



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GÖNEN YÖRESİNİN (BALIKESİR) JEOLJİSİ VE
YÖREDEKİ YERALTI SUYUNUN ŞEV
STABİLİTESİNE ETKİSİ

MEHMET SARIÇAM

YÜKSEK LİSANS
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet SARIÇAM tarafından hazırlanan “Gönen Yöresinin (Balıkesir) Jeolojisi ve Yöredeki Yeraltı Suyunun Şev Stabilitésine Etkisi” adlı tez çalışması 24/04/2023 tarihinde aşğıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

.....

Üye

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

.....

Üye

Prof. Dr. Kaan SAYIT

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet SARIÇAM

22.05.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

GÖNEN YÖRESİNİN (BALIKESİR) JEOLJİSİ VE YÖREDEKİ YERALTI SUYUNUN ŞEV STABİLİTESİNE ETKİSİ

Mehmet SARIÇAM

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

2023, 68 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Prof. Dr. Kaan SAYIT

Bu çalışma Balıkesir İlinin Gönen İlçesinde, Gönen-Yenice yolu km: 13+000 Kumköy mevkiinde heyelanındaki jeoteknik hareketleri ve bölgenin jeolojik özelliklerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanında stratigrafik olarak tabanda yer alan ve bölgeye oldukça yaygın gözlenen ve temel kayaları uyumsuzlukla örten ilk birim geç Oligosen-erken Miyosen yaşlı Hallaçlar volkanitidir. Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon ise bölgedeki tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Bu çalışma ile bölgede gerçekleşen heyelanların Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimleri üzerinde oluştuğu tespit edilmiştir.

Heyelan oluşumu ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında üç eksenli basınç deneyleri (UU) SK-2 nolu kuyudan alınan UD-1 nolu örnek için kohezyon (c) değeri sağlam 46 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri çok gevşek (ϕ) 12° , SK-3 nolu kuyudan alınan UD-1 nolu örnek için kohezyon değeri sağlam 65 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri çok gevşek 7° , belirlenmiştir. Direkt kesme deneylerine (CD) göre ise, SK-1 nolu kuyudan alınan UD-1 nolu örnek için pik kohezyon değeri yumuşak 36 kPa ve içsel

sürtünme açısı değerleri gevşek 38°, rezidüel kohezyon değeri yumuşak 32 kPa ve içsel sürtünme açısı değerleri gevşek 33°, SK-3 nolu kuyudan alınan UD-2 nolu örnek için pik kohezyon değeri yumuşak 10 kPa ve içsel sürtünme açısı değerleri çok gevşek 21°, rezidüel kohezyon değeri ise yumuşak 8 kPa ve içsel sürtünme açısı değerleri çok gevşek 19°, SK-2 nolu kuyudan alınan UD-1 nolu örnek için için pik kohezyon değeri yumuşak 22 kPa ve içsel sürtünme açısı değerleri 35° olarak belirlenmiştir. Kaya numunelerinden alınan örnekler üzerinde yapılan nokta yükleme deneyleri sonucunda kıltaşı-1 olarak adlandırılan birimden alınan örnek için kohezyon değeri çok kötü kaya 36 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri orta kaya 28°, kıltaşı-2 olarak adlandırılan birimden alınan örnek için kohezyon değeri çok kötü kaya 70 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri orta kaya 26°, ardalanma-1 olarak adlandırılan birimden alınan örnek için kohezyon değeri çok kötü kaya 72 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri iyi kaya 37,5°, ardalanma-2 olarak adlandırılan birimden alınan örnek için kohezyon değeri çok kötü kaya 92 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri iyi kaya 37,5°, ardalanma-3 olarak adlandırılan birimden alınan örnek için kohezyon değeri kötü kaya 118 kPa ve içsel sürtünme açısı değeri iyi kaya 37,5° olarak bulunmuştur.

Çalışma alanında tespit edilen toprak hareketlerinin yaklaşık 10 m derinliğe kadar gözlenen silt birimleri içerisinde gerçekleştiği, bazı alanlarda az da olsa halen bu hareketlerin devam ettiği ve yağış ve yeraltı suyu seviyesi değişimlerinin ise bölge için güvenlik katsayısına etki ettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genel jeoloji, Gönen-Kumköy, Jeoteknik araştırma, şev analizi, yeraltı suyu.

ABSTRACT

MS THESIS

GEOLOGY OF THE GÖNEN REGION (BALIKESİR) AND THE EFFECT OF GROUND WATER ON SLOPE STABILITY IN THE REGION

Mehmet SARIÇAM

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

2023, 68 Pages

Jury

Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU

Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Prof. Dr. Kaan SAYIT

This study is carried out to investigate the geotechnical movements and the geological characteristics of the region in the landslide of the Gönen-Yenice road km: 13+000 Kumköy location in the Gönen District of Balıkesir City. Late Oligocene-early Miocene Hallaçlar volcanite is the first unit stratigraphically located at the bottom of the study area and widely observed in the region and unconformably overlies the basement rocks. The Pliocene-aged Bayramiç Formation and the Quaternary-aged Alluvium unconformably cover all the rock units in the region. In this study, it was determined that the landslides in the region were formed on the Pliocene aged Bayramiç formation and the Quaternary aged Alluvium units.

Within the scope of studies on landslide formation triaxial compression tests (UU), the cohesion (c) value for sample UD-1 obtained from borehole SK-2 was determined to be sturdy at 46 kPa, and the internal friction angle was determined to be loose (ϕ) at 12° and for sample UD-1 obtained from borehole SK-3, the cohesion value

was determined to be sturdy at 65 kPa, and the internal friction angle was determined to be loose at 7°. According to the direct shear tests (CD), for sample UD-1 obtained from borehole SK-1, the peak cohesion value was determined to be soft at 36 kPa, and the internal friction angle was determined to be loose at 38°, the residual cohesion value was determined to be soft at 32 kPa, and the residual friction angle was determined to be loose at 33°; for sample UD-2 obtained from borehole SK-3, the peak cohesion value was determined to be soft at 10 kPa, and the internal friction angle was determined to be very loose at 21°, the residual cohesion value was determined to be soft at 8 kPa, and the residual friction angle was determined to be very loose at 19°, and for sample UD-1 obtained from borehole SK-2, the peak cohesion value was determined to be soft at 22 kPa, and the internal friction angle was determined to be 35°. Based on the point load tests conducted on samples taken from the rock specimens, for the sample obtained from the unit referred to as claystone-1, the cohesion value was determined to be very weak rock at 36 kPa, and the internal friction angle was determined to be moderate rock at 28°; for the sample obtained from the unit referred to as claystone-2, the cohesion value was determined to be very weak rock at 70 kPa, and the internal friction angle was determined to be moderate rock at 26°; for the sample obtained from the unit referred to as intercalation-1, the cohesion value was determined to be very weak rock at 72 kPa, and the internal friction angle was determined to be good rock at 37.5°; for the sample taken from the unit referred to as intercalation-2, the cohesion value was determined to be very weak rock at 92 kPa, and the internal friction angle was determined to be good rock at 37.5°, and for the sample taken from the unit referred to as intercalation-3, the cohesion value was determined to be weak rock at 118 kPa, and the internal friction angle was determined to be good rock at 37.5°.

It has been determined that the soil movements detected in the study area take place within the silt units observed up to a depth of approximately 10 m, these movements still continue, albeit slightly, in some areas, and the changes in precipitation and groundwater levels affect the safety coefficient for the region.

Keywords: General geology, Geotechnical survey, Gönen-Kumköy, ground water, Slope analysis.

ÖNSÖZ

Gönen yöresinin (Balıkesir) jeolojisi ve yöredeki yeraltı suyunun şev stabilitesine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada;

Tez çalışmasının hazırlanması boyunca bana değerli zamanını ayıran ve desteklerini esirgemeyen başta Danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz OKUYUCU olmak üzere tezimin tüm aşamasındaki katkıları için Sayın Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT hocalarıma,

Tez yazımı sırasındaki katkılarından dolayı Dr. Melikan AKBAŞ hocama,

Tez çalışması kapsamında kullanılan verilen elde edilmesinde desteklerini esirgemeyen GEODESTEK ZEMAR Zemin Araştırma Şirketi ile yöneticilerine ve tüm mesai arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet SARIÇAM
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışma Bölgesinin Tanıtımı	1
1.3. Çalışma Yöntemleri	2
1.3.1. Arazi çalışmaları	2
1.3.2. Laboratuvar çalışmaları	2
1.3.3. Büro çalışmaları	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MATERYAL VE METOD	5
4. STRATİGRAFİ.....	6
4.1. Bölgesel Jeoloji.....	6
4.2. Stratigrafi	8
4.2.1. Hallaçlar Volkaniti (Toh).....	9
4.2.2. Bayramiç Formasyonu (plb)	9
4.2.3. Alüvyon (Qal).....	10
4.3. Çalışma bölgesinin depremselliği	10
5. JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR	11
5.1. Sondaj Kuyuları	12
5.2.Yerinde yapılan deneyler	13
5.2.1. Standart penetrasyon deneyi	13
5.3. İnklinometre Ölçümleri.....	13
5.4. Örnek Alımı	16
5.5.Yeraltı Suyu Durumu	16
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	18
6.1. Mevcut Arazi Durumu	18
6.2. Laboratuvar Çalışmaları	26
6.3. Jeoteknik Değerlendirmeler	31
6.4. Zemin Birimleri	31
6.4.1. Killi silt	31
6.5. Kaya Birimleri	35
6.5.1 Kiltası.....	40

6.5.2 Konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması	43
6.6. Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi	48
6.7 Bishop Metodu ile Şev Analizi	48
6.8. Yeraltı Suyunun Şev Analizine Etkisi	50
6.9. Heyelan Mekanizması.....	51
7. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	60
EK-1 Sondaj Yerleri ve Kesitler Yönleri.....	60
EK-2 Kesitler	61
EK-3 İnklinometre Sonuçları.....	63



TABLÖLAR

Tablo 5. 1. Sondaj çalışmalarına ait özet bilgi	13
Tablo 5. 2. İnklinometre ölçüm sonuçları	16
Tablo 5. 3. Yörenin yeraltı su seviyesi ölçümleri	17
Tablo 6. 1 Örselenmiş spt örneklerine ait zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları	29
Tablo 6. 2. Örselenmemiş ud örneklerine ait zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları.....	30
Tablo 6. 3. Kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları.....	30
Tablo 6. 4. İnceleme alanında karşılaşılan kaya birimlerinin mühendislik parametreleri	48



FOTOĞRAFLAR

Foto 5. 1. İnceleme alanındaki keson kuyuya ait genel görünüm	17
Foto 6. 1. İnceleme alanında karşılaşılan farklı boyut ve kökenli çakıl parçaları ve bloklar	18
Foto 6. 2. Çalışma alanının doğu sınırında gözlemlenen düşey atımlı heyelan yüzeyi .	19
Foto 6. 3. İnceleme alanı ulaşım yolu alt kotundaki basamaklanmaların görünümü-1..	20
Foto 6. 4. İnceleme alanı ulaşım yolu alt kotundaki basamaklanmaların görünümü-2..	20
Foto 6. 5. SK-3 Bölgesinde karşılaşılan deformasyon yüzeyi	21
Foto 6. 6. Yol kenarı tabelalarında gözlemlenen şev aşağı eğim	22
Foto 6. 7. Çökme sonucu oluşan yüzey deformasyonlar.....	22
Foto 6. 8. İnceleme alanındaki taş duvar üzerinde yapılan ölçümler	23
Foto 6. 9. Heyelan sonrası iç stabilitesini yitirmiş taş duvar.....	24
Foto 6. 10. Taş duvar üzerindeki çatlak ve deformasyonlar	24
Foto 6. 11. Tamamen yıkılmış taş duvar	25
Foto 6. 12. Duvar kesitinde oluşmuş olan palye üzerinde yapılan ölçümler.....	25
Foto 6. 13. Drenaj hendeğinde gözlenen deformasyonlar	26

ŞEKİLLER

Şekil 1. 1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMImages/Haritalar/b14.jpg).....	1
Şekil 4. 1. Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999)	6
Şekil 4. 2. Çalışma alanı ve çevresine ait tektonik zon haritası (Duru ve diğ. 2012).....	7
Şekil 4. 3. Kumköy ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Dönmez ve diğ. 2005'ten değiştirilerek alınmıştır).	8
Şekil 4. 4. Kumköy ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Akçay ve diğ. 2008).....	9
Şekil 4. 5. İnceleme alanı ve yakın çevresinin deprem bölgeleri haritası(www.afad.com.tr).	10
Şekil 5. 1. Çift eksenli düşey inklinometre probu için yan görünüş ve ölçüm yön tanımları	15
Şekil 5. 2. Çift eksenli düşey inklinometre.....	15
Şekil 5. 3. İnklinometre verisi temel hesap adımları	15
Şekil 6. 1. Zemin örneklerinin plastisite abası üzerindeki dağılım	31
Şekil 6. 2. Stroud (1974) tarafından verilen drenajsız makaslama mukavemeti – PI ilişkisi.....	33
Şekil 6. 3. SPT-N60 Değerlerinin sondaj derinliğine göre dağılımı	33
Şekil 6. 4. Plastisite indisinin ve içsel sürtünme açısının ilişkisi Gibson (1953)	34
Şekil 6. 5. GSI (Jeolojik dayanım indeksi) sınıflama sistemi Hoek ve Marinos (2000) .	36
Şekil 6. 6. Kayaç gruplarına göre sağlam malzeme sabiti, m_i değerleri(parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir Hoek vd. (1995)	37
Şekil 6. 7. Örselenme faktörü, d , hesabi için öneri tablosu	38
Şekil 6. 8. Kayaç gruplarına göre MR değerleri (Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir) Hoek ve diğ. (1995)	39
Şekil 6. 9. Kilitli birimleri için RQD değerlerinin derinlikle ilişkisi.....	40
Şekil 6. 10. Kilitli 1 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki	41
Şekil 6. 11. Kilitli-1 birimi için direk kesme grafiği	41
Şekil 6. 12. Kilitli 2 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki	42
Şekil 6. 13. Kilitli-2 birimi için direk kesme grafiği	42
Şekil 6. 14. Birimler için RQD sınıflaması	44
Şekil 6. 15. Konglomera – Kumtaşı – Kilitli ardalanması-1 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki.....	45
Şekil 6. 16. Ardalanma-1 için direk kesme grafiği.....	45
Şekil 6. 17. Konglomera – Kumtaşı – Kilitli ardalanması-2 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması	46
Şekil 6. 18. Ardalanma-2 için direk kesme grafiği.....	46
Şekil 6. 19. Konglomera – Kumtaşı – Kilitli ardalanması-3 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki.....	47
Şekil 6. 20. Ardalanma-3 için direk kesme grafiği.....	47
Şekil 6. 21. Basitleştirilmiş (sadeleştirilmiş) Bishop dilim yönteminde	49
Şekil 6. 22. Basitleştirilmiş Bishop yönteminde hesaplanan dilimlerin özellikleri.....	50
Şekil 6. 23. Bir şevdeki yeraltı suyu akışının sistematığı (Singh ve Atkins, 1984)	51
Şekil 6. 24. Alınan kesitin yönelimi ve heyelan sınırları.....	52

Şekil 6. 25. Analizler kapsamında kullanılan litolojik kesiti.....	53
Şekil 6. 26. Analizler kapsamında kullanılan yeraltı suyu belirtilmiş (A-A') litolojik kesiti.....	53
Şekil 6. 27. Analizler kapsamında kullanılan temsili yeraltı suyu belirtilen (A-A') litolojik kesit	54
Şekil 6. 28. A-A' Kesiti için duyarlılık analizi sonucu	55



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Σ : Toplam

σ : To

ϕ : İçsel Sürtünme Açısı

π : Pi

Φ : Sürtünme Açısı

γ : Birim Hacim Ağırlığı

c: Kohezyon

F: Güvenlik Katsayısı

kN: Kilonewton

kPa: Kilo Paskal

MPa: Mega Paskal

D: Örselenme Faktörü

Kısaltmalar

YASS: Yeraltı Suyu Seviyesi

K: Kuzey

G: Güney

D: Doğu

B: Batı

m: Metre

SPT: Standart Penetrasyon Testi

RQD Kaya Kalite Sınıflaması

UD: Örselenmemiş Numune

KGM: Karayolları Genel Müdürlüğü

CD: Direkt Kesme Deneyi

GSI: Jeolojik Dayanım İndeksi Sınıflaması

UCS: Tek Eksenli Basınç Dayanımı

PL: Plastisite Limit

LL: Likit Limit
PI: Plastik İndisi
I: Nokta Yükleme
UU: Konsolidasyonsuz Drenajsız Deney
CU: Konsolidasyonlu Drenajsız Deney
CD: Konsolidasyonlu Drenajlı Deney
MH: Yüksek Plastisiteli Silt
GC: Killi Çakıl
SC: Killi Kum
GM: Siltli Çakıl
SM: Siltli Kum
ASTM: American Society for Testing and Materials
ISO: International Organization for Standardization
ISRM: International Society for Rock Mechanics
EN: European Norm
TS: Türk Standartı

1.3. Çalışma Yöntemleri

Tez kapsamında yapılması planlanan çalışmalar arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

1.3.1. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları çalışma bölgesinin jeolojik özelliklerinin ortaya konulması, çalışma alanında araştırma kuyularının açılması, bu çalışmalar sırasında yerinde yapılan SPT deneyleri ile örselenmiş örneklerin alınması, öngörülen derinliklerde ince cidarlı tüplerle örselenmemiş numune (UD) alınması, SPT deneyi yapılmayan ve örselenmemiş numune (UD) alınamayan derinliklerde karot numune alınması ve bunların ardından sondaj kuyularının inklinometre (eğimölçer) ölçümleri için hazırlanması ve periyodik izleme yapılmasını kapsamaktadır.

1.3.2. Laboratuvar çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında araştırma sondajlarından alınan örselenmiş, örselenmemiş ve karot örnekleri üzerinde doğal su muhtevası ölçümleri, dane boyutu belirleme deneyleri (elek analizleri), Atterberg Limitleri deneyleri, zemin sınıflandırması ve konsolidasyonsuz drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyleri ve konsolidasyonlu drenajlı (CD) direkt kesme (kesme kutusu) deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin bir kısmı ADA-Z Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarında bir kısmı ise ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

1.3.3. Büro çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamında çalışma bölgesinin stratigrafisinin ortaya konulması bölgede yapılan deneylerin ve laboratuvarlardan gelen sonuçların incelenmesi, inklinometre ölçümlerinin değerlendirilmesi, tüm sonuçların bilgisayar ortamına aktarılması, tüm bunların yorumlanması ve ardından tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanını da içerisine alan Biga yarımadasında yüzeyleyen temel ve onları üzerleyen genç çökeller çok sayıda araştırmacı tarafından farklı isimler altında adlandırılmış ve çalışılmıştır (Bingöl ve diğ. 1975; Şengör ve Yılmaz 1981; Okay 1989; Göncüoğlu ve diğ. 1997; Okay ve Göncüoğlu 2004; Beccaleto ve Jenny 2004; Akçay ve diğ. 2008; Duru ve diğ. 2012 vb.). Bu bölümde kronolojik olarak çalışma alanında gerçekleştirilmiş olan bazı öncel jeolojik çalışmalara yer verilecektir.

Bingöl ve diğ. (1975) kuzeybatı Anadolu'da (Edremit yöresi) Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonuna yönelik yapmış oldukları çalışmada bölgede yüzeyleyen farklı yaştaki litostratigrafik birimleri formasyon mertebesinde tanımlayarak bunların stratigrafik konumlarını genelleştirilmiş bir kesit üzerinde göstermişlerdir. Çalışmacılar halen jeolojik evrimi oldukça tartışmalı olan Karakaya Kompleksi'ni (Karakaya formasyonu, Bingöl ve diğ. 1975) oluşturan birimlerle ilgili oldukça detaylı tanımlama yapmış ve oluşum yaşının Erken Triyas olduğunu belirtmişlerdir.

Siyako ve diğ. (1989) Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer stratigrafilerine yönelik yapılan çalışmada bölgede Maastrichtiyen-Erken Eosen, Orta Eosen-Oligosen, Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner olmak üzere dört adet çökeltme evresi tanımlamışlardır. Bu Tersiyer yaşlı birimlerin temelini ise yüksek dereceli metamorfitle, Triyas yaşlı Karakaya birimleri ve bunların üzerine transgresif olarak gelen Jura-Kretase sedimanter birimler ile Geç Kretase-Paleosen yaşlı ofiyolitli melanjın oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Okay ve diğ. (1991) Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimini konu alan çalışmalarında Biga ve Gelibolu yarımadalarında kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan dört adet tektonik zon tanımlayarak bunları Gelibolu, Ezine, Ayvacık-Karabiga ve Sakarya zonu olarak adlandırmışlardır. Çalışma alanını da kapsayan Sakarya Zonu'nun (Okay 1984) Jura öncesi yaygın metamorfik bir temel ve Jura-Tersiyer yaş aralığında bir örtü ile temsil edildiğini, Jura öncesi temelin ise Karakaya öncesi birimler, Kazdağ Grubu ve Karakaya Kompleksine ait birimlerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Çalışmacılar Karakaya Kompleksinin aynı yaşlı ancak farklı havza ve tektonik ortamları karakterize eden Nilüfer Birimi, Hodul Birimi, Orhanlar Grovağı ve Çal Birimi olmak üzere dört adet tektono-stratigrafik birimden oluştuğunu ifade ederek tüm bu birimleri tanımlamışlardır.

Okay ve Göncüoğlu (2004) çalışmalarında Karakaya Kompleksinin oluşumu ile ilgili öne sürülen hipotezleri tartışarak Karakaya Kompleksini Jura öncesi

epimetamorfik serileri için Alt Karakaya Kompleksi bunları üzerleyen klastik ve volkanoklastik serileri için ise Üst Karakaya Kompleksi olmak üzere iki bölüme ayırarak incelemişlerdir.

Pickett ve Robertson (2004) kuzeybatı Anadolu'da ağırlıklı olarak Karakaya Kompleksinin Nilüfer birimi üzerinde yapmış oldukları çalışmada bu birimin masif bazalt ve piroklastik çökeller ile bir ya da daha çok Triyas Tetis okyanusu içerisindeki deniz adaları ile temsil edildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, enerken Jura'dan önce Avrasya yay-önünün güney kenarına Karakaya Kompleksinin kuzey yönlü bindirme ile yerleştiğini öne sürmüşlerdir.

Sayit ve Göncüoğlu (2009) Sakarya Tektonik Birliği'nin Liyas öncesi temelinde yer alan Karakaya Karmaşığı içerisindeki bazik volkanitlerin jeokimyasal özelliklerinin yeniden değerlendirildiği çalışmalarında duraylı elementlerin kullanıldığı ayırım diyagramlarına dayalı olarak Karakaya Karmaşığı içerisindeki volkanitlerin üç farklı gruptan oluştuğunu ifade etmişlerdir. Önceki çalışmalarda yer alan bazaltik volkanitlerin jeokimyasal özellikleri yeniden değerlendirildiği bu çalışma ile Karakaya Karmaşığı'nın içinde birden fazla tektonik ortamın ürünü olan volkanik kayaların varlığı ortaya konmuştur.

Duru ve diğ. (2012) Biga Yarımadası'nın jeolojisini ele aldıkları çalışmalarında bölgede birbiriyle tektonik ilişkili, KD-GB konumunda uzanımlı farklı stratigrafik istiflerden oluşan doğudan-batıya doğru İzmir-Ankara zonu, Sakarya zonu, Çetmi melanji ve Ezine zonunu tanımlayarak Biga Yarımadası'nın Tersiyer öncesi kayaçlarının bu zonlar içerisinde yer aldığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, çalışma alanını içerisine alan Sakarya zonunun temelinde Kazdağ metamorfikleri ile Kalabak grubu ve şiddetli deformasyona uğramış Karakaya kompleksinin yer aldığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı Balıkesir Gönen-Yenice yolu km: 13+000 Kumköy mevkiini kapsamakta olup 1:25.000 ölçekli Bandırma H19-d4 paftasında yer almaktadır.

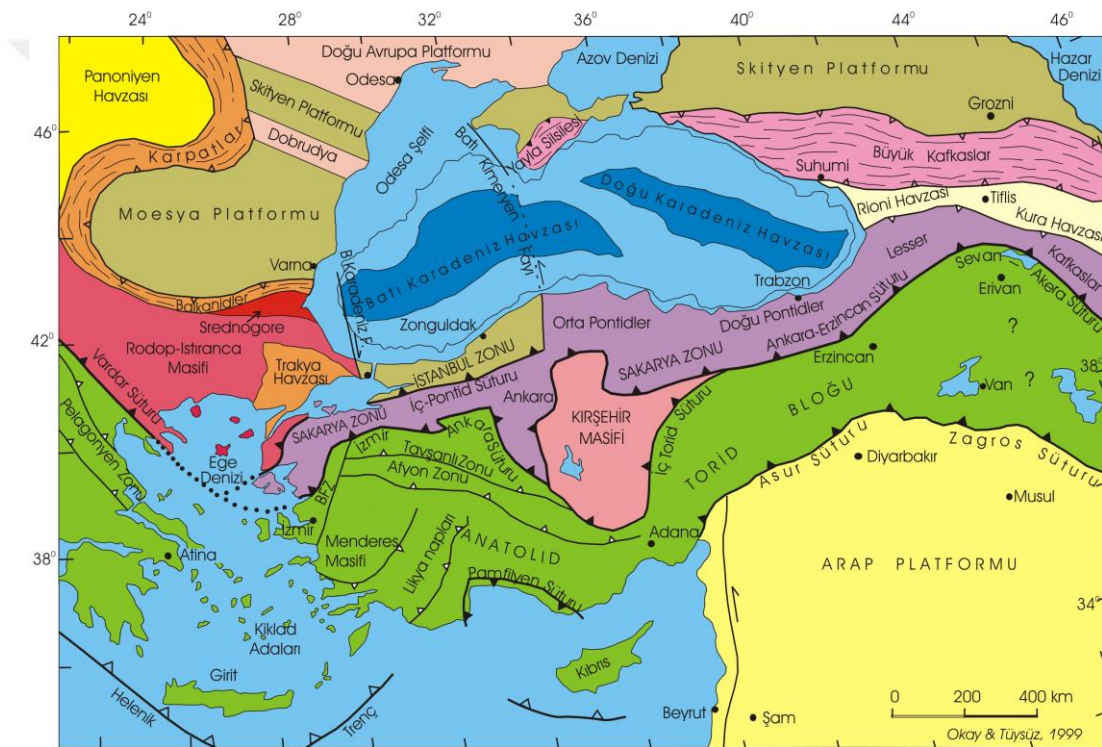
Arazi çalışmalarından önce bölge ve yakın çevresi ile ilgili jeolojik ve uygulamalı jeolojiye dönük çalışma, makale, harita, rapor vb. envanter derlenerek literatür taraması yapılmıştır. Tüm bu ön çalışmalar ışığında arazide, jeolojik ve uygulamalı jeolojiye yönelik sondajlardan alınan örneklerde doğal su muhtevası ölçümleri, dane boyutu belirleme deneyleri (elek analizleri) zemin sınıflandırması gibi laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler ve laboratuvar sonuçlarından yararlanılarak siltli, killi ve kiltası birimlerinin hangi seviyelerde birbirlerinden ayrıldıkları tespit ederek bölgede yüzeyleyen istiflerin litostratigrafik özelliklerinin belirlenmesi ve çalışma alanının jeolojik özelliklerinin jeoteknik açıdan şeve etkileri incelenmiştir. Elde edilen tüm bu veriler işlenmiş ve tez yazımında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

4. STRATİGRAFİ

Bu bölümde Biga yarımadasının genel jeolojik özellikleri ile çalışma alanının stratigrafik özellikleri verilecektir.

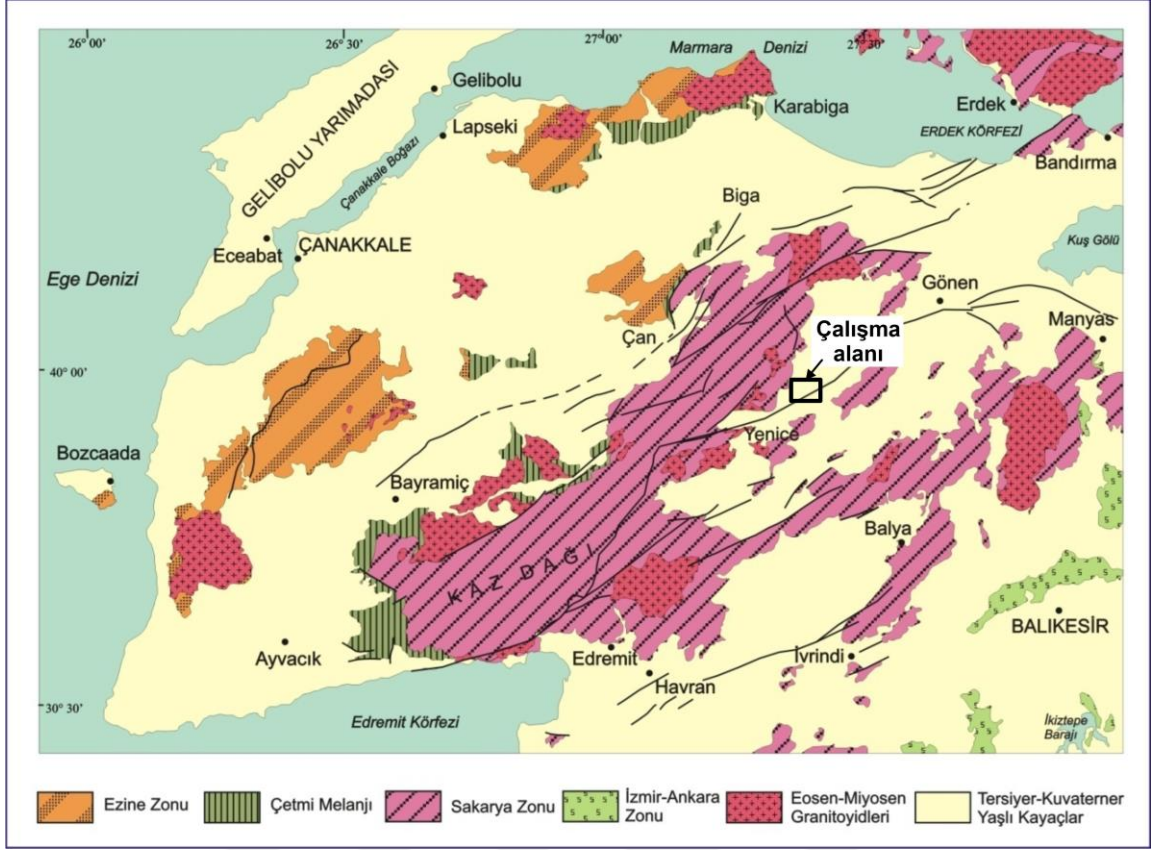
4.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışmanın gerçekleştirildiği alanın içerisinde yer aldığı Sakarya Zonu Anadolu'nun kuzeyini doğu-batı yönünde boylu boyuna kaplayan güneyde İzmir-Ankara Sütur Kuşağı, kuzeyde ise İntra-pontid Sütur Kuşağı ile sınırlanmış Şengör and Yılmaz (1981)'ın Sakarya Kıtasını da kapsayan tektonik bir birliktir (Okay, 1989; Okay ve Tüysüz, 1999) (Şekil 4.1). Aynı bölge Alpin öncesi geçmişi esas alınarak Göncüoğlu ve diğ. (1997) tarafından “Sakarya Kompozit Birliği” olarak da adlandırılır.



Şekil 4. 1. Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999)

Çalışma alanı genel olarak Biga yarımadasının doğusunda yer almakta olup Biga yarımadasında yer alan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı temel birimler farklı stratigrafik istiflerden oluşan KD-GB uzanımlı tektonik zonlar içerisinde yüzeylenirler (Şekil 2.2). Bu zonlar genel olarak doğudan-batıya doğru İzmir-Ankara Zonu, Sakarya Zonu, Çetmi Melanjı ve Ezine Zonu olarak adlandırılmıştır (Akçay ve diğ. 2008, Duru ve diğ. 2012 vb.). Bu temel birimler üzerine uyumsuzlukla Eosen-Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş sedimanter ve volkanik kayalar gelmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Çalışma alanı ve çevresine ait tektonik zon haritası (Duru ve diğ. 2012).

Sakarya Zonu bölgede altta Kazdağ metamorfikleri ve bunları tektonik dokanaklı olarak üzerleyen Kalabak birimi bu birim üzerine tektonik/uyumsuzlukla(?) gelen Karakaya kompleksine ait birimler ile temsil edilir. Tüm bu birimler ise Geç Triyas-Erken Kretase yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Duru ve diğ., 2012). Sakarya Zonunun tabanında yer alan ve Biga Yarımadası'nda geniş alanlar kaplayan Kazdağ metamorfikleri yaygın olarak orto ve paragnayslar, amfibolitler ve metaultramafik kayalarla temsil edilirler (Bingöl ve diğ, 1975; Duru ve diğ, 2004, 2012; Okay ve diğ, 2006; Göncüoğlu, 2010). Kazdağ masifi Miyosen sonrasında gelişen sıyrılma ve doğrultu atımlı faylarla yükselerek bugünkü konumunu kazanmıştır (Akçay ve diğ., 2008; Duru ve diğ., 2012).

Kazdağ metamorfikleri üzerinde tektonik dokanakla gelen olasılıkla Geç Paleozoyik yaşlı Kalabak birimi düşük dereceli metamorfiklerden oluşmaktadır. Kalabak birimini oluşturan çökeller farklı çalışmacılar tarafından farklı isimler altında adlandırılmıştır (Kalabak metamorfikleri, Krushensky ve diğerleri, 1980; Alt Karakaya kompleksi, Okay ve Göncüoğlu, 2004; Torasan ve Sazak formasyonları, Dönmez ve diğ., 2008 vb.).

Kalabak birimi üzerine uyumsuz olarak gelen ve Sakarya zonu temelinde yer alan Triyas yaşlı Karakaya kompleksi Biga Yarımadası'ndan Erzincan'a kadar uzanan geniş bir kuşak içerisinde yayılım göstermektedir (Okay ve Göncüoğlu, 2004). Karakaya kompleksi farklı araştırmacılarca farklı biçimlerde tanımlanan ve yorumlanan birden fazla yapısal birlik içermesinin yanı sıra içerdiği birimlerin oluşum ve deformasyon/metamorfizma yaşları da oldukça tartışmalıdır (Okay ve Göncüoğlu, 2004; Robertson ve diğ., 2004). Karakaya kompleksi içerisinde birbiriyle yer yer geçişli, genellikle tektonik dokanıklı, arkozik kumtaşları çört mercekli grovaklar, bazaltik kayalar ve tüfler ile kireçtaşı seviyeleri yaygın olarak gözenmektedir. Karakaya kompleksi birimleri içerisinde olistolit ve olistostromlar şeklinde görülen Devoniyen-Triyas yaş aralığında platform karbonat blokları ile radyolaryalı çört blokları yer alır (Okay ve Göncüoğlu, 2004; Duru ve diğ. 2012; Tekin ve diğ., 2021 vb.).

Biga Yarımadasında yukarıda genel hatları ile verilen temel birimler üzerine aşıl uyumsuzlukla Eosen-Kuvaterner yaşlı aralığına ait çok sayıda volkanik veya sedimanter birim gelmektedir.

4.2. Stratigrafi

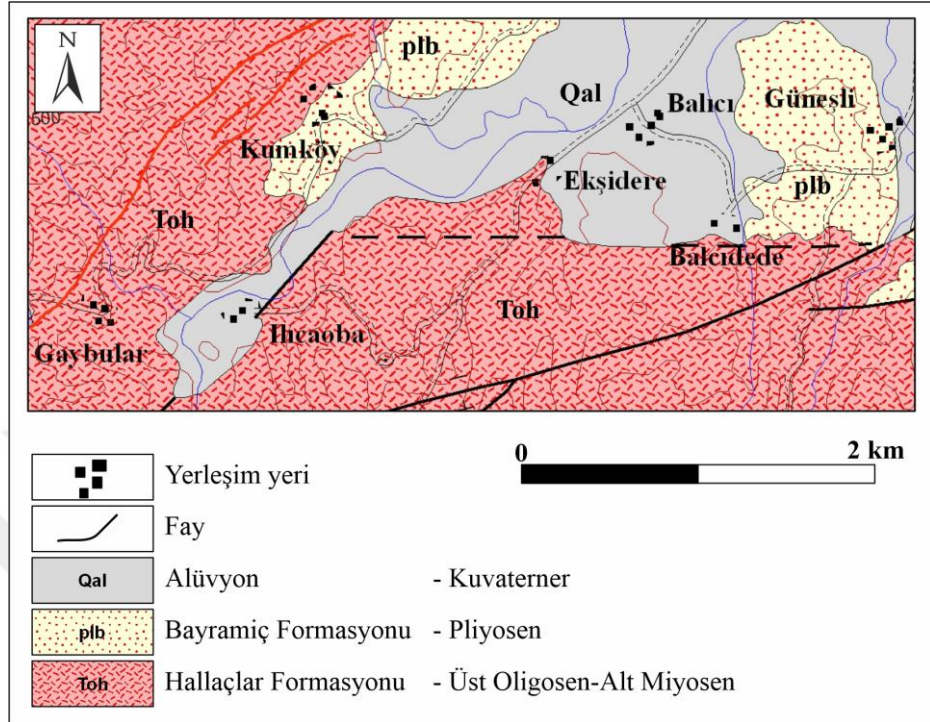
İnceleme alanında (Kumköy yöresi) yüzeyleyen istifler Dönmez ve diğ. (2005) çalışmasındaki adlamalara bağılı kalınarak çalışma bölgesi için oluşturulmuş dikme kesit baz alınarak formasyon mertebesinde anlatılacaktır (Şekil 4.3).

ÜST SİSTEM	SİSTEM - SERİ	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	Alüvyon	Qal		Alüvyon
	PLİYOSEN	Bayramiç	Plb		Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı
	ÜST OLİGOSEN-ALT MİYOSEN	Hallaçlar	Toh		Andezitik, bazaltik, riolitlik, dasitik lav ve piroklastikler → Biga Yarımadası granitoyitleri
MESOZOYİK PALEOZOYİK		Temel kayalar			Senozoik öncesi temel kayalar

Şekil 4. 3. Kumköy ve çevresinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Dönmez ve diğ., 2005'ten değiştirilerek alınmıştır).

Çalışma alanında en yaygın gözlenen ve temel kayaları üzerine uyumsuzlukla gelen geç Oligosen-erken Miyosen yaşlı Hallaçlar volkanitidir. Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon ise tüm birimleri uyumsuzlukla örter (Şekil 4.3, Şekil 4.4). Biga Yarımadasında Geç Oligosen-Erken Miyosen zaman aralığında

oldukça geniş alanlar kaplayan ve genellikle granodiyoritik bileşimli sokulumlar bölgeye yerleşmişlerdir (Siyako ve diğ., 1989; Dönmez ve diğ., 2005; Akçay ve diğ., 2008; Aydın ve diğ., 2019 vb.).



Şekil 4. 4. Kumköy ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Akçay ve diğ. 2008)

4.2.1. Hallaçlar Volkaniti (Toh)

Çalışma alanının güney ve batı bölümlerinde oldukça fazla yüzeylemeleri olan Hallaçlar volkaniti bu isimle ilk kez Dönmez ve diğ. (2005) tarafından adlandırılmış olup ağırlıklı olarak andezit, andezitik lav, dasit ve piroklastik kayalardan oluşur. Krushensky (1976) tarafından Hallaçlar formasyonu olarak adlandırılan birim ile eşdeğerdir. Formasyona ait yüzleklerin çoğu aşırı derece alterasyona uğramış olup sarı, kahverengi, gri ve yeşilimsi renkleri ile tipiktir. Birimden yapılan radyometrik yaş tayinleri volkanizmanın geç Oligosen’de etkin olmaya başladığını göstermektedir (Krushensky, 1976; Dönmez ve diğ., 2005; Akçay ve diğ., 2008; Altunkaynak ve diğ., 2012).

4.2.2. Bayramiç Formasyonu (plb)

Biga ve Gelibolu Yarımadaalarında gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, şeyl gibi flüviyal çökeller ilk defa Siyako ve diğ. (1989) tarafından birimin en iyi gözlendiği yer olan Bayramiç Çayı’na ithafen Bayramiç formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon çalışma alanında ağırlıklı olarak kızıl-kahverenkli

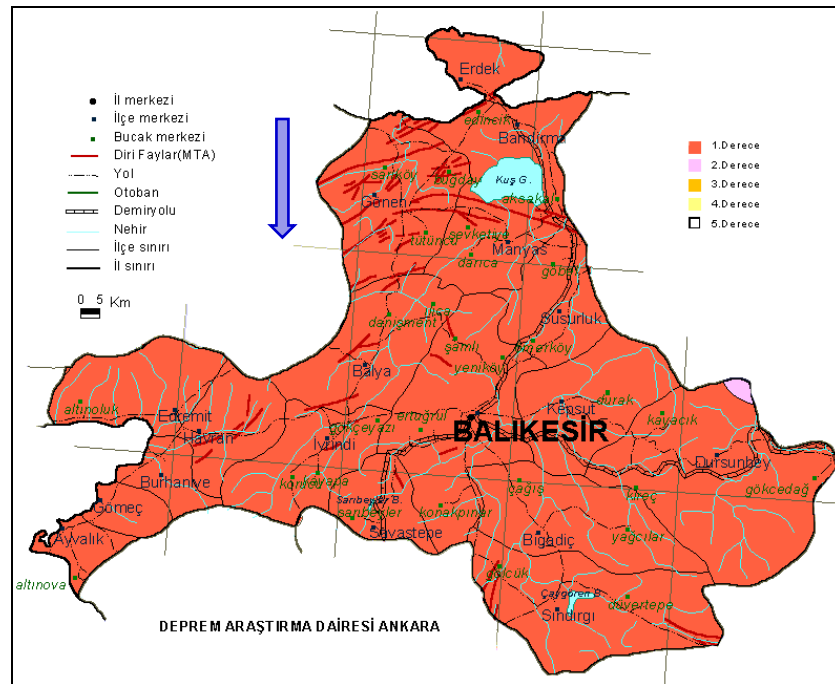
konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Kendisinden önce oluşan tüm birimleri uyumsuz olarak üzerleyen Bayramiç formasyonu alüvyon yelpazesi, örgülü ve menderesli akarsu çökellerinden oluşur (Akçay ve diğ., 2008).

4.2.3. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında dere, nehir yatakları gibi topografik olarak alçak alanlarda depolanmış, çakıl, kum, kil ve silt benzeri kötü boylanmış az tutturulmuş malzemeden oluşan alüvyonlar tüm birimleri uyumsuzlukla üzerlemektedir.

4.3. Çalışma bölgesinin depremselliği

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında olup bölge kuzeyden Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) ve güneyden Ege Graben Sisteminin etkisi altındadır. Bölge konumu gereği yıkıcı deprem üretme potansiyeli olan fayların etkisi altında olup Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı uzantılarına bağlı oluşan düşey ve yanal hareketler Kuzey Batı Anadolu'da önemli yerleşim birimlerini etkilemiş ve etkilemeye devam etmektedir. Yenice-Gönen fayı, Marmara Denizi bölgesinde, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) güney kolu boyunca uzanır ve bölgesel olarak Yenice-Gönen fay zonu olarak adlandırılır. Bu fay jeolojik geçmişte yüzey kırığı ile sonuçlanmış birden fazla deprem üretmiş bir faydır (Kürçer ve diğ. 2019). İnceleme alanı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 1. Derece Deprem Bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4. 5. İnceleme alanı ve yakın çevresinin deprem bölgeleri haritası(www.afad.gov.tr).

5. JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Jeoteknik çalışmalar kapsamında yapılan sondajlardan örnekler derlenerek laboratuvar çalışmaları kapsamında bu örnek tezin amacına uygun yöntemlerle test edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında killi, siltli ve kıltaşı birimlerinin hangi seviyelerde birbirlerinden ayrıldıklarını tespit ederek bölgede yüzeyleyen istiflerin litostratigrafik özellikleri belirlenerek bunların şev etkileri incelenmiştir.

Şev genel anlamda “yatay ya da mevcut arazi yüzeyi ile belirli bir açı yapan kitle” olarak tarif edilebilir. Şev stabilitesi analizleri jeoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından birisidir. Bunun nedeni, şev stabilite bozukluklarının depremler, sel baskınları gibi doğal afetlere ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Doğal ve yapay tüm şevlerin oluşmasının farklı nedenleri bulunmaktadır, bu nedenler genel olarak sıralanacak olursa;

- 1- Şevlerin kendi ağırlıkları,
 - 2- Uygulanan yüklerin etkisi altında göçmeye karşı stabiliteleri,
 - 3- Yeraltı suyunun etkisi,
 - 4- Doğal veya yapay oluşan titreşimler
- şeklinde açıklanabilir.

Şevler elastik teoriye dayanan limit denge yöntemleriyle analiz edilmektedir (İsveç Dilim, Bishop, Janbu, Morgenstern ve Price, Spencer vb.). Bu yöntemler arasında uygulamada bazı farklılıklar olmasına rağmen, ortak özellik, bilinen veya kabul edilen bir kritik kayma yüzeyinde, kayma kütesinin dengesinin araştırılmasıdır. Şevlerin analizi halen klasik limit denge yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde, dairesel veya kama tipi potansiyel bir kayma yüzeyi kabulü yapıp, kaydıran ve kaydırmaya karşı koyan momentler ya da kuvvetler arasındaki ilişki kullanılarak şevin güvenlik sayısı belirlenmektedir. Şevlerin limit denge yöntemleri ile analizine yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Şev analiz yöntemlerinde, kayma yüzeyinin şekli ve yeri, kayan kütenin davranışı ile ilgili kabuller yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde gerilme şekil değiştirme ilişkisi göz önüne alınmamakta ve deplasmanlar hesaplanamamaktadır. Bilgisayar kullanımının, tüm alanlarda olduğu gibi, geoteknik mühendisliğinde de yaygınlaşması ile şev stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi artan bir şekilde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımının diğer geleneksel limit denge yöntemlerine göre avantajı, şevin göçme yüzeyinin yeri ve şekli, dilimlerin şiddeti ve yönleri ile ilgili bir kabule ihtiyaç duyulmamasıdır. Sonlu

elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrileri, farklı zemin, sınır ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm göçme mekanizması tiplerinde uygulanabilmektedir. Şev modellenirken birçok zemin malzeme modeli kullanılarak gerçeğe yakın malzeme bünye davranışı elde edilebilmekte, zeminde oluşan gerilmeler ve deplasmanlar doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir.

Ayrıca, uzun ve kısa süreli stabilite analizlerinde, yeraltı suyu bulunması halinde aşağıdaki yöntemlerle iyileştirme yapılarak şevin dengesi korunmaya çalışılır.

- 1- geotekstil
- 2- zemin çivisi
- 3- istinat duvarı,
- 4- ankraj,
- 5- fore kazık,
- 6- mini kazık.

Bu çalışmada, şevlerin stabilitesinin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde kullanılan mukavemet azaltma tekniğinden bahsedilmiştir. Bu çalışmada bir şev örneği ele alınmış ve mukavemet azaltma tekniği kullanılarak göçmeye karşı güvenlik sayısı elde edilmiştir. Ayrıca, limit denge yöntemi kullanılarak şev stabilite analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen güvenlik sayıları sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

5.1. Sondaj Kuyuları

İnceleme alanındaki sondaj çalışmaları sırasında geçilen birimlerin özelliklerine göre yerinde Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmış, örselenmiş SPT örnekleri, uygun derinliklerde ince cidarlı tüplerle örselenmemiş zemin örnekleri (UD) alınmış, bunun yanı sıra karotiyer ile ilerlenen derinliklerde ise karot örnekleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında toplam derinliği 206 m olan 6 adet zemin araştırma sondajı sulu rotary yöntemi ile ASTM standartlarına uygun olarak açılmıştır (Tablo 5.1).

Açılan sondaj kuyularının yerleşimi EK-1 kapsamında sunulmuş olup, kesitler EK-2 kapsamında sunulmuştur.

Tablo 5. 1. Sondaj çalışmalarına ait özet bilgi

Sondaj No	E(m)	N(m)	Z(m)	Kuyu Derinliği (m)
SK-1	547764.90	4433441.08	121.9	30
SK-2	547723.26	4433443.81	120.6	30
SK-3	547741.43	4433471.56	128.4	35
SK-4	547682.95	4433478.41	136.0	36
SK-5	547658.24	4433514.66	135.1	35
SK-6	547779.14	4433466.32	126.1	40

5.2.Yerinde yapılan deneyler

5.2.1. Standart penetrasyon deneyi

Sondaj çalışmaları sırasında ASTM D 1586 No'lu standarda uygun olarak % 60 enerji verimi olan otomatik emniyet şahmerdanı kullanılarak her 1.5 m'de Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT) yapılarak örselenmiş örnekler alınmıştır. Her 150 mm penetrasyon için darbe sayıları kaydedilmiştir. Son 300 mm penetrasyon için gereken darbe sayısı penetrasyon direnci, N olarak ifade edilmiştir. Yerleşme işleminden sonra 300 mm'den az penetrasyon elde edilmiş ise kayıtlar darbe sayısını ve ilerleyen mesafeyi ifade eder.

Yerinde yapılan SPT deneylerinin sonuçları, taneli zeminlerin rölatif sıklığına, ince taneli (kohezyonlu) zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Yapılan hesaplamalarda SPT sonuçları değerlendirilirken arazide ölçülen N değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılarak elde edilen $N_{1,60}$ değerleri kullanılmıştır. Düzeltmeler sonucu elde edilen $N_{1,60}$ değerleri hesaplanmıştır.

5.3. İnklinometre Ölçümleri

Bu çalışma kapsamında çalışma sahasında açılmış olan araştırma sondajlarının tümünde, inceleme alanındaki toprak hareketlerini takip etmek amacıyla periyodik olarak inklinometre ölçümleri yapılmıştır. Bu amaçla için açılmış olan sondaj kuyularına inklinometre boruları yerinde birleştirilerek yerleştirilmiş ve çimento enjeksiyonu yapılarak kuyular ölçüm yapılmaya hazır hale getirilmiştir. Yapılan inklinometre ölçümlerine ait sonuçlar Tablo 5.2'de özetlenmiş olup, münferit

inklinometre ölçüm sonuçları ise EK-3 kapsamında sunulmuştur. Bu kısımda tez bütünlüğü açısından, inklinometre ölçüm prosedürlerine ilişkin bilgi de sunulmaktadır.

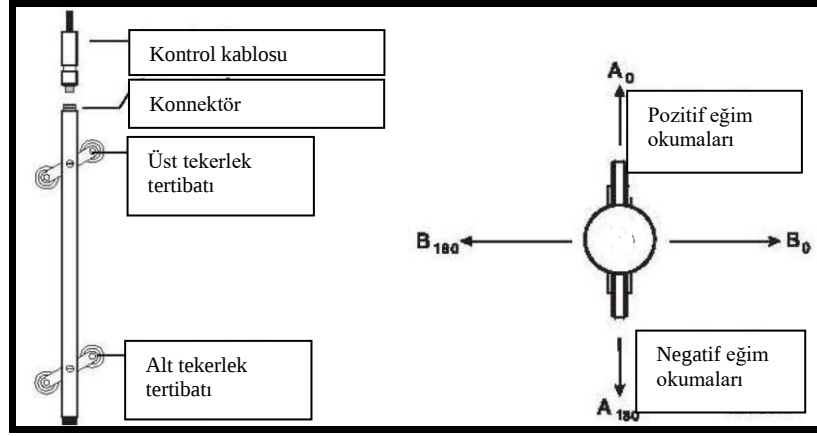
Arazi çalışmaları sırasında; ITM SOIL marka ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yanal yöndeki hareketlerin izlenmesinde kullanılan düşey inklinometre algılayıcıları, biri tekerleklerin bulunduğu düzlemde diğeri bu eksene 90^0 dik durumda bulunan iki adet eksene sahiptir (Şekil 5.1). Bu sayede boruda hem kuzey-güney hem de doğu-batı yönlerindeki sapmalar hesaplanmaktadır. Bu çalışmada 500 mm boyunda ve 25,4 mm çapında düşey inklinometre algılayıcısı kullanılmıştır.

İnklinometre borularının içerisinde bulunan ve birbiriyle 90^0 açı yapan oluk çiftlerinden birisi A0, A180 oluk çifti, diğeri ise B0, B180 oluk çifti olarak kabul edilmiştir (Şekil 5.2). Söz konusu sahada A0 yönü öngörülen hareketin yönüne dik olacak şekilde (muhtemel hareketin referans yönü) yerleştirilmiştir. Yapılan inklinometre ölçümlerinde, okuma aralığı 50 cm olarak alınmış ve kuyu tabanından itibaren yüzeye kadar her 50 cm’de bir A0 ve B0 ölçüm değerleri okunarak portatif kayıt cihazına kaydedilmiştir. Ölçümlerin doğruluğunun kontrol edilmesi amacı ile algılayıcı yüzeye çıktığında 180^0 çevrilerek tekrar kuyu tabanına indirilerek ilk grup ölçümlerin alınması sırasında yapılan işlemler tekrar edilmiş ve A180, B180 ölçümleri portatif kayıt cihazına kaydedilmiştir.

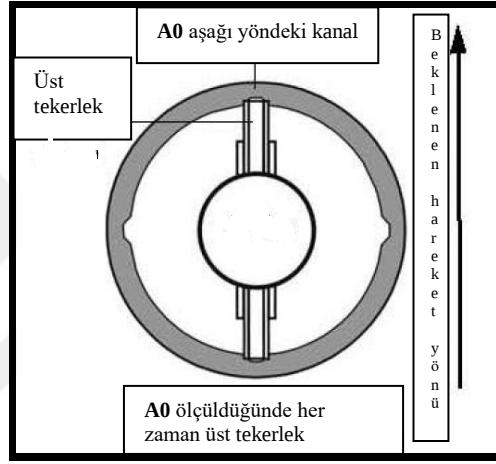
Kuyu tabanından itibaren her 50 cm’de bir yukarı çekilen algılayıcı yardımıyla alınan ölçüm değerleri, gerçekte algılayıcının uzun ekseninin, dolayısıyla inklinometre borusunun düşeyle yaptığı sapma miktarını göstermektedir. İki adet eksene sahip olan düşey inklinometre probu ile ilk ölçümler sonucu A0 (A+) ve B0 (B+), 180^0 çevrilmesiyle yapılan ikinci ölçümlerde ise A180 ve B180 değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.3). Arazide kayıt cihazına depolanmış ölçüm değerleri mevcut hazır programlar yardımıyla bilgisayara yüklenmiştir.

Kuyunun tabanından yüzeye doğru her 50 cm’de bir kaydedilen ölçüm değerleri; $RGD (mm) = \pm (L/2) \times \sin \square$ bağıntısı ile hesaplanmıştır.

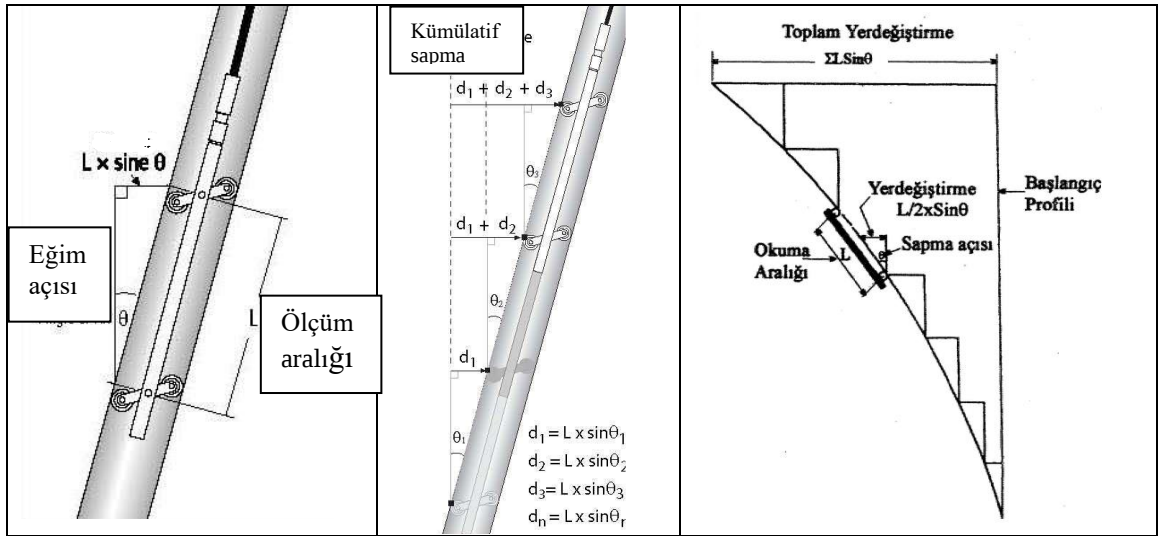
Burada; RGD = Sapma miktarı, $\pm$ = Hareketin yönü, $L/2$ = Algılayıcı (prob) orta noktası (250 mm) ve $\square$ = Algılayıcının uzun ekseninin düşeyle yapmış olduğu sapma açısıdır (Şekil 5.3).



Şekil 5. 1. Çift eksenli düşey inklinometre probu için yan görünüş ve ölçüm yön tanımları



Şekil 5. 2. Çift eksenli düşey inklinometre probu için doğrultu seçimi ve ölçüm tarifi



Şekil 5. 3. İnklinometre verisi temel hesap adımları

Tablo 5. 2. İnklinometre ölçüm sonuçları

Kuyu No	Kuyu Kotu (m)	Derinlik (m)	Maksimum Deformasyon Derinliği (m)	Ölçüm Sayısı
SK-1	121.9	30	10	3
SK-2	120.6	30	---	3
SK-3	128.4	35	---	3
SK-4	136.0	36	---	3
SK-5	135.1	35	---	3
SK-6	126.1	40	7.5	2

5.4. Örnek Alımı

Örselenmiş Örnek Alımı İnceleme alanında gerçekleştirilen saha çalışmaları sırasında, zemin özelliklerinin tanımlanabilmesi için kullanılacak olan örselenmiş örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin doğal özelliklerini kaybetmesini engellemek adına iç içe geçmiş iki plastik torba içinde saklanmıştır.

Örselenmemiş Örnek Ayrıca uygun derinliklerde ince cidarlı tüplerle örselenmemiş örnek (UD) alınmıştır.

Standart penetrasyon deneyi (SPT), deney yapılmayan ve örselenmemiş örnek (UD) alınmayan derinliklerde ise ASTM D 2113 No'lu standarda uygun olarak HQ (89 mm) wireline takım kullanılarak sürekli karot alınarak ilerleme sağlanmıştır.

5.5.Yeraltı Suyu Durumu

İnceleme alanı Gönen Barajı'na yaklaşık olarak 1 km, Gönen Çay'ına ise yaklaşık olarak 170 m uzaklıktadır. Ayrıca, DSİ'ye ait ve Gönen İlçesi'ne su iletmek amacıyla kullanılan su hattının da heyelan öncesi dönemde yaklaşık 2017-2018 senelerine tekabül etmektedir inceleme alanının içerisinde geçmektedir. Ancak heyelandan sonra söz konusu hattın yeri değiştirilerek bölge dışına kaydığı görülmüştür.

İnceleme alanında açılmış olan zemin araştırma sondajlarında, inklinometre borularının kuyu içerisine indirilerek ilgili enjeksiyon işlemleri yapılana kadar geçen sürede yeraltı suyu ölçümleri yapılmıştır. İnceleme alanında yeraltı su seviyesi (YASS) ölçümlerinin bir özeti Tablo 5.3'te, sunulmuştur. Buna göre inceleme alanında su seviyesi kotunun 110,4 m ile 126,00 m arasında değiştiği görülmektedir. Ölçüm sonuçlarındaki lokasyon bazlı değişimin, belirli ölçüde arazi topoğrafyasındaki değişime bağlı olarak şekillendiği ve ölçümlerin kendi içlerinde uyumsuz olmadığı görülmektedir. Bu şekilde bir değerlendirme yapıldığında bu ölçümlerin yeraltı su

seviyesine işaret ettiği düşünülebilir. Ancak SK-3 numaralı zemin araştırma sondaj kuyusuna yakın mesafede bulunan (Foto 5.1) ve kullanılmaya devam edilen keson kuyuda su seviyesinin yüzeyden itibaren yaklaşık 5,5 – 6 m seviyelerinde olduğu saptanmıştır. Bu durumun heyelan mekanizmasının araştırılması amacıyla gerçekleştirilecek ve ayrıntıları ilerleyen bölümler kapsamında sunulacak analizler kapsamında dikkate alınacaktır.

Tablo 5. 3. Yörenin yeraltı su seviyesi ölçümleri

Sondaj No	Sondaj Kotu (Z)	YASS Derinliği (m)	YASS Kotu (m)
SK-1	121.9	11.5	110.4
SK-2	120.6	6.2	114.4
SK-3	128.4	15.5	112.9
SK-4	136.0	10	126.0
SK-5*	135.1	-	-
SK-6	126.1	14.2	111.9

*SK-5 nolu bu lokasyonda sondaj çalışması tamamlandıktan hemen sonra yıkıntı ihtimali dikkate alınarak inklinometre borusunun indirilmesine karar verilmiş, bu nedenle su seviyesi ölçümü alınamamıştır.

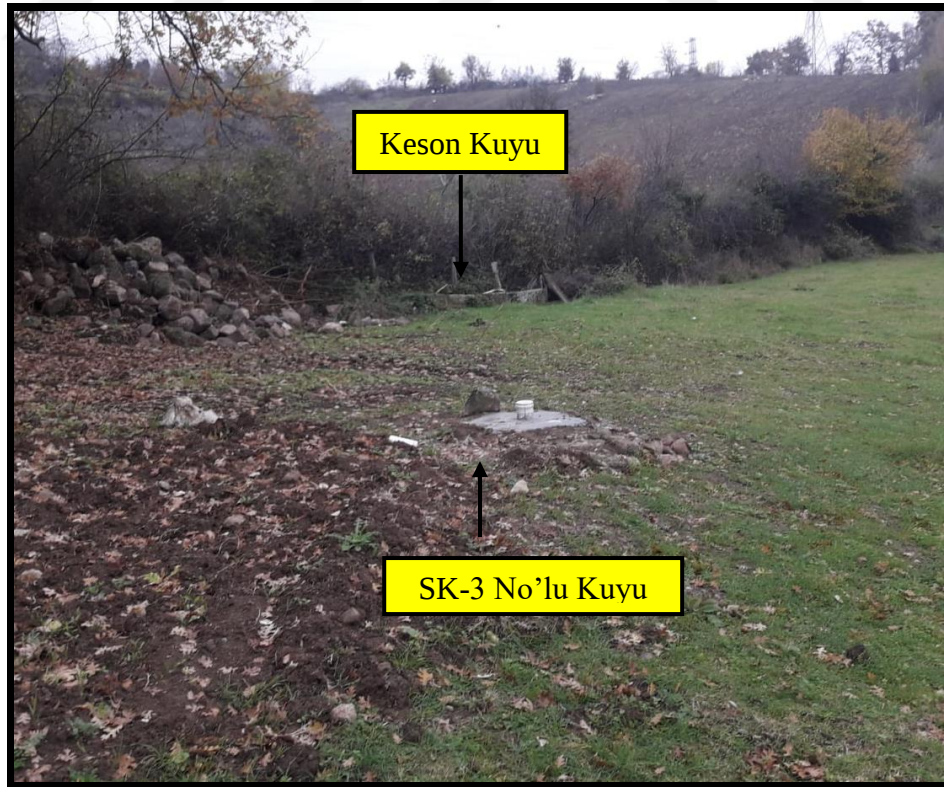


Foto 5. 1. İnceleme alanındaki keson kuyuya ait genel görünüm

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

6.1. Mevcut Arazi Durumu

Balıkesir İli Gönen İlçesi – Yenice yolu km: 13+000 Kumköy mevki ile tanımlı kesimde meydana gelen heyelanın mekanizması, jeomorfolojisi, çevresel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca tetikleyici mekanizma ve diğer özelliklerin belirlenmesi amacı ile gerek saha çalışmalarının başlangıcından önce gerek bunlar sürerken ve gerekse de bunlar tamamlandıktan sonra belirli dönemlerde gözlemsel içerikli arazi incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu kesim, Ağustos 2015 tarihinde alınan kararla geçici olarak ulaşıma kapatılmıştır. Yerinde yapılan incelemeler kapsamında elde edilen bulgulara bu bölüm kapsamında yer verilecektir.

Öncelikle yüzeysel olarak gerçekleştirilen incelemelerde farklı boyut ve kökenlerde çakıl parçaları ve blok boyutlu malzemelere rastlanmıştır (Foto 6.1). Çalışma sahasında karşılaşılan söz konusu çakıl parçaları ve bloklar genellikle yarı köşeli, yer yer ise köşeli olarak gözlemlenmiştir. Hem sondaj çalışmaları sırasında geçilen birimlerde karşılaşılan çakıl ve bloklar, hem de sondaj devirdaim çukurları açıldıktan sonra oluşan aynalarda yapılan gözlemler çakıl ve blokların sahada doğal olarak yer aldığını, inceleme alanındaki karayolunun yol alt tabaka imalatı veya ilk heyelan sonrası tamiratı sırasında farklı lokasyonlardan getirilmediğini destekler niteliktedir.



Foto 6. 1. İnceleme alanında karşılaşılan farklı boyut ve kökenli çakıl parçaları ve bloklar

İnceleme alanının doğu sınırında, SK-1 sondaj kuyusu çevresinde, gerçekleşen toprak hareketi ile ilişkilendirilebileceği düşünülen yaklaşık K30B doğrultulu düşey atımlı heyelan yüzeyine rastlanmıştır. Söz konusu heyelan yüzeyinde yapılan ölçümler sonucunda düşey deformasyon miktarının yaklaşık 3 m mertebesinde olduğu belirlenmiştir (Foto 6.2). Bu yüzey üzerinde, yapılan sondaj çalışmaları sırasında karşılaşılan heterojen yapıdaki, yer yer volkanik kökenli çakıl ve blok parçalarının da gözlemlendiği killi silt ve siltli kum - çakıl birimleri takip edilebilmektedir.

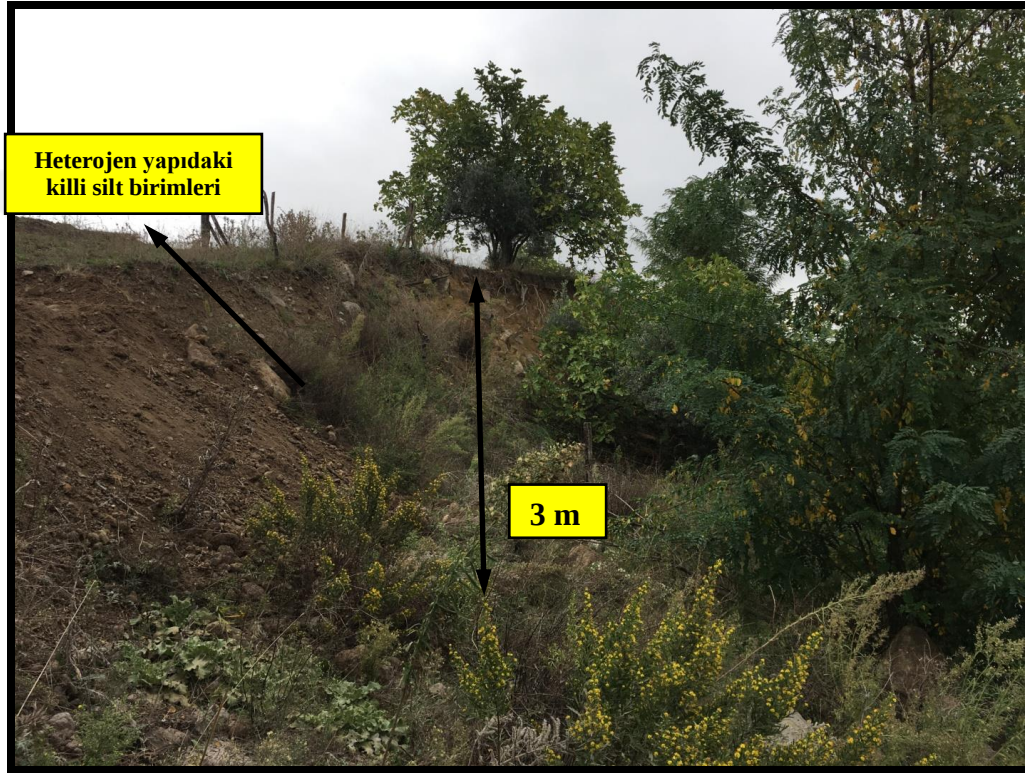


Foto 6. 2. Çalışma alanının doğu sınırında gözlemlenen düşey atımlı heyelan yüzeyi

SK-1 ve SK-2 nolu sondaj kuyuları ile bunların güneyinde yer alan tarla yolu arasında kalan, doğal topoğrafyanın yatayla yaklaşık 30^0 - 40^0 açı yapmış olduğu yüksek eğimli bölgede yapılan incelemelerde, düşey deformasyonla karakterize edilen basamaklanmalara rastlanmıştır. İnceleme sahasına ulaşım için kullanılan yolun alt kotunun farklı kesimlerinde karşılaşılan bu basamaklanmalarda gerçekleşmiş düşey deformasyonlar, yaklaşık 20-180 cm mertebelerinde ölçülmüştür. Bunlardan en belirgin olanı doğu – batı istikametinde uzanan, X:547747, Y:4433428 koordinatında başlayan ve batı yönüne doğru uzunluğu yaklaşık 8 m olan basamaklanma olup, düşey hareketle karakterize edilen yüzey deformasyonu Foto 6.3.'da sunulduğu üzere hat boyunca 120-170 cm mertebesinde değişmektedir. Söz konusu basamaklanmalar üzerinde yapılan

K75B doğrultulu, yaklaşık 11,90 m uzunluğunda olan ve düşey deformasyon miktarının yaklaşık 70 cm mertebesinde olduğu bir başka ölçüm ise Foto 6.4'te sunulmuştur.



Foto 6. 3. İnceleme alanı ulaşım yolu alt kotundaki basamaklanmaların görünümü-1



Foto 6. 4. İnceleme alanı ulaşım yolu alt kotundaki basamaklanmaların görünümü-2

Geçmiş dönemde gerçekleşen heyelan nedeniyle ortaya çıktığı düşünülen bir başka deformasyon yüzeyine ise SK-3 numaralı sondaj kuyusu çevresinde rastlanmıştır. Burada rastlanan düşey deformasyonun yaklaşık 4 m'ye kadar ulaştığı görülmektedir (Foto 6.5).



Foto 6. 5. SK-3 Bölgesinde karşılaşılan deformasyon yüzeyi

Bu bölümün girişinde belirtildiği üzere heyelan nedeni ile geçici olarak ulaşım kapatılmış olan ulaşım yolu kenarında bulunan işaret levhalarında da deformasyonlar takip edilebilmektedir. Buna göre yol tabelalarında yapılan ölçümlerde tamamı şev aşağı yönde olmak üzere deformasyonlar saptanmıştır. Bu deformasyonların konumları, X:547720, Y:4433450 koordinatında 6^0 ile 15^0 arasında değişirken, X:547736, Y:4433454 koordinatında 3^0 mertebesinde, X:547750, Y:4433458 koordinatında ise şev aşağı 18^0 ve buna dik yönde de 7^0 (Yenice yönüne doğru) kadardır (Foto 6.6). Ayrıca bu noktalarda tamir edilen yol dolgusu / kaplaması kenarında açılan düşey deformasyon 35-45 cm kadardır. Söz konusu düşey deformasyonlar X:547764, Y:4433458 koordinatında 175 cm'ye kadar ulaşmaktadır.



Foto 6. 6. Yol kenarı tabelalarında gözlemlenen şev aşağı eğim

Yine SK-3 nolu sondaj kuyusunun yaklaşık 20 m ile 25 m doğusunda bulunan ve tarım amaçlı kullanılan arazi içerisinde 2015 yılında heyelan oluşmuştur. Bunun ardından çok daha düşük bir hızda çökmenin meydana geldiği yerel halk tarafından tarafımıza iletilmiştir. Söz konusu bu çökme hareketi sonucu oluşmuş yüzey deformasyonları da belgelendirme bütünlüğü açısından Foto 6.7’de gösterilmiştir.



Foto 6. 7. Çökme sonucu oluşan yüzey deformasyonlar

Söz konusu toprak hareketlerinin yanı sıra, inceleme alanı içerisinde ve çevresinde yer alan yapılarda da çeşitli hasar ve deformasyonlara rastlanmıştır. Foto 6.8’de de görüleceği gibi inceleme alanında geçmiş dönemde DSİ tarafından yapılmış olan taş duvarın bölgede meydana gelen heyelan sonrası hem ötelenildiği hem de dönerek iç stabilizesini yitirmiş olduğu belirlenmiştir. Ancak bu duvar üzerinde yerinde yapılan gözlemler uyarınca, kullanılan blok boyutları, şekilleri ve aradaki bağlayıcı malzemenin niteliğine bağlı olarak bu yapının rutin karayolu projelerindeki standartlara sahip bir istinat duvarından daha çok ağırlık tipi bir yığma set olarak nitelendirilmesi daha uygun olabilir. Bu duvarın yüksekliği değişken olup, en yüksek olduğu belirlenen lokasyonda yapılan ölçüme göre eğik ön yüzey uzunluğu $h_{eğik}=5,90$ m olarak ölçülmüştür (Foto 6.8). Duvar üzerinde ikinci bir kesit üzerinde yapılan ölçümlerde ise eğik ön yüzey uzunluğu $h_{eğik}=5,50$ m olarak belirlenmiştir. Duvarın payandalı yüzeyinde yapılan ölçümlerde deformasyondan nedeniyle 34^0 - 50^0 arasında değişen farklı eğim açlarına rastlansa da duvarın yatayla yaklaşık ortalama 40^0 ’lik açı yaptığı görülmektedir. Bunun yanında, taş duvarın heyelan sonrası hem ötelenmiş hem de dönerek iç stabilitesini yitirmiş olduğu belirlenmiştir (Foto 6.9). Ayrıca duvar üzerinde bulunan ve beton harçtan imal edilmiş ince küpeşte elemanın da deformasyonlar dolayısıyla yer yer kırılarak özelliğini yitirmiş olduğu saptanmıştır. Sadece duvarın açık yüzeyinde uygulanmış olan, sistem stabilitesine mekanik bir katkısı olduğu düşünülmeyen harç tabakası üzerinde de dökülmelerin ve çatlakların oluştuğu gözlenmiştir (Foto 6.10).



Foto 6. 8. İnceleme alanındaki taş duvar üzerinde yapılan ölçümler



Foto 6. 9. Heyelan sonrası iç stabilitesini yitirmiş taş duvar



Foto 6. 10. Taş duvar üzerindeki çatlak ve deformasyonlar

Söz konusu genel hasarların yanın sıra, taş duvarının bir kısmının tamamen yıkıldığı (Foto 6.11), bir kısmında ise genişliği 140 cm mertebesine ulaşan palye benzeri bir süreksizlik olduğu gözlenmiştir (Foto 6.12).



Foto 6. 11. Tamamen yıkılmış taş duvar



Foto 6. 12. Duvar kesitinde oluşmuş olan palye üzerinde yapılan ölçümler

Bunun yanı sıra, incelenen yol boyunca batı doğrultusunda (Yenice yönü) rastlanan drenaj hendeği üzerinde de heyelan kaynaklı olduğu düşünülen deformasyonlara rastlanmıştır (Foto 6.13). Bu deformasyonlara rastlanan kesimlerin başlangıç ve bitiş noktalarının koordinat çiftleri sırası ile X:547666, Y:4433442 ve X:547634, Y:4433432'dir, ve bunlar öngörülen heyelan sınırları ile uyumlu durumdadır.



Foto 6. 13. Drenaj hendeğinde gözlenen deformasyonlar

6.2. Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanındaki arazi çalışmaları zemin araştırma sondaj kuyularının açılması, bu çalışmalar sırasında yerinde yapılan SPT ve UD deneyleri ile örnek alımlarından, SPT ve UD deneyleri yapılmayan derinliklerde karot örnek alımından ve bunların ardından sondaj kuyularının inklinometre (eğim ölçer) ölçümleri için hazırlanması ve periyodik izleme yapılmasından oluşmaktadır.

Laboratuvar çalışmalarında araştırma sondajlarından alınan örselenmiş, örselenmemiş ve karot örnekler üzerinde doğal su muhtevası ölçümleri, dane boyutu belirleme deneyleri (elek analizleri), Atterberg Limitleri deneyleri, zemin sınıflandırması ve konsolidasyonsuz drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyi ile SK-1 numaralı sondaj kuyusundan alınan UD-1, SK-2 numaralı sondaj kuyusundan alınan UD-1 ve SK-3 numaralı sondaj kuyusundan alınan UD-2 numaralı örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde konsolidasyonlu drenajlı (CD) direkt kesme (kesme kutusu) deneyleri ve test edilen örneklerin indeks özelliklerini belirlemek üzere yapılan deneylerin tamamı ADA-Z Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı ile ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Laboratuvar deneyleri için kullanılan standartlar aşağıda verilmiştir.

Deney	Uyulan Standart
Su İçeriğinin Belirlenmesi	ASTM D2216 / TS1900-1 / TS EN ISO 17892-1
Elek Analizi	ASTM D422 / TS1900-1 / TS EN ISO 17892-4
Kıvam Limitlerinin Tayini (LL, PL, PI)	ASTM D4318 / TS 1900-1
Direkt Kesme Deneyi (CD)	ASTM D3080 / D3080M – 11, TS1900-2
Ü Eksenli Basınç Deneyi (UU)	TS 1900-2
Doğal Birim Hacim Ağırlık (Kaya)	ISRM / TS EN ISO 17892-2
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Kaya)	ISRM / TS EN 1926
Nokta Yükleme Deneyi (Kaya)	ISRM / TS 699

Deneye tabi tutulacak örneklerin kuyu ve derinlik bazında seçimi için litolojik tanımlamalar, SPT deney sonuçlarıyla birlikte alınan örselenmiş ve UD tüpleri vasıtasıyla alınan örselenmemiş örneklerle birlikte karot örneklerin gözlemsel değerlendirmeleri, kuyuların birbirlerine göreceli konumları ve mesafeleri ile heyelan geometrisi dikkate alınmıştır.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından alınan örnekler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, zemin örneklerinin %60'ı yüksek plastisiteli silt (MH), %16'sı killi çakıl ve killi kum (GC-SC), %16'sı siltli çakıl ve siltli kum (GM-SM) ve kalan yaklaşık %8'lik kısmı ise yüksek plastisiteli kil (CH) olarak sınıflandırılmıştır.

Söz konusu örneklerin doğal su içeriği %9,7-%32,7 aralığında (ortalama %23,6); 10 numaralı elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi %0.0 - %55.9 arasında (ortalama %13,6); 200 numaralı elekten geçen malzeme yüzdesi %17,1 - %96,2 aralığında (ortalama %67,8) hesaplanmıştır. Zemin örneklerinin plastisite abağı üzerinde dağılımları Şekil 6.1'de verilmiştir.

Alınan SPT örnekleri üzerinde gerçekleştirilen tanımlama amaçlı deneylerin sonuçları, test edilen örneğin ait olduğu sondaj kuyusu, alındığı derinlik, doğal su içeriği, kıvam (Atterberg) limitleri ve zemin sınıfı ile birlikte Tablo 6.1'te sunulmuştur.

İnceleme alanında rastlanan birimlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla, birimin tipi, kıvam durumu ve örnekleme yapılan derinlik gibi koşulları dikkate almak üzere örselenmemiş örnekler seçilmiş, veri çeşitliliği sağlamak üzere alınan örneklerden 2 tanesi üzerinde hem konsolidasyonlu – drenajlı (CD) direkt kesme hem de konsolidasyonsuz – drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyleri (yüzeyden 2,6 – 3,0 m arasındaki derinlikten alınan SK-2 UD-1 no'lu örnek ve yüzeyden 20,5 – 20,9 m arasındaki derinlikten alınan SK-3 UD-2 no'lu örnek) yapılmış, 1 tanesi (yüzeyden 6,0 – 6,40 m arasındaki derinlikten alınan SK-1 UD-1 no'lu örnek) üzerinde ise sadece CD

direkt kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Üç eksenli basınç deneylerinde, SK-2 UD-1 nolu örnek için kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla 46 kPa olarak hesaplanmıştır. 12°, SK-3 UD-2 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ise sırasıyla 65 kPa ve 7° olarak belirlenmiştir. Öte yandan direkt kesme deneyleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Direkt kesme deneylerine göre ise, yüzeyden itibaren 6,0 – 6,4 m arasındaki derinlikten alınan SK-1 UD-1 örneği için pik kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla 36 kPa ve 38° olarak hesaplanmıştır. Rezidüel kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ise sırasıyla 32 kPa ve 33° olarak hesaplanmıştır. 20,5 – 20,9 m arasındaki derinlikten alınan SK-3 UD-2 örneği için pik kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri de sırasıyla 10 kPa ve 21°, rezidüel kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ise sırasıyla 8 kPa ve 19° olarak belirlenmiştir. Öte yandan 2,6 – 3,0 m arasındaki derinlikten alınan SK-2 UD-1 örneği için pik kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla 22 kPa ve 35° olarak belirlenmiştir. Konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) ve konsolidasyonlu-drenajlı (CD) direk kesme deney sonuçları Tablo 6.2'de sunulmuştur.

İnceleme alanında karşılaşılan kaya birimleri üzerinde yapılan kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları ise Tablo 6.3'da sunulmuştur. Buna göre karot örneklerinin doğal birim hacim ağırlıkları 17,7- 21,9 kN/m³ aralığında (ortalama 19,1 kN/m³), tek eksenli basınç dayanımları 2,28 – 8,40 MPa aralığında (ortalama 4,90 MPa), nokta yükleme dayanım indeksleri ise 0,11 – 0,23 MPa aralığında (ortalama 0,18 MPa) olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. 1 Örselenmiş spt örneklerine ait zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları

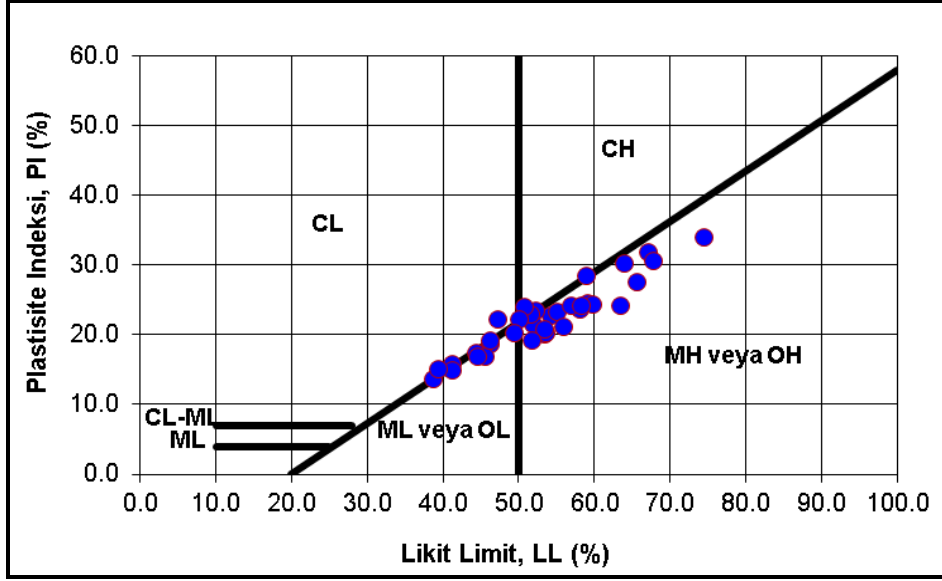
Sondaj No	Num. No	Der. (m)	Su Muh. (%)	Elek Analizi		Kıvam Limitleri			Zemin Sınıflandırması
				No. 10 Kalan %	No. 200 Geçen %	LL	PL	PI	
SK-1	SPT-2	3.00	23.8	46.2	27.9	41.2	25.4	15.8	GC
SK-1	SPT-5	7.50	27.8	7.0	60.3	53.4	33.3	20.1	MH
SK-1	SPT-6	9.00	25.3	0.0	94.9	54.2	31.5	22.7	MH
SK-1	SPT-7	10.00	17.3	8.0	71.1	52.2	28.7	23.5	MH
SK-1	SPT-8	12.00	24.4	7.3	83.9	51.9	30.4	21.5	MH
SK-2	SPT-3	4.50	22.4	0.0	94.8	53.6	33.4	20.2	MH
SK-2	SPT-4	6.00	28.5	0.0	90.9	63.4	39.3	24.1	MH
SK-2	SPT-6	9.00	25.2	0.9	94.5	58.1	34.5	23.6	MH
SK-3	SPT-3	4.50	21.9	35.6	34.8	41.3	26.4	14.9	GM
SK-3	SPT-6	9.00	26.7	19.8	56	51.6	28.7	22.9	MH
SK-3	SPT-8	12.00	18.5	21.0	49.6	50.7	26.7	24	SC
SK-3	SPT-10	15.00	20.6	28.1	46.4	47.3	25.1	22.2	GC
SK-3	SPT-12	18.00	31.5	0.0	96.2	74.5	40.5	34	MH
SK-3	SPT-15	22.50	22.0	0.0	94.6	59.1	34.6	24.5	MH
SK-4	SPT-3	4.50	9.7	22.9	46.4	38.8	25.2	13.6	SM
SK-4	SPT-5	7.50	17.4	11.3	56.7	46.3	27.7	18.6	ML
SK-4	SPT-7	10.50	23.5	20.7	46.2	44.4	27.1	17.3	SM
SK-4	SPT-14	21.00	23.4	0.0	76.4	65.6	38.1	27.5	MH
SK-4	SPT-17	25.50	23.3	0.0	95.3	55.1	31.8	23.3	MH
SK-4	SPT-19	28.50	22.8	11.3	73.7	53.5	32.8	20.7	MH
SK-4	SPT-21	31.50	24.4	0.6	93.2	56.9	32.7	24.2	MH
SK-5	SPT-2	3.00	31.3	15.1	52	56	35	21.1	MH
SK-5	SPT-5	7.50	25.3	31.3	46.9	45.5	28.7	16.8	GM
SK-5	SPT-8	12.00	25.2	1.2	93.9	58.9	30.4	28.5	CH
SK-5	SPT-11	16.50	19.9	22.3	48.4	46.3	27.1	19.2	SC
SK-5	SPT-15	22.50	25.8	8.1	75.3	64	33.7	30.3	MH
SK-5	SPT-19	28.50	32.7	0.0	95.9	67.1	35.3	31.8	MH
SK-6	SPT-2	3.00	22.6	44.1	17.1	NP			GM
SK-6	SPT-4	7.50	20.0	55.9	21.2	39.4	24.3	15.1	GC
SK-6	SPT-7	15.00	20.7	11.6	63.3	50.1	27.9	22.2	CH
SK-6	SPT-10	19.50	23.9	5.3	77.7	59.7	35.3	24.4	MH
SK-6	SPT-14	25.50	25.5	0.0	92.6	58.3	34.1	24.2	MH

Tablo 6. 2. Örselenmemiş ud örneklerine ait zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçları

Örnek		Der. (m)	Wn (%)	Atterberg Limitleri			Direkt Kesme Deneyleri (CD)				Üç Eksenli Basınç Deneyleri (UU)	
							Pik		Rezidüel			
SK	No			LL	PL	PI	c _p (kPa)	Φ _p (°)	c _r (kPa)	Φ _r (°)	c (kPa)	Φ (°)
SK-1	UD-1	6.00-6.40	21.1	44.5	27.6	16.9	36	38	32	33	---	---
SK-2	UD-1	2.60-3.00	22.1	51.7	32.6	19.1	22	35	---	---	46	12
SK-3	UD-1	3.00-3.40	29.6	49.4	29.1	20.3	---	---	---	---	---	---
SK-3	UD-2	20.5-20.9	34.5	67.8	37.2	30.6	10	21	8	19	65	7

Tablo 6. 3. Kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları

Sıra No	Sondaj No	Örnek No	d (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) (MPa)	Nokta Yükleme (I _s) (MPa)
1	SK-1	K-9	13.67-16.0	1.77	2.51	---
2	SK-1	K-10	16.0-19.0	1.81	2.28	---
3	SK-1	K-12	20.0-22.0	2.04	6.10	---
4	SK-1	K-12	20.0-23.0	1.79	---	0.22
5	SK-1	K-13	23.0-25.0	1.78	---	0.23
6	SK-1	K-14	25.0-28.0	1.78	3.34	---
7	SK-1	K-15	28.0-30.0	1.88	---	0.15
8	SK-2	K-8	10.5-12.0	2.02	7.56	---
9	SK-2	K-13	18.0-21.0	1.84	8.40	---
10	SK-2	K-14	21.0-24.0	2.19	---	0.18
11	SK-2	K-15	24.0-27.0	1.88	3.09	---
12	SK-2	K-17	27.0-30.0	1.98	8.40	---
13	SK-3	K-16	24.45-25.0	1.86	2.75	---
14	SK-3	K-17	25.0-28.0	1.87	---	0.11
15	SK-3	K-17	27.5-28.0	1.85	3.49	---
16	SK-5	K-23	33.0-34.0	1.80	2.77	---
17	SK-6	K-15	25.5-28.0	1.81	2.59	---
18	SK-6	K-17	30.0-33.0	2.01	7.01	---
19	SK-6	K-18	33.0-35.0	2.07	6.35	---
20	SK-6	K-20	37.0-40.0	2.04	6.80	---



Şekil 6. 1. Zemin örneklerinin plastisite abağı üzerindeki dağılımı

6.3. Jeoteknik Değerlendirmeler

Bu bölüm kapsamında, çalışma sahasında gerçekleştirilen ve sonuçları önceki bölümlerde sunulmuş olan arazi ve laboratuvar deney sonuçları ışığında yapılan jeoteknik mühendisliği parametre incelemelerinin ayrıntıları tartışılacaktır.

Çalışma kapsamında açılan zemin araştırma sondaj kuyularından SK-1 ve SK-2 numaralı kuyular, heyelan bölgesi içerisinde yer almaktadır. Öte yandan SK-3, SK-4, SK-5 ve SK-6 ise heyelan bölgesi sınırı çevresinde ve bir paleo heyelan bölgesi olduğu düşünülen bölgenin sınırları içerisinde yer almaktadır. Yakın mesafede açılan bu kuyularda geçilen birimlerin, gerek görsel olarak gerekse de ilgili arazi ve laboratuvar deney sonuçları uyarınca gruplanabileceği görülmektedir.

6.4. Zemin Birimleri

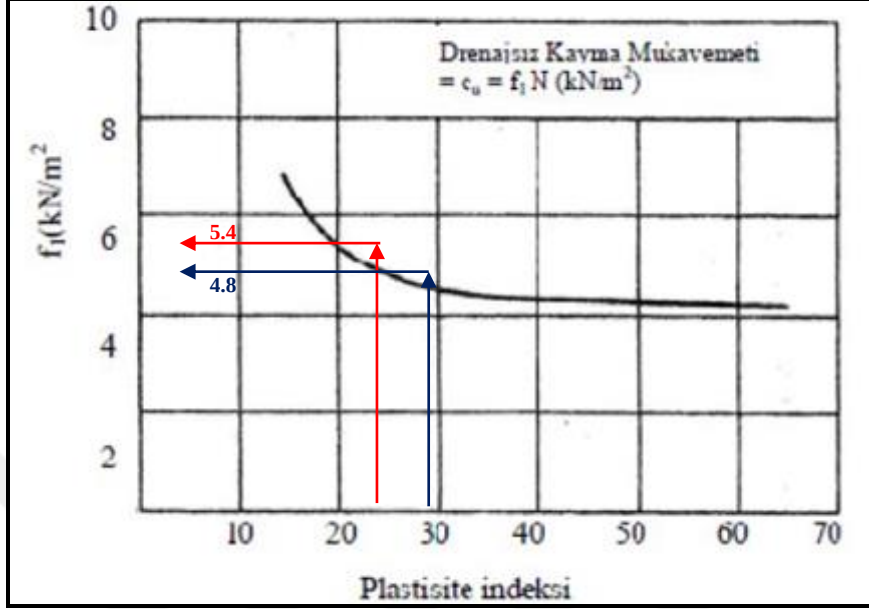
6.4.1. Killi silt

Mevcut sondaj verisine göre açılan sondaj kuyularında genellikle kahverenkli - açık kahverengi renkli, yüksek plastisiteli, katı - sert kıvamlı, yer yer kum ve çakıl boyutlu malzeme, yer yer yarı köşeli volkanik parçalar ve bloklar içeren, yer yer kireç konkresyonları içeren killi SİLT birimine rastlanmaktadır.

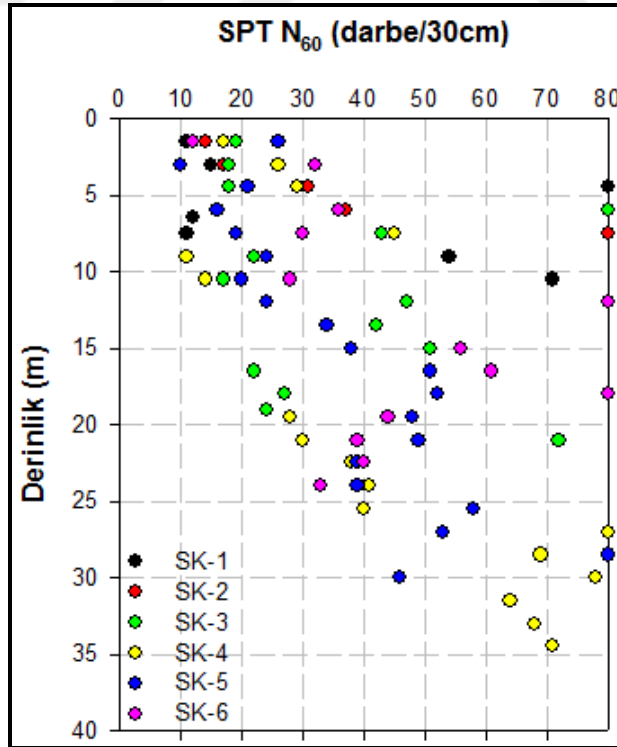
Bu tabaka üzerinde gerek sondaj çalışmaları sırasında yerinde yapılan incelemeler, gerek karot örneklerinde tanımlama amaçlı zemin mekaniği laboratuvar deney sonuçlarının birimin plastik niteliğine işaret etmesi nedeniyle bu başlık altında değerlendirilen malzemenin kohezyonlu zemin özelliği göstereceği sonucuna varılmıştır. Bu tip birimler, görece çok düşük geçirimsizlikleri nedeniyle kısa ve uzun dönemde farklı mühendislik davranışı sergilemektedir. İş bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler için uzun dönem yükleme koşullarının görece daha kritik olduğu düşünülmektedir, ancak her iki koşula ilişkin parametreler de ayrı ayrı geliştirilecektir. Bu amaçla hem yerinde gerçekleştirilen arazi deneyleri ile tanımlama amaçlı zemin mekaniği laboratuvar deneylerinden hem de mühendislik özelliklerini belirlemek üzere gerçekleştirilen deney sonuçlarından faydalanılmıştır.

Stroud (1974) çalışmasında sunulan ve Şekil 6.2’de sunulmuş olan abak, kohezyonlu zeminlerin mukavemet parametrelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan ampirik yöntemlerdendir. İlgili yöntem SPT- N_{60} ve plastisite indisi (PI) cinsinden tanımlanmıştır. İnceleme alanında gözlenen killi silt birimleri üzerinde gerçekleştirilen SPT deneylerinde raporlanan darbe sayılarının değişimi Şekil 6.3’de sunulmuştur. Söz konusu şekilde özetlenen veri uyarınca silt birimleri içerisinde yapılan SPT deney sonuçlarının 10 – 50+ (refü) darbe/30 cm gibi geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bu sebeple silt biriminin alt tabakalar ile incelenmesi daha uygun bulunmuştur. Öte yandan Şekil 6.4’de sunulduğu üzere, birimden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen tanımlama amaçlı deney sonuçları plastisite indisi değerlerinin %13,6 ile %34,0 arasında değiştiği (ortalama %22,3) ve genel olarak bu değerlerin derinlikle artan yönde bir eğilime sahip olduğu görülmektedir. Drenajsız makaslama mukavemetini belirlemek üzere kullanılacak katsayının (f_1) hangi mertebelerde olacağı yine Şekil 6.15 üzerinde gösterilmiştir. Buna göre, birime rastlanan yaklaşık ilk 5 m derinlik için SİLT-1 alt birimi olarak isimlendirilmiştir. Drenajsız makaslama mukavemetinin (c_u) 50 – 175 kPa değerlere ulaşmasında, 5 m ile 10 m arasında derinlik için SİLT-2 alt birimi olarak isimlendirilmiştir. 60 - 290 kPa, 10 m ile 20 m arasında derinlik için SİLT-3 alt birimi olarak isimlendirilmiştir. 75 - 380 kPa, 20 m ile 25 m arasında derinlik için SİLT-4 alt birimi olarak isimlendirilmiştir. 105 - 345 kPa, bundan daha derin kesimlerde SİLT-5 alt birimi olarak isimlendirilmiştir. Öte yandan heyelan mekanizmasını değerlendirmek üzere gerçekleştirilecek limit denge esaslı analizler ve rehabilitasyon sisteminin tasarımına yönelik sonlu elemanlar yöntemine dayalı analizlerde daha gayrimüsaıt duruma karşılık gelen uzun dönem (efektif gerilme) mukavemet parametrelerinin

kullanılması gerekmektedir. Buna göre efektif kohezyon değerin (c'), Sorensen ve Okkels (2013) çalışması uyarınca c_u değerin yaklaşık %10'u olarak seçilmesi uygun görülmüştür. Buna göre c' değerin, SİLT-1ve SİLT-5 alt birimleri için sırasıyla 10 kPa, 13,5 kPa, 18,5 kPa, 20 kPa ve 25 kPa mertebelerinde seçilmesi uygun görülmüştür.



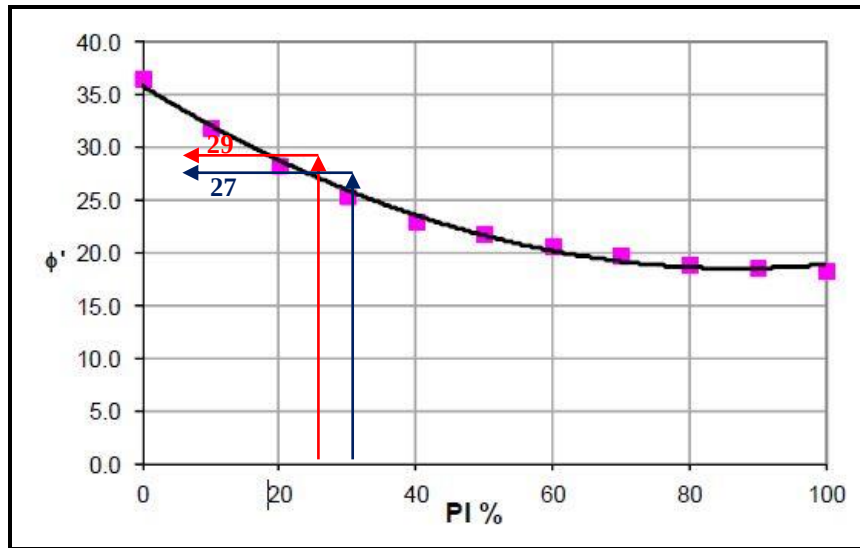
Şekil 6. 2. Stroud (1974) tarafından verilen drenajsız makaslama mukavemeti – PI ilişkisi



Şekil 6. 3. SPT-N60 Değerlerinin sondaj derinliğine göre dağılımı

Silt birimlerinin efektif içsel sürtünme açılarının belirlenmesi için ise Gibson (1953) tarafından plastisite indisinin (PI) bir fonksiyonu olarak verilen ampirik ilişkidten faydalanılabilir (Şekil 6.4). Buna göre, Şekil 6.5’de gösterildiği üzere SİLT-1, SİLT-2 ve SİLT-3 alt birimlerinin içsel sürtünme açısı değeri 29° , SİLT-4 ve SİLT-5 alt birimlerinin içsel sürtünme açısı değeri ise 27° olarak seçilmiştir. Ancak bahsi geçen ampirik yaklaşımla pik duruma karşılık gelen içsel sürtünme açısının belirlenebileceği unutulmamalıdır; inceleme alanında gözlenen heyelanın tetiklendiği koşullar için geçerli olan kalıntı duruma ait mukavemet parametrelerinin ise çalışma kapsamında detaylı olarak sunulacak limit denge esaslı şev stabilitesi geri analizleri ile hesaplanması uygun görülmüştür. İnceleme alanında bulunan silt birimlerinin mühendislik özelliklerini saptamak üzere gerçekleştirilen konsolidasyonlu – drenajlı direkt kesme deney sonuçlarına göre birimin efektif kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin sırasıyla 10 kPa ile 36 kPa (ortalaması 22,7 kPa) ve 21° ile 38° (ortalaması $31,3^\circ$) arasında değiştiği görülmektedir. Ampirik yaklaşımlarla seçilen parametrelerin, zemin mekaniği laboratuvar deneylerinde belirlenmiş olan ortalama değerlerin altında kaldığı ve buna istinaden güvenli bir şekilde seçildikleri sonucuna varılmıştır.

Öte yandan, hem laboratuvar deney sonuçları hem de Bowles (1996) tarafından SPT darbe sayılarına bağlı olarak verilen öneriler uyarınca, (Şekil 6.3’de sunulmuş olan SPT-N darbe sayılarındaki derinliğe bağlı değişim dikkate alınmak üzere) SİLT-1, SİLT-2, SİLT-3, SİLT-4 ve SİLT-5 birimlerinin birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 18, 18,5, 19, 19,5 ve 19,5 kN/m³ mertebelerinde seçilmiştir.



Şekil 6. 4. Plastisite indisinin ve içsel sürtünme açısının ilişkisi

Gerilme – deformasyon esaslı sonlu elemanlar yöntemine dayalı analizlerde kullanılacak elastisite modülünün seçimi için SPT-N darbe sayısına bağlı olarak tanımlanan ve kullanımı AASHTO (2005) teknik şartnamesince önerilen ve Denklem 1’de verilen bağıntıdan faydalanılmıştır.

$$E = 0,4 - 0,6 \times N_{60} \text{ (MPa cinsinden, AASHTO (2005) şartnamesi)} \quad (1)$$

Buna göre SİLT birimleri için elastisite modül değerlerinin 5 - 50 MPa mertebelerinde değişeceği belirlenmiştir. Söz konusu değerler oldukça geniş bir aralığa işaret etmektedir, bu nedenle alt birimler için farklı değerlerin kullanılması uygun görülmüştür. Buna göre SİLT 1, 2, 3, 4 ve 5 alt birimleri için seçilen modül değerlerinin 13,5 MPa, 17,5 MPa, 25 MPa, 27.5 MPa ve 35 MPa mertebelerinde olması öngörülmektedir. Alt birimlere ait Poisson oranı (ν) ise seçilen içsel sürtünme açıları ve elastisite teorisi uyarınca, SİLT-1, Silt-3, SİLT-4 ve Silt-5 alt birimleri için sırasıyla 0,34 $(=(1-\sin 29)/(2-\sin 29))$ ve 0,35 $(=(1-\sin 27)/(2-\sin 27))$ mertebesinde olarak hesaplanabilir.

6.5. Kaya Birimleri

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları uyarınca rastlanan silt birimlerinin ardından farklı derinliklerde ayrılmış nitelikteki kaya birimleri ile de karşılaşmıştır. Bu birimlerin mukavemet ve rijitlik özellikleri belirlenirken Hoek - Brown sınıflandırması ve RocData v.5.0 yazılımı kullanılmıştır. Buna göre, Hoek ve Brown kriterinin kullanılabilmesi için aşağıda verilen parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir:

– Tek eksenli basınç dayanımı (UCS veya σ_{ci} olarak gösterilmektedir), jeolojik dayanım indeksi (GSI), kayaç türüne bağlı olan sağlam malzeme sabiti (m_i) ve örselenme faktörü (D).

σ_{ci} (UCS) değerinin bulunmasında kaya mekaniği laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır.

Kaya birimlerde mukavemet ve rijitlik parametrelerinin geliştirilmesi için gerekli olan GSI değerleri ise saha gözlemleri, kayanın yapısı ve kaya yüzey durumuna bağlı olarak ile Şekil 6.5’de sunulan sınıflama sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

Kayaç türüne bağlı olan sağlam malzeme sabiti m_i değerleri Şekil 6.19’de verilen öneriler uyarınca belirlenmiştir.

EKLEMLİ KAYA KÜTLELERİ İÇİN "JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ (GSI)" (Hoek ve Marinos, 2000) Litoloji, yapı ve süreksizlik düzlemlerinin durumundan GSI değerinin ortalamasını kestiriniz. Çok duyarlı olmaya çalışmayınız: 33-37 arasında kesitirilen değerler, GSI=35 değerinden daha gerçekçidir. Bu çizelgeye, jeolojik yapılar tarafından denetlenen duraysızlıklarda kullanmamaya özen gösteriniz. Kazı şevine göre olumsuz konumlu, zayıf düzlemsel süreksizlik düzlemlerinin bulunduğu yerlerde kaya kütlelerinin davranışında bunlar baskın olacaktır. Kaya kütlelerinde doğal su içeriğindeki değişime bağlı olarak bozulmaya açık olan süreksizlik düzlemlerinin kesme direnci, su bulunması durumunda azalacaktır. "Orta-Çok Zayıf" nitelikli kayalar ile çalışırken, ıslak durumlar için çizelgede sağa doğru kayılabilir. Su basıncı, etkin gerilim analizlerinde değerlendirilmektedir.		SÜREKSİZLİKLERİN DURUMU ÇOK İYİ Çok pürüzlü, taze, ayrılmamış yüzeyler. İYİ Pürüzlü, az ayrılmış, paslı yüzeyler. ORTA Pürüzsüz, orta ayrılmış, ve bozunmuş yüzeyler. ZAYIF Pekilmiş siva/dolgu veya köşeli parçalar içeren, kaygan, çok ayrılmış yüzeyler. ÇOK ZAYIF Yumuşak kil siva veya dolgu içeren, kaygan çok ayrılmış yüzeyler.	
YAPI		YÜZEY NİTELİĞİ OLUMSUZLAŞMAKTA ➡	
	SOM VEYA MASİF Som kaya örnekleri veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren yerinde (in-situ) kaya kütlesi.	90	N/A
	BLOKLU Kesişen üç süreksizlik takımının oluşturduğu kübik bloklar içeren, iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütlesi.	80	N/A
	ÇOK BLOKLU Dört veya daha fazla süreksizlik düzleminin oluşturduğu çok yüzlü, köşeli bloklar içeren, kenetlenmiş, kısmen örselenmiş kaya kütlesi.	70	N/A
	BLOKLU/ÖRSELENMİŞ/DAMARLI Birçok süreksizlik düzleminin kesişmesi ile oluşan; köşeli bloklu; kıvrımlı kaya kütlesi. Katman düzlemleri ve yapraklanma süreklidir.	60	N/A
	PARÇALANMIŞ Zayıf kenetlenmiş, köşeli ve yuvarlak kaya parçaları karışımı ile aşırı kırıklı yapı sergileyen kaya kütlesi.	50	N/A
	DİLİNİMLİ/EZİLMİŞ Yakın aralıklı zayıf yapraklanma veya ezilme düzlemlerine bağlı olarak bloklu yapıdan yoksun.	40	N/A
		30	N/A
		20	N/A
		10	N/A
		N/A	N/A

Şekil 6. 5. GSI (Jeolojik dayanım indeks) sınıflama sistemi Hoek ve Marinos (2000)

Kayaç Türü	Sınıf	Grup	Yapı			
			İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Klastik		Konglomera 21 (5)	Kumtaşı 17 (4) ↔ Grovak ↔ 18 (3)	Silttaşı 7 (2)	Kiltaşı 4 (2)
	Klastik olmayan	Organik	↔ Tebeşir ↔ 7 (2) ↔ Kömür ↔ 8 - 21			
		Karbonat	Breş 19 (5)	Sparitik Kireçtaşı 10 (2)	Mikritik Kireçtaşı 9 (2)	
		Kimyasal		Jips 8 (2)	Anhidrit 12 (2)	
	METAMORFİK	Yapraklanmamış		Mermer 9 (3)	Hornfels 19 (4)	Kuarsit 20 (3)
Hafif yapraklanmış		Migmatit 29 (3)	Amfibolit 26 (6)			
Yapraklanmış		Gnays 28 (5)	Şist 12 (3)	Fillit 7 (3)	Sleyt 7 (4)	
MAGMATİK	Açık		Granit 32 (3) Granodiyorit 29 (3) Diyorit 25 (5) Gabro 27 (3) Norit 20 (5)		Riyolit 25 (5) Dasit 25 (3) Andezit 25 (5) Bazalt 25 (5)	Obsidiyen 19 (3)
	Koyu			Dolerit 16 (5)		
	Piroklastik		Aglomera 19 (5)	Breş 19 (5)	Tüf 13 (5)	

Şekil 6. 6. Kayaç gruplarına göre sağlam malzeme sabiti, mi değerleri (parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir Hoek ve diğ. (1995)

Örselenme faktörünü, D'yi, belirlemede kullanılan yöntemler ise Şekil 6.7'de sunulmuştur.

Kaya kütlesinin görünümü	Kaya kütlesinin tanımı	Önerilen D değeri
	Tünel açma makinesiyle mükemmel nitelikte kontrollü yapılan patlatma veya kazı bir tüneli çevreleyen sınırlı kaya kütlesinde en az örselenmeye neden olur.	$D=0$
	Zayıf nitelikteki kaya kütlelerinde mekanik veya elle kazı (patlatma yapılmadan) çevre kaya kütlesinde en az örselenmeye neden olur. Sıkışma problemlerinin önemli taban kabarmasına sebep olduğu durumlarda, fotoğrafta görüldüğü gibi kalıcı bir taban kemeri kurulmadıkça örselenme şiddetli olabilir.	$D=0$ $D=0.5$ Taban kemeri yok
	Sert kaya tünelinde çok zayıf nitelikte patlatma çevre kaya kütlesinde 2 veya 3 m genişliğinde şiddetli yerel hasara sebep olmaktadır.	$D=0.8$
	İnşaat mühendisliği yamaçlarında küçük ölçekte patlatmalar, özellikle sol taraftaki fotoğrafta gösterildiği gibi kontrollü patlatma yapılıyorsa, kaya kütlesinde az zarara neden olmaktadır. Bununla birlikte, gerilme rahatlaması bir miktar örselenmeye neden olmaktadır.	$D=0.7$ İyi patlatma $D=1.0$ Zayıf patlatma
	Çok büyük açık işletme maden şevleri ağır üretim patlatmalarından dolayı ve de örtü tabakasının kaldırılmasından kaynaklanan gerilme rahatlaması nedeniyle önemli örselenmeye uğramaktadır. Bazı yumuşak kayalarda kazı sökerek ve küremsiyle yürütülebilmektedir ve şevlerde hasar derecesi daha azdır.	$D=1.0$ Üretim amaçlı patlatma $D=0.7$ Mekanik kazı

Şekil 6. 7. Örselenme faktörü, d , hesabi için öneri tablosu (Hoek ve Brown (2002))

Bütün denklemler ve parametre kabullerine ilişkin ayrıntılar Hoek ve Brown (2002) tarafından ayrıntılı bir şekilde özetlenmiş olup bunların tamamı analitik bir şekilde RocScience RocData v.5.0 yazılımı içerisinde bulunmaktadır. Hoek ve Brown (2002) kriterine göre eşdeğer kesme mukavemeti parametreleri aşağıda verilen denklemler (Mohr-Coulomb Yenilme Kriteri) uyarınca hesaplanmaktadır:

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

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

burada

$$\sigma_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma_{ci} \quad (4)$$

$\sigma'_{3\max}$ değeri çevre basıncı için üst limit değeridir ve Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb kriterleri düşünülerek elde edilir. Ayrıca her durum için ayrı ayrı hesaplanmalıdır, σ_{ci} değeri sağlam kaya malzemeleri için tek eksenli basınç dayanımıdır, m_b değeri malzeme sabitinin m_i azaltılmış halidir ve şu şekilde hesaplanır :

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (5)$$

s ve a değerleri kayalar için aşağıda sunulan ilişkiye göre hesaplanan sabitleridir:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (7)$$

D ise örselenme faktörüdür.

Kaya kütlesi rijitlik parametrelerini belirlemek için gerekli olan girdilerden biri olan “MR” değeri tek eksenli basınç dayanımı ile sağlam kaya elastisite modülünü ilişkilendirmektedir. Dolayısıyla doğrusal olarak ilişkilendirilebilecek “sağlam kaya” elastik modülü değeri hem RocData yazılımı tarafından önerilen tipik değerler kullanılarak seçilmiştir (Şekil 6.8).

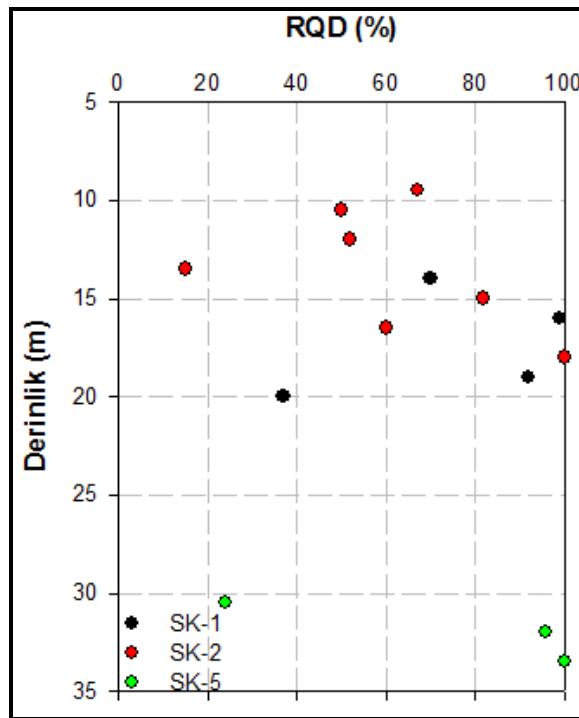
Kayaç Türü	Sınıf	Grup	Yapı			
			İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Klastik		Konglomera 350 (50)	Kumtaşı 275 (75)	Silttaşı 375 (25)	Kiltaşı 250 (50)
			↔ Grovak ↔ 350			
	Klastik olmayan	Organik	↔ Tebeşir ↔ 1000			
		Karbonat	Breş 290 (60)	Sparitik Kireçtaşı 700 (100)	Mikritik Kireçtaşı 900 (100)	
		Kimyasal		Jips 350	Anhidrit 350	
METAMORFİK	Yapraklanmamış		Mermer 850 (150)	Hornfels 550 (150)	Kuvarsit 375 (75)	
	Hafif yapraklanmış		Migmatit 375 (25)	Amfibolit 450 (50)		
	Yapraklanmış		Gnays 525 (225)	Şist 675 (425)	Fillit 550 (250)	Sleyt 500 (100)
MAGMATİK	Açık		Granit 425 (125)		Riyolit 400 (100)	
		Granodiyorit 425 (25)		Dasit 400 (50)		
	Koyu	Diyorit 325 (25)		Andezit 400 (100)		
		Gabro 450 (50)	Dolerit 350 (50)	Bazalt 350 (100)		
		Norit 375 (25)				
Piroklastik		Aglomera 500 (100)	Breş 500	Tuf 300 (100)		

Şekil 6. 8. Kayaç gruplarına göre MR değerleri (Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir) Hoek ve diğ. (1995)

6.5.1 Kilitaşı

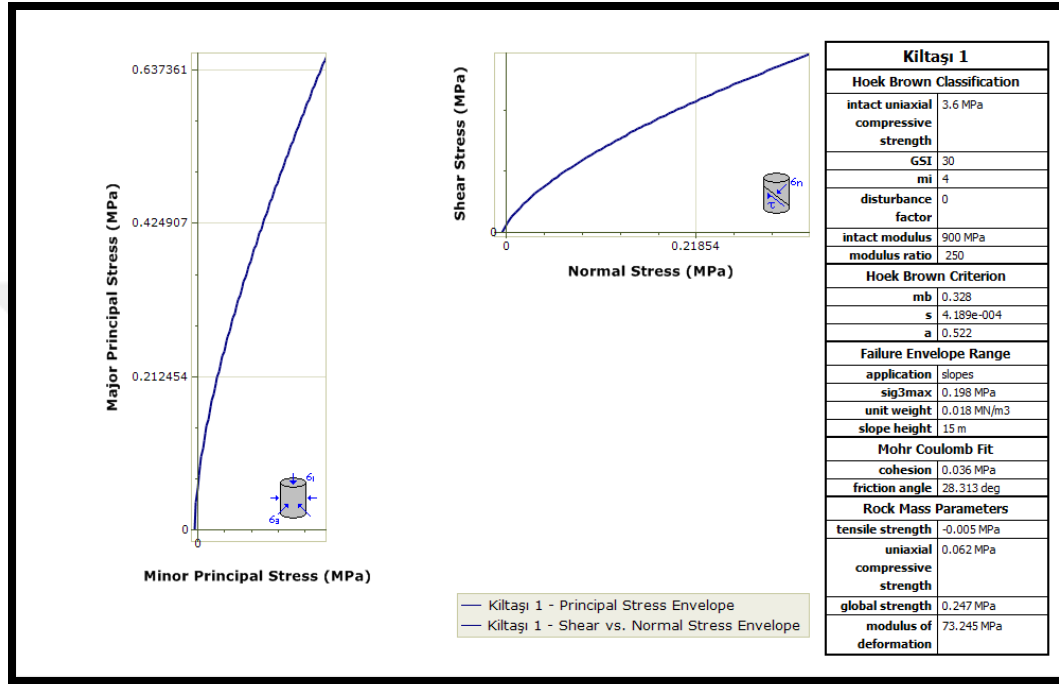
İnceleme alanında açılan sondaj kuyularından SK-1, SK-2 ve SK-5'de kahve renkli - açık kahve renkli, çok zayıf - zayıf dayanımlı, orta - çok ayrışmış, çok zayıf - çok iyi kaya kaliteli, sık kırıklı, yer yer parçalı, kötü derecelenmiş - yarı köşeli - ince daneli çakıl içeren, karbonat yumruları içeren kilitaşı birimlerine rastlanmıştır. İnceleme alanında karşılaşılan kilitaşı birimlerine ait kaya kalitesi (RQD) değerlerinin derinlik ile değişimi Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu veriler ile sondaj çalışmalarında yapılan gözlemler uyarınca kilitaşı birimlerinin kaya kalitesinin derinlik ile birlikte arttığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle inceleme alanındaki kilitaşı birimlerinin 2 farklı derinlik seviyesi için 2 farklı alt tabaka halinde incelenmesi uygun görülmüştür. Buna istinaden yüzeyden itibaren 20 m derinliğe kadar karşılaşılan kilitaşı birimleri Kilitaşı 1 olarak, 20 m'den daha derin seviyelerde karşılaşılan kilitaşı birimleri ise Kilitaşı 2 olarak isimlendirilmiştir.

Kilitaşı birimlerinden alınan karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneylere göre test edilen birimlerin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin ortalaması 3,6 MPa olarak belirlenmiştir. Öte yandan kilitaşı birimleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri uyarınca birimlerin doğal birim hacim ağırlık değerleri ortalama olarak 18,5 kN/m³ olarak belirlenmiştir.

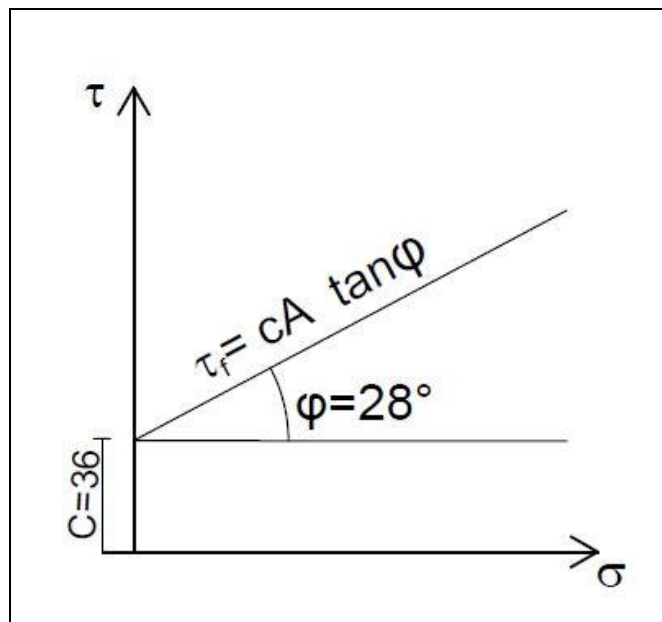


Şekil 6. 9. Kilitaşı birimleri için RQD değerlerinin derinlikle ilişkisi

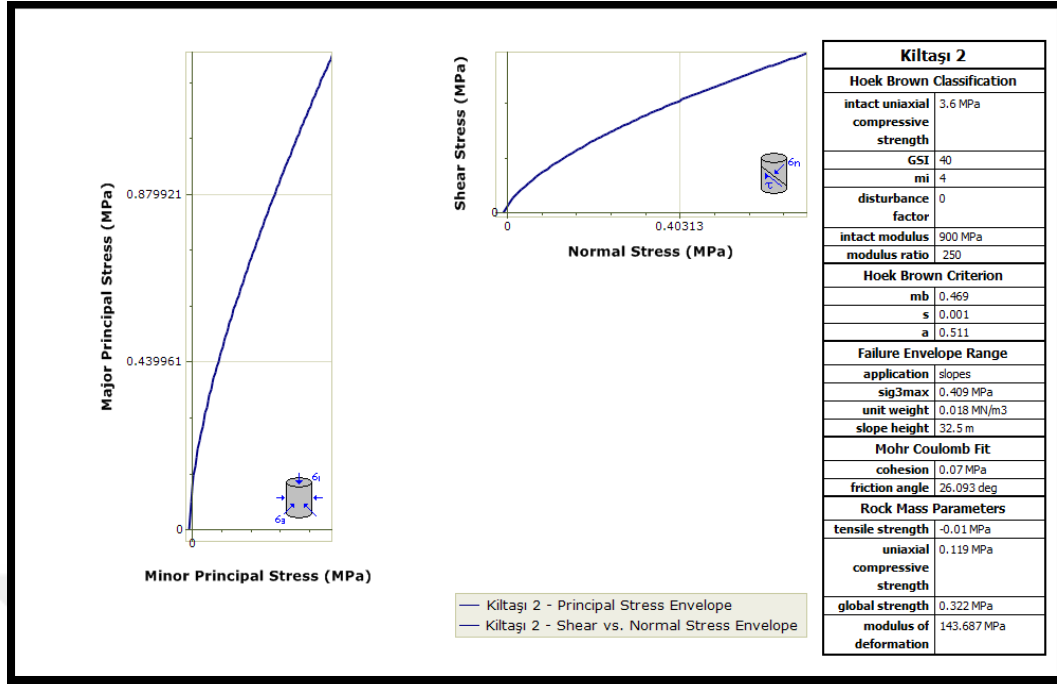
İnceleme alanında karşılaşılan kıltaşı birimleri için RocData v.5.0 yazılımı kullanılarak hesaplanan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 6.4'te özetlenmiş olup, bu birimler için programa ait ekran görüntüleri ise Şekil 6.10 ve 6.12'da sunulmuştur. Bu değerlendirmeler ile uyumlu olarak deformasyon modülü değerleri Kıltaşı 1 ve 2 birimi için sırasıyla 75 MPa ve 140 MPa olarak seçilmiştir.



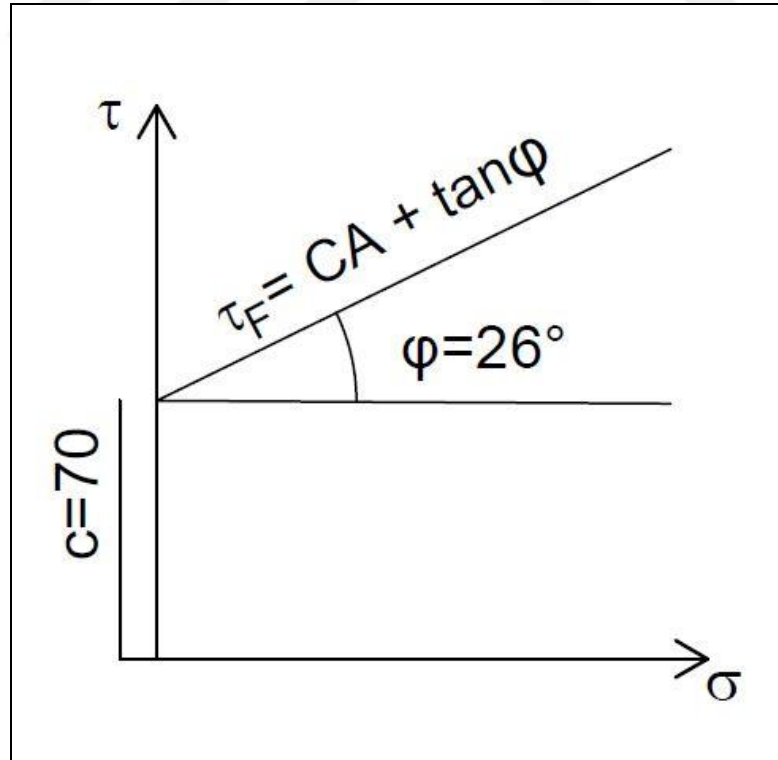
Şekil 6. 10. Kıltaşı 1 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki



Şekil 6. 11. Kıltaşı-1 birimi için direk kesme grafiği



Şekil 6.12. Kiltası 2 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki



Şekil 6.13. Kiltası-2 birimi için direk kesme grafiği

6.5.2 Konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması

İnceleme alanındaki SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-6 numaralı sondaj lokasyonlarında kahverenkli - gri renkli, çok zayıf - orta kaya kaliteli, konglomera; orta dayanımlı, orta - çok ayrılmış, sık - çok sık kırıklı, iyi derecelenmiş köşeli - yarı köşeli çakıl parçaları içeren, kıltaşı; orta dayanımlı, orta - çok ayrılmış, orta - sık kırıklı, karbonat yumruları içeren, kumtaşı; orta dayanımlı, orta - çok ayrılmış, orta - sık kırıklı konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması birimlerine rastlanmıştır. İnceleme alanında karşılaşılan bu birimlere ait kaya kalitesi (RQD) değerlerinin derinlik ile değişimi Şekil 6.14'de verilmiştir. Buna göre ardalanma birimlerine ait kaya kalitesi (RQD) değerlerinin derinlikle birlikte arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle inceleme alanındaki konglomera-kıltaşı kumtaşı ardalanması birimlerinin 3 farklı derinlik seviyesi için 3 farklı alt tabaka halinde incelenmesi uygun görülmüştür. Buna istinaden yüzeyden itibaren 25 m derinliğe kadar karşılaşılan konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması birimleri Ardalanma 1 olarak, 25 m ile 30 m derinlikleri arasında karşılaşılan konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması birimleri Ardalanma 2 olarak ve 30 m'den daha derin seviyelerde karşılaşılan konglomera - kıltaşı - kumtaşı ardalanması birimleri ise Ardalanma 3 olarak incelenmiştir. Saha çalışmaları sırasında alınan karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kaya mekaniği laboratuvar deneyleri uyarınca test edilen örneklerin birim hacim ağırlıkları, nokta yükü dayanım indisleri (I_s) ve tek eksenli basınç dayanımlarının (UCS) sırasıyla 17,8 ile 21,9 kN/m³ (ortalaması 19,2 kN/m³), 0,11 ile 0,23 MPa (ortalaması 0,18 MPa) ve 2,59 ile 8,4 MPa (ortalaması 5,0 MPa) mertebelerinde değiştiği raporlanmıştır.

Nokta yükleme indeksi ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkinin belirlenmesi için; sırasıyla Denklem (8) ve Denklem (9 ve 10)'da verilen Quane ve Russel (2003) ve Sabatakakis ve diğ. (2009) tarafından geliştirilen ampirik ilişkiler kullanılmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı zayıf kayalar için geliştirilmiş olan Quane ve Russel (2003) bağıntısına göre UCS değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanabilir.

$$UCS = 3.86 \cdot I_{s,50}^2 + 5.65 \cdot I_{s,50} \quad (8)$$

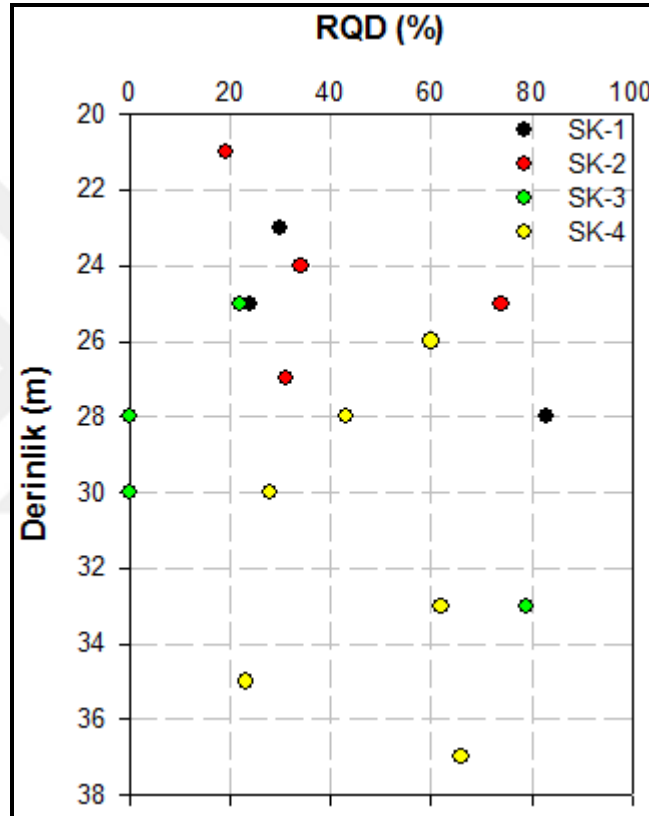
Benzer şekilde nokta yük dayanım indeksi 2 MPa'dan küçük ve 5 MPa'dan büyük olan kayalar için kullanılması uygun olan Sabatakakis ve diğ. (2009) bağıntılarına göre tek eksenli basınç dayanımı aşağıdaki formüllerden

hesaplanmaktadır. Ancak idare ile yapılan görüşmeler sonucunda, UCS ve $I_{s,50}$ değerlerini ilişkilendirmek için kullanılacak korelasyon katsayısı güvenli bir yaklaşım ile 12 olarak kullanılmıştır.

$$UCS = 13 \times I_{s,50} \quad I_{s,50} \leq 2 \text{ MPa} \quad (9)$$

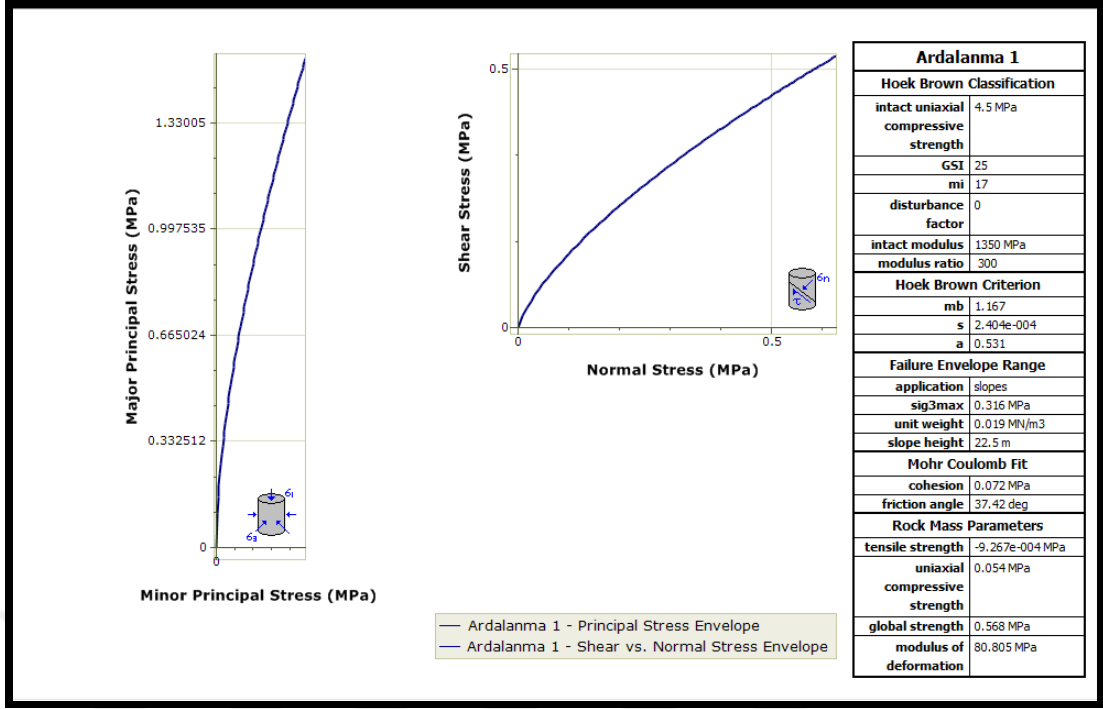
$$UCS = 28 \times I_{s,50} \quad I_{s,50} > 5 \text{ MPa} \quad (10)$$

İnceleme alanında karşılaşılan ardalanma birimleri için tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değeri ilgili birimler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri (nokta yükleme indisi ve tek eksenli basınç dayanımı) uyarınca 4,5 MPa olarak seçilmiştir.

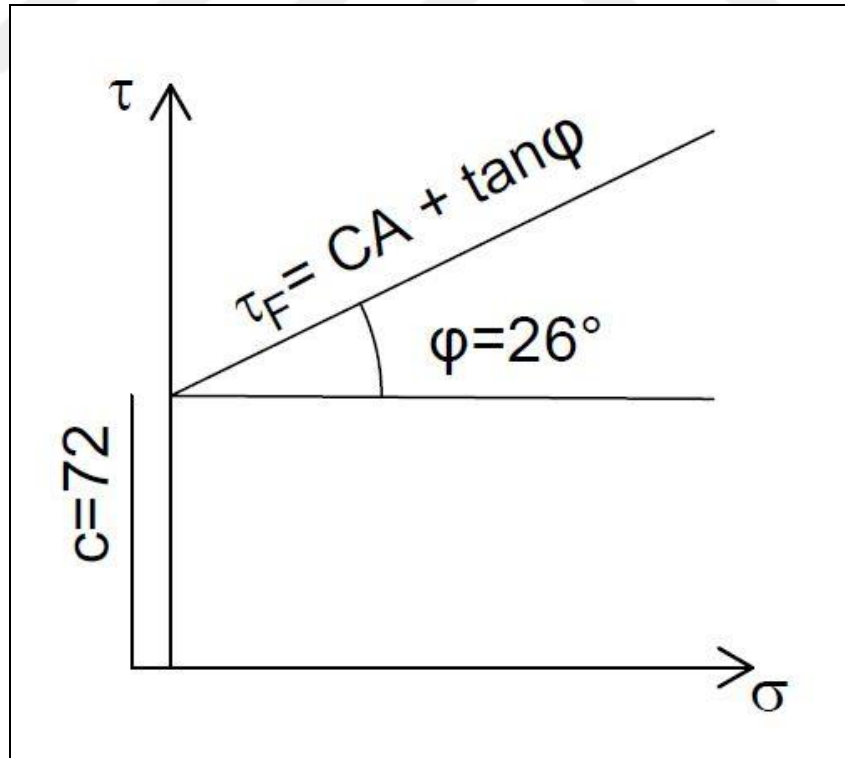


Şekil 6. 14. Birimler için RQD sınıflaması

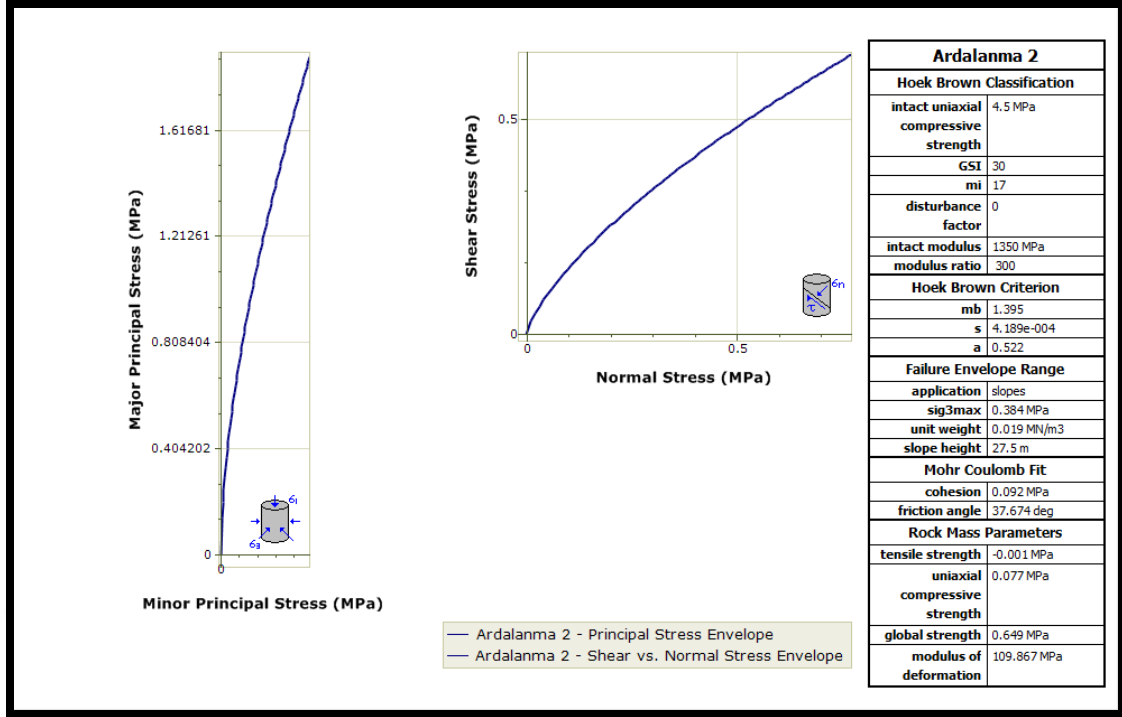
Birimleri İçin RQD Değerlerinin Ardalanma alt birimleri için RocData v.5.0 yazılımı kullanılarak hesaplanan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 4.4’de özetlenmiş olup, bu birimler için gerçekleştirilen analize ait ekran görüntüleri ise sırasıyla Şekil 6.15, Şekil 6.17 ve Şekil 6.19’de sunulmuştur. Bu değerlendirmeler ile uyumlu olarak deformasyon modülü değerleri Ardalanma 1, 2 ve 3 birimi için sırasıyla 80 MPa, 110 MPa ve 150 MPa olarak seçilmiştir.



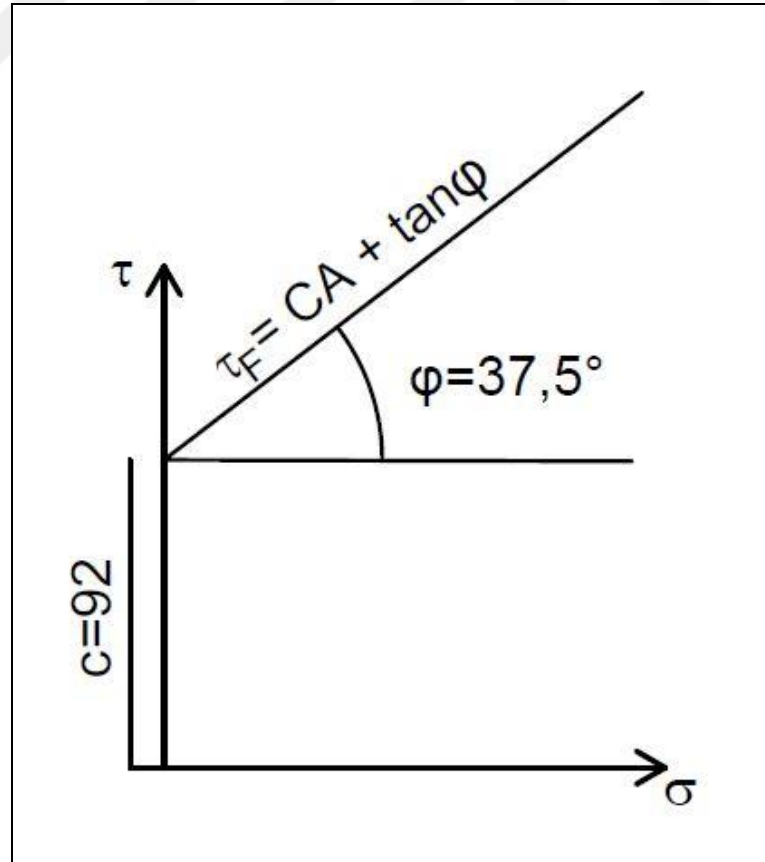
Şekil 6. 15. Konglomera – Kumtaşı – Kiltası ardalanması-1 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki.



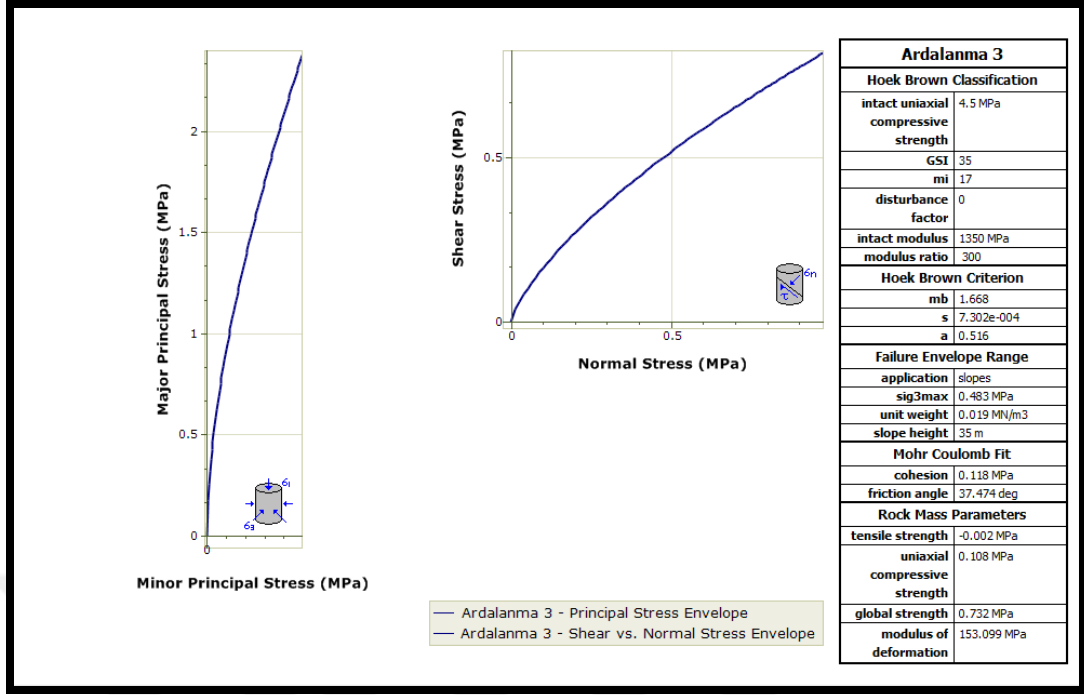
Şekil 6. 16. Ardalanma-1 için direk kesme grafiği.



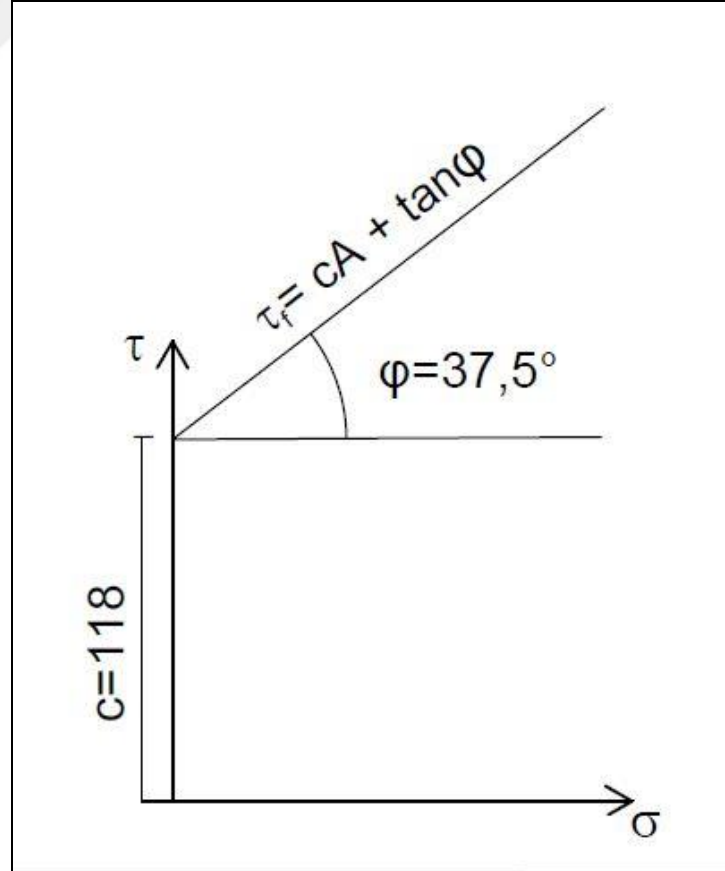
Şekil 6. 17. Konglomera – Kumtaşı – Kıltaşı ardalanması-2 birimi İçin Hoek – Brown sınıflandırması



Şekil 6. 18. Ardalanma-2 için direk kesme grafiği.



Şekil 6. 19. Konglomera – Kumtaşı – Kiltası ardalanması-3 birimi için Hoek – Brown sınıflandırması uyarınca parametre tahkiki.



Şekil 6. 20. Ardalanma-3 için direk kesme grafiği.

Tablo 6. 4. İnceleme alanında karşılaşılan kaya birimlerinin mühendislik parametreleri

Kaya Birimi	UCS (MPa)	GSI	m _i	D	MR	Kohezyon, c' (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	Deformasyon Modülü (MPa)
Kiltaşı 1	3,6	30	4	0	250	36	28	75
Kiltaşı 2	3,6	40	4	0	250	70	26	140
Ardalanma 1	4,5	25	17	0	300	72	37,5	80
Ardalanma 2	4,5	30	17	0	300	92	37,5	110
Ardalanma 3	4,5	35	17	0	300	118	37,5	150

6.6. Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi

Sıvılaşma mühendisliği değerlendirme adımlarının ilki rastlanan birimlerin sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesidir. Suya doygun zemin birimlerinin sıvılaşma potansiyelleri, Seed ve diğ. (2003) tarafından önerilen yöntem uyarınca incelendiğinde, geçilen ince taneli silt – kil karışımı birimlerin (tanımlama amaçlı zemin mekaniği laboratuvar deneyleri uyarınca ağırlıklı olarak yüksek plastisiteli silt (MH) olarak sınıflandırıldıkları görülmektedir) su içeriği, likit limit oranlarının (w/LL) düşük olması nedeniyle (laboratuvar deney verisine göre 0,37 w/LL ile 0,60 w/LL arasında değişmektedir (ortalaması 0,47 w/LL). Laboratuvar sonuçlarından gelen verilere dayanılarak sıvılaşma ya da yumuşama potansiyellerinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu birimleri takip ederek geçilen kiltası ya da konglomera – kiltası – kumtaşı ardalanması olarak tanımlanmış ayrılmış kayaçların ise sıvılaşma potansiyelleri bulunmamaktadır. Bu sonuçlara dayanılarak inceleme alanında bulunan birimler için sıvılaşma analizinin gerçekleştirilmesine gerek görülmemiştir.

6.7 Bishop Metodu ile Şev Analizi

Basitleştirilmiş Bishop yöntemi, zemin kütlelerinin güvenlik faktörünü hesaplamak için dilim yöntemini kullanır. Bu yöntemde bazı varsayımlar yapılmıştır:

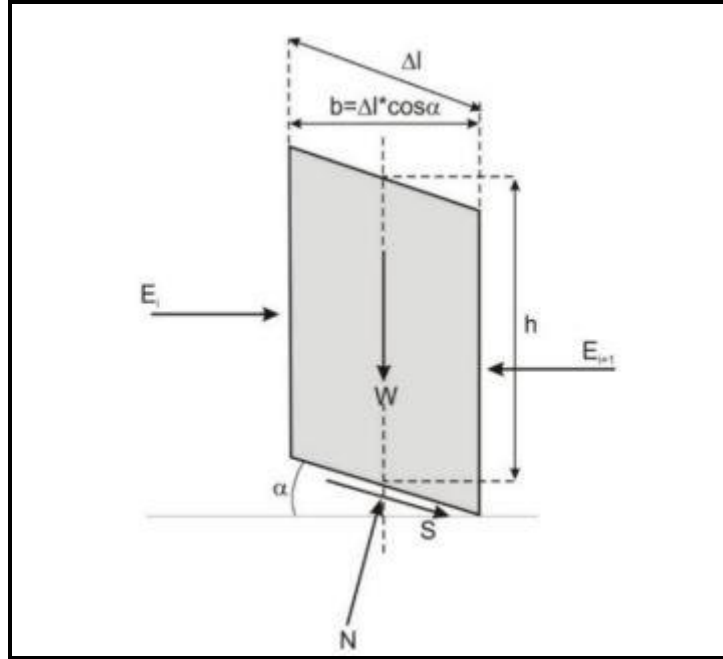
Stabilite kaybı, dairesel bir kayma yüzeyinde bir zemin kütlesinin döndürülmesiyle gerçekleşir. Bu nedenle, güvenlik faktörünü hesaplamak için Bishop yöntemi, dairesel olmayan yüzeylerde kullanılmamalıdır. Sürtünme merkezi kullanılmazsa doğru sonuçlar elde edilemez.

Dilim kenarlarındaki kuvvetlerin yatay olduğu varsayılır ve bu nedenle dilimler arasında kesme gerilmeleri ihmal edilir.

Toplam normal kuvvet, her dilim tabanının merkezinde hareket ettiği varsayılır ve dikey yönde toplayıcı kuvvetler tarafından türetilir.

Basitleştirilmiş Bishop yöntemi, tam olarak statik dengeyi sağlamasa da genellikle güvenlik faktörü için doğru değerler veren bir prosedürdür. Bishop (1955), basitleştirilmiş Bishop yönteminin, özellikle yüksek boşluk suyu basıncının etkili olduğu gerilme analizleri için sıradan dilim metodundan daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Wright ve diğ. (1973) de basitleştirilmiş Bishop yöntemiyle hesaplanan güvenlik faktörünün, SE (Slope Explorer) yöntemi gibi diğer prosedürlerle hesaplanan güvenlik faktörüyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Basitleştirilmiş Bishop yönteminin ilk sınırlaması, dairesel kayma yüzeyleriyle sınırlı olmasıdır. Bu yöntem, dairesel olmayan kayma yüzeyleri için uygun değildir Bishop (1955) .

Şev analizini dilimlere göre hesaplama yöntemi aşağıdaki denkleme göre verilmiştir



Şekil 6. 21. Basitleştirilmiş (sadeleştirilmiş) Bishop dilim yönteminde her bir dilime etkiyen kuvvet. Gör (2020)

$$FS = \frac{\sum \left[\left(c \cdot \beta + W \cdot \tan \Phi \left\{ \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cdot \cos \Phi}{FS} \right\} \right) \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

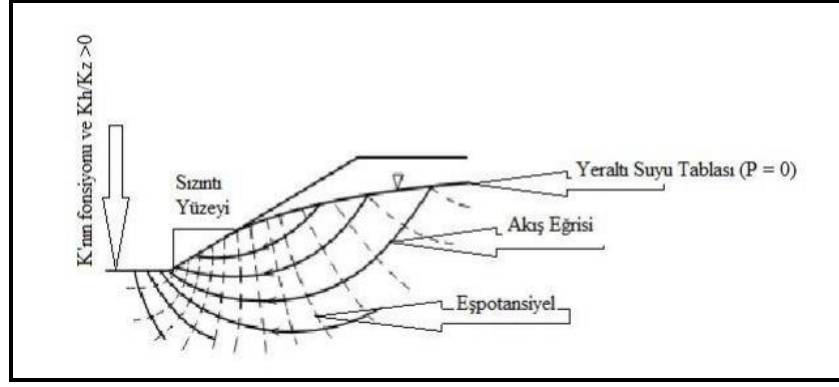
Şev mekanizmasında 10 adet dilim oluşturulmuştur oluşturulan dilimler tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Dilim Özellikleri													
Global Minimum Sorgu (bishop simplified) - Güvenlik Faktörü: 1.86373													
Dilim Sayısı	Genişlik [m]	Ağırlık [kN]	Dilim Tabanı Açısı	Temel Malzeme	Temel Uyum [kPa]	Temel Açı Sürtünm [deg]	Kesme Gerilme [kPa]	Kesme Mekavam [kPa]	Temel Normal Gerilme [kPa]	Gözenel Basıncı [kPa]	Effective Normal [kPa]	Temel Dikey Gerilme [kPa]	Effective Dikey Gerilme [kPa]
1	1.2553	20.2118	-50.9931	Kıl	18.5	35	10.9227	20.357	2.65201	0	2.65201	16.1371	16.1371
2	13.4196	2123.22	-44.3914	Kıl	18.5	35	46.3783	86.4366	154.936	57.9123	97.0235	200.339	142.427
3	13.4196	4853.12	-33.3204	Kıl	18.5	35	67.0548	124.972	317.681	165.623	152.058	361.762	196.139
4	13.4196	6286.89	-23.5683	Kıl	18.5	35	83.9134	156.392	431.978	235.048	196.93	468.584	233.536
5	4.26879	2047.52	-17.4979	Volkanitler	1	35	79.4911	148.15	454.655	244.505	210.15	479.716	235.211
6	7.47329	3454.73	-13.6372	Kıl	18.5	35	86.7926	161.758	441.276	236.683	204.593	462.333	225.65
7	13.7681	5772.73	-6.79323	Kıl Taşı	36	28	76.0346	141.708	410.25	211.442	198.808	419.308	207.866
8	13.7681	5500.18	1.9852	Kıl Taşı	36	28	81.6824	152.234	402.312	183.708	218.604	399.48	215.772
9	13.7681	3686.84	10.8118	Kıl Taşı	36	28	61.5694	114.749	279.508	131.404	148.104	267.75	136.346
10	13.7681	1325.36	19.9145	Kıl Taşı	36	28	38.1492	71.0999	110.047	44.034	66.013	96.2263	52.1923

Şekil 6. 22. Basitleştirilmiş Bishop yönteminde hesaplanan dilimlerin özellikleri.

6.8. Yeraltı Suyunun Şev Analizine Etkisi

Yeraltı suyu hidroliği üzerinde, şevdeki yeraltı suyu akış sistemini anlamak önemlidir. Gözeneklerdeki basıncın, atmosferik basınca göre sıfır ($p=0$) olduğu doymuş ve doymamış kaya kütlesi arasındaki sınır ‘‘yeraltı suyu tablası’’ olarak adlandırılır. Su tablası ile kesişen veya şev üzerinde mostra veren ve aynı zamanda atmosferik basınca göre sıfır ($p=0$) olan yüzey, sızıntı aynasının tepesidir. Sızıntı yüzeyinin yüksekliği, hidrolik iletkenliğin ve eğimi oluşturan malzemelerin yatay-dikey anizotropisinin bir fonksiyonudur. Düşük hidrolik iletkenliğe ve geniş yanaldan-dikeye hidrolik iletkenlik oranına sahip birim, daha geçirgen kaya kütlelerinde olduğundan daha yüksek geçirimsizlik yüzeyine sahip olacaktır. Atkinson (2000)



Şekil 6. 23. Bir şevdeki yeraltı suyu akışının sistematığı (Singh ve Atkins, 1984)

Bir kayacın, yeraltı suyu akışına göre en önemli unsuru hidrolik iletkenliğidir.

Homojen ve izotropik bir kaya malzemesi için hidrolik iletkenlik (K), darcy yasasından türetilmiştir. Hidrolik iletkenlik, birim alandaki akış hızı olarak tanımlanır.

$$K=Q/A$$

Burada;

$$K=\text{Hidrolik iletkenlik [L/T]}$$

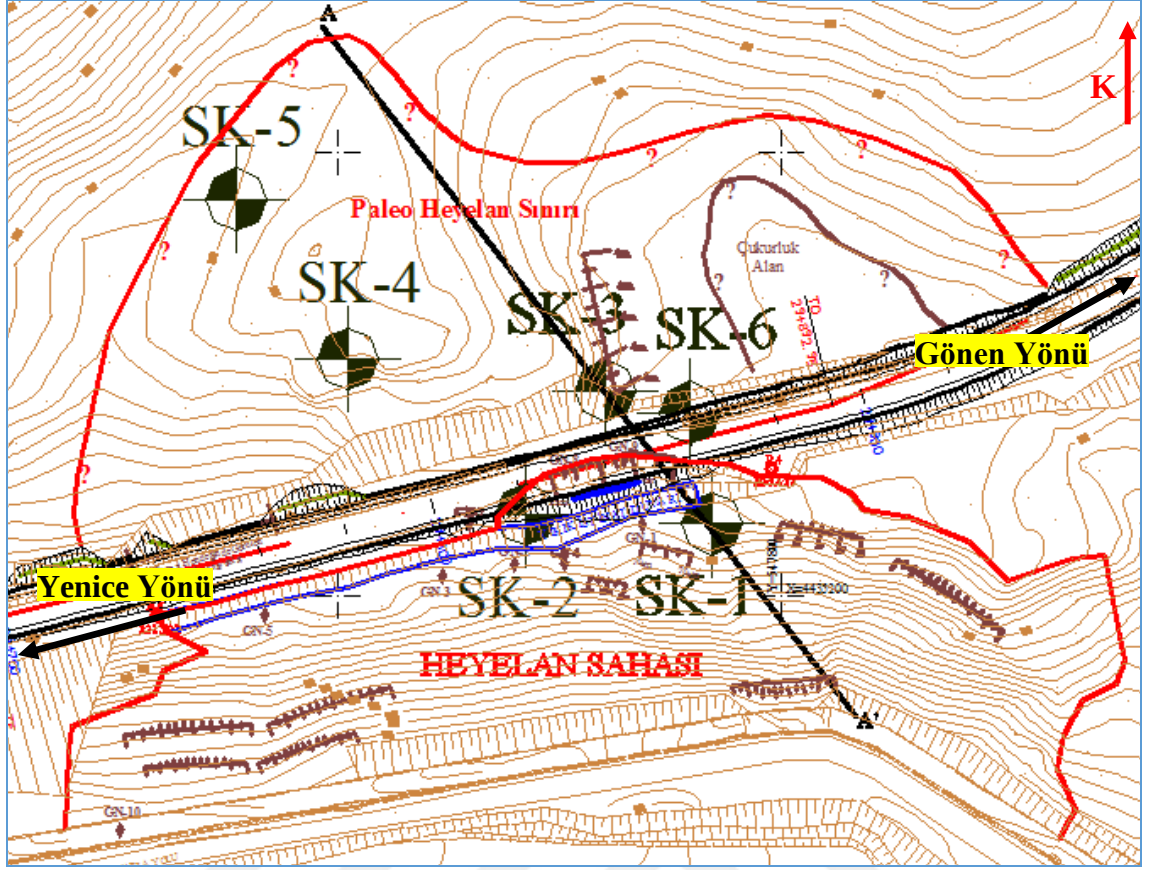
$$Q = \text{Debi [L}^3\text{/T]}$$

$$A = \text{Kesit alanı [L}^2\text{] dır.}$$

6.9. Heyelan Mekanizması

Toprak hareketinin tespit edildiği kesimde kalınlığı Heyelan alanında, kalınlığı 25 m mertebelerine varan yüksek plastisiteli, katı – sert kıvamlı, yer yer kum ve çakıl içeren killi SİLT birimlerine rastlanmaktadır. Bu birimlerin ardından ise Paleozoyik yaşlı sediment kökenli temel grubu kayalar geçilmektedir. Gerek yerinde yapılan incelemeler, saha ve laboratuvar deney sonuçları gerekse de heyelan geometrisini belirlemek üzere gerçekleştirilen inklinometre ölçümleri heyelan hareketinin yüzeyden itibaren yaklaşık 10 m derinlikte rastlanan görünürde daha az dayanıklı ve rijit silt tabakaları içerisinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen inklinometre ölçümlerinde saptanan hareketi dikkate alınmak üzere, gerçekleştirilecek analizler kapsamında yönelimi Ek-2’de ve şekil 6.24’te gösterilen A-A’ kesitin kullanılması uygun görülmüştür. Bu kesit açılan zemin araştırma sondaj kuyularından geçen eksen üzerinde yer aldığı için gerek zemin profilindeki ve arazi topoğrafyasındaki değişimi gerekse de inklinometre ölçüm sonuçları ile belirlenen heyelan geometrisinin bir arada değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

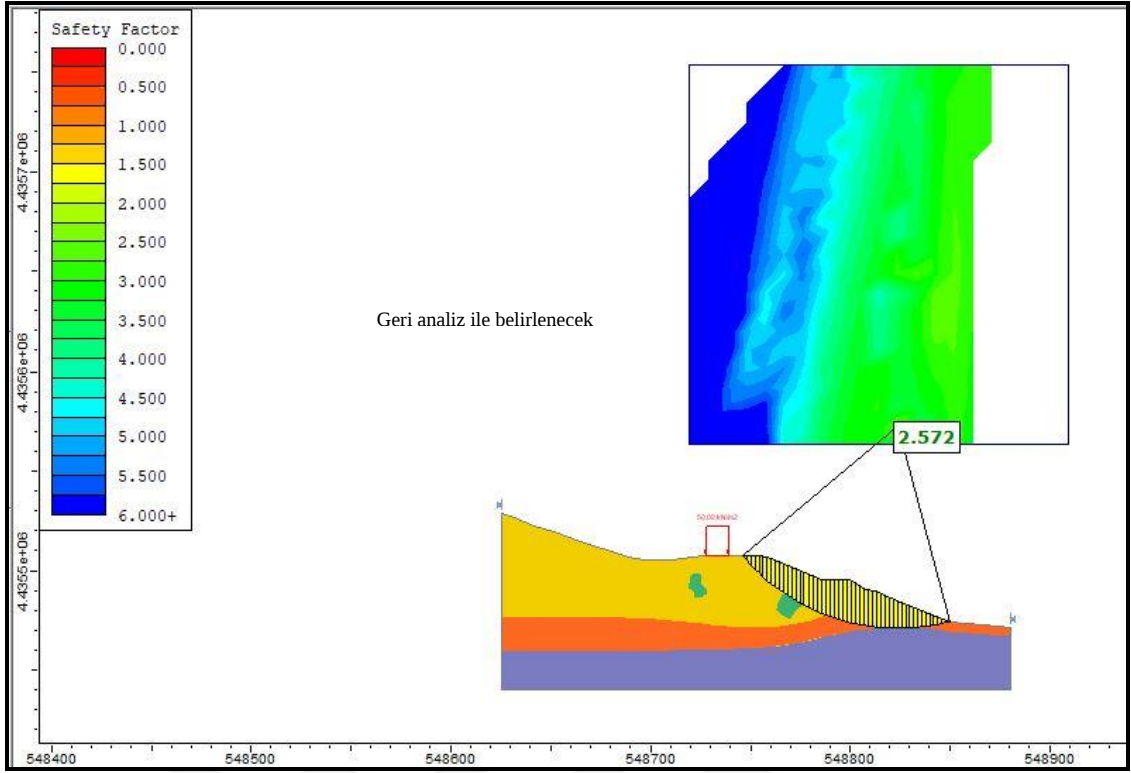


Şekil 6. 24. Alınan kesitin yönelimi ve heyelan sınırları (Eser ve Yunaçtı, 2018'den değiştirilerek alınmıştır)

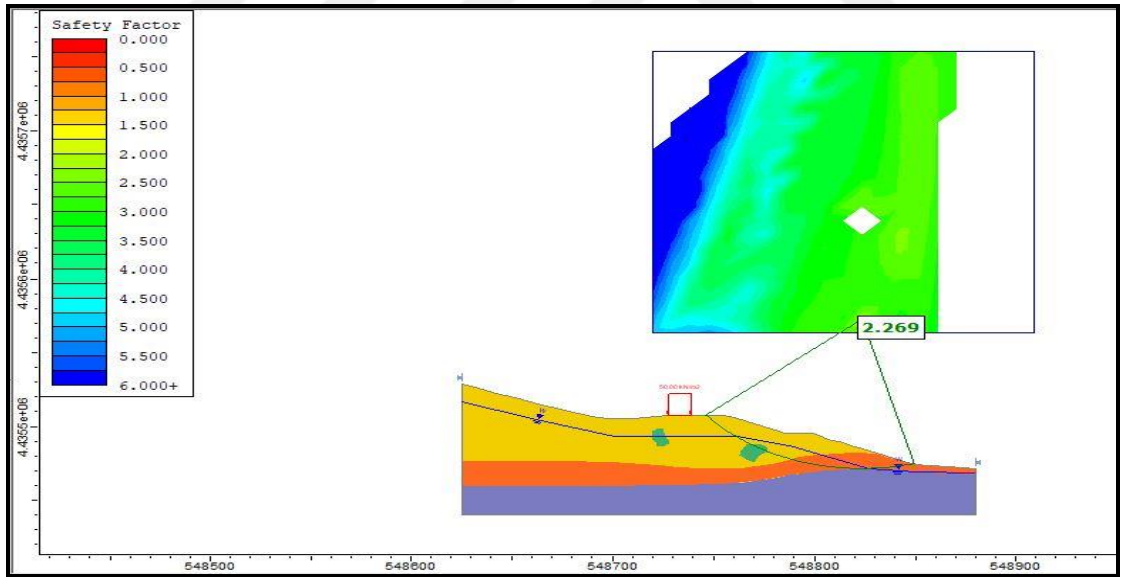
Mevcut jeoteknik etüt verisi ile detayları önceki bölümde tartışılan geoteknik parametre tahkiki ile yukarıda belirtilen kabuller ışığında geliştirilmiş olan ve Kesit A-A' olarak isimlendirilmiş olan litolojik kesit Ek-2 de sunulmuştur. Aynı şekil üzerinde arazinin mevcut durumu, jeoteknik modeli oluşturan tabaka sınırları ve ilgili alt birimlere ait mühendislik parametreleri de gösterilmiştir.

Mühendislik parametreleri dikkate alındığında yeraltı suyu olmadan incelenen temsili şev analizi için hesaplanan güvenlik katsayısı 2.572 çıkarken (Şekil 6.25), yerinde ölçülen yeraltı suyu şev analizine dahil edildiğinde oluşan güvenlik katsayısı 2.269 düşmüştür (Şekil 6.26), Daha ileri bir senaryo düşünüldüğünde temsili olarak Şeve eklenen yeraltı suyu incelendiğinde güvenlik katsayısının 1.460'a kadar düştüğü görülmektedir (Şekil 6.27).

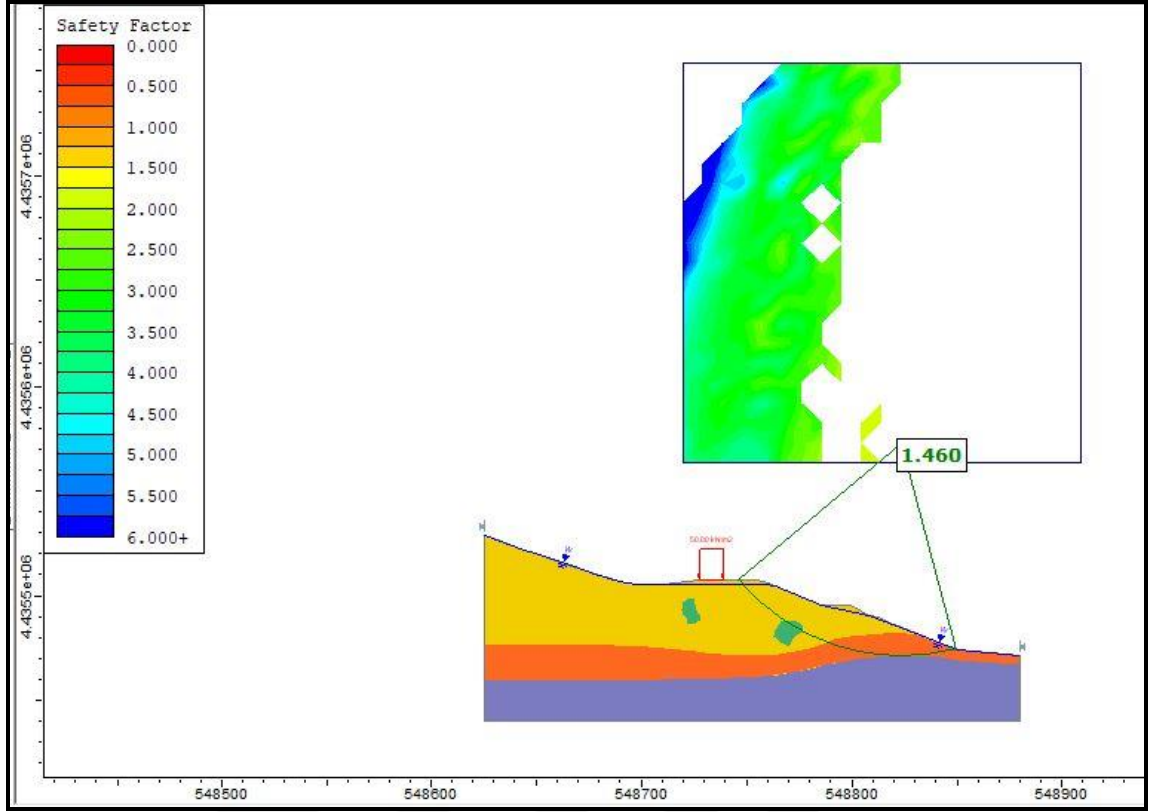
Çalışma alanında A-A' üstü kesiti üzerinde incelenen bu üç farklı durum yeraltı suyunun Şeve etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 6. 25. Analizler kapsamında kullanılan litolojik kesiti.



Şekil 6. 26. Analizler kapsamında kullanılan yeraltı suyu belirtilmiş (A-A') litolojik kesiti



Şekil 6. 27. Analizler kapsamında kullanılan temsili yeraltı suyu belirtilen (A-A') litolojik kesit

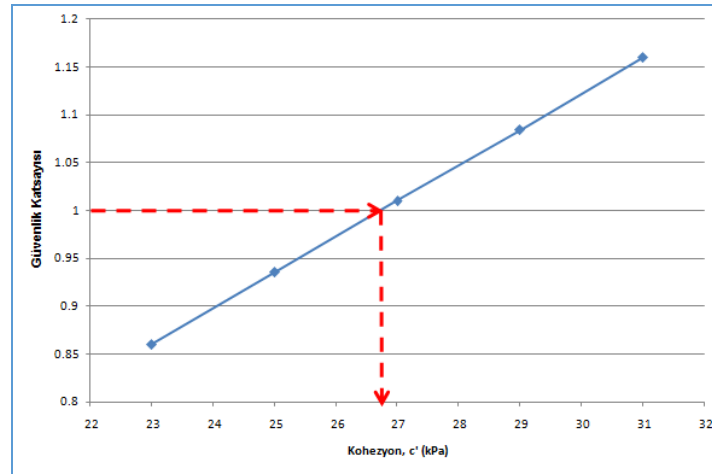
A-A' de verilen kesit üzerinde, inceleme alanında gerçekleşen heyelan mekanizmasının çözülmesi amacıyla limit denge yöntemi uyarınca şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler için RocScience Slide-2 yazılımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, güvenli şev performansının tarificationı için TS 8853 (1991) şartnamesi, kalıcı ve geçici kazı şevleri için sağlanması beklenen güvenlik katsayıları sırasıyla 1,5 ve 1,3 olarak seçilmiştir. Deprem durumunda, kalıcı şevlerde sağlanması beklenen güvenlik katsayısı ise 1,1 olarak seçilmiştir.

Hem yerinde yapılan gözlemler hem etüt sonuçları hem de inklinometre ölçüm sonuçları dikkate alınmak üzere, tespit edilen heyelanın silt kil birimleri içerisinde kaldığı öngörülmüştür. Yapılan analizlerde saha gözlemleri ile uyumlu olarak yeraltı su seviyesinin üzerinde bulunan siltli kil birimi için aşırı boşluk suyu basıncı oranı (r_u) 0,25 olarak kabul edilmiş, böylece ortamda yağış veya başka nedenlerle biriken ve tahliye edilemeyen suların yaratacağı basınç etkileri de dikkate alınmıştır. Bu gözlem ve değerlendirmeler ışığında belirlenen kritik kayma düzlemi için, kayan kütle için kalıntı mukavemet parametreleri duyarlılık analizleri ile saptanmıştır. İzlenen yöntemin temelinde, kaymaya karşı güvenlik katsayısını 1,0 yapan parametre setinin

hesaplanması bulunmaktadır. Yapılan analizlerde içsel sürtünme açısı sıfır olarak kabul edilerek, rezidüel kohezyon değeri araştırılmıştır. Buna göre kesit için kritik kayma dairesinin geometrisi ve gerçekleştirilen duyarlılık analiz sonucu Şekil 6.28’da sunulmuştur.

Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda kayan kütle olarak nitelendirilen birimin kohezyon değeri A-A’ kesiti için yaklaşık 27 kPa olarak hesaplanmıştır. SK-1 kuyusunda, yüzeyden itibaren 6,0 – 6,40 m derinlikler arasından alınmış örselenmemiş (UD) zemin numunesi üzerinde gerçekleştirilen CD direkt kesme deney sonucunda rezidüel mukavemet parametrelerinin, c'_r ve ϕ'_r , sırasıyla 32 kPa ve 33° olarak, SK-3 kuyusunda, yüzeyden itibaren 20,50 – 20,90 m derinlikler arasından alınmış UD zemin numunesi üzerinde gerçekleştirilen CD direk kesme sonucunda ise rezidüel mukavemet parametrelerinin, c'_r ve ϕ'_r , sırasıyla 8 kPa ve 19° olarak raporlandığı görülmektedir. Mertebe olarak söz konusu değerlerin, limit denge esaslı şev analizi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu ve sahada inklinometre sonuçları ile tespit edilen heyelan geometrisi ve mekanizmasını bütünüyle açıklayamadığı görülmektedir. Bu nedenle tasarımda, daha güvenli tarafta sonuçlar üreten ve arazi gözlemleri ile tutarlı olan Şev analizi sonuçlarından elde edilen parametrelerin kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 6. 28. A-A’ Kesiti için duyarlılık analizi sonucu

7. SONUÇLAR

Gönen-Yenice Yolu KM: 13+000 Kumköy Mevkiinde gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, bölgenin jeolojik özellikleri ile bu alanda gerçekleşmiş olan toprak hareketleri ve olası sebepleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışma alanına ait topoğrafik özellikler belirlenerek derinlikleri 30,0 m ile 40,0 m arasında değişen ve toplam derinliği 206,0 m olan 6 adet zemin araştırma sondaj kuyusu ASTM standartlarına uygun olarak açılmıştır.

Gerek jeoteknik araştırmalar gerekse de gerçekleştirilen analiz sonuçları uyarınca aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- Karayolu yol boyunu etkileyen toprak hareketi, yüzeyden itibaren yaklaşık 10 m derinliğe kadar rastlanan görünürde daha zayıf (daha az mukavim ve rijit) silt birimlerini içine aldığı tespit edilmiştir.
- Periyodik olarak sürdürülen ve sonuçları sunulmuş olan inklinometre ölçüm sonuçlarına göre SK-1 No'lu sondaj kuyusunun olduğu kesimde sınırlı bir mertebede de olsa toprak hareketinin sürmekte olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ise çalışma alanından elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme değerlerinin zayıf zemin karakteri yansıttığıdır.
- Saha ve laboratuvar çalışmalarından derlenen veriler ışığında bölgenin yağış miktarı ve yeraltı suyu seviyesinin artma ya da eksilme durumlarında büyük ölçüde güvenlik katsayısına etki ettiği bu değerin değiştiği görülmüştür.

Söz konusu hareketin mevcut karayolu yol boyu kullanımını dahi engelleyecek ilave deformasyon ya da stabilite problemlerine neden olmasını engellemek üzere yol ekseninden itibaren şev topuğuna denk gelecek şekilde sağlam kayaya sabitlemek suretle fore kazık kullanılarak kaymanın önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

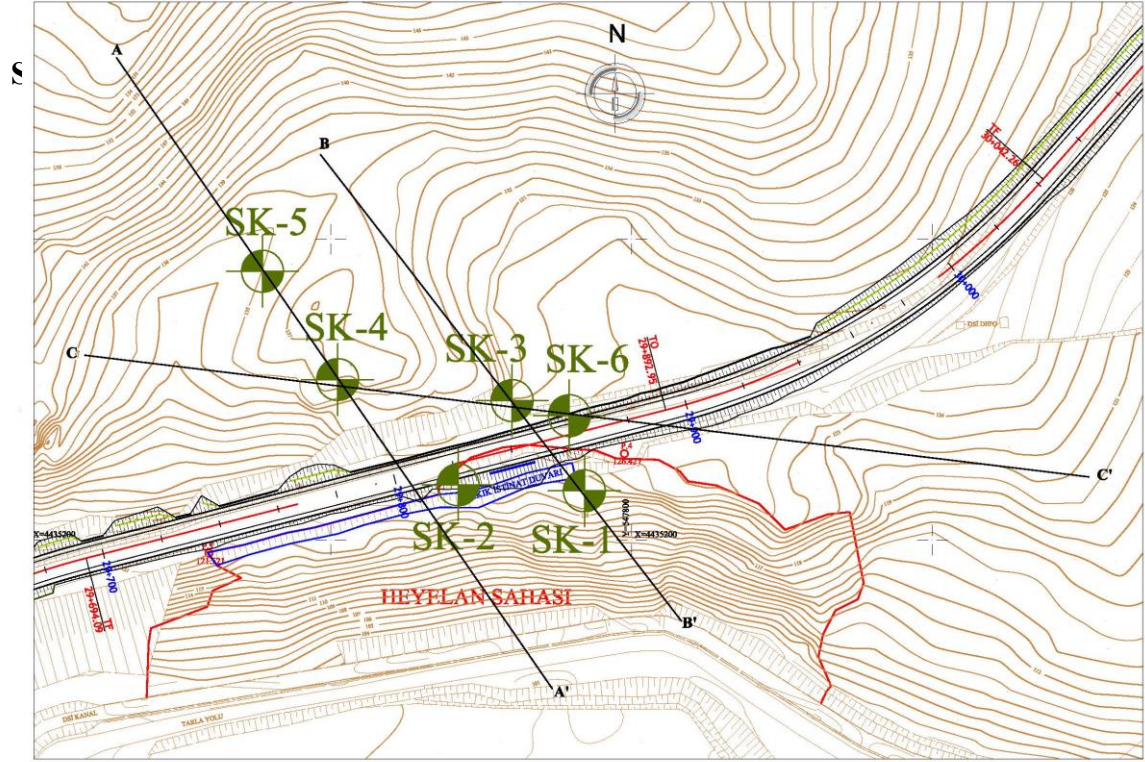
- Akçay, A.E., Dönmez, M., Ilgar, A., Duru, M. ve Pehlivan, Ş., 2008, 1:100 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları No:103 Bandırma-H19 paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara (baskıda)
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., Genç, C.Ş., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., Foland, K.A. and Yang, J., 2012, Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Research*, 21(4), 961-986.
- Aydın, Ü., Şen, P., Özmen, Ö. ve Şen, E., Biga Yarımadası'ndaki granitoyitlerin (KB Anadolu, Türkiye) petrolojik ve jeokimyasal özellikleri. *MTA Dergisi*, 160, 81-116.
- Beccaletto, L. ve Jenny, C., 2004, Geology and correlation of the Ezine zone: a Rhodope fragment in NW Turkey?. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 145-176.
- Bingöl, E., 1975, 1:2500000 ölçekli Türkiye metamorfizma haritası ve bazı metamorfik kuşakların jeotektonik evrimi üzerinde tartışmalar. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 83(83), 175-184.
- Bingöl, E., 1976, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 86, 14-43.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1975, Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. yılı yer bilimleri kongresi tebliğleri, MTA Enstitüsü, 70-77, Ankara.
- Chen, W.F. ve Mizuno, E., 1990, Nonlinear analysis in soil mechanics, *Elsevier*, Amsterdam, 661 s.
- Cernica, J.N., 1995, Geotechnical engineering: soil mechanics, *Wiley*, New York, 480 s.
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Genç, Ş.C. ve Acar, Ş., 2005, Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Duru, M., Ilgar, A. ve Pehlivan, Ş., 2008, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Çanakkale-H17 paftası, No: 101, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 27s.
- Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon T.L., 2014, Soil strength and slope stability. *Wiley*, USA, 309 s.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F. ve Kar, H., 2004, New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 177-186.

- Duru M., Pehlivan Ş., Aral İ.O., Şentürk Y., Yavaş F. ve Kar H., 2012, Biga Yarımadasının Tersiyer Öncesi Jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Özel Yayınlar Serisi*, 28, 7-74.
- Eser, A., Yunatçı, A.A., 2018, 10-86 Kk No'lu Gönen-Yenice Yolu Km:13+000 Kumköy Mevkii Heyelanı Jeoteknik Araştırma Programı Raporu. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolları 14.Bölge Müdürlüğü, 10 s. (Yayımlanmamış).
- Göncüoğlu, M.C. 2010, Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Monografi Serisi No.5*, Ankara, 69 s.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K. and Kozlu, H., 1997, Pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: explanatory notes to the terrane map of Turkey. *Annales Geologiques de Pays Hellenique*, 37, 515-536.
- Krushensky, R. D, 1976, Neogene calc-alkaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey: *Bulletin Volcanologique*, 40, 336-360.
- Krushensky, R.D., Akcay, Y. and Karaege E., 1980, Geology of the Karalar- Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Geological Survey Bulletin*, 1-71.
- Kürçer, A., Özalp, S., Özdemir, E., Uygun Göldoğan, Ç. and Duman, T.Y., 2019, Active tectonic and paleoseismologic characteristics of the Yenice-Gönen fault, NW Turkey, in light of the 18 March 1953 Yenice-Gönen Earthquake (Ms=7.2). *Bull. Min. Res. Exp.*, 159: 29-62.
- Michalowski, R.L., 1995, Slope stability analysis: a kinematical approach. *Géotechnique*, 45(2), 283-293.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., Pickett, E.A., Collins, A.S., Andrew, T. and Dixon, J.E., 2005, Testing models of Late Palaeozoic–Early Mesozoic orogeny in Western Turkey: support for an evolving open-Tethys model. *Journal of the Geological Society*, 161, 501-511.
- Sayit, K., ve Göncüoğlu, M.C., 2009, Karakaya Karmaşığı içerisindeki bazı volkanitlerin jeokimyasal özelliklerinin yeniden değerlendirilmesi. *Yerbilimleri*, 30(3), 181-191.
- Siyako, M., Bürkan, K.A. ve Okay, A.İ., 1989, Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer Jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 1(3), 183-200.
- Şengör, A.C., ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241.
- Tekin, U.K., Kamata, Y., Krystyn, L., Okuyucu, C., Sayit, K. and Nalbantli, M., 2021, First recovery of late Early Triassic (Spathian) pelagic assemblages (radiolarians

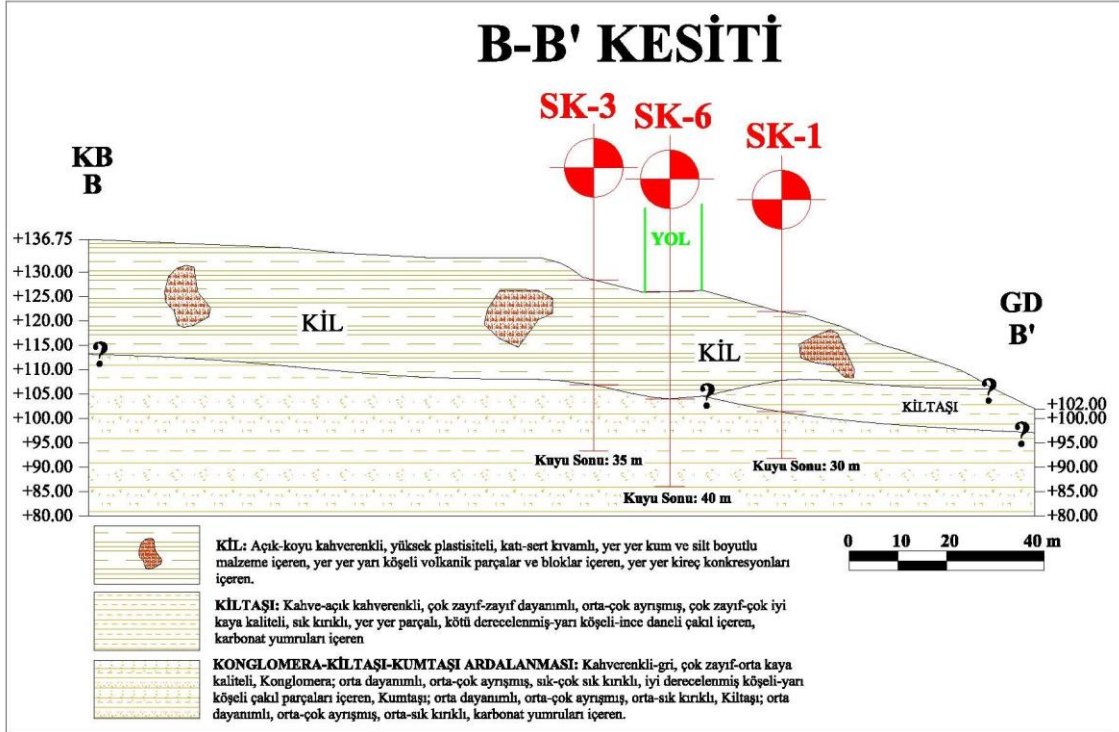
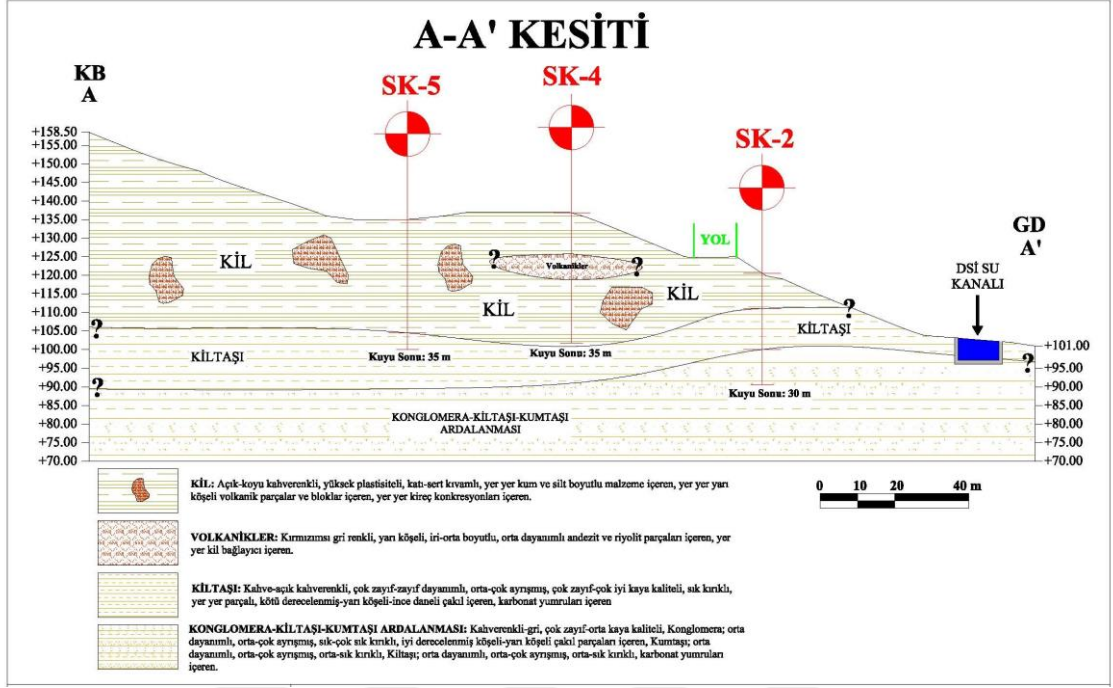
- and conodonts) from block in the Upper Karakaya Complex near Ankara City, central Turkey: Biostratigraphical remarks and correlation, *Journal of African Earth Sciences*, 175, 104117.
- Okay, A.I., 1984, Distribution and characteristics of the north-west Turkish blueschists. *Geological Society, Special Publications*, 17(1), 455-466.
- Okay, A.I., 1989, Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: Tectonic Evolution of the Tethyan Region (ed. A.M.C. Şengör), NATO Advanced ASI Series, *Kluwer Academic Publications*, Dordrecht, 109-116.
- Okay, A.I. and Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth and M. Séranne), *Geological Society, London, Special Publication* 156, 475-515.
- Okay, A.I. and Göncüoğlu M.C., 2004, The Karakaya Complex: a review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 75-95.
- Okay, A.I., Siyako, M. and Bürkan, K.A., 1991, Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula. Special Issue on Tectonics (ed. J.F. Dewey), *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 44, 191-255.
- Okay, A.I., Satır, M. and Siebel, W., 2006, Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region. European Lithosphere Dynamics. *Geological Society, London, Memoirs* 32, 389-405.
- Pickett, E.A. ve Robertson, A.H.F., 2004, Significance of the volcanogenic Nilüfer Unit and related components of the Triassic Karakaya Complex for Tethyan subduction/accretion processes in NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 97-143.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey : A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tarhan, F., 1989, Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi*, Trabzon, 384 s.
- Tetiker, S., Yalçın, H. and Bozkaya, Ö., 2009, KB Anadolu daki Karakaya Karmaşığı birimlerinin diyajenezi-düşük dereceli metamorfizması. *Yerbilimleri*, 30(3), 193-212.
- Zhu, D.Y., Lee, C.F. and Jiang, H.D., 2003, Generalised framework of limit equilibrium methods for slope stability analysis. *Géotechnique*, 53(4), 377-395.
- <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMImages/Haritalar/b14.jpg> [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2023].
- www.afad.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2023]

EKLER

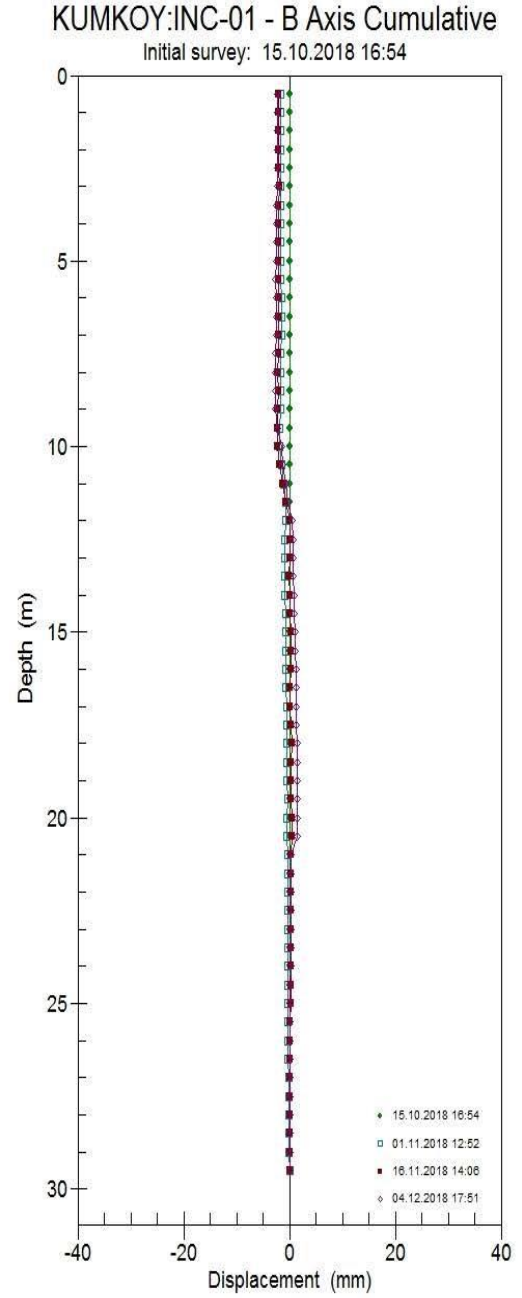
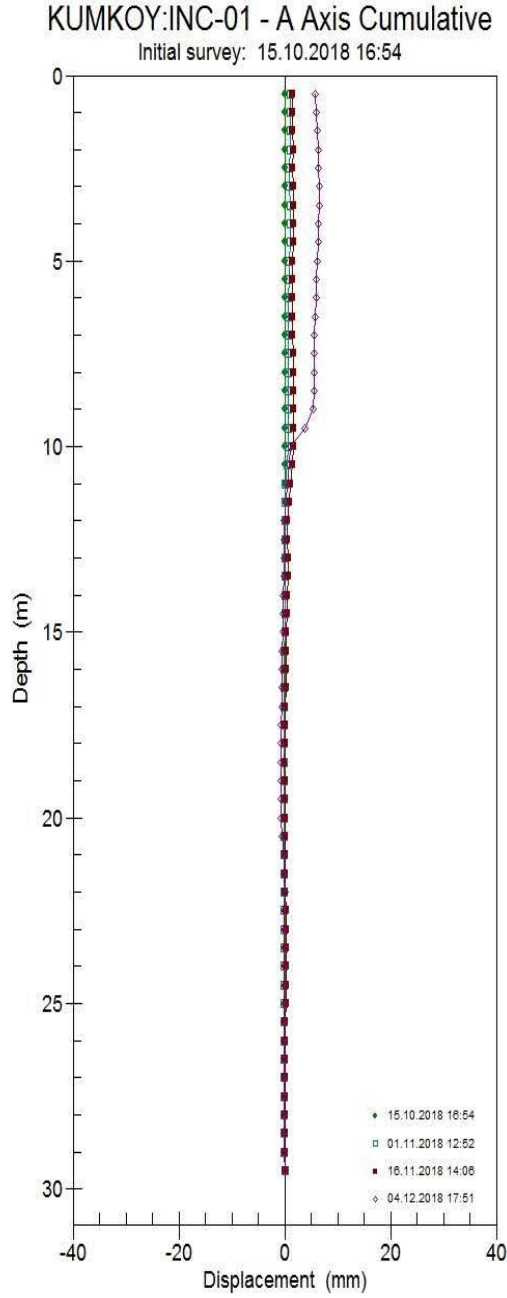
EK-1 Sondaj Yerleri ve Kesitler Yönleri

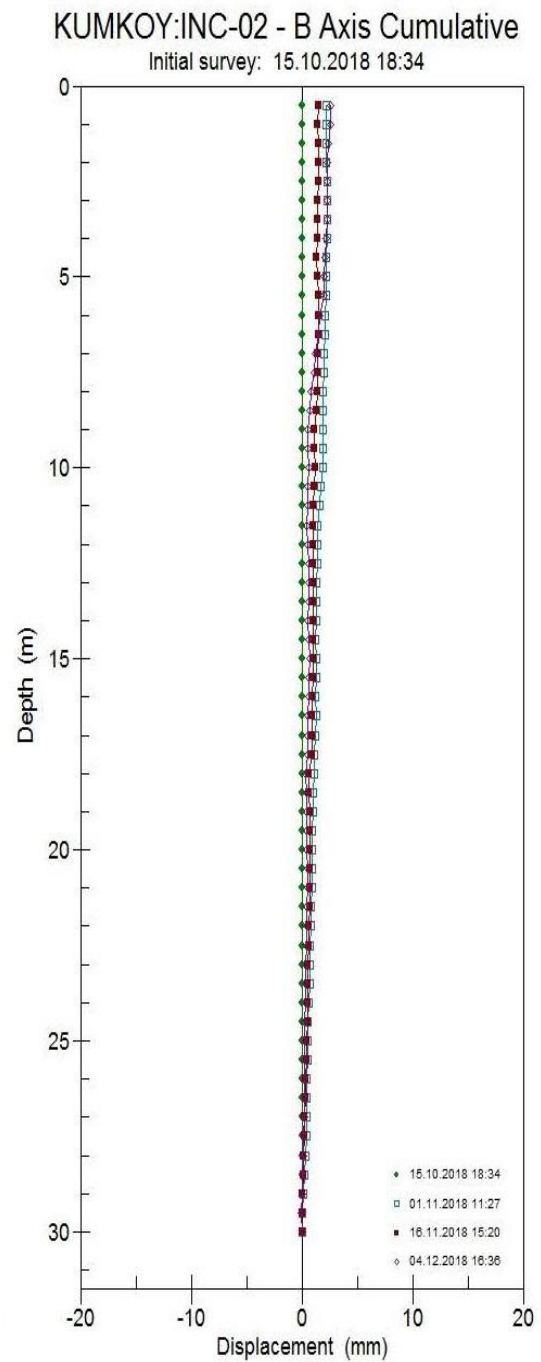
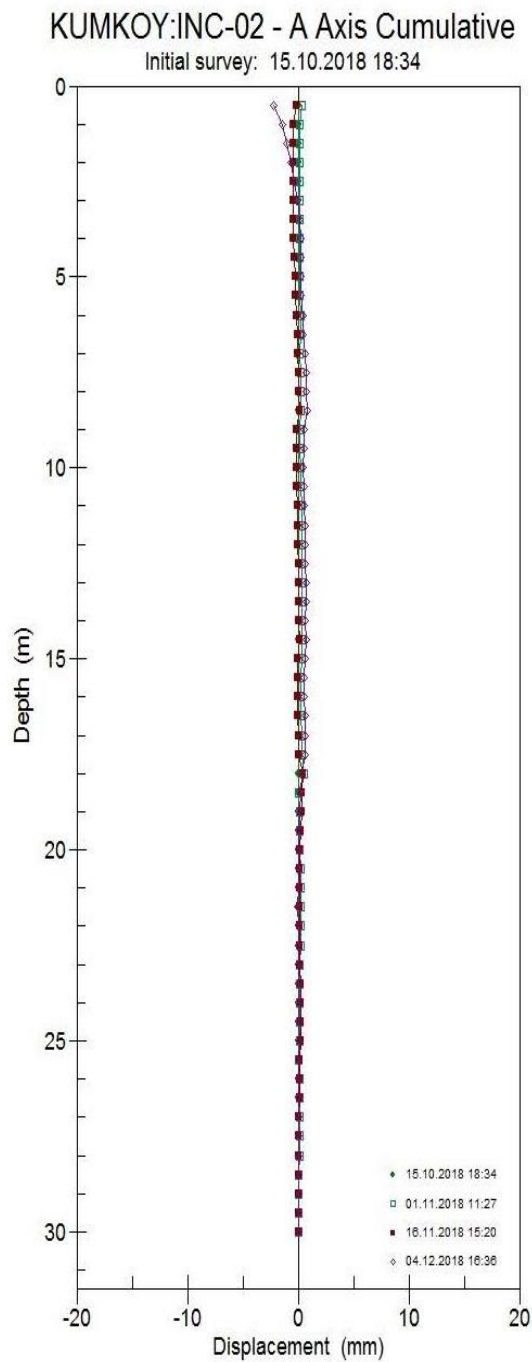


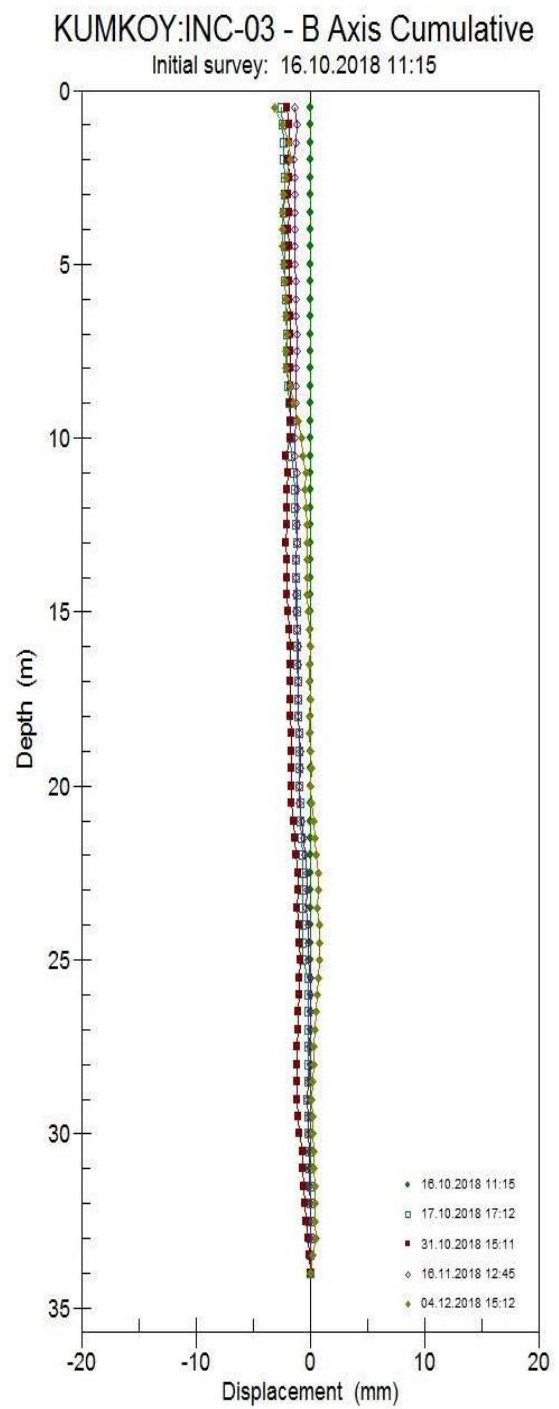
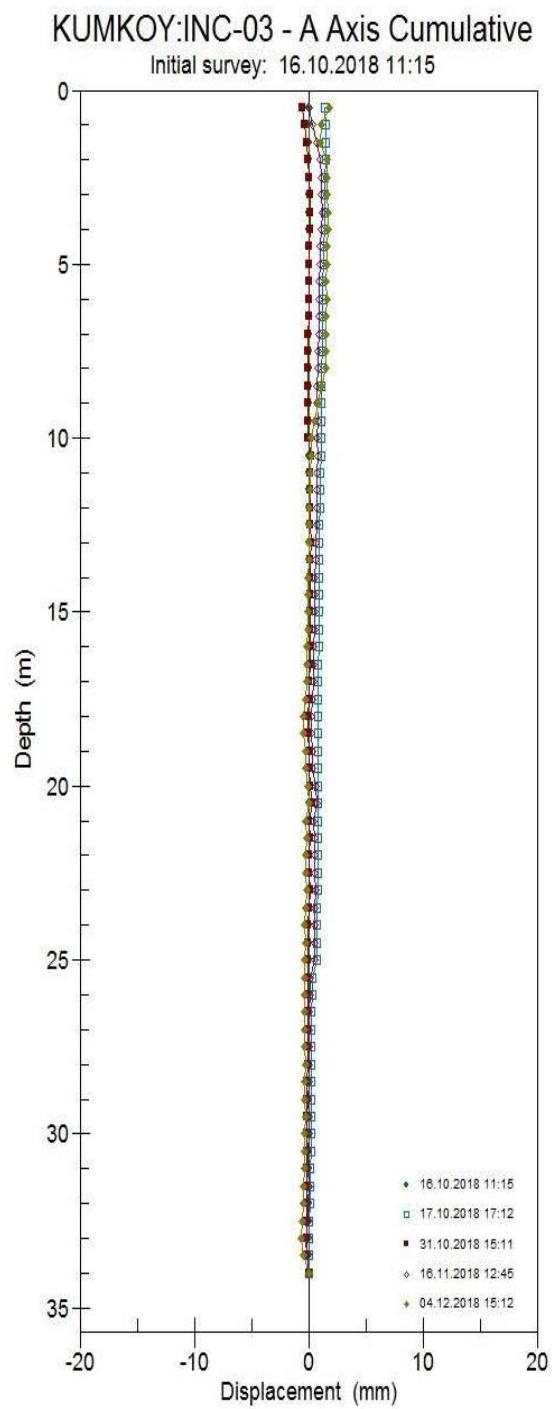
EK-2 Kesitler



EK-3 İnklinometre Sonuçları

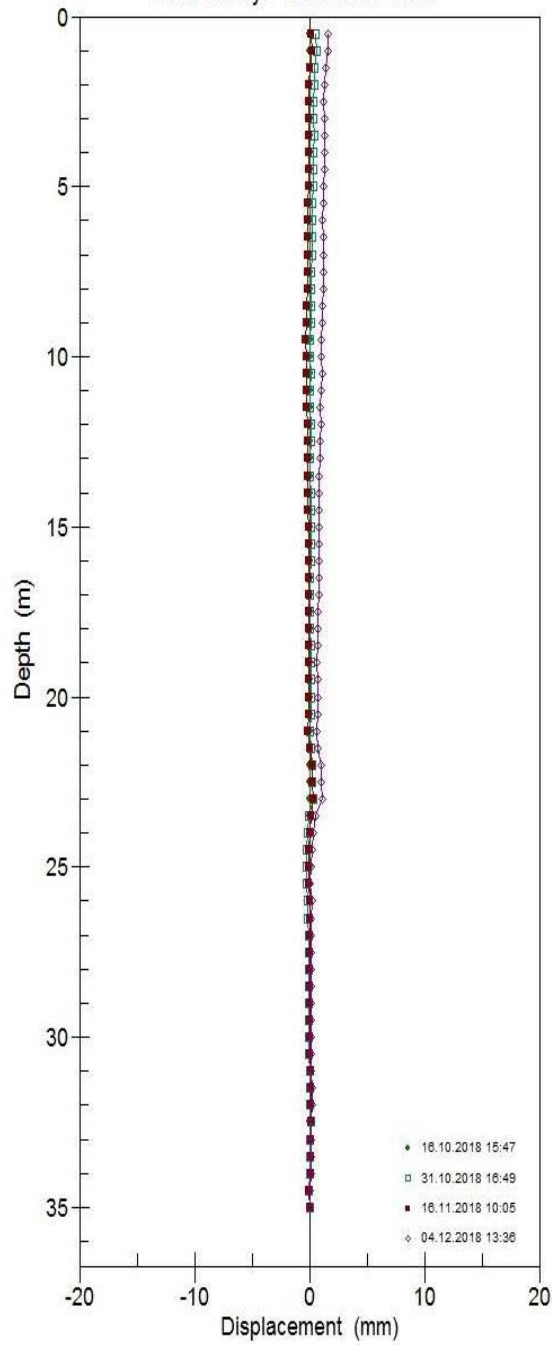






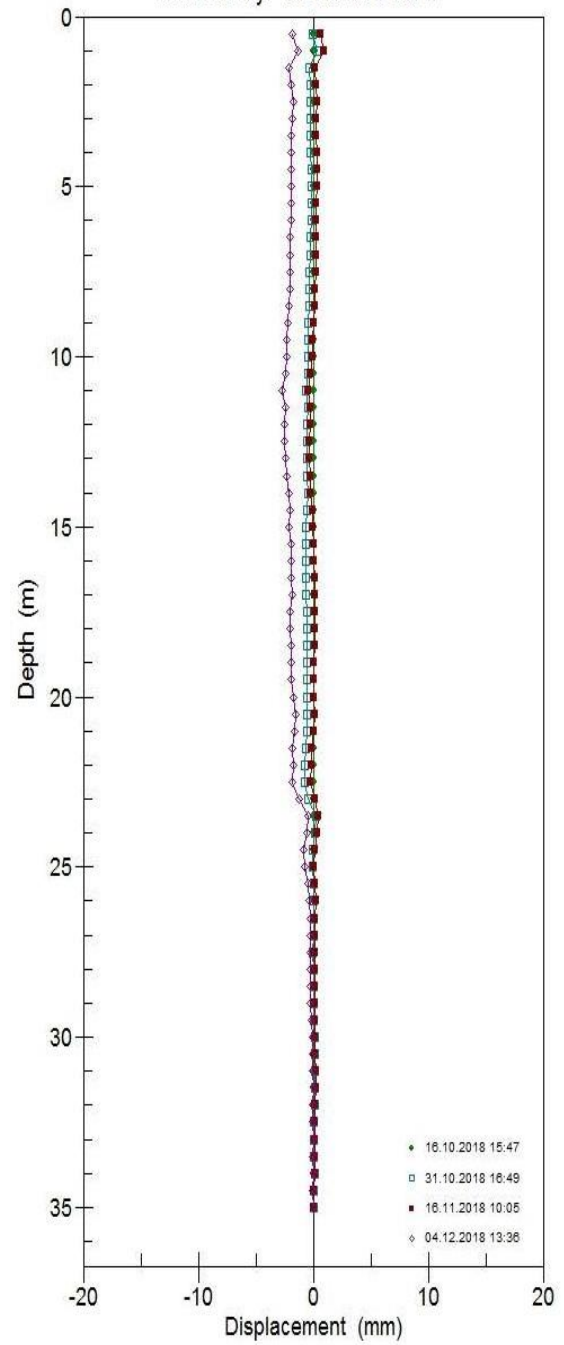
KUMKOY:INC-04 - A Axis Cumulative

Initial survey: 16.10.2018 15:47



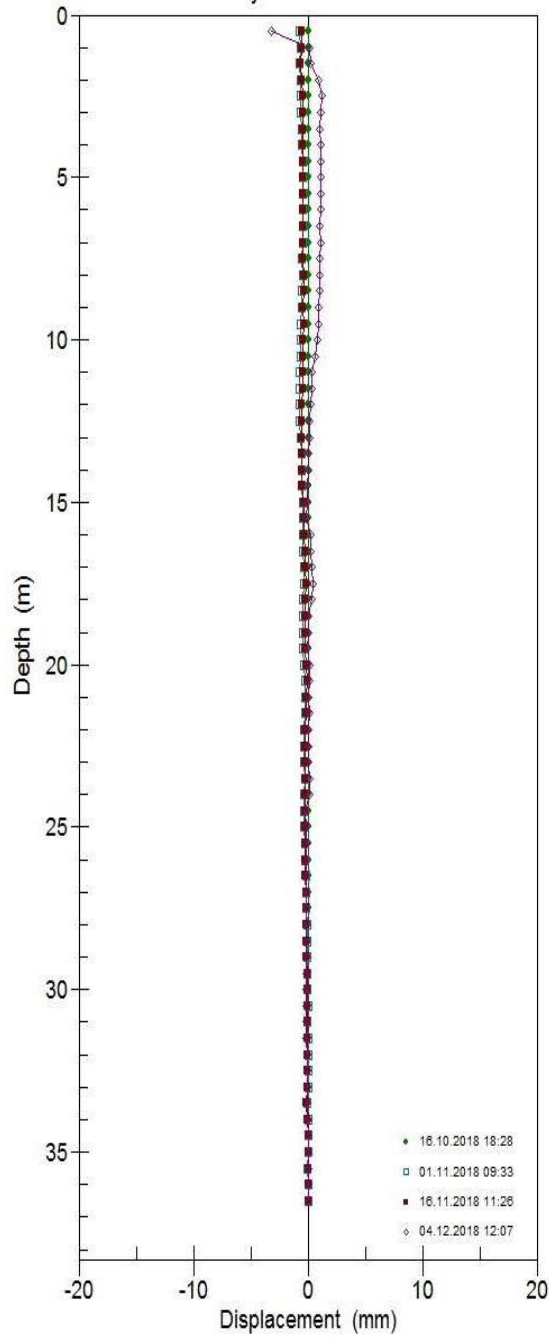
KUMKOY:INC-04 - B Axis Cumulative

Initial survey: 16.10.2018 15:47



KUMKOY:INC-05 - A Axis Cumulative

Initial survey: 16.10.2018 18:28



KUMKOY:INC-05 - B Axis Cumulative

Initial survey: 16.10.2018 18:28

