



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN-HASANKEYF-GERCÜŞ-MİDYAT KARAYOLU  
GÜZERGÂHINDAKİ YÜKSEK ŞEVLERİN DURAYLILIKLARININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ

Aykut EKE

DANIŞMAN  
Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

II. DANIŞMAN  
Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 11.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliğı Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

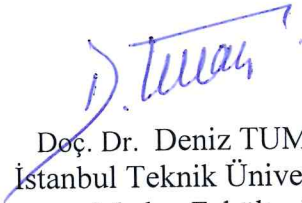
TEZ JÜRİSİ



Prof. Dr. Atiye TUĞRUL  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Hakan HOŐGÖRMEZ  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Deniz TUMAÇ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Maden Fakültesi



*Babam Erdođan EKE  
ve ađabeyim Altay ERTİN'e.*

## ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında mühendislik yapılarının projelendirilmesi ve uygulanması sırasında Jeoloji biliminin ne kadar önemli olduğunu vurgulamak istedim. Bunu yaparken Jeoloji biliminin malzemesi olan kayanın özelliklerinin nasıl değerlendirilmesi gerektiğine ve mühendislik alanındaki kullanımına değindim.

Tez çalışmalarım sırasında hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocalarım Prof. Dr. Atiye TUĞRUL ve Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ'a tez konusunun belirlenmesindeki katkıları ve tez yazımı sırasındaki bana olan inançları için içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında, arazi verilerinin sağlanmasında bana önemli katkılarda bulunan, tez çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen başta İnşaat Mühendisi Bora ARSLAN, İnşaat Mühendisi Ayşen ÇIRAKOĞLU BİLGİÇ ve Jeoloji Mühendisi Cemal SAMUR olmak üzere tüm ARS Geoteknik Mühendislik Müşavirlik San. Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Her daim yanımda olan, maddi manevi yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Aykut EKE

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xv
SUMMARY .....	xvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	1
1.2. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE KONUMU .....	2
1.3. İKLİM VE BİTKİ ÖRTÜSÜ .....	3
1.4. MORFOLOJİ VE ULAŞIM .....	3
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>5</b>
2.1. JEOLojİ VE MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ.....	5
2.1.1. Bölgesel Jeoloji .....	6
2.1.2. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	9
2.1.2.1.Midyat Grubu Kireçtaşı (Teom) (Eosen).....	12
2.1.2.2.Yamaç Molozu (Qy) (Kuvaterner) .....	18
2.1.2.3.Alüvyon (Qal) (Kuvaterner).....	19
2.1.2.4.Yapay Dolgu (Yd)(Güncel) .....	20
2.1.3. Hidrojeoloji.....	20
2.1.4. Deprensellik.....	20
2.2. ŞEV DURAYLILIĞININ İNCELENMESİ VE TARİHÇESİ.....	23
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. KAYA MALZEMESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
3.1.1. Jeolojik Haritalama ve Kesitler .....	27
3.1.2. Sondajlar .....	27
3.1.3. Laboratuvar Deneyleri .....	28
3.2. ŞEV DURAYLILIĞININ HESAPLANMASI.....	31
3.2.1. İncelenen Şevin Özelliklerinin Belirlenmesi.....	31

3.2.2.	Tasarım parametrelerinin Tayin Yöntemleri .....	33
3.3.	KAYA KÜTLELERİNİN TASARIM PARAMETRELERİ.....	33
3.3.1.	Duraylılık Analizi Ölçütü Olarak Hoek-Brown .....	34
3.3.2.	Girdi (input) Parametreleri .....	34
3.3.2.1.	Tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve Masif kayanın elastisite modülü ( $E_i$ ):.....	35
3.3.2.2.	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI): .....	35
3.3.2.3.	Hoek & Brown sabiti ( $m_i$ ): .....	39
3.3.2.4.	Örselenme faktörü (D) ve Örselenme Kalınlığı (T):.....	40
3.3.3.	Tasarım Parametreleri.....	41
3.3.3.1.	Mohr-Coulomb yenilme kriteri ( $c, \phi$ ): .....	42
3.3.3.2.	Kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{cm}$ ):.....	43
3.3.3.3.	Kaya kütlelerinin deformasyon modülü ( $E_m$ ): .....	43
3.3.3.4.	Hoek-Brown sabitleri ( $m_b, s, a$ ): .....	44
3.4.	HARDENING SOIL ZEMİN MODELİ (PEKLEŞEN ZEMİN MODELİ).....	45
3.5.	KULLANILAN PROGRAMLAR.....	45
<b>4.</b>	<b>BULGULAR.....</b>	<b>46</b>
4.1.	JEOLJİK BİRİMLERİN PARAMETRE TAYİNİ .....	46
4.1.1.	Midyat Grubu (Teom) Kireçtaşları Tasarım Parametreleri .....	46
4.1.1.1.	Kireçtaşları Tasarım Parametreleri .....	50
4.2.	NÜMERİK ANALİZLER .....	54
4.2.1.	C-C' (KM: 38+110) Kritik Kesiti Nümerik Analizleri .....	54
4.2.1.1.	RS2 (Phase) Analizleri.....	54
4.2.1.2.	Plaxis 2D Analizleri.....	57
4.2.2.	D-D' (KM: 38+120) Kritik Kesiti Nümerik Analizleri.....	59
4.2.2.1.	RS2 (Phase) Analizleri.....	59
4.2.2.2.	Plaxis 2D Analizleri.....	62
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>66</b>
	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
	<b>EKLER .....</b>	<b>75</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Çalışma alanının Google Earth üzerinde yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2: Çalışmanın yapıldığı yol güzergâhının Google Earth görüntüsü.....	2
Şekil 2.1: 25 000 ölçekli jeoloji haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mardin – M46-c2 Paftası).....	5
Şekil 2.2: Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü No:69 Mardin – M46 Paftası). ....	7
Şekil 2.3: Çalışma güzergâhını tarif eden taslak enkesit çizimi (ölçeksiz).....	10
Şekil 2.4: Çalışma alanı jeoloji birimleri (kuzey bakışlı). ....	10
Şekil 2.5: Yamaç molozu (G1), zayıf kireçtaşı (G2) ve sağlam kireçtaşı (G3) (batı bakışlı). ....	11
Şekil 2.6: Sağlam kireçtaşı (G3) (kuzey bakışlı). ....	11
Şekil 2.7: Arazideki Midyat grubu sağlam kireçtaşı (G3) görünümü. ....	12
Şekil 2.8: Midyat grubu kireçtaşı birimi kuzeybatı eğimli tabaka sistemleri (batı bakışlı). ....	13
Şekil 2.9: (a) Tabaka ölçümü, (b) hâkim çatlak sistem ölçümü çalışmaları. ....	13
Şekil 2.10: Midyat grubu kireçtaşı tabakaları (sarı) ve çatlak sistem & düzlemleri (kırmızı) (KB bakışlı). ....	14
Şekil 2.11: Hâkim çatlak sistemleri (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0). ....	15
Şekil 2.12: Hakim tabaka sistemi (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0). ....	15
Şekil 2.13: Çalışma alanına ait hâkim süreksizliklerin dağılımı (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0). ....	16
Şekil 2.14: A kesiminin sağlam kireçtaşını, B kesiminin nispeten sağlam kireçtaşını temsil ettiği mostra görünümü (I). ....	16
Şekil 2.15: A kesiminin sağlam kireçtaşını, B kesiminin nispeten sağlam kireçtaşını temsil ettiği mostra görünümü (II). ....	17
Şekil 2.16: Tebeşirleşmiş kireçtaşı görünümü (G4). ....	18

Şekil 2.17: (a) Tebeşirleşmiş kesim (G4), (b) süreksizlik yüzeyleri.....	18
Şekil 2.18: Mostrada gözlenen yamaç molozu birimi.....	19
Şekil 2.19: Yolun doğusunda kalan vadi ve tabanındaki güncel çökeller (Kuzey bakışlı). .....	19
Şekil 2.20: Türkiye Deprem Tehlike Haritası ( <a href="https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi">https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi</a> ).....	21
Şekil 2.21: Yer ivmesi (g) tehlike cetveli ( <a href="https://deprem.afad.gov.tr">https://deprem.afad.gov.tr</a> ). ....	21
Şekil 2.22: Çalışma alanı ve yakın çevresine ait fay ve heyelan haritası ( <a href="http://yerbilimleri.mta.gov.tr">http://yerbilimleri.mta.gov.tr</a> ).....	22
Şekil 3.1: Kaya kütlelerinin tanımına yönelik süreksizliklerin özellikleri (Ulusay; Sönmez, 2007).....	26
Şekil 3.2: Örnek bir sondaj numune fotoğrafı (SK-2, 6-10m).....	28
Şekil 3.3: Şev duraylılık analizi yapılacak olan enkesitlerin (C-C' ve D-D') plan üzerindeki yeri.....	31
Şekil 3.4: Tipik bir açık kazı geometrisinde, şev yüzeyi, ara palye ve genel stabilite (Duncan ve Mah, 2004).....	32
Şekil 3.5: C-C' kritik enkesiti şev modeli.....	32
Şekil 3.6: D-D' kritik enkesiti şev modeli. ....	33
Şekil 3.7: Bir kaya şevi kazısındaki kaya malzemesinden kaya kütesine geçişi gösteren temsili kesit (Hoek, 1995). ....	34
Şekil 3.8: Jeolojik tanımlamalar esas alınarak Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) tahmini (RocData v5.007). ....	36
Şekil 3.9: Eklem koşullarına ve RQD'ye göre sayısallaştırılmış GSI (Wyllie ve Mah, 2004).....	37
Şekil 3.10: Filiş tipi kayaçlar için revize edilmiş GSI 2013 abağı (RocData v5.007).....	38
Şekil 3.11: GSIr tahmin yöntemi (Cai ve diğ. 2007). ....	39
Şekil 3.12: Her bir farklı litoloji için önerilen mi sabitlerini gösterir tablo (RocData v5.007).....	39
Şekil 3.13: Örselenme faktörü tahmini (RocData v5.007).....	40
Şekil 3.14: Kaya kütesi ile patlatmaya maruz kalmış kaya kütesi (Hoek, 2012).....	41
Şekil 4.1: Güzergâh üzerinde Midyat Grubuna ait birimlerden görünüm. ....	46



Şekil 4.2: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait tek eksenli- derinlik grafiği. ....	47
Şekil 4.3: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait nokta yükleme deneyi derinlik grafiği.....	48
Şekil 4.4: Silttaşlarına ait elastiste modülü deneyi – tek eksenli sıkışma grafiği. ....	49
Şekil 4.5: Hoek (2013)'a göre RMR89 Eklem Durumu koşullarına göre GSI tahmini (RocData v5.007). ....	50
Şekil 4.6: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütlesi parametreleri. ....	51
Şekil 4.7: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütlesi parametreleri D:0,7. .....	51
Şekil 4.8: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının rezidüel kaya kütlesi parametreleri.....	52
Şekil 4.9: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşı rezidüel kaya kütlesi parametreleri D=0,7.....	53
Şekil 4.10: C-C' kritik kesiti analiz modeli. ....	54
Şekil 4.11: C-C' kritik kesiti, analize yönelik RS2 (Phase) modeli.....	55
Şekil 4.12: C-C' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik). ....	55
Şekil 4.13: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (statik). ....	56
Şekil 4.14: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (depremlı).....	56
Şekil 4.15: C-C' kritik kesiti, analize yönelik Plaxis2D modeli. ....	57
Şekil 4.16: C-C' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik). ....	57
Şekil 4.17: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik) ....	58
Şekil 4.18: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremlı).....	58
Şekil 4.19: D-D' kritik kesiti analiz modeli. ....	59
Şekil 4.20: D-D' kritik kesiti, analize yönelik RS2 modeli. ....	60
Şekil 4.21: D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik). ....	60
Şekil 4.22: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (statik). ....	61
Şekil 4.23: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (depremlı).....	61

<b>Şekil 4.24:</b> D-D' kritik kesiti, analize yönelik Plaxis 2D modeli. ....	62
<b>Şekil 4.25:</b> D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik). ....	62
<b>Şekil 4.26:</b> D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik). ....	63
<b>Şekil 4.27:</b> D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremlı). ....	63
<b>Şekil 4.28:</b> D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik, rezidüel parametre). ....	64
<b>Şekil 4.29:</b> D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik, rezidüel parametre). ....	64
<b>Şekil 4.30:</b> D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremlı, rezidüel parametre). ....	65

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 1.1:</b> Batman ili 1959 – 2018 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (mgm.gov.tr).....	3
<b>Tablo 2.1:</b> Bölge için belirlenen hâkim süreksizlikler ve genel özellikleri özet tablosu. ....	16
<b>Tablo 2.2:</b> Uygulamada kullanılan tipik yatay sismik katsayıları (Ch) ve güvenlik katsayıları (GS) (Abromson ve diğ, 2002). ....	22
<b>Tablo 3.1:</b> Güzergâhta yapılan sondajlar. ....	27
<b>Tablo 3.2:</b> Zemin mekaniği deneyleri özet tablosu. ....	28
<b>Tablo 3.3:</b> Kaya mekaniği deneyleri özet tablosu. ....	29
<b>Tablo 3.4:</b> Patlatmadan dolayı örselenme kalınlığı (T) (Hoek, 2012).....	41
<b>Tablo 3.5:</b> RMR'ye göre kaya kütle tasarım parametreleri tablosu (Bieniawski, 1989).....	42
<b>Tablo 4.1:</b> Midyat Grubu kireçtaşlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı istatistikleri. ....	47
<b>Tablo 4.2:</b> Midyat Grubu kireçtaşlarına ait nokta yükleme deneyi istatistikleri. ....	48
<b>Tablo 4.3:</b> Midyat Grubu kireçtaşlarına ait elastiste modülü deneyi istatistikleri.....	49
<b>Tablo 4.4:</b> 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarına ait jeoteknik girdi parametreleri. ....	50
<b>Tablo 4.5:</b> 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütlesi tasarım parametreleri.....	52
<b>Tablo 4.6:</b> 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarına ait rezidüel girdi parametreleri. ....	52
<b>Tablo 4.7:</b> 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri.....	53
<b>Tablo 5.1:</b> Kireçtaşlarına ait doruk jeoteknik girdi parametreleri. ....	66
<b>Tablo 5.2:</b> Kireçtaşlarına ait rezidüel jeoteknik girdi parametreleri.....	67
<b>Tablo 5.3:</b> Kireçtaşlarının doruk kaya kütlesi tasarım parametreleri. ....	67
<b>Tablo 5.4:</b> Kireçtaşlarının rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri.....	67
<b>Tablo 5.5:</b> Kireçtaşlarının RS2 (Phase) duraylılık analiz sonuçları (Hoek & Brown yenilme modeli).....	68

<b>Tablo 5.6:</b> Kireçtaşlarının Plaxis duraylılık analiz sonuçları (Hoek & Brown yenilme modeli).....	68
<b>Tablo 5.7:</b> Kireçtaşlarının Plaxis duraylılık analiz sonuçları (Hardening Soil zemin modeli).....	69
<b>Tablo 5.8:</b> Hoek & Brown yenilme modeli RS2 (Phase) ve Plaxis sonuçları kıyas tablosu.....	69
<b>Tablo 5.9:</b> Hoek & Brown yenilme modeli RS2 (Phase) ve Hardening Soil zemin modeli Plaxis sonuçları kıyas tablosu.....	69



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\alpha$	: Yatay deprem ivmesi
$\gamma$	: Birim ağırlık
$\nu$	: Poisson oranı
$\phi$	: Sürtünme açısı
$\phi_b$	: Temel sürtünme açısı
$\sigma_n$	: Normal gerilme
$\sigma_1$	: En büyük asal gerilme
$\sigma_3$	: En küçük asal gerilme
$\sigma_{ci}$	: Masif kayanın tek eksenli basınç direnci
$\sigma_{cm}$	: Kaya kütlelerinin tek eksenli basınç direnci
$\tau$	: Makaslama Gerilmesi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	: Alan
<b>AF</b>	: Azaltma Faktörü
<b>a</b>	: Hoek&Brown sabiti
<b>c</b>	: Kohezyon
<b>ch</b>	: Sismik Katsayı
<b>D</b>	: Örselenme faktörü
<b>e</b>	: Boşluk oranı
<b>E<sub>i</sub></b>	: Masif kayanın elastisite modülü
<b>E<sub>m</sub></b>	: Kaya kütlelerinin deformasyon modülü
<b>GS</b>	: Güvenlik Sayısı
<b>GSI</b>	: Jeolojik dayanım indeksi
<b>GSI<sub>r</sub></b>	: Residüel jeolojik dayanım indeksi
<b>JCS</b>	: Süreksizlik yüzey dayanımı
<b>JCR</b>	: Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısı
<b>J<sub>v</sub></b>	: Hacimsel eklem sayısı
<b>LL</b>	: Likit Limit

<b>mi</b>	: Hoek & Brown sabiti
<b>mb</b>	: Hoek & Brown sabiti
<b>PI</b>	: Plastisite indeksi
<b>PL</b>	: Plastik limit
<b>Qal</b>	: Alüvyon
<b>Qy</b>	: Yamaç Molozu
<b>RQD</b>	: Kaya kalite göstergesi
<b>SRF</b>	: Gerilme azaltma faktörü
<b>T</b>	: Örselenme Kalınlığı
<b>Teom</b>	: Midyat Grubu Kireçtaşı
<b>Yd</b>	: Yapay Dolgu

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### BATMAN-HASANKEYF-GERCÜŞ-MİDYAT KARAYOLU GÜZERGÂHINDAKİ YÜKSEK ŞEVLERİN DURAYLILIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Aykut EKE

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atiye TUĞRUL

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat YILMAZ

Anadolu topografyası geçirdiği jeolojik evrimi sebebiyle son derece engebeli bir morfolojiye sahiptir. Bu durum, güzergâhları genellikle morfolojiden bağımsız olarak belirlenen mühendislik yapılarının çalışıldığı alanlarda şev yarmalarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Mühendislik yapılarının ömrünü uzatmak ve güvenliği sağlamak amacıyla oluşan bu şevlerin duyarlılığının incelenmesi önemli bir konudur.

Bu bağlamda tez kapsamında Batman ili sınırları içerisinde kalan Batman-Mardin Yolu üzerindeki mevcut karayolunun genişletilmesine bağlı olarak yükseklikleri 60 metrenin üzerinde oluşacak olan şevlerin duraylılıkları farklı analiz programları kullanılarak çalışılması ve analiz programlarının karşılaştırılarak kaya ortamlarındaki şev duraylılıklarının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanındaki kireçtaşı kaya birimlerinin jeolojik ve mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılarak analizlerde kullanılacak olan ve kaya kütlelerini tarif eden dayanım özelliklerinin tespiti yapılmış, parametreler belirlenmiştir.

Kaya ortamında çalışılması sebebiyle analizlerde kaya ortamını daha iyi yansıttığı düşünölen yenilme modeli olan Hoek-Brown yenilme modeli kullanılmış olup analizler RS2 (Phase) ve Plaxis programlarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrutusunda programların Hoek-Brown yenilme modeli ile çalışmaları kıyaslanmıştır. Bu kıyası çeşitlendirmek adına ise kaya ortamı Plaxis analiz programında Hardening Soil zemin modelinde de analiz edilmiş ve kıyasın nihai sonucuna dahil edilmiştir.

Çalışmanın sonunda Plaxis'teki Hoek & Brown yenilme modeli sonuçlarına göre bölgedeki yüksek şevlerin uzun dönem duraylılık şartlarını sağlamadığı belirlenmiştir. RS2 (Phase) programında Hoek & Brown yenilme modeli ve Plaxis programında Hardening Soil zemin modeli ile yapılan duraylılık analizlerinin sonuçlarına göre ise uzun dönemde duraylı olduğu sonucuna varılmıştır.

Haziran 2019, 95 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Şev Duraylılığı, Sonlu Elemanlar Analizi, GSI, Kaya Kütle, Hoek&Brown Yenilme Kriteri, Plaxis, RS2



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **ASSESSMENT of STABILITIES of STEEP SLOPE ALONG the BATMAN-HASANKEYF-GERCUS-MIDYAT HIGHWAY**

**Aykut EKE**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Geological Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Atiye TUĞRUL**

**Co-Supervisor : Dr. Murat YILMAZ**

Due to the geological evolution of the Anatolian topography, it has a highly uneven morphology. This situation leads to the formation of slopes in the areas where engineering structures are determined. Examining the stability of these slopes to extend the life of engineering structures and to ensure safety is an important issue.

Within the scope of the thesis, the stability of the slopes to be over 60 meters on the Batman-Mardin Road which are located within the boundaries of the Batman province, have been studied by using different analysis programs. It is aimed to determine the slope stability in the rock environment by comparing the analysis programs. For this purpose, geological and engineering geology studies of limestone rock units in the study area were conducted. The parameters to be used in the analyses were determined.

Hoek-Brown failure model which is the reflection model which is thought to better reflect the rock environment was used in the analyzes. The analyzes were performed in RS2 (Phase) and Plaxis programs. According to the results, the studies of the programs with the Hoek-Brown failure model were compared. In order to diversify these rocks, rock media was also analyzed in the Hardening Soil model in Plaxis analysis program.

At the end of the study; According to the results of Hoek & Brown failure model in Plaxis, it is determined that high slopes in the region do not meet the stability conditions. Slopes are stable according to the results of the stability analysis performed with the Hoek & Brown failure model in the RS2 (Phase) and the Hardening Soil model in the Plaxis program.

July 2019, 95 pages.

**Keywords:** Slope Stability, Finite Element Analysis, GSI, Rock Mass, Hoek&Brown Failure Criterion, Plaxis, RS2

## 1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun ve ihtiyaçların artmasına bağlı olarak teknolojinin de gelişmesiyle mühendislik çalışmalarının her alanında ilerleme kaydedilmiştir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yol yapım çalışmaları artan nüfus ile birlikte fazlalaşan araç trafiğinin çözümüne yönelik önemli bir yere sahiptir. Jeoloji mühendislerinin çalışma alanlarından birini oluşturan yol yarmalarındaki şev duraylılıklarının incelenmesi artan mühendislik yapıları kapsamında ihtiyacı karşılamak ve güvenli mühendislik yapıları meydana getirebilmek adına büyük önem arz etmektedir.

Anadolu topografyası bulunduğu coğrafik konumu sebebiyle jeolojik olarak son derece engebeli, yükseltilerin devamlı olarak gözlendiği bir morfolojiye sahiptir. Ulaşım için gerçekleştirilen mühendislik projeleri çoğu zaman morfolojiden bağımsız, insan ihtiyacına yönelik tasarlanmakta olup yapımları sırasında birçok; köprü, köprüyol (viyadük), tünel gibi sanat yapıları, şev yarmaları ve dolgu kesitleri oluşmaktadır. Bu bağlamda, mühendislik çalışmalarının ekonomisi, dayanımı, konforu ve uzun ömürlülüğü açısından jeolojinin iyi tarif edilmesi ve birimin mühendislik özelliklerinin iyi bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir.

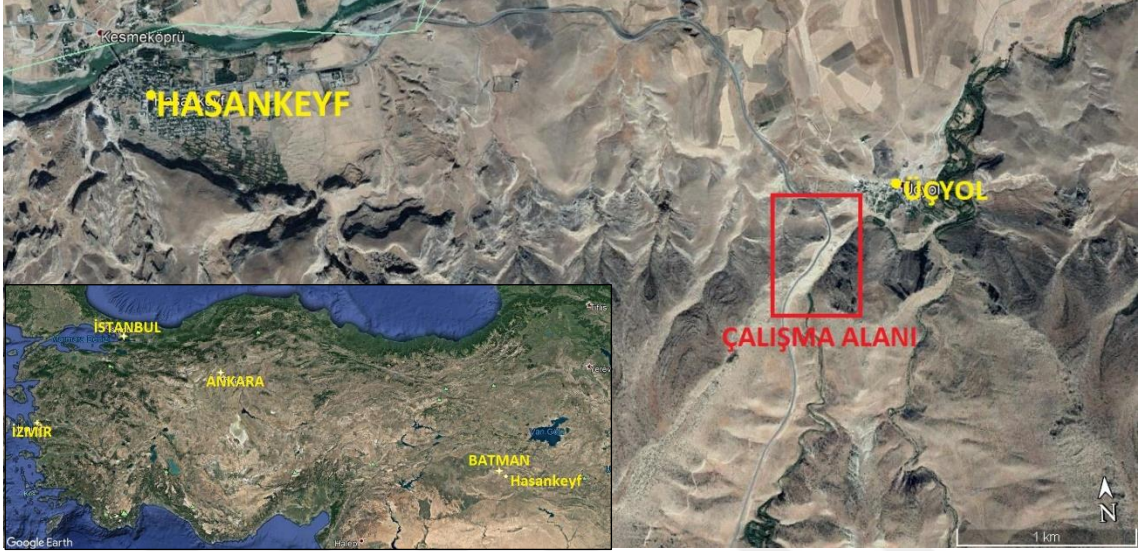
### 1.1.ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Tez kapsamında; Batman ili sınırları içerisinde yer alan Batman-Mardin Yolu üzerindeki, yüksekliği 66 metreyi bulan ve kireçtaşı birimlerinden oluşan, yüksek şev yarmalarında çalışılmıştır.

Mevcut yolun genişletilme ihtiyacı sonucu, kazısı yapılacak kaya şevlerinin duraylılıklarının farklı analiz programları kullanarak incelenmesi ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, çalışma alanındaki kireçtaşlarından oluşan kaya şevlerinin duraylılığının tespitine yönelik kaya malzemesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla 24,7 m<sup>2</sup>'lik alanda jeoloji haritalaması ve enkesit çalışmaları yapılmış; kinematik analizlerde kullanılmak üzere süreksizlik ölçümleri, kayanın dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla sondajlar ve laboratuvar deneyleri gibi mühendislik çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

## 1.2.ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE KONUMU

Tez çalışması Batman ili sınırları içerisinde, Hasankeyf bölgesindeki Üçyol köyü güneybatısında kalan, Batman-Mardin Yolu üzerindeki yol yarmalarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1). Batman ili kuzeyde Muş, güneyde Mardin, doğuda Bitlis ve Siirt, batıda ise Diyarbakır illeri ile çevrilidir.



Şekil 1.1: Çalışma alanının Google Earth üzerinde yer bulduru haritası.



Şekil 1.2: Çalışmanın yapıldığı yol güzergâhının Google Earth görüntüsü.

Hasankeyf, doğuda Siirt'in Erüh ve Kurtalan ilçeleriyle, güneyde Gerçüş ilçesi, batıda Batman'ın merkeziyle, kuzeyde ise Beşirici ilçesi ile çevrilidir.

Yüksek dolguların bulunduğu çalışma alanında yolun genişletilmesi ile birlikte 66m'yi bulan yarma kazıları oluşacaktır. Çalışmanın konumu Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

### 1.3.İKLİM VE BİTKİ ÖRTÜSÜ

Batman ili 41° 10' ve 41° 40' dakika doğu boylamları ile 38° 40' ve 37° 50' kuzey enlemleri arasında yer alır.

Batman ilinde Akdeniz iklim özellikleri görülmektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Yağışlar yükseklerde kar, ovalarda yağmur şeklinde gerçekleşmektedir. Senelik ortalama sıcaklık 16,4°C olup yağış miktarı 489,4 milimetredir. İl toprakları bozkırlarla kaplı olup bu bitkiler bölge habitatının hâkim bitki çeşidini oluşturmaktadır. Dağlık bölgelerde az olsa da meşelikler vardır.

**Tablo 1.1:** Batman ili 1959 – 2018 yılları arası ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (mgm.gov.tr).

Sakarya	Ortalama Sıcaklık	Ortalama En Yüksek Sıcaklık	Ortalama En Düşük Sıcaklık	Ortalama Güneşlenme Süresi	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması
	[°C]	[°C]	[°C]	[Saat]		[mm]
Ocak	2,6	7,6	-1,5	3,2	11,1	61,2
Şubat	5,0	10,6	0,0	4,6	10,4	66,8
Mart	9,6	15,9	3,7	5,6	11,7	75,0
Nisan	14,6	21,7	7,9	7,3	11,5	72,8
Mayıs	19,8	27,7	11,5	9,0	8,5	47,3
Haziran	26,6	34,9	16,00	11,5	2,3	7,1
Temmuz	31,2	39,2	20,3	11,9	0,4	0,6
Ağustos	30,2	39,2	19,8	11,2	0,4	0,6
Eylül	24,9	34,5	15,1	9,8	1,1	3,7
Ekim	17,7	26,6	10,1	6,9	5,9	33,3
Kasım	9,8	17,0	4,1	5,2	7,6	55,0
Aralık	4,6	9,6	0,4	3,0	10,2	66,0
YILLIK	16,4	23,7	8,9	89,2	81,1	489,4

### 1.4.MORFOLOJİ VE ULAŞIM

Batman ilinin kuzey ve kuzeydoğusu yüksek, sarp; güney bölgesi ise engebeli olup kuzeyde ve güneyde dağlıktır. Bu bölgedeki en yüksek noktalar Sason Dağı (Aydınlık Dağları) (2500m), Meleto (2967m), Kuşaklı Dağı (1947m), Avcı Dağı (2121m), Meydanok Tepesi (2042m), Kortepe (2082m), Raman Dağı (1288m)'dir.

İl merkezinin bulunduğu ve Batman ayı Vadisi ve Dicle Vadisi ile birleşmeden önce genişleyen bölümde meydana gelen Batman Ovası ilin en büyük ovasıdır. İl akarsu yönünden fazla zengin olmayıp Batman'ın Dicle Nehri ile Batman ayı ilin güneyindeki iki önemli akarsu kaynağıdır. Batman ayı'nın oluşturduğu vadi Diyarbakır–Batman il sınırını meydana getirmektedir (coğrafya.gen.tr).

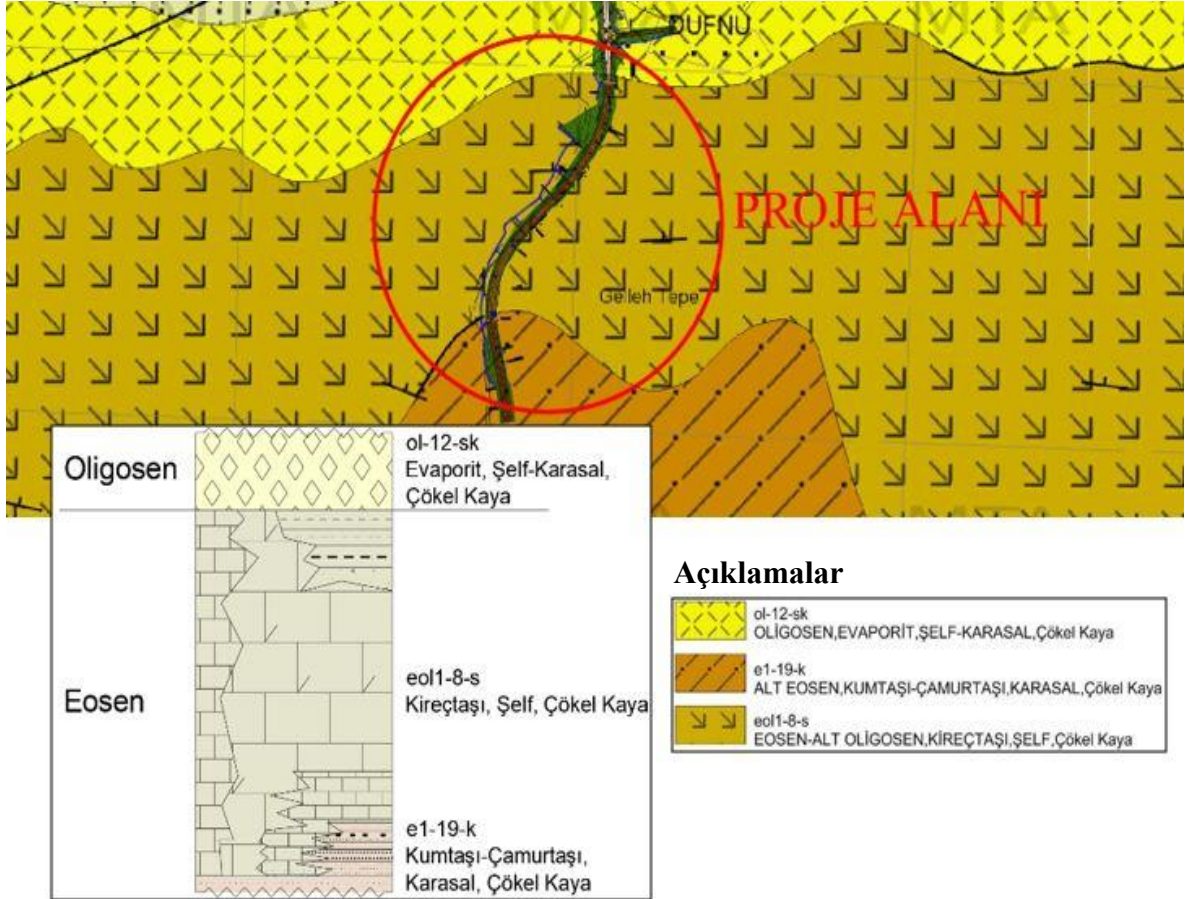
Batman iline ulaşımı hava, kara ve demir yolları ile sağlamak mümkündür. İlin kuzey, doğu ve batısındaki vilayetlerden gelen yollar şehir merkezinden geçmekte olup Batman il merkezinden bu yönlere karayolu ile seyahat gerçekleştirilebilir. Ayrıca Haydarpaşa-Kurtalan D.D.Y. hattı Batman il merkezinden geçmekte olup tren ile yolculuk yapılabilmektedir (batmankulturturizm.gov.tr).

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1.JEOLOJİ VE MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Jeolojik tanımlamalar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 1:100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Mardin – M46 paftasından ve çalışma alanında yapılan jeolojik haritalama çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında yapılmıştır. Yapılan bu tanımlamalar 2.1.1 Bölgesel Jeoloji başlığı altında verilmiş olup arazi gözlemleri ve çalışma alanında karşılaşılan birimler 2.1.2 Çalışma Alanının Jeolojisi başlığı altında detaylı olarak anlatılmıştır.

Çalışma alanının MTA tarafından yapılan 1:25000 ölçekli jeoloji haritası ve çalışılan alanı temsilen (değiştirilerek) çizilen genelleştirilmiş stratigrafik kesit aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.1: 25 000 ölçekli jeoloji haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Mardin – M46-c2 Paftası).

### 2.1.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı Batman, Hasankeyf çevresini kapsamakta olup Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgede Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait Besni formasyonu (Orta-Geç Maastrichtiyen), şeyl, marn kumtaşı ve siltaşlarından oluşan Germav formasyonu (Orta Maastrichtiyen-Paleosen), Eosen yaşlı karbonatların oluşturduğu ve çalışma alanının birimlerini de kapsayan Midyat grubu ve kırıntılı kayalardan oluşan Şelmo formasyonu (Orta-Geç Miyosen) yüzlek vermektedir.

Bölge Miyosen döneminde kuzey-güney doğrultudaki sıkışma hareketinden etkilenmiştir. Bitlis-Pötürge-Malatya düşük açılı faylarının Güneydoğu Anadolu otoktonu üzerine yerleşimi sonucu kıvrımlı yapıları oluşturan (antiklinal, senklinal) doğu-batı eksen gidişli bindirmeler gelişmiştir.

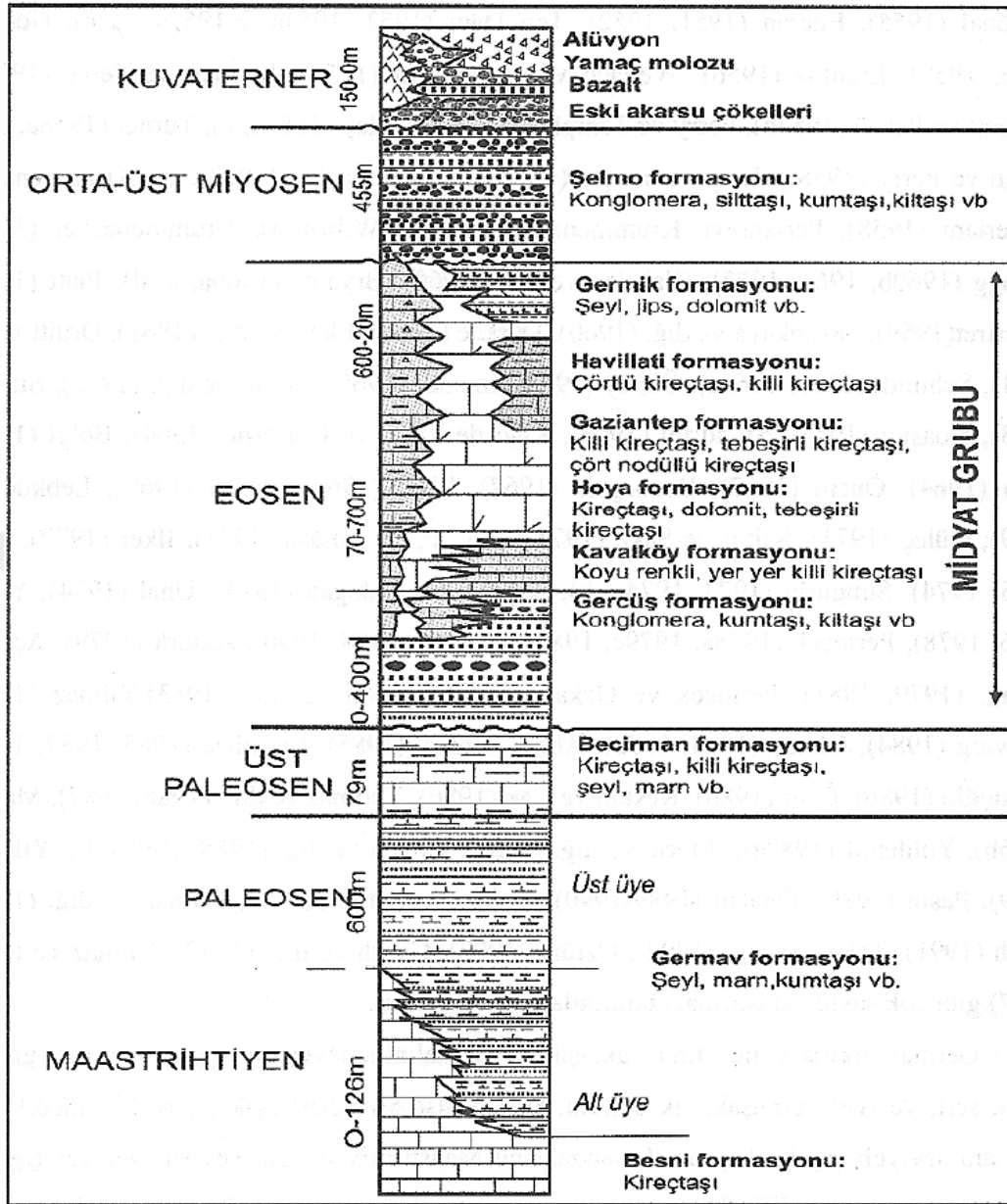
Güneydoğu Anadolu otoktonu aynı zamanda Arap platformunun uzantısı olup Prekambriyen Tersiyer yaşlı, platform tipi çökellerden oluşmaktadır. Güneydoğu Anadolu otoktonu çalışma alanının yer aldığı Batman, Hasankeyf bölgelerinde alttan üste doğru; Besni formasyonu, Germav formasyonu, Becirman formasyonu, Midyat grubu ve Şelmo formasyonu ile temsil edilir (Şekil 2.2).

Bölgede gözlenen Güneydoğu Anadolu otoktonu temelinde kireçtaşları ile temsil edilen Besni formasyonu Periam ve Krummenacher (1958) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon; Üst Mesozoyik Kalkerleri (Tolun, 1955), Maastrichtiyen kireçtaşı (Harrison, 1955; Bryant, 1960a), Rudist formasyonu (Krummenacher ve Periam, 1958), Köşelli rudist yatakları (Gossage, 1959), Şimşim formasyonu, Besni kalkerleri (Ketin, 1964), Atan kalkerleri (Atan, 1969), Kıraçbanısı seri (Janetzko, 1972), Detritik zoojen kalker (Aslaner, 1973), Formasyon de Yalaz'ın üst seviyeleri formasyonu (Özlemür ve Selçuk, 1980-1981) gibi birçok isim altında incelenmiştir.

Krem, bej, gri, kirli beyaz, sarı renkli, orta-kalın tabakalı, kırılğan, yer yer karstik boşluklu, fosil içeriği olan kireçtaşlarından oluşan Besni formasyonu üst kesimlerinde tebeşirli, silisleşmiş düzeyler izlenmektedir. Bazı alanlarda birim çakıllı kireçtaşları ya da Orbitoides'li kumtaşı ve kumlu kireçtaşları ile başlamakta olup üstte yer yer kalkarenit, kumlu-killi kireçtaşlarını kapsar.

Birim, sığ deniz- resifal kompleks-şelf kenarı ortamında çökelmiştir (Salem ve diğ. 1986; Naz, 1986).





**Şekil 2.2:** Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesit (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü No:69 Mardin – M46 Paftası).

Formasyon, Terbüzek formasyonu üzerinde uyumlu, üstte Germav formasyonu tarafından yer yer uyumlu-yer yer de uyumsuz olarak örtülür. Germav formasyonu ile yanal yönde geçişlidir. Kalınlığı 15-160m arasında değişmekte olan Besni formasyonu yanal yönde Haydarlı, Germav ve Garzan formasyonlarına geçmektedir.

Stratigrafik olarak Besni formasyonunun üstünde yer alan Germav formasyonu kumtaşı seviyeleri olan marn ve şeyllerden oluşmaktadır. Birim ilk olarak Maxson (1936) tarafından

adlandırılmıştır. Formasyonun bölgede karşılaşılan özdeş birimleri Mason (1930) tarafından Yeşilimsi şeyl, Taşman (1933) tarafından Siyah Şeyller, Schmidy (1935b) tarafından Kalkerli marn, Arni (1940) tarafından Şırnak marnları olarak isimlendirilmiştir.

Germav formasyonu; yeşilimsi gri, mavimsi gri, gri renkli, sık dokulu, karbonatlı, üst seviyeleri açık gri renkli, ince kumlu marn ara seviyeleri olan şeyl birimlerinden oluşmaktadır. Kalınlığı 0-1745 m arasında değişen birimin alt kayaç birimi ile ilişkisi yer yer uyumlu yer yer uyumsuz olup üst kayaç birimi ile aynı ilişkiyi göstermektedir.

Güven ve diğ. 1991a makalelerinde birimin derin deniz-dernizaltı yamacı veya denizaltı yelpazerleri-derin deniz fan-deltayık-inter-flüvyal ortamlarda çökeldiğini belirtmişlerdir.

Germav formasyonunun üzerinde yine Maxson (1936) tarafından adlandırılan ve killi kireçtaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı birimlerinden oluşan Becirman formasyonu yer almaktadır. Birim Mardin üst kireçtaşı (Schmidt, 1935a), Dolomitik kireçtaşı (Jordan, 1936), Kireçtaşı-marn fasiyesi (Tromp, 1940), Algli kireçtaşı (Ortynsky, 1947), Gercüş formasyonu Vecirman kireçtaşı üyesi (Badgley, 1957a,b) isimleri ile de çalışılmış olup kalınlığı 0-250 metre arasında değişmektedir.

Becirman formasyonuna ait birimler altında bulunan germav formasyonunun üst seviyeleri ile uyumlu ve yer yer yanal geçişlidir. Üstünde bulunan Midyat grubunun alt kesimlerini oluşturan Gercüş formasyonu ile birim sınırı uyumsuzdur.

İlk kez Maxon (1936) tarafından adlandırılan ve genelde karbonatlardan oluşan Midyat Grubu Becirman formasyonunun üstünde yer almakta olup inceleme alanının jeolojik birimlerini oluşturmaktadır. Midyat grubu Güneydoğu Anadolu otoktonunda genellikle Eosen yaşlı karbonatlarla temsil edilmektedir. İlk kez Gossage(1956) tarafından gruplandırılan Midyat grubu, Yılmaz ve Duran (1997)'a göre; Gercüş formasyonu, Gaziantep formasyonu, Kavalköy formasyonu, Hoya formasyonu, Havillati formasyonu ve Germil formasyonu olarak 6 formasyona ayrılmıştır.

Yayılm gösterdiği alanlarda farklı kireçtaşı fasiyeslerinden oluşan Midyat grubu'nun taban kesiminde Becirman formasyonunu uyumsuz olarak örten Gercüş formasyonu bulunmaktadır. Gercüş formasyonu Maxson (1936) tarafından adlandırılmış olup ince-orta kalın tabakalı, yeşil,

yeşilimsi gri, bej, kırmızı ve pembe renkli konglomera, kiltası, silttaşı, kumtaşı, marn ve şeyl birimlerinden oluşmaktadır.

Karasal ortamda gelişmiş bu birimlerin üzerinde düşey ve yanal yönde girikli olarak gözlenen kireçtaşı fasiyesleri bulunmaktadır. Bu fasiyesler Midyat grubu kireçtaşlarını oluşturmakta olup Midyat grubunun üst kesimlerinde Oligosen yaşlı kabul edilen dolomit, jips ve şeyllerden oluşan Germik formasyonu yer almaktadır. Bolgi (1961) tarafından adlandırılan formasyon 465 metreye kadar değişen kalınlıklarda gözlenmektedir.

Midyat grubu Eosen yaşlı kabul edilmekte olup Oligosen yaşlı kaya birimlerini de kapsamaktadır. Grubun birimleri akarsu-alüvyon yelpazesi, sığ deniz, sığ normal deniz, şelf kenarı / şelf önü derin deniz gibi çok değişik ortamlarda çökelmiştir (Duran ve diğ., 1988, 1989).

Bölge stratigrafisinin en üstünde Şelmo formasyonu yer almaktadır. Altında bulunan birimlerle uyumsuz olan formasyon yer yer çapraz tabakalı, kırmızı, gri, kızıl kahve, yeşil, yeşilimsi gri renkli konglomera, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birim içerisinde yer yer jips seviyeleri gözlenmekte olup yayılım gösterdiği alan boyunca bazen konglomera bazen kumtaşı, şeyl egemenliğindedir.

Genelde karasal ortam fasiyesi birimlerinden oluşan Şelmo formasyonu plaj kumları, gel-git düzlüğü ve playa ortamlarını yansıtmaktadır. Kalınlığı 1403 metreye ulaşan birim Orta-Geç Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.

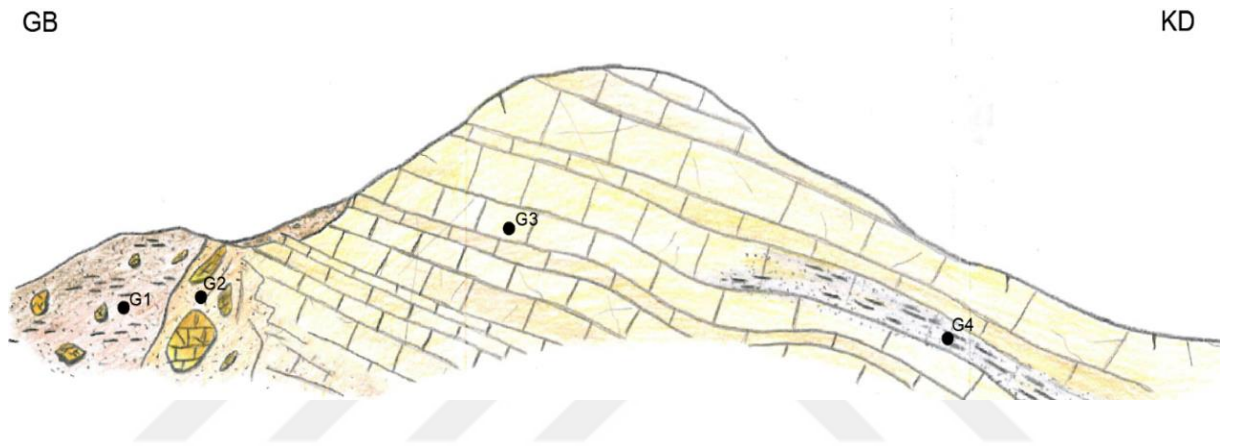
Tüm bu birimlerin üzerinde ovalarda, çöküntü ortamlarında, akarsu yataklarında birikmiş olan çakıl, kum, çamur birikintilerinden oluşan güncel Alüvyon çökelleri yer almaktadır.

### **2.1.2. Çalışma Alanının Jeolojisi**

Tez kapsamında çalışılan alanda Midyat grubu kireçtaşları, yamaç molozu, alüvyon ve yapay dolgu birimleri gözlenmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin işlendiği çalışma alanına ait 'Mühendislik Jeoloji Haritası' ve nümerik analizler için de kullanılan jeoloji en kesitleri tez ekinde sunulmuştur (EK 1; EK 3-6).

Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.3) çalışma alanını tarifleyen ve yaklaşık 1 kilometrelik karayolu boyunca gözlenen mostranın jeoloji taslak enkesiti verilmiştir. Şekilde gösterilen G2, G3 ve G4 bölümlerinde bölgenin anakaya birimini oluşturan Midyat Grubu kireç taşı gösterilmiştir.

G2 kesiminde zayıf kireçtaşı, G3 kesiminde sağlam kireçtaşı yer almakta olup G4 kesiminde kireç, tebeşirleşmiş kireçtaşı tariflenmiştir. G1 kesiminde kireçtaşı birimlerini üzerleyen yamaç molozu yer almaktadır.



Şekil 2.3: Çalışma güzergâhını tarif eden taslak enkesit çizimi (ölçeksiz).



Şekil 2.4: Çalışma alanı jeoloji birimleri (kuzey bakışlı).



Şekil 2.5: Yamaç molozu (G1), zayıf kireçtaşı (G2) ve sağlam kireçtaşı (G3) (batı bakışlı).



Şekil 2.6: Sağlam kireçtaşı (G3) (kuzey bakışlı).

Çalışma alanında gözlenen kaya ve zemin birimleri yukarıda da belirtildiği gibi Midyat grubu kireçtaşı, yamaç molozu, alüvyon ve yapay dolgu birimlerinden oluşmakta olup aşağıdaki başlıklar altında yaşlıdan gence doğru sıralanarak detaylıca anlatılmıştır.

#### **2.1.2.1. Midyat Grubu Kireçtaşı (Teom) (Eosen)**

Çalışma alanında stratigrafik olarak en altta Midyat grubuna ait Eosen yaşlı kireçtaşı birimleri yer almaktadır. Sarı, kahverengimsi sarı, bej, gri, sarımsı gri renklerde gözlenen ve karasal olarak çökelmiş olan bu birim içerisinde herhangi bir makrofosil içeriğine rastlanmamıştır.

Birim kendi içerisinde farklı kaya kalitesinde gözlenmekte olup Şekil 2.3’de tarif edildiği üzere çalışma alanındaki Midyat grubu kireçtaşı birimleri G2, G3 ve G4 olarak bahsedilmiştir.



**Şekil 2.7:** Arazideki Midyat grubu sağlam kireçtaşı (G3) görünümü.

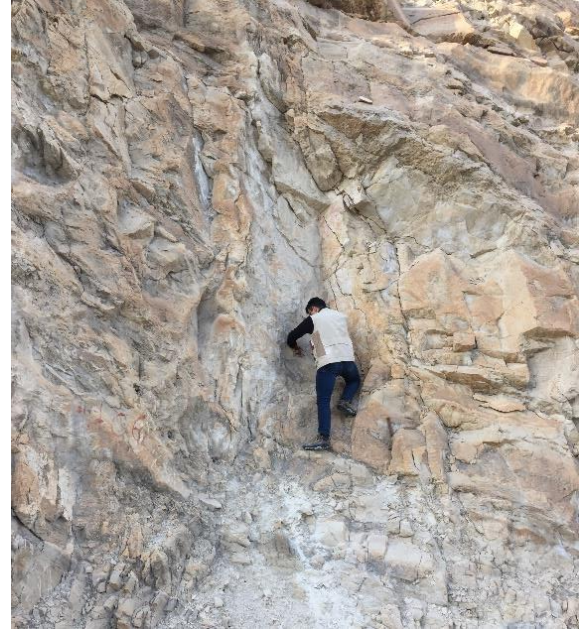


**Şekil 2.8:** Midyat grubu kireçtaşı birimi kuzeybatı eğimli tabaka sistemleri (batı bakışlı).

Çalışma alanında yapılan mühendislik çalışmaları sırasında kireçtaşlarında tabaka, çatlak ölçümleri yapılmıştır. Bunun sonucunda 2 yönde çatlak ile KB eğimli tabaka düzlemleri belirlenmiş olup toplamda 3 farklı süreksizlik sistemine rastlanmıştır.



(a)

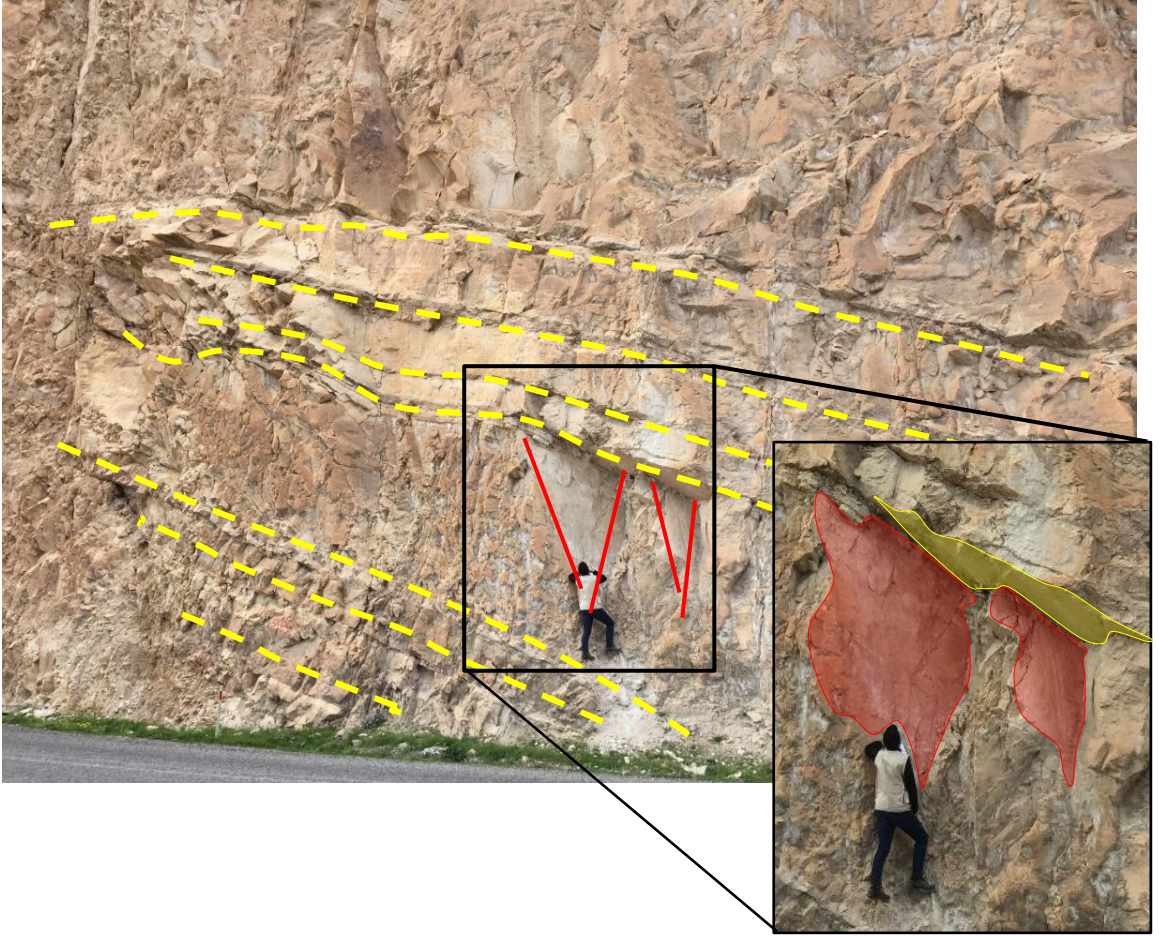


(b)

**Şekil 2.9:** (a) Tabaka ölçümü, (b) hâkim çatlak sistem ölçümü çalışmaları.

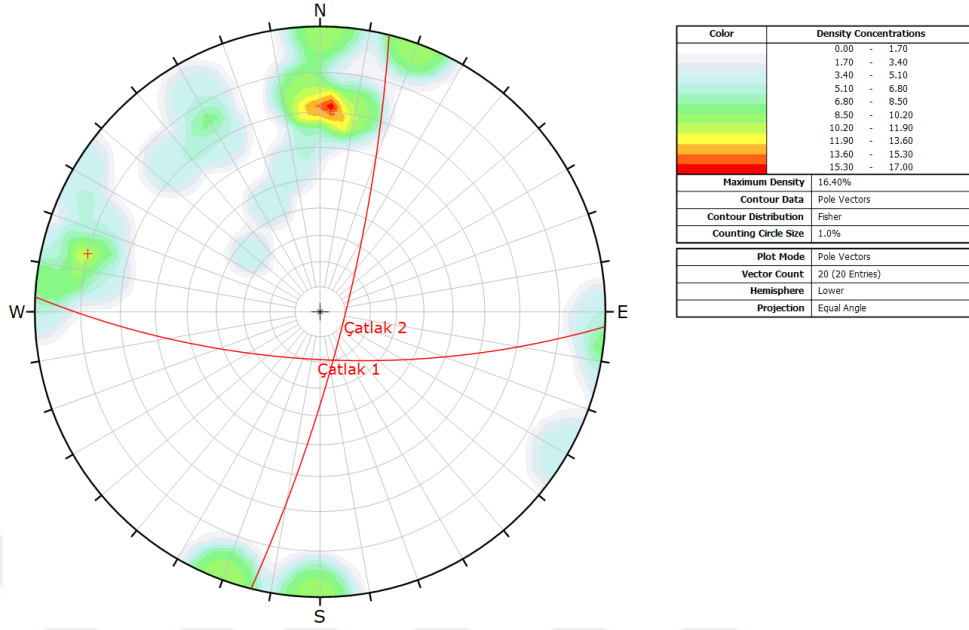
Yapılan ölçümler tez ekinde sunulan mühendislik jeolojisi haritasına işlenmiştir (EK 1). Bununla birlikte çalışma alanını temsil eden hâkim süreksizlik ölçümleri Dips programı kullanılarak tespit edilmiş ve aşağıdaki tabloda özetlenmiş olup Şekil 2.10 'da mostra üzerindeki görünümü Şekil 2.11, Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'de 2D stereonet üzerindeki görünümü gösterilmiştir.

Birimin tabaka kalınlıkları 1 metreden 4-5 metreye kadar çıkmaktadır. Tabaka araları kil, silt dolgulu olup dolgu kalınlığı 1-3 cm arasında değişmektedir. Çatlak sistemlerinin açıklığı kapalı (sıkı) olarak gözlenmiştir. Tabakaların devamlılıkları ise >20m olup çok yüksek devamlılık göstermektedir. Çalışma alanına ait süreksizlik özelliklerinin özeti Tablo 2.1'de verilmiştir.

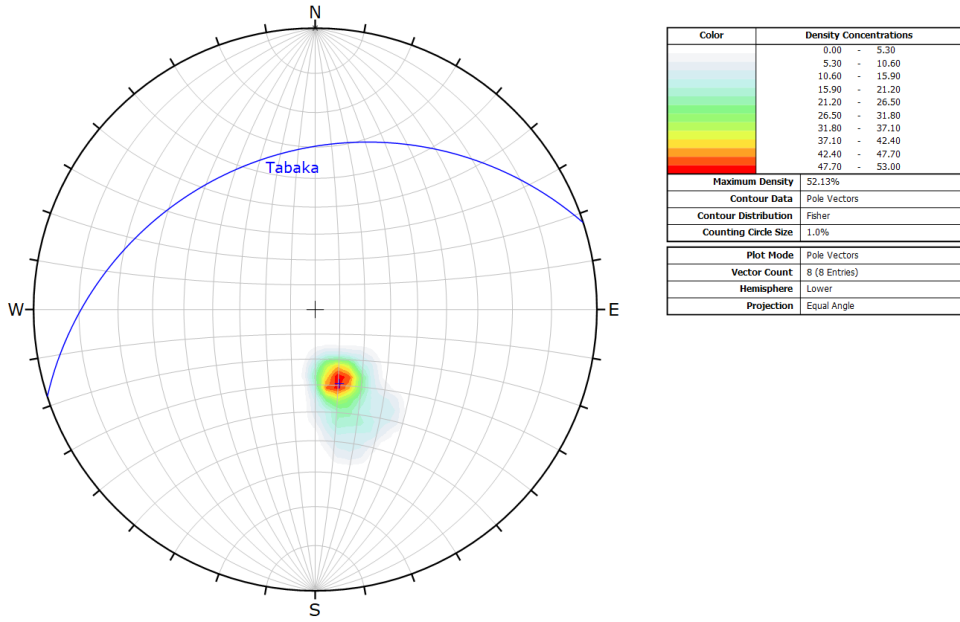


**Şekil 2.10:** Midyat grubu kireçtaşı tabakaları (sarı) ve çatlak sistem & düzlemleri (kırmızı) (KB bakışlı).

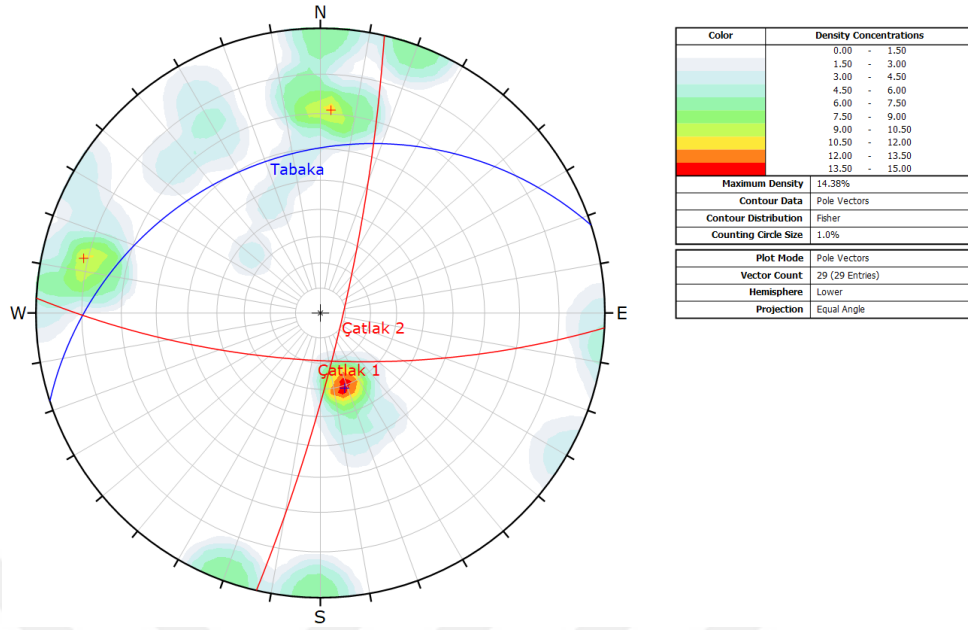




Şekil 2.11: Hâkim çatlak sistemleri (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0).



Şekil 2.12: Hakim tabaka sistemi (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0).



Şekil 2.13: Çalışma alanına ait hâkim süreksizliklerin dağılımı (2D stereonet üzerinde; Dips 6.0).

Tablo 2.1: Bölge için belirlenen hâkim süreksizlikler ve genel özellikleri özet tablosu.

Tip	Aralık (m)	Devamlılık	Dolgu özellikleri	Pürüzlülük	Eğim / Eğim yönü
Çatlak 1	50 cm.'den birkaç metreye kadar	min. >1 m , max 3-10 m	çoğunlukla ezik malzeme; kil, silt	genelde düz-az dalgalı, az miktarda dalgalı- yer yer pürüzlü	71 / 183
Çatlak 2		düşük devamlı- orta devamlı	kalsit dolgulu (1-3 cm)		81 / 103
Tabaka 1					31 / 342



Şekil 2.14: A kesiminin sağlam kireçtaşını, B kesiminin nispeten sağlam kireçtaşını temsil ettiği mostra görünümü (I).

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te A harfi ile gösterilen kesim G3, B harfi ile gösterilen kesim ise G2 olarak bahsedilen kesimler olup çalışma alanındaki mostrada gözlenen Midyat grubu kireçtaşı kendi içerisinde çok farklı kaya malzemesi özellikleri sergilemektedir. Kaya, bazı kesimlerinde çok sağlam gözlenirken bazı kesimlerinde ise oldukça dayanımsız olabilmekte; karstik boşlukların (erime boşlukları), tebeşirleşmiş kesimlerin de bünyesinde bulundurduğu bir mostra dokusu sergilemektedir.

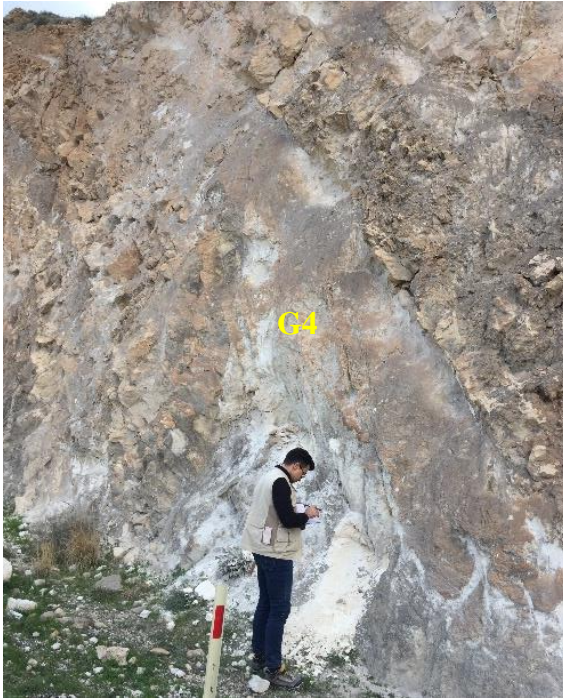


**Şekil 2.15:** A kesiminin sağlam kireçtaşını, B kesiminin nispeten sağlam kireçtaşını temsil ettiği mostra görünümü (II).

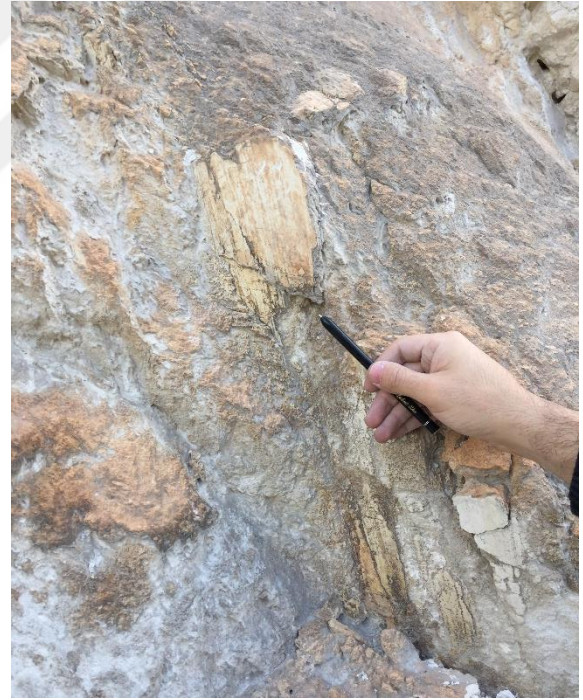
Çalışma alanındaki kireçtaşı belirtildiği üzere farklı kaya kalitelerinde gözlenmektedir (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15). Bu farklılıktan kaynaklı olarak mostra farklı yerlerinde farklı dayanım özellikleri sergilemektedir. Çalışmalar sırasında kayanın gözleme dayalı mühendislik özelliklerini belirlerken kayanın özellikleri dikkate alınmış olup mostra boyunca gözlenen en zayıf kesim (G4) Şekil 2.16'te verilmiştir. Süreksizlik yüzeylerinin artış gösterdiği bu kesim tebeşirleşmiş olarak gözlenmekte, çekiç ile eşelenebilmektedir.



Şekil 2.16: Tebeşirleşmiş kireçtaşı görünümü (G4).



(a)



(b)

Şekil 2.17: (a) Tebeşirleşmiş kesim (G4), (b) süreksizlik yüzeyleri.

#### 2.1.2.2. Yamaç Molozu (Qy) (Kuvaterner)

Çalışma alanında, yolun güney kesiminde yamaç molozu birikintisi mevcut olup gösterdiği yapı aşağıdaki arazi görselindeki gibidir.



**Şekil 2.18:** Mostrada gözlenen yamaç molozu birimi.

Sarp yamaçlarda, yerçekimi etkisi ile büyük bir kısmı sarplığın eteklerine kadar dayanmış, birbirine girintili, köşeli biçimli birimlerin yer aldığı depolanma alanları yamaç molozu olarak bilinir (Ocakoğlu, 2002).

### 2.1.2.3. Alüvyon (Qal) (Kuvaterner)

Akarsu yataklarında, çöküntü alanlarında ve ovalarda birikmiş çakıl, kum, çamur birikintileridir. Çalışma alanı giriş bölümünde tariflendiği üzere bir yol yarması olup yolun kuzey tarafı mostraya bakmakta, güney tarafı ise mevsimler su akışının olduğu vadiye bakmaktadır. Vadi tabanı güncel çökellerden oluşmakta olup bölgeye ait bir görünüm aşağıda sunulmuştur Şekil 2.19.



**Şekil 2.19:** Yolun doğusunda kalan vadi ve tabanındaki güncel çökeller (Kuzey bakışlı).

#### **2.1.2.4. Yapay Dolgu (Yd)(Güncel)**

Çalışma alanının stratigrafik olarak en üstünde yol dolgusu bulunmakta olup yol dolgusu kum boyutundan blok boyutuna kadar değişmekte olan boyutlardadır.

#### **2.1.3. Hidrojeoloji**

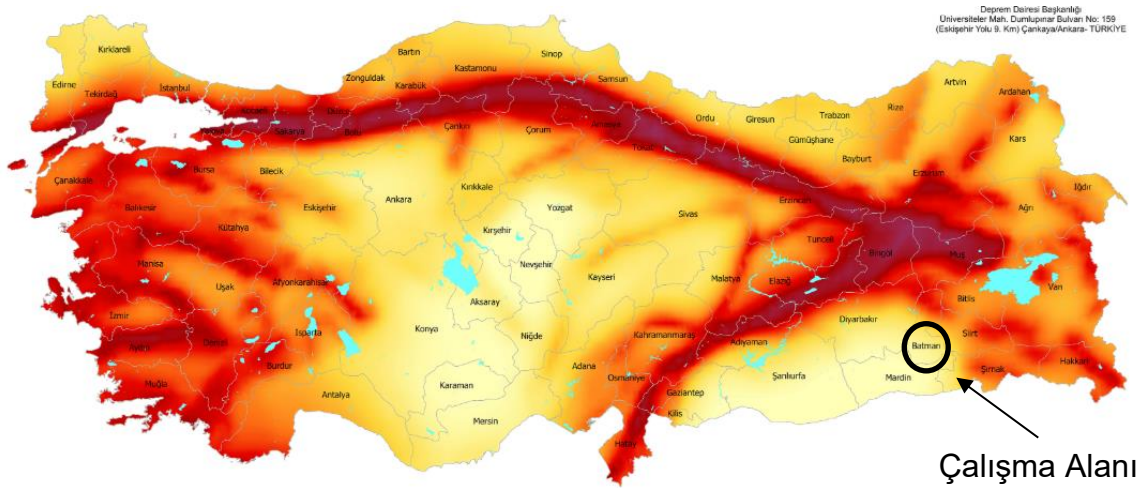
Çalışma alanındaki yol mostrasının yanında vadi yer almakta olup vadi tabanı, mevsimsel su akışları ile gelişen güncel dere çökelleri, alüvyon ile depolanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği bölge vadi tabanından en düşük 48 metre en yüksek 120 metre kadar yukarıda olup yapılan arazi çalışmaları sırasında herhangi bir su gelimine rastlanmamıştır. Arazi çalışmaları bahar aylarında gerçekleştirildiği göz önüne alınarak mevsimsel olarak yüzey su akışlarının olduğu ve incelemelerden yola çıkarak bunun kayaç yüzeyinde alterasyona sebep olduğundan bahsedilebilir.

Ayrıca 3.1.2 Sondajlar bölümünde detaylıca verilen bölgede yapılmış 11 adet sondajda yeraltı suyu verisine rastlanmamıştır.

#### **2.1.4. Depremsellik**

Koçali-Karadut napları Üst Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen'de Arap plakası ile Anadolu-Torid platformu arasında oluşmuş olup bölge paleozoyik-mesozoyik dönemlerinde, tektonik olarak duraysızdır. Miyosen'de Neotetis'in kuzey kolu ile Anadolu-Torid platformunun oluşmasına sebep olduğu Bitlis-Pötürge-Malatya napları Güneydoğu Anadolu otoktonu üzerine yerleşerek bölgenin kırılmasına ve kıvrımlanmasına sebep olmuştur (Türkiye Jeoloji Haritası Mardin-M46 paftası, 2007).

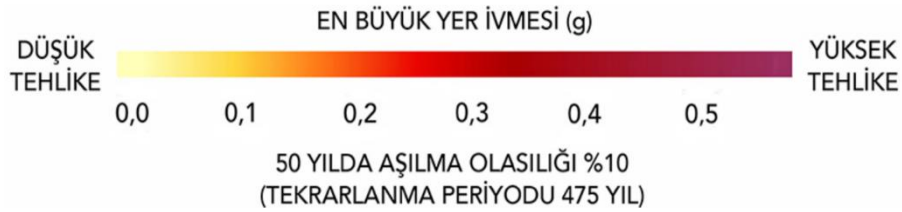
En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yeni harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.



Şekil 2.20: Türkiye Deprem Tehlike Haritası (<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>).

Yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak çok daha fazla ve ayrıntılı veriyle hazırlanmıştır. Yeni haritada deprem bölgeleri yerine ‘en büyük yer ivmesi değerleri’ gösterilmiş ve çalışma alanı için en büyük yer ivmesi değeri bu haritadan seçilmiştir.

Türkiye Deprem Bölgeleri, en büyük yer ivmelerine göre aşağıda derecelendirilmiştir.



Şekil 2.21: Yer ivmesi (g) tehlike cetveli (<https://deprem.afad.gov.tr>).

Bu tez içerisinde yapılacak olan analizlerde yatay deprem katsayısı  $k_h=0,066$  olarak, AFAD Türkiye deprem tehlike haritasından, belirlenmiştir. Tablo 2.2’de ise çalışma alanının kritik kesitlerinde yapılacak sismik analizlerde güvenlik katsayılarının görüşleri verilmiştir. Bu bağlamda sismik analiz sonuçlarında güvenlik katsayısının minimum  $1.0 / 1.10$  olması şartı aranmıştır.

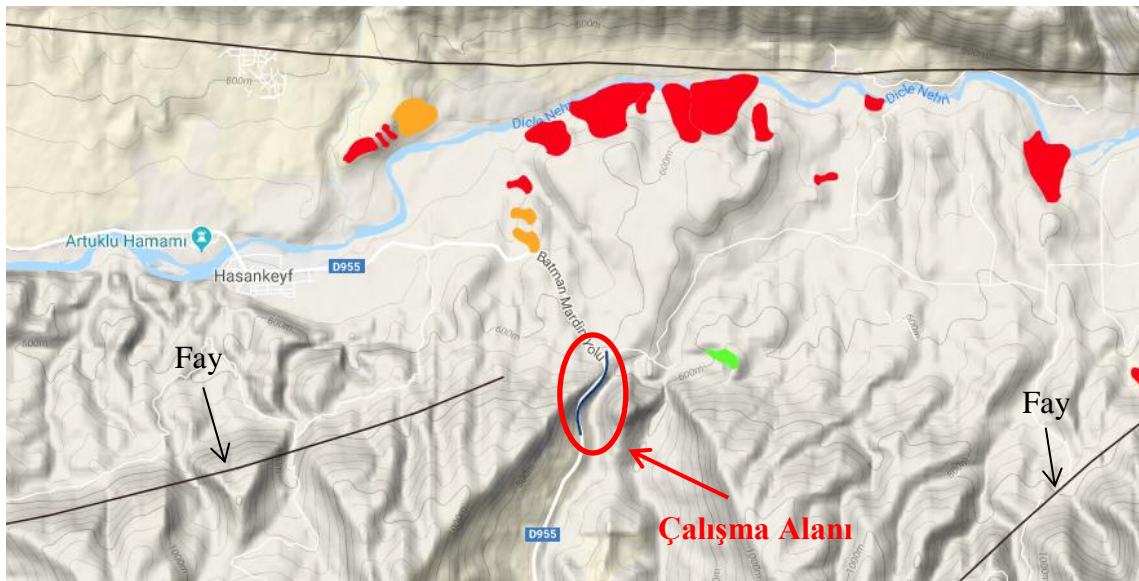
**Tablo 2.2:** Uygulamada kullanılan tipik yatay sismik katsayıları (Ch) ve güvenlik katsayıları (GS) (Abromson ve diğ., 2002).

Sismik katsayı, Ch	Görüşler
0.10	Majör depremler, GS>1.0 (Corps of Engineers, 1982)
0.15	Büyük depremler, GS>1.0 (Corps of Engineers, 1982)
0.15 – 0.25	Japonya, GS>1.0
0.05 – 0.15	Kaliforniya Eyaleti
0.15	Seed (1979), GS>1.15 ve %20'lik bir mukavemet kaybı
(1/3~1/2) PGA*	Marcusonve Franklin (1983), GS>1.0
1/2 PGA*	Hynes-Griffin ve Franklin (1984), GS>1.0 ve %20'lik bir mukavemet kaybı

\* PGA=maksimum yer ivmesi, birim g cinsinden

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından üretilen fay ve heyelan haritasına (Şekil 2.22) göre tezin çalışma alanı ve yakın çevresinde fay bulunmakta ayrıca eski heyelanlar görülmektedir.

Şekilde turuncu renk ile eski heyelanlar, kırmızı renk ile güncel heyelanlar gösterilmektedir. Siyah çizgiler fayları temsil etmektedir. Bu bağlamda çalışma alanındaki olası riskler göz önüne alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.22:** Çalışma alanı ve yakın çevresine ait fay ve heyelan haritası (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr>).



## 2.2. ŞEV DURAYLILIĞININ İNCELENMESİ VE TARİHÇESİ

Şev belirli bir eğime sahip düzenli ya da düzensiz yüzeyleri ifade eden bir terim olup kaya ortamındaki şevlerde süreksizliklerin ve kayanın mühendislik özellikleri etkisi ile birtakım yenilmeler (düzlemsel, kama ve devrilme tipi yenilmeler) gözlenebilir.

Kazı ile oluşan şevlerde duraylılığın incelenmesindeki temel hedef ufak ve büyük ölçekli yenilmelerin gerçekleşmesini engellemek olup duraylılık analizleri yapılırken kayanın mühendislik özelliklerinin dikkatlice belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda şev duraylılığı bakımından incelenecek olan çalışma alanındaki kireçtaşı biriminin; kırıklı, çatlaklı olduğu gözlenmiş olup gerekli mühendislik tanımlamaları yapılarak yol yarmasının şevlendirilmesinden önce kireçtaşı kaya malzemesinin jeolojik ve mühendislik jeolojisi özellikleri belirlenmiş ‘2.1 JEOLojİ ve MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ’ başlığı altında detaylıca anlatılmıştır.

Çalışma alanındaki kireçtaşlarında şev duraylılığının farklı analiz programları ile incelenmesi hakkında ulusal ve uluslararası literatürde yaygın kaynak bulunmamaktadır. Mamafih, şev duraylılığı alanında yapılmış olan çeşitli çalışmalar mevcut olup tez konusu ile ilişkili olanlar incelenmiş ve kronolojik olarak aşağıda sunulmuştur.

Hoek ve Bray (1981), Rock Slope Engineering çalışmasında yer aldığı şekliyle;

Açık ocak işletmelerinde şev duraylılığı problemlerine yönelik çalışma yapan Muller (1959) süreksizliklerin (çatlak, tabaka, fay vb.) kaya kütlelerinin davranışını etkilediğini ve kaya davranışı incelenirken süreksizliklerin de dikkate alınması gerektiğinden bahsetmiştir.

Kazısı yapılmayan şevlerde çalışmalarını gerçekleştiren Kley ve Lutton (1967) şevlerin duraylı olup olmadığına dair yapısal veriler elde etmiş olup bu çalışmaları Ross-Brown (1973) tarafından geliştirilerek kayanın duraylı olduğu ve olmadığı durumları inceleyerek sonuca varmaya çalışmışlardır.

Süreksizlikler arasında gelişen dolguları inceleyen Goodman ve diğ. Yaptıkları çalışmalar sonucunda dolgu kalınlıklarının fazla olduğu kaya kütlelerinde süreksizlikler arası temasın gerçekleşmeyeceğini belirterek bu tür ortamlarda makaslama dayanımı söz konusu olduğunda kayanın dayanımının dolgu malzemesi ile aynı olması gerektiği sonucuna varmıştır.

Ulusay ve diğ. (1995), Türkiye Kömür İşletmeleri'ne ait Muğla'da yer alan Eskihisar köyündeki kömür işletmesinde döküm sahasının duraylılığını çalışmışlardır. Döküm sahasında meydana gelen riskin araştırılması sonucunda şev eğimi ile döküm malzemesinin içsel sürtünme açısının eşit olduğunu tespit ederek dairesel kaymanın gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Çözüm önerisi olarak global şev eğiminin ve yüksekliğinin azaltılması gerekliliğinden bahsedilmiştir.

Sönmez ve diğ. (1998) yaptıkları çalışmada doğrusal yenilme vermeyen ve eklem takımlarının gözlemlendiği bir kaya ortamında kayanın parametreleri gözlemler doğrultusunda ve bilgisayar programı kullanılarak tayin edilmeye çalışılmıştır. Hoek & Brown sabitleri (mb, s, a) kullanılarak türetilen RMR parametrelerini kullanmışlar ve kesitler üzerinde limit dengeye ulaşmaya çalışmışlardır.

Kentli ve Topal (2004), Ankara vilayetinde şevlendirme üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalar için jeolojik-jeoteknik detayların verilmesi kapsamında saha çalışmaları yaparak malzemenin mühendislik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bunu yaparken laboratuvar test sonuçlarını da dikkate almış olup resifal kireçtaşı, dolomit, konglomera gibi jeolojik birimlerde olacak olan şev yarmalarının duraylılıkları hakkında çalışmalar yürütmüşlerdir. Yaptıkları kinematik analizler sonrasında şevlerde kama tipi yenilme gerçekleşme ihtimalinden bahsetmişler ve çözüm önerisi olarak şev eğiminin düşürülmesi gibi tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Konuk (2005), Şev duraylılığı problemini F-World dilinde bir program kodu yazarak Bishop metoduyla çözmeye çalışılmış olup deprem etkisi altında sistemin nasıl cevap verdiğini bulmak adına sismik analizler de gerçekleştirilmiştir.

Küçüker (2012), İzmir bölgesindeki şeyl (metamorfik) kayaçlarında şev duraylılığı incelemesine yönelik çalışmalar yürütmüştür. Saha çalışmaları gerçekleştirerek kayanın mühendislik özelliklerinin belirlemeye çalışmış, laboratuvar testlerini de kullanarak kayanın parametrelerini tayin etmiştir. Akabinde şev geometrisini farklı yüksekliklerde statik ve dinamik durumlarda analiz ederek gerilme miktarlarını belirlemeye çalışmıştır.

Gökçeoğlu ve Nefeslioğlu (2013), Ankara-İstanbul YHT hattında, tünel 16 ve 17 arasındaki bölgede yüksek yarmalarda meydana gelen duraysızlığı çalışmışlardır. Yapılan incelemeler sonrasında süreksizliklerin birleşerek kaymaya sebebiyet verdiğini ve bu olayın kireçtaşı birimi (jura) içerisindeki fliş yapılarında gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Çözüm önerisi olarak

kayma yönüne dik kazık yapısı önermekle birlikte kaymanın oluşmasını tetikleyen yükün kazılarak kaymanın etek kısmına dökülmesi gerektiğini sunmuşlardır.

Taşkıran ve diğ. (2015), Şev duraylılığının iki ve üç boyutlu analiz programları ile çözülebilirliğini kıyaslayarak bulmayı amaçlamışlardır. Bir şev örneğinde iki ve üç boyutlu programlarda yaptıkları analizlerde elde ettikleri sonuç değerlerini kıyaslamışlar ve sonuç olarak üç boyutlu şev modeli ile elde edilen güvenlik katsayı değerinin iki boyutlu durumda elde edilen değerden daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır.

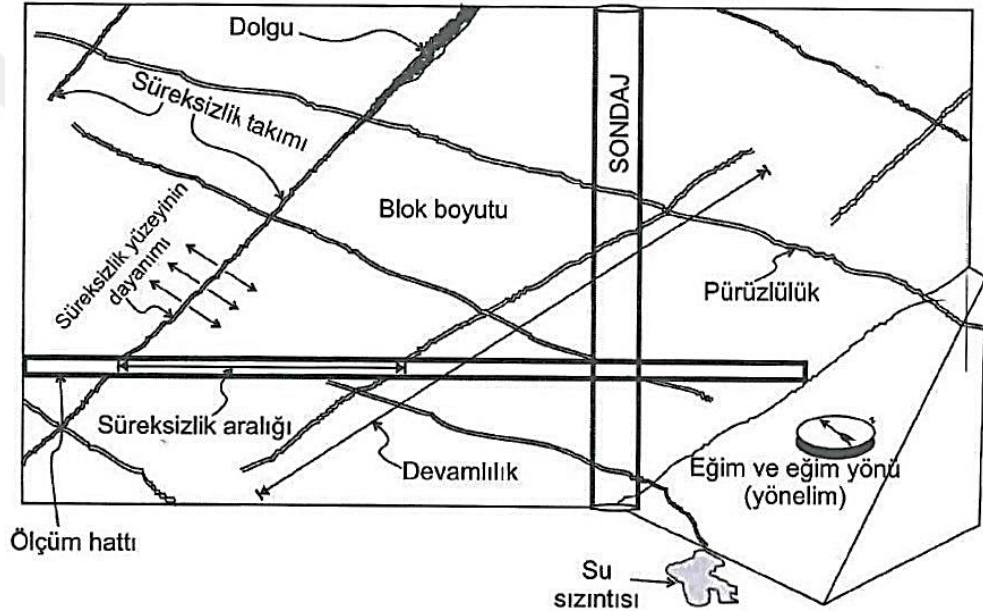
Natur (2018), Kahramanmaraş Çağlayan Trafo Merkezi vakasındaki kazı şevlerinde meydana gelen duraysızlıkların sonlu elemanlar ve limit denge yöntemlerini kullanarak çözümlenmesi amaçlanmıştır. Analizlerde yeraltı suyu ve sismik hareketlerin güvenlik katsayılarına etkisi incelenmiş olup şev duraylılık problemine yönelik geoteknik çözüm sunulmuştur.

Yılmaz (2018), Bir taş ocağında karstik boşluklu kireçtaşlarında yaptıkları çalışmada yüksek şevlerin nümerik modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Bunun için yaptıkları saha çalışmalarında hâkim süreksizlik takımlarını tespit etmişler ve analizleri bu süreksizlikleri de kullanarak çözmüşlerdir. Sonuç olarak süreksizliklerin hâkim çatlak sistemlerine etkidiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca kaya birimi içerisindeki dolgu malzemesinin ve yamaçlara dökülmüş maden atıklarının -ek yük sağlayarak- şev duraylılığına etkidiği sonucuna varmışlardır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez konusu olarak şev duraylılığının farklı analiz programları kullanılarak çalışılması hedeflenen Midyat grubu kireçtaşı kaya birimleri bu çalışmanın malzemesini oluşturmaktadır.

Kaya malzemesi olarak oldukça sert bir özellik sergileyen kireçtaşı bölgede zayıf kısımlar içermektedir. Çalışma Alanının Jeolojisi başlığı altında detayları verilen kaya malzemesinin mühendislik özellikleri Şekil 3.1’de verilen unsurlar doğrultusunda belirlenmiş ve kaya kütlelerinin tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 3.1: Kaya kütlelerinin tanımına yönelik süreksizliklerin özellikleri (Ulusay; Sönmez, 2007).

Şev duraylılığının incelenmesi çalışmanın asıl amacını oluşturmakta olup aşağıdaki ‘3.1 KAYA MALZEMESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR’ başlığı altında, yapılan çalışmalar verilmiştir. Bununla birlikte, ‘3.2 ŞEV DURAYLILIĞININ HESAPLANMASI’ başlığı altında ise hangi yöntemlerin nasıl kullanıldığı detaylıca anlatılmıştır.

#### 3.1.KAYA MALZEMESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasına yönelik olarak yapılacak olan jeoteknik değerlendirmede kullanılmak üzere, güzergâhtaki jeolojik birimlerin davranışlarını tespit etmek amacıyla aşağıdaki başlıklarda detayları verilen çalışmalar yapılmıştır.

### 3.1.1. Jeolojik Haritalama ve Kesitler

Çalışma alanının 1/1000 ölçekli ‘Mühendislik Jeolojisi Haritası’ yapılmış olup EK 1’de sunulmuştur. Mevcut karayolunun genişletme çalışması dâhilinde yol güzergâhının da eklendiği harita üzerinden yol boyunca kesit alınmış ve EK 2’de 1/1000 ölçekli olarak ‘Jeolojik – Jeoteknik Boy Profil’ sunulmuştur.

Ayrıca mühendislik jeolojisi haritasında çalışma alanının çeşitli yerlerinde yol kilometrelerine göre belirlenen enkesit güzergâhlarından jeoloji enkesitleri alınmış ve EK 3, 4, 5 ve 6’da 1/250 ölçekli olarak ‘Jeolojik Enkesitler’ olarak sunulmuştur.

### 3.1.2. Sondajlar

Güzergâha ait jeolojik birimlerin, yapısal ve mühendislik özellikleri ile yeraltı suyu durumunu tespit etmek amacıyla Şubat-Mart 2018 tarihinde toplam 211 metre uzunluğunda, 10,00 m ile 25,00 m arasında değişen boylarda 11 adet etüd sondajı yapılmıştır.

Bu sondajlara ait özet liste Tablo 3.1’de verilmiş olup EK 7’de yer alan 1/200 ölçekli ‘Sondaj TCR, RQD ve SPT Grafikleri’ paftasında detayları verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Güzergâhta yapılan sondajlar.

No	Sondaj No	Kilometre	Koordinatlar			Derinlik [m]
			Doğu	Kuzey	Z	
1	SK-1	38+030	452 578,7290	4 174 654,7802	+637,28	20
2	SK-2	38+100	452 543,5619	4 174 564,7064	+640,15	21
3	SK-3	38+220	452 474,2573	4 174 495,0385	+644,10	25
4	SK-4	38+320	452 421,0653	4 174 409,3594	+645,39	18
5	SK-5	38+400	452 355,1368	4 174 362,3832	+646,33	23
6	SK-6	38+500	452 290,9174	4 174 283,3575	+647,42	20
7	SK-7	38+600	452 241,9991	4 174 197,3538	+647,61	20
8	SK-8	38+700	452 234,3708	4 174 098,5140	+640,14	24
9	SK-9	38+800	452 243,5647	4 173 999,9605	+648,73	10
10	SK-10	38+700	452 307,0586	4 174 098,5370	+619,33	15
11	SK-11	38+627	452 310,3901	4 174 170,6892	+617,59	15



Şekil 3.2: Örnek bir sondaj numune fotoğrafı (SK-2, 6-10m).

### 3.1.3. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri proje alanında yapılan sondajlardan alınan numuneler üzerinde bölgedeki kaya malzemesinin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Tez kapsamında, analizi yapılacak olan kritik bölgede kaya birimlerinde çalışılacak olup kireçtaşı biriminin jeoteknik parametre tespitinde Tablo 3.3'te özetlenen sonuçlardan faydalanılmıştır.

Zemin mekaniği deneyleri birim hacim ağırlığı, su muhtevası, elek analizi, atterberg limitleri, zeminde serbest basınç deneylerinden ibarettir. Kaya mekaniği deneyleri ise, birim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı ve nokta yükleme deneylerinden ibarettir. EK 7'deki sondaj detaylarının gösterildiği paftada gerçekleştirilen deney sonuçlarının bir özetine yer verilmiştir.

Tablo 3.2: Zemin mekaniği deneyleri özet tablosu.

Sondaj No	Derinlik		Su Muhtevası	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı
	Baş.	Bitiş	W <sub>n</sub>	LL	PL	PI	4	200	
	[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
SK-8	4.5	4.95	20	60.7	25.7	35	0	93.8	CH
SK-9	1.5	1.95	19.7	57.6	26.9	30.7	4.1	87.8	CH
SK-10	1.5	1.95	19.9	57.7	28	29.7	0	95.9	CH
SK-11	1.5	1.95	17.5	54.5	25.7	28.8	22.7	71.7	CH
SK-11	3	3.45	19.6	53.4	24.9	28.5	33	63.9	CH
SK-11	4.5	4.95	18.3	53.4	24.8	28.6	13.7	81.6	CH

**Tablo 3.3:** Kaya mekaniği deneyleri özet tablosu.

Sondaj No	Derinlik		Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Sıkışma D.	Elas. Modülü	Nokta Yükleme
	Baş.	Bitiş	$\gamma_n$	$\sigma_{ci}$	Ei	Is50
	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[GPa]	[MPa]
SK-1	4	4.15	22.5	21.8	-	-
SK-1	9.85	9.95	22.34	-	-	0.4
SK-1	11.5	11.55	20.88	-	-	0.3
SK-1	14.9	15	22.78	-	-	0.6
SK-1	18.5	18.7	21.94	13.5	4.098	-
SK-1	19.75	19.8	19.95	-	-	0.3
SK-2	2.5	2.75	22.47	26.1	-	-
SK-2	8.7	9	21.97	16.7	5.149	-
SK-2	9.5	9.55	23.39	-	-	2.9
SK-2	12.9	12.95	22.75	-	-	0.6
SK-2	20.85	20.9	24.81	-	-	3.6
SK-3	5	5.05	23.33	-	-	1.5
SK-3	6.8	7	23.58	35.1	-	-
SK-3	7.25	7.3	23.6	-	-	3.8
SK-3	7.8	8	24.08	26.8	-	-
SK-3	11.3	11.35	22.63	-	-	0.8
SK-3	12.1	12.5	24.4	34.6	10.279	-
SK-3	16.5	16.55	23.17	24.8	-	-
SK-3	21.8	21.85	23.06	-	-	1.6
SK-3	24.1	24.25	23.07	33.4	-	-
SK-4	7.5	7.78	22.6	15.5	-	-
SK-4	12.4	12.45	23.53	-	-	1.3
SK-4	12.8	13	22.99	23.8	-	-
SK-4	17.85	17.9	23.98	38.1	-	-
SK-5	5	5.1	21.04	19.5	-	-
SK-5	7.2	7.25	20.67	-	-	1.6
SK-5	10	10.1	22.43	27.7	8.637	-
SK-5	11.1	11.2	23.72	38.7	-	-
SK-5	18.5	18.7	20.27	-	-	0.5
SK-5	22.7	22.75	20.74	-	-	0.7
SK-6	1.7	1.75	23.64	-	-	2.5
SK-6	6.5	6.6	21.64	12.6	-	-
SK-6	10.6	10.7	21.52	11.9	3.528	-
SK-6	13.6	13.65	21.66	-	-	0.8

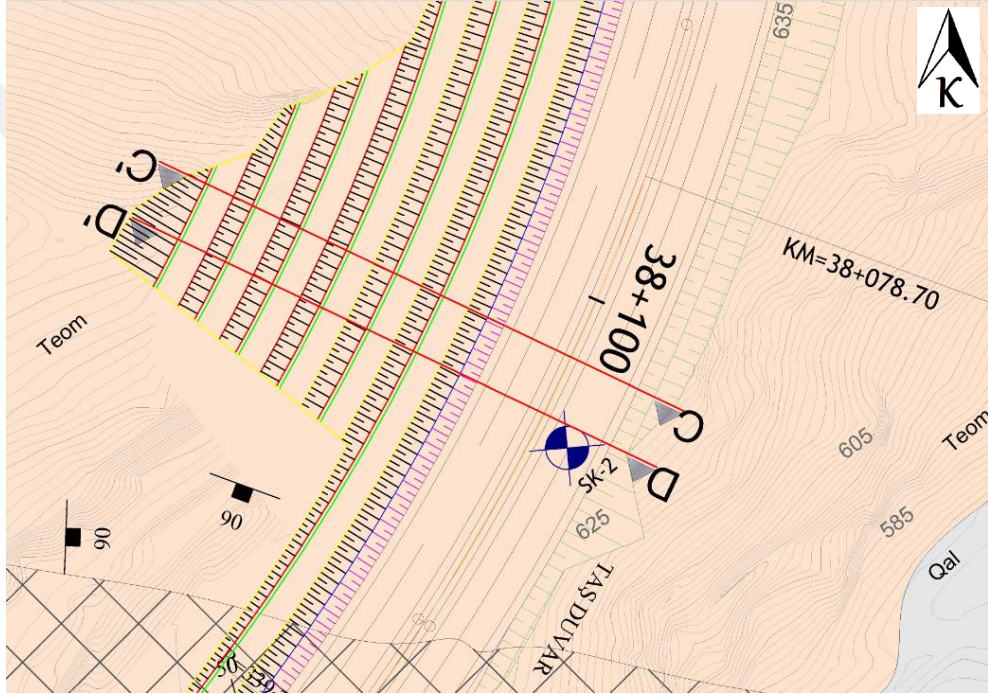
Sondaj No	Derinlik		Birim Hacim Ağırlık	Tek Eksenli Sıkışma D.	Elas. Modülü	Nokta Yükleme
	Baş.	Bitiş	$\gamma_n$	$\sigma_{ci}$	Ei	Is50
	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[GPa]	[MPa]
SK-6	16.55	16.6	20.59	-	-	0.3
SK-6	17	17.35	22.47	10.7	-	
SK-7	2.5	2.6	22.09	-	-	1.4
SK-7	7.1	7.2	22.74	18.3	-	
SK-7	7.7	7.75	22.83	-	-	2.1
SK-7	8.3	8.4	23.04	16.4	5.003	
SK-7	17.1	17.2	21.82	-	-	0.7
SK-7	18.5	18.55	20.67	-	-	0.3
SK-8	3.1	3.15	22.33	-	-	1.5
SK-8	7.5	7.55	23.56	-	-	2.8
SK-8	9.2	9.25	23.82	-	-	2.5
SK-8	11.5	11.55	23.48	-	-	2.5
SK-8	19.8	19.85	20.91	-	-	1.8
SK-9	4.8	4.9	22.13	21.7	-	
SK-9	6.2	6.4	23.05	25.5	7.74	
SK-9	7.7	7.75	24.02			2.5
SK-9	9.8	10	22.28	22	-	-
SK-10	2	2.15	20.51	16.3	-	-
SK-10	7.5	7.55	21.48	-	-	1.8
SK-10	9.5	9.55	24.21	-	-	2.9
SK-10	10.5	10.8	23.86	32.9	10.209	-
SK-10	12.9	13	22.83	-	-	2.7
SK-11	2.1	2.2	22.31	-	-	1.4
SK-11	6.1	6.2	22.22	37.4	-	-
SK-11	9.85	10	23.47	30	-	-
SK-11	11.8	11.85	25.15	-	-	4.7
SK-11	12.2	12.3	21.96	24.4	7.232	-
SK-11	14	14.05	21.21	-	-	0.5

Sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan kaya mekaniği deneylerinin tasarım parametrelerine yönelik çalışmalar '4.1 JEOLJİK BİRİMLERİN PARAMETRE TAYİNİ' başlığında sunulmuştur.



### 3.2.ŞEV DURAYLILIĞININ HESAPLANMASI

Çalışma alanını oluşturan karayolu güzergâhı üzerindeki yol genişletme çalışmasının da yer aldığı mühendislik jeoloji haritası EK 1’de verilmiş olup yol güzergâhı boyunca 11 adet enkesit hazırlanmıştır (EK 3,4,5 ve 6). Bu kesitlerden C-C’ (38+110) ve D-D’ (38+120) kesitleri (EK 4) en yüksek şev geometrilerine sahiptir (C-C’ kesiti 61,6 metre, D-D’ kesiti 66,31 metre). Bu iki kesit yol boyunca kazılacak olan şev yarmalarını temsil eden en kritik kesitler olarak belirlenmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Kesitlerin plan üzerindeki yeri EK 1’de verilmiş olup aşağıdaki şekilde de (Şekil 3.3) sunulmuştur.

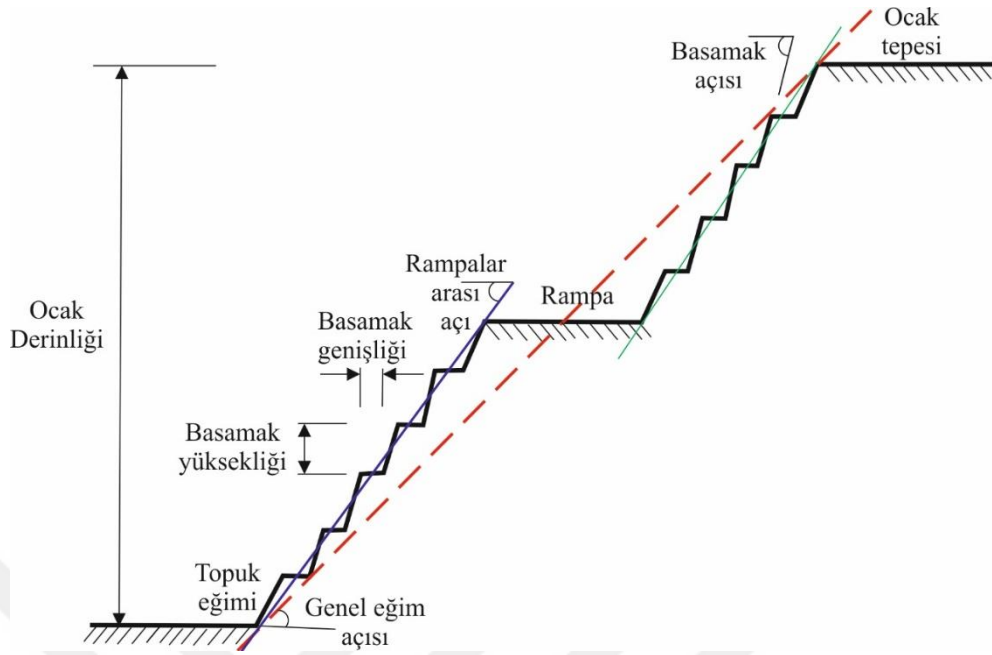


Şekil 3.3: Şev duraylılık analizi yapılacak olan enkesitlerin (C-C’ ve D-D’) plan üzerindeki yeri.

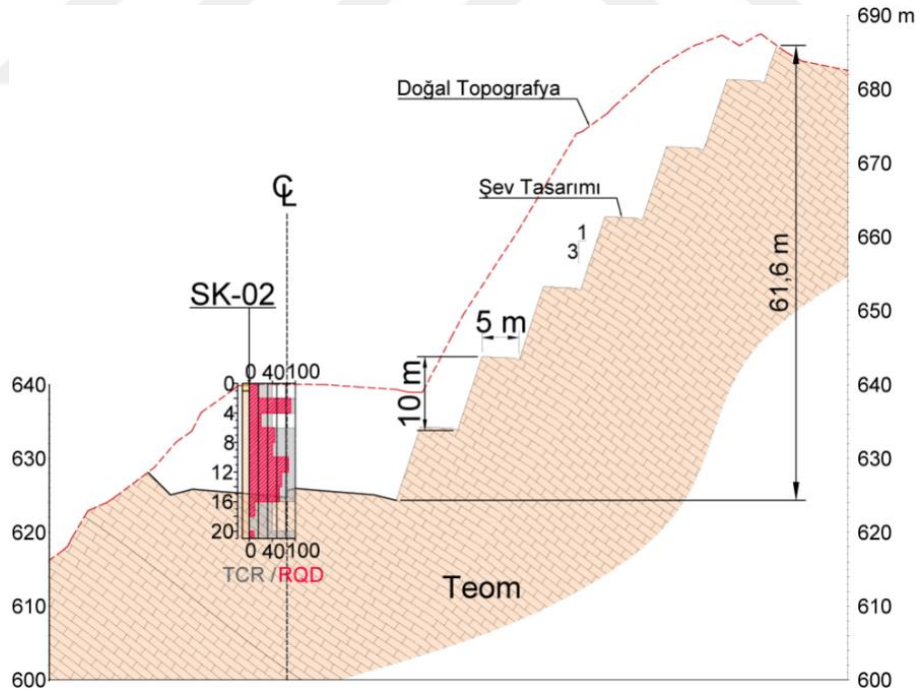
#### 3.2.1. İncelenen Şevin Özelliklerinin Belirlenmesi

Şev belirli bir eğime sahip düzenli ya da düzensiz yüzeyleri ifade eden bir terim olup çalışma alanındaki mevcut şev belli bir kazı geometrisine sahip değildir. Yolun genişletilmesi dâhilinde çalışma alanı boyunca birçok şev yarması oluşacak olup KM 38+100 kesiminde en yüksek şev geometrisi meydana gelecektir.

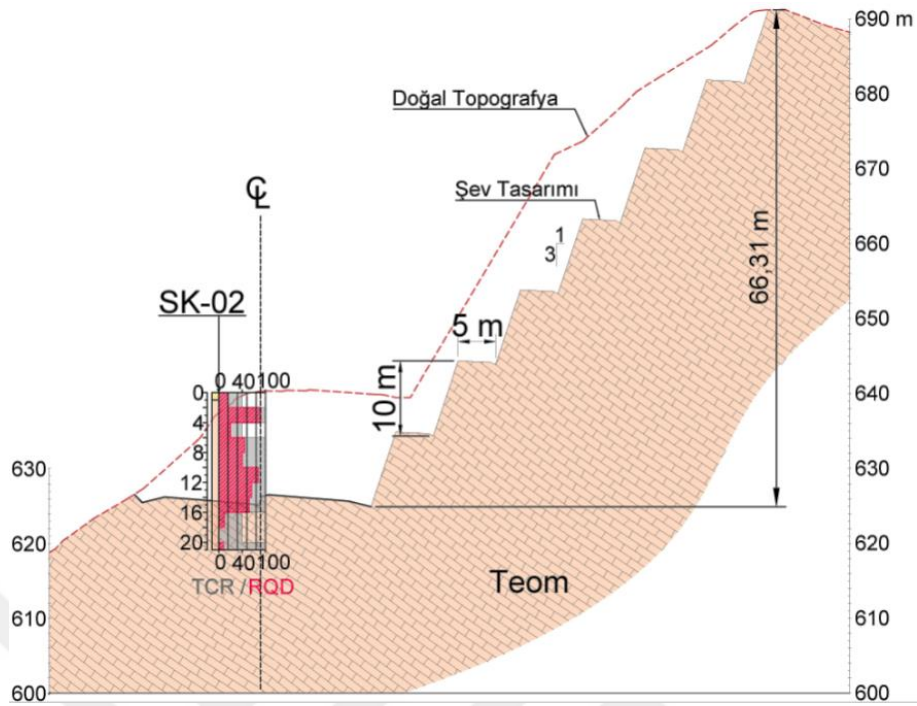
Bu bağlamda Şekil 3.4’de Duncan ve Mah, 2004’ten alınan tipik açık kazı geometrisine bağlı kalınarak C-C’ kesiti için Şekil 3.5’teki, D-D’ kesiti için Şekil 3.6’daki şev geometrisi oluşturulmuştur.



Şekil 3.4: Tipik bir açık kazı geometrisinde, şev yüzeyi, ara palye ve genel stabilite (Duncan ve Mah, 2004).



Şekil 3.5: C-C' kritik enkesiti şev modeli.



Şekil 3.6: D-D' kritik enkesiti şev modeli.

Yukarıdaki şekillerde doğal topografyanın kazıldıktan sonraki hali verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü üzere yükseklikleri 60 metreyi bulan şevlerdeki tekil şev eğimleri 1Y/3D olarak belirlenmiş olup her bir tekil şev 10m yüksekliğindedir. Palyeler 5'er metre olup analizlerde bu geometri kullanılmıştır. Ayrıca kesitlerden de görüldüğü üzere kireçtaşı yol çizgisinin 'center line (CL)' zıt yönünde eğimli olup şev duraylılığı için olumlu bir durum oluşturmaktadır.

### 3.2.2. Tasarım parametrelerinin Tayin Yöntemleri

Güzergâh boyunca karşılaşılabilecek kaya kütlelerinin tasarım parametreleri tayin yöntemleri aşağıdaki başlıklarda anlatılmaktadır. Kaya kütlelerinin tasarım parametreleri yerinde deney yapılamadığından masif kaya üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile görgül kaya kütle sınıflamalarının ampirik ilişkilerinden elde edilecektir. Bu bağlamda '3.1.3 Laboratuvar Deneyleri' başlığında anlatılan ve özet sonuçları verilen laboratuvar deneyleri kullanılmıştır.

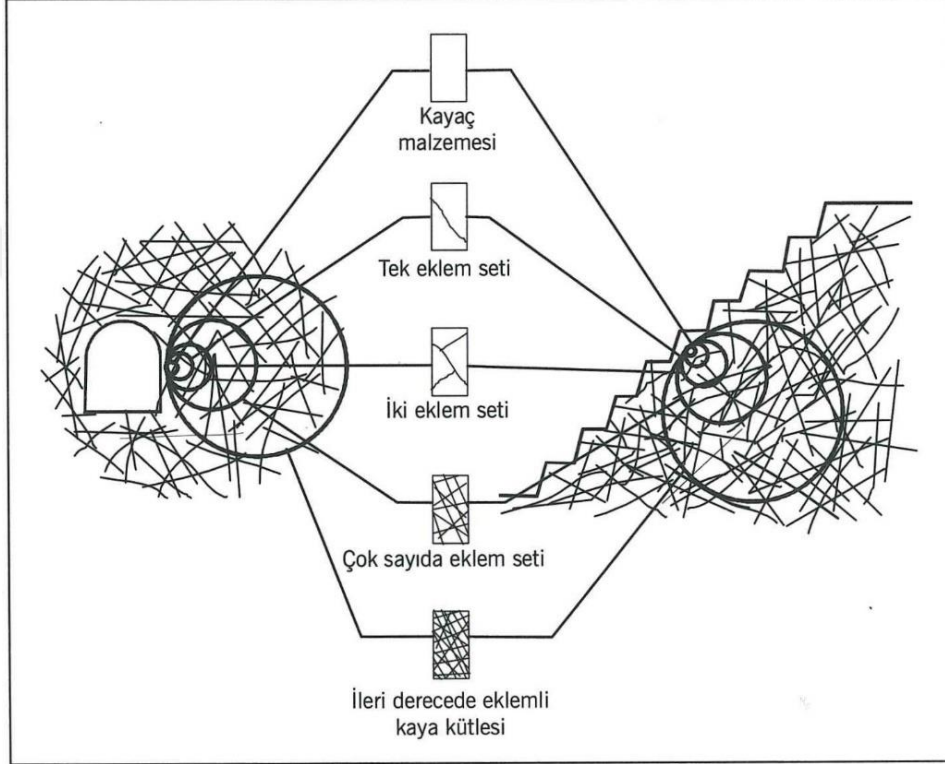
### 3.3.KAYA KÜTLELERİNİN TASARIM PARAMETRELERİ

Yukarıdaki paragraflarda da anlatıldığı üzere kaya kütlelerinin tasarım parametreleri masif kayanın laboratuvarında elde edilen fiziksel ve mekanik özellikleri ile kaya kütle sınıflamalarından elde edilen ampirik eşitlikler kullanılarak saptanmıştır. Bu başlık altında,

sonraki bölümlerde anlatılan ampirik eşitliklere altlık oluşturacak olan girdi ve tasarım parametreleri ile analizlerde seçilen görgül yenilme ölçütünden bahsedilmiştir.

### 3.3.1. Duraylılık Analizi Ölçütü Olarak Hoek-Brown

Kaya kütlelerinin davranışı sadece kaya malzemesi ile değil yapısında bulunan süreksizliklerin de dahil edildiği kaya kütleleri ile açıklanabilir (Ulusay ve Sönmez, 2007).



**Şekil 3.7:** Bir kaya şevi kazısındaki kaya malzemesinden kaya külesine geçişi gösteren temsili kesit (Hoek, 1995).

Tez kapsamında süreksizliklerin bulunduğu kaya ortamında çalışıldığı için çalışılan birimin dayanım özellikleri süreksizlik özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu yapılırken kaya ortamının süreksizlikleri ve zayıflıkları da dikkate alınmış olup Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü analiz ölçütü olarak seçilmiştir.

### 3.3.2. Girdi (input) Parametreleri

Bu bölümde kaya külesinin tasarım parametrelerine yönelik ampirik eşitliklerde kullanılacak olan girdi (input) parametreleri anlatılacaktır. Girdi parametreleri aşağıda özetlenmiştir.







- Tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve Masif kayanın elastisite modülü ( $E_i$ )
- Jeolojik dayanım indeksi (GSI)
- Hoek & Brown sabiti ( $m_i$ )
- Örselenme faktörü (D) ve Örselenme Kalınlığı (T)

### **3.3.2.1. Tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) ve Masif kayanın elastisite modülü ( $E_i$ ):**

Sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde masif kaya için tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmış ve bu deney sonuçları Bölüm 3.1.3'te özetlenmiştir. Bu değerler belirlenen zonu temsil eden sondajlardan ve bu sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden alınmıştır.





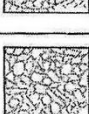
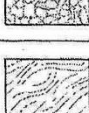
### **3.3.2.2. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI):**

Ulusay ve Sönmez (2007)'e göre "Kayalar küçük ölçekte dikkate alındıklarında kaya malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdüğünde sağlam kaya malzemesinden eklemli kaya kütlelerine geçiş söz konusudur. Farklı yönelimlerde gelişmiş çok sayıda süreksizlik tarafından bölünmüş kaya kütlelerinin davranışı, kaya malzemesinin aksine hem süreksizlikler, hem de kaya malzemesi tarafından denetlenir. Dolayısıyla kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin, kaya malzemesiyle birlikte süreksizlikleri de içerecek boyutlardaki örnekler üzerinde tayin edilmesi gerekir. Ancak bu tür ortamlardan, kaya malzemesi ile birlikte süreksizlikleri de içeren ve metre boyutuna ulaşan örneklerin alınması ve bunların laboratuvar deneyleri için hazırlanmaları mümkün olmadığı gibi, bu boyuttaki örnekler için laboratuvar kullanılabilecek büyük deney hücreleri de geliştirilmemiştir. Bu sınırlamalar, araştırmacıları kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin daha pratik şekilde belirlenebileceği yöntemlerin geliştirilmesine zorlamıştır. Seksenli yılların başında geliştirilen ve günümüze değin bazı değişikliklere de uğrayan Hoek-Brown yenilme ölçütü görgül bir ölçüt olup, kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesiyle ilgili söz konusu sınırlamaları önemli ölçüde gidermiş ve son 20 yıl içinde kaya mekaniği bilim dalındaki ilgi çekici gelişmelerden biri olmuştur."

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type:	General	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection:	50	OK				
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →					
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A	
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70				
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50			
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30		
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20		
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10	
		N/A	N/A			

**Şekil 3.8:** Jeolojik tanımlamalar esas alınarak Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) tahmini (RocData v5.007).

Yukarıdaki abak (Şekil 3.8) deneyimli jeologların ve/veya jeoloji mühendislerinin arazide yapacağı gözlemlerde kullanmış olduğu herhangi bir hesaplamanın gerekmediği durumlar için verilmiştir. Bununla beraber Dr. Hoek 2013 yılında tecrübeli jeolog / jeoloji mühendislerinin GSI bulunmadığı durumlarda GSI değerini saptamak için bir sayılaşdırma yöntemi yayımlanmıştır (Hoek, 2013).

EKLEMLİ KAYALAR İÇİN JEOLJİK DAYANIM İNDEKSİ (Hoek ve Marinos, 2000) Süreksizliklerin litolojisi, yapısı ve yüzey koşullarından GSI'nın orama değerini tahmin ediniz. Çok kesin olmaya çalışmayınız. GSI=35 yerine 33 ile 37 aralığını vermek daha gerçekçidir. Tablonun yapısal kontrollü yenilmelere uygulanmadığına dikkat ediniz. Zayıf düzlemsel yapıların kazı yüzeyine göre elverişsiz olduğu yerlerde bu yapılar kaya kütesinin davranışına hakim olur. Su içeriğindeki değişim sonucunda kötüleşme eğilimi olan kaya yüzeylerinin kesme dayanımı, suyun mevcut olması halinde azalacaktır. Orta ile çok kötü aralığındaki sınıflarda yer alan kayalarda çalışırken, ıslak koşullar için sağa kaydırma yapılabilir. Su basınçları efektif gerilme analizinde ele alınır.		YÜZEY KOŞULLARI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ	
YAPI	YÜZEY KOŞULLARI	YÜZEY KOŞULLARI	YÜZEY KOŞULLARI	YÜZEY KOŞULLARI	YÜZEY KOŞULLARI
	ÇOK İYİ çok pürüzlü, bozuşmamış yüzeyler	İYİ Pürüzlü, az bozuşmuş, demir lekeli yüzeyler	ORTA pürüzsüz, orta derecede bozuşmuş ve ayrılmış yüzeyler	ZAYIF sıkı sıvanmalar veya dolgular veya köşeli parçalar içeren kayma çizikli, çok bozuşmuş yüzeyler	ÇOK ZAYIF yumuşak kil sıvanması veya dolgusu içeren kayma çizikli çok bozuşmuş yüzeyler
	KAYA PARÇALARININ KENETLEYİCİ ÖZELLİĞİNDE AZALIM				
	90	80	70	60	50
	40	30	20	10	N/A
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
 KIRIKSIZ VEYA MASİF- Kırıksız kaya örnekleri veya çok az sayıda ve geniş açıklıklı süreksizlikler içeren masif in situ kaya				N/A	N/A
 BLOKLU- birbirini kesen üç süreksizlik takımının oluşturduğu kübik bloklar içeren, iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütesi					
 ÇOK BLOKLU- dört veya daha fazla eklem takımının oluşturduğu çok yüzeyli köşeli bloklar içeren, kenetlenmeli, kısmen örselenmiş kaya kütesi					
 BLOKLU-ÖRSELENMİŞ-DAMARLI çok sayıda süreksizlik takımının kesişmesiyle oluşan köşeli bloklar içeren, kıvrımlı.					
 PARÇALANMIŞ- Köşeli ve yuvarlak kaya parçaları içeren, kötü derecelenmiş, aşırı kırıklı kaya kütesi					
 LAMİNALI- MAKASLANMIŞ- Zayıf şiztozite veya kesme düzlemlerinin sıklığından dolayı bloklu yapı yok.	N/A	N/A			10

Şekil 3.9: Eklem koşullarına ve RQD'ye göre sayısallaştırılmış GSI (Wyllie ve Mah, 2004).

Bu sayısallaştırma işlemi RMR ve Q sistemleri baz alınmış ve RQD ile korole edilmiştir. (Şekil 3.9). Buna göre GSI aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilmektedir.

$$GSI = 1.5J\text{Cond}89 + RQD/2 \quad [3.1]$$

$$GSI = 5,5\ln(Jr/Ja) + 21 + RQD \quad [3.2]$$

Bununla beraber, fliš tipi kayalar için GSI abağı 2013 yılında revize edilmiş ve RocData v5.007 bilgisayar yazılımında kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 3.10).

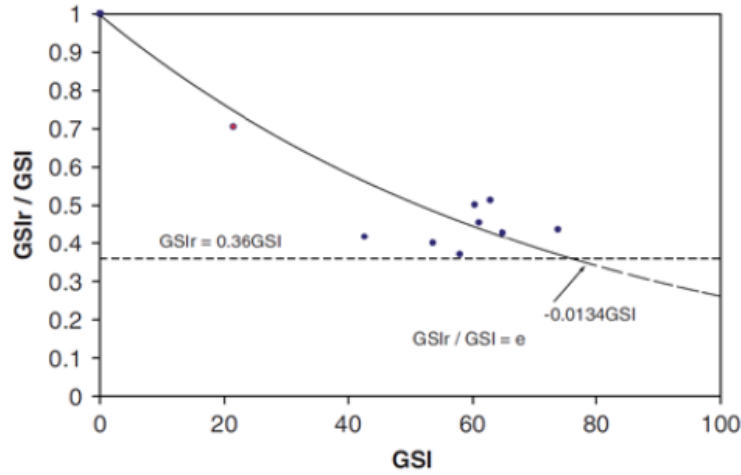
Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
Rock Type: Flysch 2013		GSI Selection: 100		OK		
STRUCTURE AND COMPOSITION		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
	<b>TYPE I.</b> Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless	80	I	II		
	<b>TYPE II.</b> Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstone	70				
	<b>TYPE III.</b> Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone	60	III	IV	V	VI
	<b>TYPE IV.</b> Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts	50				
	<b>TYPE V.</b> Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers					
	<b>TYPE VI.</b> Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers					
	<b>TYPE VII.</b> Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend	40	VII	VIII		
	<b>TYPE VIII.</b> Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong	30				
	<b>TYPE IX.</b> Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces	20	IX	X		
	<b>TYPE X.</b> Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure	10				
	<b>TYPE XI.</b> Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil					XI

Şekil 3.10: Fliš tipi kayalar için revize edilmiş GSI 2013 abağı (RocData v5.007).

Bu bağlamda tez güzergâhındaki geçilecek Midyat kireçtaşı birimine ait GSI değerleri Dr. Evert Hoek'un önerdiği üzere görsel olarak atanmış fakat 2013 yılında önermiş olduğu sayısallaştırma yöntemi ile de kontrol edilmiştir. Bununla birlikte güzergâhta geçilecek kaya kütlelerinin elasto-plastik davranış gösterebileceği düşünülerek kaya kütlelerinin rezidüel parametrelerini hesaplamak için GSI aralıklarının rezidüel ( $GSI_r$ ) değerleri Cai ve diğ. (2007)'lerinin önermiş olduğu aşağıda verilmiş eşitlik ve/veya grafik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$GSI_r = GSI_x e^{-0,0134GSI} \quad [3.3]$$

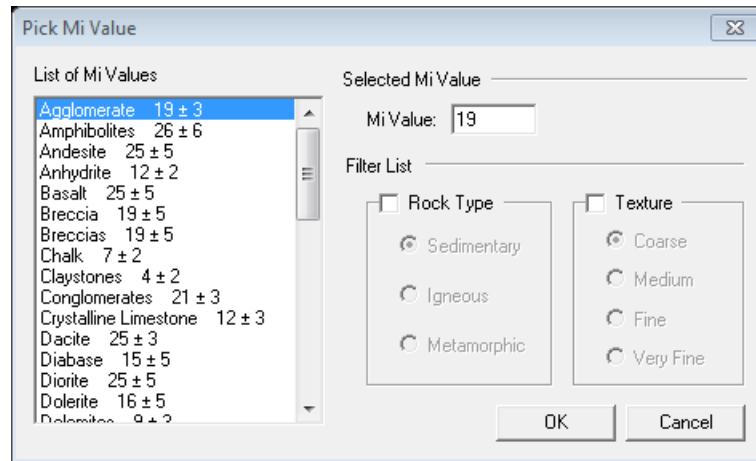




Şekil 3.11: GSIr tahmin yöntemi (Cai ve diğ. 2007).

### 3.3.2.3. Hoek & Brown sabiti ( $m_i$ ):

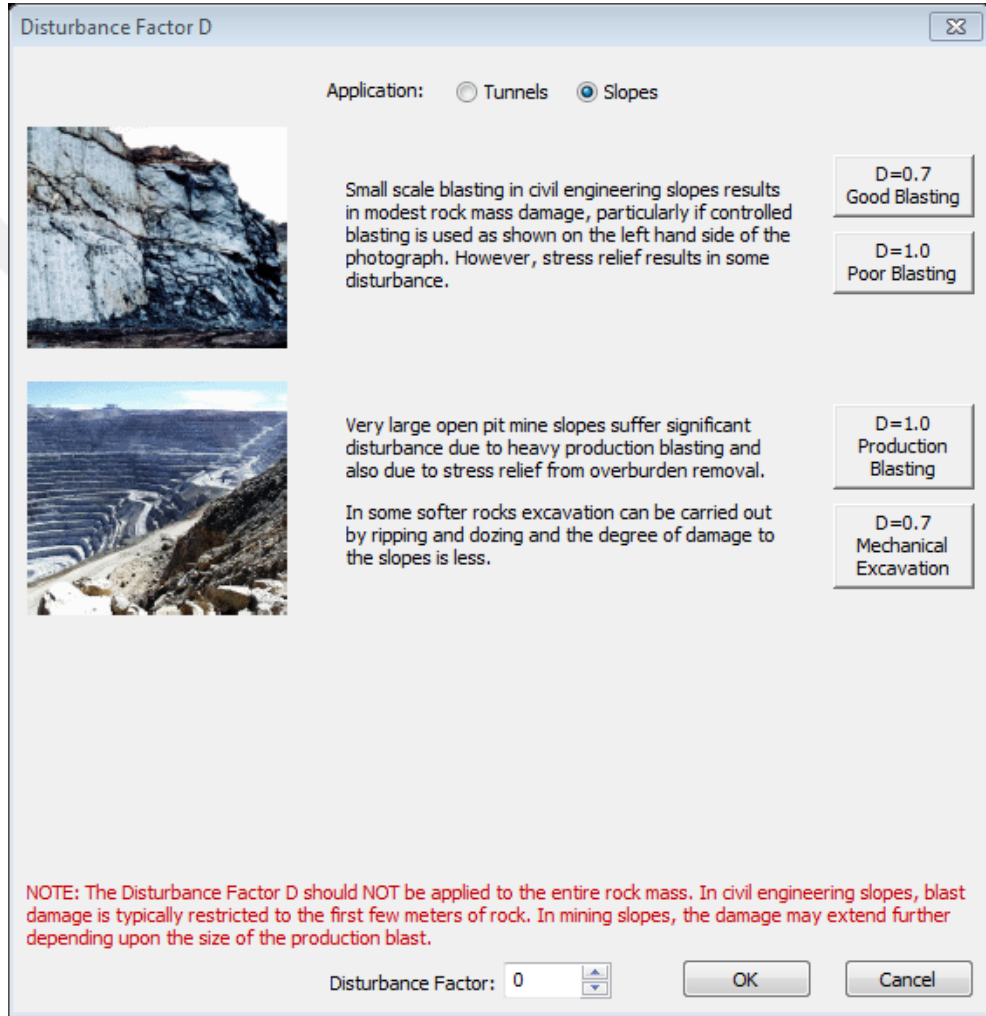
Hoek ve Brown'un (1980a) önermiş olduğu ve temel olarak üç eksenli deney sonuçlarına dayanan bu azaltma sabiti için RocData v5.007 bilgisayar yazılımında bulunan (Şekil 3.12) ve yazarlar tarafından önerilen değerler kullanılmaktadır. Yapılan laboratuvar deneylerinde üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi olmadığından,  $m_i$  değeri aşağıdaki şekilden belirlenir (Şekil 3.12). Üç eksenli sıkışma dayanımı deneylerinin olduğu durumlarda ise  $m_i$  sabiti RocData veya RockLab gibi bilgisayar yazılımı kullanılarak hesaplanabilmekte olup  $m_i$  değeri bu tez kapsamında çalışılan kaya ortamını temsilen 12 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.12: Her bir farklı litoloji için önerilen  $m_i$  sabitlerini gösterir tablo (RocData v5.007).

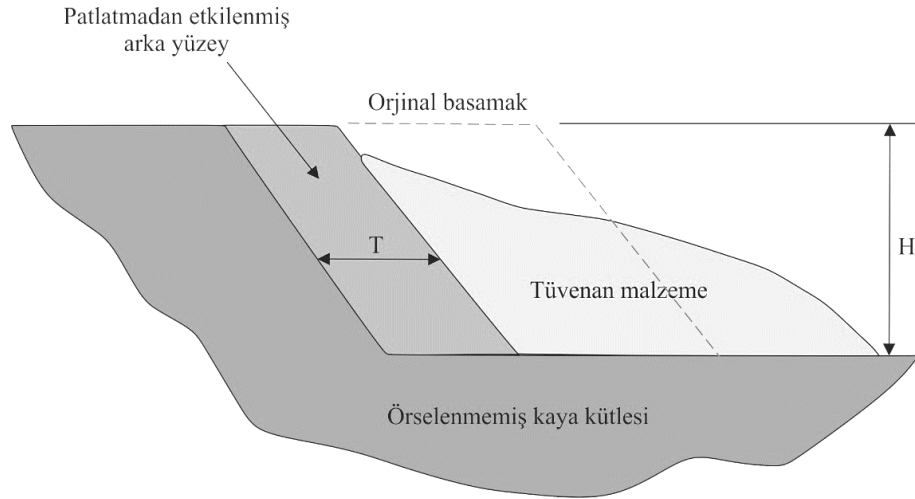
### 3.3.2.4. Örselenme faktörü (D) ve Örselenme Kalınlığı (T):

Yarma kazısı sırasında patlatma ve/veya mekanik kazı ile açılması halinde projelendirilen şevlerin arka tarafında patlatmadan ve/veya mekanik kazıdan dolayı bir örselenme zonu oluşacaktır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 3.13) yine RocData v5.007 bilgisayar yazılımında verilen ve son olarak Hoek (2012)'de ayrıntılı şekilde anlatılan örselenme faktörü gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Örselenme faktörü tahmini (RocData v5.007).

Bu tavsiye ve grafiğe göre örselenme faktörü 0,7 olarak öngörülmüştür. Bununla birlikte Hoek (2012)'de önerildiği üzere örselenme zonunun şev yüzeyinden kaya içine doğru gelişecek örselenme kalınlığı (T) hesabı yapılması gerekmektedir. Hoek (2012)'ün önermiş olduğu örselenme faktörü kalınlığı (T) aşağıdaki Şekil 3.14 ve Tablo 3.4'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.14:** Kaya kütlesi ile patlatmaya maruz kalmış kaya kütlesi (Hoek, 2012).

**Tablo 3.4:** Patlatmadan dolayı örselenme kalınlığı (T) (Hoek, 2012)

Tanımlama	Patlatmadan etkilenmiş arka yüzey
Geniş patlatma, sınırlı, az sınırlı ya da kontrolsüz	$T = 2.0 - 2.5 H$
Kontrolsüz patlatma ancak patlatma boş aynaya	$T = 1.0 - 1.5 H$
Patlatma, sınırlı ancak az kontrollü (bir ya da daha fazla tampon sıralı)	$T = 1.0 - 1.2 H$
Biraz kontrollü patlatma (bir ya da daha fazla tampon sıralı, patlatma boş aynaya)	$T = 0.5 - 1.0 H$
Dikkatlice kontrol edilmiş patlatma, boş aynaya	$T = 0.3 - 0.5 H$

Örselenme kalınlığı, analizlerde tek seferde yapılacak olan kazı yüksekliği  $H = 2$  metre olup  $T = 2.0 \times H$  bağıntısından 4 m hesaplanmıştır.

### 3.3.3. Tasarım Parametreleri

Girdi (input) parametreleri hesaplandıktan sonra aşağıdaki eşitliklerden kaya kütlesinin tasarım parametrelerine geçilmektedir. Bunlar;

- Mohr-Coluomb yenilme kriteri ( $c, \phi$ )
- Kaya kütlesinin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{cm}$ )
- Kaya kütlesinin deformasyon modülü ( $E_m$ )
- Hoek-Brown sabitleri ( $m_b, s, a$ )

şeklindedir.

### 3.3.3.1. Mohr-Coluomb yenilme kriteri ( $c$ , $\phi$ ):

Kaya kütlelerinin kohezyon ve sürtünme açıları farklı araştırmacılar tarafından çalışılmış olup tez kapsamında GSI sistemi baz alınmıştır. Kaya kütlesi çalışmalarında RMR ve Q da kullanıldığından Hoek-Brown (2002), Bieniawski (1974, 1989) ve Barton (2002) yaklaşımları aşağıda verilmiştir.

#### Hoek-Brown'a göre Mohr-Coluomb yenilme kriteri ( $c$ , $\phi$ )

RocLab ve RocData bilgisayar yazılımlarında kullanılan eşitliklerdir;

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad [3.4]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/((1+a)(2+a))}} \quad [3.5]$$

#### RMR'ye göre (Bieniawski, 1989) Mohr-Coluomb yenilme kriteri ( $c$ , $\phi$ )

RMR'nin son şekli olan 1989 versiyonuna göre Bieniawski RMR sınıflamasına göre aşağıdaki tabloda gösterilen ve RMR puanına göre değişen yenilme kriteri olan kohezyon ve sürtünme açısını belirlemiştir.

**Tablo 3.5:** RMR'ye göre kaya kütle tasarım parametreleri tablosu (Bieniawski, 1989).

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi k.	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf k.
Puan	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Kohezyon (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Sürtünme açısı (derece)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Bununla beraber yukarıdaki tabloda verilen aralıklar yerine net bir değer istenirse aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir.

$$c_m = 5 \times \text{RMR (kPa)} \quad [3.6]$$

$$\varphi_m = 0.5 \times \text{RMR} + 5 \quad [3.7]$$

### Q'ya göre (Barton, 2002) Mohr-Coluomb yenilme kriteri (c, $\varphi$ )

Barton 2002 yılında Mohr-Coluomb yenilme kriteri (c,  $\varphi$ ) için aşağıdaki eşitlikleri önermiştir.

$$\varphi_m = \tan^{-1} \left( \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{1} \right) \quad [3.8]$$

$$c_m = \left( \frac{RQD}{J_n} \times \frac{1}{SRF} \times \frac{\sigma_{ci}}{100} \right) \quad [3.9]$$

#### 3.3.3.2. Kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{cm}$ ):

Kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{cm}$ ) yine GSI, RMR ve Q sistemlerine göre karşılaştırma yapmak amacıyla ayrı ayrı hesaplanır. Bu bağlamda önerilen eşitlikler Hoek ve diğ. (2002), Aydan ve diğ. (1997) ve Barton (2002)'dir.

*Hoek vd. (2002)*

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \right] \quad [3.10]$$

*Aydan vd. (1997)*

$$\sigma_{cm} = 0.0016 \times \text{RMR}^{2.5} \quad [3.11]$$

*Barton (2002)*

$$\sigma_{cm} = 5\gamma \left( Q \frac{\sigma_{ci}}{100} \right)^{1/3} \quad [3.12]$$

#### 3.3.3.3. Kaya kütlelerinin deformasyon modülü ( $E_m$ ):

Kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMR arasındaki ilişkiler Nicholson ve Bieniawski' ye (1990) ve Sönmez vd (2006b) göre tespit edilmiş ve bulunan değerler Hoek & Diederichs (2006) kırılma kriterine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre;

**Nicholson ve Bieniawski, (1990):**

$$E_m = E_i \times (AF^*) \quad [3.13]$$

$$AF = 0.0028(RMR)^2 + 0.9e^{[(RMR)/22.82]} \quad [3.14]$$

\*Burada AF azaltma faktörüdür.

**Sönmez vd. (2006b):**

Sönmez vd. (2006b) kaya kütlelerinin deformasyon modülünün tespiti için aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir.

$$E_m = E_i 10^{[(((RMR-100)(100-RMR)/4000 \exp(-RMR/100)))]} \quad [3.15]$$

Fakat aynı araştırmacılar örselenme faktörünün etkisi olduğunu düşünerek 2005 yılında aşağıda gösterilen örselenme faktörü – indirgeme faktörü ilişkisini sunmuştur.

$$RMR_d = ff \times RMR \quad [3.16]$$

**Hoek ve Diederichs, (2006):**

Hoek ve Diederichs'in 2006 yılında önermiş olduğu ve aşağıda verilen deformasyon modülü eşitliği halen yaygın bir şekilde kullanımda olan RocData bilgisayar programının son versiyonunda (v5.007) da kullanılmaktadır.

$$E_m = E_i \left( 0.02 + \frac{1 - (D/2)}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right) \quad [3.17]$$

**3.3.3.4. Hoek-Brown sabitleri ( $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ):**

Hoek ve Brown, çalışmalarının sonucunda en büyük asal gerilme ile en küçük asal gerilme ve makaslama dayanımı arasındaki ilişkinin eğrisel olduğunu belirlemişler ve aşağıdaki yenilme ölçütünü önermişlerdir

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s)^a \quad [3.18]$$

Burada  $m_b$ ,  $s$  ve  $a$  malzeme sabitleri olup aşağıdaki şekilde hesaplanır

$$m_b = m_i \exp(GSI - 100/28 - 14D) \quad [3.19]$$

$$s = \exp(GSI - 100/9 - 3D) \quad [3.20]$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad [3.21]$$

### 3.4.HARDENING SOIL ZEMİN MODELİ (PEKLEŞEN ZEMİN MODELİ)

Bu model Mohr Coulomb modeline göre daha kapsamlı ve geliştirilmiş olup farklı davranışa sahip (sert ve yumuşak) birimlerin davranışlarını modellemek için kullanılmaktadır.

Model temelde kohezyon ( $c$ ), sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve dilatasyon açısı ( $\psi$ ) değerleri ile çalışmakta olup drenajlı üç eksenli basınç deneyindeki deformasyon-deviatorik gerilme arasındaki hiperbol şeklindeki ilişkiye bağlıdır (Natur, 2018).

Tez kapsamında şev duraylılıkları Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre gerçekleştirilmiş olup farklı analiz programlarını kıyası çeşitlendirebilmek adına Hardening Soil zemin modeli de kullanılmıştır.

### 3.5.KULLANILAN PROGRAMLAR

Çalışma alanındaki kaya kütesinin dayanım parametrelerinin hesaplanmasında Hoek-Brown yenilme kriterlerine dayanarak çözümlmelerini yapan RocData v5.007 programı kullanılmıştır. RocData Rocscience Inc.'nin bir ürünüdür.

Nümerik analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Phase2 v8.005 ve Plaxis v2018.01 yazılımları kullanılmıştır. Phase2 Rocscience Inc.'nin bir ürünü olup Delf University of Technology'nin bir ürünüdür

## 4. BULGULAR

Bu başlığa kadar çalışma alanının jeolojik, jeoteknik özellikleri ve şev duraylılık çalışmasının nasıl olduğu anlatılmış olup aşağıdaki başlıklarda tez kapsamında yapılan şev duraylılığına yönelik çalışmalar verilmiştir.

### 4.1.JEOLOJİK BİRİMLERİN PARAMETRE TAYİNİ

Çalışma alanında analizleri yapılması planlanan kritik kesitlerin uygulama jeoloji enkesitleri hazırlanarak nümerik analizlere altlık oluşturulmuştur. Bu bağlamda analizi yapılacak kesitlerde Midyat grubu kireçtaşı malzemesi mevcut olup birime ait mühendislik özelliklerini belirten parametreler yukarıdaki başlıklarda anlatılan laboratuvar deney sonuçları ve saha gözlemlerinden yararlanarak RocData v5.007 programında hesaplanmıştır. Parametre hesaplamaları aşağıdaki başlıkta detaylıca verilmiştir.

#### 4.1.1. Midyat Grubu (Teom) Kireçtaşları Tasarım Parametreleri

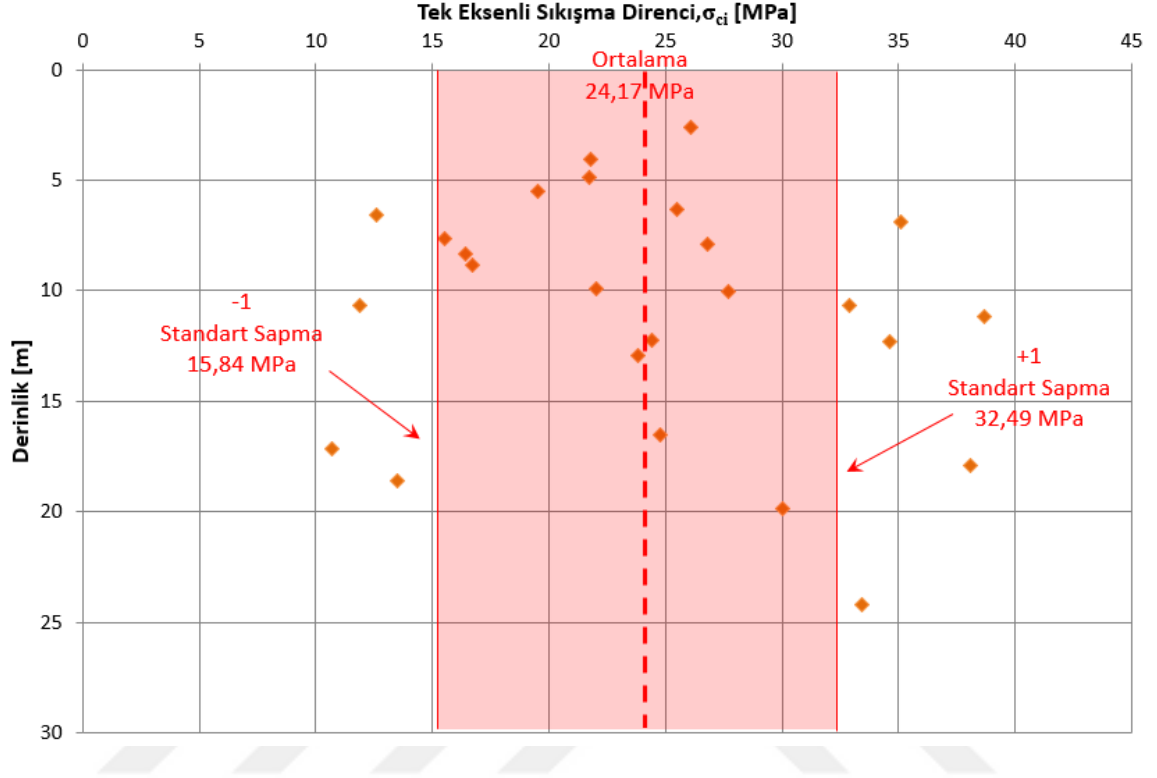
Şev duraylılık analizlerinin yapılacağı kesimin kaya birimini oluşturan Midyat grubu kireçtaşları; sarımsı bej renkli, orta-kalın tabakalı, çatlaklı, kırıklı, yer yer parçalanmış, çoğunlukla sağlam, zayıf-orta kaya kalitesine sahip kireçtaşından oluşmaktadır.



**Şekil 4.1:** Güzergâh üzerinde Midyat Grubuna ait birimlerden görünüm.



Aşağıdaki grafikte (Şekil 4.2) ve tabloda (Tablo 4.1) Midyat Grubu kireçtaşlarında yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneylerinin dağılımları gözükmektedir.

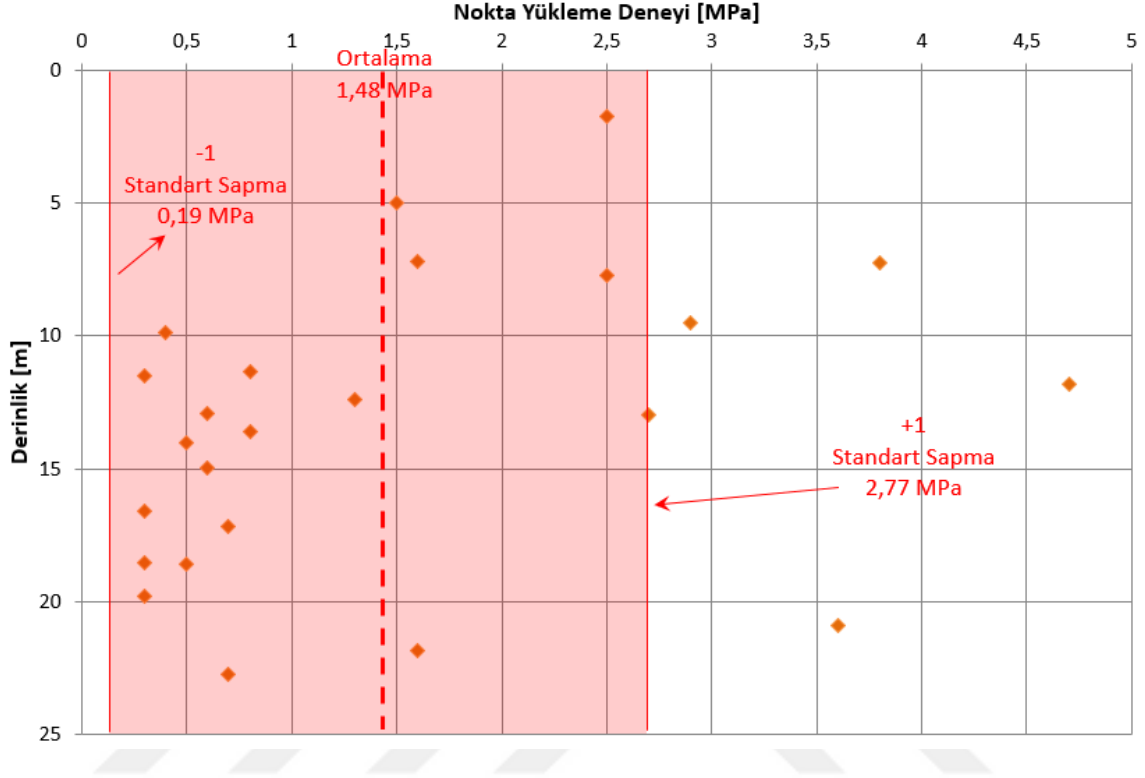


Şekil 4.2: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait tek eksenli- derinlik grafiği.

Tablo 4.1: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait tek eksenli sıkışma dayanımı istatistikleri.

Numune sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Standart sapma
[no]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
25	10,70	38,70	24,17	8,32

Aşağıdaki tabloda ve grafikte Midyat Grubu kireçtaşlarında yapılan yapılan nokta yükleme deneylerinin dağılımları gözükmektedir.

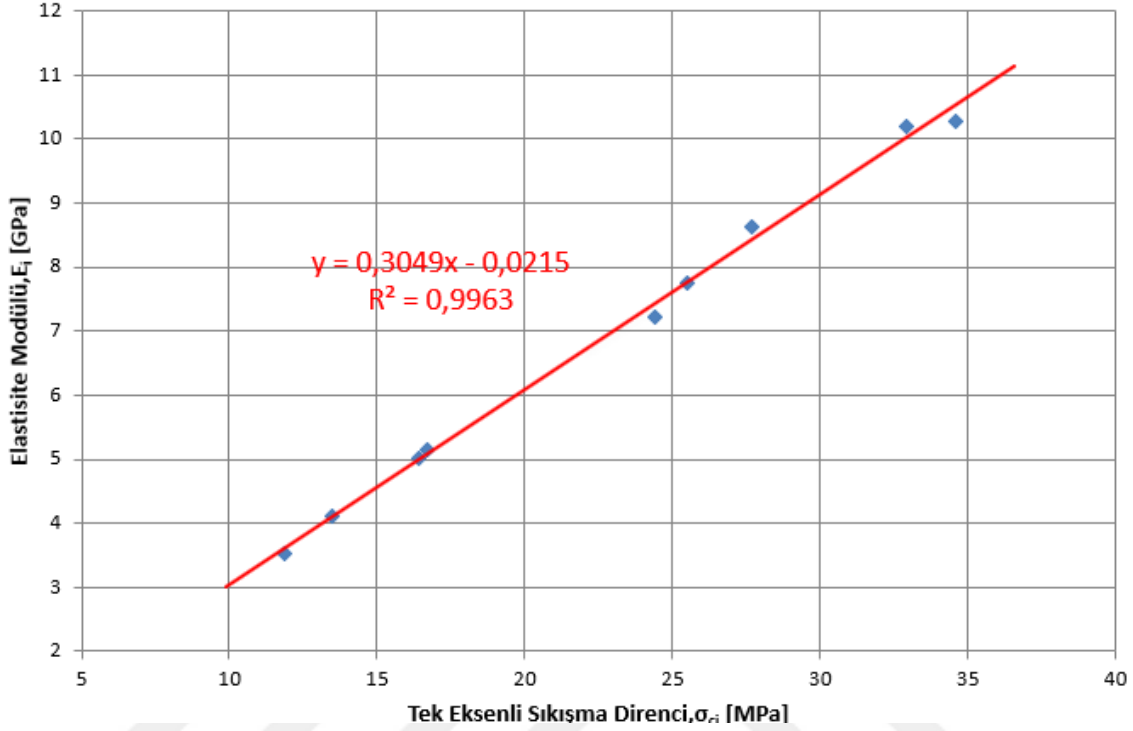


Şekil 4.3: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait nokta yükleme deneyi derinlik grafiği.

Tablo 4.2: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait nokta yükleme deneyi istatistikleri.

Numune sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Standart sapma
[no]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
24	0,30	4,70	1,48	1,29

Aşağıdaki grafikte Midyat grubu kireçtaşlarında yapılan Elastisite modülü deneylerinin dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.4: Silttaşlarına ait elastisite modülü deneyi – tek eksenli sıkışma grafiği.

Tablo 4.3: Midyat Grubu kireçtaşlarına ait elastisite modülü deneyi istatistikleri.

Numune sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Standart sapma
[no]	[GPa]	[GPa]	[GPa]	[GPa]
9	3,53	10,28	6,88	2,55

Midyat Grubu Kireçtaşları için jeoteknik parametreler bu başlık altında da özetlenen laboratuvar deney sonuçlarına göre ve arazi gözlemleri kullanılarak tespit edilmiş; aşağıda detaylıca verilmiştir.

Parametreler Hoek & Brown yenilme kriteri ile tespit edilmiş olup bu amaçla kullanılan değerler,  $\sigma_{ci}$  (masif kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı),  $GSI$  (Jeolojik dayanım indeksi),  $mi$  (Kayaç malzemesine ait boyutsuz malzeme sabiti),  $D$  (Örselenme faktörü),  $E_i$  (Elastisite modülü) ve  $\gamma$  (Birim ağılık)'tır.

#### 4.1.1.1. Kireçtaşları Tasarım Parametreleri

Bu birim içerisinde açılan sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri Bölüm 3.1.3'te anlatılmış ve analiz edilerek ortalama değerleri saptanmıştır. Buna göre, bu kesim için tek eksenli sıkışma dayanımı  $\sigma_{ci} = 24,20 \text{ MPa}$ , malzeme sabiti  $m_i = 12$ , birim ağırlığı  $\gamma = 22,60 \text{ kN/m}^3$ , elastisite modülü  $E_i = 6,90 \text{ GPa}$  olarak öngörülmüştür. Ayrıca Mohr-Coulumb değerleri verilmişse de örtü yüksekliğinden bağımsız olarak kullanılan Hoek-Brown ölçütleri  $m_b$ ,  $s$  ve  $a$  da öngörülmüştür. Hesaplamalar RocData v5.007 bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

GSI değeri RocData v5.003 bilgisayar yazılımında bulunan ve Hoek (2013) tarafından revize edilmiş eşitlikler kullanılmış  $GSI = 1,5J\text{Cond}89 + RQD/2$  ve yaklaşık **39** olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5).

Definition of JCond<sub>89</sub>, after Bieniawski (1989)

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

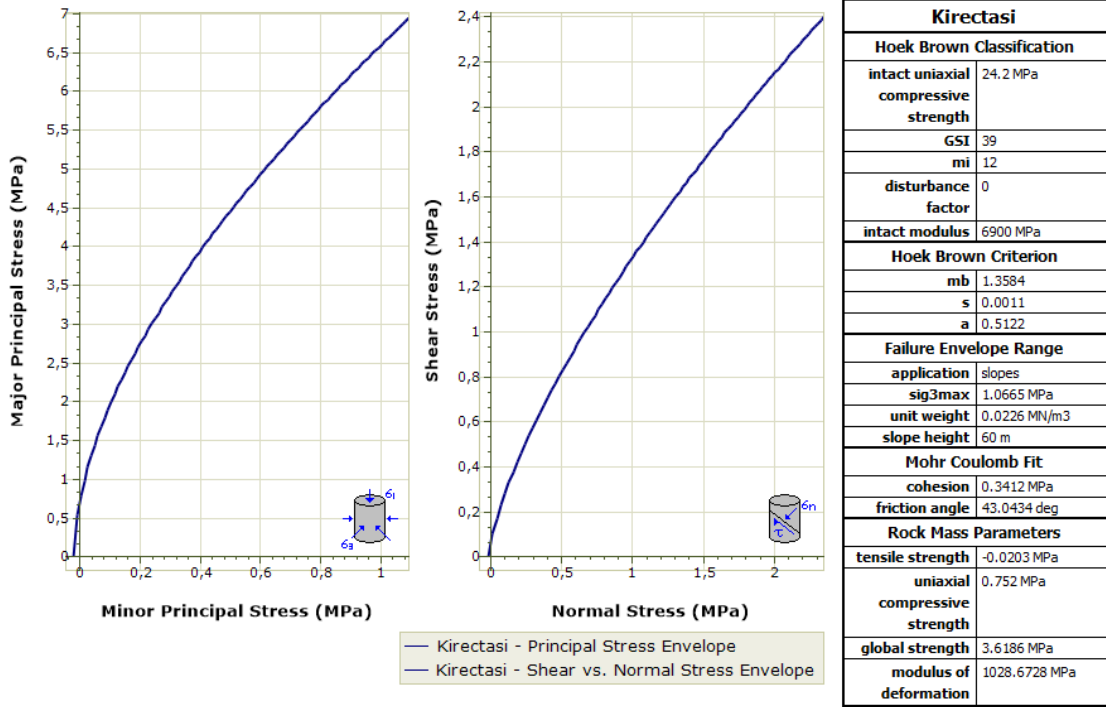
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 to 3 m	3 to 10 m	10 to 20 m	More than 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	More than 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard infilling < 5 mm	Hard infilling > 5 mm	Soft infilling < 5 mm	Soft infilling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderate weathering	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

GSI = 39

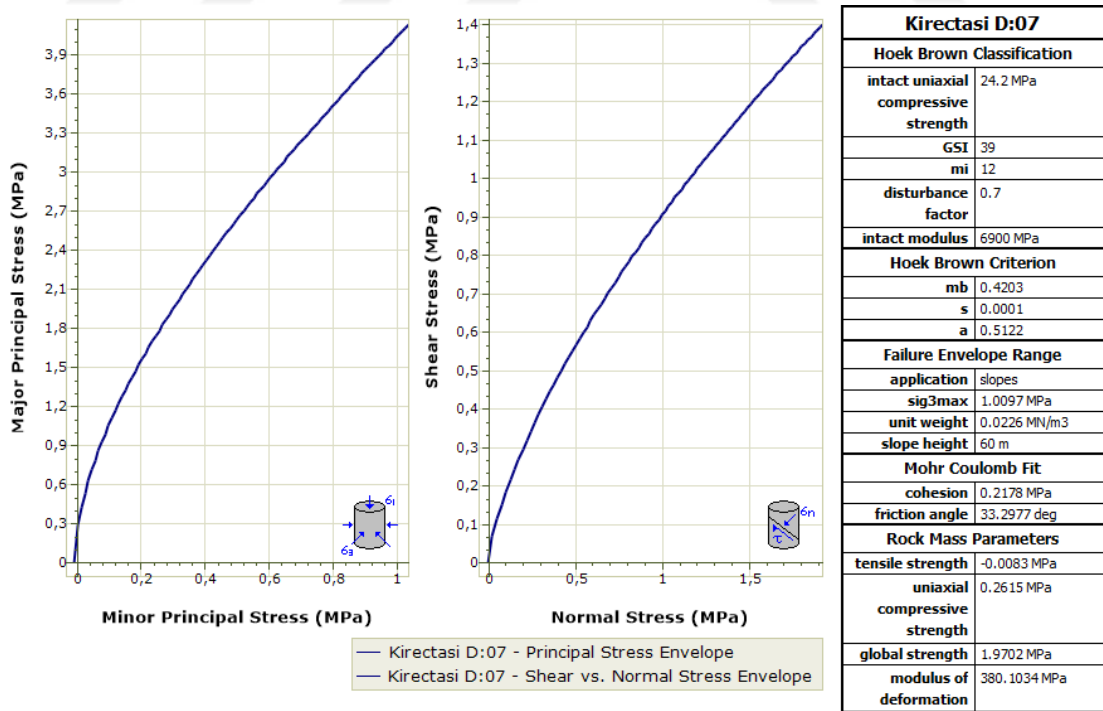
Şekil 4.5: Hoek (2013)'a göre RMR89 Eklem Durumu koşullarına göre GSI tahmini (RocData v5.007).

Tablo 4.4: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarına ait jeoteknik girdi parametreleri.

Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim ağırlık
$\sigma_{ci}$	GSI	$m_i$	D	$E_i$	$\gamma$
[MPa]				[GPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]
24,20	39	12	0 ve 0,7	6,90	22,60



Şekil 4.6: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütlesi parametreleri.



Şekil 4.7: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütlesi parametreleri D:0,7.

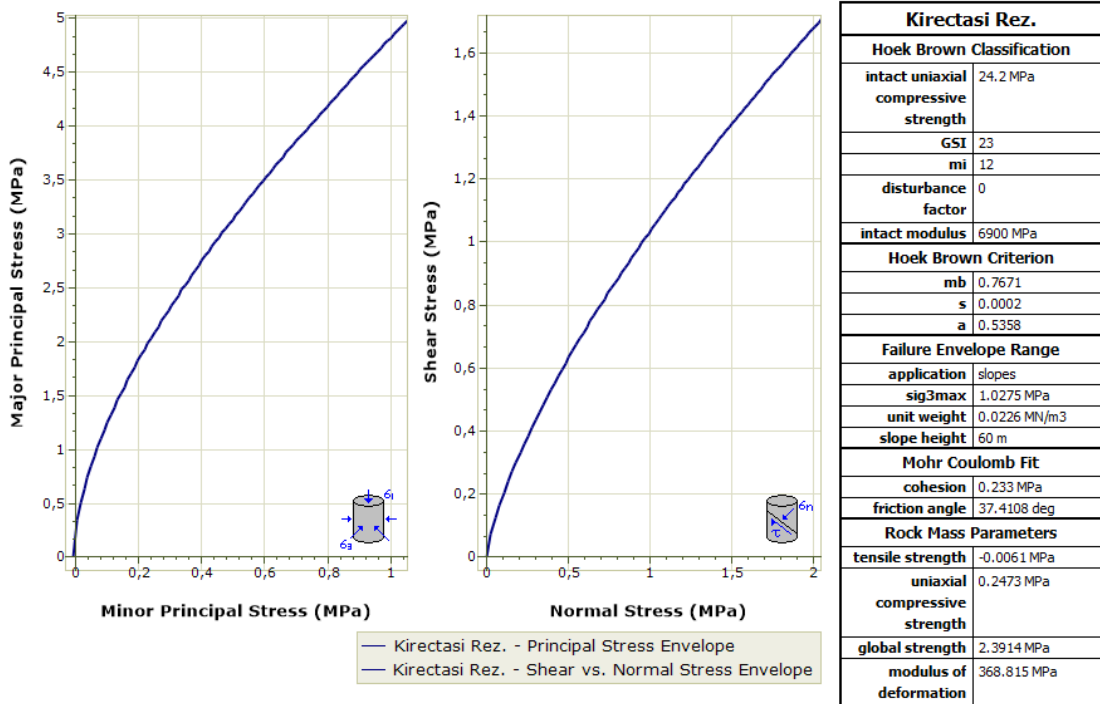
**Tablo 4.5:** 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının kaya kütleleri tasarım parametreleri.

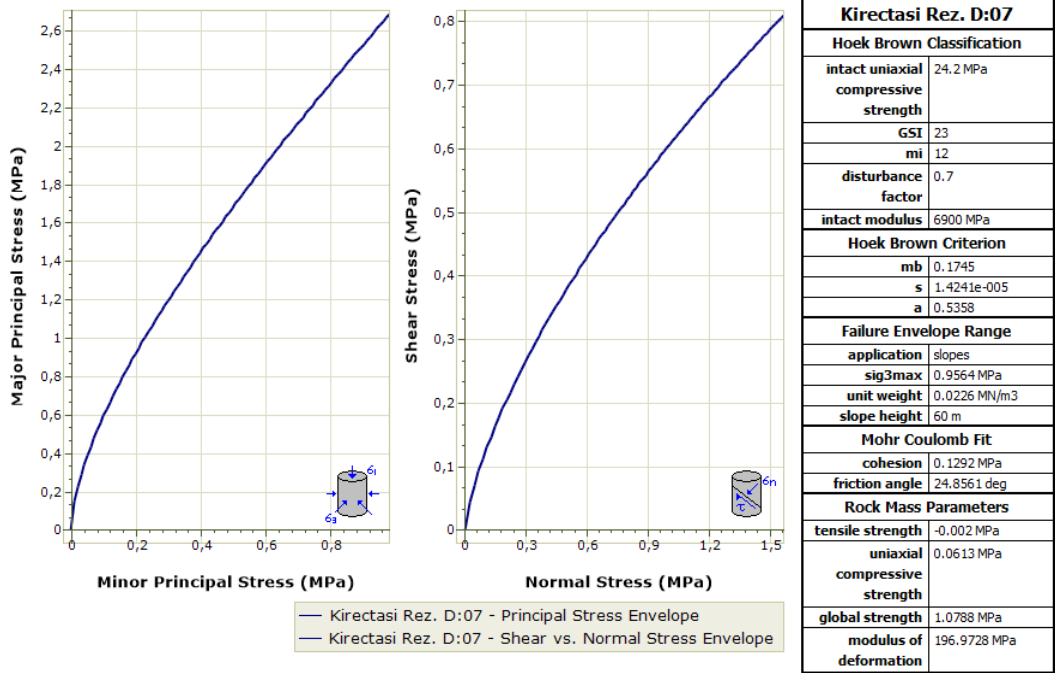
Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek – Brown Ölçütleri		
				$\sigma_{ci}$	$\mu$	$\sigma_{ci}$
D	c	$\phi$	$E_m$	mb	s	a
	[kPa]	[°]	[GPa]			
0	341	43	1,03	1,3584	0,0011	0,5122
0,7	218	33	0,38	0,4203	0,0001	0,5122

Güzergahta geçilecek kaya kütlelerinin elasto-plastik davranış gösterebileceği ve daha önce kazıya maruz kaldığı düşünülerek kaya kütlelerinin rezidüel parametreleri hesaplanmıştır.

**Tablo 4.6:** 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarına ait rezidüel girdi parametreleri.

Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim ağırlık
$\sigma_{ci}$	GSI	$m_i$	D	$E_i$	$\gamma$
[MPa]				[GPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]
24,20	23	12	0 ve 0,7	6,90	22,60

**Şekil 4.8:** 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının rezidüel kaya kütleleri parametreleri.



Şekil 4.9: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşı rezidüel kaya kütlesi parametreleri D=0,7.

Tablo 4.7: 60 metrelik örtü kalınlığı için kireçtaşlarının rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri.

Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek – Brown Ölçütleri		
D	c	Ø	Em	mb	s	a
	[kPa]	[°]	[GPa]			
0	233	37	0,37	0,7671	0,0002	0,5358
0,7	129	25	0,20	0,1745	0,00001	0,5358

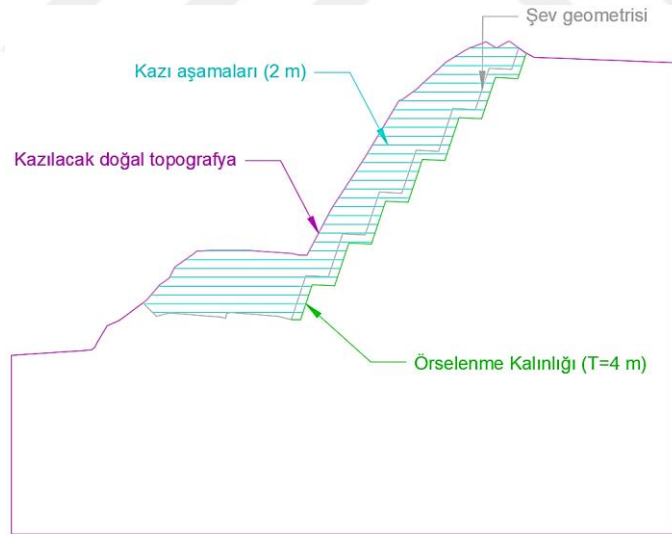
## 4.2.NÜMERİK ANALİZLER

Çalışma alanındaki mevcut karayolu genişletilmesi dahilinde oluşacak yol yarmalarının en kritik bölgesini temsil eden C-C' ve D-D' kritik kesitlerinde şev duraylılığını incelemek adına nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler RS2 (Phase) ve Plaxis programlarında Hoek & Brown yenilme kriterine göre yapılmıştır. Ayrıca en yüksek kesit olan D-D' kesitinde, programların çalışmasını yorumlamayı çeşitlendirmek adına, Plaxis'in Hardening Soil yenilme kriterine göre de analiz gerçekleştirilmiştir.

3.2 ŞEV DURAYLILIĞININ HESAPLANMASI başlığı altında detayları verilen C-C' ve D-D' kritik kesitlerinde yapılan analizler aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

### 4.2.1. C-C' (KM: 38+110) Kritik Kesiti Nümerik Analizleri

Midyat grubu kireçtaşı birimindeki 61,6 metre yüksekliğe sahip olan şevde yapılan analizler aşağıdaki gibidir. Kesite ait detaylar Şekil 4.10'da verilmiş olup kazı 2'şer metrelik aşamalarla modellenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler 4.1.1 Midyat Grubu (Teom) Kireçtaşları Tasarım Parametreleri başlığı altında verilmiştir.

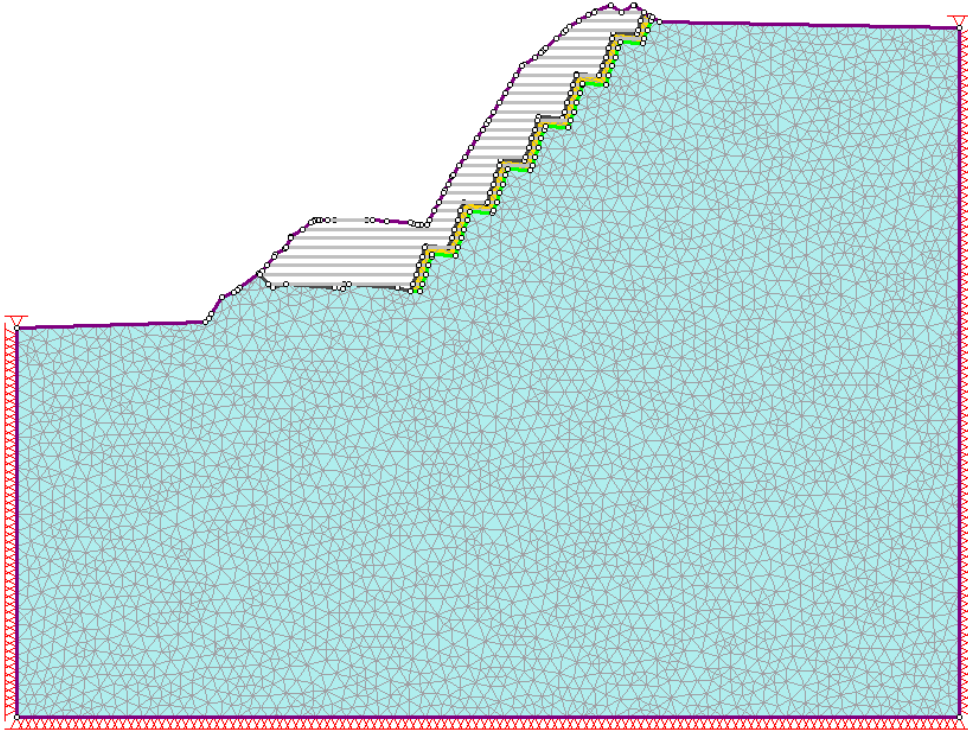


Şekil 4.10: C-C' kritik kesiti analiz modeli.

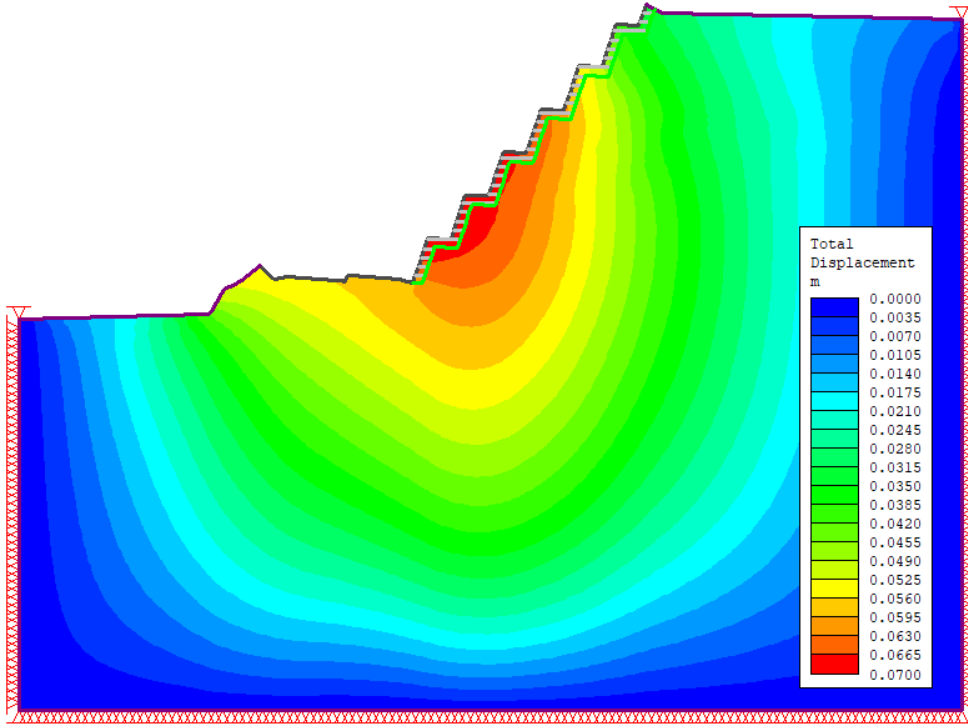
#### 4.2.1.1.RS2 (Phase) Analizleri

C-C' kesitinin RS2 (Phase) modeli Şekil 4.11'de verilmiş olup yapılan nümerik analizlerin sonuçları Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'teki gibidir. Analizler 'Genelleştirilmiş Hoek Brown' ölçütü ile gerçekleştirilmiş olup kayanın doruk ve rezidüel parametreleri kullanılmıştır.

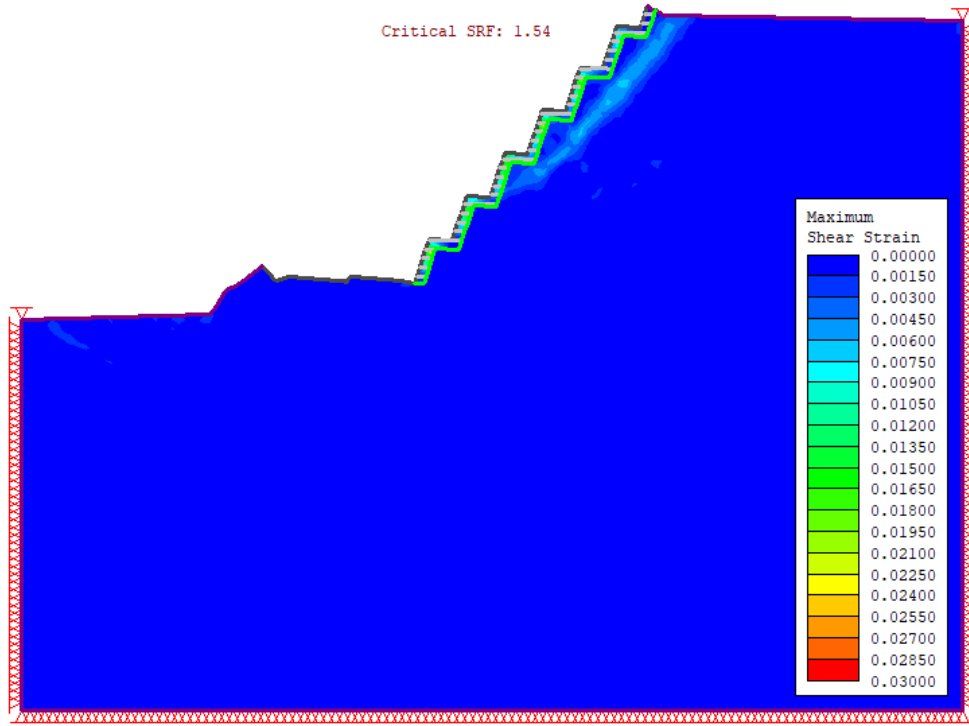




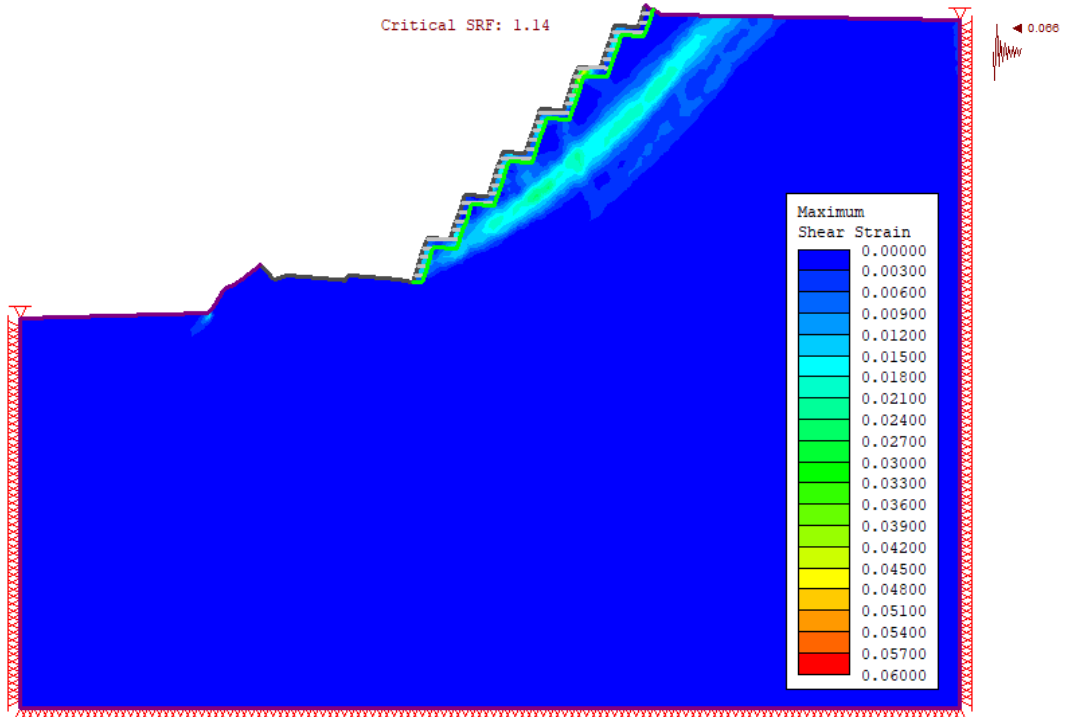
Şekil 4.11: C-C' kritik kesiti, analize yönelik RS2 (Phase) modeli.



Şekil 4.12: C-C' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik).



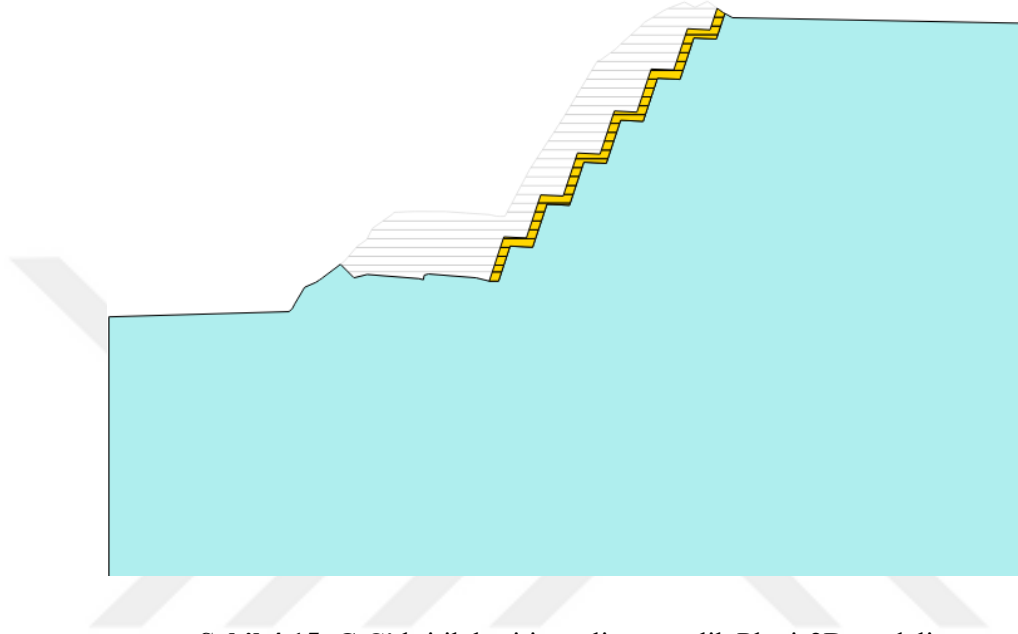
Şekil 4.13: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (statik).



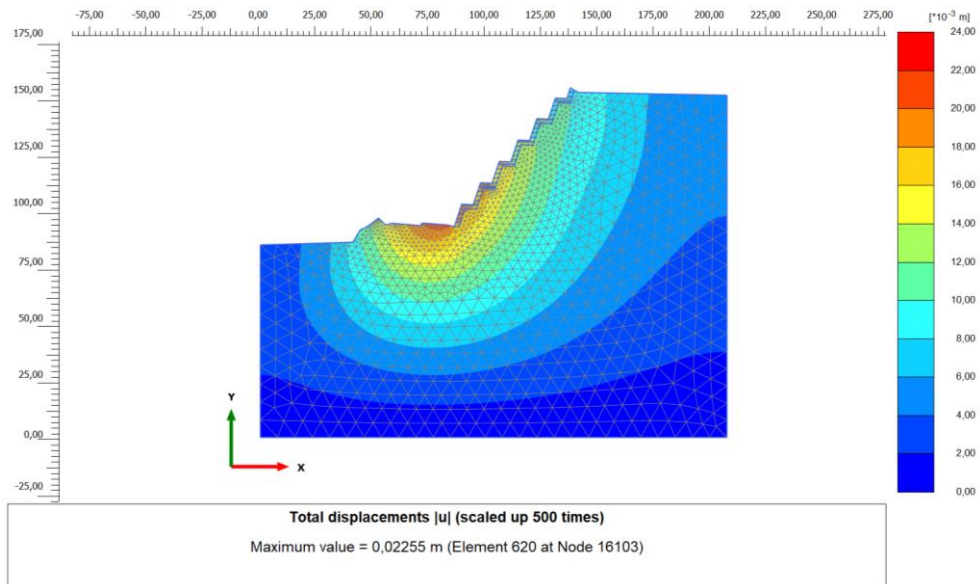
Şekil 4.14: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (depremlı).

#### 4.2.1.2. Plaxis 2D Analizleri

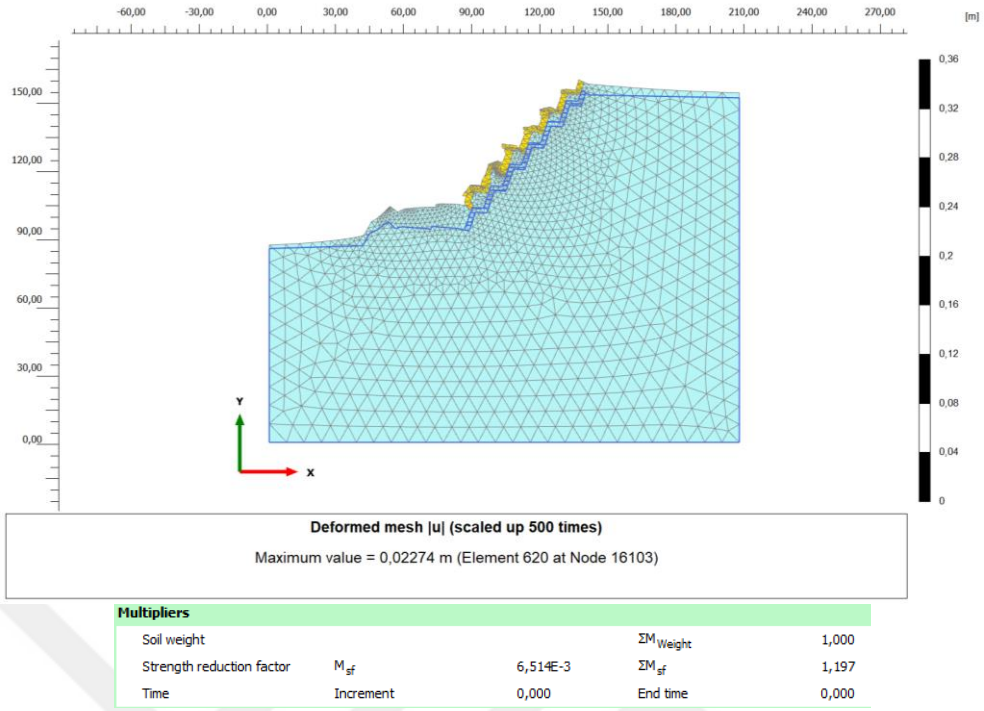
C-C' kesitinin Plaxis2D modeli Şekil 4.15'de verilmiş olup yapılan nümerik analizlerin sonuçları Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki gibidir. Analizler 'Hoek Brown' ölçütü ile gerçekleştirilmiş olup kayanın doruk parametreleri kullanılmıştır.



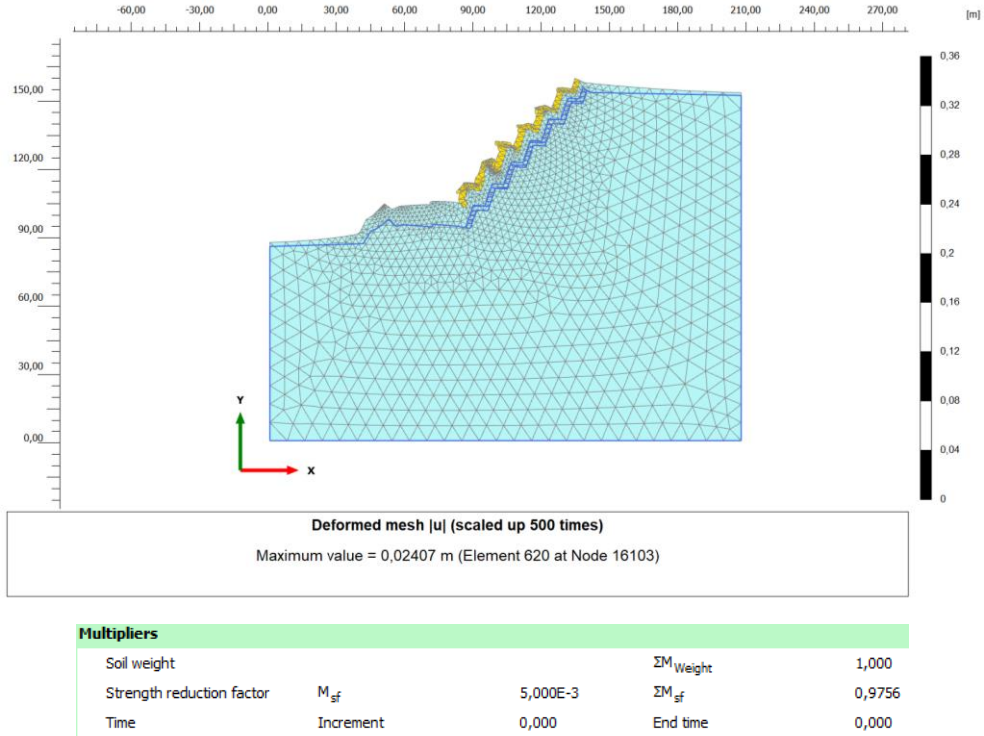
Şekil 4.15: C-C' kritik kesiti, analize yönelik Plaxis2D modeli.



Şekil 4.16: C-C' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik).



Şekil 4.17: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik)



Şekil 4.18: C-C' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremli)

#### 4.2.2. D-D' (KM: 38+120) Kritik Kesiti Nümerik Analizleri

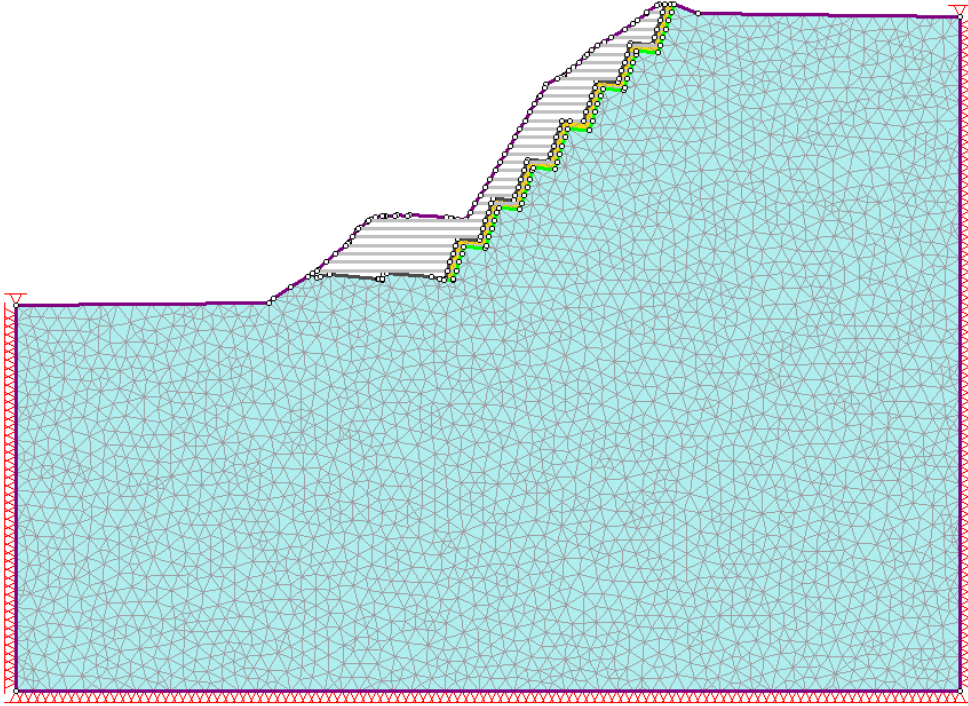
Midyat grubu kireçtaşı birimindeki 66,31 metre yüksekliğe sahip olan şevde yapılan analizler aşağıdaki gibidir. Kesite ait detaylar Şekil 4.19'de verilmiş olup kazı 2'şer metrelik aşamalarla modellenmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler 4.1.1 Midyat Grubu (Teom) Kireçtaşları Tasarım Parametreleri başlığı altında verilmiştir.



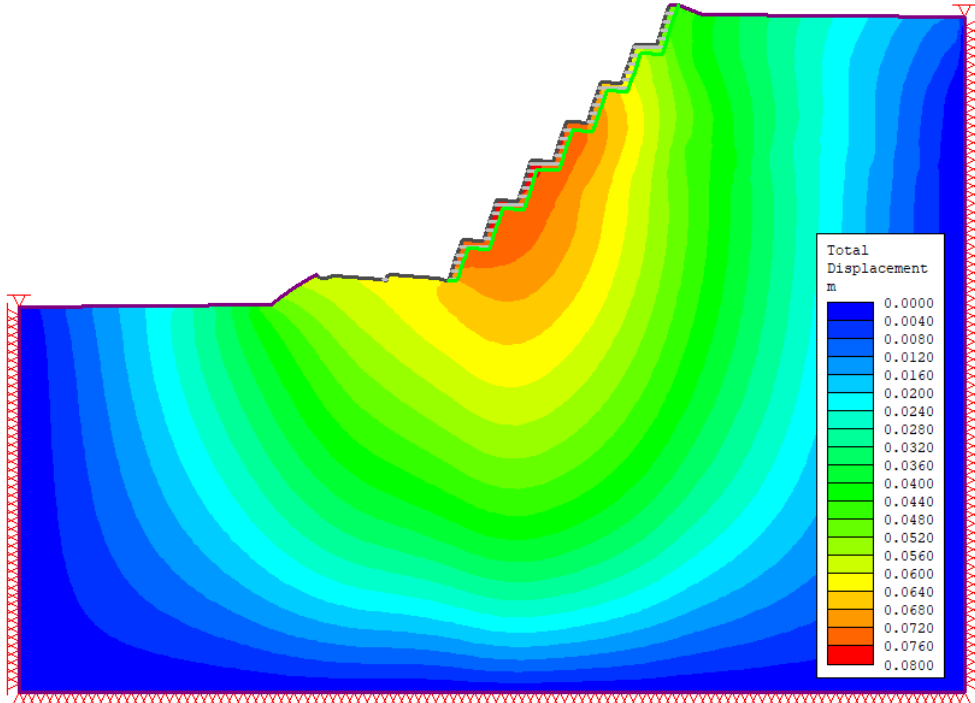
Şekil 4.19: D-D' kritik kesiti analiz modeli.

##### 4.2.2.1.RS2 (Phase) Analizleri

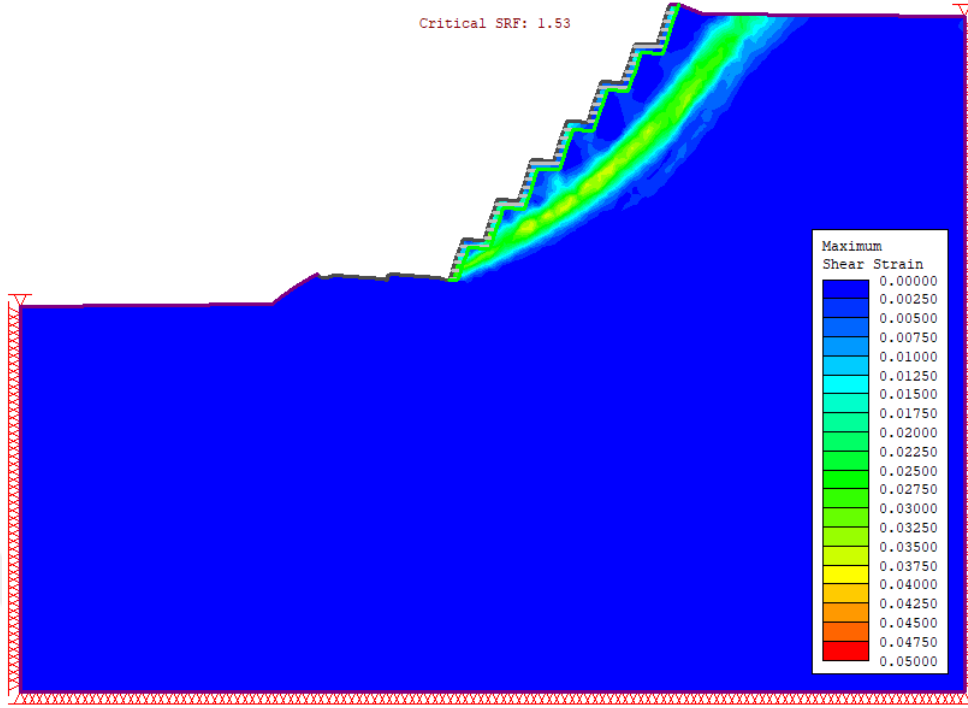
D-D' kesitinin RS2 modeli Şekil 4.20'de verilmiş olup yapılan nümerik analizlerin sonuçları Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'deki gibidir. Analizler 'Genelleştirilmiş Hoek Brown' ölçütü ile gerçekleştirilmiş olup kayanın doruk ve rezidüel parametreleri kullanılmıştır.



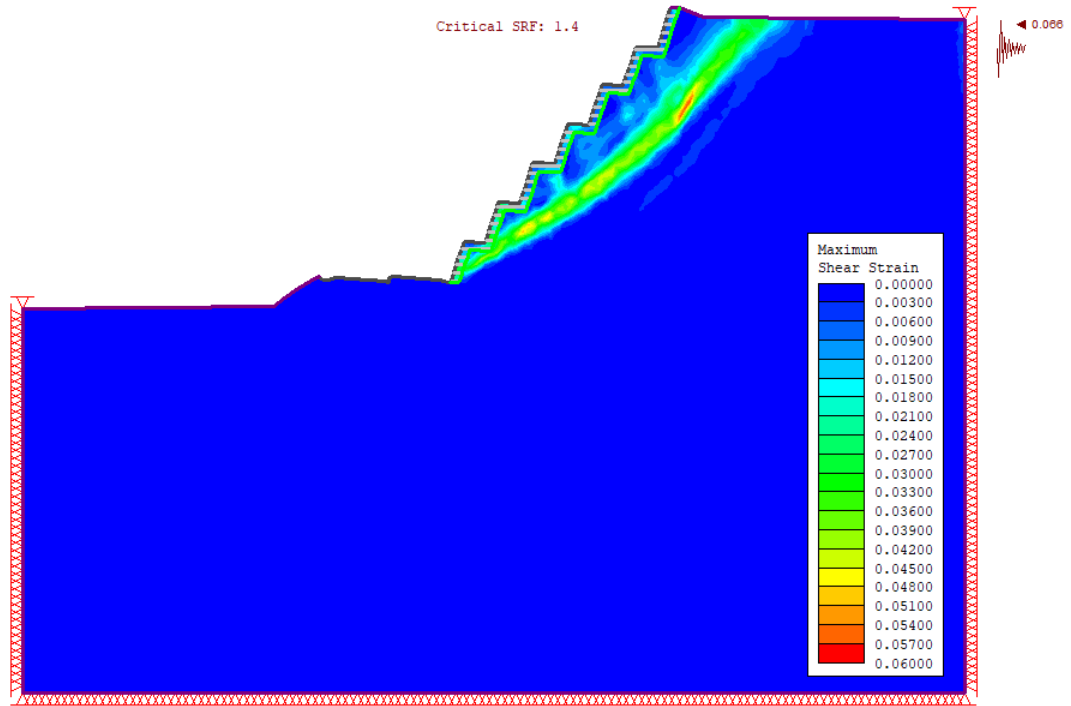
Şekil 4.20: D-D' kritik kesiti, analize yönelik RS2 modeli.



Şekil 4.21: D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik).



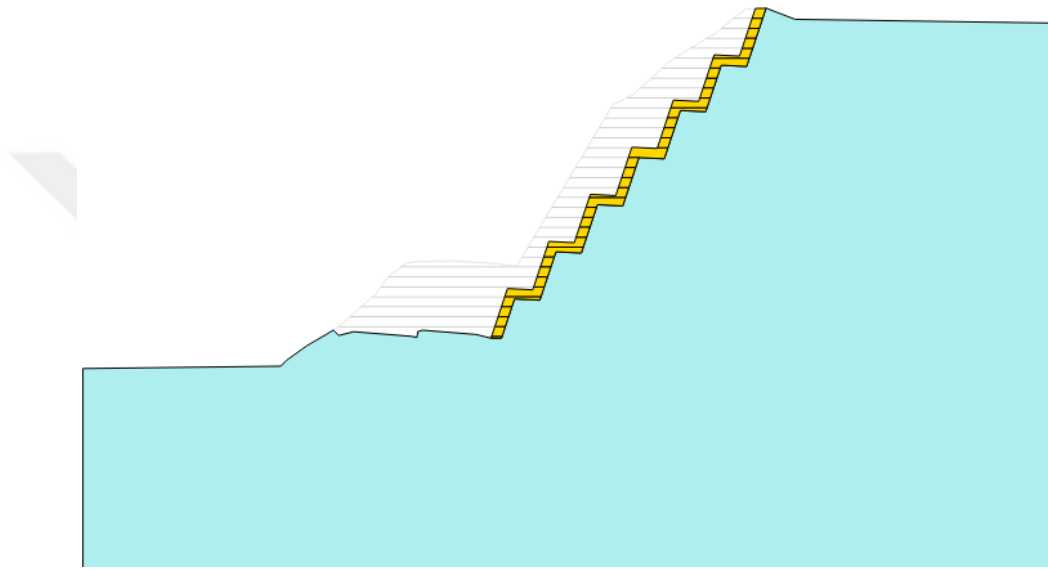
Şekil 4.22: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (statik).



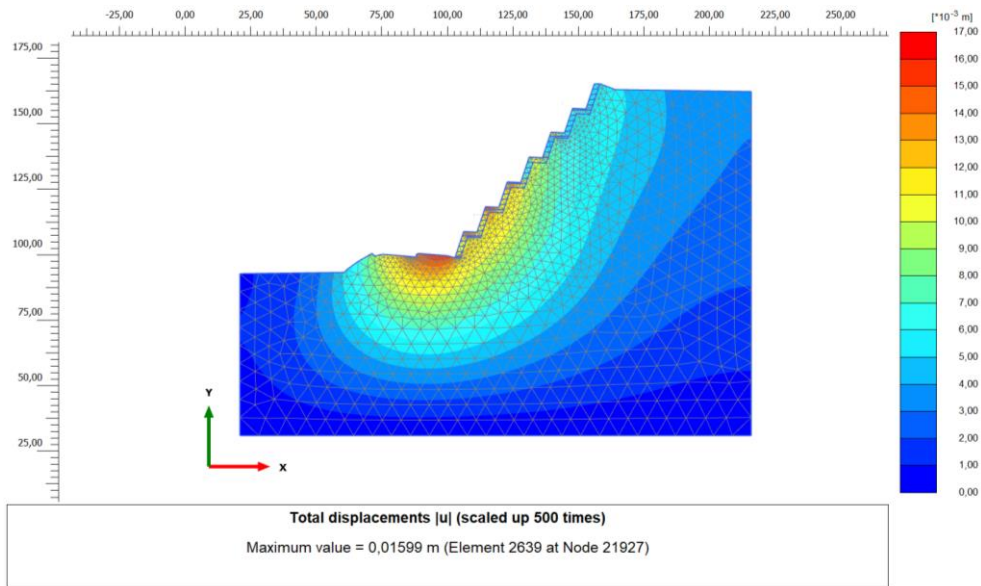
Şekil 4.23: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı ve maksimum makaslama yerdeğiştirmesi (depremlı).

#### 4.2.2.2. Plaxis 2D Analizleri

D-D' kesitinin Plaxis2D modeli Şekil 4.24'de verilmiş olup yapılan nümerik analizlerin sonuçları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'deki gibidir. Analizler 'Hoek Brown' ölçütü ile gerçekleştirilmiş olup kayanın doruk parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca 'Hardening Soil' ölçütü kullanılarak kayanın rezidüel parametreleri ile de analiz yapılmıştır (Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).

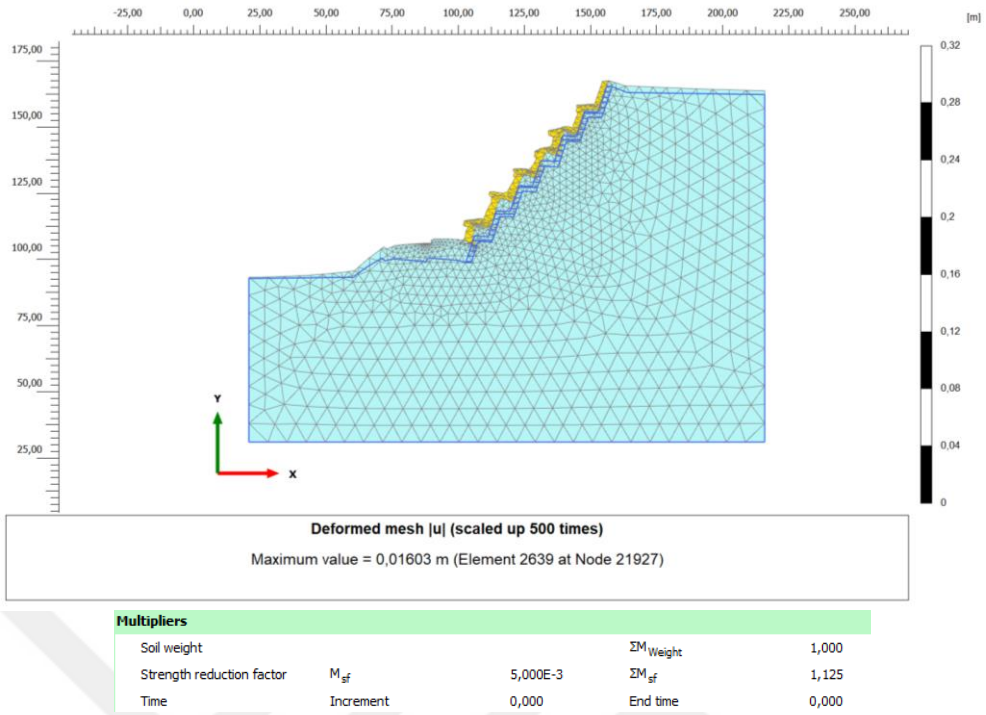


Şekil 4.24: D-D' kritik kesiti, analize yönelik Plaxis 2D modeli.

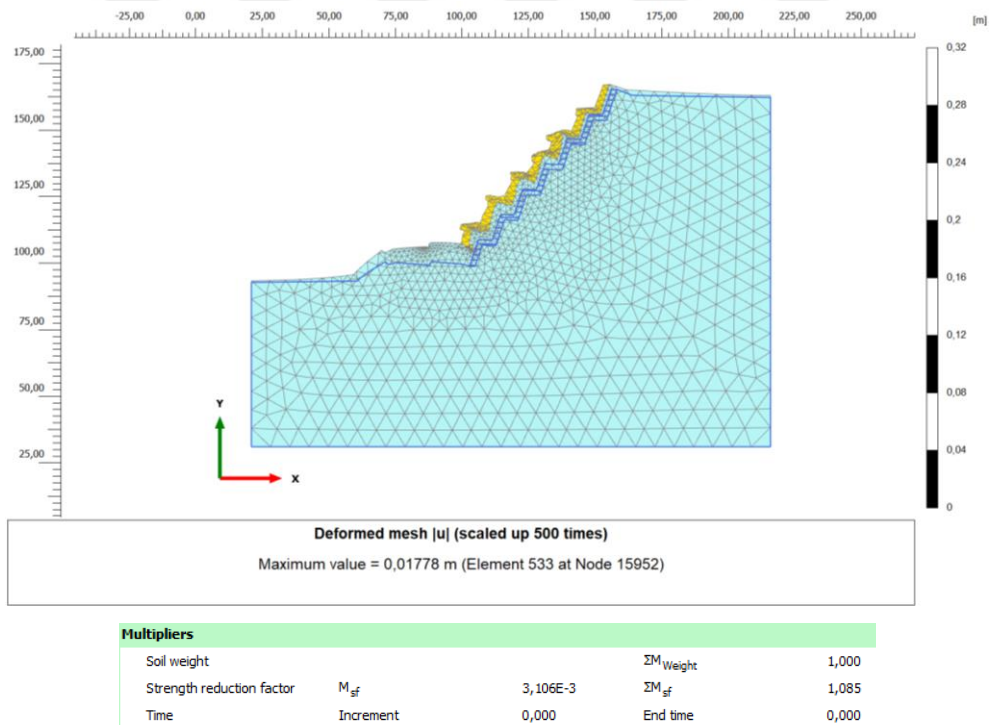


Şekil 4.25: D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik).



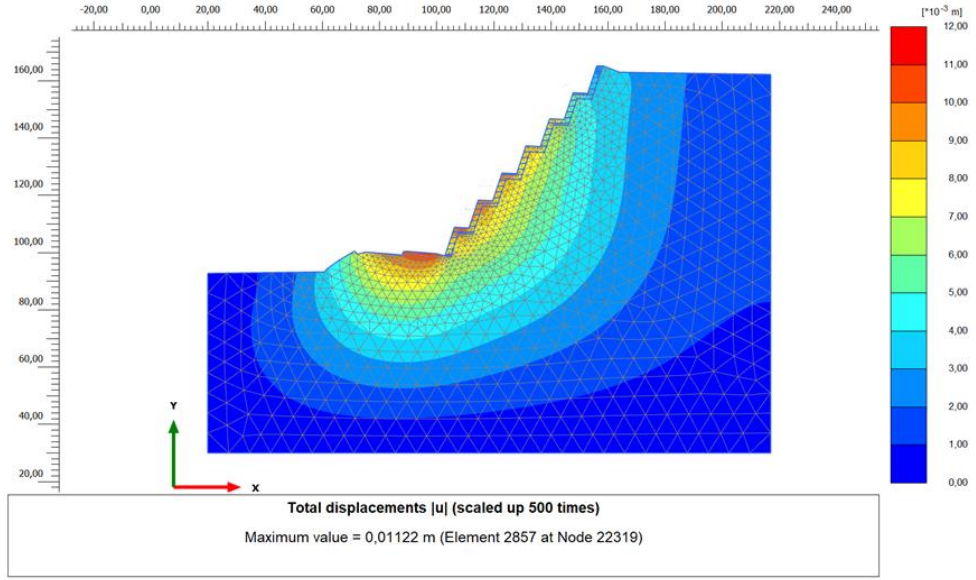


Şekil 4.26: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik).

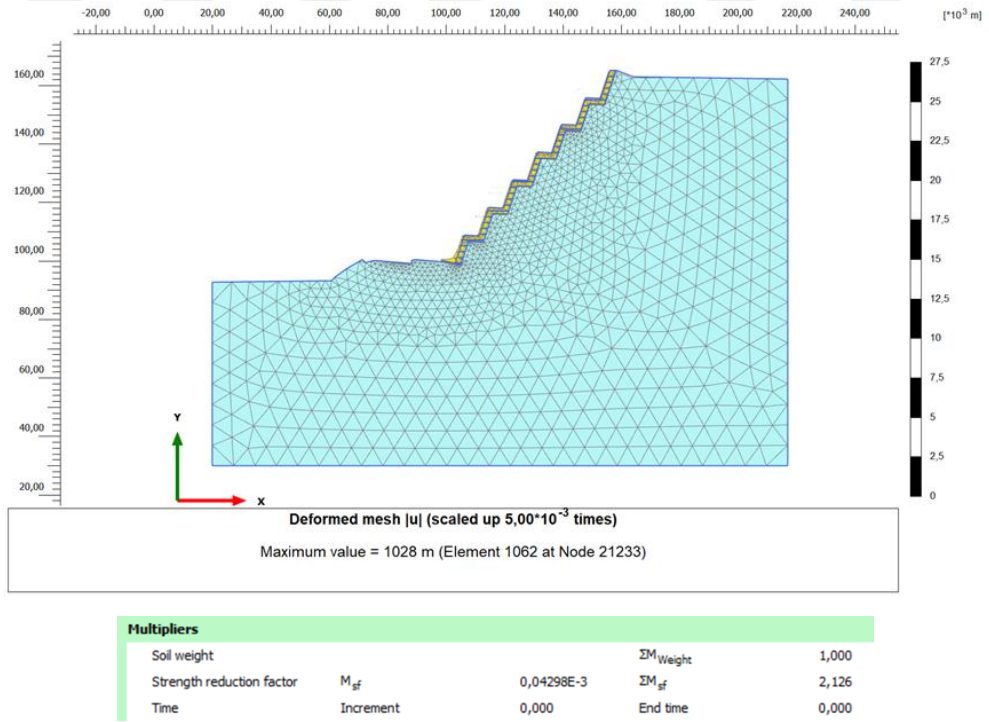


Şekil 4.27: D-D' kritik kesiti duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremlı).

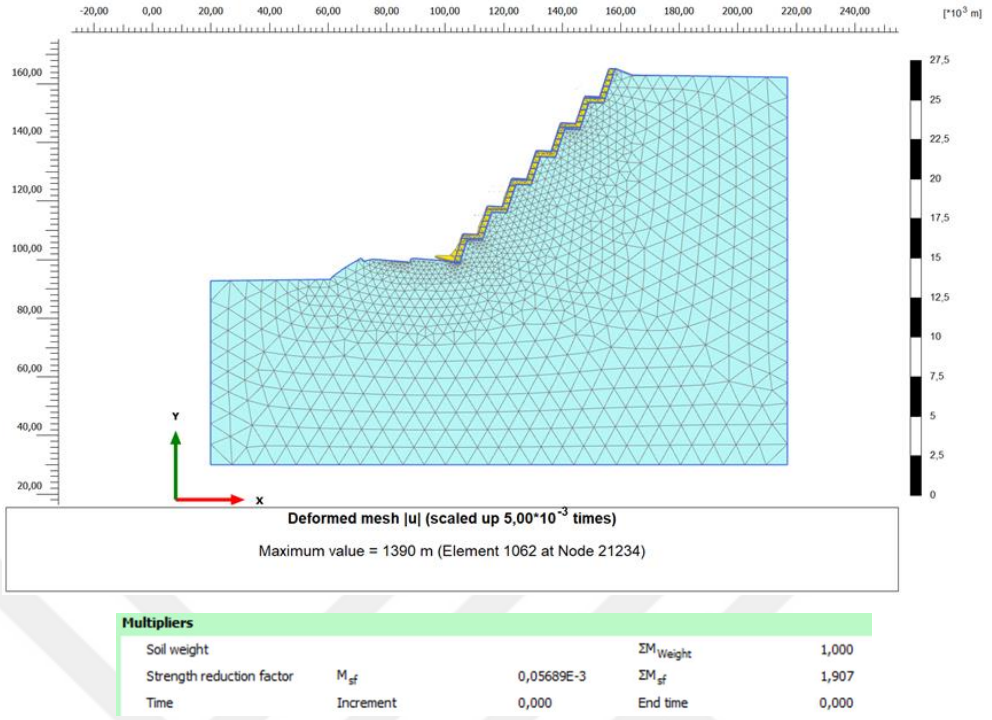
Rezidüel parametreler kullanılarak hardening soil yenilme kriterine göre yapılan analizler aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.28: D-D' kırık kesiti, duraylılık analizi – toplam yer değiştirme (statik, rezidüel parametre).



Şekil 4.29: D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – güvenlik sayısı (statik, rezidüel parametre).



Şekil 4.30: D-D' kritik kesiti, duraylılık analizi – güvenlik sayısı (depremlı, rezidüel parametre).

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma alanında mevcut karayolunun genişletilmesi ile oluşacak olan şevleri temsilen yükseklikleri 66 metreyi bulan iki adet kritik enkesitte RS2 (Phase) ve Plaxis programlarında nümerik analizler gerçekleştirilerek şev duraylılıkları incelenmiştir.

Bir kaya malzemesi tek başına kaya ortamını temsil eden özelliklere sahip değildir. Kaya ortamını bütünüyle düşünerek yapısındaki süreksizlikler ile değerlendirmek, kaya ortamlarını kaya kütleleri olarak çalışmak gerekir. Bu sebeple analizlerde, çalışma alanındaki Midyat grubu kireçtaşı birimlerindeki şev duraylılığında, süreksizlikler üzerinde şekillenen Hoek & Brown yenilme modeli temel alınmıştır. Kayanın yapısındaki fay, kırık, çatlak, dayk, tabaka, foliasyon vb. süreksizlikleri dâhil ederek kaya dayanım özelliklerini belirlemeye çalışan Hoek & Brown yenilme modeli tez içeriğinde de detaylıca anlatılan GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi), Hoek & Brown sabitleri (mb, s ve a) gibi kaya kütlelerini tanımlamaya yönelik parametreleri analizlerde kullanabilmeyi sağlamaktadır.

Kaya, başından geçen jeolojik süreçler sonrasında fiziksel ve kimyasal olarak değişim göstermeye yatkınlığı sebebiyle detaylıca incelenmesi gereken jeolojik bir malzemedir. Bu sebeple yukarıda bahsedilen analizlerin gerçekleştirilebilmesi için çalışma alanındaki kireçtaşı birimlerinde parametre tayininde de kullanılmak üzere kaya malzemesinin özelliklerini belirlemek adına süreksizlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve çalışma alanını tarifleyen hâkim kırık çatlak sistemleri belirlenmiştir. Bu ölçümlerin yapıldığı sırada süreksizlik özelliklerinin de detaylıca çalışıldığı arazide 11 adet sondaj kuyusu açılmış ve kaya dayanım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere sondajlardan alınan numunelerde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.1 KAYA MALZEMESİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR başlığında detayları verilen bu çalışmalardan elde edilen girdi (input) parametreleri kullanılarak (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2) RocData v5.007 yazılımında, analiz programlarında (RS2, Plaxis) kullanılmak üzere, tasarım parametreleri belirlenmiştir (Tablo 5.3 ve Tablo 5.4).

**Tablo 5.1:** Kireçtaşlarına ait doruk jeoteknik girdi parametreleri.

Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim ağırlık
$\sigma_{ci}$	GSI	mi	D	Ei	$\gamma$
[MPa]				[GPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]
24,20	39	12	0 ve 0,7	6,90	22,60

**Tablo 5.2:** Kireçtaşlarına ait rezidüel jeoteknik girdi parametreleri.

Tek eksenli dayanım	Jeolojik dayanım indeksi	Malzeme sabiti	Örselenme faktörü	Elastisite modülü	Birim ağırlık
$\sigma_{ci}$ [MPa]	GSI	mi	D	Ei [GPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
24,20	23	12	0 ve 0,7	6,90	22,60

**Tablo 5.3:** Kireçtaşlarının doruk kaya kütlesi tasarım parametreleri.

Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek – Brown Ölçütleri		
D	c [kPa]	$\phi$ [°]	Em [GPa]	mb	s	a
0	341	43	1,03	1,3584	0,0011	0,5122
0,7	218	33	0,38	0,4203	0,0001	0,5122

**Tablo 5.4:** Kireçtaşlarının rezidüel kaya kütlesi tasarım parametreleri.

Örselenme Faktörü	Kohezyon	İçsel sürtünme açısı	Deformasyon modülü	Hoek – Brown Ölçütleri		
D	c [kPa]	$\phi$ [°]	Em [GPa]	mb	s	a
0	233	37	0,37	0,7671	0,0002	0,5358
0,7	129	25	0,20	0,1745	0,00001	0,5358

Nümerik analizlerin gerçekleştirilmesinde RS2 (Phase) ve Plaxis programları tercih edilmiş olup her iki programda da duraylılık analiz ölçütü olarak seçilen Hoek & Brown yenilme modeli temelde aynı ancak pratikte farklı özellikler göstermektedir. Çalışmalar, bölgedeki en yüksek kesitlerde gerçekleştirilmiş olup analizlerde RS2 (Phase) programı kullanılmıştır.

RS2 (Phase) programının ‘Genelleştirilmiş Hoek & Brown’ yenilme kriteri kaya dayanım özelliklerini temsil eden doruk ve rezidüel parametrelerini birlikte girmeye olanak tanımaktadır. Bu ise arazi gözlemleri sonrasında deneyimli jeoloji mühendisinin kaya kütlelerinin elastoplastik davranabileceğini öngörmesi ya da duraylılığı çalışılan kayada daha önceden başka bir kazı yapılmış olması durumlarında, kayanın hem doruk hem de rezidüel değerlerini birlikte girmeyi mümkün kılmaktadır.

RS2 (Phase) programında, belirlenen kritik kesitlerde yapılan toplam yer değiştirme (Deplasman), statik güvenlik (SRF) ve depremlı güvenlik (Sismik SRF) analiz sonuçları özet tablosu aşağıdaki şekilde verilmiştir (Tablo 5.5).

**Tablo 5.5:** Kireçtaşlarının RS2 (Phase) duraylılık analiz sonuçları (Hoek & Brown yenilme modeli).

Kritik Kesit	Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
C-C' Kesiti	7	1,54	1,14
D-D' Kesiti	8	1,53	1,4

Nümerik analizlerde kullanılan ikinci analiz programı Plaxis 2D'dir. Bu programın ilk sürümlerindeki analiz ölçütlerinde Hoek & Brown yenilme modeli mevcut değildir. Tez kapsamında 2018 sürümü kullanılmış olup bu sürümde Hoek & Brown yenilme modeli mevcuttur.

RS2'nin aksine Plaxis programındaki Hoek & Brown yenilme modeli, kayanın doruk ve rezidüel parametrelerini aynı anda girme imkânı tanımamaktadır. Bu bağlamda programa kayanın doruk veya rezidüel parametresi amaca yönelik olarak girilmekte ve analiz bu şekilde gerçekleştirilmektedir.

Plaxis programında, belirlenen kritik kesitlerde, doruk parametreler kullanılarak yapılan toplam yer değiştirme (Deplasman), statik güvenlik (SRF) ve depremlı güvenlik (Sismik SRF) analiz sonuçları özet tablosu Tablo 5.6'de verilmiştir.

**Tablo 5.6:** Kireçtaşlarının Plaxis duraylılık analiz sonuçları (Hoek & Brown yenilme modeli).

Kritik Kesit	Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
C-C' Kesiti	2,26	1,197	0,986
D-D' Kesiti	1,6	1,125	1,085

Ayrıca, en kritik kesit olan 66 metre yüksekliğindeki D-D' kesitinde, Plaxis programındaki 'Hardening Soil Zemin Modeli' duraylılık ölçütü kullanılarak şev duraylılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizin yapılabilmesi için kaya kütlelerinin kohezyon (c), sürtünme açısı

( $\phi$ ) ve dilatasyon açısı ( $\psi$ ) değerleri RocData programından çekilmiş olup bu analizlerin sonuçları ise Tablo 5.7'deki gibidir.

**Tablo 5.7:** Kireçtaşlarının Plaxis duraylılık analiz sonuçları (Hardening Soil zemin modeli).

Kritik Kesit	Toplam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
D-D' Kesiti	1,12	2,126	1,907

Yapılan tüm analizlerin kıyasına yönelik; Tablo 5.8'de RS2 (Phase) ve Plaxis programlarının Hoek & Brown yenilme kriterine göre verdiği sonuçlar verilmiştir. Tablo 5.9'da ise RS2 (Phase) programında Hoek & Brown yenilme kriteri, Plaxis'te ise Hardening Soil zemin modelinin verdiği sonuçlar yer almaktadır.

**Tablo 5.8:** Hoek & Brown yenilme modeli RS2 (Phase) ve Plaxis sonuçları kıyas tablosu.

Kritik Kesit	RS2 (Phase)			Plaxis		
	Tomlam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik	Tomlam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
C-C' Kesiti	7	1,54	1,14	2,26	1,197	0,986
D-D' Kesiti	8	1,53	1,4	1,6	1,125	1,085

**Tablo 5.9:** Hoek & Brown yenilme modeli RS2 (Phase) ve Hardening Soil zemin modeli Plaxis sonuçları kıyas tablosu.

Kritik Kesit	RS2 (Phase) (Hoek & Brown)			Plaxis (Hardening Soil)		
	Tomlam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik	Tomlam yer değiştirme (cm)	Statik Güvenlik	Sismik Güvenlik
D-D' Kesiti	8	1,53	1,4	1,12	2,126	1,907

Uzun dönem şev duraylılıklarında statik güvenlik sayısının  $\geq 1,50$ , sismik güvenlik sayısının ise  $\geq 1,10$  olması beklenmektedir (Walsh, 2003). Bu bağlamda sonuç olarak;

Çalışma ortamındaki kireçtaşı birimdeki kaya şevlerinin duraylılıkları RS2 (Phase) programında uzun dönemde güvenlik katsayısı değerini sağlamakta olup belirlenen geometride şev duraylıdır.

Plaxis programında Hoek & Brown yenilme modelindeki sonuçlar güvenlik katsayı değerini karşılamamakta olup RS2 (Phase) programına göre daha düşük değer vermiştir. Bu sebeple güvenli kalarak çözmüştür yorumu yapılabilir.

Plaxis programında Hardening Soil zemin modeli kullanılarak yapılan analiz sonuçları Hoek & Brown yenilme modeliyle çalışılan RS2 (Phase) programının verdiği sonuçlara göre daha yüksek değer vermiş olup uzun dönem güvenlik katsayı değerini sağlamaktadır.

Sonuçların değerlendirilmesi neticesinde RS2 (Phase) programında Hoek & Brown yenilme kriterine göre, kayanın doruk ve rezidüel parametreleri kullanılarak, yapılan analizler; Plaxis programında Hardening Soil yenilme kriterine göre, kayanın rezidüel parametreleri kullanılarak, yapılan analizlerle benzerlik göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- Abramson, L.W., Lee, T. S., Boyce, G.M., Sharma, S. S., 2002. Slope Stability and Stabilization Methods, ISBN-10: 9780471384939, ISBN-13: 978-0471384939
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2007. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Mardin-M46 Paftası. Ankara Türkiye
- Aydan, Ö., Ulusay, R. and Kawamoto, T., 1997. Assessment of Rock Mass Strength For Underground Excavations. International Journal of Rock Mechanics And Mining Science, 34 (3/4), 777-786.
- Barton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in rockmass fort he design of tunnel design. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences, 39, 185-216.
- Bieniswki, Z. T., 1974. Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling. Proc. 3rd Int. Cong. On Rock Mech., Denver, IIA, 27-32.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classification: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. John Willey & sons, Inc.
- Cai, M., Kaiser, P. K., Tasaka, Y., Minami, M., 2007. Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44, 247-265
- Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H., 2013. Ankara – İstanbul Hızlı Tren Projesi, Km: 195+200 – 195+500 Arasında Meydana Gelen Şev Duraysızlığının Mühendislik Jeolojisi İncelemesi ve Çözüm Önerileri, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Hoek, E., and Brown, E. T., 1980a. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 106 (GT9): 1013-1035

- Hoek, E., Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. Third Edition. The Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd. London, p.358
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek – Brown Failure Criterion – 2002 Edition, Technical Notes.
- Hoek, E., Diederichs, M. S., 2006. Empirical Estimation of Rock Mass Modulus. International Journal of Rock Mechanics & Sciences 43, p.203-215
- Hoek, E., 2012. Blast Damage Factor D, Technical Note for RocNews, p.4-6
- Hoek, E., Carter, T. G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA, USA June 23-26
- Kentli, B., Topal, T., 2004. Assessment of rock slope stability for a segment of the Ankara – Pozantı motorway, Turkey, Engineering Geology 74
- Konuk, Ç., 2005. Şev Stabilitesi Analizi ve Şevlerde Deprem Etkisinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Küçüker, Y., 2012. İzmir ve yakın yöresindeki şeyllerde açılan şevlerin stabilite açısından değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, İzmir
- Natur, O., 2018. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri ve Bir Vaka Analizi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Nicholson, G. A., and Bieniawski, Z. T., 1990. A Non-linear Deformation Modulus Based an Rock Mass Classification. International Journal of Mining and Geological Engineering, 8, 181-202.
- Ocakoglu, F., 2002. Kirazlı (Yahyalı, G Kayseri) Pliyo-Kuvaterner kolüvyonlarının fasiyesleri ve iklimsel yorumu, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 11-20.

- Sönmez, H., Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., 1998. A practical procedure for the back analyses of slope failures in closely jointed rock masses, *International Journal of Rock Mechanics&Mining*
- Sönmez, H., Nefeslioğlu, H. A., Gökçeoğlu, C., and Kayabaşı, A., 2006b. Estimation of Rock Modulus: For Intact Rocks with an Artificial Neural Network and for Rock Masses with a New Empirical Equation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 224-35.
- Taşkıran, T., Yavuz, V. S., Keskin, M. S., 2015. Şev Stabilitesinin İki ve Üç Boyutlu Modeller ile incelenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Diyarbakır, Sayı 1, 1-8s.
- Tokgözoğlu, K., 2014. Anamur-Kaledran Devlet Karayolu İnşaatında Açılan Derin Yarmaların Şev Stabilitesi Açısından Değerlendirilmesi, *Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Karaca, A., 1995. Buckling failure at an open – pit coal mine and its back analysis. *Proceedings ,7th International Congress on Rock Mechanics*, Tokyo, Japan September 25-29
- Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, 2. Baskı, Ankara, ISBN: 975-395-466-2, s.14-163,256
- Walsh, M., 2003. *Engineering and Design Slope Stability*, Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000
- Yılmaz, M., Ertin, A., Er, S., Tuğrul, A., 2018. Numerical Modelling of Steep Slopes in Open Rock Quarries, *Journal Geological Society of India*, v.91, pp.232-238
- <http://www.batmankulturturizm.gov.tr/>
- <http://www.cografya.gen.tr/tr/batman/fiziki.html>
- <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>
- <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>

<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BATMAN>

<https://www.plaxis.com/>

<https://www.rocscience.com/software/rocddata>

<https://www.rocscience.com/software/rs2>

<http://yerbilimleri.mta.gov.tr>



**EKLER**

EK 1 – 1/1000 Ölçekli Mühendislik Jeolojisi Haritası

EK 2 – 1/1000 Ölçekli Jeolojik – Jeoteknik Boy Profil

EK 3 – 1/250 Ölçekli Jeoloji Enkesitleri (1/4)

EK 4 – 1/250 Ölçekli Jeoloji Enkesitleri (2/4)

EK 5 – 1/250 Ölçekli Jeoloji Enkesitleri (3/4)

EK 6 – 1/250 Ölçekli Jeoloji Enkesitleri (4/4)

EK 7 – Sondaj TCR, RQD ve SPT Grafikleri

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Aykut EKE
Doğum Yeri	KADIKÖY
Doğum Tarihi	25.08.1991
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 531 231 21 95
E-Posta Adresi	<a href="mailto:ekeaykut@gmail.com">ekeaykut@gmail.com</a>
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	11.06.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
Acıpınar, Bulkan ve diğ., 2015, Bafa Gölü (Batı Anadolu) Ekosistem Modeli, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı bildirisi, sy: 156*	
*(Bu çalışma 113Y070 numaralı TÜBİTAK projesi ile 28942, 17828, 45468 numaralı İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu projeleri kapsamında desteklenmiştir.)	
Eke ve diğ., 2015, Kestanbol (Ezine Batısı – Çanakkale) Civarında Gelişen Alterasyon Zonu ve Karadağ Metamorfitlerine ait Rekrystalize Kireçtaşlarının Sıvı Kapanım Karakteristikleri, İstanbul Üniversitesi'nde Jeoloji'nin 100. Yılı Sempozyumu bildirisi, sy:157	

Eke ve diğ., 2015, Dünyada Türkiye'ye Özgün Diaspor (Zultanit) Mineralinin Özellikleri, Madenciliği ve Pazarlanması, Değerli ve Yarı Değerli, Taşlar Çalıştayı bildirisi, sy:177

