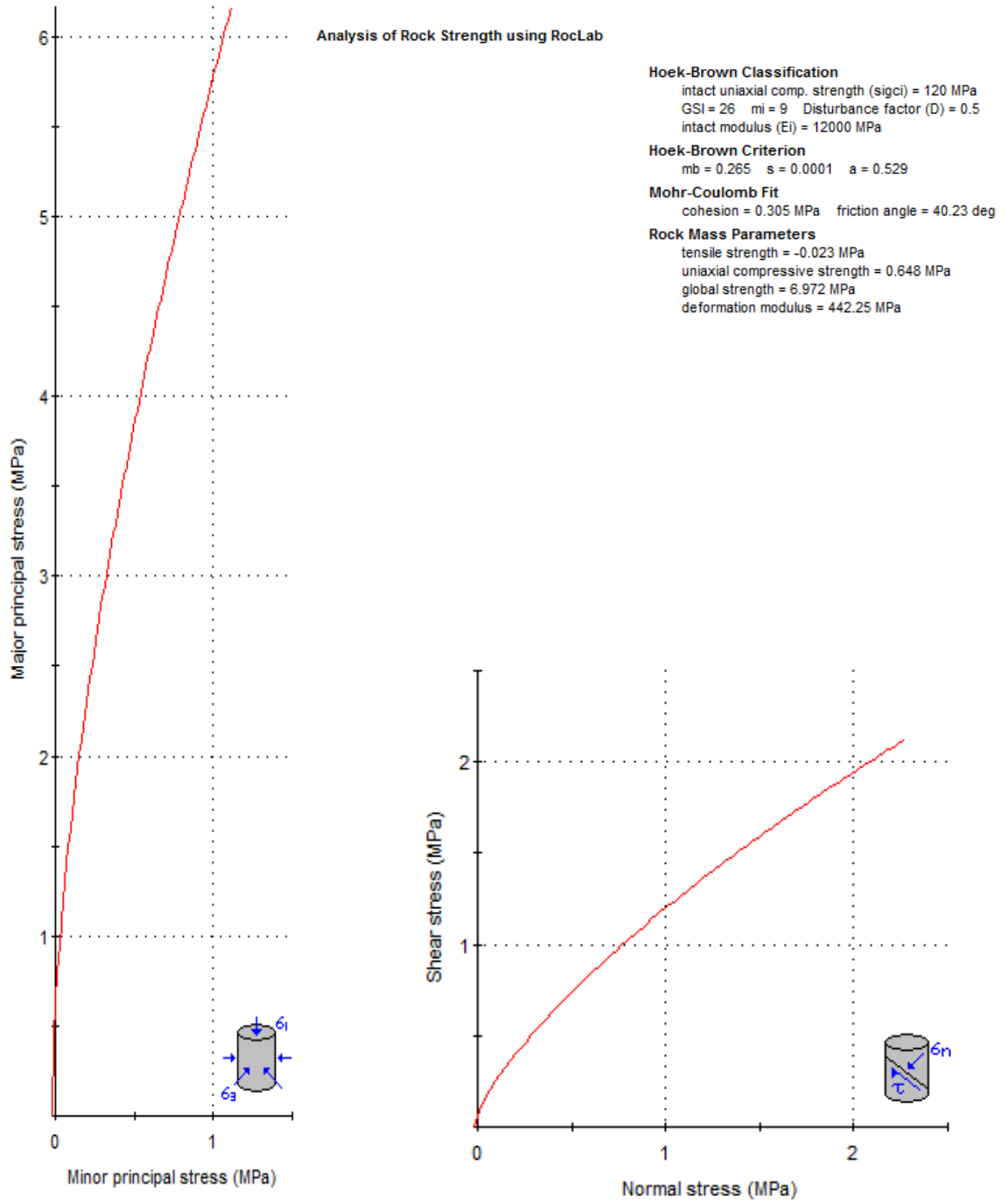
cohesion = 0.889 MPa friction angle = 45.02 deg

Rock Mass Parameters

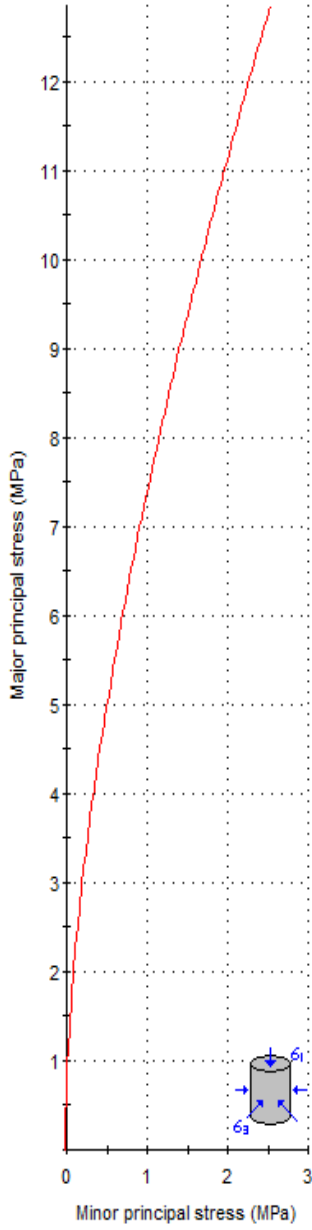
tensile strength = -0.047 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.007 MPa
 global strength = 14.171 MPa
 deformation modulus = 922.72 MPa



Şekil 4.53. Çırrık formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Şekil 4.54. Çırrık formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 120 MPa
 GSI = 30 m_i = 12 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

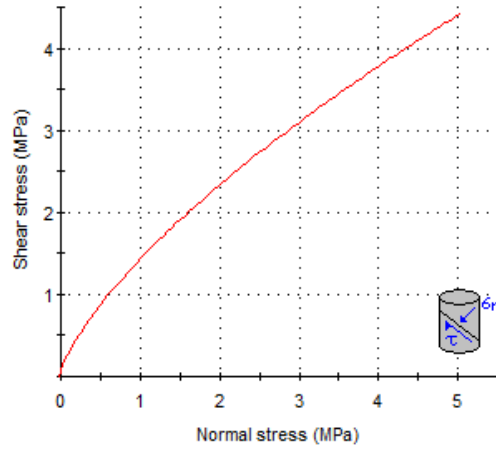
m_b = 0.428 s = 0.0001 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.639 MPa friction angle = 38.48 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.025 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.916 MPa
 global strength = 9.320 MPa
 deformation modulus = 528.11 MPa

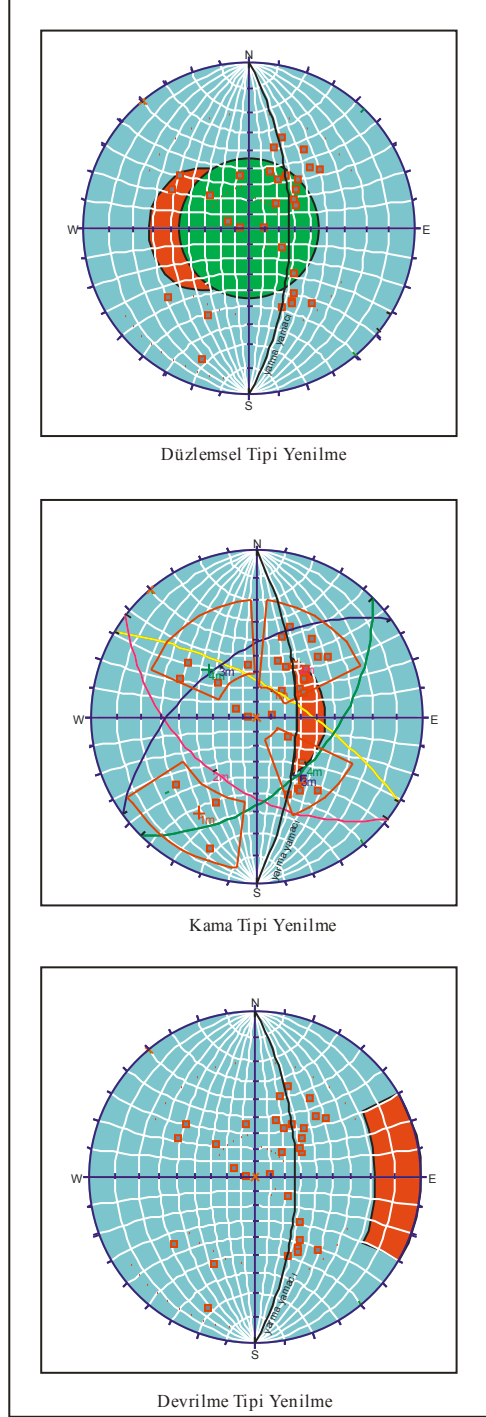


Şekil 4.55. Çırrık formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama

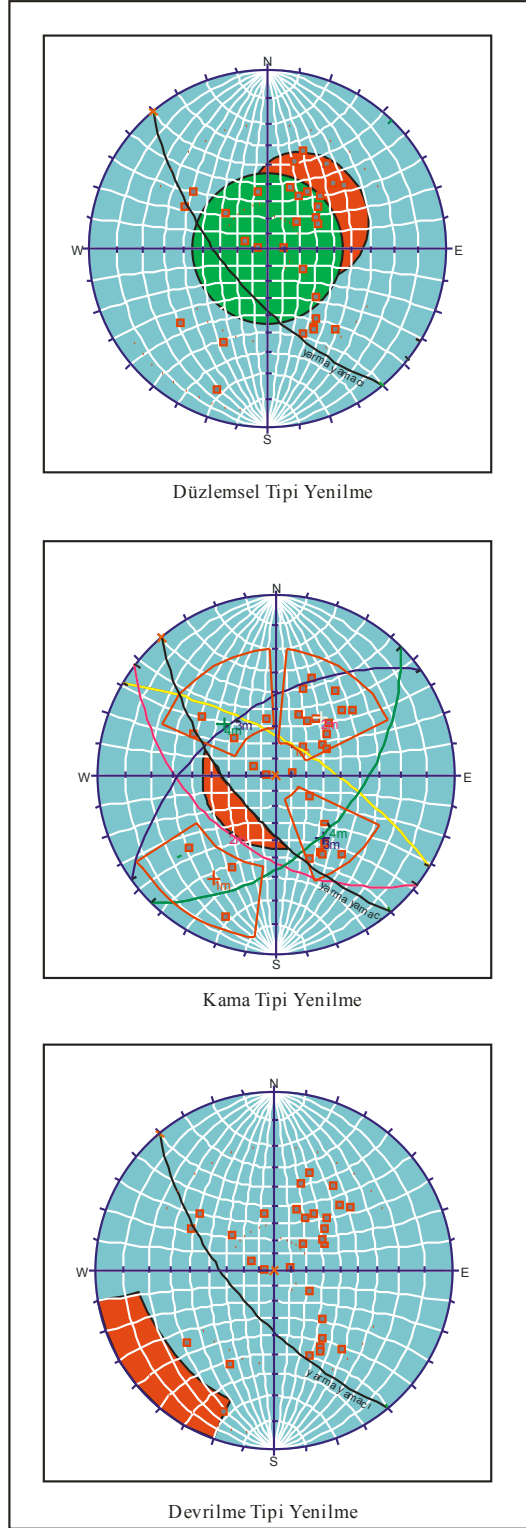
4.5.1.3.3. Duraylılık Analizi

Çırrık formasyonu kristalize kireçtaşlarında yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de verilmiştir. Giriş portalında yapılan analiz sonucunda devrilme ve kama tipi yenilme beklenmemekte; düzlemsel yenilme riski olduğu

görülmektedir. Çıkış portalında yapılan analiz sonucunda, kama tipi yenilme beklenmezken, devrilme yenilme riski düşüktür ve düzlemsel yenilme riski yüksektir.



Şekil 4.56. Giriş portalı çevre duraylılık analizi



Şekil 4.57. Çıkış portalı çevre duraylılık analizi

4.5.1.4 Tütü Formasyonu (Mzt)

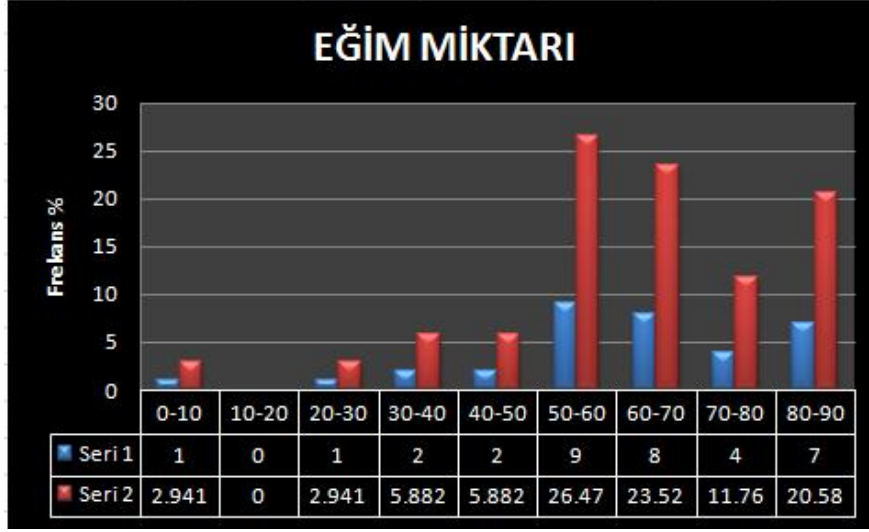
Birim gri-sarı renkli şeyl ve kalkışist ara bantları içeren kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yer yer serpanitleşme ve demir oksitlenmenin gözleendiği birimde volkanik bant geçişlerinin olduğu kısımlarda foliasyon oldukça iyi gelişmiştir. Birimin alt kısmında Çırrık formasyonu üst kısmında ise bindirme ile Guleman ofiyolitleri bulunmaktadır. Birimde üst kısımlarında ise, yer yer granit, mermer, parçalı meta aglomeralar hakimdir. Birimde yapılan süreksizlik ölçümlerinde süreksizlik aralıkları “orta aralıklı” (200-600mm) olarak ölçülmüştür. Süreksizlikler genellikle düşük devamlılıklıdır (1-3 m). Süreksizlik aralıkları açıklığı ise çok geniş (1-10 cm) dalgalı-pürüzlü yer yer kil dolguludur. RQD değeri 55 olarak bulunmuş ve tanımlama “zayıf” olarak yapılmıştır. Birimde ölçülen Schmidt değerleri 40, 55, 47, 60, 42, 57, 61, 58, 60, 47 olarak ölçülmüş ve ortalama olarak 53 alınmıştır. Birim hacim ağırlığı (γ) literatürden ortalama 26 kN/m^3 alınmış tek eksenli basınç dayanımı Şekil 4.22’den 125 MPa olarak belirlenmiştir.

4.5.1.4.1. Süreksizlik incelemeleri

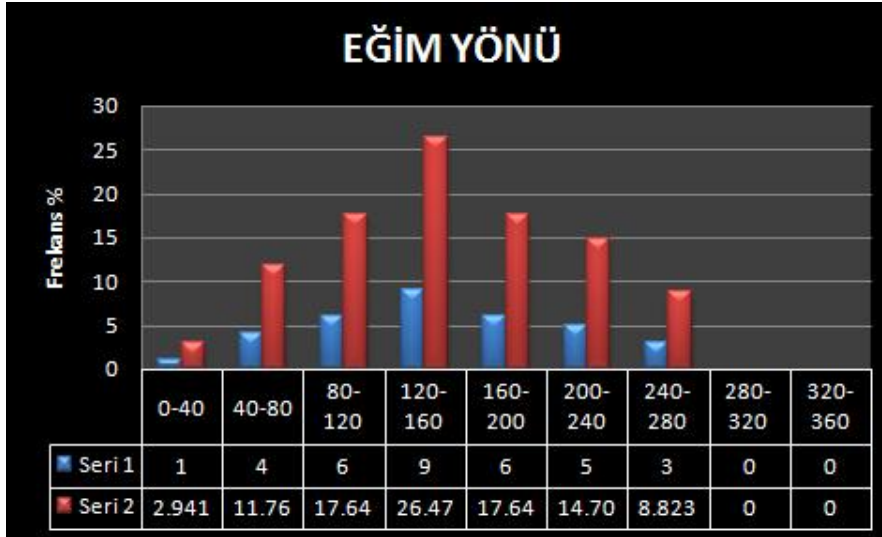
Tütü Formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümlerine ait özellikler Ek-2’de verilmiştir.

a) Süreksizlik Yönelimi

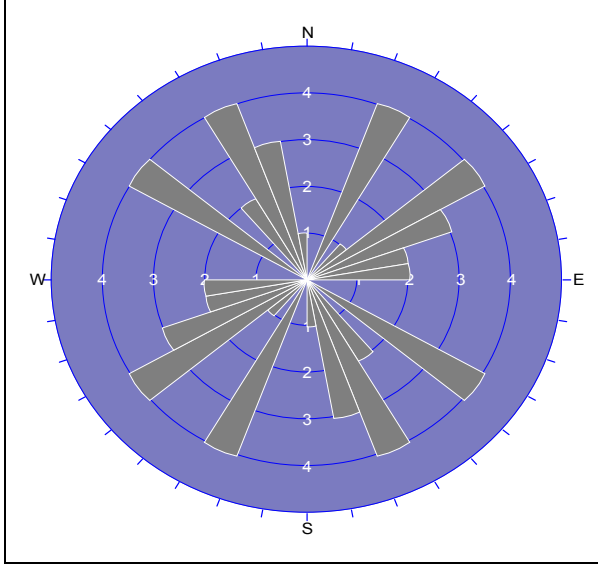
Yapılan süreksizlik ölçümleri sonucu hazırlanan histogram çözümleri Şekil 4.58 ve 4.59’da görüldüğü gibidir. Aynı süreksizlikler için yapılan gül diyagramı Şekil 4.60’ta verilmiştir.



Şekil 4.58. Tütü formasyonunda süreksizliklerin eğitim miktarını gösteren histogram



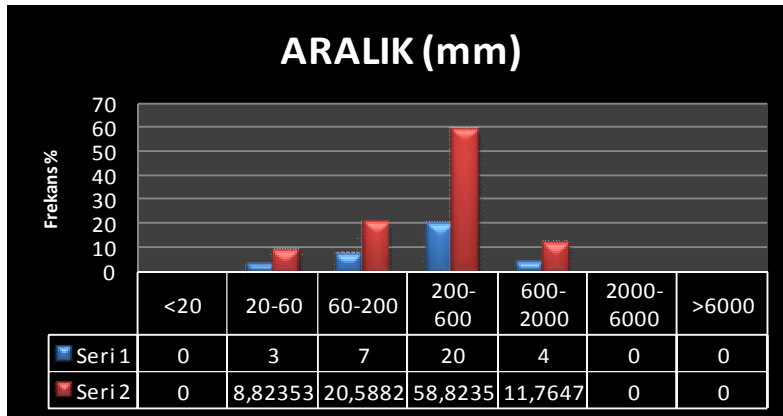
Şekil 4.59. Tütü formasyonunda süreksizliklerin eğitim miktarını gösteren histogram



Şekil 4.60. Süreksizliklere ait gül diyagramı.

b) Süreksizlik aralıkları

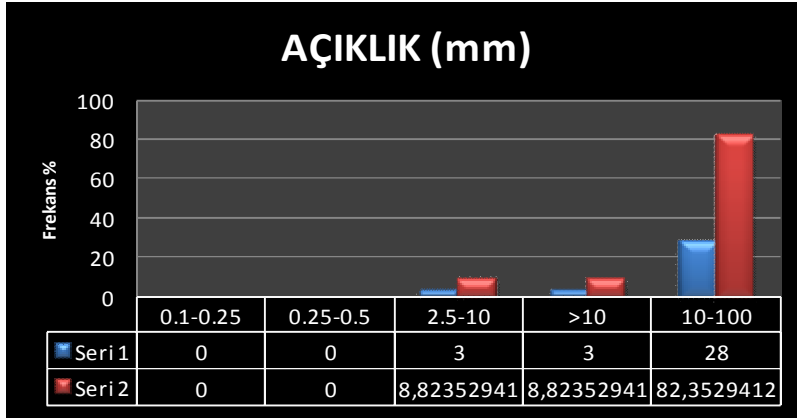
Tütü formasyonunda yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda süreksizlik aralığı olarak adlandırılan komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeler ölçülmüştür. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.5). Ölçüm sonuçları sonunda elde edilen aralık değerlerinin histogram analizi sonucunda eklem aralıklarının orta derecede aralıklı sınıfta yığıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.61).



Şekil 4.61. Tütü formasyonunda süreksizliklerin aralık değerlerini gösteren histogram

c) Süreksizlik açıklıkları

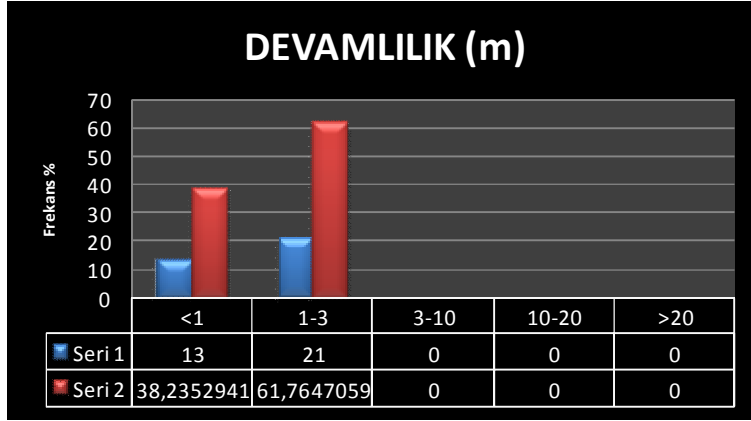
Saha çalışmalarında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler ölçülmüş elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiş (Bkz. Çizelge 4.6) ve şekil 4.62'deki histogram hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre eklem açıklıkları çok geniş açıklık sınıfına girmektedir.



Şekil 4.62. Tütü formasyonunda süreksizliklerin açıklıklarını gösteren histogram

d) Devamlılık

Saha çalışmalarında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit etmek amacı ile devamlılıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.7). Ölçüm sonuçlarına göre yapılan histogram analizi sonucunda eklem devamlılıkları düşük- orta devamlılık sınıfına girmektedir (Şekil 4.63).



Şekil 4.63. Tütü formasyonunda süreksizliklerin devamlılıklarını gösteren histogram

e) Süreksizliklerin su durumu

Yapılan gözlemlerde süreksizliklerin yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir herhangi bir belirtiyeye rastlanmamıştır. ISRM (1981)'e göre Tütü formasyonunda ölçülen süreksizlikler “dolgulu süreksizlikler kısmının birinci sınıfında” yer almaktadır (Bkz. Çizelge 4.8).

f) Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, bozunmaların yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.9).

4.5.1.4.2. Kaya kütlesi sınıflaması

Bu kesimde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılmak amacıyla süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu ve süreksizlik yüzeyinin dayanım parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. En iyi, en kötü ve normal koşullardaki RQD ve Tek eksenli sıkışma dayanımı sondaj verisi olmadığından sabit olarak alınmıştır. RMR sınıflama sistemine göre Tütü formasyonunda kaya kütlesi en iyi koşullar için II. en kötü koşullar için III.

ve normal koşullar için II. sınıfta yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütle sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.30, 4.31 ve 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Tütü formasyonu için RMR sınıflaması

PARAMERTRE		En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)		125	125	125
Puan		12	12	12
RQD		55	55	55
Puan		13	13	13
Süreksizlik Aralığı (mm)		600-2000	20-60	200-600
Puan		15	5	10
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1 (6 puan)	1-3 (4 puan)	1-3 (4 puan)
	Açıklık (mm)	2.5-10 (0 puan)	>10 (0 puan)	10-100 (0 puan)
	Pürüzlülük	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)
	Dolgu	Dolgu yok (6 puan)	Kil dolgu (2 puan)	Dolgu yok (6 puan)
	Bozunma	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)
	Puan	20	14	18
Yeraltı suyu		Yok	Yok	Yok
Puan		15	15	15
Temel RMR Puanı		75	59	68
Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme		0	0	0
Düzeltilmiş RMR Puanı		75	59	68
Kaya Kütle Sınıfı		II iyi kaya	III orta kaya	II iyi kaya

Çizelge 4.31. Tütü formasyonu için kaya kütle parametreleri

Koşullar	Kütle Parametreleri				
	Kohezyon (c) (kPa) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	E Modülü (GPa) (Bieniawski 1978, Serafim ve Pereira 1983)	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski 1989)
En iyi koşullar	375	42.5 ⁰	50	26	5 ay
En kötü koşullar	295	34.5 ⁰	18	42.64	100 saat
Normal koşullar	340	39 ⁰	36	33.28	300 saat

Çizelge 4.32. Tütü formasyonunda RMR sınıflamasına göre kazı ve destek sistemleri

Koşullar	Destek Sistemleri			
	Kazı Yöntemi	Kaya Saplamları	Püskürtme Beton	Çelik Destek
En İyi Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamlar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez
En Kötü Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır
Normal Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamlar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez

Tütü formasyonu için yapılan Q sınıflama sistemine göre en iyi koşullar için “çok zayıf kaya” en kötü koşullar “aşırı derecede zayıf kaya” ve normal koşullar için “çok zayıf kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.33, 4.34 ve 4.35’te verilmiştir.

Çizelge 4.33.Tütü formasyonu için Q sınıflama sistemi

PARAMERTRE	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
RQD	55	55	55
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	İki eklem takımı, düzensiz eklemler 6	İki eklem takımı, düzensiz eklemler 6	İki eklem takımı, düzensiz eklemler 6
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı	Pürüzlü dalgalı
	3	3	3
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	3	3	3
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü(Jw)	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma	Kuru kazılar ya da küçük sızma
	1	1	1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıflık zonları	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu
	7.5	10	7.5
Q	1.2	0.9	1.2
Kütle Sınıfı	Çok zayıf kaya	Aşırı derecede zayıf kaya	Çok zayıf

Çizelge 4.34. Q sınıflamasına göre kaya kütle özellikleri

Kütle özellikleri	En iyi koşullar	En kötü koşullar	Normal koşullar
Tünel açıklığı (m)	4.6	4.6	4.6
Tünel yüksekliği (m)	4.6	4.6	4.6
Blok boyutu	9.1	9.1	9.1
Bloklar arası makaslama dayanımı	1	1	1
Etkin gerilme	0.13	11.1	0.13
ESR (kazı destek puanı)	1.6	1.6	1.6
Max. desteksiz açıklık	3.44 m	3	3.44 m
Tavan destek basıncı	0.62kg/cm ²	0.68kg/cm ²	0.62kg/cm ²

Çizelge 4.35.Q sınıflamasına göre destek sistemleri

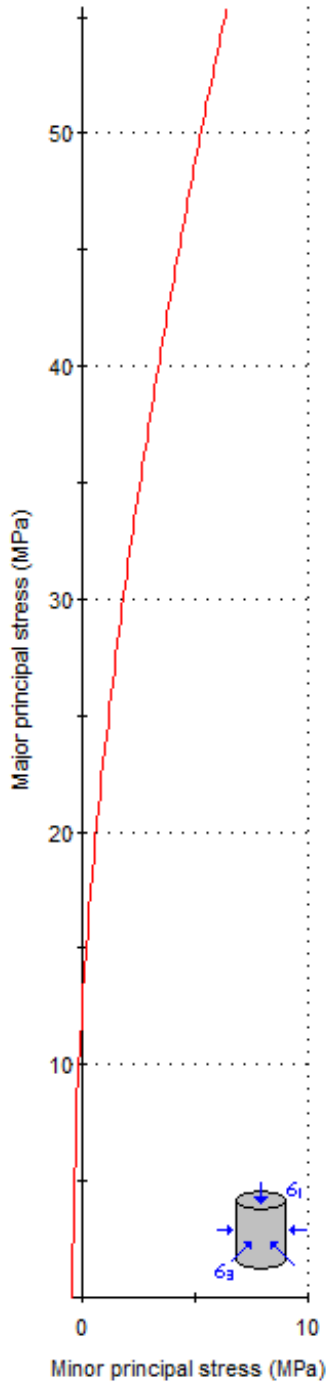
Koşullar	Destek Sistemleri
En İyi Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistematik bulonlama, püskürtme betonu 2.5-5 cm
En Kötü Koşullar	1 metre ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 5 cm
Normal Koşullar	1 m aralıklı gerdirmeli ankrajlanmış sistematik bulonlama püskürtme betonu 2.5-5 cm

Tütu formasyonunda GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü hesaplamalarında Hoek ve Brown (1997) kullanılmıştır. Hesaplama kullanılan *mi* sabiti kristalize kireçtaşları için önerilen ±12 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü olan D'nin belirlenmesinde ise mekanik kazı ile açılacak tüneller

için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Tünel derinliği ise 500 m olarak alınmıştır. Ölçütte kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütlenin normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 4.36 ve Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66'da sunulmuştur.

Çizelge 4.36. Tütü formasyonu için GSI ve Hook-Brown görgül yenilme ölçütü değerleri

Kütle Özellikleri		En İyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
GSI		65	30	60
Tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci} MPa		125	125	125
mi (malzeme sabiti) kireçtaşı		15	9	12
D (örseleme faktörü)		0.5	0.5	0.5
Uygulama		Tünel	Tünel	Tünel
mb		2.833	0.321	1.786
s		0.0094	0.0001	0.0048
a		0.502	0.522	0.503
σ_3 max(MPa)		6.4135	5.9504	6.3206
Hacim kütle (MN/m ³)		0.026	0.026	0.026
Tünel derinliği		500	500	500
Mohr-Cloumb	c Kohezyon(MPa)	2.958	1.046	2.466
	ϕ İçsel Sürtünme	47.90	29.37	44.24
Kaya kütlesi parametreleri	σ_t (Çekme Gerilmesi)	-0.415	-0.034	-0.338
	Tek eksenli basınç (σ_c)	12.010	0.954	8.555
	Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa	29.161	8.363	22.870
	Elastisite Modülü (Em) MPa	4230.83	528.11	3262.70



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 125 MPa
 GSI = 65 m_i = 15 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (Ei) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

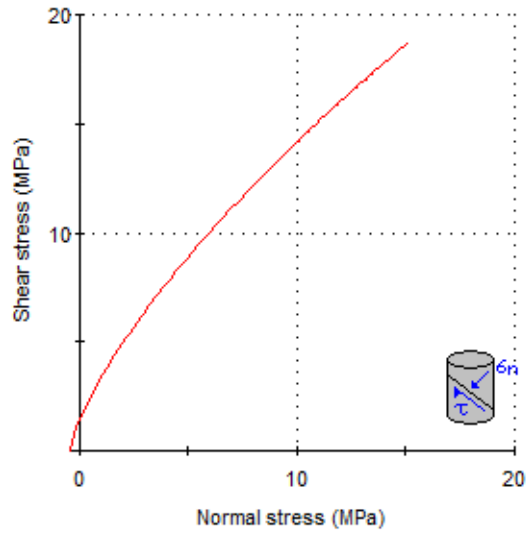
m_b = 2.833 s = 0.0094 a = 0.502

Mohr-Coulomb Fit

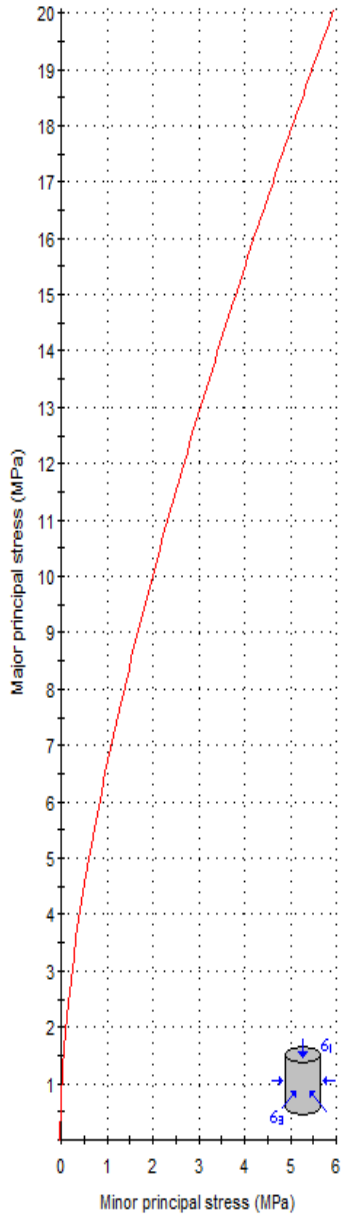
cohesion = 2.958 MPa friction angle = 47.90 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.415 MPa
 uniaxial compressive strength = 12.010 MPa
 global strength = 29.161 MPa
 deformation modulus = 4230.83 MPa



Şekil 4.64. Tütü formasyonu en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 125 MPa
 GSI = 30 m_i = 9 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

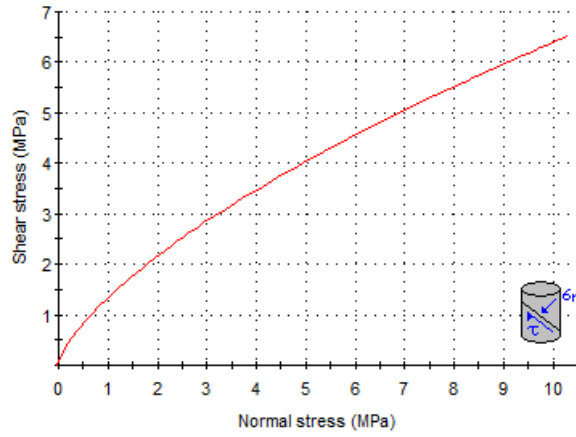
m_b = 0.321 s = 0.0001 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit

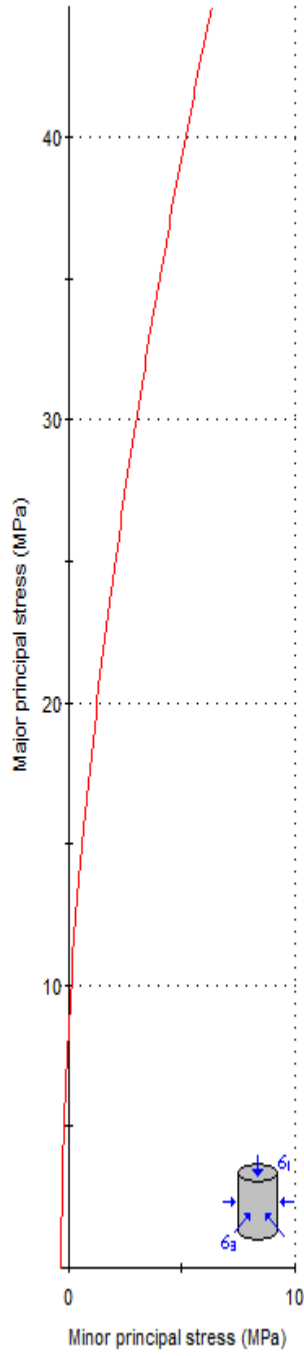
cohesion = 1.046 MPa friction angle = 29.37 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.034 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.954 MPa
 global strength = 8.363 MPa
 deformation modulus = 528.11 MPa



Şekil 4.65. Tütü formasyonu en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 125 MPa
 GSI = 60 m_i = 12 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

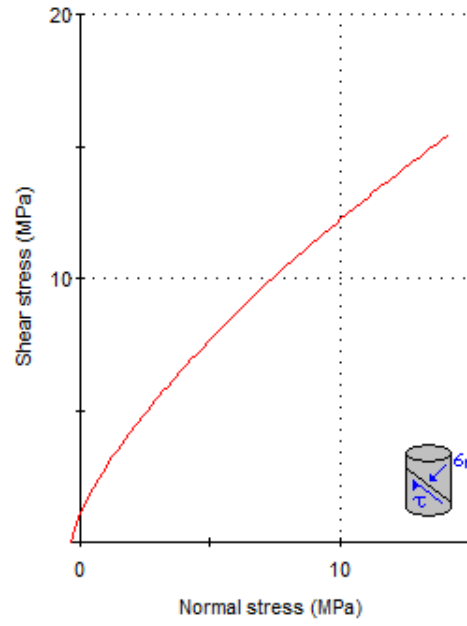
m_b = 1.786 s = 0.0048 a = 0.503

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.466 MPa friction angle = 44.24 deg

Rock Mass Parameters

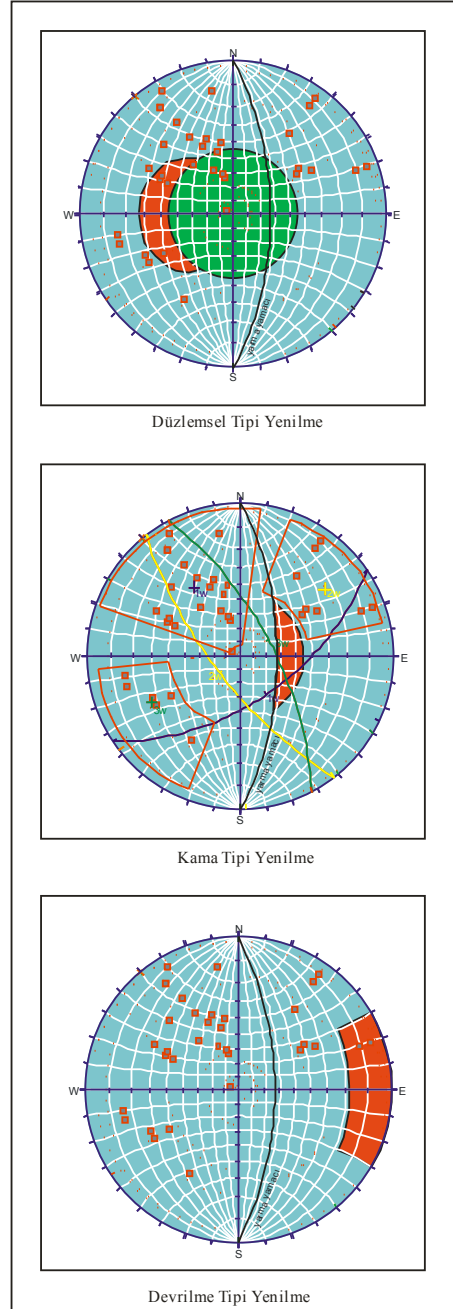
tensile strength = -0.338 MPa
 uniaxial compressive strength = 8.555 MPa
 global strength = 22.870 MPa
 deformation modulus = 3262.70 MPa



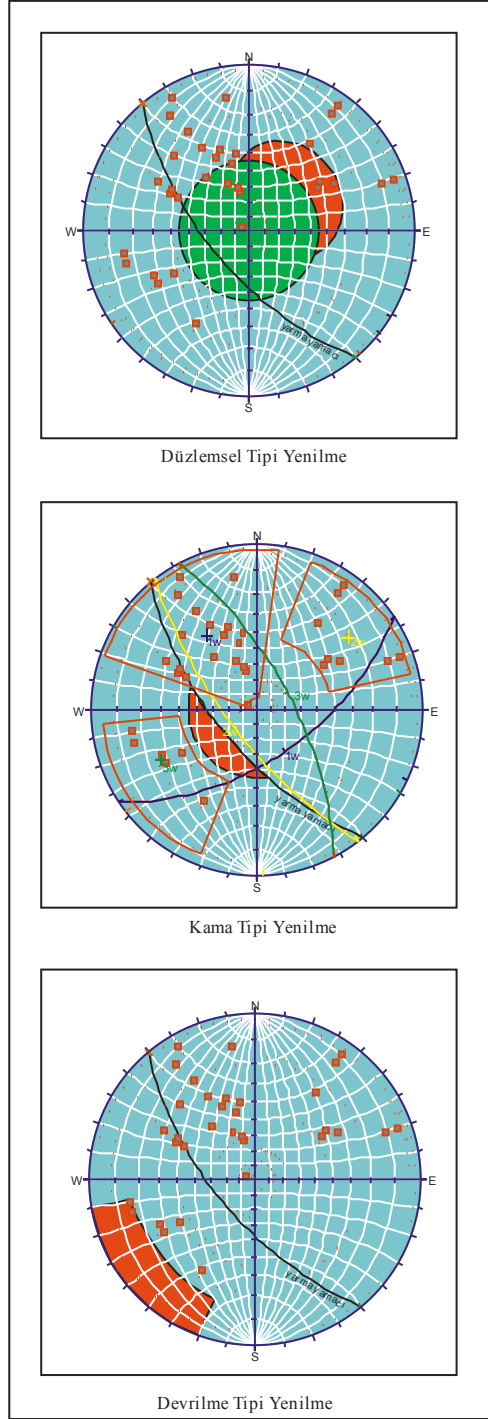
Şekil 4.66. Tütü formasyonu normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütleinin normal ve makaslama gerilmeleri

4.5.1.4.3. Duraylılık Analizi

Tütü formasyonu kristalize kireçtaşlarında yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de verilmiştir. Giriş portalı her üç yenilme tipi için risk taşımaktadır. Çıkış portalında yapılan analiz sonucunda, kama tipi yenilme beklenmezken, devrilme yenilme riski düşüktür ve düzlemsel yenilme riski yüksektir.



Şekil 4.67. Giriş portalı süreksizlik duraylılık analizi



Şekil 4.68. Çıkış portalı süreksizlik duraylılık analizi

4.5.1.5. Guleman Ofiyoliti (Mzg):

Birimin en yaygın kayaç türünü serpantinitle oluşturmaktadır. İnceleme alanında Tütü formasyonu ve Maden karmaşığı arasında bindirmeli olarak yer almaktadır. Birimdeki serpantinitle yeşilin değişik tonlarında gözlenmektedir. Ayrıışmış serpantinitle zayıf ve düşük dayanımlıdır. Birim inceleme alanında üst kotlarda bulunduğu için süreksizlik incelemesi yapılamamıştır. Bitlis-Diyarbakır Karayolunda sağ sahilde gözlenen ayrıışmış serpantinitlelerin özellikle yamaçtaki su girişinin etkisiyle stabilitesini kaybederek heyelana neden olduğu saha çalışmaları sırasında gözlenmiştir (Şekil 4.69 ve 4.70).



Şekil 4.69. Bitlis-Diyarbakır karayolunda Guleman ofiyolitlerinde serpantinitlelerin neden olduğu heyelan ve yıkılan istinat duvarı



Şekil 4.70. Guleman ofiyolitlerinde gözlenen serpantinitler

4.5.1.6. Maden Karmaşığı (Tm):

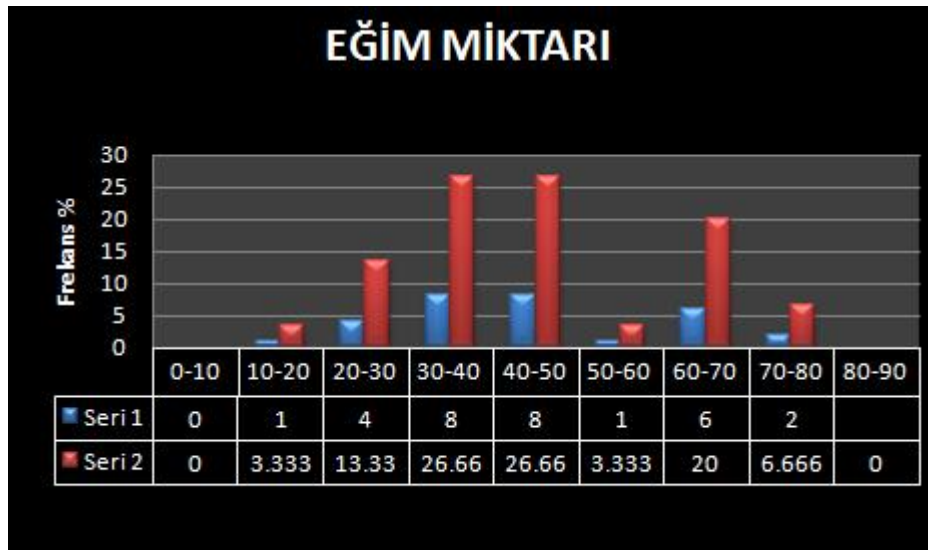
Çalışma alanının güney kısmında geniş yer kaplayan maden karmaşığı; bazaltik yastık lavlar, kırmızı-gri renkli çamurtaşları, kumtaşları, şeyler ve kireçtaşı bloklarından oluşan bir karmaşık halinde gözlenmektedir. Yeşilsirt köyü ve civarında bazaltik yastık lavlar geniş bir yayılım sunarken, Cumhuriyet köyü civarında ise kireçtaşları ve yer yer kumtaşları gözlenmektedir. Yastık lavlar kahverengi-gri renkte değişik boyutlarda olup dış kabuğu kırılğan özellik göstermektedir. Kireçtaşları ise gri-sarı renkli masif- kalın tabakalı ve yer yer erime boşluklu olarak gözlenmektedir. Cumhuriyet köyü yakınlarda kireçtaşlarında yapılan süreksizlik incelemelerinde süreksizlik aralıkları (200-600mm) yakın-orta derece aralıklı olarak ölçülmüştür. Süreksizlikler genellikle düşük devamlılığa sahiptir (1-3m). Süreksizlik açıklığı ise çok geniş (1-10 cm) dalgalı-pürüzlü ve yer yer erime boşlukludur. RQD değeri 50 olarak bulunmuş ve tanımlama “zayıf” olarak yapılmıştır. Birimde ölçülen Schmidt değerleri 43, 67, 48, 50, 45, 57, 50, 40, 55, 45 olarak ölçülmüş ve ortalama olarak 50 alınmıştır. Birim hacim ağırlığı (γ) literatürden ortalama 26 kN/m^3 alınmış tek eksenli sıkışma dayanımı Şekil 4.22’den 95 MPa olarak belirlenmiştir.

4.3.2.6.1. Süreksizlik incelemeleri

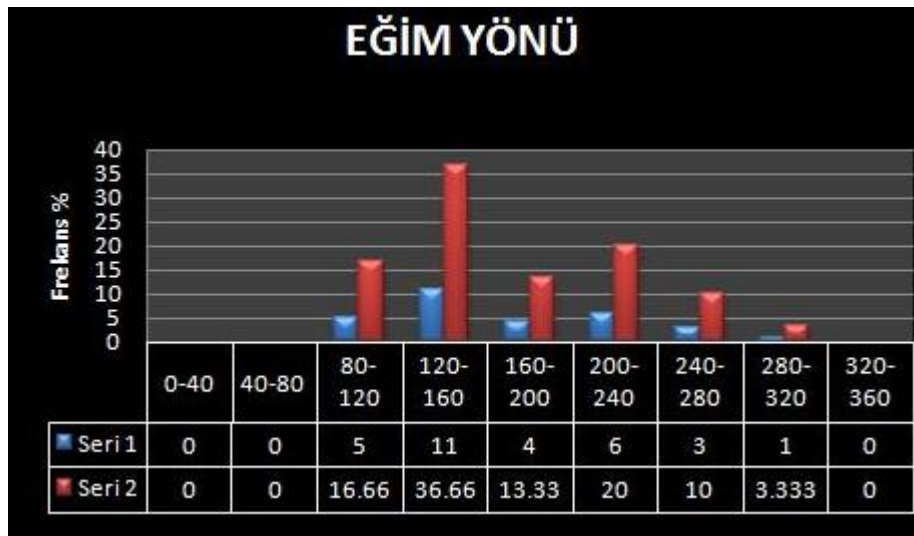
Maden karmaşığında yapılan süreksizlik ölçümlerine ait özellikler Ek-2’de verilmiştir.

a) Süreksizlik Yönelimi

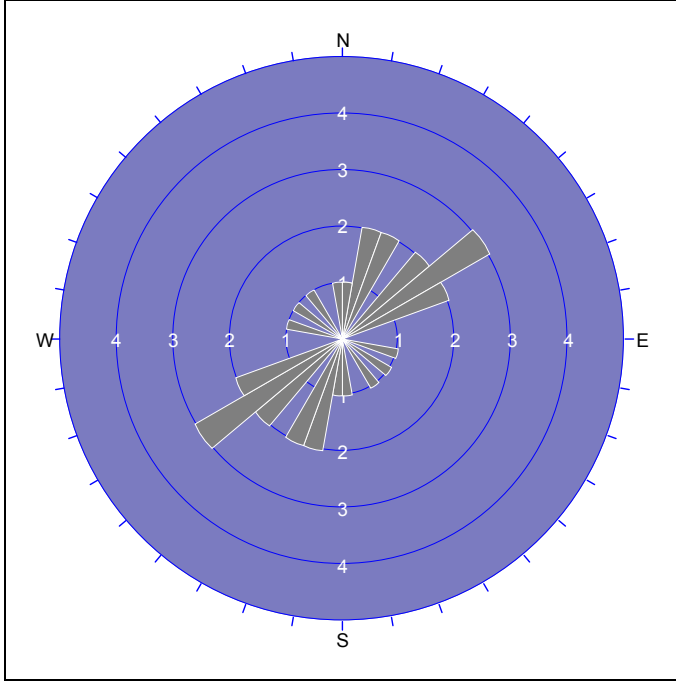
Yapılan süreksizlik ölçümleri sonucu hazırlanan histogram çözümleri Şekil 4.71 ve 4.72’de, gül diyagramları ise Şekil 4.73’te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.71. Maden karmaşığında süreksizliklerin eğim miktarını gösteren histogram



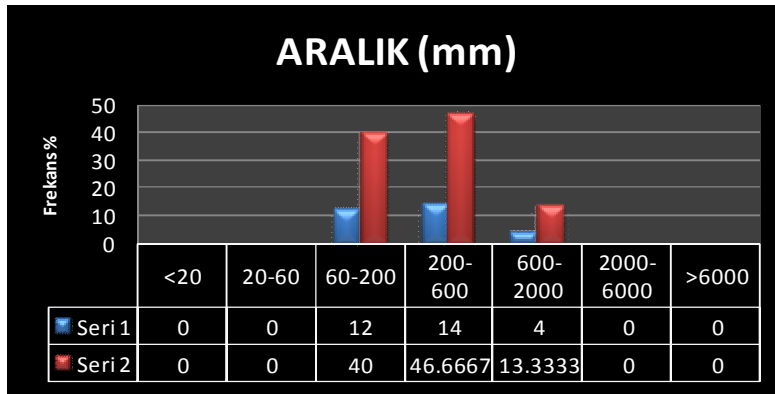
Şekil 4.72. Maden karmaşığında süreksizliklerin eğim yönünü gösteren histogram



Şekil 4.73. Süreksizliklere ait gül diyagramı

b) Süreksizlik aralıkları

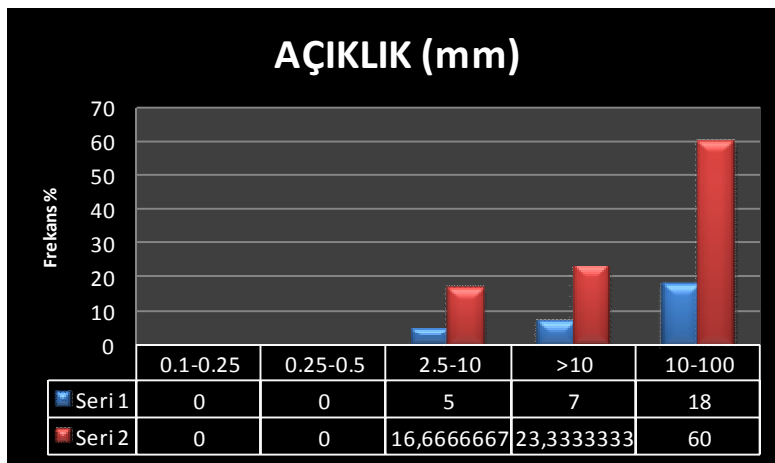
Maden karmaşığında yapılan süreksizlik ölçümleri sonucunda süreksizlik aralığı olarak adlandırılan komşu iki süreksizlik arasındaki dik mesafeler ölçülmüştür. Bulunan aralık değerleri ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 4.4). Ölçüm sonuçları sonunda elde edilen aralık değerlerinin histogram analizi sonucunda eklem aralıklarının yakın- orta derecede aralıklı sınıfta yığıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.74).



Şekil 4.74. Maden karmaşığında süreksizlik aralıklarını gösteren histogram

c) Süreksizlik açıklıkları

Saha çalışmalarında süreksizliklerin iki duvarı arasındaki mesafeler ölçülmüş elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiş (Bkz. Çizelge 4.5) ve şekil 4.75'teki histogram hazırlanmıştır. Bu sınıflamaya göre eklem açıklıkları çok geniş açıklık sınıfına girmektedir.

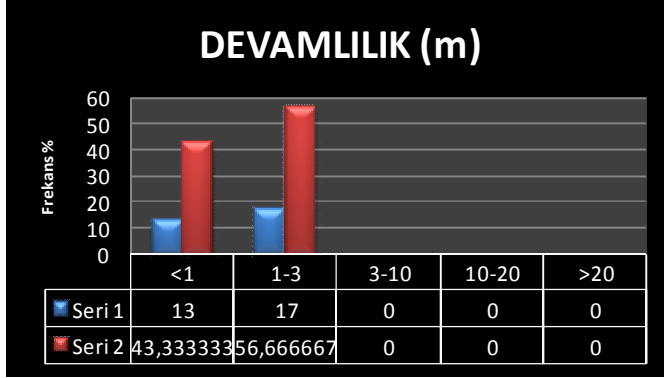


Şekil 4.75. Maden karmaşığında süreksizlik aralıklarını gösteren histogram

d) Devamlılık

Saha çalışmalarında süreksizliklerin alansal yayılımını tespit etmek amacı ile devamlılıkları ölçülmüştür. Elde edilen değerler ISRM (1981)'e göre değerlendirilmiştir

(Bkz. Çizelge 4.6). Ölçüm sonuçlarına göre yapılan histogram analizi sonucunda eklem devamlılıkları düşük devamlılık sınıfına girmektedir (Şekil 4.76).



Şekil 4.76. Maden karmaşığında süreksizlik devamlılıklarını gösteren histogram

e) Süreksizliklerin su durumu

Yapılan gözlemlerde süreksizliklerin yüzeyleri boyunca su akışına veya su akışını gösterir herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır. ISRM (1981)'e göre Maden karmaşığında ölçülen süreksizlikler “dolgulu süreksizlikler kısmının birinci sınıfında” yer almaktadır (Bkz. Çizelge 4.7).

f) Süreksizlik duvarının durumu

Saha incelemeleri sırasında süreksizlik duvarının durumları gözlemlenmiş ancak, bozunmaların yaygın olması ve atmosferik suların süreksizlikler boyunca yüzeyleri çözmesi nedeniyle gerçeği yansıtan veriler elde edilememiştir. Genel değerlendirmeye göre yüzey durumunun ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamada R3 grubu içerisinde yer aldığı görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.8).

4.5.1.6.1. Kaya kütlesi sınıflaması

Bu kesimde kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kullanılmak amacıyla süreksizliklerin aralık, açıklık, devamlılık, yönelim, dalgalılık-pürüzlülük, dolgu durumu ve süreksizlik yüzeyinin dayanım parametreleri belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. En iyi, en kötü ve normal koşullardaki RQD ve tek eksenli sıkışma dayanımı sondaj verisi olmadığından sabit olarak alınmıştır. RMR sınıflama sistemine

göre Maden Karmaşığında kaya kütlesi en iyi koşullar için II. en kötü koşullar için III. ve normal koşullar için III. sınıfta yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.37, 4.38 ve 4.39'da verilmiştir.

Çizelge 4.37. Maden karmaşığı için yapılan RMR sınıflaması

PARAMERTRE		En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)		95	95	95
Puan		7	7	7
RQD		50	50	50
Puan		8	8	8
Süreksizlik Aralığı (mm)		600-2000	60-200	200-600
Puan		15	5	10
Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1 (6 puan)	1-3 (4 puan)	1-3 (4 puan)
	Açıklık (mm)	2.5-10 (0 puan)	>10 (0 puan)	10-100 (0 puan)
	Pürüzlülük	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)	Pürüzlü (5 puan)
	Dolgu	Dolgu yok (6 puan)	Kil dolgu (2 puan)	Dolgu yok (6 puan)
	Bozunma	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)	Orta derecede (3 puan)
	Puan	20	14	18
Yeraltı suyu		Yok	Yok	Yok
Puan		15	15	15
Temel RMR Puanı		67	41	55
Süreksizlik Yönelimine Göre		0	0	0
Düzeltilmiş RMR Puanı		65	49	58
Kaya Kütlesi Sınıfı		II iyi kaya	III orta kaya	III orta kaya

Çizelge 4.38. Maden karmaşığı kaya kütle parametreleri

Koşullar	Kütle Parametreleri				
	Kohezyon (c) (kPa) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (Bieniawski 1978, Trueman 1988)	E Modülü (GPa) (Bieniawski 1978, Serafim ve Pereira 1983)	Destek Basıncı (kN/m ²) (Ünal 1992)	Desteksiz durma süresi (Bieniawski 1989)
En iyi koşullar	325	37.5 ⁰	30	25	600 saat
En kötü koşullar	245	29.5 ⁰	9.44	53.06	10 saat
Normal koşullar	290	34 ⁰	16	43.68	100 saat

Çizelge 4.39. RMR sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri

Koşullar	Destek Sistemleri			
	Kazı Yöntemi	Kaya	Püskürtme	Çelik Destek
En İyi Koşullar	Tam kesit, 1-1.5 m ilerleme, tam kazı destek. Aynaya 20 m mesafede	Kemerin her 2-3 metresinde yer yer saplamalar	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Gerekmez
En Kötü Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı destek aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır
Normal Koşullar	Tavan kemeri ve tabanda ilerleme. Tavanda 1.5-3 m ilerleme. Tam kazı	3-4 m uzunluğunda sistematik saplama	Tavan kemerinde 50-100 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Çelik hasır

Maden karmaşığı için yapılan Q sınıflama sistemine göre en iyi koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” En kötü koşullar “olağanüstü zayıf kaya” ve normal koşullar için “aşırı derecede zayıf kaya” sınıfında yer almaktadır. Kullanılan parametreler ve elde edilen kaya kütlesi sınıfı kütle özellikleri kazı destek seçimi gibi sonuçlar Çizelge 4.40, 4.41 ve 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.40. Maden karmaşığı için yapılan Q sınıflaması

PARAMERTRE	En iyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
RQD	50	50	50
Süreksizlik Sistemi Sayısı (Jn)	Dört veya daha fazla eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	Dört veya daha fazla eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	Dört veya daha fazla eklem takımı ve gelişigüzel eklemler
Süreksizlik Pürüzlülük Sayısı (Jr)	Pürüzlü dalgalı 3	Pürüzlü dalgalı 3	Pürüzlü dalgalı 3
Süreksizlik Alterasyon Sayısı (Ja)	Az bozunmuş 3	Az bozunmuş 3	Az bozunmuş 3
Süreksizlik Su Azaltma Faktörü(Jw)	Kuru kazılar ya da küçük sızma 1	Kuru kazılar ya da küçük sızma 1	Kuru kazılar ya da küçük sızma 1
Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu 7.5	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıflık zonları 10	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu 7.5
Q	0.44	0.33	0.44
Kütle Sınıfı	Olağanüstü zayıf kaya	Olağanüstü zayıf kaya	Olağanüstü zayıf kaya

Çizelge 4.41. Maden karmaşığı kaya kütle özellikleri

Kütle özellikleri	En iyi koşullar	En kötü koşullar	Normal koşullar
Tünel açıklığı (m)	4.0	4.0	4.0
Tünel yüksekliği (m)	4.0	4.0	4.0
Blok boyutu	3.33	3.33	3.33
Bloklar arası makaslama dayanımı	0.2	0.2	0.2
Etkin gerilme	0.133	0.1	0.133
ESR (kazı destek puanı)	1	1	1
Max. desteksiz açıklık	1.44	1.28	1.44
Tavan destek basıncı	0.874kg/cm ²	0.964kg/cm ²	0.874kg/cm ²

Çizelge 4.42. Q sınıflamasına göre kazı ve destek önerileri

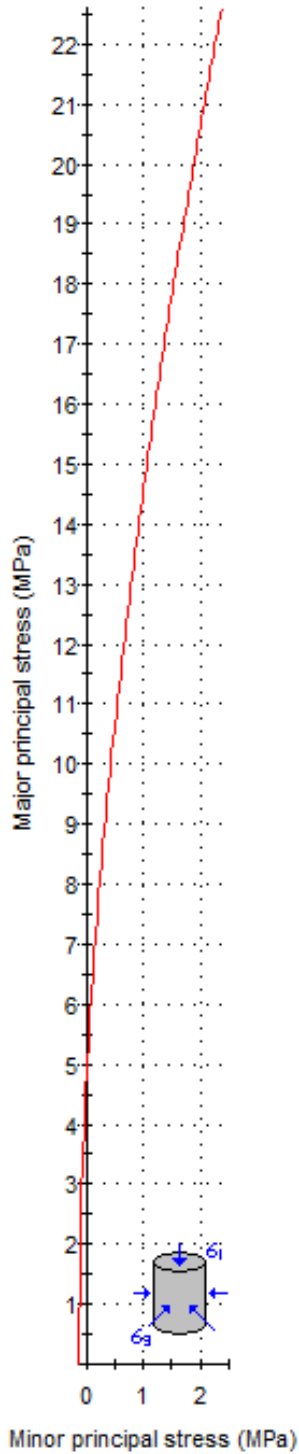
Koşullar	Destek Sistemleri
En İyi Koşullar	Çelik hasır destekli püskürtme betonu 7.5-25 cm
En Kötü Koşullar	0.5-1 metre ankrajlanmış sistematik bulonlama çelik hasır takviyeli püskürtme betonu 10-20 cm
Normal Koşullar	Çelik hasır destekli püskürtme betonu 15-25 cm

Maden Karmaşığında GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) ve Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü hesaplamalarında Hoek ve Brown (1997) kullanılmıştır. Hesaplama kullanılan *mi* sabiti kristalize kireçtaşları için önerilen ± 12 değeri kullanılmıştır. Örselenme faktörü olan *D*'nin belirlenmesinde ise mekanik kazı ile açılacak tüneller

için önerilen 0.5 değeri kullanılmıştır. Tünel derinliği ise 180 m olarak alınmıştır. Ölçütte kullanılan parametreler, elde edilen bulgulardan kütle parametreleri ve kütle normal ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki Çizelge 4.43 ve Şekil 4.77, 4.78, 4.79'da sunulmuştur.

Çizelge 4.43. Maden karmaşığı için GSI ve Hook Brown görgül yenilme ölçütü değerleri

Kütle Özellikleri		En İyi Koşullar	En Kötü Koşullar	Normal Koşullar
GSI		55	35	45
Tek eksenli basınç dayanımı σ_{ci} MPa		95	95	95
mi (malzeme sabiti) kireçtaşı		15	9	12
D (örselenme faktörü)		0.5	0.5	0.5
Uygulama		Tünel	Tünel	Tünel
mb		1.760	0.407	0.874
s		0.0025	0.0002	0.0007
a		0.504	0.516	0.508
σ_3 max(MPa)		2.3755	2.2621	2.3219
Hacim kütle (MN/m ³)		0.026	0.026	0.026
Tünel derinliği		180	180	180
Mohr-Cloumb	c Kohezyon (MPa)	1.133	0.581	0.820
	ϕ İçsel Sürtünme	49.82	37.39	44.20
Kaya kütleli parametreleri	σ_t (Çekme Gerilmesi)	-0.134	-0.040	-0.071
	Tek eksenli basınç (σ_c)	4.616	1.086	2.289
	Kütlenin Tek eksenli Basınç Dayanımı (σ_{cm}) MPa	16.871	7.467	11.535
	Elastisite Modülü (Em) MPa	2426.90	685.7	1270.61



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 95 MPa
 GSI = 55 m_i = 15 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

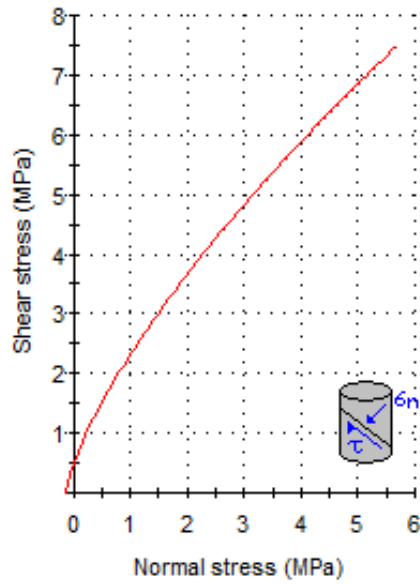
m_b = 1.760 s = 0.0025 a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit

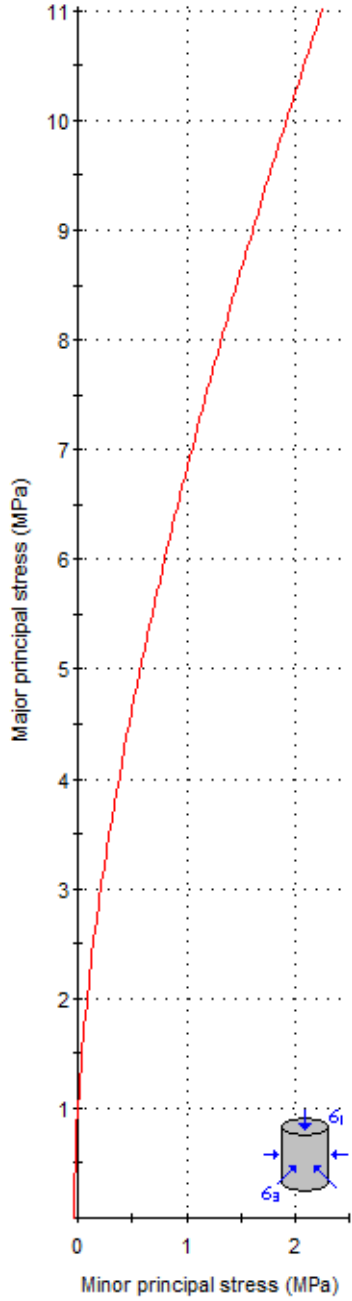
cohesion = 1.133 MPa friction angle = 49.82 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.134 MPa
 uniaxial compressive strength = 4.616 MPa
 global strength = 16.871 MPa
 deformation modulus = 2426.90 MPa



Şekil 4.77. Maden karmaşığında en iyi koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütlelerinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 95 MPa
 GSI = 35 m_i = 9 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

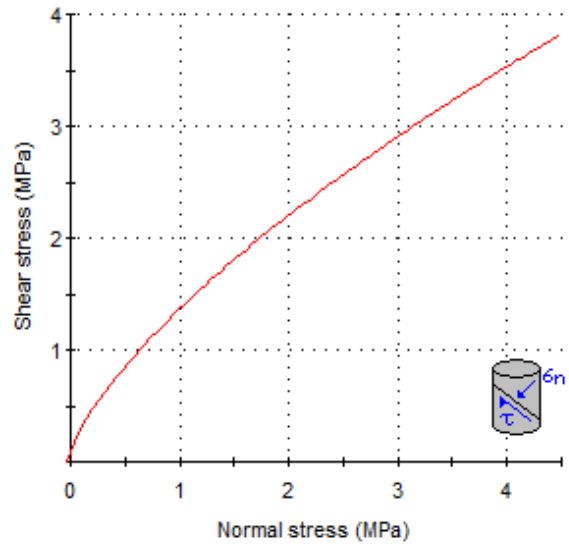
m_b = 0.407 s = 0.0002 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit

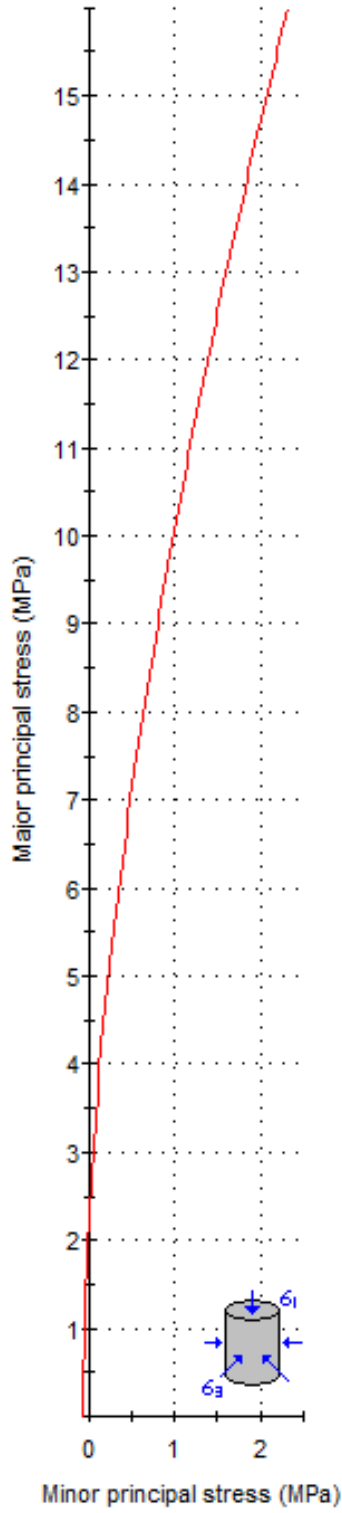
cohesion = 0.581 MPa friction angle = 37.39 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.040 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.086 MPa
 global strength = 7.467 MPa
 deformation modulus = 685.70 MPa



Şekil 4.78. Maden karmaşığı en kötü koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 95 MPa
 GSI = 45 m_i = 12 Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

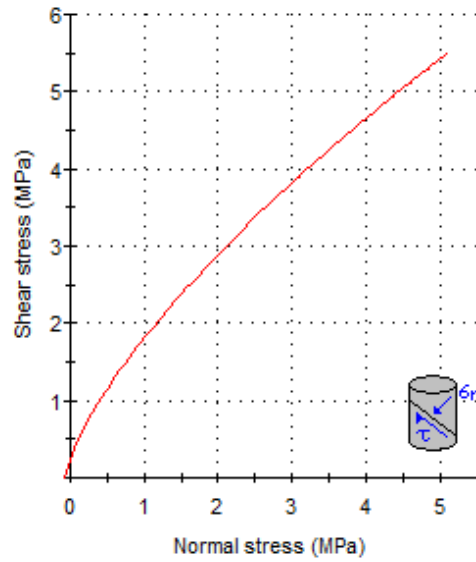
m_b = 0.874 s = 0.0007 a = 0.508

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.820 MPa friction angle = 44.20 deg

Rock Mass Parameters

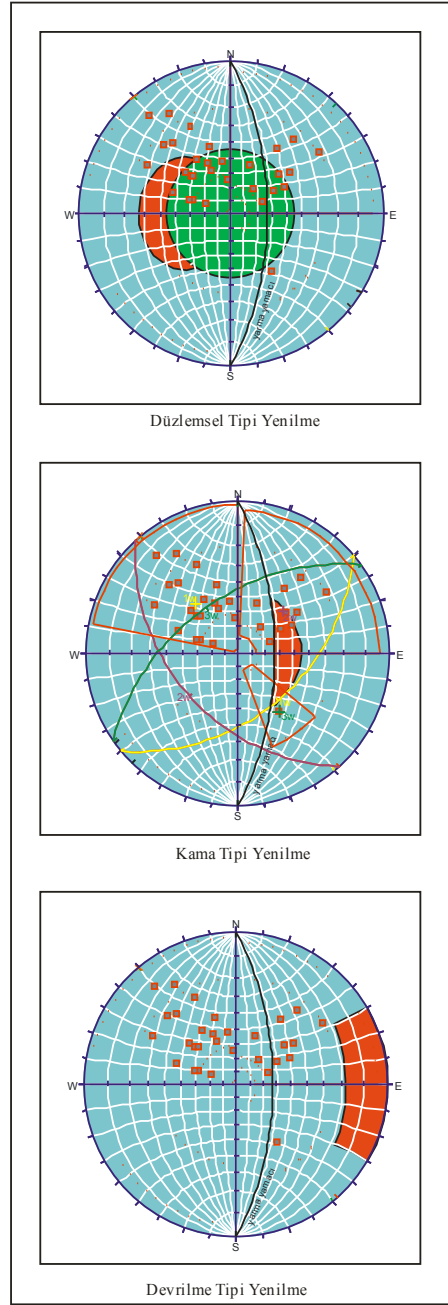
tensile strength = -0.071 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.289 MPa
 global strength = 11.535 MPa
 deformation modulus = 1270.61 MPa



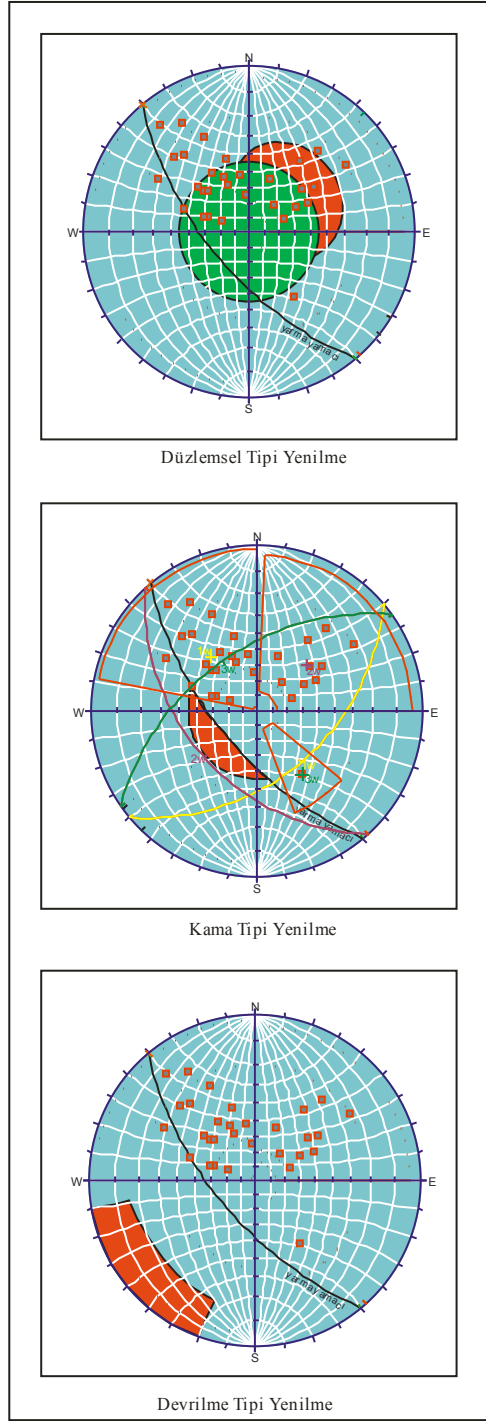
Şekil 4.79. Maden karmaşığı normal koşullarda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre kaya kütesinin normal ve makaslama gerilmeleri

4.5.1.6.3. Duraylılık Analizi

Maden karmaşığı içerisindeki kireçtaşlarında yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.80 ve Şekil 4.81’de verilmiştir. Giriş portalinde herhangi bir yenilme riski belirlenmemiştir. Çıkış portalında yapılan analiz sonucunda, kama ve devrilme tipi yenilmeler beklenmezken, düzlemsel yenilme riski bulunmaktadır.



Şekil 4.80. Giriş portalı süreksizlik duraylılık analizi



Şekil 4.81. Çıkış portalı süreksizlik duraylılık analizi

4.5.1.7. Genel Değerlendirme

Sistemde yer alan mühendislik yapılarının ağırlıklı olarak yer alacağı birimlerin, kütle özellikleri ve kütle sınıflama sistemleri özet halinde Çizelge 4.44'te verilmiştir

Çizelge 4.44. Birimlerin kütle özellikleri ve sınıflama sistemleri değerleri

FORMASYON	YOLCULAR GRUBU	MEYDAN FORMASYONU	ÇIRRIK FORMASYONU	TÜTÜ FORMASYONU	MADEN KARMAŞIĞI	
RMR SINIFLAMASI (En iyi, En Kötü, Normal)	62-41-47	69-50-57	69-57-62	75-59-68	65, 49, 58	
Q SINIFLAMASI (En iyi, En Kötü, Normal)	0.16-0.03-0.1	0.5-0.26-0.5	0.28-0.28-0.28	1.2-0.9-1.2	0.44, 0.33, 0.44	
GSI SINIFLAMASI (En iyi, En Kötü, Normal)	68, 36, 62	65, 45, 52	45, 25, 30	65, 30, 65	55, 35, 45	
Kütle Özellikleri	(σ_m) MPa (En iyi, En Kötü, Normal)	7.625, 0.486, 5.805	18.663, 8.423, 11.759	14.171, 6.972, 9.320	29.161, 8.363, 22.870	16.871, 7.467, 11.533
	(σ_t) MPa (En iyi, En Kötü, Normal)	-0.129, -0.003, -0.096	-0.266, -0.080, -0.109	-0.047, -0.023, -0.025	-0.415, -0.034, -0.0338	-0.134, -0.040, -0.071
	(Em) MPa (En iyi, En Kötü, Normal)	4842.26, 725.83, 3637.87	4230.83, 1270.61, 2007.40	922.72, 442.25, 538.11	4230.83, 528.11, 3262.70	2426.9, 685.7, 1270.61
	(c) MPa (En iyi, En Kötü, Normal)	0.793, 0.159, 0.637	1.523, 0.758, 0.977	0.899, 0.305, 0.639	2.958, 1.046, 2.466	1.33, 0.581, 0.820
	ϕ İçsel Sürtünme (En iyi, En Kötü, Normal)	48.71, 20.54, 44.76	51.17, 39.58, 44.82	45.02, 40.23, 38.48	47.90, 29.37, 44.24	49.82, 37.39, 44.20

4.5.2. Taşıma Gücü

Hidroelektrik santralleri gibi büyük mühendislik yapılarının temelinde bulunan kayalardan yüksek taşıma gücü beklenmektedir. Bu nedenle bu tip yapıların tasarımı, üzerine oturdukları birimin taşıma kapasitesine göre yapılır. Zayıf kayalarda inşa edilecek yapılarda zayıf taşıma gücü nedeniyle oturmalar ve ani yenilmeler meydana getirebileceğinden temel tasarımı dikkatli yapılmalıdır.

Bitlis Regülatörü ve H.E.S. projesinde sanat yapılarının bulunduğu alanlarda yapılan sondajlar sonucunda elde edilen bilgiler ile Wyllie 1992 yöntemine göre regülatör alanı, yükleme havuzu ve santral yeri için ayrı ayrı taşıma gücü hesaplanmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim hacim ağırlıklar laboratuvar deneyleri sonucu elde edilirken, içsel sürtünme açısı ve kayaçların kohezyonu Rocklab 1.0 programı kullanılarak tayin edilmiştir. Wyllie (1992) tarafından önerilen eşitlik;

$$q_a = \frac{C_{f1} * CN_c + C_{f2} * B\gamma/2 * N\gamma + \gamma D_f * N_q}{GK}$$

GK

Burada,

B: Temel genişliği

γ : Kayanın birim hacim ağırlığı

D_f : Temel derinliği

C: Kaya Kütlesinin kohezyonu

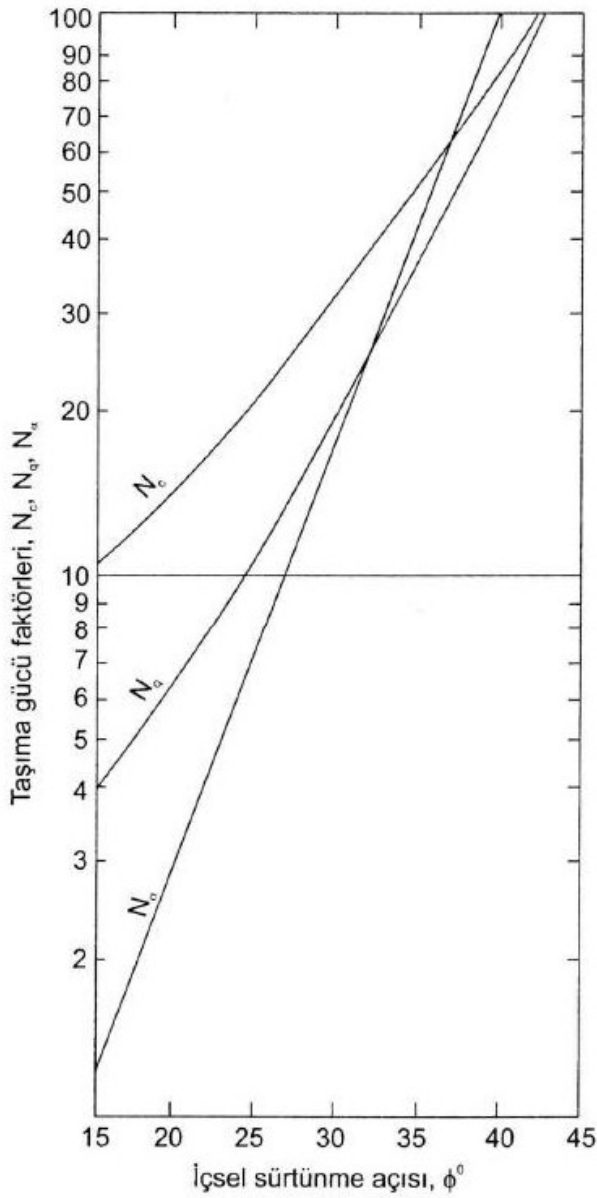
N_c , N_γ , N_q : Boyutsuz taşıma gücü faktörleri olup Şekil 4.82’de verilen grafikten,

C_{f1} ve C_{f2} : Düzeltme faktörleri olup Çizelge 4.45’ten belirlenir.

GK: Güvenlik Katsayısı

Çizelge 4.45. Düzeltme Faktörleri (Wyllie,1992)

Temel Tipi		C_{f1}	C_{f2}
Sürekli (L/B)		1.00	1.00
Dikdörtgen	L/B=2	1.12	0.90
	L/B=5	1.05	0.95
Kare		1.25	0.85
Daire		1.20	0.70



Şekil 4.82. Yatay Topoğrafya üzerine inşa edilen temeller için taşıma gücü faktörleri (US Department of the Navy,1982)

Regülatör Alanı

Regülatör alanında yapılan sondajlardan elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama 27.5 MPa, olarak bulunmuştur. İçsel sürtünme açısı (ϕ) 29^0 kohezyon (c) 1,57 MPa, temel derinliği D_f 2 m, temel genişliği B 15 m, Birim hacim ağırlık (γ) 25.3 kg/cm^3 , güvelik katsayısı 3, temel şekli kare olarak belirlenmiştir. Değerler Wyllie 1992 tarafından eşitlikte yerine konutluğunda izin verilebilir taşıma gücü q_a 247 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

$$q_a = \frac{C_{f1} * CN_c + C_{f2} * B\gamma/2 * N\gamma + \gamma D_f * N_q}{GK}$$

GK

$$q_a = \frac{1.25 * 1570 * 35 + 0.85 * (15 * 25.3 / 2) * 19 + 25.3 * 2 * 21}{3}$$

3

$q_a = 247 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Yükleme Havuzu

Yükleme havuzu alanında yapılan sondajlardan elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama 47.3 MPa, olarak bulunmuştur. İçsel sürtünme açısı (ϕ) 33^0 kohezyon (c) 1,95 MPa, temel derinliği D_f 1 m, temel genişliği B 30 m, Birim hacim ağırlık (γ) 26.5 kg/cm^3 , güvelik katsayısı 3, temel şekli kare olarak belirlenmiştir. Değerler Wyllie 1992 tarafından eşitlikte yerine konutluğunda izin verilebilir taşıma gücü q_a 432 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

$$q_a = \frac{C_{f1} * CN_c + C_{f2} * B\gamma/2 * N\gamma + \gamma D_f * N_q}{GK}$$

GK

$$q_a = \frac{1.25 * 1950 * 47 + 0.85 * (30 * 26.5 / 2) * 35 + 26.5 * 1 * 31}{3}$$

3

$q_a = 432 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Santral Binası

Santral Binası alanında yapılan sondajlardan elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı ortalama 36 MPa, olarak bulunmuştur. İçsel sürtünme açısı (ϕ) 30^0 kohezyon (c) 1,78 MPa, temel derinliği D_f 4 m, temel genişliği B 30 m, Birim hacim ağırlık (γ) 26.1 kg/cm^3 , güvelik katsayısı 3, temel şekli kare olarak belirlenmiştir. Değerler Wyllie 1992 tarafından eşitlikte yerine konutluğunda izin verilebilir taşıma gücü q_a 265 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

$$q_a = \frac{C_{f1} * CN_c + C_{f2} * B\gamma/2 * N\gamma + \gamma D_f * N_q}{3}$$

GK

$$q_a = \frac{1.25 * 1780 * 32 + 0.85 * (30 * 26.1 / 2) * 19 + 26.1 * 4 * 20}{3}$$

3

$q_a = 265 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelik esaslarına göre etkin yer ivme katsayısı Çizelge 4.46'dan zemin gurupları Çizelge 4.47'den belirlenmiştir. Buna göre 2007 yılı deprem değişiklikleri ile birlikte deprem yönetmeliği esaslarına göre tüm yapı yerlerinde;

Zemin Grubu= A1

Yerel Zemin Sınıfı= Z1

Etkin yer ivme katsayısı (A_0) = 0.40 olarak belirlenmiştir

Çizelge 4.46. Deprem Bölgelerine göre etkin yer ivme katsayılar

Deprem bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Çizelge 4.47. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelik esaslarına göre zemin gurupları (DBYBHY 2007)

Zemin grubu	Zemin grubu tanımı	Stand. Penetrasyon (N/30)	Relatif sıklık (%)	Serbest basınç direnci (kPa)	Kayma dalgası hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	-----	----	>1000	>1000
	2. Çok sıkı kum çakıl	>50	85-100	---	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	---	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	---	---	50-1000	700-1000
	2 Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	---	400-700
	3.Çok aktı kil ve siltli kil	16-32	---	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	---	---	<500	400-700
	2. orta sıkı kum, çakıl	10-30	30-65	---	200-400
	3. katı kil ve siltli kil	8-16	---	100-200	200-300
(D)	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	---	---	---	<200
	2. Gevşek kum	<10	<35	---	<200
	3. Yumuşak kil, siltli, kil	<8	---	<100	<200

4.5.4. Doğal Afet Tehlikeleri

4.5.4.1. Deprem Durumu

İnceleme alanı 1. Derecede deprem bölgesi içersinde yer almaktadır. Proje alanı ve çevresinde 1900-2008 yılları arasında meydana gelen depremlerin büyüklüklerine göre sınıflaması Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Kandilli rasathanesi 1900-2008 yılları arası meydana gelen depremler

Deprem Büyüklükleri	Adet
2.0-2.9	0
3.0-3.9	148
4.0-4.9	41
5.0-5.9	7
6.0-6.9	0
7.0-9.9	0
Toplam	196

4.5.4.2. Kütle Hareketleri

İnceleme alanı eğimli bir topoğrafyaya sahip olduğundan yol güzergâhı boyunca kaya düşmesi ve özellikle ayrışmış serpantinlerin bulunduğu alanlarda heyelanlar meydana gelmektedir. Ancak sanat yapılarının bulunduğu alanlarda ayrışmış ve gevşek birimler gözlenmediğinden heyelan ve kaya düşmesi ile alakalı bir risk beklenmemektedir.

4.3.4.3. Çığ

İnceleme alanı sert karasal iklime sahip olması ve oldukça eğimli bir topoğrafyada bulunması nedeniyle yol güzergahı boyunca sıklıkla çığ olayları gözlenmekte hatta zaman zaman Bitlis-Diyarbakır kara yolunun ulaşımına kapanmasına neden olmaktadır. Santral binası ve şalt sahasının yamaçtan uzakta bulunması nedeniyle çığ riski taşımamaktadır. Ancak olası regülatör ve yükleme havuzunun bulunduğu alanlar yüksek yamaçların eteğinde olduğundan çok karlı geçen kış aylarında çığ riski taşımaktadır. Bu nedenle, bu yapıların çığ önlemi olarak projelendirilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mühendislik projeleri için yer seçiminde maliyet–emniyet/güvenlik–zaman–estetik/çevre parametreleri göz önünde tutulur. Ancak, ne yazık ki, uygulamada genellikle bir ya da bir tanesi dikkate alınmaktadır. Küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinde temel dayanak akarsu debisi ve topoğrafik eğimdir; hem doğayı katlederek hem de maliyetleri katlayarak projeler hayata geçirilmektedir. Oysa ki; birimlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri göz önünde tutularak yapılacak bir tasarım daha ekonomik olacaktır; daha kısa sürede tamamlanacaktır ve çevre dostu olacaktır.

Bu tez kapsamında Bitlis Çayı üzerinde yapılması planlanan “Bitlis Regülatörü ve HES Projesi” kapsamında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları özetlenmiştir.

Çalışma alanı Türkiye tektonik birlikleri içerisinde Toridler içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru; Yolcular grubu (Prekambriyen), Meydan formasyonu (Devoniyen), Çırrık formasyonu (Alt permien), Tütü formasyonu (Üst Trias), Guleman ofiyoliti (Üst Kretase), Maden karmaşığı (Alt Eosen), Nemrut formasyonu (Pliyosen), Alüvyon (Kuvaterner) olarak sıralanmaktadır.

Yapı yerleri ve kuvvet tünelinin geçeceği güzergahta uygun olan alanlarda süreksizlik ölçümleri yapılarak süreksizliklere ait parametrelere belirlenmiş, elde edilen verilere göre RMR, Q, Hooek-Brown görgül yenilme ölçütü ve GSI sistemlerine göre kaya kütleleri sınıflandırılmış ve kabaca tünel güzergahı için kazı ve destek sistemleri önerilmiştir.

Kuvvet tüneli giriş portalının bulunduğu Yolcular Grubunda yapılan kaya Kütlesi sınıflamasına göre sırasıyla en iyi, en kötü ve normal koşullarda RMR değerleri; 62 (II iyi kaya), 41 (III orta kaya), 47 (III orta kaya). Q değerleri; 0.16 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.03 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.1 (aşırı derecede zayıf kaya). GSI değerleri 68, 36, 62 olarak bulunmuştur. Bu kısımda uygulanacak destek sistemi en kötü koşullarda tavanda 5-10 cm yan duvarlarda 10 cm çelik hasır takviyeli püskürtme betonu olarak belirlenmiştir.

Meydan Formasyonunda yapılan kaya kütlesi sınıflamasına göre sırasıyla en iyi, en kötü ve normal koşullarda RMR değerleri; 69 (II iyi kaya), 50 (III orta kaya), 57 (III

orta kaya). Q değerleri; 0.5 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.26 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.5 (aşırı derecede zayıf kaya). GSI değerleri; 61, 45, 52 olarak bulunmuştur. Bu kısımda uygulanacak destek sistemi en ktu koşullarda 0.5-1 metre aralıklı sistematik bulonlama tavanda 5-10 cm yan duvarlarda 10 cm elik hasır takviyeli püskürtme betonu olarak belirlenmiştir.

ırrık Formasyonunda yapılan kaya kütlesi sınıflamasına göre sırasıyla en iyi, en ktu ve normal koşullarda RMR değerleri; 69 (II iyi kaya), 57 (III orta kaya), 62 (II iyi kaya). Q değerleri; 0.28 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.28 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.28 (aşırı derecede zayıf kaya). GSI değerleri; 40, 25, 30 olarak bulunmuştur. Bu kısımda uygulanacak destek sistemi en ktu 1 metre aralıklı sistematik bulonlama tavanda 5-10 cm yan duvarlarda 10 cm elik hasır takviyeli püskürtme betonu olarak belirlenmiştir.

Tütü Formasyonunda yapılan kaya kütlesi sınıflamasına göre sırasıyla en iyi, en ktu ve normal koşullarda RMR değerleri; 75 (II iyi kaya), 59 (III orta kaya), 68 (II iyi kaya). Q değerleri 1.2 (ok zayıf kaya), 0.9 (aşırı derecede zayıf kaya), 1.2 (ok zayıf kaya). GSI değerleri 65, 30, 65 olarak bulunmuştur. Bu kısımda uygulanacak destek sistemi en ktu 1 metre aralıklı sistematik bulonlama tavanda 2.5-5 cm yan duvarlarda 10 cm elik hasır takviyeli püskürtme betonu olarak belirlenmiştir.

Maden Formasyonunda yapılan kaya kütlesi sınıflamasına göre sırasıyla en iyi, en ktu ve normal koşullarda RMR değerleri; 65 (II iyi kaya), 49 (III orta kaya), 58 (III orta kaya). Q değerleri 0.44 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.33 (aşırı derecede zayıf kaya), 0.44 (aşırı derecede zayıf kaya). GSI değerleri 55, 35, 45 olarak bulunmuştur. Bu kısımda uygulanacak destek sistemi en ktu 1 metre aralıklı sistematik bulonlama tavanda 5-10 cm yan duvarlarda 10 cm elik hasır takviyeli püskürtme betonu olarak belirlenmiştir.

Sanat yapılarının bulunduğu alanlarda 9 adet toplam 204 m uzunluğunda karotlu sondaj çalışması yapılmış, laboratuara gönderilen örnekler üzerinde kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yaptırılmıştır.

Yapı yerlerinde açılan sondajlardan elde edilen veriler ile sanat yapılarının bulunduğu alanlarda Weyllie 1992'ye göre taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Buna göre Regülatör alanında izin verilebilir taşıma gücü $q_a = 247 \text{ kg/cm}^2$ olarak, Yükleme havuzunu bulunduğu alanda izin verilebilir taşıma gücü $q_a = 432 \text{ kg/cm}^2$ Santral binasının Bulunduğu alanda izin verilebilir taşıma gücü $q_a = 265 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Projedeki önemli sanat yapılarından biri de iletim tünelidir. Planlanan projede, tünelin yer seçiminde temel olarak santral yapısına olan düşü miktarı temel alınmıştır. Proje alanında arazi eğimi oldukça yüksektir. Bu nedenle, burada yapılacak kazıların mümkün olduğu kadar dik yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde, kazı miktarı ile kazı maliyeti artar; doğaya geri dönüşü olmayan zararlar verilir ve şev duraylılığı daha da önem kazanır. Bu nedenle, beş farklı birimden alınan süreksizlik ölçümlerine dayanarak, eğimi 63° (2:1) olan şev için hem giriş hem de çıkış portallarında kinematik analiz yapılmıştır. Bu beş birim göz önüne alındığında, her iki portalda da devrilme, kama ve düzlemsel yenilme olasılıkları belirlenmiştir. Her ne kadar iyileştirme yöntemleri yaygın olarak kullanılsa da, maliyeti arttırması nedeniyle, başka seçenekler araştırılmalıdır. Bunların başında jeolojik ve jeoteknik parametreler göz önünde tutularak yapılan daha duraylı, daha uygun yer seçimidir.

6. KAYNAKLAR

ANONİMLER

Anonim-1 METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2013. İnternet sitesi.

Anonim-2 METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI KLİMATOLOJİ ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ, 2012. İnternet sitesi.

Anonim-3 METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI KLİMATOLOJİ ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ, 2012. İnternet sitesi.

Anonim-4 T.C. BAŞBAKANLIK AFET VE ACİL DURUM YÖNETİMİ BAŞKANLIĞI DERPREM DAİRESİ BAŞKANLIĞI. 2012. İnternet sitesi.

Anonim-5 DOĞU ANADOLU KALKINMA AJANSI (DAKA), 2011. Sektörel Analiz Raporu, Mikro HES Sektör Raporu.

Anonim-6 DEPREM BÖLHELERİNDE YAPILCAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK, 2007. İnternet sitesi.

Anonim-7 DEVLET SU İŞLERİ 17. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ, 2010. İnternet sitesi.

AÇIKBAŞ, D. ve BAŞTUĞ, C.1975. Cacas-Hani kuzey sahası jeoloji raporu. T.P.A.O. Raporu, No: 917.

AGLIARDI, F., CROSTA, G.B., MRLONI, G., VALLE. C. and RIVOLTA, C. 2013. Structurally-controlled instability, damage and slope failure in a porphyry rock mass. Tectonophysic 605, 34-47.

AKDUMAN, L., LEVENTELİ, Y., YILMAZER, Ö. ve YILMAZER, İ. 2005. Seldağmıklık-Sekileştirme-Enerji sistemi: Van-Başkale. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 2-2005, 45-52.

- AKGÜN, H. and KOÇKAR, M.K. 2004. Design of anchorage and assessment of the stability of openings in silty, sandy limestone: a case study in Turkey. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 41, 37-49
- ALTINLI, E. 1963. 1/500.000 Ölçekli Türkiye jeoloji jaritası Van paftası izahnamesi. M.T.A. Raporu, No: 1845.
- ARNİ, P. 1939. Van vilayetinin jeolojisi hakkında. M.T.A. Raporu, No: 883.
- BARTON, N.R., LIEN, R. and LUNDE, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics* 6, 1974, pp. 189-236.
- BARTON, N.R. 1974. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock. *Norwegian Geotech. Inst. Publ. (105)*. Oslo, Norwegian Geotech. Inst.
- BARTON, N.R., BANDIS, S. and BAKHTAR, K. 1985. Strenght, degormation and conductivity coupling of rock joints. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci & Geomech.Abtsr.* 22, 3, 121-140.
- BAŞTUĞ, C. 1976. Bitlis napının stratigrafisi ve Güneydoğu Anadolu sütünun evrimi. *Yeryuvaru ve İnsan*,1/1,55-61.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1973. Engineering classification of rock masses. *Transactions of South African Institution of Civil Engineers.* 15 (12): 335-344.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for Rock Engineering, Proc. of the Symp.* (Edited by Bieniawski Z.T.) Cape Town, Balkema, 1, 97- 106.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1978. Determination of rock mass deformability : Experience from case histories. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 15, 237 247.

- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classification. John Wiley and Sons, BS 8004, Codes for Bearing Capacity of Soils. Newyork, 237 pp.
- BİNGÖL, E. 1989. Türkiye Demir Envanteri. M.T.A. s. 188, Ankara.
- BORAY, A. 1973. The structure and metamorphism of the Bitlis area, South East Turkey (doktora tezi yayımlanmamış). University of London.
- BORAY, A. 1975. Bitlis dolayının yapısı ve metamorfizması. T.J.K. Bülteni, 18/1, 81-84.
- CERAN, F.M. 2006. Mutki (Bitlis) yöresinin jeolojisi ve cevher imkanları (yüksek lisans tezi, basılmış). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- COFCOF, Ş. 1996. Kanal Santrallerinde Genel Boyutlandırma Esasları (Genişletilmiş Baskı). D.S.İ. 1996.
- ÇAĞLAYAN, M., İNAL, R.N., ŞENGÜN, M. ve YURTSEVER, A. 1983b. Structural setting of Bitlis MASSive. Geology of the Taurus belt. TJUS proceeding, 245-254.
- ÇAĞLAYAN, M.A., ŞENGÜN, M. 2002. 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No:66 Van-L48 paftası. M.T.A. Jeoloji Etütleri Dairesi Ankara.
- ÇEÇEN, K.1983. Küçük HES'ler hakkında araştırma. Tübitak Kühtü Kesin Raporu.
- DEERE, D.U. 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics and Engineering Geology 1 (1), 16-22.
- DEERE, D.U. 1968. Geologic considerations, in: Chapter 1. Rock Mechanics in Engineering Practice, K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz (eds.), Wiley, pp. 1-20, New York.

- ERDOĞAN, B. 1982. Ergani-Maden yöresindeki GD Anadolu riyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaçları. T.J.K Bülteni, 25/1, s. 49-61.
- ERİK, D.2004. Boğsak karayolu tünelleri (Taşucu-Mersin) jeoteknik tasarımı (doktora tezi, basılmış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- ESEN, A. 2011. Bitlis regülatörü ve HES projesi regülatör, şalt sahası, santral binası, yükleme havuzu mevzi imar planına esas jeolojik ve jeoteknik raporu. Diyarbakır.
- GRİMSTAD, E. and BARTON, N. 1993. Updating the Q-system for NMT. Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway, 1993. Norwegian Concrete Association, Oslo.
- GÖĞER, E. 1969. Van L48a4 paftasının jeolojisi. M.T.A. Raporu, No: 5203.
- GÖKDEMİR, M., KÖMÜRCÜ, M.İ., EVCİMEN, T.U. 2012. Türkiye Mühendislik Haberleri, 2012/1 sayfa 18-26.
- GÖNCÜOĞLU, M. C. ve TURHAN, N. 1983a. Bitlis metamorfitlelerinde yeni yaş bulguları. M.T.A. Dergisi, 95/96, 44-48.
- GÖNCÜOĞLU, M. C. ve TURHAN, N. 1983b. Bitlis Metamorfik kuşağının Jeolojisi. T.J.U.S. Bildiri özleri, 50.
- GÖNCÜOĞLU, M. C. 1983. Muş-Kızılağaç Metagranitinin metamorfizması ve yaşı. M.T.A. Dergisi, 99/100.
- GÖNCÜOĞLU, M. C. ve TURHAN, N. 1985, Bitlis Metamorfik Kuşağı Orta Bölümünün Temel Jeolojisi. M.T.A. Raporu, No:7707.
- GÖNCÜOĞLU, M. C. ve TURHAN, N. 1992, 1/100.000 ölçekli açmsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No:38 Muş-İ33 paftası. M.T.A Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

- HALL, R. ve MASON, R. 1972. A tectonic melange from the eastern Taurus mountains Turkey. Journ. Geol. Soc. Lond. 128, 395-397.
- HELVACI, C. ve GRİFFİN, W.L. 1983. Bitlis masifi Avnik (Bingöl) bölgesi metamorfik kayaçların petrojenezi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 26, 117-132.
- HOEK, E. and Brown, E.T. 1980. Underground Excavations in Rock. London Institution of Mining and Metallurgy, 527 pages.
- HOEK, E. and Bray, J.W. 1981. Rock Slope Engineering. 3 rd edn. London. Institution of Mining and Metallurgy, 402 pages.
- HOEK, E. and Brown, E.T. 1988. The Hoek-Brown Failure Criteria 1988 Update. In Rock engineering for underground excavations proc. 15 th Canadian rock mech. symp (ed.J.C.Curran), 31-38. Toronto: Dept.Civ.Engineering, University of Toronto.
- HOEK, E. 1998a. Practical Rock Engineering. Hoek's Corner. 313p.
- HOEK, E. 1998b. Rock Engineering for Tunnels. 1998 Graz, Austria.
- HOEK, E. 2000. Practical Rock Engineering (2000 edition, complete).
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Rock characterisation, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford, E.T. Brown (ed), 2119.
- İMAMOĞLU, M. Ç., ÇETİN, E. 2007. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği. D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 9, 93-103.
- KAYA, A. 2002. Gezin (Maden – Elazığ) çevresinin jeolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10/1, 41-50
- KELLOG, H. E. 1960. Stratigraphic report, Bitlis-Siirt area, Petroleum District V., SE

- Turkey. Petrol İşleri Gen. Müd. Teknik arşivi, Ankara (yayımlanmamış).
- KOÇBAY, A. 2012. *Su* yapılarında jeolojik ve jeoteknik çalışmalar. J.M.O Haber Bülteni, 2012/3.
- LEVENTELİ, Y. 2002. Mühendislik projelerinde jeoloji ve jeotekniğin önemi: Ecemiş fay kuşağı, Adana – Niğde (doktora tezi, basılmış). Ç.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s.183.
- LEVENTELİ, Y., YILMAZER, İ. 2003 Ecemiş vadisi enerjisi için jeoteknik yaklaşım. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 1-2003, 45-57.
- MASON, R. 1973. The tectonic status of the Bitlis Masif. 50. Yıl Yerbilimleri Kong. Tebliğleri, 31-42.
- OKAY, İ. A. ve TÜYSÜZ, O. 1999. Tethyan stures of northern Turkey. Geological Society, Special Publication 156, 475-515, London.
- ÖRGÜLÜ, G., AKTAR, M., TÜRKELLİ, N., SANDVOL, E. ve BARAZANGİ, M. 2003. Contribution to the seismotectonics of the Eastern Anatolian Plateau from moderate and small size events. Geophys. Res. Lett.,30(24):1-12.
- ÖZKAYA, İ. 1974. Güneydoğu Anadolu Sason ve Baykan yöresinin stratigrafisi. T.J.K. Bülteni, 17/1, 51/72.
- PALMSTRÖM, A. 2000. Block size and block size distribution, proc workshop on reliability of classification systems in connectio with the geoeng 2000 conferance, Melbourne 12s.
- PERİNÇEK, D. 1979. GD Anadolu allokton birimlerin birbirleri ile ilişkileri ve bunların jeolojik evrimdeki yeri. T.J.K. 33. Kurultay Bildiri Özetleri, 115-116.
- PERİNÇEK, D. 1980, Arabistan Kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. Türkiye 5. Petrol kongresi bildirileri, 77-93 s.

- SERAFİM, L.J. and PEREIRA, P.J. 1983. Consideration on the geomechanical classification of Bieniawski. Proc.of The International Symposium On Engineering Geology and Underground Construction, 2, 33-42.
- SUNGURLU, O. 1974. VI. Bölge kuzeyinin jeolojisi ve petrol imkanları. Türkiye II. Petrol Kongre Tebliğleri.
- ŞAROĞLU, F., EMRE,Ö. ve BORAY, A.1987 Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. M.T.A. Derleme, No:814.
- ŞENGÜN,M., ÇAĞLAYAM, M.A. ve SEVİN, M. 1991. Bitlis masifi Bitlis-Tatvan-Hizan-Şirvan dolayının jeolojisi. M.T.A. Raporu, No: 9105, 200s (yayımlanmamış).
- TERZAGHI, K. 1946. Stress conditions for the failure of saturated concrete and rock. Proc. Am. Soc. Test Mater. (45), 777–801.
- TERZAGHI, K. PECK, R. B. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons, 729p,New York, USA.
- TERNEK, Z. 1953. Geological study southeastern region of Lake Van. T.J.K. Bülteni, 2, 28- 32.
- TOLUN, N. 1948. Observations sur le pli bardier du Taurus orientale. M.T.A. Raporu, No:1804.
- TOLUN, N. 1953. Contribution al'etude geologique des environs du sud-ouest du Lac de Van. M.T.A. Bülteni, 44/45, 77-112.
- TOLUN, N. 1954. Güneydoğu Anadolu'nun stratigrafisi. M.T.A. Raporu, No:2147.
- TOLUN, N. 1960. Stratigraphy and tectonics of southeastern Anatolia. Rev. Fac. Sci. Univ. İstanbul, serie B, Tome 25, fs 3-4.

- TRUEMAN, R. 1988. An evaluation of strata support techniques in dual life gateroads. Ph.D Thesis, University of Wales.
- ULUSAY, R. ve SÖNMEZ, H. 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, s 150-198, Ankara.
- ULUSAY, R. 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, s 126-156, 286-294, Ankara.
- ÜNAL, E. 1983. Design guidelines and roof control standarts for cola mine roofs. Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University, 355 pp (yayımlanmamış).
- WYLLIE, D.C. 1992. Foundations on rock. E&FN Spon, Londaon 333p.
- YILMAZ, O. 1971. Etude Petrographique et geochronologique de la region de Cacas (yayımlanmamış doktora tezi) Univ. Grenoble, s 230.
- YILMAZ, O. 1975. Cacas bölgesi (Bitlis Masifi) kayaçlarının petrografik ve stratigrafik incelemesi. T.J.K. Bülteni, 18/1, 33-40.
- YILMAZER, İ., YILMAZER, Ö., ÖZKÖK, D. ve GÖKÇEKUŞ, H. 1999. Jeoteknik Tasarıma Giriş. Yılmaz Eğitim ve Mühendislik, ss. 210.

7. EKLER

EK-1 İnceleme alanı 1/25000 ölçekli Mühendislik jeolojisi haritası

EK-2 İnceleme alanı süreksizlik ölçüm formları

EK-3 Sondaj karot fotoğrafları

EK-4 Sondaj logları ve laboratuvar sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Ali Engin GÖKSU, 1983 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. 2002 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden 2007 yılında "Jeoloji Mühendisi" ünvanı alarak mezun oldu. 2010 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu an Bitlis Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nde Jeoloji Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

