KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KÜRTÜN BARAJI (KÜRTÜN-GÜMÜŞHANE) GÖL ALANI SOL YAMACINDAKİ HEYELANLI ALANIN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Oğuzhan ERKAN

HAZİRAN 2010
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KÜRTÜN BARAJI (KÜRTÜN-GÜMÜŞHANE) GÖL ALANI SOL YAMACINDAKİ HEYELANLI ALANIN MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Jeoloji Müh. Oğuzhan ERKAN

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2010
Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2010**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Hakan KARSLI

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Aykut AKGÜN'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Öğr. Gör. Selçuk ALEMDAĞ'a ve Doç. Dr. Şener CERYAN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezinin değişik aşamalarında katkıda bulunan Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Orhan KARSLI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında önerileri ile destek olan ve sayısal analizlerin yapılmasında yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Ayberk KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

DSİ 22. Bölge Müdürlüğü YAS ve Geoteknik Şube Müdürü Jeoloji Yük. Müh. Necip İBA'ya ve şubeye bağlı mühendislerden Jeoloji Müh. Güven Köksal KUTLU'ya teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışma devam ederken yaşamını yitiren merhum Jeoloji Müh. Mehmet ASLAN'a Allah'tan rahmet dilerim.

Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'a, Maden Yük. Müh. Ferdi CİHANGİR'e, Maden Müh. Alp TURAN'a ve Uzman Erdoğan TİMURKAYNAK'a içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmayı maddi olarak destekleyen K.T.Ü. Araştırma Fonu Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakârlığı için anneme, babama ve eşime içten şükranlarımı sunarım.

Oğuzhan ERKAN
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ II
İÇİNDEKİLER III
ÖZET V
SUMMARY VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
TABLOLAR DİZİNİ IX
SEMBOLLER DİZİNİ X
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu 2
1.3. İnceleme Alanının Ulaşım ve Yerleşim Durumu 2
1.4. Morfoloji 3
1.5. Önceki Çalışmalar 4
1.6. Kütle Hareketleri 5
1.6.1 Kütle Hareketlerinin Sınıflanması 6
1.6.2. Şev Stabilitesi Problemleri 8
1.6.3. Yamaç Dengesinin Hesaplamasında Kullanılan Yöntemler 9
1.6.3.1. İsveç Dilim Yöntemi 10
1.6.3.2. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi 11
1.6.3.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi 13
1.6.3.4. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi 14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 15
3. BULGULAR 16
3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi 16
3.1.1. Diyabaz Daykı 17
3.1.2. Kürtün Granodiyoriti 17
3.1.3. Alüvyonlar ve Yamaç Molozları 18
3.2. Arazi Çalışmaları 18
3.3.1. Mühendislik Jeolojisi Haritasının Hazırlanması 18

3.3.2. Çalışma Alanında Yapılan Jeodezik Çalışmalar 22
3.3.3. Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik Çalışmaları 22
3.3.4. Çalışma Alanında Yapılan Jeoteknik Sondaj Çalışmaları 23
3.3.5. Çalışma Alanında Yapılan İnklinometre Ölçümleri 25
3.3.6. Çalışma Alanından Örselenmemiş Örnek Alımı 25
3.4. Laboratuvar Çalışmaları 25
3.4.1. Zeminin İndeks Özelliklerinin Belirlenmesi 26
3.4.2. Zeminin Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi 26
3.4.3. Zeminin Kayma Dayanımı Parametrelerinin Belirlenmesi 28
3.4.4. Zeminin Dane Dağılım Eğrisinin (Granülometrisinin) Belirlenmesi 31
3.5. Yamaç Stabilite Analizi ve Geriye Dönük Analiz 32
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
5. KAYNAKLAR 43
ÖZGEÇMİŞ 45
6. EKLER 46

ÖZET

Bu çalışmada, Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) göl alanının sol sahilinde yer alan Hardısağır Mevkii'ndeki heyelanlı alan mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, heyelanlı alanı da içine alan bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/2.000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası yapılmıştır.

Heyelanlı sahada jeodezik çalışmalar yapılarak deformasyonlar belirlemiştir. Çalışma alanının çeşitli yerlerinde yamaç molozunun derinliğini belirlemek için 2 hat boyunca elektrik özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Yamaç molozuna ve ana kayaya ait detay bilgiler elde etmek amacıyla 350 m uzunluğunda 7 adet araştırma sondajı yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında inklinometre ölçümleri yapılarak kayma yüzeyinin derinliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanından örnek alım tüpleriyle örselenmemiş örnekler alınarak, zeminin indeks özellikleri, kıvam limitleri, kayma dayanımı ve granülometresi belirlenmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bütün veriler değerlendirilerek heyelanlı sahanın yamaç duraylılığı Basitleştirilmiş Bishop ve Janbu yöntemleri kullanılarak "Slide" limit denge analiz programında araştırılmıştır.

Yapılan geriye dönük analizler sonucunda Kürtün Barajı'nın sol sahilinde oluşacak heyelanların geriye doğru ilerleyen heyelan modeline uyduğu ve kaymaların dairesel ve birleşik şekilli olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Duraylılık, Geriye Dönük Analiz, Sayısal Analiz

SUMMARY

The Engineering Geological Investigation of the Lanslide Area at the Left Slope of the Kürtün Dam (Kürtün-Gümüşhane)

In this study, the engineering geological investigation of the lanslide area at the left slope of the Kürtün Dam (Kürtün-Gümüşhane) was carried out.

In the scope of this study, 1/25.000 scaled geological map of the surrounding area and 1/2.000 scaled engineering geological map were done. It was determined that the basement rocks at the landslide area consist of diabase and granodiorite.

Geodetical studies were carried out to determine the deformations at the landslide area. Resistivity measuments were carried out to determine the depth of the talus. 7 boreholes 350 meters in length were dirilled to have detailed informations about talus and basement rocks. Inclometer measuments were carried out to determine the depth of the slip surface.

Undistributed soil samples were taken with the sampling tubes from the study area and index properties, consistency limits, shear strength and grain distribution of the soil were determined.

Using all of the obtained data from field and laboratory studies, the stability of the landslide area was investigated by using simplified Bishop and Janbu methods in the "Slide" limit equilibrium analysis program.

As a result of the back analysis, it was determined that the lanslides at the left slope of the Kürtün Dam are backward-moving and their slip surface are circular and combined type.

Key Words: Landslide, Stability, Back Analysis, Numerical Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası 2

Şekil 1.2. Çalışma alanının baraj sağ sahilinden görünümü 3

Şekil 1.3. Türkiye'deki heyelan sayısı 6

Şekil 1.4. İsveç dilim yönteminin uygulanışı 11

Şekil 1.5. Basitleştirilmiş Janbu yönteminin uygulanışı 13

Şekil 1.6. Genelleştirilmiş Janbu yönteminin uygulanışı 14

Şekil 3.1. İnceleme alanı ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit 17

Şekil 3.2. Heyelanlı alana ait jeolojik kesit 20

Şekil 3.3. Çalışma alanını içine alan bölgenin 3 boyutlu görünümü 21

Şekil 3.4. Çalışma alanının çevresindeki heyelan riskli bölgeleri gösteren 3 boyutlu harita 22

Şekil 3.5. Zemin örneklerinin likit limit değerini belirleme grafiği 28

Şekil 3.6. Casagrande plastisite grafiği 29

Şekil 3.7. Zemin örneğine ait konsolidasyon grafiği 31

Şekil 3.8. Zemin örneğine ait kesme grafiği 31

Şekil 3.9. Zemin örneğine ait kayma ve normal gerilme grafiği 32

Şekil 3.10. Zemin örneğine ait dane dağılım (granülometri) eğrisi 33

Şekil 3.11. Heyelanlı sahada gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi 35

Şekil 3.12. Heyelanlı sahada gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi 36

Şekil 3.13. Heyelanlı sahanın üst kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi 38

Şekil 3.14. Heyelanlı sahanın üst kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi 39

Şekil 3.15. Heyelanlı sahanın alt kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi..... 40

Şekil 3.16. Heyelanlı sahanın alt kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi..... 41

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Varnes heyelan sınıflandırma sistemi 7

Tablo 3.1. Heyelanlı sahada yapılan deformasyon ölçüm değerleri 23

Tablo 3.2. Heyelanlı sahada yapılan rezistivite ölçümlere göre belirlenen kalınlık değerleri 24

Tablo 3.3. Heyelanlı sahada yapılan sondajlara ait kot ve koordinat değerleri 24

Tablo 3.4. Heyelanlı sahadaki sondaj kuyularında yapılan inklometre ölçümleri sonucu belirlenen kırılma değerleri 26

Tablo 3.5. Zemin örneklerinin indeks özellikleri 27

Tablo 3.6. Zemine ait likit limit ve plastik limit değerleri 29

Tablo 3.7. Elek analizi deney sonuçları 33

SEMBOLLER DİZİNİ

c	: Kohezyon
d	: Kayma dairesi dilimlerinden en derin olanının yüksekliği
h	: Dilim yüksekliği
l	: Dilim genişliği
L	: Kayma yüzeyinin iki uç noktası arasındaki eğimli uzaklık
N	: Dilim tabanındaki normal kuvvet
P	: Elekten geçen malzeme miktarı
R	: Moment kolu
T	: Dilim tabanındaki teğet kuvvet
U	: Boşluk suyu basıncından ileri gelen kuvvetlerin toplamı
w	: Dilim ağırlığı
φ	: İçsel sürtünme açısı
c’	: Efektif kohezyon
φ’	: Efektif içsel sürtünme açısı
τ	: Kayma gerilmesi
σ	: Normal gerilme
r_u	: Boşluk suyu basıncı
γ	: Birim hacim ağırlık
E_n	: Dilimler arasındaki reaksiyon kuvveti
N’	: Dilim tabanındaki efektif normal kuvvet
G_s	: Güvenlik sayısı
G_f	: Düzeltilmiş güvenlik sayısı
G_o	: Güvenlik sayısı
f_o	: Ampirik düzeltme katsayısı
α_t	: Bir dilimin sağ tarafındaki doğrultusunun yatay ile yaptığı açı
t_r	: Bir dilimin sağ tarafındaki tepkinin doğrultusu ile dilimin tabanı arasıdaki düşey uzaklık
T_m	: Her bir dilimin tabanında oluşmuş kesme kuvveti
RQD	: Kaya kalite göstergesi
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
w	: Su muhtevası
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Heyelan, deprem ve sel gibi doğal afetler, maddi hasar ve can güvenliği açısından dünyamızı tehdit etmeye devam etmektedir. Heyelanların tespiti, tanımlanıp sınıflandırılması ve iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar her ne kadar ilerlemiş olsa da heyelanlardan kaynaklanan hasar ve kayıplar dünya genelinde devam etmektedir. Heyelanların neden olduğu hasarlar, heyelanları önlemek için alınan tedbirler ve yapılan iyileştirmeler ile ilgili yapılan çalışmaların dünya ekonomisine getirdiği yıllık yükün yaklaşık olarak 50 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Bell,1999).

Ülkemizde 1954-1994 yılları arasında doğal afetlerden etkilenen yapılar ele alındığında, heyelanlardan kaynaklanan kayıplar %27 ile depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Ildır, 1995). Ülkemizde son yıllarda yaşanan yıkıcı doğal afetleri göz önünde bulundurursak, 70 yıllık zaman dilimi içerisinde yapıların %61'i depremlerden %20'si ise heyelanlardan etkilendiği belirtilmiştir (Pehlivan, 2008).

Heyelanların ülkemizde ve özellikle de Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çok yaygın olarak can ve mal kaybına neden olması, konunun daha detaylıca incelenmesini ve çözümler üretilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu amaçla heyelanları denetleyen etkenlerden olan jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insan kaynaklı etkilerin tespit edilerek çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Bu etkenlere bağlı olarak bir şevde yada yamaçta gerçekleşebilecek olan heyelanları tespit etmek için arazi ve laboratuvar çalışmaları birlikte yürütülmeli ve güvenliği arttırıcı ekonomik çözümler üretilmelidir.

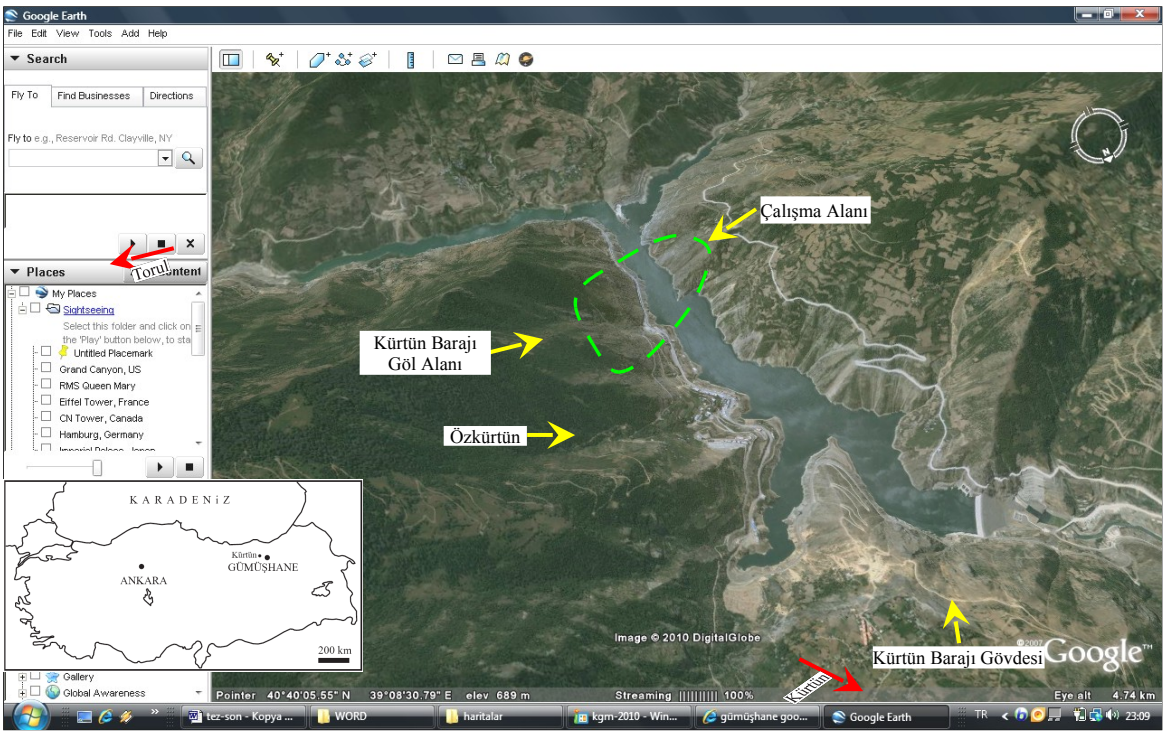
Doğal afetler içinde önemli bir yer tutan kütle hareketleri etkin oldukları yerleşim yerlerinde can ve mal kaybı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu alanlarda ulaşım, haberleşme gibi günlük hayatı etkileyen çok büyük sosyal ve kültürel olayları da etkilemektedirler. Kütle hareketi sonucu yollar, tarım alanları ve yerleşim yerleri de çok büyük maddi zararlara uğramaktadır. Bu tür alanlar ya yerleşime kapatılmakta yada yerleşime açılsa bile çok pahalı mühendislik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Kürtün Barajı göl alanının sol yamacında bulunan Hardısağır

Mevkii'ndeki yamaçta jeoteknik çalışmalar yürütülmüş ve heyelan kütlesi hareket potansiyeli açısından incelenmiştir.

1.2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölümü, Gümüşhane İli, Kürtün İlçesi sınırları içerisinde yer almakta ve 1/25.000 ölçekli Trabzon G42-d2 paftasının sınırları içinde bulunmaktadır. Kürtün Barajı göl alanının sol yamacında yer alan çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

1.3. İnceleme Alanının Ulaşım ve Yerleşim Durumu

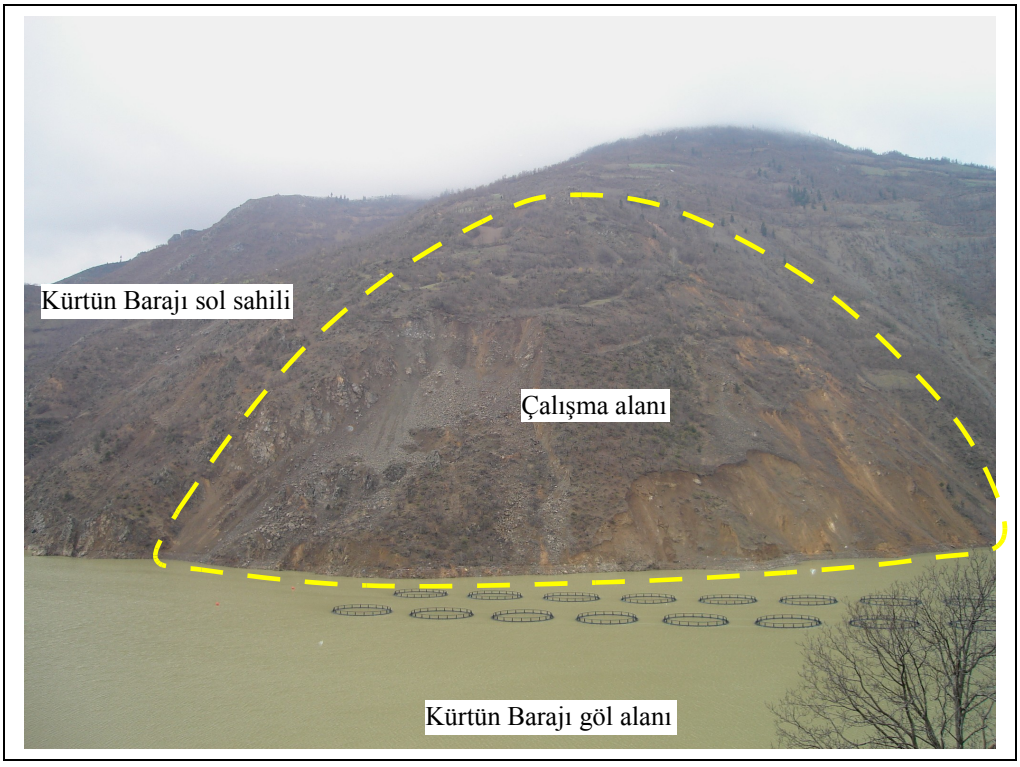
Kürtün Barajı ve HES Projesi kapsamında kamulaştırılmış olan inceleme alanına Torul-Kürtün-Tirebolu Karayolu'ndan ulaşılabilmektedir. Özkürtün Beldesi'ni 1 km kadar geçtikten sonra Kürtün Barajı mansap tarafında DSİ tarafından yapılan ulaşım köprüsü kullanılarak çalışma alanının içine kadar ulaşılabilmektedir. İnceleme alanı içinden geçen bu yol sayesinde civar köy ve yaylara ulaşım sağlanmaktadır. Bu yol genel itibari ile tahrip

olmuş ve çoğu kısmı stabilizeye dönmüş eski bir asfalt yol niteliğinde olup, kışın kar yağışına bağlı olarak bazı aylarda ulaşıma kapanabilmektedir.

İnceleme alanında eğimli bir topografya hakim olup, eğimin az olduğu verimli toprağa sahip alanlar yöre halkı tarafından tarımsal ve hayvancılık amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yerleşim yeri olarak inceleme alanının kuzeybatısında Dutluca Köyü, güneydoğusunda Araköy Köyü ve kuzeydoğu tarafındaki Harşit vadisinin karşında ise Özkürtün Beldesi bulunmaktadır.

1.4. Morfoloji

Oldukça engebeli bir morfolojik yapıya sahip olan inceleme alanı ve civarı Harşit vadisi üzerindeki baraj göl alanına bakan dik sırtlardan oluşmaktadır. Sırtlardaki yamaçların eğimleri ise 40°-70° arasında değişmektedir (Şekil 1.2). Bu sırtları Harşit Çayına bağlanan kurumuş veya bazı mevsimlerde akan küçük akarsu vadileri birbirinden ayırmaktadır. İnceleme alanına en yakın akarsu kaynağı Demirkapı Deresi ve Harşit Çayı'dır.



Şekil 1.2. Çalışma alanının baraj sağ sahilinden görünümü.

1.5. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanını da içine alan bölgede çalışmanın amacına yönelik olarak geniş ölçekli birçok çalışma yapılmış olup, yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmişler

Önalp (1980), "Doğu Karadeniz Heyelanları Tanımlanması-Analizi Araştırma Raporu" isimli çalışmasında heyelanların anlaşılması için öncelikle ayrışma/yıpranma mekanizmalarının anlaşılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca çeşitli yamaçlarda yer altı suyunun durumunun incelenerek basınç ve gerilmelerin ölçülmesi gerektiğini belirtmiştir. Bölgede heyelan envanter haritalarının oluşturulması gerektiğini ve daha sonra ayrışma haritasının oluşturulmasını önermiştir.

Erguvanlı ve Tarhan (1982), Doğu Karadeniz kıyı şeridindeki kütle hareketlerini mühendislik jeolojisi açısından değerlendirmişlerdir. Bölgede gelişen kütle hareketlerinin yağışlı mevsimlerde meydana gelen dairesel nitelikte hareketler olduğunu ve insan kaynaklı kazıların heyelanların oluşması üzerinde önemli bir etki oluşturduğunu vurgulamışlardır.

Önalp ve diğ. (1987), Doğu Karadeniz heyelanlarının oluşum koşullarını inceleyerek türlerini belirlemişlerdir. Heyelanların oluşumunda en önemli parametrenin yağışlar ve kazıların olduğunu ortaya koymuşlardır.

İskenderoğlu (1990), Çayeli-Pazar (Rize) arası ana yol şevlerini mühendislik jeolojisi açısından incelemiştir. Çalışma alanı içindeki şevler üzerinde duraylılık analizleri yapmıştır.

İskenderoğlu ve Tarhan (1991), Çayeli-Pazar (Rize) arası sahil yolu şevlerindeki kaya ve zeminlerin mekanik özelliklerini inceleyerek şevlerde gerçekleşebilecek yenilme türlerini araştırmışlardır.

Şirin (1995), "Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Kaya Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi" isimli yüksek lisans tezinde çalışma alanı içindeki kaya şevlerinin duraylılığını kinematik ve analitik analizler yaparak araştırmıştır.

Peker (1998), "Kürtün Barajı Dolu Savak Güzergahındaki Granodiyoritin Jeomekanik Özellikleri ve Bu Güzergahtaki Kazı Şevlerinin Duraylılığı" isimli yüksek lisans tezinde Kürtün Granodiyoritinde açılmış kaya şevlerinde jeoteknik çalışmalar yapmış ve bu şevleri duraylılık açısından incelemiştir

Ceryan (2005), "Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC (Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırması) Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı" isimli yüksek lisans tezinde incelenen kaya şevlerini jeoteknik birimlere ayırmış ve seçilen kazı şevlerinin duraylılığının değerlendirilmesini her bir jeoteknik birim için yapılmıştır.

Dağ ve diğ. (2005), İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanları değerlendirmişler ve sonuç olarak litoloji-ayrışma, yamaç eğimi, arazi örtüsü ve yükseklik faktörlerinin heyelanların oluşumunda daha fazla etkili olduğunu belirlemişlerdir.

1.6. Kütle Hareketleri

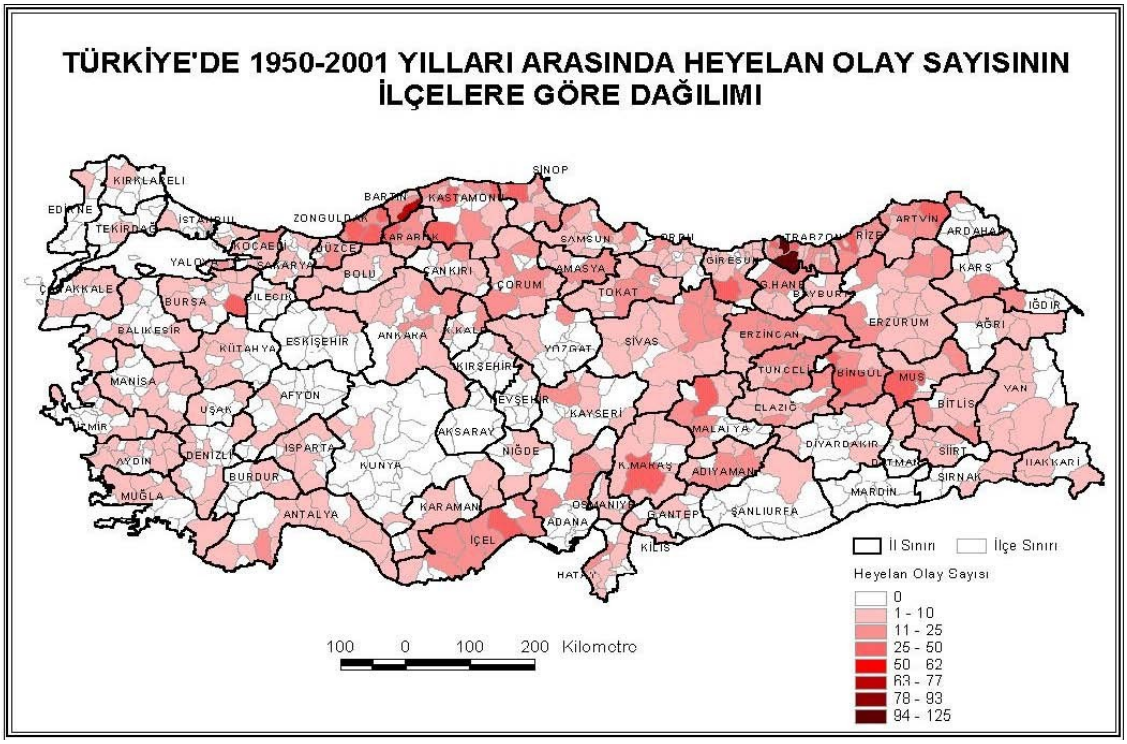
Kütle hareketi, doğal afetlerde en sık rastlanan ve nüfus arttıkça yeni yerleşim yerleri oluşturulurken karşılaşılan büyük bir problemdir. Belirli bir zaman içinde yamacın ilk geometrisini gözle görülür bir şekilde kaybetmesine, üzerindeki ya da önündeki mühendislik yapılarının güvenliğinin kaybolmasına veya işlevini yitirmesine sebep olur. Yeryüzünün şeklini ve insanlar tarafından yapılan yapıların konumunu değiştiren, çatlatan, kıran ve kullanılmaz hale getiren zeminlerin veya kaya ortamlarının aşağıya doğru olan bir hareketidir (Pehlivan, 2008).

Ülkemizde özellikle Karadeniz ve Marmara Bölgelerindeki kütle hareketlerinde yoğunluklar gözlenmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde genellikle yoğun yağışlardan sonra gözlenen kütle hareketleri can ve mal kaybına sebebiyet vermektedir. Dolaysıyla bu tip afetlerin faturası da ağır olmaktadır. Bölgemizin topoğrafyasının yapılaşmaya müsait olmaması ve dik eğimli yamaçlardaki arazilerin kütle hareketlerine elverişli olması yerleşimi etkilemektedir.

Ülkemiz, doğal afetlerin yoğun olarak oluştuğu bir bölgede yer almaktadır. Ülkemizde, 1950-2005 yılları arasında 12.794 heyelan meydana gelmiştir. İller içerisinde dağılımı yapılınca 1.016 heyelan ile Trabzon birinci sırada, 869 heyelan ile Rize ikinci sırada yer almaktadır. Bilinen en eski heyelanlardan, Trabzon-Of-Sürmene heyelanı 1.929 yılında, Trabzon- Maçka Işıklar heyelanı 1959 yılında, İstanbul Boğazı – Büyükdere heyelanı 1955 yılında, İstanbul Basınköy heyelanı 1963 yılında, Trabzon –Akçaabat Sera Gölü heyelanı 1950 yılında, Kayseri-Ayvazhanı heyelanı 1980 yılında, Isparta-Senirkent

çamur-moloz akması 1995 yılında olmuştur ve değişik zamanlarda ülkemizin hemen hemen her bölgesinde şev stabilitesi problemleri ile karşı karşıya kalınmıştır.

Afet İşleri Genel Müdürlüğünün 1950-2001 yılları arasında yapmış olduğu heyelan etütleri neticesinde meydana gelen heyelan olay sayısının ilçelere göre dağılımı Şekil 1.3'de verilen haritada görülmektedir. Haritadan anlaşıldığı gibi Türkiye'de heyelan olaylarının yoğunlukla gözlendiği yerler Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleridir. Heyelan, su baskını ve kaya düşmesi olayları oluşum mekanizmaları gereği, jeolojik, topografik ve iklimsel koşulların uygun olduğu her ortamda meydana gelebilmektedir. Ülkemizde bölgesel ölçekli heyelan ve su baskını afetleri meydana gelmiş, bunlar hem can hem de mal kaybı ile alt ve üst yapı tahribatlarına yol açmıştır. Dolayısıyla, kaya düşmesi, heyelan, ve su baskını gibi afet olayları ülkemiz için çok önemli olduğu görünmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'deki heyelan sayısı (Gökçe ve diğ, 2006).

1.6.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflanması

Kütle hareketlerinin sınıflandırılması yapılırken birçok araştırmacı aşağıdaki parametrelere göre sınıflandırma yapmışlardır;

- Hareketin türü, miktarı ve hızı,
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişi ve yaşı,
- Hareket eden kütlenin şekli,
- Su miktarı,
- Hareket edenle alttaki arasındaki bağıntı,
- Hareketin nedenleri,
- Kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (φ)

Heyelanlar veya kütle hareketlerinde meydana gelen duraysızlıklarla ile ilgili birçok sınıflama bulunmakla birlikte en çok kullanılan Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflamadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Varnes kütle hareketleri sınıflandırma sistemi (Varnes,1972).

HAREKET TÜRÜ		**MALZEMENİN TÜRÜ**		
		KAYA	**ZEMİN**	
		Kayaçlar	***iri Daneli***	***ince Daneli***
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVRİLME		Kaya Devrilmesi	Molozda devrilme	Zeminde devrilme
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada dönel kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya yayılması	Zemin veya moloz yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

1.6.2. Şev Stabilitesi Problemleri

Yamaçların dengesi, etki eden gerilmelerin değişmesi sonucu bozulur. Gerilmelerdeki artış ve ortamın direncinin azalması denge kaybına neden olur. Kütlelerin dengesindeki değişimin bir kısmı kütleye ait özelliklerden bir kısmı ise dışarıdan müdahale sonucunda oluşur. Yamaç stabilitesini diğerlerinden fazla etkileyen faktörün su olduğunu göstermektedir. Örneğin, yağışlardan sonra oluşan heyelan sayısı diğer nedenlerden kaynaklanana oranla çok daha yüksektir. Heyelanlar gerek doğal gerekse yapay faktörlerin etkisi altında meydana gelebilirler. Bölgenin jeolojik tarihçesi ve insan aktivitesi sonucu bölgede meydana gelen değişiklikler şevlerin dayanımının bozulmasına etki eder. Ayrıca meydana gelen depremler de kritik denge konumundaki yamacın stabilitesini bozarak kaymaya neden olabilmektedir. Şev stabilitesine etki eden en birincil faktör yerçekimi etkisidir. Heyelana uğrayan birimler diğer ana ve tali etkilerin de yardımıyla yerçekimi kuvvetinin etkisi altında hareket ederler.

Ülkemiz karayollarındaki şev göçmeleri üzerinde yapılan araştırmalarda, şev göçmelerinin birincil nedeninin su etkisi (YASS yüksekliği) olduğu belirlenmiştir. YASS etkisinden hemen sonra %37 ile ayrışma, %28 ile dik yamaç problemleri, %23 ile zemin koşulları ve %12 ile diğer nedenler sıralanmaktadır (Selçuk ve diğ., 2005).

Heyelana neden olan faktörler değişik şekillerde sınıflandırılmış olup dört ana faktör şunlardır:

- ← Şev açısı (Topografya),
- ← Yağış, (Yoğun yağış, Ani kar erimesi, Uzun süreli yağış)
- ← Tekrar aktivite kazanabilecek eski heyelan kütlelerinin varlığı
- ← Ana kaya ve onun üzerindeki konsolide olmamış birimlerin litolojik özellikleri[8],

Zemindeki kütle hareketleri sebepleri incelenirken kesme direnci ile kesme gerilmesinin kıyaslanması gerekir. Stabilitenin sağlanabilmesi için kesme direncinin kesme gerilmesinden büyük olması gerekmektedir. Stabilite bu yüzden iki yönüyle incelenmelidir.

- Kesme dayanımındaki azalma,
- Kesme gerilmesindeki artış.

Kütle yenilmelerini tek bir nedene bağlamaya çalışmak yerine arazide çok iyi etütler yaparak nedenleri tam olarak ortaya koymak gerekmektedir. Yenilmiş olan zeminlerde ortaya konan gerçek neden, şevlerin onarımında doğru işler yapılmasını sağlar. Yeni şevler

projelendirilirken, işletme aşamasında sorun yaşanması istenmiyorsa çok fazla etüt ve gözlem yapmak gerekir.

Kayma homojen killerde derin yüzeylerle, kohezyonsuz zeminlerde sığ yüzeylerle, kayaçlarda ise süreksizlik yüzeyinin konumuna bağlı olarak düşmeden blok kaymasına kadar değişen şekillerde olur. Sorun çıkaran ortamlar aşırı konsolide killer ve şeyller, zayıf çimentolanmış kumtaşları, reziduel zeminler ve hızlı ayrışmaya maruz kalmış kayaçlardır. Kazı yapıldığında çok sağlam gözüken aşırı konsolide killer zamanla stabilite kaybı gösterir.

1.6.3. Yamaç Dengesinin Hesaplamasında Kullanılan Yöntemler

Şevlerle şekillendirilmiş zemin / kaya kütlelerinin verilen proje süresi ve yükleme koşulları altında denge konumlarını araştıran "stabilite analizi" zemin ve kaya mekaniğinin temel konularından biridir. Stabilite analizinde temel amaç tasarlanan şev kütlesinin verilen işletme ve yükleme koşullarında güvenlik katsayısının belirlenmesidir. Şev stabilite analizlerinde kritik kayma yüzeyleri aranmaktadır. Bu şekilde en küçük güvenlik sayısı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu araştırmalar yapılırken, şevleri oluşturan malzemenin cinsine göre, harekete neden olan ve direnen parametreler belirlenmelidir.

Güvenlik sayısı dengeyi koruyan kuvvet veya momentlerin, kaymayı sağlayacak kuvvet ve momentlere oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Güvenlik Sayısı (F)} = \frac{\text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler}}{\text{Kaydırmaya çalışan kuvvetler}} \quad (1)$$

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde, zemin kütlesi içinde kayma veya göçmeye neden olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini ortaya koyan eşitlik Mohr-Coulomb eşitliğidir.

$$\tau = c + \sigma \tan\varphi \quad (2)$$

Burada; φ: içsel sürtünme açısı, c: kohezyon, τ: kayma gerilmesi, σ: normal gerilmedir.

Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde kayma kütlesinin dengesinin araştırılmasıdır. Şev stabilite çalışmalarının amacı yapılarda, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenli ve ekonomik yoldan ulaşmaktadır. Uygulama en çok kullanılan şev stabilite yöntemleri aşağıda açıklanmıştır;

1.6.3.1. İsveç Dilim Yöntemi

İlk olarak Fellenius (1936) tarafından verilen bu yöntemde, birim kalınlıktaki zemin kütlesi Şekil 1.4.a.'da gösterildiği gibi düşey dilimlere bölünür. Bu dilimlerden her biri Şekil 1.4.b.'de gösterildiği gibi, beş kuvvetin etkisi altında dengededir. Bu kuvvetler;

1. Dilimin ağırlığı, $w = \gamma.h.l.\cos\alpha$;
2. Kayma yüzeyi üzerindeki N normal reaksiyonu. Bu kuvvetler daneler arasındaki N' reaksiyonu ile boşluk basıncından ileri gelen U kuvvetinin toplamıdır. Boşluk basıncı r_u ile gösterildiğinde, $U= r_u.\gamma.h.l;$
3. Kayma yüzeyi üzerinde harekete geçen kohezyon ve sürtünme mukavemeti toplamından oluşan T kuvveti,

$$T = \frac{c'l + N'tg\phi}{G_s} \tag{3}$$

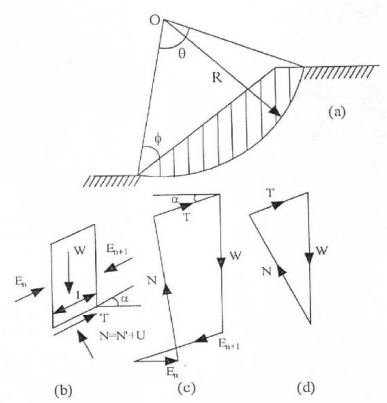
Burada; i ve i+1 dilimler arasındaki E_n ve E_{n+1} reaksiyonları, N ve T: dilim ağırlığı ile E kuvvetinden dolayı dilim tabanında doğan normal ve kesme kuvvetlerinin aksi tesirleridir.

Bu kuvvetlerden, w kuvvetinin şiddeti ve doğrultusu, N ve T kuvvetlerinin doğrultusu bilinmekle beraber, E kuvvetlerinin şiddeti, doğrultusu ve tatbik noktası bilinmemektedir. Bu bakımdan Sekil 1.4.c.'deki kuvvetler diyagramı belirsiz olmaktadır.

Tam bir çözüme ulaşmak için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

1. Her dilime etkiyen kuvvetler dengede olmalıdır;
2. Dilimler arası reaksiyon bileşenlerinin vektörel toplamı sıfır olmalıdır;

3. Bu bileşkelerin aynı düzlemdeki herhangi bir noktaya göre momentleri toplamı sıfır olmalıdır.



Şekil 1.4. İsveç dilim yönteminin uygulanışı.

Ardışık yaklaşımlarla, bütün şartları sağlayan bir G_s değeri bulunur. Bir seri kayma yüzeyi seçilerek en küçük G_s değerinin belirlenmesi için bu hesapların yapılması uzun ve yorucu olduğundan bir bilgisayar programının kullanılması uygundur. Daha kolay bir çözüm Bishop tarafından verilmiştir. Bu çözümde, dilimler arası kuvvetlerin yatay olduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyimle, her dilimdeki bu kuvvetleri düşey bileşenlerinin dengelendiği kabul edilmiştir. Burada da G_s değerinin bulunması için deneme yapılması gerekir. Ancak, sadece momentlere ait denge denkleminin çözülmesi söz konusudur. Hesapları basitleştiren bu kabullerle yapılan hatanın yüzde bir değerini geçmediği söylenebilir.

1.6.3.2. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi

İlk olarak Bishop (1955) tarafından ileri sürülen basitleştirmede her dilime etkiyen E kuvvetlerinin yaklaşık olarak her dilimde dengelendiği kabul edilmektedir. Bu durumda kuvvetler çokgeni Şekil 1.4.d.'de gösterilen şekli alır ve problem statik olarak tamamen belirgin olur. Çoğu hassas analizlere kıyasla, bu kabulün yapılması genellikle güvenlik sayısının daha küçük elde olunmasına neden olur. Bu fark, r_u boşluk basıncı oranının yüksek olması halinde daha da büyür. Bu fark ekonomik açıdan sakıncalı olabilir.

Basitleştirilmiş yöntemin kullanıp kullanılmamasına karar verilmesinde, hesapta kullanılan değerlerin muhtemel hatası yanında, zeminin üniform olmaması ve kayma yüzeyinin dairesel şekilden sapması göz önünde tutulmalıdır. Basitleştirilmiş metotta hesaplar aşağıdaki belirtilen şekillerde yapılır.

Kaymayı doğurmaya çalışan kuvvetler w dilim ağırlıkları (O noktası düşeyinin solundakilerin kaymaya karşı duracakları düşünülmelidir) veya w kuvvetlerinin dilim tabanına teğet (T) ve normal (N) bileşenleridir. Karsı duran kuvvet, kohezyon ile zemin kütlesi ağırlığının N normal bileşeninden doğan sürtünme mukavemetinin toplamından oluşan kayma mukavemetidir. Normal kuvvette gerektiğinde boşluk basıncı için düzeltme yapılır.

Dilimin ağırlığı $w = \gamma.h.l.\cos\alpha$'dır. Burada a dilim tabanının yatayla yaptığı açıdır (bu açı, dilim tabanı ortasını, O noktasını, bağlayan doğrunun düşeyle yaptığı açıya eşittir). Normal bilesen N ise $w.\cos\alpha = \gamma.h.l.\cos^2\alpha$'dır. u boşluk basıncının bulunması halinde, efektif basınç $\gamma.h.\cos^2\alpha$ –u ve efektif normal kuvvet, $N = \gamma.h.l.\cos^2\alpha - u.l$ olur.

Normal bilesen O noktasından geçtiğinden, kaydırmaya çalışan moment, teğet T bileşeni ile R moment kolunun çarpımıdır. Bu sebeple toplam kaydıran moment $R\sum T$ ($T=w.\sin\alpha$) olur.

Dilim tabanında mümkün olabilecek en büyük karşı koyan kuvvet (kayma mukavemeti) $c'.\ l.\ N'.\tan\varphi$' olup bunun O noktasına göre momenti $R(c'.\ l.\ N'.\tan\varphi')$ dır. En büyük karsı koyan moment ise bütün dilimlere ait momentlerin toplamı olup,

$R(c'.\ l.\ N'.\tan\varphi') = R(c' \sum l.\ \sum N'.\tan\varphi')$ dır.

Dilim ağırlıkları hesapla veya alanların planimetri ile ölçülmesi sonucu bulunarak, Şekil 1.4.d.'de gösterildiği gibi kuvvetler üçgeninden N ve T değerleri elde edilir. Seçilen her kayma dairesi için bu hesaplar bir tablo halinde toplanarak en küçük güvenlik sayısı bulunur.

Toplam gerilme analizinin kullanılması halinde de benzer işlemler yapılır. Burada c' ve φ' yerine c_u ve φ_u katsayıları kullanılır ve her elemanın toplam normal bileşeni $N' = \gamma.h.l.\cos^2\alpha$'dır. Daha kesin analizlerde her dilimde kaymaya karsı duran kuvvetlere aynı güvenlik sayısı uygulanır. Basitleştirilmiş yöntemin kullanılması halinde, dilimler arasındaki kuvvetler ihmal edildiğinden, bu kabul tam olarak geçerli olmaz. Sevin tamamı için güvenlik sayısı, kayma ihtimali olan zemin kütlesinin stabilitesinden hesaplanır.

1.6.3.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi

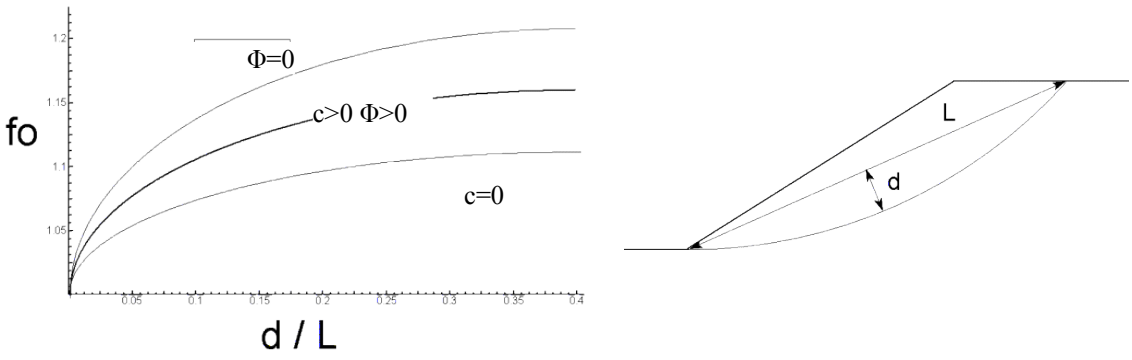
Janbu ve diğ. (1956) tarafından kayma yüzeyleri için dilimler arası kesme kuvvetlerinin (düşey kuvvetler) sıfır kabul edildiği basit bir analiz tanımlanmıştır. Kesme kuvvetlerinin sıfır olması sebebiyle güvenlik sayısı sadece yatay kuvvet denge denklemini kullanarak ele edilmekte ve hesaplanmış olan güvenlik sayısı değeri ampirik bir düzeltme katsayısı ile çarpılmaktadır (Şekil 1.5).

$$G_f = f_o \, x G_o \tag{4}$$

Burada; f_o: ampirik düzeltme katsayısı olup, kayma mukavemeti parametrelerinin aldığı değerlere göre değişim göstermektedir.

Düzeltme katsayısı f_o, kilin drenajsız kayma mukavemeti açısına, kohezyonuna ve kayma yüzeyinin geometrisine, yani d/L oranına bağlı olarak değişmektedir.

Burada; d: kayma dairesi dilimlerinden en derin olanının yüksekliği, L: kayma yüzeyinin iki uç noktası arasındaki eğimli uzaklıktır.



Şekil 1.5. Basitleştirilmiş Janbu yönteminin uygulanışı.

1.6.3.4. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi

Janbu genelleştirilmiş yöntemi dilimler arası kesme kuvvetlerini (düşey kuvvetleri) bir noktadan etki ediyor olarak göz önüne almakta ve bu noktaların bir araya getirilmesi ile

bir kuvvet tepkisi doğrusu oluşturmaktadır. Düşey kuvvetlerin toplanması ile normal kuvvet denklemi elde edilmektedir (Janbu ve diğ., 1956).

Güvenlik sayısının çözümü için dilimler arası kesme kuvvetlerinden ve yatay kuvvetlerin dengesinden yaralanılır. B genişliğine sahip her bir dilimin tabanının merkezine göre çevresinde bulunan kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamından güvenlik sayısı elde edilir. 5 nolu eşitlik bir dilimin sağ tarafına ait kesme kuvvetinin değerini vermektedir.

$$X_r = E_r \tan\alpha_t - (E_r - E_L)t_r / b \tag{5}$$

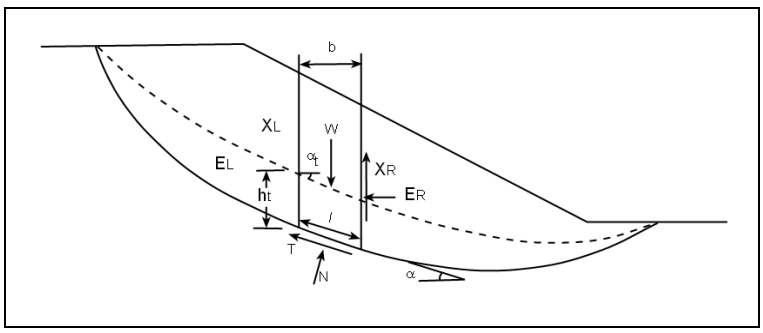
Burada; α_t : bir dilimin sağ tarafındaki doğrultusunun yatay ile yaptığı açı, t_r: bir dilimin sağ tarafındaki tepkinin doğrultusu ile dilimin tabanı arasındaki düşey uzaklıktır.

Ayrıca her bir dilimin üzerine yatay yönde etki eden kuvvetlerin toplanması ile elde edilen eşitlik aşağıda görülmektedir.

$$E_L - E_r = T_m \cos\alpha - N \sin\alpha \tag{6}$$

Burada; T_m: her bir dilimin tabanında oluşmuş kesme kuvveti, N: her bir dilimin tabanına etkiyen normal kuvvettir.

Janbu genelleştirilmiş yöntemi, moment dengesinin kullanıldığı, başka bir deyişle her bir dilim üzerindeki kuvvetler toplamının göz önüne alınarak kayma dairesinin özel bir şeklinin çözümlenerek güvenlik sayısının elde edildiği bir yöntemdir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Genelleştirilmiş Janbu yönteminin uygulanışı.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Yeraltı Suları ve Jeoteknik Şube Müdürlüğü ile ortaklaşa olarak arazi çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanını da içine alan bölgenin 1/2.000 ölçekli detay mühendislik jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları esas alınarak tanımlanmıştır. Genel jeoloji çalışmalarıyla elde edilen sonuçlar, daha önce inceleme alanı ve çevresinde yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılarak yeniden düzenlenmiştir.

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, polarize mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

DSİ tarafından çalışma alanına önceden yerleştirilmiş deformasyon ölçerlerden düzenli aralıklarla okumalar yapılmış ve elde edilen veriler incelenerek gözlem noktalarında yer değiştirmenin olup olmadığı araştırılmıştır.

İnceleme alanı içerisindeki yamaç molozu kalınlılığını belirlemek amacıyla belirli profillerde jeofizik çalışmaları gerçekleştirilerek elektrik özdirenç ölçümleri yapılmış ve yamaç üzerindeki moloz kalınlığının değişim aralıkları belirlenmiştir.

Çalışma alanı içinde gelişmiş gerilme çatlakları göz önüne alınarak heyelanlı sahanın sınırlarını, kayma yüzeyi derinliğini ve zeminle ilgili detaylı bilgi edinebilmek amacıyla ana kayaya inecek şekilde 7 adet araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj kuyularına gözlem boruları indirilerek düşeyden sapmaların olup olmadığını belirlemek ve kayma yüzeyi derinliğini tespit etmek amacıyla inklometre ölçümleri yapılmıştır.

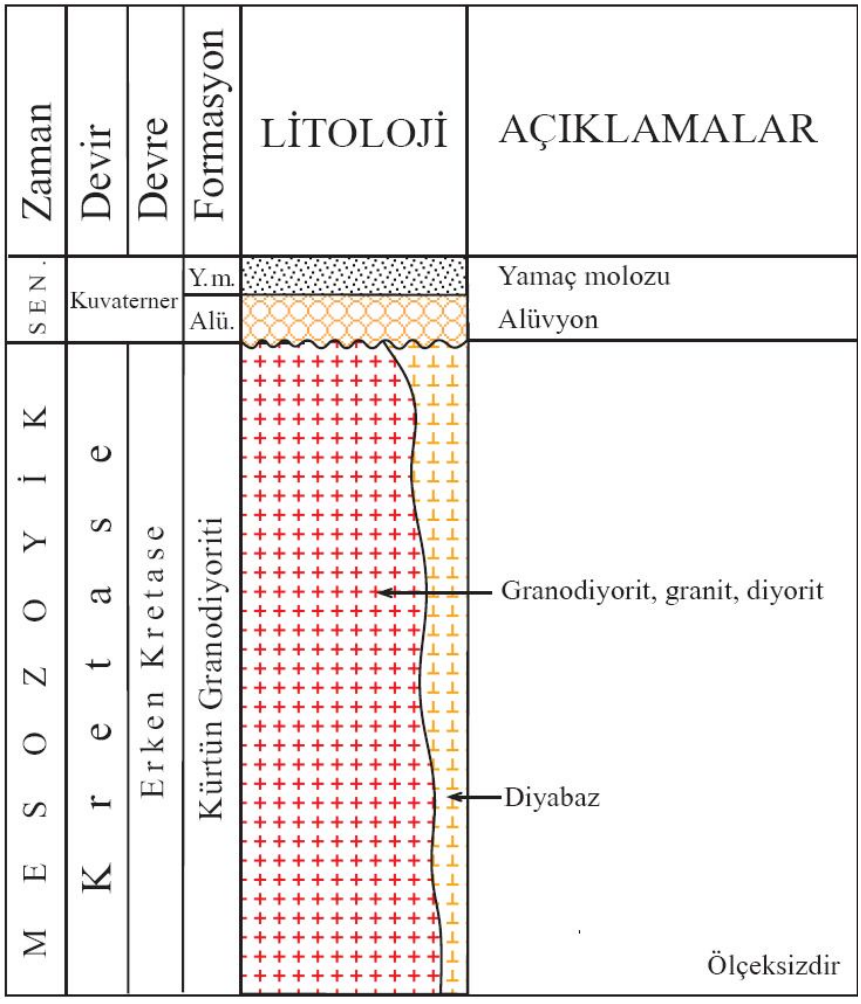
Arazi çalışmaları kapsamında zeminden tüp ile örselenmemiş örnekler alınmış ve bu örnekler üzerinde zeminin indeks ve dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak limit denge analizi yapan “Slide” bilgisayar programında heyelanlı alan modellenerek stabilite analizi ve geriye dönük analizler yapılmıştır.

Çalışma alanını da içine alan bölgenin 1/25.000 ölçekli sayısal arazi modeli Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanı ve çevresinde yaşlıdan gence doğru Erken-Geç Kretase yaşlı Diyabaz daykı, Geç Kretase yaşlı Kürtün Granodiyoti ile Kuvaterner yaşlı alüvyonların ve yamaç molozlarının yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Ek-1).



Şekil 3.1. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit.

3.1.1. Diyabaz Daykı

Bazik karakterli olan ve inceleme alanında genellikle diyabaz daykları olarak gözlenen bu damar kayaçları Liyas yaşlı birimleri kesmektedir (Güven, 1993). Diyabaz dayklarının bölgedeki Geç Kretase yaşlı formasyonları kesmediği tespit edilmiştir. Bu dayk sokulumunun Erken-Geç Kretase sınırında Austrik fazı ile oluşumunu tamamladığı düşünülmüştür. Diyabaz dayklarının mikroskobik incelemelerinde genellikle doleritik doku gösterdikleri, plajiyoklazların genellikle epidotlaştığı, kloritleştiği ve kalsitleştiği gözlenmiştir. Ayrıca opak minerallerin kayacın içerisinde dağınık bir halde olduğu izlenmiştir.

3.1.2. Kürtün Granodiyoriti

Kürtün granodiyoriti (Güven, 1993), Kürtün Barajı'nın sol yamacında yüzeyleme vermekte ve inceleme konusu olan heyelan malzemesinin tamamına yakını bu granodiyoritin ayrışmasıyla oluşan yamaç molozu ve killi çakıllı zemin malzemesinden oluşmaktadır. Kürtün granodiyoriti inceleme alanı ve çevresindeki tüm birimleri keserek bölgeye yerleşmiştir. Granodiyoritin yaşı ile ilgili araştırmacılar tarafından Geç Kretase üstü olabileceği yönünde tespitler yapılmıştır.

Kayaç makroskobik incelemelere göre ince ve orta taneli bir dokuya sahiptir. Kayacın taze yüzeyleri yeşil, açık yeşil ve grimsi yeşil tonlarda bir renge sahiptir. İnceleme sahasındaki granodiyoritler oldukça kırıklı bir yapıya sahip olup, ayrışma oranları orta ve yüksek derecededir. Kırık yüzeyleri boyunca gelişen ayrışmalar limonitleşme ve hematitleşmeden oluşmaktadır. Granodiyorit içinde kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz ve biyotit mineralleri makroskobik olarak görülebilmektedir. Biyotitlerde ise yoğun olarak kloritleşmeler görülmektedir. Granodiyorit batolit olarak yerleşimi esnasında kestiği tüm birimleri kontak metamorfizmaya uğratmıştır. Kontak metamorfizmanın etkileri olarak klorit ve epidot yoğunlaşımı kontak yerlerinde gözlenebilmektedir.

Mikroskobik olarak granodiyoritler taneli dokuya sahiptir. Plajiyoklazlar genellikle yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller şeklindedir. Plajioklaslarda rastlanan en yaygın ayrışma türü kalsitleşme ve serizitleşmedir. Kuvarslar plajioklas tanelerinin arasını dolduran öz şekilsiz kristaller halinde görülmektedir. Ortoklaslar pertitik yapıda olup, özşekilsiz kristaller halindedir. Ortoklaslar genellikle ayrışmış ve killeşmiş durumdadır. Hornblendler

öz şekilli ve yarı öz şekilli kristaller halinde gözlenmektedir. Genellikle çift yönde dilinime sahip olup, ikizlenme gözlenmektedir. Biyotitlerde tek nikolde kahverengi pleokrizma hakimdir. Öz ve yarı öz şekilli çubuklar şeklinde gözlenmektedir.

3.1.3. Alüvyonlar ve Yamaç Molozları

Alüvyonlar çalışma alanı çevresinde irili ufaklı akarsu vadilerinde oluşmuş kumlu, siltli, çakıllı ve bloklu malzemelerdir. Harşit Çayı vadisinde en yoğun şekilde gözlenmektedir. Çoğunlukla 2-15 cm çapındaki çakılların oluşturduğu alüvyonlarda 25-30 cm çaplı bloklar da sıkça görülür. Bloklar ve çakıllar genellikle yuvarlak, bazıları küt köşelidir. Harşit vadisindeki Kürtün baraj aksında DSİ tarafından yapılan sondajlarda alüvyonun kalınlığının yaklaşık olarak 40m olduğu belirlenmiştir.

Yamaç molozları çalışma alanı içindeki yamaç eteklerinde yer almakta olup, bunlar yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşmuşlardır. Silt ve kil miktarı diğer elemanlara göre daha yüksektir. Kalınlıkları 20-30 m arasında değişmektedir. Çakıl ve blokların tamamına yakının tabandaki granodiyortiten türemiş malzemeler oluşturmaktadır

3.2. Arazi Çalışmaları

3.3.1. Mühendislik Jeolojisi Haritasının Hazırlanması

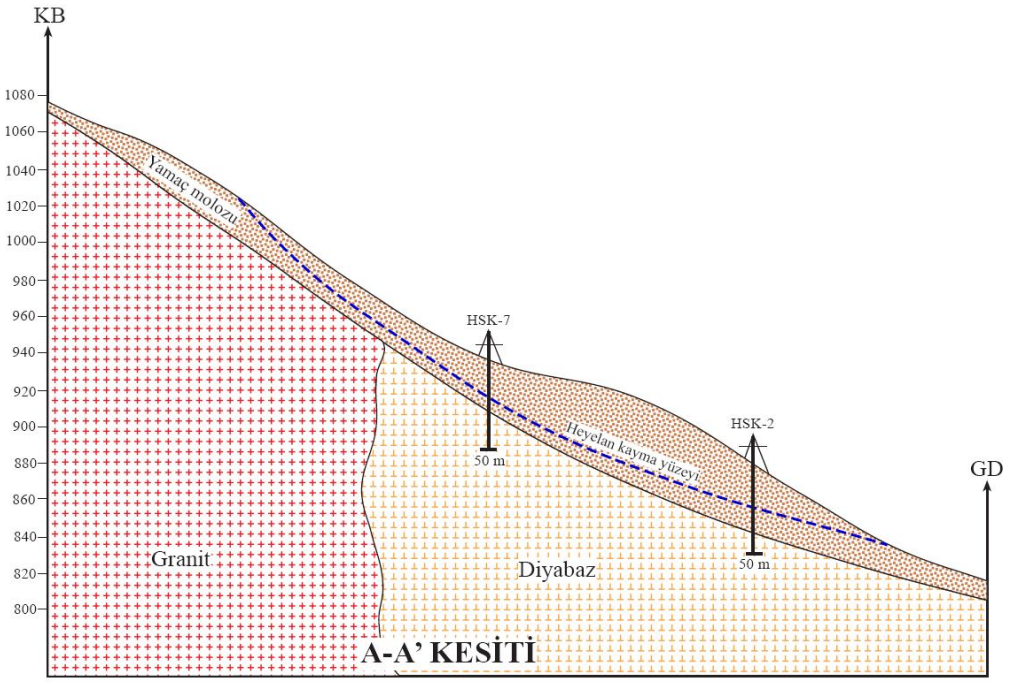
Çalışma alanı ve çevresine ait 1/2.000 ölçekli detay mühendislik jeolojisi haritası DSİ 22. Bölge Müdürlüğü YAS ve Jeoteknik Şube Müdürlüğü ile ortaklaşa olarak yapılan arazi çalışmaları ile hazırlanmıştır.

Mühendislik jeolojisi çalışmaları iki kademede gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri ve yerinde yapılan deneyler çalışmanın ilk aşamasını oluştururken, laboratuvar deneyleri ikinci aşamayı oluşturmaktadır. Tüm bu verilerin ışığında mühendislik jeolojisi haritası hazırlanırken, ANON (1981a,b) tarafından önerilen tanımlamalar kullanılmıştır.

Mühendislik jeolojisi haritası hazırlanırken yamaç molozunun kalınlığını ve özelliklerini, ana kayanın cinsini ve ayrışma durumunu, ortamın tektonik özelliklerini tespit etmek amacıyla inceleme alanın değişik yerlerinde yapılan 7 adet temel sondajından

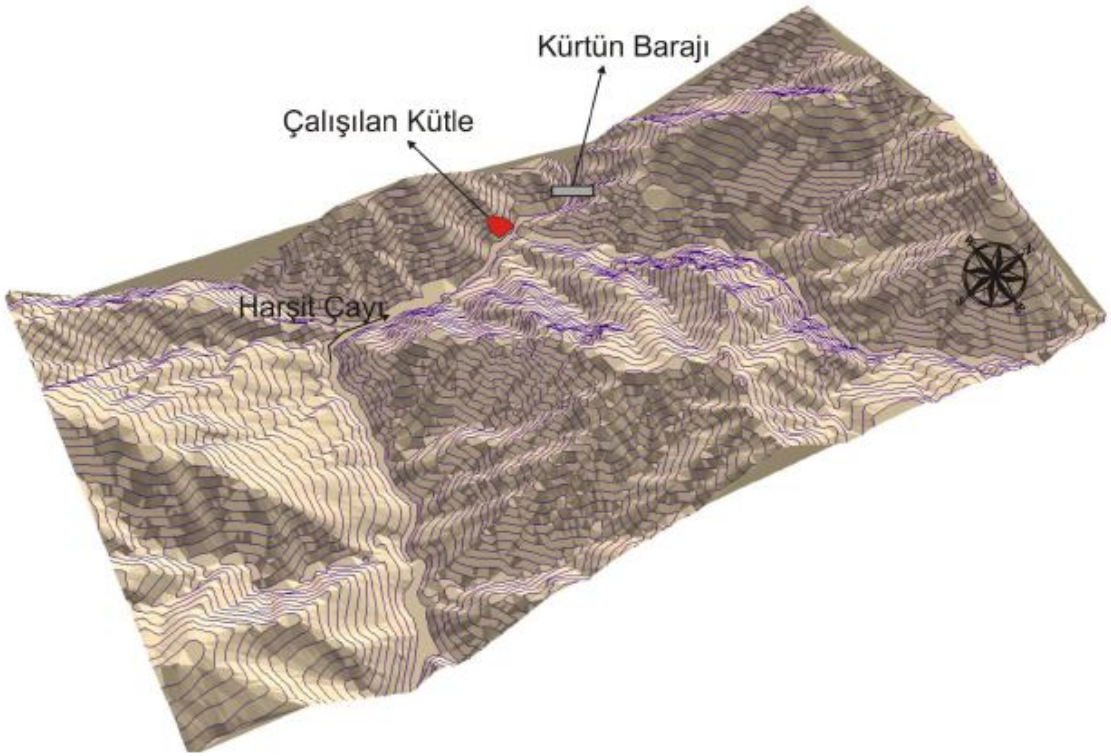
yararlanılmıştır (Ek 1). Arazi çalışmaları kapsamında elde edilen veriler kullanılarak heyelan riskli saha için çizilen jeolojik kesit Şekil 3.2'de verilmiştir. A-A' kesitinde HSK-2 ve HSK-7 sondajlarında yapılan inklometre ölçümlerine göre çizilen olası kayma yüzeyi verilmiştir. Heyelan riskli sahaya ait kayma dairesinin konumuna ve şekline ait detay araştırmalar bilgisayar destekli analizler yapılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

.

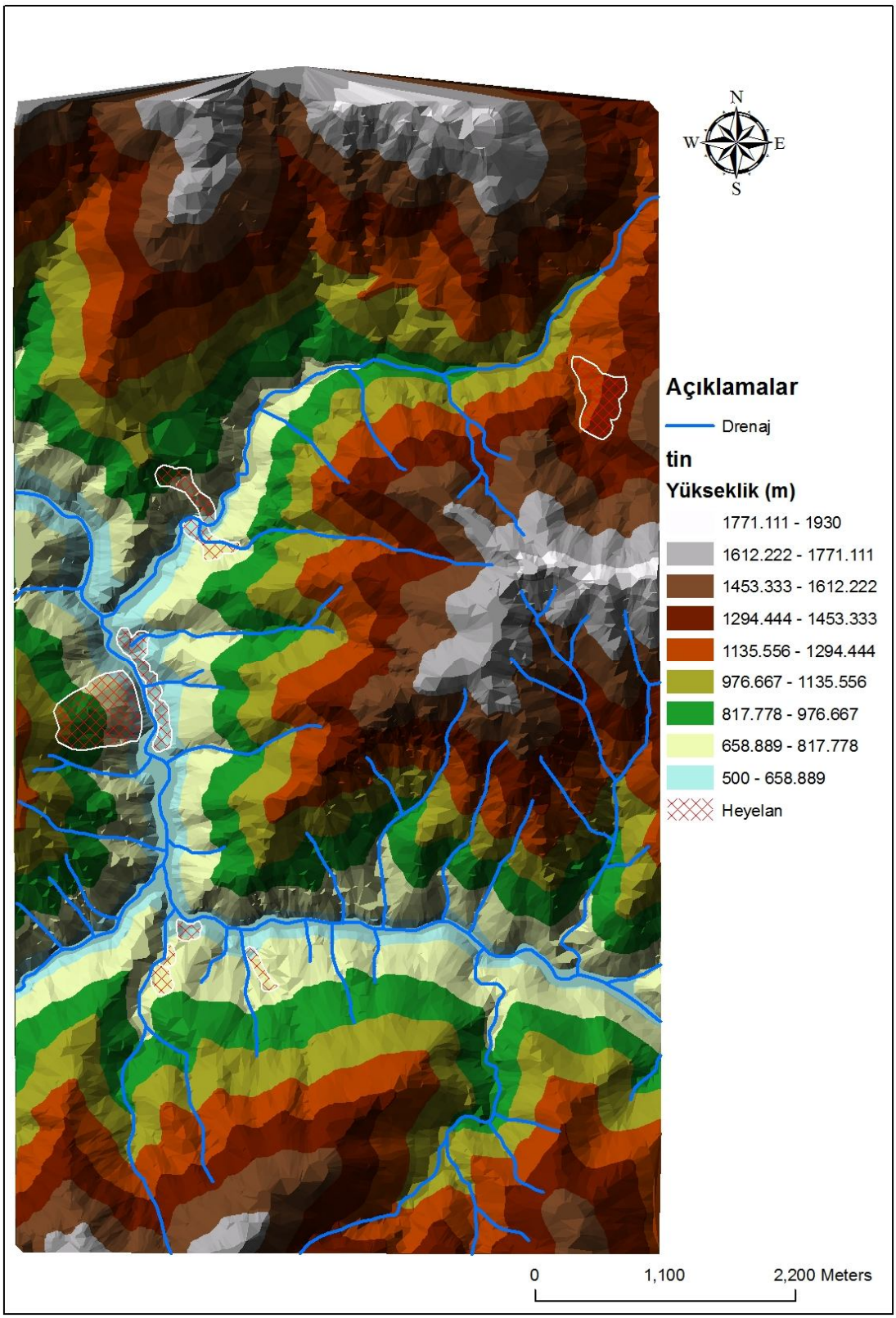


Şekil 3.2. Heyelanlı alana ait jeolojik kesit.

Ayrıca, çalışma alanını da içine alan bölgenin 1/25.000 ölçekli topografik haritası ve jeolojik özellikleri göz önüne alınarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemi yardımıyla 3 boyutlu modellemesi yapılmış (Şekil 3.3) ve bölgede kütle hareketleri açısından risk taşıyan alanlar morfolojik olarak gözden geçirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Çalışma alanını içine alan bölgenin 3 boyutlu görünümü.



Şekil 3.4. Çalışma alanı ve çevresinin sayısal arazi modeli ve heyelan lokasyonları.

3.3.2. Çalışma Alanında Yapılan Jeodezik Çalışmalar

Çalışma alanında DSİ tarafından 2002 yılında başlanarak belirli noktalar tespit edilmiş ve bu noktalar sürekli gözlemlenerek belirli aralıklarla yer değiştirme değerleri okunmuştur. Heyelan riskli saha içinde kalan ON-1, ON-2 ve ON-3 noktalarında çökme, kabarma şeklinde hareketlenmelere bağlı yer değiştirmelerin olduğu tespit edilmiştir (DSİ, 2009). Belirli aralıklarla ölçüm noktalarında yapılan koordinat ölçümlerinin değişim aralıkları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Heyelanlı sahada yapılan deformasyon ölçüm değerleri.

24.05.2002 Tarihli Ölçüm Değerleri				**20.06.2002 Tarihli Ölçüm Değerleri**			
No	Y	X	Z	No	Y	X	Z
ON1	511 159.824	4503 649.690	924.500	ON1	511 159.909	4503 649.713	924.511
ON2	511 213.495	4503 766.466	820.407	ON2	511 213.542	4503 766.482	820.408
ON3	511 016.042	4503 804.948	884.936	ON3	511 016.054	4503 804.945	884.958
04.04.2003 Tarihli Ölçüm Değerleri				**02.06.2005 Tarihli Ölçüm Değerleri**			
No	Y	X	Z	No	Y	X	Z
ON1	511 160.253	4503 649.926	924.480	ON1	511 161.653	4503 651.020	922.834
ON2	511 213.716	4503 766.700	820.212	ON2	511 214.426	4503 651.020	819.530
ON3	511 016.091	4503 804.955	884.892	ON3	511 016.127	4503 804.973	884.928
21.12.2006 Tarihli Ölçüm Değerleri				**26.04.2007 Tarihli Ölçüm Değerleri**			
No	Y	X	Z	No	Y	X	Z
ON1	511 163.954	4503 651.906	921.650	ON1	511 164.505	4503 652.082	921.260
ON2	511 215.079	4503 778.483	819.4144	ON2	511 215.168	4503 778.753	819.114
ON3	511 016.092	4503 804.931	884.968	ON3	511 016.073	4503 805.057	884.998
11.07.2008 Tarihli Ölçüm Değerleri				**25.11.2008 Tarihli Ölçüm Değerleri**			
No	Y	X	Z	No	Y	X	Z
ON1	511 166.027	4503 652.741	920.801	ON1	511 165.366	4503 652.939	919.883
ON2	-	-	-	ON2	-	-	-
ON3	511 016.135	4503 804.942	884.972	ON3	511 015.245	4503 805.231	885.051

3.3.3. Çalışma Alanında Yapılan Jeofizik Çalışmaları

Çalışma alanında 2 hat boyunca yüzeyden 60 m ve 90 m derinliğe kadar inecek şekilde yapılan elektrik özdirenç (rezistivite) ölçümleriyle yamaç molozu, çatlaklı kaya, ezik zon kalınlığı ve muhtemel ana kaya topografyası belirlenmeye çalışılmıştır (Ek 1). Yapılan çalışmalarla 1 nolu ölçüm hattında ana kayaya 32m sonra, 2 nolu ölçüm hattında ise ana kayaya 50m sonra rastlanmıştır. Duraylılığın bozulabileceği zon kalınlığın 32-50m

arasında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.2'de verilmiştir. Temel kayaya kadar olan birimlerin özdirenç değerleri, açıkça heyelan malzemesinin karmaşık bir yapı gösterdiğini açıklamaktadır.

Tablo 3.2. Heyelanlı sahada yapılan elektrik özdirenç ölçümlere göre belirlenen kalınlık değerleri.

1 No'lu Jeofizik Ölçüm Noktası			**2 No'lu Jeofizik Ölçüm Noktası**		
Derinlik (m)	Formasyon	Rezistivite(Ωm)	Derinlik (m)	Formasyon	Rezistivite(Ωm)
00.00-04.00	Yamaç molozu	130	00.00-10.00	Yamaç molozu	90
04.00-12.00	Kırıklı çatlaklı kaya	460	10.00-17.00	Kırıklı çatlaklı kaya	700
12.00-32.00	Ezik zon	55	17.00-50.00	Ezik zon	150
32.00-60.00	Ana kaya	1000	50.00-120.00	Ana kaya	550

3.3.4. Çalışma Alanında Yapılan Jeoteknik Sondaj Çalışmaları

Heyelan riskli sahada yamaç molozu ve diğer malzeme kalınlıklarını net olarak tespit etmek ve inklinometre çalışmaları yapabilmek amacı ile sondaj kuyuları açılmasına karar verilmiş ve 7 adet (Ek 1) olmak üzere toplam 305 metrelik sondaj çalışması yapılmıştır (Tablo 3.3). Alınan karot örnekleri incelenerek karot yüzdeleri, kaya türü, ayrışma derecesi, RQD değerleri göz önüne alınarak kuyu logları hazırlanmıştır. Sondaj çalışmaları neticesinde yamaç molozunun kalınlığının 16-38 m arasında olduğu belirlenmiştir (DSİ, 2009).

Tablo 3.3. Heyelanlı sahada yapılan sondajlara ait kot ve koordinat değerleri.

Kuyu No	**Kuyu Derinliği(m)**	**X**	**Y**	**Z (Kot) (m)**
HSK-1	30.00	4 503 389.8429	511 150.1635	911.73
HSK-2	50.00	4 503 526.8629	511 174.0255	910.79
HSK-3	25.00	4 503 627.2500	511 140.8700	914.57
HSK-4	50.00	4 503 608.4745	511 192.0755	900.38
HSK-5	50.00	4 503 586.3300	511 116.3600	930.82
HSK-6	50.00	4 503 488.3300	511 104.2400	941.01
HSK-7	50.00	4 503 527.9800	511 076.9700	948.72

- HSK-1 Nolu Sondaj

Heyelanlı sahasının içerisinde 911 m kotunda ve yol üzerinde olup derinliği 30 metredir. Sondaj sonucunda 0.00-24.5 m arası yamaç molozu, 24.50-30.00 m arası masif kaya olduğu tespit edilmiştir. Yamaç molozunun 0.00-6.00 m arası çakıllı, bloklu killi malzemeden oluşmaktadır. Killer yeşilimsi kahve rengi görünümlüdür. 6.00-24.50 m arası

çakıl ve bloklardan oluşmaktadır. Ana kaya koyu gri renkli ve çatlaklı diyabazdır. Çatlak yüzeyleri az ayrışmıştır. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD değerinin % 0-49 arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir (Ek 3).

- HSK-2 Nolu Sondaj

Heyelanlı sahanın ortalarında, yol kenarında 910 m kotunda ve 50 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0.00-38.00 m arası yamaç molozu ve 38.00-50.00 m arası granit olduğu tespit edilmiştir. 0.00-4.50 m arası siltli,killi.kumlu ve çakıllı malzemeden, 4.50-38.00 m arasının ise çakıllı ve bloklu malzemelerden oluştuğu anlaşılmıştır. Ana kaya gri renkli, çatlaklı, çatlak dolguları az ve kalsit dolgulu diyabazdır. Karot yüzdesinin % 100 ve RQD değerinin % 8-33 arasında olduğu tespit edilmiştir (Ek 3).

- HSK-3 Nolu Sondaj

Heyelanlı saha üzerinde, 914 m kotunda ve 25 m derinlikte açılmıştır. Sondaj sonucunda 0.00-16.00 m arası yamaç molozu, 16.00-25.00 m arası ana kayadan oluştuğu tespit edilmiştir. Yamaç molozu bloklu, çakıllı,siltli, killi malzemeden oluşmaktadır. Killer yeşilimsi kahve renklidir. Ana kaya gri renkli ve çatlaklı, çatlak yüzeyleri dolgusuz diyabazdır. Karot yüzdesinin % 100, RQD değerinin ise % 0-54 arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir (Ek 3).

- HSK-4 Nolu Sondaj

Sondaj 900 m kotunda ve 50 m derinliğindedir. Sondaj sonucunda 0.00-28.50 m arası yamaç molozu, 28.50-50.00 m arası ana kayadan oluştuğu tespit edilmiştir. Yamaç molozu blok, çakıl,silt ve kilden oluşmaktadır. Ana kaya ise gri renkli ve çatlaklı diyabazdır. Karot yüzdesinin % 50-100 arasında, RQD değerinin %0-21 arasında olduğu anlaşılmıştır (Ek 3).

- HSK-5 Nolu Sondaj

Sondaj 930 m kotunda ve 50 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0.00-23.00 m arası yamaç molozu, 23.00-50.00 m arası ana kayadan oluştuğu tespit edilmiştir. Yamaç molozu blok,çakıl,silt ve killi malzemelerden oluşmaktadır. Ana kaya çatlaklı,çatlak yüzeyleri pürüzlü ve yer yer kalsit dolgulu diyabazdır. Karot yüzdesinin % 100 ve RQD değerinin % 15-100 arasında değiştiği anlaşılmıştır (Ek 3).

- HSK-6 Nolu Sondaj

Sondaj 941 m kotunda ve 50 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0.00-21.00 m arası yamaç molozu, 21.00-50.00 m arası ana kayadan oluştuğu tespit edilmiştir. Yamaç

molozunun 0.00-4.50 m arası killi ve siltli, 4.50-21.00 m arası çakıllı ve bloklu malzemeden oluştuğu anlaşılmıştır. Ana kaya gri renkli, çatlaklı diyabazdır. Karot yüzdesinin % 10-100, RQD değerinin %0-13 arsında olduğu tespit edilmiştir (Ek 3).

- HSK-7 Nolu Sondaj

Sondaj 948 m kotunda ve 50 m derinliğinde açılmıştır. Sondaj sonucunda 0.00-30.00 m arası yamaç molozu, 30.00-50.00 m arası ana kaya olduğu anlaşılmıştır. Yamaç molozunun 0.00-18.00 m arası killi ve siltli malzemeden, 18.00-30.00 m arası çakıllı ve bloklu malzemeden oluştuğu gözlemlenmiştir. Ana kaya gri renkli ve çatlaklı diyabazdır. Karot yüzdesinin çok düşük ve RQD değerinin %0-25 arasında olduğu anlaşılmıştır (Ek 3).

3.3.5. Çalışma Alanında Yapılan İnklinometre Ölçümleri

Açılan sondaj kuyularına rasat boruları indirilmiş ve borulardaki kırılma derinlikleri düzenli olarak izlenerek heyelan riskli sahadaki olası kayma yüzeyi net olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen kırılma değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Heyelanlı sahadaki sondaj kuyularında yapılan inklometre ölçümleri sonucu belirlenen kırılma değerleri (DSİ, 2009).

Kuyu No	Kırılma Derinliği (metre)
HSK-1	23.00
HSK-2	24.00
HSK-3	16.00
HSK-4	------
HSK-5	Kırılma Olmadı
HSK-6	------
HSK-7	12.00

3.3.6. Çalışma Alanından Örselenmemiş Örnek Alımı

Heyelan riskli sahada yer alan zemin malzemesinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla 15 cm çaplı çelik tüp örnek alıcılardan belirli lokasyonlardan örselenmemiş örnekler alınmıştır. Örnek alınmadan önce zemin yüzeyinin 5 cm'lik kısmı kazılmış ve örnek alım tüpü zemine çakılmıştır. Örnek alımı yapıldıktan sonra tüpün alt ve üst kısmı streç filmle iyice sarılarak hava ile teması kesilmiştir. Doğal özelliği muhafaza edilen zemin örnekleri laboratuvara getirilerek zemin sınıflamasına ve indeks

parametrelerin tayinine yönelik deneyler yapılmıştır.

3.4. Laboratuvar Çalışmaları

3.4.1. Zeminin İndeks Özelliklerinin Belirlenmesi

Heyelanlı sahadan alınan zemin örnekleri üzerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji laboratuvarında indeks özellikleri belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zeminin doğal birim hacim ağırlığı (γn), su muhtevası (w) ve doygun birim hacim ağırlığı (γd) belirlenmiştir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. Zemin örneklerinin indeks özellikleri.

Zemin Türü	γ_n (gr/cm^3)	ω (%)	γ_d (gr/cm^3)
Ayrışmış ince taneli zemin örneği	2.28	4.8	2.39

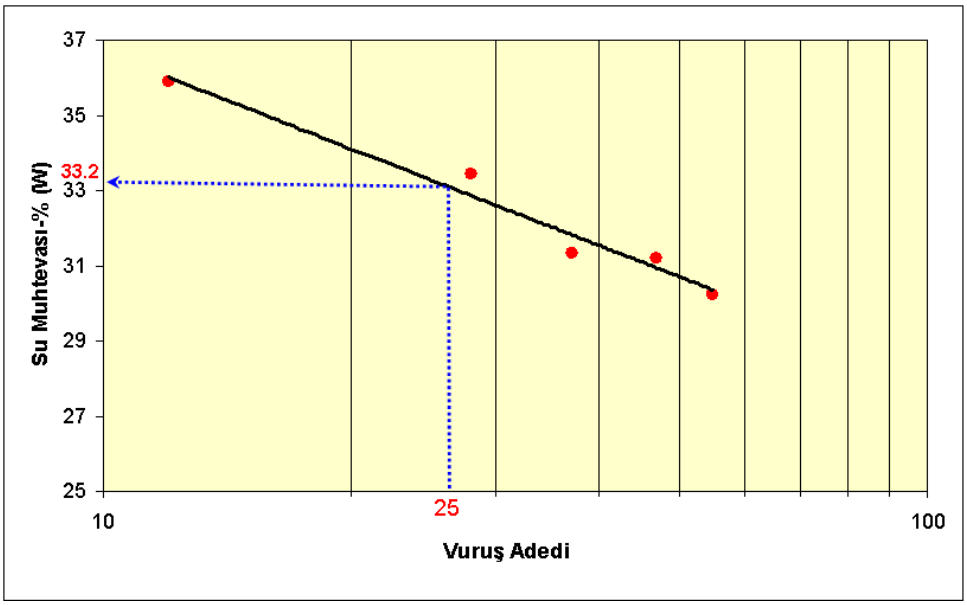
3.4.2. Zeminin Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri boşluklarında yer alan su miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar katı kıvamda iken, bu sınır su muhtevası değerinden belirli bir su muhtevası değerine kadar plastik davranış sergilemektedirler. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden kıvam limitleri denilmekte olup, ilk olarak Atterberg tarafından bulunduğundan Atterberg Limitleri de denmektedir. Kıvam limitleri, rötre limit, plastik limit ve likit limitten oluşur. Bu limitler laboratuvarda yapılan bir takım standart deneylerle belirlenir.

Araziden alınan örneklerin, likit limitini belirlemek amacı ile Casagrande Deneyi yapılmıştır. 40 nolu eleğin altında kalan ince taneli bir miktar malzeme, damıtık su ile karıştırılarak bir miktar yoğurulmuş ve 24 saat desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra zemin aletin çanak kısmına koyularak üst kısmı bıçak yardımı ile düzeltilmiştir. Deney düzeneğine ait kaşık ile zeminin ortasına 2 mm genişliğinde bir yarık açılmıştır. Daha sonra otomatik vuruş yapan aletin düğmesine basılmış ve zemindeki açıklık 1 cm uzunluğunda temas

edecek şekilde kapandığı anda alet durdurularak vuruş sayısı okunmuştur. Bu işlem değişik su muhtevalarında tekrarlanmış ve her defasında vuruş sayıları okunarak kaydedilmiştir. Tekrarlanan işlemlerdeki ıslak zeminler tartılmış ve kurutulduktan sonra tartılarak her defasındaki su muhtevaları belirlenmiştir. Daha sonra su muhtevaları ve vuruş sayıları; logaritmik yatay eksende vuruş sayıları ve düşey eksende su muhtevaları olacak şekilde grafiğe yerleştirilmiş ve deney sonuçları işaretlenerek grafik çizilmiştir. Bu grafikte 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası okunarak zeminin likit limiti tespit edilmiştir (Şekil 3.5).

Zeminin plastik limitini belirlemek için ise yine 40 nolu elekten geçen bir miktar ince malzeme alınarak damıtık su ile karıştırılmıştır. Malzeme iyice yoğurulduktan sonra cam bir plaka üzerinde el ayasıyla yuvarlanarak ince iplikçikler haline gelmesi sağlanmıştır. 3 mm kalınlığa ulaşana kadar bu işleme devam edilmiştir. Bu iplikçiklerin çatlama anına kadar ki su muhtevalarının ortalamalarına bakılarak plastik limiti belirlenmiştir (Tablo 3.6).



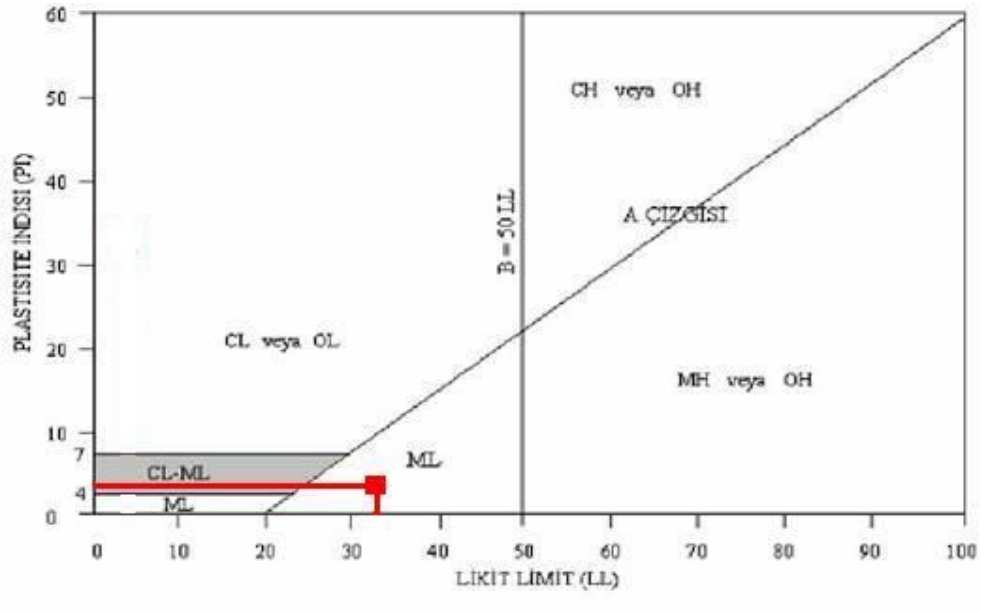
Şekil 3.5. Zemin örneklerinin likit limit değerini belirleme grafiği.

Tablo 3.6. Zemine ait likit limit ve plastik limit değerleri.

Zemin Türü	Likit Limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite İndisi
40 Nolu Elekten Geçen Malzeme	33.2	29	4.2

Bulunan bu sonuçlar Casagrande Plastisite Grafiğine konulmuş ve zemin

sınıflandırılmıştır. Buna göre LL(%)<36 olduğundan düşük plastisiteli olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Casagrande plastisite grafiği (Kartı).

3.4.3. Zeminin Kayma Dayanımı Parametrelerinin Belirlenmesi

Zeminin kayma dayanımı parametrelerini laboratuvar ortamında tespit etmek amacıyla kesme kutusu, üç eksenli basınç, kesme halkası ve Vane deneyleri yapılmaktadır.

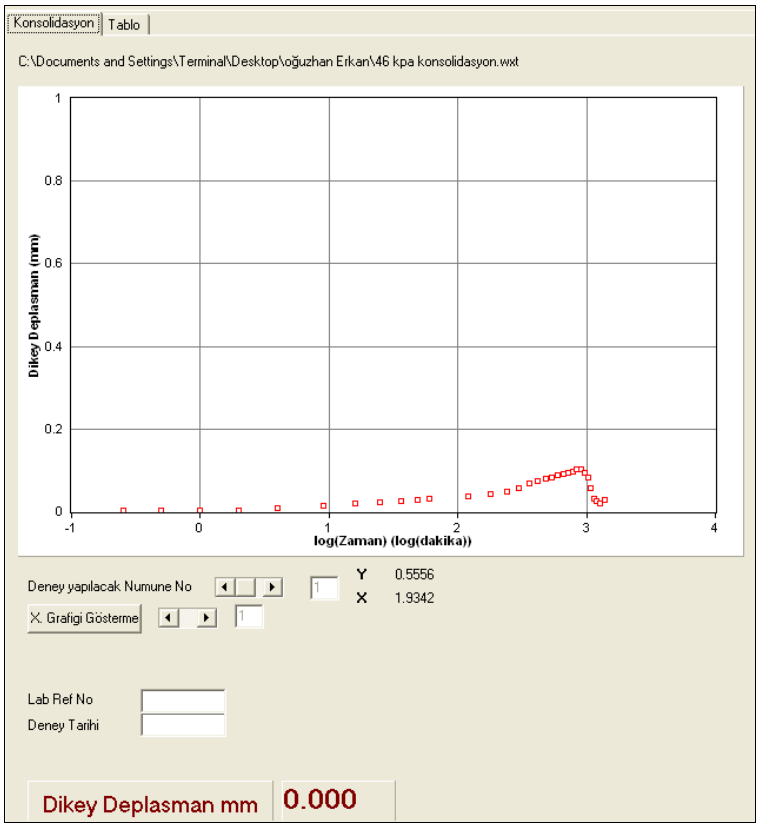
Kesme kutusu deneyi, kare veya daire kesitli, yatay olarak ayrılabilen iki parçadan oluşan metal bir kutu içerisindeki zemin örneğine düşey bir yük ve yatay bir kesme kuvveti uygulamak sureti ile drenajlı veya drenajsız olarak yapılabilen bir deneydir. Farklı düşey yüklerde bu işlem tekrarlanarak, farklı düşey yüklere karşılık gelen farklı kesme gerilmeleri değerleri ile grafik çizilir ve grafikten kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (φ) değerleri hesaplanır.

Kesme kutusu deneyi, zeminin doğal ortamdaki şartları göz önünde bulundurularak değişi şekillerde yapılır. Deneyler konsolidasyonsuz-drenajsız (U-U; Unconslidated-Undrained), konsolidasyonlu-drenajsız (C-U; Consolidated-Undrained), konsolidasyonlu-drenajlı (C-D; ConsolidateDrained) olmak üzere üç şekilde yapılabilir. C-U deneylerde örnek 24 saat su içerisinde bekletilerek konsolide olması sağlanır ve suyun denajına izin

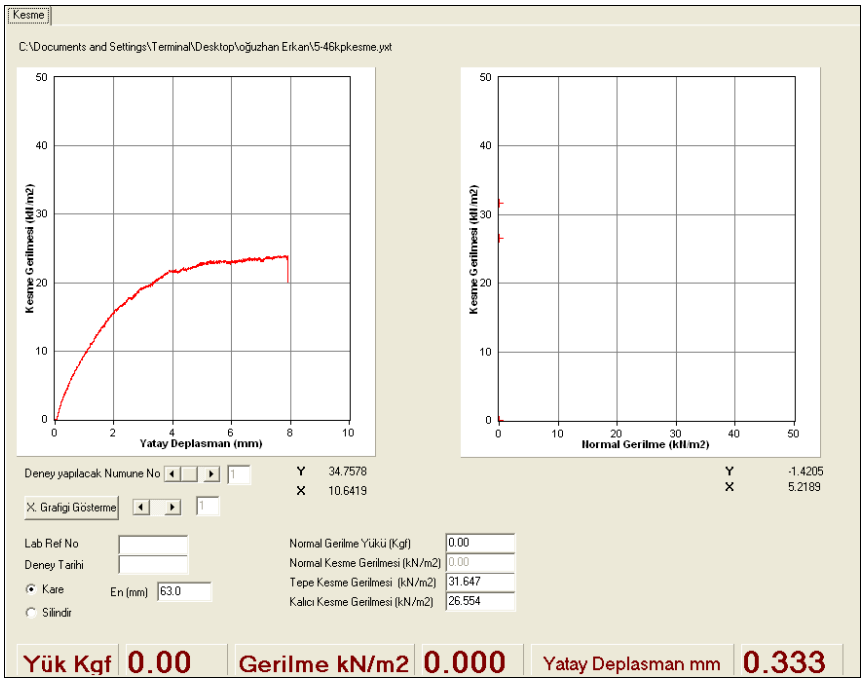
verilmeyerek örnek kesilir. C-D deneylerde ise örnek önce konsolide edilir sonra da dreanajına izin verilerek örnek kesilir. U-U deneylerde ise örnek konsolide edilmez ve drenajına izin verilmez. Bu şekilde yapılan deneyler kısa sürede sonuçlanır ve "Hızlı Deney" olarak adlandırılır.

Bu çalışmada, zeminin kayma dayanımı parametrelerini belirlemek amacıyla Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zemin Mekaniği laboratuvarında araziden alınan örselenmemiş örneğin kesme direnci parametrelerini tespit etmek amacıyla kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Arazideki koşullar göz önüne alınarak konsolidasyonlu ve drenajsız deney yapılmasına karar verilmiştir.

Deneyler bilgisayar destekli kesme kutusu deney aletinde yapılmıştır. Örnekler 24 saat su içinde bekletilerek konsolide olmaları sağlanmış ve daha sonra kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğe 1 kg, 3 kg, 5 kg'lık ağırlıklar koyularak 46 kPa, 108 kPa, 171 kPa'lık düşey yük altında kesme işlemi yapılmıştır. Konsolidasyon esnasında zamana karşılık dikey deplasman ve kesme esnasında yatay deplasmana karşılık kesme gerilmesi grafikleri bilgisayar programı tarafından otomatik olarak çizdirilmiştir. Çizdirilen konsolidasyon ve kesme grafiklerinden bazıları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.

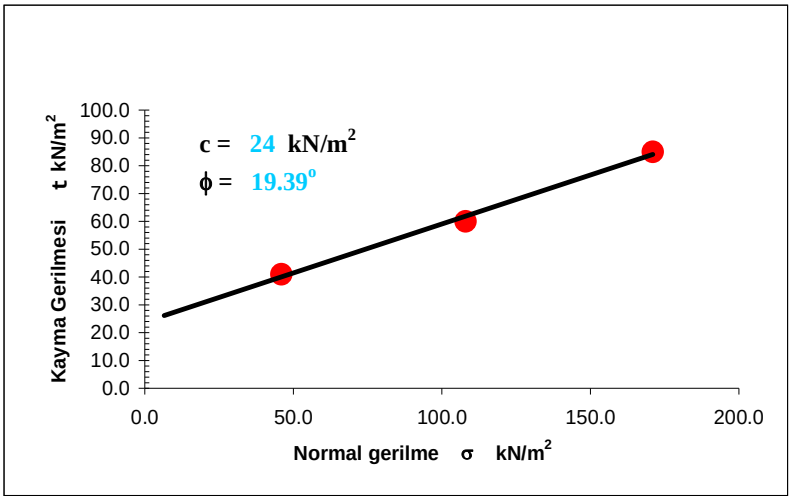


Şekil 3.7. Zemin örneğine ait konsolidasyon grafiği.



Şekil 3.8. Zemin örneğine ait kesme grafiği.

Deneyler sırasında elde edilen maksimum kayma gerilmeleri tespit edilerek normal gerilmelere karşılık gelen bu değerleri Şekil 3.9'daki gibi grafik haline dönüştürülmüş ve bu grafikten kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (φ) değerleri c=24 kN/m², φ=19.39^o olarak belirleniştir. Gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan analizlerde bu değerler kullanılmıştır.



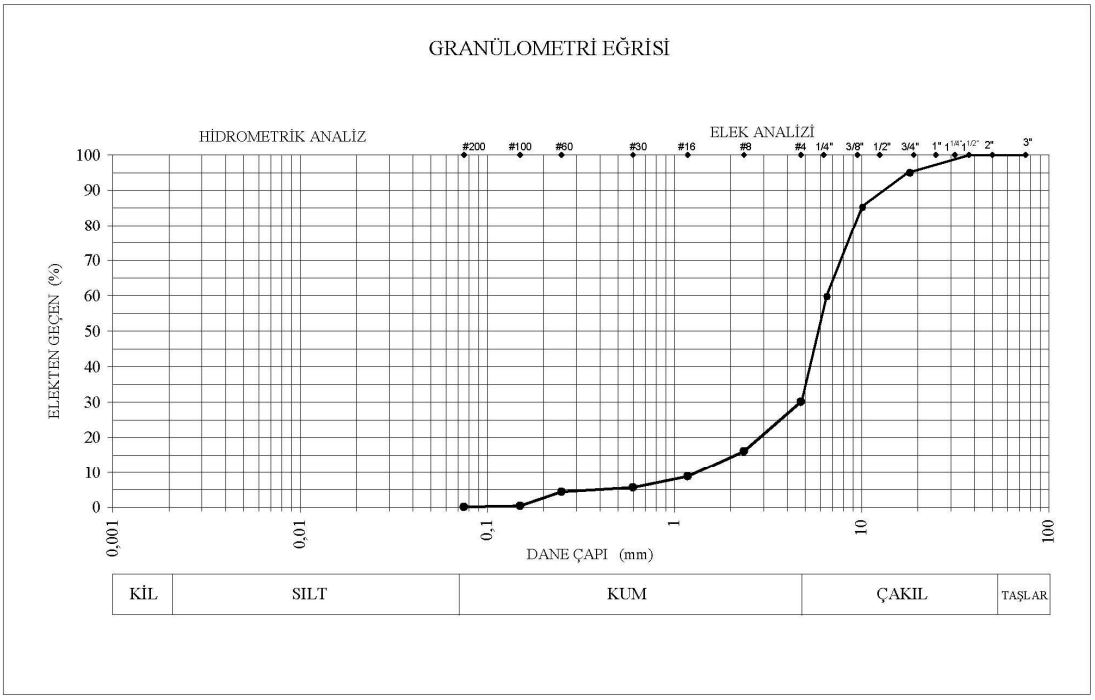
Şekil 3.9. Zemin örneğine ait kayma ve normal gerilme grafiği.

3.4.4. Zeminin Dane Dağılım Eğrisinin (Granülometrisinin) Belirlenmesi

Zemin içerisindeki dane boylarının dağılımını belirlemek amacı ile elek analizi yapılmıştır. Örneğin kil içeriğinin az olması ve kurutulduğunda malzemede topaklanma ve iri taneli malzemelere yapışma olmamasından dolayı eleme işlemi kuru olarak yapılmıştır. Deneyde 4-8-16-30-60-100 ve 200 nolu elekler kullanılmıştır. Bu amaçla bir miktar örnek alınarak fırında 24 saat kurutulduktan sonra elek takımları kullanılarak elenmiştir. Daha sonra eleklerin üstünde kalan malzemeler tek tek tartılarak elekten geçen malzeme miktarları (%P) tespit edilmiştir (Tablo 3.7). Dane çapı logaritmik yatay eksene, elekten geçen malzeme yüzdesi aritmetik düşey eksene gelecek şekilde işaretlenmiş ve malzemenin granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.10).

Tablo 3.7. Elek analizi deney sonuçları.

Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Geçen Malzeme Yüzdesi (%P)
4	4.7500	30.12
8	2.3600	16.13
16	1.1800	8.84
30	0.6000	5.69
60	0.2500	4.46
100	0.1500	0.44
200	0.0750	***0.12***



Şekil 3.10. Zemin örneğine ait dane dağılım (granülometri) eğrisi.

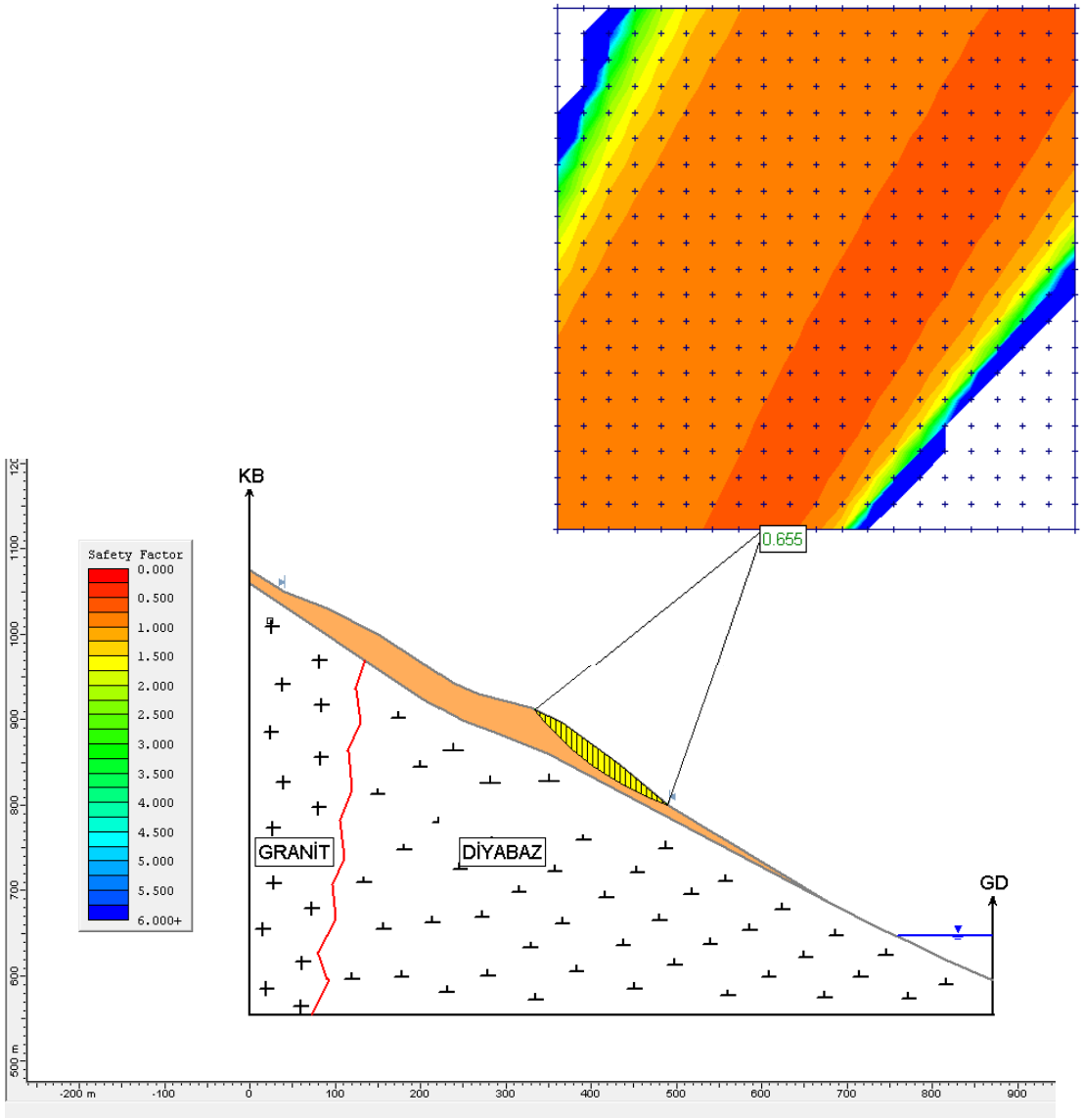
Elde edilen deney sonuçları ve dane dağılım eğrisi kullanılarak zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre sınıflandırılması yapılmıştır. Buna göre inceleme alanındaki zeminler ‘’Kumlu çakıl’’ olarak tanımlanmıştır.

3.5. Yamaç Stabilite Analizi ve Geriye Dönük Analiz

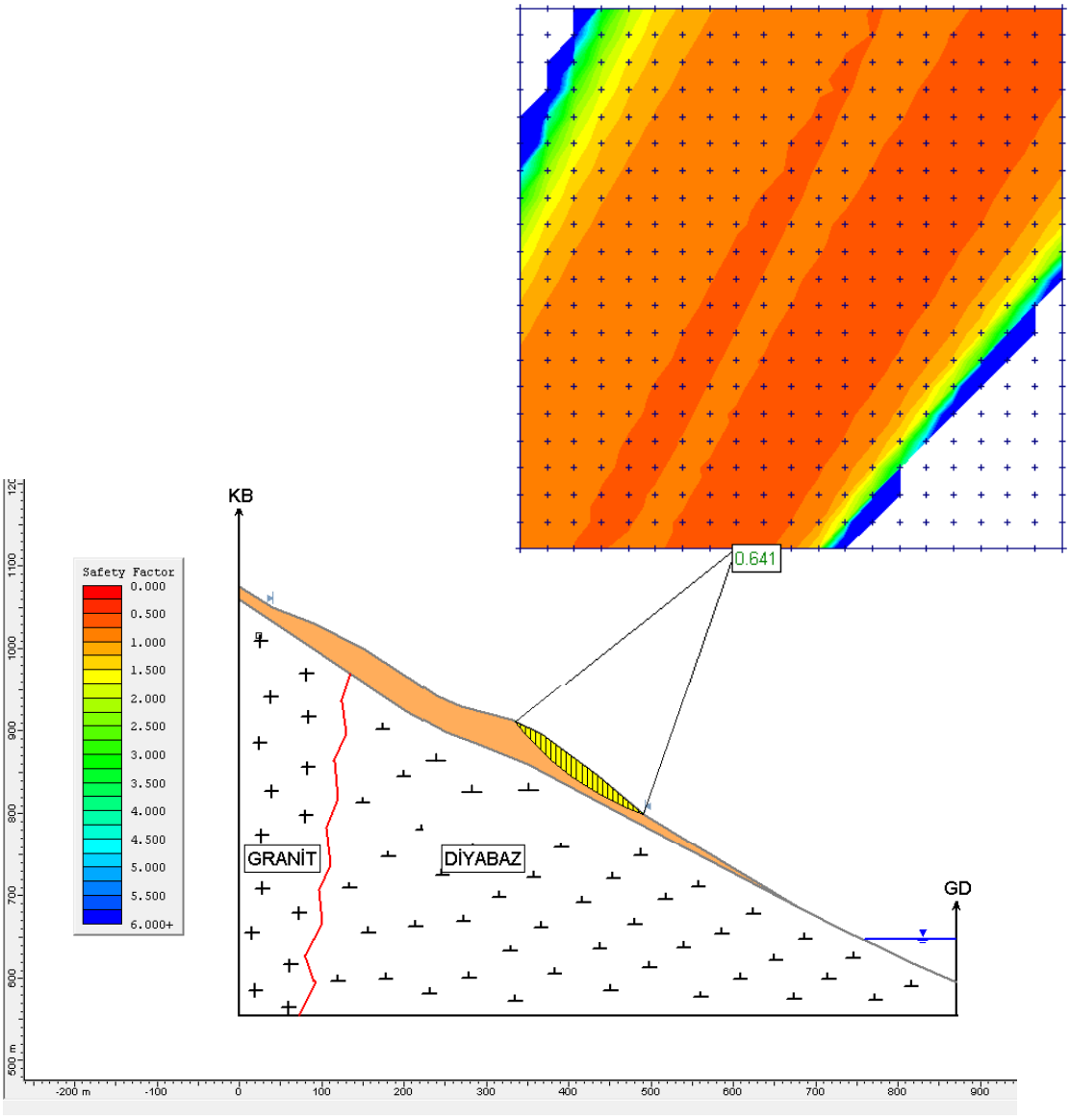
Kürtün baraj yeri sol sahilindeki heyelanlı sahanın stabilitesini belirlemek amacıyla limit denge şev stabilite analiz yapan “Slide” bilgisayar programı kullanılmıştır. “Slide” zemin şevleri için güvenlik sayılarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bir

bilgisayar yazılımıdır. Program ile değişken özellikler gösteren, farklı geometrilerdeki yüzeyler gibi basit ve karmaşık problemler modellenebilmekte, boşluk suyu basıncı etkisi, zemin özellikleri ve çeşitli analiz yöntemleri ile yükleme koşulları belirlenebilmektedir. Ayrıca, programda analiz yaparken heterojen zemin tipleri ve karmaşık stratigrafik durumlarda değerlendirilebilmektedir. Analizler limit denge analizlerine göre yapılabildiği gibi "Phase^{2}" (Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support) programında altlık olarak kullanıldığında ise sonlu elemanlar analizi de yapabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, heyelanlı sahada yapılan araştırma sondajlarından elde edilen yamaç molozu kalınlık değerleri kullanılarak "Slide" programında baraj sol sahil yamacına ait jeolojik kesit çizilmiştir. Daha sonra laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen birim hacim değeri ve kayma direnci parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) kullanılarak yamaç molozunun özellikleri tanımlanmıştır. Analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmış olup, kayma şekli olarak dairesel ve birleşik kayma türleri seçilmiştir. Stabilite analiz yöntemi olarak da Basitleştirilmiş Bishop ve Janbu yöntemleri kullanılmıştır. Gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan analizler sonucunda heyelanlı sahasın alt kotlarındaki yamaç molozu kalınlığının yüksek olduğu yerde dairesel kaymanın olabileceği belirlenmiştir. Dairesel kaymanın gerçekleşebileceği bu alanın güvenlik katsayısı değeri Basitleştirilmiş Bishop yöntemine göre Gk: 0.655, Basitleştirilmiş Janbu yöntemine göre Gk: 0.641 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



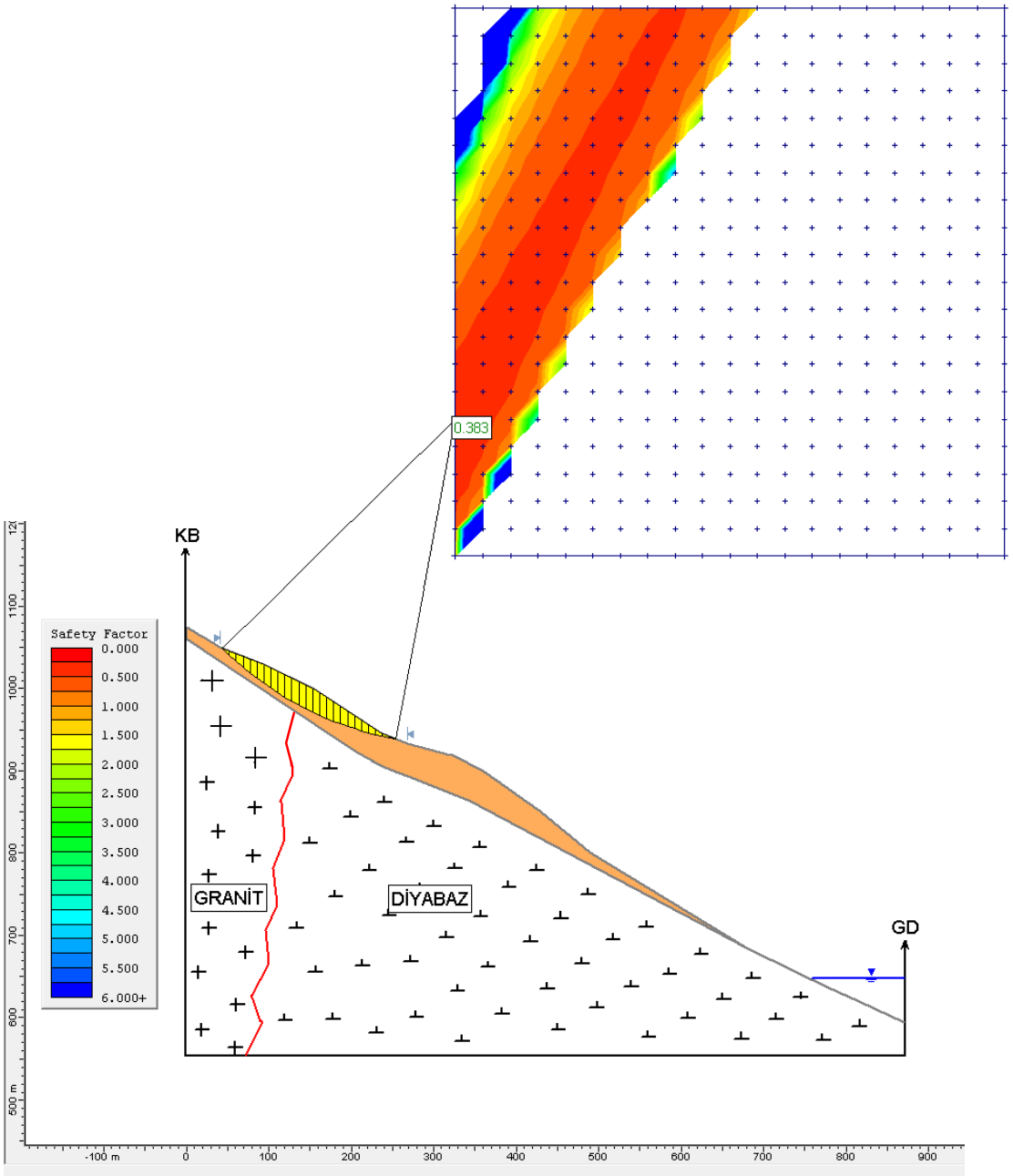
Şekil 3.11. Heyelanlı sahada gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi.



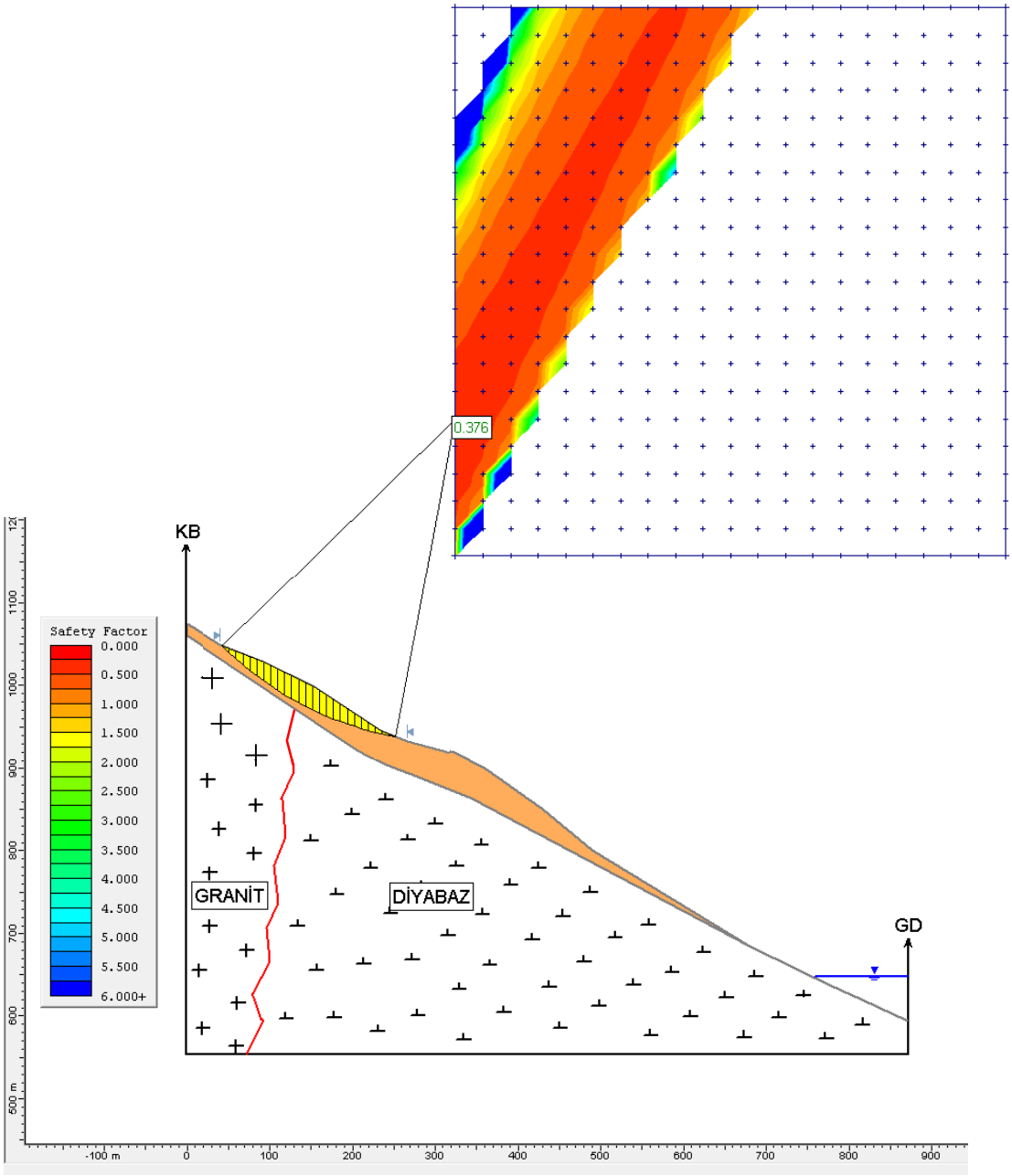
Şekil 3.12. Heyelanlı sahada gerilme çatlaklarının gelişmediği varsayımıyla yapılan Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi.

Hem yamaç alt kotlardaki alanda duraysızlık sorununun olduğunun belirlenmesi hem de sahada birbirini takip eden gerilme çatlaklarının mevcut olması sahada geriye doğru birbirini tetikleyerek ilerleyen heyelanların olabileceği ihtimalini artırmaktadır (Ek 2). Bu nedenle, yamaç molozunun uzunluğu ile kalınlığının topoğrafyadaki değişim aralığı ve yüzeydeki mevcut gerilim çatlakları göz önüne alınarak heyelan kesiti duraysızlık açısından iki ayrı bölgede değerlendirilmiştir. Yamacın üst kotlarındaki gerilme çatlağı ile yamaç moloz kalınlığının azaldığı yerle sınırlandırılan bölgede gelişebilecek heyelanın dairesel kayma olduğu ve kayma yüzeyindeki kohezyon değerinin 18 kPa, içsel sürtünme açısının ise 8^o olacağı geriye dönük analizler yapılarak belirlenmiştir. Bu bölgenin güvenlik katsayısı değeri Basitleştirilmiş Bishop yöntemine göre Gk: 0.383, Basitleştirilmiş Janbu yöntemine göre Gk: 0.376 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14). Yamaç molozu kalınlığın arttığı yer ve alt kotlardaki gerilme çatlağı ile sınırlandırılmış bölgede ise gelişebilecek heyelan türünün birleşik kayma olduğu ve kayma yüzeyindeki kohezyon değerinin 11 kPa, içsel sürtünme açısının 2^o olacağı geriye dönük analizler yapılarak belirlenmiştir. Bu bölgenin güvenlik katsayısı değeri Basitleştirilmiş Bishop yöntemine göre Gk: 0.071, Basitleştirilmiş Janbu yöntemine göre Gk: 0.069 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).

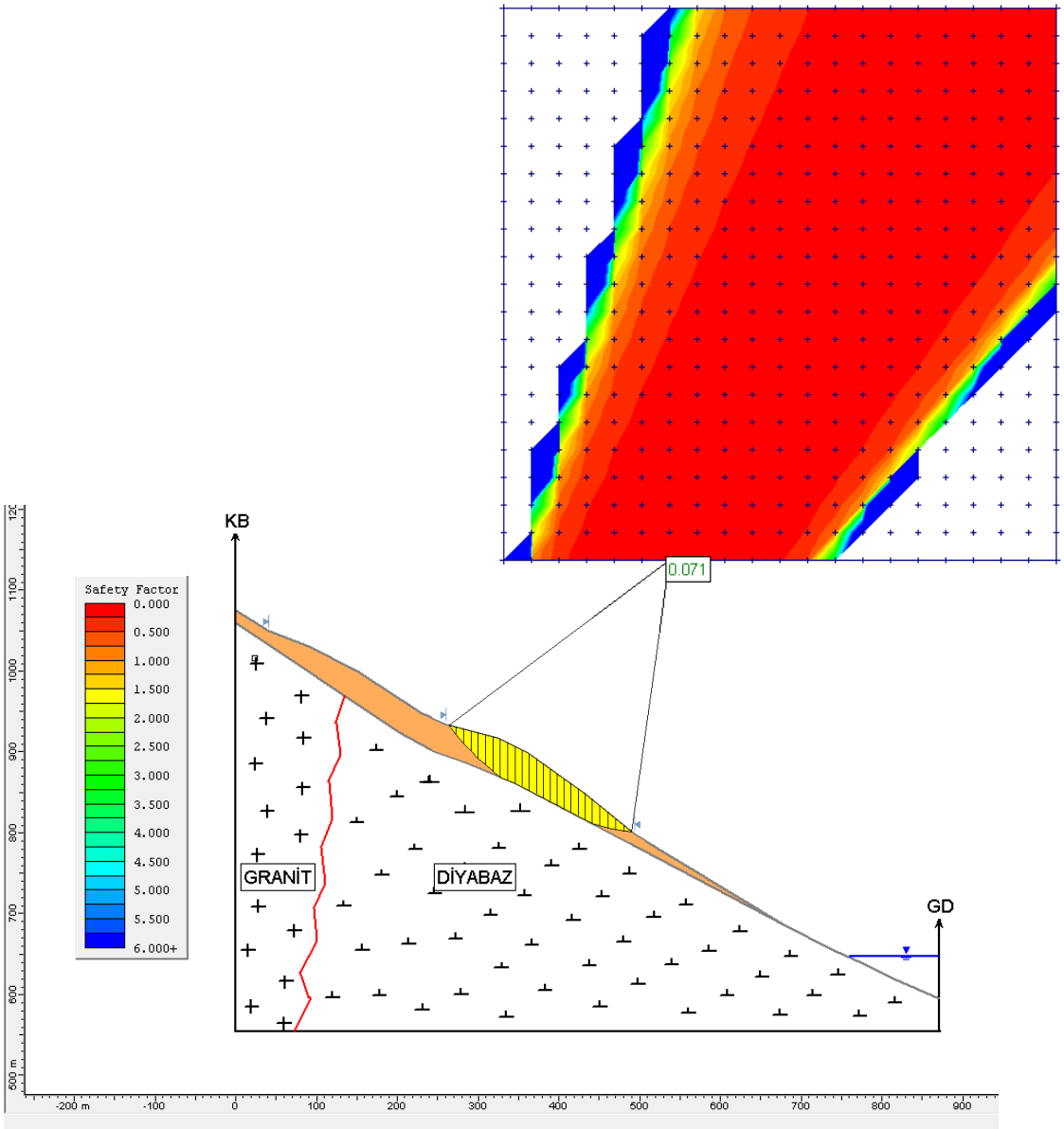
Kürtün baraj yeri sol sahilindeki yamaçta yapılan stabilite analizleri soncunda gerçekleşebilecek olası kaymaların dairesel ve birleşik şekilli olduğu ve belirlenen güvenlik katsayıları göz önüne alındığında ise yamacın duraysız olduğu belirlenmiştir.



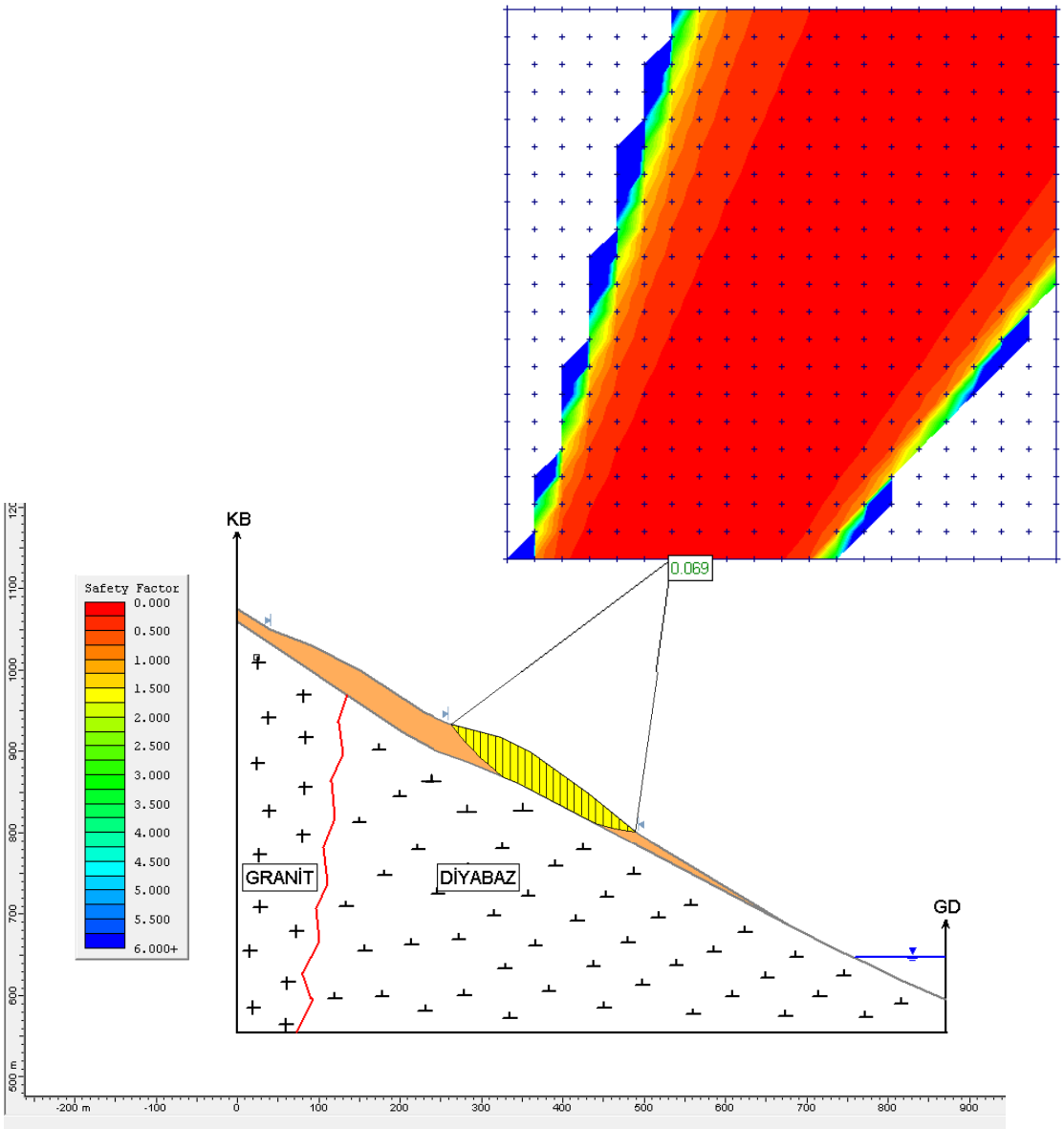
Şekil 3.13. Heyelanlı sahanın üst kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi.



Şekil 3.14. Heyelanlı sahanın üst kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi.



Şekil 3.15. Heyelanlı sahanın alt kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Bishop kayma analizi.



Şekil 3.16. Heyelanlı sahanın alt kısmında yapılan geriye dönük Basitleştirilmiş Janbu kayma analizi.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kürtün Barajı göl alanının sol sahilinde yer alan Hardısağır Mevkii'ndeki heyelan riskli alanda yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

1. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi amacı ile 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/2000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası hazırlanmıştır.

2. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları esas alınarak tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru aşağıdaki birimler ayırtlanmıştır;

- Erken-Geç Kretase yaşlı Diyabaz daykı,
- Geç Kretase yaşlı Kürtün Granodiyoti,
- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları.

3. Heyelan riskli saha içinde kalan ON-1, ON-2 ve ON-3 noktalarında jeodezik ölçümler yapılmış ve çökme, kabarma şeklinde hareketlenmelere bağlı yer değiştirmelerin olduğu tespit edilmiştir.

4. Çalışma alanının çeşitli yerlerinde 2 hat boyunca yüzeyden 60 m ve 90 m derinliğe kadar inecek şekilde rezistivite ölçümleri yapılmış ve yamaç molozu, çatlaklı kaya, ezik zon kalınlığı ve muhtemel ana kaya topografyası belirlenmiştir. Yapılan rezistivite çalışmaları neticesinde iki noktanın birinde 32 m diğerinde ise 50 m derinlikte ana kaya olduğu belirlenmiştir.

5. Heyelan riskli sahada yamaç molozu ve diğer malzeme kalınlıklarını net olarak tespit etmek ve inklinometre çalışmaları yapabilmek amacı ile 305 metrelik 7 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Alınan karot örnekleri incelenerek karot yüzdeleri, kaya türü, ayrışma derecesi, RQD değerleri belirlenmiştir. Sondaj çalışmaları neticesinde yamaç molozunun kalınlığının 16-38 m arasında olduğu belirlenmiştir.

6. Açılan sondaj kuyularına rasat boruları indirilerek inklinometre ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda 12 m-24 m arasında borularda kırılmalar tespit edilmiş ve kayma düzlemi hakkında ilk bilgiler elde edilmiştir.

7. Zeminin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda

doğal birim hacim ağırlık değerinin γn =2.28 gr/cm³, su muhtevasının w= %4.8, doygun birim hacim ağırlık değerinin γd=2.8 gr/cm³ olduğu belirlenmiştir.

8. Zeminin kıvam limitlerini tespit etmek amacı ile Casagrande Deneyi ve plastik limit deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda LL=33.2, PL=29 olarak belirlenmiştir. LL<36 olduğundan zeminin düşük plastisiteli olduğu belirlenmiştir.

9. Zeminin kayma dayanımı parametrelerini tespit etmek amacı ile kesme kutusu deneyi yapılmış olup, kohezyon değeri c=24 kPa, içsel sünme açısı ise φ=19.39^{o} olarak belirlenmiştir.

10. Zeminin dane dağılımını tespit etmek amacı ile elek analizi yapılmış ve zemine ait granülometri eğrisi çizilmiştir. Zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sisitemine (USCS) göre sınıflandırılmış ve "Kumlu çakıl'' olduğu belirlenmiştir.

11. Yamaç molozunun uzunluğu ile kalınlığının topoğrafyadaki değişim aralığı ve yüzeydeki mevcut gerilim çatlakları göz önüne alınarak heyelan kesiti duraysızlık açısından iki ayrı bölgede değerlendirilmiştir. "Slide" limit denge analiz programı kullanılarak yamaca ait güvenlik katsayısı değerleri Basitleştirilmiş Bishop ve Janbu yöntemleri ile belirlenmiştir. Geriye dönük analizler yapılarak kayma anındaki zeminin sahip olacağı kayma dayamı parametreleri belirlenmiş ve kaymaların dairesel ve birleşik şekilli olacağı sonucuna varılmıştır.

12. Dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de insan ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve hayatı kolaylaştırmak amacıyla mühendislik yapılarının sayısı giderek artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak insanın doğaya olan müdahalesi de hız kazanmıştır. Doğaya yönelik tahribat bir yanda artarken aynı zamanda da hatalı ya da eksik etütler neticesinde inşa edilen yapılar can ve mal güvenliğini tehdit etmektedir. Çalışma konumuz da buna çok iyi bir örnektir. Baraj inşaatı yapımından önce planlama aşamasında heyelan duraylılık analizleri yapılarak, riskli alanlar tespit edilmeli ve inşa aşamasında risk içeren alanlara yönelik mühendislik çözümleri üretilerek uygulanmalıdır. İnşaat aşaması bitikten sonra su tutan baraj gölüne doğru hareket edecek bir yamacın baraja vereceği zarar, inşaat aşamasında yapılabilecek mühendislik çözümlerinin maliyetine göre karşılaştırılamayacak kadar fazladır.

5. KAYNAKLAR

ANON, 1981a. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Maps, Report by International Association of Engineering Geology Commission on Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24, 235-274.

ANON, 1981b. Recommended symbols for Engineering Geological Mapping, Report by International Association of Engineering Geology Commission on Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 24, 227-234.

Bell, B., 1999. The Liquid Earth: Atlantic Monthly, 283, 1, 58-72.

Bishop, A.W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes Geotechniques, 5, 7-17.

Ceryan, N., 2005. Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC Yönteminin Bekçiler-Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 163s.

Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A., 2005. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi ile Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 84.

DSİ, 2009. Kürtün BarajI sol yamacındaki hardısağır mevkii heyelanına ait jeoteknit etüd raporu, DSİ 22. Bölge Müdürlüğü YAS ve Jeoteknik Şube Müdürlüğü, Trabzon, 41s.

Erguvanlı, K. ve Tarhan, F., 1982. Doğu Karadeniz Kıyı Şeridindeki Kütle Hareketlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, KTÜ, Yer Bilimleri Dergisi, 100. Yıl Özel Sayısı, Trabzon.

Fellenius, B., 1936. Calculation of the Stability of Earth Dam, Trans. 2nd. Congr. On. Large Damas, Washington, 4, 445-459.

Gökçe, O., Demir, A. ve Özden, Ş., 2006. Türkiye'nin Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulama, 1. Heyelan Sempozyumu, Kasım, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 24-40.

Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilkasyonu, MTA, Ankara (Yayınlanmamış).

Ildır, B., 1995. Türkiye'de Heyelanların Dağılımı ve Afetler Yasası İle İlgili Uygulamalar, İkinci ulusal heyelan sempozyumu, Adapazarı, 1-9.

İskenderoğlu, A., 1990. Çayeli-Pazar (Rize) Arası Ana Yol Şevlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 154s.

İskenderoğlu, A. ve Tarhan, F., 1991. Çayeli-Pazar (Rize) Arasındaki Sahil Yolu Şevlerinin Stabilite Açısından İncelenmesi, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 294-309.

Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsl, B., 1956. Veiledning Ved Losning Av Fundamentering Soppgaver, Norwegien Geotechnical Institute, Pub. No.16, Oslo.

NACS (North American Commission On Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841–875.

Önalp. A., 1980. Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TUBİTAK, M-441, Ankara.

Önalp, A., Tarhan, F. ve Sevinç, N., 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı, TUBİTAK, MAG: 585, Ankara.

Peker, S., 1998. Kürtün Barajı Dolu Savak Güzergahındaki Granodiyoritin Jeomekanik Özellikleri Ve Bu Güzergahtaki Kazı Şevlerinin Duraylılığı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 153s.

Pehlivan, M., 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi, , Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 112s.

Selçuk, M.E. ve Terzi, N.U., 2005. YASS'nin Drenaj Hendekleri ile Düşürülmesinin Bir Şev Duraylılığı Örneğinde İncelenmesi, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, 467- 474.

Şirin, A., 1995. Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Kaya Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 213s.

Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes Transportation Research Board, Special Report, 176, 11-33.

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan ERKAN 1978 yılında Vakfıkebir'de doğdu. İlköğrenimini 1989 yılında Trabzon 24 Şubat İlkokulu'nda, ortaöğrenimini 1996 yılında Trabzon Kanuni Anadolu Lisesinde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine, 2008 yılında ise yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalında Uzman olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.