

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVUZLU HEYELANININ (YUSUFELİ-ARTVIN) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ  
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeo. Müh. Kübra TEZEL**

**MAYIS, 2015**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVUZLU HEYELANININ (YUSUFELİ-ARTVİN) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**  
**AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**Jeoloji Müh. Kübra TEZEL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.05.2015**  
**Tezin Savunma Tarihi : 01.06.2015**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan ERSOY**

**Trabzon**

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında  
Kübra TEZEL tarafından hazırlanan

HAVUZLU HEYELANININ (YUSUFELİ, ARTVİN) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ  
AÇISINDAN İNCELENMESİ

Başlıklı bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulunun 12/05/ 2015 gün ve 1602 sayılı kararıyla  
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayberk KAYA

.....  
.....  
.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

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

Bu çalışmayı yöneten, büyük bir anlayışla bana destek olan, Jeoloji Mühendisinin neler yapabileceğini büyük bir zevkle öğreten ve mesleğime duyduğum aşkı kendisinden öğrendiğim, hayat vizyonunu örnek aldığım, kısacası; hayatımın dönüm noktalarından biri olan çok değerli hocam Doç. Dr. Hakan ERSOY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Uzaklardan bana sürekli moral ve destek veren Dr. H. Can TAŞKIN ve değerli ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Fakülteadaki ilk adımları olmasına rağmen, içinde mesleğimize olan öğrenme arzusu ve merak ile elinden gelen yardımı esirgemeyen meslektaş adayım Mustafa GURBET'e, tezimin yazım aşamasında teknik yardımlarından dolayı arkadaşım M. Fatih TEMİZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Evlatları olmaktan gurur duyduğum, maddi-manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen, aldığım ve alacağım her kararda arkamda olduklarını bildiğim canım aileme "anneme, babama ve kardeşime" en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kübra TEZEL

Trabzon 2015

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Havuzlu Heyelanının (Yusufeli-Artvin) Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hakan ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.  
04.05.2015

Kübra TEZEL

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ .....	IV
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	V
İÇİNDEKİLER .....	VI
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı .....	1
1.2. Barajlarda ve Rezervuar Alanında Meydana Gelen Yenilmeler .....	1
1.3. Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmaların Önemi .....	3
1.4. Baraj Yeri ve Tipi Seçimine Etki Eden Faktörler.....	5
1.4.1. Vadi Şekli .....	5
1.4.2. Litolojik ve Yapısal Özellikler .....	6
1.4.2.1. Mağmatik Kayaçların Baraj Yapımına Etkisi.....	6
1.4.2.2. Metamorfik Kayaçların Baraj Yapımına Etkisi .....	6
1.4.2.3. Sedimanter Kayaçların Baraj Yapımına Etkisi .....	7
1.4.3. Hidrolojik ve Hidrolik Durumu .....	9
1.4.4. Malzeme Durumu .....	9
1.4.5. İklim Koşulları.....	10
1.4.6. Memleketin Ekonomik Durumu ve İşçilik .....	10
1.5. Çalışma Alanının Genel Özellikleri .....	10
1.6. Önceki Çalışmalar .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	21
3. BULGULAR .....	26
3.1. Bölgesel Jeoloji.....	26
3.2. Havuzlu Paleo-Heyelanı ve Çevresinin Jeolojisi.....	29
3.3. Çalışmanın Alanı ve Çevresinin Depremselliği .....	32
3.4. Yamaç Duraylılık Analizi.....	36

3.5.	Mühendislik Jeolojisi Haritasının Hazırlanması.....	37
3.6.	Yamaç Stabilitesinde Kullanılacak Zemin Parametrelerin Seçimi.....	38
3.6.1.	Laboratuvar Verilerin Değerlendirilmesi .....	38
3.6.2.	Literatür Verilerin Değerlendirilmesi .....	41
3.6.3.	Arazi Verilerin Değerlendirilmesi .....	42
3.6.4.	Genel Değerlendirme.....	45
3.7.	Uygun Stabilite Yönteminin Seçimi.....	47
3.8.	Güvenlik Sayısının Seçimi .....	48
3.9.	Yamaç Duraylılık Analizleri .....	50
3.9.1.	Riskli Bölgelerin Tespiti.....	50
3.9.2.	Limit Denge Analizleri.....	53
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
5.	KAYNAKLAR.....	66
6.	EKLER.....	71
	ÖZGEÇMİŞ .....	72

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HAVUZLU HEYELANININ (YUSUFELİ, ARTVİN) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ  
AÇISINDAN İNCELENMESİ

Kübra TEZEL

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Hakan ERSOY  
2015, 70 Sayfa, 1 Sayfa Ek

Bu çalışma kapsamında, Artvin barajının (Yusufeli-Artvin) su tutmasıyla topuk kısmı gölalanı içerisinde kalacak olan paleo-heyelan malzemenin stabilitesi araştırılmıştır. Çalışmada, derinlikleri 40-120 metre arasında değişen 22 adet sondaj kuyusu açılmış, 11 profilde elektrik rezistivite ve multi-elektrod çalışmaları yapılmıştır. 4 kuyuda 126 adet presiyometre deneyi uygulanmış ve yeraltı suyu gözlemi için 2 adet rasat kuyusu tesis edilmiştir. Çalışmada Janbu yöntemi uygulanarak suyun işletme seviyesinde ve deprem yer ivmesinin 0.25g olması durumunda dairesel-düzlemsel kayma analizleri yapılmış, 0.5-1.5 güvenlik sayısına sahip olası kayma yüzeylerinin 840 metreden aşağı kotlarda olduğu anlaşılmıştır. Analizlerle kaymanın gerileyen şekilde devam edeceği tespit edilmiş, gerileyen kaymalar sonucunda olası heyelan sınırının 640 m kotuna ulaştığı görülmüştür. Tekrarlayan her kayma sonucunda gelişecek yeni kaymada, kayan malzemenin boyutları ve hacmi azalmıştır. Bu durum baraj inşası sonucunda rezervuar suyunun işletme kotuna ulaşması durumunda tüm heyelan malzemesinin etkileneceği bir yenilmenin olmayacağı, daha küçük boyutlarda ve gerileyen nitelikte tekrarlı kütle hareketi riskinin olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj, Göl, Heyelan, Jeoteknik, Havuzlu



Master Thesis

SUMMARY

ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION OF HAVUZLU LANDSLIDE  
(YUSUFELI, ARTVIN)

Kübra TEZEL

Karadeniz Technical University  
Institute of Science  
Department of Geological Engineering  
Consultant: Assoc. Prof. Dr. Hakan ERSOY  
2015, 70 Pages, 1 Appendix

Within the scope of this study, stability of the paleo-landslide material, the toe section of which will remain within the lake area due to the Artvin dam (Yusufeli-Artvin) retaining water, has been investigated. During the study, 22 boreholes, the depths of which vary between 40-120 meters, were drilled and electrical resistivity and multi-electrode studies were performed on 11 profiles. 126 pressure-meter tests were applied in 4 wells and 2 observation wells were established for observation of underground water. Janbu method were applied and circular-planar sliding analysis were performed at an operational level of water and in case of 0.25g earthquake ground acceleration, it was understood that possible sliding surfaces with 0.5-1.5 security numbers had levels below 840 meters in the study. With the analysis, it has been determined that sliding will continue in a retrogressive manner; it was observed that possible limit of the landslide reached 640 m level as a result of the retrogressive sliding. With the new sliding to occur as a result of each recurring sliding, size and volume of the sliding material were reduced. This suggests the result that a failure, which will affect the entire landslide material will not occur in case the reservoir water reaches the operational level as a result of the dam construction, and that there is a risk for a repeated retrogressive mass movement with smaller dimensions.

**Key Words:** Dam, Lake, Landslide, Geotechnics, Havuzlu.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Vadi Çeşitleri (Keskin, 2014).....	5
Şekil 1.2. Çalışma konusu Havuzlu Paleo-Heyelanın yer bulduru haritası.....	11
Şekil 1.3. Çoruh Nehri genel gelişme planı boy kesiti (Sucu ve Dinç, 2008).....	12
Şekil 1.4. Çoruh Havzası üzerinde bulunan barajlar ve hidroelektrik santralleri (Kanık, 2009) .....	13
Şekil 1.5. Çalışma konusu Havuzlu Paleo- Heyelanının topuk kısmının görünümü .....	15
Şekil 1.6. Çalışma konusu Havuzlu heyelanının uydu görüntüsü .....	16
Şekil 2.1. GEO-500 ve GEO-1500 sondaj makinesi .....	24
Şekil 3.1. Türkiye tektonik birliktelikleri, (Okay ve Tüysüz, 1999) .....	26
Şekil 3.2. Havuzlu Paleo-Heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	29
Şekil 3.3. Berta Formasyonu'na ait kalkışist (a) ve bunları kesen bazalt (b) dayklarının polarizan mikroskoptaki görünümü (TN: Sol, ÇN: Sağ) .....	30
Şekil 3.4. Paleo-Heyelan Malzemesi içindeki bloklara ait örnekler ile Berta Formasyonu'na ait metakumtaşının polarizan mikroskoptaki görünümü (a:50 m, b:70 m, c:90 m).....	31
Şekil 3.5. Bölgedeki aktif fayların dağılımı ve aletsel büyüklüğü Mw 6'nın üstünde olan depremler. Kırmızı noktalar, oluşmuş 6.0'dan büyük depremlerin episantırlarını göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992'den değiştirilerek) .....	33
Şekil 3.6. Çalışılan bölgeye ait Türkiye deprem bölgeleri haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996). .....	35
Şekil 3.7. Çalışma alanının içerisinde yer aldığı bölge için NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına (475 yıl) karşılık gelen en büyük yer ivmesi dağılımı (PGA, birim" g") (Erdik ve diğ., 2006).....	35
Şekil 3.8. Silt ve kil boyutlu malzemelerin plastisite kartındaki yeri.....	39
Şekil 3.9. Zeminlerin cinsine ve dane boyuna göre arazi deneylerinin uygulanabilirliği (Coduto, 1999).....	46
Şekil 3.10. A-A' kesiti boyunca olası kayma yüzeylerinin Slide 6.0 programındaki görünümü .....	51
Şekil 3.11. A-A' kesiti boyunca güvenlik sayısı 0.5-1.5 arasındaki kayma yüzeylerinin Slide 6.0 programındaki görünümü.....	52
Şekil 3.12. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası heyelan malzemesinde farklı değerlendirmeye alınacak bölgeler .....	53

Şekil 3.13.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası mevcut durumda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri ( $G = 1.21$ ).....	54
Şekil 3.14.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum seviyede (500 m) olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri.....	54
Şekil 3.15.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde olması durumunda gelişebilecek kütle hareketinin boyutları .....	55
Şekil 3.16.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) ve deprem yer ivmesi değerinin $0.25g$ olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri (1.Kayma).....	56
Şekil 3.17.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) olması durumunda gelişecek kayma yüzeyine ait güvenlik katsayısı (0.81) ve kayma yüzeyi geometrisi (2. Kayma).....	57
Şekil 3.18.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) olması durumunda gelişecek üçüncü kaymanın geometrisi .....	58
Şekil 3.19.	Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün taşkın seviyesinde (507 m) olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri.....	59
Şekil 4.1.	Proje konusu heyelan malzemesinde gelişebilecek borulanma modeli (ince taneli zemin (I) yıkanma yoluyla kaba taneli zemin (II) içine girerek boşlukları tıkar. Kumlu ve çakıllı zona (II) ince materyalin kaçması sonucu gelişen yıkanma; çakıllı zonun çevresinde geçirgen ve zayıf bir zonun (III) gelişmesine olanak kılar).....	64

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. 1953'te yapılan çalışmada belirlenen yıkılma nedenleri (URL-1).....	2
Tablo 1.2. Foster vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada belirlenen yıkılma nedenleri.....	2
Tablo 1.3. Yusufeli Meteoroloji İstasyonunun 1974-2000 yıllarına ait ölçüm değerleri.....	14
Tablo 1.4. Havuzlu ve Demirkent (Yusufeli, Artvin) Paleo-Heyelanlarının genel özellikleri (EİEİ, 1990) .....	19
Tablo 1.5. Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (EİEİ, 1990) .....	20
Tablo 2.1. Çalışma alanında açılan sondajlara ait veriler.....	22
Tablo 2.2. Şişme potansiyeline bağlı olarak zeminlerin sınıflandırılması ve çalışma konusu zeminlerin plastisite dereceleri (O'Neill ve Poormoayed, 1980). .....	23
Tablo 2.3. Proje sahasında Ayson Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş. tarafından 2014 tarihinde açılan sondajlara ait bilgiler .....	24
Tablo 3.1. İnceleme alanının bulunduğu bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş yıkıcı depremler ve parametreleri (Şaroğlu ve diğ., 1992).....	32
Tablo 3.2. Çalışma konusu zeminlerin dane dağılımları ve kıvam limitleri değerleri.....	39
Tablo 3.3. Çalışma alanındaki zeminlerin dane dağılımları ve kıvam limitleri değerleri.....	39
Tablo 3.4. Heyelan malzemesine kayma direnci parametreleri.....	40
Tablo 3.5. İri taneli zeminlerin bazı indeks ve dayanım özellikleri (Bell, 1983, 2007).....	41
Tablo 3.6. İri taneli zeminlerin yeraltı suyu altında ve üstünde birim hacim ağırlık değerleri (Bell, 1983, 2007) .....	41
Tablo 3.7. Presiyometre deney verilerine göre hesaplanmış N60 sayıları .....	44
Tablo 3.8. Presiyometre verileri sonuçlarından yararlanılarak ve ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilen N60 sayılarına göre farklı derinlikler için hesaplanan içsel sürtünme açısı değerleri .....	45
Tablo 3.9. Proje kapsamında yamaç stabilitesi analizinde girdi olarak kullanılan zemin parametreleri.....	47
Tablo 3.10. ABD için farklı yıllarda kabul edilmiş ve farklı şartlar için kabul edilen güvenlik sayıları (F) .....	49
Tablo 3.11. Makaslama direnci parametrelerinin kullanımına göre kabul edilen güvenlik sayıları .....	49

Tablo 4.1. Yamaç stabilitesi analizinde girdi olarak kullanılan zemin parametreleri.....	60
--	----

## SEMBOLLER DİZİNİ

BHA	: Birim hacim ağırlık
c	: Kohezyon
CI	: Kıvam indisi
CL	: Düşük-orta plastisiteli inorganik çakıllı-kumlu-siltli-yağsız killer (illit)
CU	: Konsolidasyonlu drenajsız deney
CPT	: Koni penetrasyon testi
$E_m$	: Presiyometre modülü
F	: Güvenlik katsayısı
g	: Yer ivme katsayısı
GC	: Killi çakıl
GP	: Kötü derecelendirilmiş çakıl
GW	: İyi derecelendirilmiş çakıl
INK	: İnklinometre deneyi
LL	: Likit limit
N	: Vuruş sayısı
$N_f$	: Ham SPT-N değerleri
$N_{60}$	: Enerji oranına ( $E_r$ ) ve kuyu düzeltmesi faktörlerine göre normalize edilmiş SPT-N değeri
PI	: Plastisite indisi
PL	: Plastik limit
RQD	: Kaya kalite göstergesi
SC	: Killi kum
SCR	: Sağlam karot yüzdesi
SM	: Siltli kum
SP	: Kötü derecelendirilmiş kum
SPT	: Standart penetrasyon testi
SW	: İyi derecelendirilmiş çakıl
TCR	: Toplam karot yüzdesi
UU	: Konsolidasyonsuz drenajsız deney

- $\emptyset$  : İçsel sürtünme açısı  
 $\gamma_n$  : Doğal Birim Hacim Ağırlık  
 $\gamma_d$  : Doygun Birim Hacim Ağırlık

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Artvin Barajı ve HES Projesi, Doğu Karadeniz Bölümü, Orta Çoruh Havzasında ve Çoruh Nehri üzerinde planlanmış olup, inşası halen devam etmektedir. Artvin Barajının yüksekliği talvegten 135 metre, temelden 180 metredir. Kret uzunluğu 277.90 metre olan baraj, kemer tipidir. Tamamlandığında su tutması sonucu baraj gölü maksimum su seviyesi 500 metre, minimum su seviyesi kotu 499 metreye ulaşacaktır. Araştırma konusu Havuzlu paleo-heyelan alanı (Yusufeli-Artvin), Artvin barajının su tutması ile baraj rezervuar alanı içerisinde kalacak, baraj gölü maksimum su seviyesi paleo-heyelan topoğrafyasına kadar erişecektir. Bu çalışma kapsamında; inşası devam etmekte olan Artvin barajının su tutmasıyla birlikte topuk kısmı gölalanı içerisinde kalacak olan paleo-heyelan malzemenin yanal ve düşey devamlılığı jeolojik çalışmalar ile belirlenmiş, farklı koşullar için paleo-heyelan malzemesinin bulunduğu yamacın duraylılığı araştırılmıştır.

### **1.2. Barajlarda ve Rezervuar Alanında Meydana Gelen Yenilmeler**

Belirli bir su hacmini tutmak için doğal ve/veya yapay malzeme kullanılarak yapılan su setlerine “baraj” adı verilir. Barajlar; elektrik enerjisi üretmek, taşkınları denetim altında tutmak, sulama ve içme suyu temin etmek gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle baraj yeri ve göl alanındaki kaya birimlerin, litolojik ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi çok önemlidir. Kaya ortamının taşıma gücü, su tutma özelliği ve suyla temasta kaya kütlelerinde olabilecek değişimler önceden belirlenmelidir. Ayrıca, baraj beslenme alanına düşen yağış miktarı ve süresi, akarsuların taşkın debileri ve dalga etkileri baraj inşaatından önce saptanmalı ve havzanın hidrolojik, topoğrafik ve jeolojik durumu ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmelidir (Ertunç, 2003).

Barajlar genel olarak çok güvenli yapılar olmalarına karşın çok nadir de olsa baraj yenilmeleri meydana gelmektedir. Dünyada 300’den fazla büyük baraj yenilmesi meydana gelmiştir ve bunların % 35’inin nedeni; hatalı dolusavak projelendirilmesi ve dalga etkisi (hatalı hidroloji), % 25’inin sızma, borulanma, yüksek boşluk suyu basıncı ve jeolojik faktörler, % 40’ının ise kötü inşaat materyallerinin kullanımı ve yetersiz bakım olarak kayda geçmiştir.



Dünyada yıkılan barajların % 77'si toprak dolgu baraj, % 6'sı beton baraj, % 5.8'i hidrolik baraj, % 5.8'i toprak dolgulu beton baraj ve % 7'si kaya dolgu ve toprak kaya dolgu barajlardır. Toprak dolgu barajlar baraj tarihinde ilk yıllarda yapılan barajlar olduğundan yıkımlar daha çok bu barajlarda gözlenmiştir. Bu tip barajların yapımında özellikle dolgu kısmında oldukça dikkatli olunmalıdır. % 5.8 ile hidrolik barajların yıkılma sebebi geçmiş yıllarda bu tip baraj yapımının yaygın olmasından kaynaklanmaktadır.

İlk baraj yıkılma çalışmaları 1953 yılında, 1850-1950 yıllarında meydana gelmiş 200 örnekle yapılmıştır (URL-1) (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. 1953'te yapılan çalışmada belirlenen yıkılma nedenleri (URL-1)

Yıkılma Nedenleri	%
Dolu savak veya hava payı yetersizliği nedeniyle baraj üzerinden su aşması	30
Sızma ve borulanma	25
Şev kaymaları	15

Foster vd. (2000)'nin baraj yıkılmaları üzerine yaptıkları çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 1.2'de verilmiştir (Tosun, 2004).

Tablo 1.2. Foster vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada belirlenen yıkılma nedenleri

Yıkılma Nedenleri	%
Üstten aşma	48.4
Borulanma	46.1
Şev kayması	5.5

Zemin ve kaya mekaniğindeki gelişmeler sonucu şev kayması sonucu yıkılmaların çok azaldığı, fakat üstten aşma ve borulanma nedeni ile yıkılmaların hala önemini koruduğu anlaşılmaktadır. Son yüzyılda yaşanan baraj yıkılmaları, baraj tasarım ve inşaat teknolojisindeki gelişmeler incelendiğinde barajların kret üzerinden su aşması, şev dayanımında ortaya çıkan hasarlar ve borulanma sonucu yıkıldıkları tespit edilmiştir. Yarım asırlık bir süre sonrasında baraj tasarım teknolojisindeki gelişmeler ve yapılan emniyet çalışmaları sonucu eski barajların rehabilite edilmesi ile birlikte şev duraylılığı sonucu yıkılmalar oldukça azalmıştır (Foster, 2000).

Genelde baraj inşasından önce saha karakterizasyonuna yönelik yapılan jeoteknik çalışmalar; baraj aks yerinde, abatmanlarda, dolusavak ve santral gibi mühendislik yapılarının inşa edileceği alanlarda yoğunlaşmakta, rezervuar alanında bu tip çalışmalar yeterli nitelikte yapılmamaktadır. Bu durumda da göl alanında özellikle kütle hareketi şeklinde problemlerle sıkça karşılaşılmaktadır. Dünya'da yıkılan barajların yaklaşık % 10'unda ise baraj sahası ve özellikle göl alanında meydana gelen heyelanlar etkili olmuştur. Heyelan nedeniyle barajların yıkılması sonucunda meydana gelen can ve mal kayıpları, barajların güvenliği açısından heyelan araştırmalarını daha da önemli kılmıştır.

Ülkemizde gerek yanlış mühendislik uygulamaları gerekse jeolojik yapının yeterli tanımlanmaması sonucu yıkılan bir baraj olmamakla beraber, göl alanında, derivasyon tüneli çevresinde, dolu savak güzergâhında ve santral alanında kütle hareketi gelişmiş birçok baraj bulunmaktadır. Hemen hemen her barajda çoğunlukla rezervuar alanı ve çevresinde küçük ölçekli kütle hareketi problemiyle karşılaşmıştır. Son yıllarda Doğu Karadeniz Bölümü'nde özellikle Çoruh Havzası'nda birçok baraj planlanmış, birçoğunun yapımına başlanmış ve bu durum, sarp topografyaya sahip havzada kütle hareketi problemini de beraberinde getirmiştir.

### **1.3. Jeolojik, Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmaların Önemi**

Sınırlı su kaynakların kullanımında önemli bir rolü olan barajlar ve göletlerinin yapılacağı yerlerin jeolojik, jeofizik ve jeoteknik özelliklerinin çok iyi tespit edilmesi gerekir. Bu durum, 1928 yılında, Amerika'da St. Francis Barajının yıkılmasından ve 436 kişinin hayatını kaybetmesinden sonra daha da artmış ve gittikçe önem kazanmıştır. Baraj yapım öncesinde fizibilite çalışmalarının eksik ya da hatalı yapılması, baraj rezervuar alanı ve baraj yeri seçiminde uygun alanların seçilmemesi sonucunda; bazen onarımı mümkün olmayan bazen de çok önemli maliyetler gerektiren problemler ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar karşısında barajlar aniden yıkılmakta ve sonuçlar can ve mal kaybına neden olabilmektedir (Cedar Barajı, 1914). Bununla birlikte bazı durumlarda baraj maliyetinden daha yüksek maliyetler ile ıslah çalışmaları yapılmıştır.

Bugün ön çalışma, kesin proje, inşaat ve izleme gibi baraj projelerinin her aşamasında baraj mühendisleriyle, baraj jeolojisi konusunda uzmanlaşmış jeoloji ve jeofizik mühendisleri ekip halinde çalışmakta ve bunun sonucu olarak uygun baraj yerleri saptanmakta, fizibilite çalışmaları yapılmakta ve projeler hazırlanmaktadır. Dünyanın her

yeride yapılan çalışmalarda, ön projeler hazırlanmadan önce, baraj yerlerinin ve rezervuar alanlarının ayrıntılı jeolojik, jeofizik, jeoteknik, tektonik ve depremsellik incelemeleri yapılmakta, malzeme türleri ve yerleri saptanmakta, yağış alanlarının erozyon etütleri yapılmaktadır. Bugün artık baraj yeri, baraj gölü, baraj malzemesi, baraj yağış alanı ve çevre sorunları çeşitli konularda uzman mühendisler tarafından incelendikten ve olumlu sonuçlar elde edildikten sonra barajların yapımına başlanmaktadır (Erguvanlı, 1982).

Barajlar, taşıma gücü ve sızma yönünden güvenli veya güvenliği iyileştirme ile sağlanabilecek alanlar üzerine inşa edilmelidir. Dolgu barajlarda jeolojik olarak en önemli faktör barajın oturacağı alanın mühendislik özellikleridir. Eğer temel malzemesi bütünü ile aynı ise, rezervuarda, farklı hidrolik yüksekliğe sahip iki nokta arasındaki hidrolik eğim farkından dolayı meydana gelen bir borulanma veya barajda bir göçme oluşabilmektedir. Eğer temel üniform değilse, iri taneli malzeme yerinde kalırken, ince taneli malzemenin uzağa taşınmasıyla, stabilite bozulmamakta fakat temel daha geçirimli hale gelmektedir (Tosun, 2004). Borulanma göçmesinin diğer bir nedeni ise, içsel erozyondan kaynaklanmakta olup, bu erozyon mansap topuğundan başlayarak, barajın tabanı boyunca sızmanın membaya ulaşmasına neden olabilmektedir. Bütün temel içindeki ve borulanmanın başladığı barajın mansap topuğundaki sızma kuvvetlerinin büyüklüğü, sızma suyuna hareket veren basıncın hidrolik eğimine bağlıdır ve genellikle, geçirimsiz zeminler, borulanma açısından şüpheli zeminler değildir. Çünkü geçirimsiz zemin, sızma kuvvetlerine ve oluşacak deplasmanlara karşı büyük bir direnç göstermektedir.

Beton barajlarda ise, nehir tabanından ziyade yamaçlar dikkate alınmakta ve bu birimler iyileştirilerek uygun hale getirilmektedir. Barajlar, suya istinat eden nitelikte yapılar olmaları nedeniyle, temel zemini hem taşıma gücü ve oluşacak oturmalar bakımından hem de sızma akımı yönünden detaylı olarak incelenmelidir (Tosun, 2004). Kaya temeller, barajlar için, taşıma gücü yönünden herhangi bir problem yaratmamaktadır. Hatta zayıf kaya temelleri, çoğunlukla zemin temellere tercih edilmekte ve bu tip bir temelin seçiminde kaya kütlelerinin genellikle homojen olduğu ve baraj ile rezervuar işlevlerinde problem yaratmayacağı esas alınarak, bu tip temeller geçirimsizlik yönünden araştırılmaktadır. Eğer kayanın içindeki eklemler, geçirimli tabakalar veya düzlemler boyunca dokanak erozyonu ile aşırı kaldırma basıncı oluşabilecek ve yüksek su kayıpları görülebilecekse, baraj temelinde geçirimsizliği sağlayacak ölçüde enjeksiyon yapılır (Shroff ve Shah, 1993). Rezervuar alanında ise özellikle zemin niteliğinde olan

malzemenin dane çapı dağılımı, boşluk oranı, boşluk ve akım kanallarının biçimi, zeminin suya doygunluk derecesi ve yeraltı suyunun özellikleri (yoğunluk, viskozite, vs.) zeminlerin geçirimsizlik değerini ve stabilitesini etkileyen başlıca faktörlerdir.

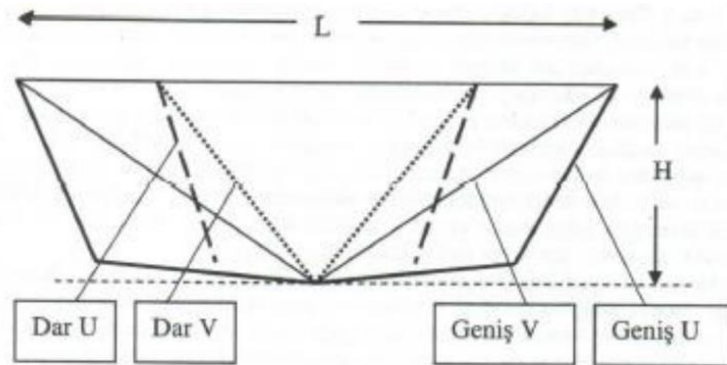
#### 1.4. Baraj Yeri ve Tipi Seçimine Etki Eden Faktörler

Bir akarsu üzerinde baraj yapılması düşünüldüğünde güvenlik, maliyet ve akarsuyun enerjisinden en fazla yararlanma öncelikli olarak göz önünde tutulur. Bu anlamda baraj yeri ve tipi seçimine etki eden faktörler 6 ana başlıkta incelenebilir.

##### 1.4.1. Vadi Şekli

Baraj yerinin seçimindeki önemli faktörlerin başında vadi şekli gelmektedir. Vadi tipleri, üzerlerine inşa edilecek olan barajların tiplerinin de belirlenmesindeki önemli bir kriterdir. Bir vadinin şekillenmesi, vadinin içerisinde açıldığı jeolojik birimlerin özelliklerine, vadiyi açan faktöre (buzul, akarsu), vadinin yüksekliğine, akarsu akış sistemine, vadi oluş evresinin hangi aşamasında oluşuna bağlı olarak değişir. Vadi şekli ve genişliğine göre baraj tipleri seçilir. Örneğin, çok geniş bir vadiye beton kemer baraj tercih edilmemektedir. Ayrışmamış, az çatlaklı, kaya ortamından oluşan bir vadiye ise yapısal unsurlar da uygunsa akla önce kemer tipi baraj ya da ağırlık barajı yapılması düşünülür (Keskin, 2014).

Vadi çeşitleri; (1) Dar V tipi, (2) Geniş V tipi, (3) Dar U tipi, (4) Geniş U tipi şeklinde sıralanabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Vadi Çeşitleri (Keskin, 2014)

## **1.4.2. Litolojik ve Yapısal Özellikler**

### **1.4.2.1. Mağmatik Kayaçların Baraj Yapımına Etkisi**

Granit, siyenit, gabro gibi kayaçlar, mağmatik kayaçların derinlik kayaçlarını oluştururlar ve bu kayaçlar ayrışmamış, çatlaksız kayalar olmaları durumunda en ideal baraj yerlerini oluştururlar. Bu tür çok sağlam kayalar, boşluk ve erime kanalları içermediklerinden geçirimsiz olup tek eksenli basınç dirençleri yüksektir. Çok sağlam kayalar üzerine, ekonomik olmaları nedeniyle genellikle beton barajlar yapılması istenilir. Ancak kayaçların ayrışma derecesi ve içerdiği süreksizliklerin özellikleri taşıma gücü ve geçirimsizlik açısından son derece önemlidir. Bu nedenle derinlik kayaçları üzerine inşa edilecek beton baraj yerinin ayrışma derinliği, ve geçirgenliğinin saptanması için derin ve büyük çaplı sondaj, shaft, yarma ve galeri araştırma yöntemleriyle ve yerinde deneylerle detaylı araştırılmalıdır. Barajın oturacağı alanda yüzeyde yer alan ayrık kesimler sıyrılıp, temel sağlam kayaçlar üzerine oturtulmalı, eğer temel kayası çatlaklı ise kayanın karakterine göre, gerekli derinliklerde tüm temel alanında çimento enjeksiyonu yapılmak suretiyle çatlaklar tıkanarak geçirimsizlik sağlanmalıdır. Ayrıca gövde betonunun birinci seviyesinden sonra temel kayası ile gövde betonunun bağlantısını ve su kaçaklarının olmamasını sağlamak amacı ile çimento enjeksiyonu yapılmalıdır. Gövde ile temel arasında sürtünme direncini arttırmak amacı ile temel kaya yüzeyinin pürüzlendirilmesi ya da basamaklandırılması gerekmektedir (Tarhan, 2002).

Volkanik ya da yüzey kayacı olarak adlandırılan bazalt, andezit, riyolit trakit türü kayaçlar ayrışmamış, çatlaksız olduklarında baraj yeri için çok elverişlidirler. Daneler arası boşluklar içeren tüfler ile aglomeralar, bileşim ve ayrışma ve şişme özelliklerinin daha dikkatli incelenmesini gerektiren volkanik kayaçlardandır. Soğuma çatlakları ve akma yapılarını içeren volkanikler, çoğu zaman tuf ve aglomeralar ile ardışıklı olarak bulunurlar veya bunların arasında ender de olsa, kireçtaşı, kumtaşı gibi sedimanter kayaçlar da yer alabilir. Bu durumda da kayaçlar, yatay ya da düşey yönde farklı geçirgenlik gösterirler. Geçirgenliğin önlenmesi için kaya türüne bağlı olarak farklı enjeksiyon yapılması gerekir.

### **1.4.2.2. Metamorfik Kayaçların Baraj Yapımına Etkisi**

Metamorfik kayaçlar; fillit, şist, gnays gibi belirgin süreksizlikleri içeren yapraklanma kazanmış metamorfik kayaçlar ile mermer, kuvarsit ve amfibolit gibi

yapraklanma içermeyen, masif, metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Karstik mermer hariç bu tür kayalarda çoğu zaman su kaçağı sorunu yoktur.

Zayıflık düzlemlerini oluşturan yapraklanma içeren kayalar, süreksizlik düzlemleri boyunca gelişmiş epidot, klorit gibi su ile temasları halinde şişebilen mineralleri içerirler ve bu yüzeyler boyunca ayrılmaya uğrarlar. Ayrıştıkları zaman, taşıma güçleri ve elastisite modülleri azalır, baraj gölü yamaçlarında heyelan sorunlarına neden olabilirler. Bu bakımdan yapraklanma gösteren kayaların süreksizliklerinin doğrultu ve eğimleri, özellikleri çok ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir.

Çatlak ve erime boşlukları içermeyen mermerler ile yapraklanma içermeyen kuvarsit gibi kayalar, ayrışmadıkları ve süreksizlik ve/veya zonlarını içermedikleri sürece geçirimsiz olup iyi bir temel niteliğindedirler. Bu kayalardan; kireçtaşlarının metamorfizmaya uğramasıyla oluşmuş mermerler  $\text{CaCO}_3$  bileşimli olduklarından, suların etkisiyle ayrışmış ve çok önceden oluşmuş ufak ya da büyük boyutlarda karstik boşlukları içerebilirler. Baraj aksı ve civarında bu tür boşluklar var ise gerek baraj gölünden gerekse baraj gövdesi ve civarından aşırı su kaçakları olacak, bu boşlukların olabildiğince kapatılması gerekecektir.

Genel olarak metamorfik kayalar; ayrışmadıkları, erime boşlukları içermedikleri, süreksizlik, doğrultularının baraj eksenine paralel ve eğimleri memba yönüne doğru olduklarında, baraj yeri olma yönünden tehlike arz etmezler.

#### **1.4.2.3. Sedimanter Kayaların Baraj Yapımına Etkisi**

Sedimanter kayalar, litolojik ve yapısal özelliklerine bağlı olarak baraj yeri olma bakımından bazı durumlarda çok iyi temel olma özelliği gösterirken, bazı durumlarda ise duyarlılık veya geçirgenlik ve taşıma gücü açısından problemlere neden olabilirler. Bu tür kayaların baraj yeri olabilme özellikleri çok farklıdır.

Çakıl, kum, silt gibi tutturulmamış ve zemin olarak adlandırılan ayrık sedimanter kayalar çok geçirimli olup buralara baraj yapılması düşünüldüğünde geçirgenlik yanında oturma problemleri ile de sıkça karşılaşılacağı bilinmektedir. Genellikle alüvyonlarda görülen bu durum, geçirimsizliğin sağlanması, baraj yerinin taşıma gücünün artırılması ve boşluk suyu basıncının kaldırılması için duyarlı şerbet veya kimyasal maddelerle zemin iyileştirilebilir. İyileştirme alüvyon kalınlığının fazla olduğu durumlarda da yapılmaktadır.

Ayrık tanelerin tabii bir çimento ile tutturulmuş olduğu ve kaya olarak adlandırılan kumtaşı türü tutturulmuş kırıntılı kayalar, baraj yeri olma yönünden elverişlidirler. Bu tür kayaların dirençleri çimento cinsine, tanelerin tür ve boyutlarına, şekillerine, dizilişlerine bağlı olarak değişmektedir. Çimento silisli, kalsiyum karbonatlı veya killi olabilir. Kayanın tanelerini tutturan silisli çimento dayanımı arttırıcı, killi çimento azaltıcı özelliğindedir. Süreksizlik sıklığı ve süreksizlik düzlemleri ve konumları, çatlak dolgularının killi olmaları veya sağlam kaya istifinde kil ara tabakaları, dayanımı ve kayma direncini azaltacak, şevlerde de kayma yüzeyleri oluşturacaktır.

Çimentolanmış kayaların sert, kırılğan olmaları, kazılarda yapılan patlatmalardan da büyük ölçüde etkilenebilir. Bu nedenle baraj gövdesi yeri kazılarının; son 0.5 m'inde patlayıcı madde kullanılmadan kazılmalı, kış ayları boyunca açıkta kalmaları durumunda donma ve erime gibi olaylardan bozulma olmuş ise bu kesimler sıyrılarak uzaklaştırılmalıdır.

Çimentolanmış tortul kayalardan, kireçtaşları ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomitler [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] veya killi kireçtaşları üzerinde baraj yapılmak istendiğinde öncelikle karstik araştırmaların yapılması gereklidir. Jeolojisi iyi araştırılmış kireçtaşları ve dolomitler, büyük su kaçaklarına neden olan irili ufaklı erime boşlukları ve mağaralar içermiyorlar ise taşıma güçleri de yüksek olacaktır. Bu tür kayaların baraj yapıldıktan sonra bünyelerinde oluşacak güncel erimeleri, çok az olacak, baraj ömrü boyunca bir problem yaratmayacaktır. Diğer bir ifadeyle bu tür kayalar çok çabuk eriyen jips ve tuzlu çökeller gibi tehlike arz etmezler. Örnek olarak beton, birçok kireçtaşlarından daha çabuk ve çok eriyebilmektedir. Kireçtaşlarında önemli olan erimeler ve oluşturdukları karstik boşluklar, binlerce yıllar ile ifade edilebilecek jeolojik zamanlar boyunca gelişmiş olanlardır. Baraj şayet kireçtaşları üzerine oturtulacaksa, ayrılmış seviyeler temizlenmeli, boşluklar doldurulmalıdır.

Beton barajlar için temizlenmiş temel kayası yüzeyi ile beton gövde arasına, zayıflık zonları bulunmaması durumunda, herhangi özel bir işlem yapılmasına pek gerek yoktur.

Marn, silt, kil, silttaşı ve kilttaşları temellerde şişme, kabarma ve şev duraysızlığı sorunları oluşturabilirler. Çamurtaşları (laminasız siltli kilttaşı) ve şeyller (laminalı siltli kilttaşı) geçirimsizdir. Ancak suyla temasta stabilitesi bozulan sedimanter kayalardandır. Kil, şeyl, ve benzer tür kayaların taşıma güçleri ve kesme dirençleri düşük olduğundan, beton baraj temellerinden ziyade ekseriyetle dolgu baraj temelleri için uygundur. Şeyl ve killi zeminlerde temel kazısından sonra temel tabanı yağmurlardan etkileneceğinden,

gövde inşaatı kısa zamanda yapılmalı ya da uzun süre açıkta kalacak kazı yüzeyleri grobeton ile kaplanmalıdır.

### **1.4.3. Hidrolojik ve Hidrolik Durumu**

Baraj yapılmadan akarsu beslenme alanına düşen yağış ve buharlaşma miktarı ölçülür. Ayrıca taşkın debileri ve dalga etkileri hesaplanır. Barajın dolu savak projesi bu taşkın debisine göre hesaplanır. Barajın yüksekliği ise bu göl alanında toplanacak su miktarına göre belirlenir (Sivrikaya, 2014).

Rezervuar alanı su geçirmez özellikte olmalıdır. Sızıntıları, rezervuar ve baraj gövdesinin bulunduğu yerde güvenlik açısından sıkıntıya sokmayacak ve ayrıca ekonomik anlamda önemli su kaçaklarına sebebiyet vermeyecek derecede geçirimsiz olmalıdır. Yüzeyde yapılan hidrojeolojik amaçlı gözlemlerin sonuçları sondaj verileri ile desteklenmelidir.

Rezervuar alanının seçiminde; rezervuar maliyeti (yol, demiryolu, mezarlık ve yerleşim yerlerinin başka yerlere aktarılması) aşırı olmamalıdır. Rezervuar alanı yeterli kapasiteye sahip olmalıdır.

Derin rezervuar sığ olanına tercih edilir. Çünkü, birim kapasiteye düşük araziye maliyetindedir, daha az buharlaşma kaybı gerçekleşir, daha az zararlı ot büyümesi gerçekleşir.

Fazla sediman üreten (yankollar) bölgelerden, sızmanın beklendiği arazilerden, heyelana duyarlı alanlardan kaçınılmalıdır. Su kalitesi kullanım amacına uygun olmalıdır.

### **1.4.4. Malzeme Durumu**

Baraj yapımında kullanılacak malzemenin uygun nitelikte, yeterli miktarda ve baraj yerine yakın olması gerekir. Ayrıca baraj tipinin seçiminde de etkilidir. Örneğin çekirdek malzemesi ve dolgu malzemesi varsa toprak dolgulu baraj; agrega varsa beton baraj tipi seçilir. Baraj inşaatı sırasında yapılacak harfiyat malzemesinin de kullanılıp kullanılmayacağı araştırılır.



#### **1.4.5. İklim Koşulları**

Baraj yapılan yerin iklimi baraj tipi seçimini etkiler. Yağışlı ve soğuk (don yapan) yerlerde toprak dolgulu baraj malzemesinin yerleştirilmesi zor olduğundan buralarda çekirdek kısmı ince barajlar yapılır. Don yapan bölgelerde beton dökümü zordur. Kurak bölgelere toprak baraj gövdesinin kompaksiyonu, beton barajlarda betonun prizi esnasında soğutulması için gerekli suyun sağlanması gerekir.

#### **1.4.6. Memleketin Ekonomik Durumu ve İşçilik**

Baraj yapılırken ülkenin ekonomik durumu, endüstriyel gelişmesi, demir ve çimento üretimi baraj tipi seçiminde etkili olur. Örneğin; GAP projesi başlamadan Güneydoğu Anadolu 'da çok sayıda çimento fabrikası yapılmıştır. Kemer tipi barajlar vasıflı işçilik gerektirir. Yörede bu düzeyde elemanların bulunması gerekir.

#### **1.5. Çalışma Alanının Genel Özellikleri**

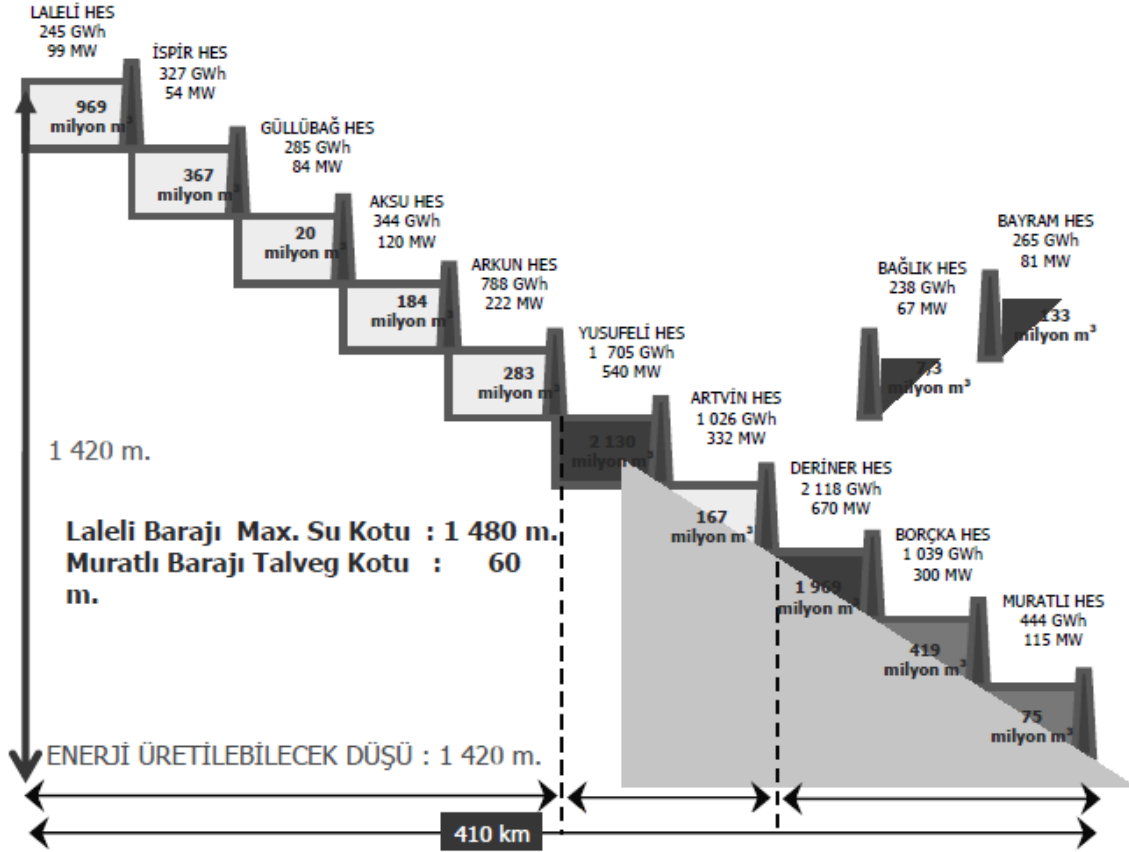
Artvin Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Doğu Karadeniz bölgesinde, Orta Çoruh havzasında ve Çoruh Nehri üzerinde yer alacaktır. Proje sahasına kuzeyden Hopa-Artvin, güneyden de Erzurum-Yusufeli üzerinden ulaşılmaktadır. Baraj yeri Erzurum şehrinin 140 km. kuzeydoğusunda, Artvin şehrinin en az 50 km. güneybatısında bulunmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çalışma konusu Havuzlu Paleo-Heyelanın yer bulduru haritası

Ülkemiz sınırları içerisinde Bayburt ilinde doğan ve toplam uzunluğu 431 km olan Çoruh Nehri'nin son 20 km'si Gürcistan sınırları içerisinde olup, bu ülke sınırları içerisinde Karadeniz'e dökülmektedir (Şekil 1.3). Nehir yılda 5.8 milyon m<sup>3</sup> rusubat taşımakta olup, Çoruh Havzası bu özelliği ile en fazla erozyona maruz kalan havzalarımızdan biridir (URL-2, 2015).

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nün, 1964 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlanmasının ardından havza çalışmalarını yeniden düzenleyerek, ülke su kaynaklarını 26 havzaya bölmüştür. Bu havzalardan "Çoruh Havzası'nın Enerji Olanakları İstisaf Raporunu" DSİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ortak çalışarak 1969 yılında tamamlayıp, Çoruh nehri ve kollarını (Şekil 1.4) proje kapsamına almışlardır. Bu tarihten itibaren baraj yerlerindeki temel (zemin) araştırmalarına başlanarak elde edilen sonuçlarına göre 1982 yılında Çoruh Havzası Master Planı hazırlanmıştır. Barajların fizibilite (planlama-yapılabilirlik) raporları ise 1986 yılında tamamlanmış ve kesin proje hizmetleri araştırmaları 1992' de bitirilmiştir.



Şekil 1.3 Çoruh Nehri genel gelişme planı boy kesiti (Sucu ve Dinç, 2008)

Çoruh havzası yıllık yaklaşık 6.3 milyar m<sup>3</sup> olup, ülkemizin toplam brüt potansiyelinin (186 milyar m<sup>3</sup>), %3.4'ünü teşkil etmektedir. Söz konusu proje kapsamında, Pazaryolu yakınlarından Çoruh nehrinin ülkemizin topraklarını terk ettiği Gürcistan sınırına kadar, Çoruh nehri ana kolu üzerinde on büyük barajın yapımı planlanmıştır. Bunlar, Yukarı Çoruh Havzası'nda; Laleli, İspir, Güllübağ, Aksu ve Arkun, Orta Çoruh Havzası'nda; Yusufeli ve Artvin, Aşağı Çoruh Havzası'nda; Deriner, Borçka ve Muratlı Barajlarıdır. Yusufeli Havzası, Çoruh Vadisi'nden başlayarak Altıparmak Dağları'nın güney yamaçları boyunca yükselmektedir. Burhal Vadisi buranın ana vadilerinden biridir. Yükseklik dere yatağında 1000 m civarında iken Yaylalar Köyü'nde 2300 m'ye ulaşır ve sırtlarda 3000 m'yi geçer. Dere yatağı derin bir vadiye sıkıştığından, her iki yamaçta eğimi çok fazla olan volkanik kayaları çıplak görmek mümkündür.



Şekil 1.4. Çoruh Havzası üzerinde bulunan barajlar ve hidroelektrik santralleri (Kanık, 2009)

Artvin Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Doğu Karadeniz Bölümünde, Orta Çoruh havzasında ve Çoruh Nehri üzerinde yer almaktadır. Proje sahasına kuzeyden Hopa-Artvin, güneyden de Erzurum-Yusufeli üzerinden ulaşılmaktadır.

Artvin İli genelinde Karadeniz iklimi ile karasal iklimi arasında bir geçiş iklimi tipi hakim olmakla birlikte Yusufeli İlçe merkezi ve yakın çevresi ile Çoruh Nehrine yakın yerlerde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçer. Yusufeli ilçesi 1300-1400 metre dolaylarındaki ortalama yükseltisi ile bölgenin diğer bölümlerine oranla daha yüksek bir yükseltiye sahiptir. Buralarda Akdeniz ikliminin tipik bitki türleri olan zeytin, incir, üzüm gibi meyveler bolca yetişir. Vadinin yüksek kesimlerinde karasal iklim hüküm sürer. Yazlar serin, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar genelde ilkbahar sonu ve yaz başlarında görülür.

Yörenin iklim özelliklerini tam olarak yansıtan ve uzun süreli rasat değerlerine sahip bir meteoroloji istasyonu yoktur. En yakın meteoroloji istasyonu araştırma sahasına

yaklaşık 50 km mesafede olan ve 1974-2000 yılları arasında gözlem çalışmalarında bulunan ve sonra kapanan Yusufeli Meteoroloji İstasyonudur. Bu istasyonun 1974-2000 yılları arasındaki gözlemleri sonucu elde edilen bazı iklim verileri Tablo 1.3’de verilmiştir.

Tablo 1.3 Yusufeli Meteoroloji İstasyonunun 1974-2000 yıllarına ait ölçüm değerleri

Meteorolojik Elemanlar	AYLAR												Yıllık (Ort)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (°C)	1.2	2.7	8.1	14.8	19.2	22.9	25.7	26	22.1	16	8.5	2.9	14.2
Ortalama Yağış (mm.)	21.8	19.8	20.3	30.2	28.9	31.7	32.2	15.5	14.5	22.3	26.5	25.5	289.2
Ortalama Nisbi Nem (%)	68	62	58	72	60	66	60	58	55	60	64	70	63

Baraj, Artvin şehrine bağlı Yusufeli ilçesinin yaklaşık 30 km., Çoruh Nehri ile bunun ana kollarından Oltu Nehrinin birleşim yerinin yaklaşık 20 km. mansabında yer almaktadır. Proje hidroelektrik enerji üretmek üzere planlanmıştır. Temelden yüksekliği 180 metre, talvegten yüksekliği 135 metre olan barajın kret uzuluğu 277.90 metre, kret kotu 515 metredir. Proje kapsamında, kemer ağırlık bir baraj inşası suretiyle, aktif depolama kapasitesi  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$  ve toplam depolama kapasitesi  $167 \times 10^6 \text{ m}^3$  olan bir depolama meydana getirilecek, baraj eteğinde iki üniteli 332 MW’lık bir santral inşa edilecektir.

Barajın su tutması sonucu baraj gölü su seviyesi 500 metreye ulaşacaktır. Gölde minimum su seviyesi 499 metre maksimum su seviyesi 500 metredir. 20 km uzunluğunda olacak gölde toplam 167 milyon  $\text{m}^3$  su birikecektir. Bu durumda,  $15540 \text{ km}^2$  lik drenaj alanında ve baraj gövdesine akış yukarı yaklaşık 8 km uzaklıkta bulunan Havuzlu Paleo-Heyelanı’nın (Şekil 1.5 ve Şekil 1.6) topuk kısmı su altında kalacaktır.



Şekil 1.5. Çalışma konusu Havuzlu Paleo- Heyelanının topuk kısmının görünümü



Şekil 1.6. Çalışma konusu Havuzlu heyelanının uydu görüntüsü

## 1.6. Önceki Çalışmalar

Proje sahası ve çevresinde geçmiş yıllarda birçok jeolojik çalışma yapılmıştır (Ketin, 1949 ve 1951; Getinger, 1956; Altınlı, 1969 ve 1970; Tokel, 1977; İçten, 1979; Kaygusuz, 2000; ). Ancak mühendislik jeoloji çalışmaları 1974 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar baraj yeri ve rezervuar alanlarının mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

İçten (1979), Yusufeli Baraj Alanının Mühendislik Jeolojisi isimli çalışmasında, açılan sondaj ve galeri değerlendirmiş, süreksizlik analizleri yapmış ve 1/1000 ölçekli baraj yeri jeoloji haritası hazırlamıştır.

Düvenci (1980), Zeytinlik Baraj Alanının Mühendislik Jeolojisi isimli çalışmasında, İçten (1979)'in yapmış olduğu çalışmaya benzer şekilde sondaj verilerini değerlendirerek, 1/1000 ölçekli baraj yeri mühendislik jeolojisi haritası hazırlamıştır.

Ertunç (1980), Çoruh Havzası'nda planlanan barajların inşa edileceği yerlerin, göl alanlarının ve tünel güzergâhlarının mühendislik jeolojisi özelliklerini araştırmış, bütün alanları kapsayan 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yaparak kapsamlı bir çalışma ortaya koymuştur.

Baraj jeoloji ile ilgili çalışmalara 1982 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından devam edilmiştir. Bu kapsamda EİEİ tarafından 1982 yılında Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu hazırlanmış, bu çalışma kapsamında ilk olarak tüm havzanın iklim özellikleri, sosyo-ekonomik durumu ve ulaşım olanakları belirlenmiştir. Bu çalışmalardan sonra havzanın jeomorfolojik, jeolojik özellikleri ve tektonik yapısı ortaya koyulmuş, havzada içme ve kullanma amaçlı su gereksinimi belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, havzada 11 Baraj ve HES tesisi önerilmiştir. Önerilen tesisler için detaylı hidrolojik analizler yapılmış, su kaynakları araştırılmış ve dolusavak projeleri için su bütçesi belirlenmiştir. Master plan seçeneklerinde yer alan projeler detaylandırılmış, baraj yeri ve tipi seçimi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Belirlenen bölgeler için kamulaştırma maliyetleri belirlenmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda Çoruh Havzası enerji planı yapılarak projenin ulusal enerji sistemi içindeki önemi tartışılmıştır. Master Plan Raporunda çalışma konusu Artvin Barajı ve HES tesisi İnanlı Barajı olarak tanıtılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde proje konusu baraj talvegten 75 yükseklikte kemer ağırlık tipinde önerilmiştir. 192 MW Kurulu güce sahip barajda yıllık toplam 746.13 Gwh enerji üretimi beklenmektedir. Baraj yeri bu çalışma



kapsamında İnanlı Köyü'ne 1 km uzaklıkta ve Demirkent Paleo-Heyelanının 1 km yukarısında önerilmiştir. Bu durumda baraj yerinin 1 km akış yukarısında bulunan Havuzlu Paleo-Heyelanın topuk kısmının su altında kalacağı görülmüş ve heyelan malzemesinin duraylılığının bozulabileceği düşünülerek ayrıntılı jeolojik etütler önerilmiştir. Önerilen jeolojik etütler aynı yıl yine EİEİ tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan jeolojik etütler sonucunda baraj göl alanında bulunan Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesinin yaklaşık 15-25 metrelik kısmının gölalanı içerisinde kalacağı ve olası heyelandan kaynaklanacak dalganın kemer ağırlık tipindeki barajı olumsuz etkilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1990 yılında Artvin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi hazırlanmış, proje kapsamında baraj inşa edilecek alanın ve çevresinin iklim, hidrolojik, jeolojik ve sismik özellikleri detaylı olarak incelenmiş, derivasyon yapılarının planlaması, baraj tipi seçimi, temel iyileştirme yöntemleri, dolusavak ve dip savak dizaynı, enerji üretim tesislerinin planlanmasına yönelik çalışmalarda bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda Artvin Barajı rezervuar alanında iki büyük heyelanın bulunduğu belirlenmiştir. Bunlardan biri baraj yerine göre akış yukarıda, Çoruh Nehri'nin sol sahilinde ve yaklaşık 8 km uzaklıkta bulunan Havuzlu Paleo-Heyelanı, diğeri ise baraj yerine göre akış yukarıda, Çoruh Nehri'nin sağ sahilinde ve yaklaşık 6.5 km uzaklıkta bulunan Demirkent Paleo-Heyelanıdır. Çalışma kapsamında barajın su tutmasıyla rezervuar alanı içerisinde kalacak olan Havuzlu Paleo-Heyelanı detaylı olarak araştırılmış, heyelan malzemesinin duraylılığı incelenmiş ve yatay yer ivmesi değerinin baraj için 0.3g ve diğer yapılar için 0.15g olması önerilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda heyelan alanında ikincil kaymaya işaret eden iki düzlük alan görülmüştür. Bu nedenle heyelan malzemesi üzerinde farklı alanlarda derinlikleri 40-90 metre arasında değişen 4 adet sondaja ait veriler ve elektrik özdirenç yöntemi ile elde edilen sonuçlar kullanılarak bu malzemenin düşey devamlılığı belirlenmeye çalışılmıştır. Sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen numunelerden yola çıkarak heyelan malzemesi altında bulunan kaya kütlelerinin fillat, gabro ve tüflerden oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmalar sonucu rezervuar alanının küçük olması ve kayma olasılığı olan malzemenin büyük olması nedeniyle Havuzlu çevresinde rezervuar alanının tıkanabileceği savunulmuştur. Bu nedenle rezervuarın tıkanması halinde barajın işlevini devam ettirmesi amacıyla bir by-pas tüneli önerilmiştir. Ayrıca heyelan olması durumunda gelişecek dalga yüksekliği ve bu dalganın baraja zarar verip vermeyeceği de araştırılmıştır. Yapılan

analizlerde oluşacak dalga yüksekliğinin Artvin baraj yerinde 12 metre olacağı, bu yükseklikte bir dalganın baraj için temin edilen hava payları dikkate alındığında küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda Havuzlu ve Demirkent Paleo-Heyelanının genel özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler Tablo 1.4’de sunulmuştur.

Ayrıca Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesinin gelecekteki mühendislik davranışını doğru tahmin edebilmek için aşağıda belirtilen jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerin rezervuar alanı dolmadan belirlenmesi önerilmiştir;

- (1) Heyelan malzemesinin kalınlığı,
- (2) Heyelan malzemesinin dane boyu dağılımı, kıvamlılığı, su içeriği,
- (3) Yeraltı su tablasının durumu ve
- (4) Heyelan kütesinin hareketi (yer değiştirme ve deformasyon)

Tablo 1.4. Havuzlu ve Demirkent (Yusufeli, Artvin) Paleo-Heyelanlarının genel özellikleri (EİEİ, 1990)

Özellikler	Havuzlu	Demirkent
Yusufeli Barajı’na mesafe (km)	12	14
Artvin Barajı’na mesafe (km)	8	6.5
Alan (km <sup>2</sup> )	0.8	1
Ortalama kalınlık (m)	110	-
Potansiyel hacim (m <sup>3</sup> )	86 milyon	57 milyon
Ortalama eğim	22 <sup>0</sup>	23 <sup>0</sup>
Şekil ve tipi	Duraylı değil	Duraylı
Rezervuar derinliği (m)	50	65
Depolama kapasitesi (m <sup>3</sup> )	4 milyon	30 milyon
Baraj yerindeki dalga yüksekliği (m)	12 (Artvin Barajı için)	

1990 yılında yapılan çalışmanın devamı olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1991 yılında Artvin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi kapsamında, Havuzlu Paleo-Heyelan alanında örnekleme çalışmaları yapmış, alınan 6 adet numune üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirmiştir. Ancak bu malzemelerde kayma direnci parametreleri malzeme örselenmesi nedeniyle yapılamamıştır. Bu durumun, bu tür malzemede örselenmemiş numune alınmasındaki güçlükten kaynaklandığı raporda belirtilmiştir. Yapılan elek analizi ve özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar ise Tablo 1.5’de verilmiştir. Bu durumda malzemenin çakıllı, killi-siltli kum olduğu belirtilmiştir.

Tablo 1.5. Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar (EİEİ, 1990)

Örnek No	Çakıl (%)	Kum (%)	Kil, silt (%)	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
1	63	36	1	2.65
2	19	70	11	2.65
3	19	77	4	2.65
4	18	67	15	2.67

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1992 yılında Artvin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında jeolojik harita alımı, sondaj uygulamaları, araştırma galerileri uygulamaları yapılmış, yerinde ve arazi ortamında yapılan deneyler ile zemin/kaya ortamının mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Baraj sahasında 17 adet toplam 1644 metre sondaj, 4 adet 550 metre uzunluğunda galeri açılmış ve bu galerilerde 34 adet yerinde deney yapılmıştır. Bununla birlikte Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi üzerinde toplam 219 metre derinliğinde 4 adet sondaj yapılmış, 15 hat boyunca elektrik öz direnç yöntemi ile jeofizik çalışmalarda bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda heyelan malzemesi genişliğinin üst kotlarda 900 metre, orta kısımlarda 800 metre ve topuk kısmında ise 600 metre olduğu belirlenmiş, heyelanın toplam uzunluğunun 1600 metre, yüzey alanının ise 0.8 km<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Heyelanda bir hareketin olması durumunda, direk olarak bütün kütlelerin aynı anda kayması mümkün olmayacağı, bununla birlikte olası hareketin yerel gelişeceği tahmin edilmiştir. Heyelanının bulunduğu yerde depolama hacmi 4 milyon m<sup>3</sup> tür. Bununla birlikte heyelan malzemesinin 6 milyon m<sup>3</sup> lük hacmi düşünüldüğünde olası bir hareketin rezervuarı bloke edeceği düşünülmüştür.

1974-1992 yılları arasında yapılan detaylı araştırmalar sonucunda Havuzlu Paleo-Heyelanı için aşağıda yazılan sonuçlar elde edilmiştir.

(1) Havuzlunun bütün şev boyunca aynı anda heyelan yapması mümkün olmadığı.

(2) Şevde bazı bölgelerde heyelan riski bulunduğu

(3) Sahada yeraltı suyunun yükselmesi sonucunda heyelan riskini arttırabileceği.

(4) Deprem etkisinin, yeraltı suyu yükselmesine nazaran daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Potansiyel bir şev duraysızlığının söz konusu olduğu sahalarda yapılan inceleme ve araştırmaların başlıca amaçları; duraylılık analizleri için gerekli tüm bilgi ve verileri toplamak, duraysızlık riskini değerlendirmek, şevi tasarlamak ve gerekiyorsa duraysızlığı giderici iyileştirici önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Yapılması gereken çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Bunlar;

1. Büro çalışmaları
2. Jeoteknik saha çalışmaları (Topografik ölçümler ve harita alımı; jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritaları)
3. Jeofizik çalışmalar (Özdirenç, sismik, gravite)
4. Gözlem çukurları
5. Sondaj çalışmaları
6. Yerinde deneyler

2013 yılında yapılan arazi çalışmaları kapsamında öncelikle söz konusu arazinin jeolojik yapısı ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, 8 adet toplam 571 m araştırma sondaj kuyusu (Tablo 2.1) ve 2 adet araştırma çukuru açılmıştır. Ayrıca heyelan yapısı ve su durumunu belirlemek amacıyla yürütülen jeofizik etütlerde 17 profilde iki boyutlu rezistivite (2B Tomografi) çalışması yapılmıştır. Bunlardan 11 adet profil üzerinde rezistivite çalışması ile birlikte SP çalışması da gerçekleştirilmiştir. Elektrik rezistivite yöntemi ile; yeraltındaki farklı iletkenliğe sahip tabakaların özdirençleri ve derinlikleri belirlenir. Bu çalışmada ölçümler, AGI supersting R8 marka çok kanallı aletle alınmıştır. Birleşik sondaj ölçüleri ile hem yatay hem de düşey yöndeki özdirenç değişimleri birlikte araştırılmıştır. Özdirenç ölçümleri ile iki boyutlu Earthimager programı ile ters çözüm yapılarak yer altı yapısı belirlenmiştir. Bu ölçümler 6 profilde 20 metre elektrot uzaklığı ile alınmıştır. Yapılan ölçümlerden profil boylarına göre yaklaşık 200 m derinlik incelenmiştir.

Sondajlardan elde edilen numunelerin mühendislik özellikleri Kaya Mühendislik Zemin-Yapı-Malzeme Laboratuvarında (Trabzon) ve DSİ TAKK Dairesi Zemin Laboratuvarında (Ankara) yapılan deneylerle belirlenmiştir. Yapılan arazi çalışmaları kapsamında Havuzlu köyü çevresinin yer altı yapısını belirlemek, paleo-

heyelan malzemesi ve temel kayanın jeolojik ve jeoteknik özelliklerini araştırmak amacıyla, 8 adet araştırma sondaj kuyusu açılmış, elektrik rezistivite ve multi-elektrod çalışmaları yapılmıştır. Bu kuyulardan 2 tanesinde başlatılan inklinometre ölçümleri halen devam etmektedir.

Yapılan sondajlar, elektrik rezistivite ve multi-elektrod çalışmaları ile heyelan malzemesinin düşey ve yatay değişimini ortaya çıkarılmıştır. Rezistivite kesitleri mekanik sondajlarla uyumluluk gösterdiği için sondaj olmayan bölgelerde bu kesitlerden yararlanılarak yer altı yapısı yorumlanmış, analiz edilecek alan için sınır koşullar oluşturulmuştur.

Tablo 2.1. Çalışma alanında açılan sondajlara ait veriler

Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m)	Kaya Derinliği (m)	Kaya Kotu (m)	Sondaj Derinliği (m)
	Y	X	Z			
HSK-1	475363.932	4528494	745.379	94.00	651.379	100.00
HSK-2	475476.439	4528575	738.874	52.00	686.874	52.00
HSK-3	475597.611	4528438	671.309	74.00	597.309	77.00
HSK-4	475695.091	4528200	550.787	62.00	488.787	76.50
HSK-5	475737.313	4528326	586.238	61.00	525.238	85.00
HSK-6	475821.513	4528395	578.47	40.00	538.470	61.00
HSK-7	475843.374	4528345	542.832	40.00	502.832	55.00
HSK-8	475763.320	4528302	569.00	57.00	512.000	64.00
Toplam				-	-	570.5

Kil içeriği yüksek olan kayaçların bünyelerine su almaları durumunda şişme davranışlarını önceden tahmin edebilmek için şişme potansiyeli açısından değerlendirilmesinde büyük yarar vardır. Kıvam limitleri ve killerin aktivitesi, şişme potansiyelinin, aktiflik-pasiflik özelliklerinin belirlenmesinde ve mineral türü tayininde sıkça kullanılan mühendislik parametreleridir. Kıvam limitleri kullanılarak şişme potansiyelinin belirlenmesinde O'Neill ve Poormoayed (1980) tarafından önerilen sınıflama tablosu (Tablo 2.2) genel olarak en çok kullanılan sınıflamadır. Tablo 2.2'de zeminlerin şişme potansiyelleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Şişme potansiyeline bağlı olarak zeminlerin sınıflandırılması ve çalışma konusu zeminlerin plastisite dereceleri (O'Neill ve Poormoayed, 1980).

Şişme potansiyeli tanımlama ölçütleri (O'Neill ve Poormoayed, 1980)				Çalışma konusu zeminler
Likit Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Şişme Potansiyeli	Sınıflama	Şişme potansiyeli frekans değerleri
< 50	< 25	< 0.5	Düşük	% 100
50-60	25-35	0.5-1.5	Orta	0
> 60	> 35	> 1.5	Yüksek	0

2014 yılında yapılan çalışmalarda toplam 1081.8 metre derinlikte 14 adet araştırma sondajı açılmış, 4 kuyuda toplam 126 adet presiyometre deneyi uygulanmış ve yeraltı suyu gözlemi için 2 adet rasat kuyusu tesis edilmiştir. Bununla birlikte 1 adet 88 metre derinlikte inklinometre kuyusu açılmıştır. Yapılan sondajlarda yerli yapım GEO-500 ve GEO-1500 sondaj makinesi kullanılmış (Şekil 2.1), döner sondaj wire-line tekniği yöntemi uygulanmıştır. Sondaj uygulamaları ve zemin tanımlamaları TS 1901: 1999 standart ve şartnamelerine uygun olarak yapılmıştır. Uygulamalarda heyelan malzemesinin karotsuz, ana kayanın ise karotlu sondaj tekniği açılması sağlanmış, ana kayada en az 10 metre ilerlenecek şekilde sondaj işlemleri gerçekleştirilmiş, olası zemin göçmelerine karşı 140 mm dış çaplı muhafaza boruları kullanılmıştır.

Paleo-heyelan malzemesi içinde karotsuz ilerleme sırasında zorunlu hallerde karotlu ilerlemeye dönülmüştür. Sondaj kuyularında büyük boyutlu blok ile karşılaşılma ihtimaline karşı ana kaya içinde minimum 10 metre ilerleme koşulu YSK-9-1 ve YSK-9-2 kuyuları dışında tüm kuyularda sağlanmıştır. YSK-9-1 ve YSK-9-2 kuyularından her ikisinde de kuyuda da takım kalmış olup, ana kayaya ulaşamamıştır (Tablo 2.3).



Şekil 2.1. GEO-500 ve GEO-1500 sondaj makinesi

Tablo 2.3. Proje sahasında Ayson Geoteknik ve Deniz İnşaat A.Ş. tarafından 2014 tarihinde açılan sondajlara ait bilgiler

Sondaj No	Koordinatlar		Kot (m) Z	Karotsuz Sondaj (m)	Karotlu Sondaj (m)	Kaya Derinliği (m)	Kaya Kotu (m)	Sondaj Derinliği (m)
	Y	X						
YSK-1	475006.069	4529244.175	1078.596	24.20	50.80	39.00	1039.60	75.00
YSK-2	475226.435	4528947.021	929.036	32.30	64.80	86.00	843.04	97.10
YSK-3	475332.426	4528785.295	848.029	54.00	37.80	80.80	767.23	91.80
YSK-4	475471.894	4528447.808	698.754	48.50	51.80	83.00	615.75	100.00
YSK-5	475532.836	4528348.610	664.345	35.50	82.00	105.00	559.35	117.50
YSK-8	475764.673	4528234.440	523.031	33.00	18.00	33.00	490.03	51.00
YSK-9-1	475438.008	4528563.782	739.000	37.60	42.60	-	-	80.20
YSK-9-2	475444.238	4528565.414	739.072	48.60	26.30	-	-	74.90
YSK-10	475623.778	4528502.371	679.617	45.00	48.60	78.00	601.62	93.60
INK-1	475597.521	4528436.223	670.941	46.00	42.00	69.00	601.94	88.00
P-1	475761.868	4528259.345	538.914	36.00	14.00	41.00	497.91	50.00
P-2	474697.402	4528228.228	556.858	44.00	16.00	44.00	512.86	60.00
P-3	475708.905	4528327.123	598.770	40.00	30.00	55.30	543.47	70.00
P-4	475781.740	4528363.141	574.533	40.00	20.00	40.00	534.53	60.00
P-4A	475787.096	4528378.102	574.000	40.00	20.00	40.00	534.00	60.00
Toplam				604.70	564.70	-	-	1169.10

**Açıklama:** YSK-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 numaralı kuyular araştırma sondajı, INK-1 numaralı kuyu inklinometre kuyusu, P-1, 2, 3, 4, 4A numaralı kuyular presiyometre deney kuyularıdır. YSK-1 ve 2 numaralı kuyularda takım sıkıştığı için kuyu terkedilmiştir.

Sondajlardan alınan zemin ve kaya örnekleri plastikten yapılmış olan karot sandıklarına, manevra boyları ve derinlikleri yazılarak konulmuştur. Numune alma yöntemleri hazırlığı, miktarı, korunması ve işlenmesi BS 5930:1999, BS1377:1990 veya uygun ISRM standartlarına göre yapılmıştır. Sondaj kuyularında loglama işlemi yapılmış, proje adı, sondaj kuyusu numarası, sondaj makinesi tipi ve sondaj yöntemi, kuyu ve

muhafaza derinlikleri, yeraltı suyu seviyesi, her karot manevrasının alt ve üst derinliği, her yerinde deneyin alt ve üst derinliği, her değişik jeolojik birimin tanımlaması vb bilgiler sondaj loglarına işlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Zemin numunelerinin dane dağılımını Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında ve ASTM D 422 standartlarına göre belirlenmiştir. Bu amaçla yıkamalı elek analizi yapılmış, 5000 gr örnek, 1lt saf suya 2 gr sodyum hegzametaz fosfat ( $\text{Na}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) ile hazırlanan çözeltide 24 saat bekletilmiş ve sırasıyla 1", 3/4", 3/8", 3, 4, 10, 25, 40, 60, 100 ve 200 nolu eleklerden yikanarak elenmiştir. Eleme işleminden sonra her elek üzerinde kalan malzeme ağırlıkları belirlenir, cam kaplara konulup tartılır ve etüvde 24 saat ve 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş, tekrar tartılmış ve böylece her elek üzerinde kalan miktar belirlenmiştir.

Araştırma sahasında yapılan sondajlarda zeminin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla toplam 5 kuyuda 126 adet Presiyometre deneyi yapılmıştır. Presiyometre deneyi sondaj delikleri içinde "Menard GA" tipi presiyometre ekipmanı kullanılarak yapılmış olup, 76mm çapındaki proplarla ölçümler alınmıştır. Deneyde uygulanan basınç artışları yatay ekseninde, buna karşı gelen hacim değişimleri düşey ekseninde gösterilerek deney eğrileri çizilmiştir. Probu kuyu duvarlarını, kuyu açılmadan önceki orijinal duruma getirilinceye kadar oluşan geri itme bölümü, eğrinin dönme noktasında, zeminin içindeki ilksel şartların olduğu kabul edilmiştir.

Çalışmaya ek olarak 88 metre derinlikte İNK-1 numaralı inklinometre kuyusu açılmış ve kuyuya inklinometre borusu tesis edilmiştir. Kuyunun enjeksiyonu da ilgili standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Araştırma kuyularından P-3 ve P-4 numaralı kuyular da uzun süreli gözlem ve ölçümler için rasat (gözlem) kuyusu olarak tesis edilmiştir. Diğer kuyularda sondaj çalışmaları sırasında yeraltı suyu gözlenemediğinden rasat tesis edilmemiştir.





gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Magmatik aktivitelerin yoğun olduğu Kuzey Zon'da kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişirken, Güney Zon'da karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir. Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeylenen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitlerinden oluşmuştur ve birimin kalınlığı 500 metrenin üzerindedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, stratigrafik konuma, bölgesel deneştirme sonuçlarına ve fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Ağar, 1977).

Volkanik birimler arasında bulunan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylenmektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapılı killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, bölgesel korelasyona ve paleontolojik bulgulara dayandırılarak Geç Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993, 1998). Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen flişler kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanıl karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmektedir. Geç Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısıl uyumsuzlukla örtülmektedir.

Geç Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatlı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir. Asidik karakterli riyodasit, dasit ve piroklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş arakatlıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katlı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde

bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. 100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir. Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir. Kuzey Zon'da yüzeylenen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

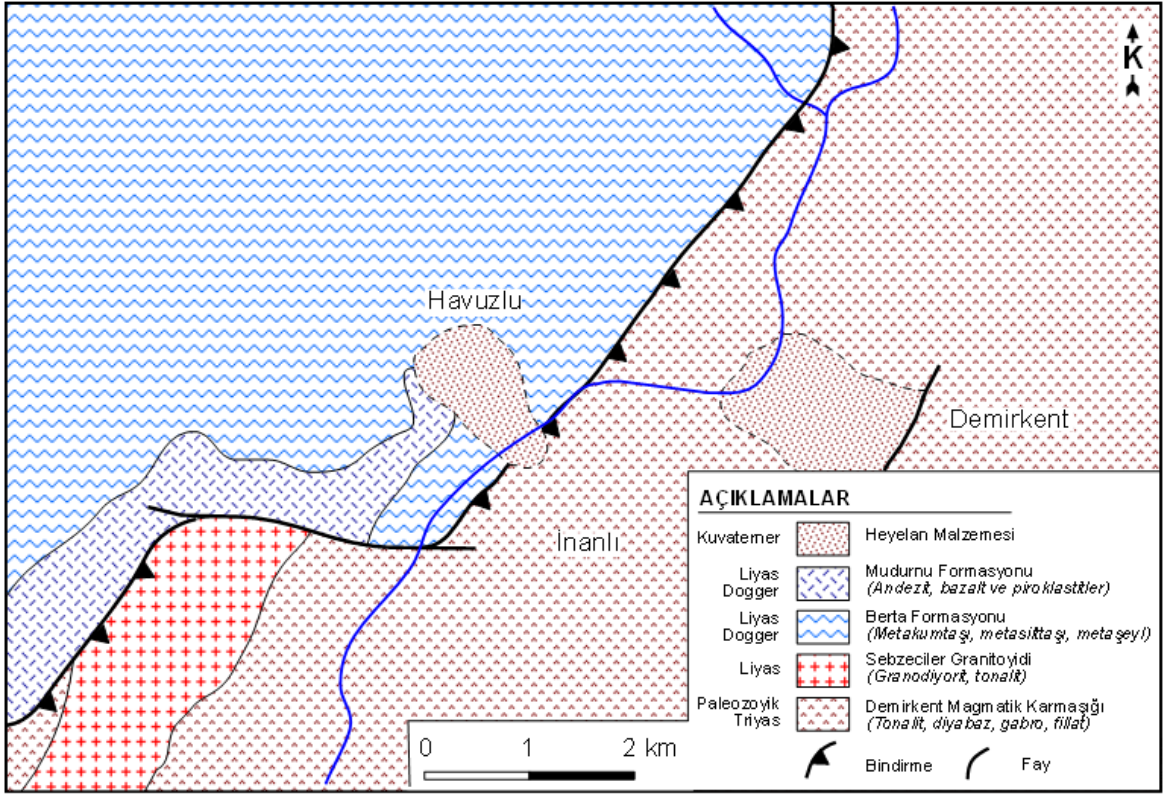
Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüziif kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır. Geç Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.

Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993).

### 3.2. Havuzlu Paleo-Heyelanı ve Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanında Paleozoyik-Dogger zaman aralığında oluşmuş kayalar yüzeylenme vermektedir. Bunların üzerinde Kuvaterner yaşlı pekişmemiş ve konsolide olmamış malzemeler uyumsuzlukla bulunmaktadır (Şekil 3.2).

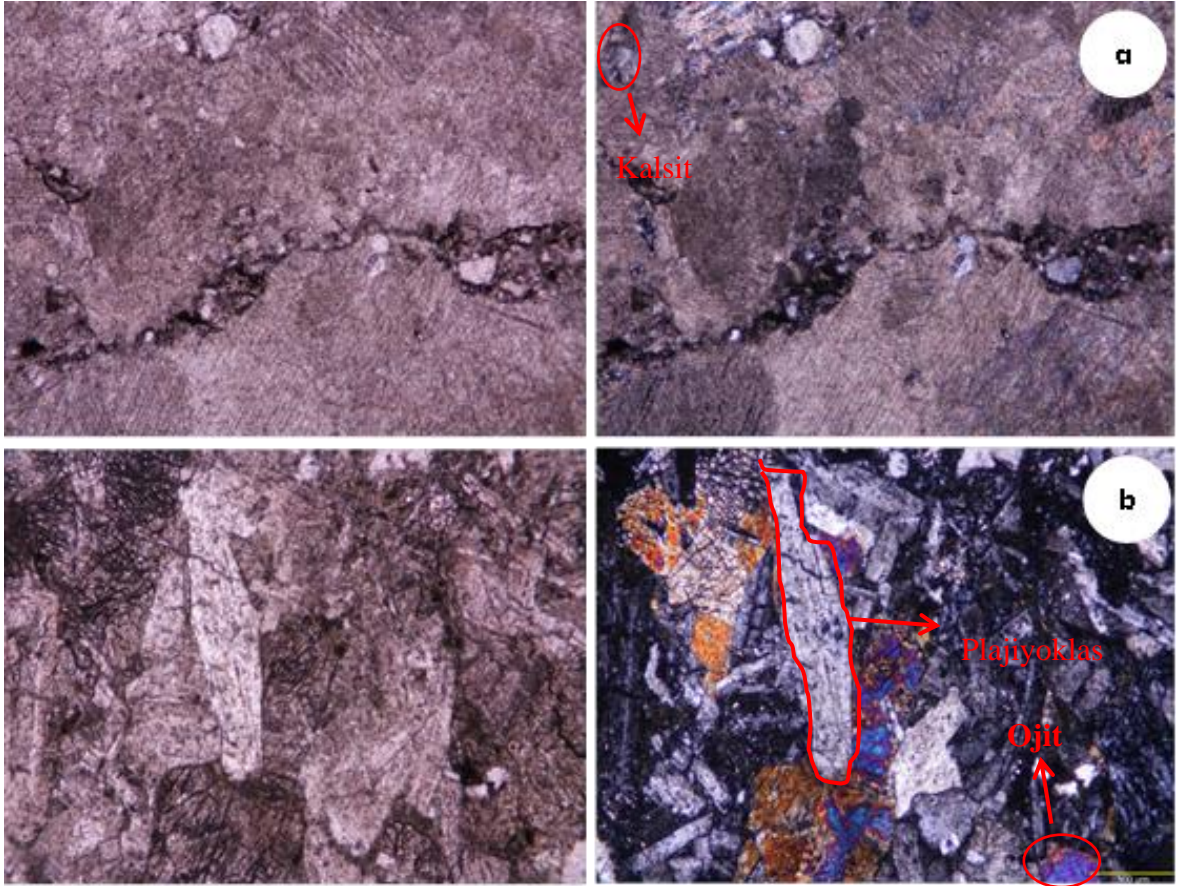
Çalışma alanı ve çevresinde yüzeylenme veren en yaşlı birim tektonik bindirmeyle yükselen ve genel olarak gabro, mikrogabro, fillat ve yer yer tonalitlerden oluşan Paleozoik-Triyas yaşlı Demirkent Magmatik Karmaşığı'dır. Birimde diyabaz daykları da bulunmaktadır. Birim yer yer Liyas yaşlı Sebzeçiler Granitoyidi'ne ait kayalar tarafından kesilmiştir. Granodiyorit ve tonalitlerden oluşan bu birim genel olarak çalışma alanının güney batı kesimlerinde yüzeylenme vermektedir. Bu birimlerin üzerinde ise Liyas-Dogger yaşlı Berta ve Mudurnu Formasyonları bulunmaktadır.



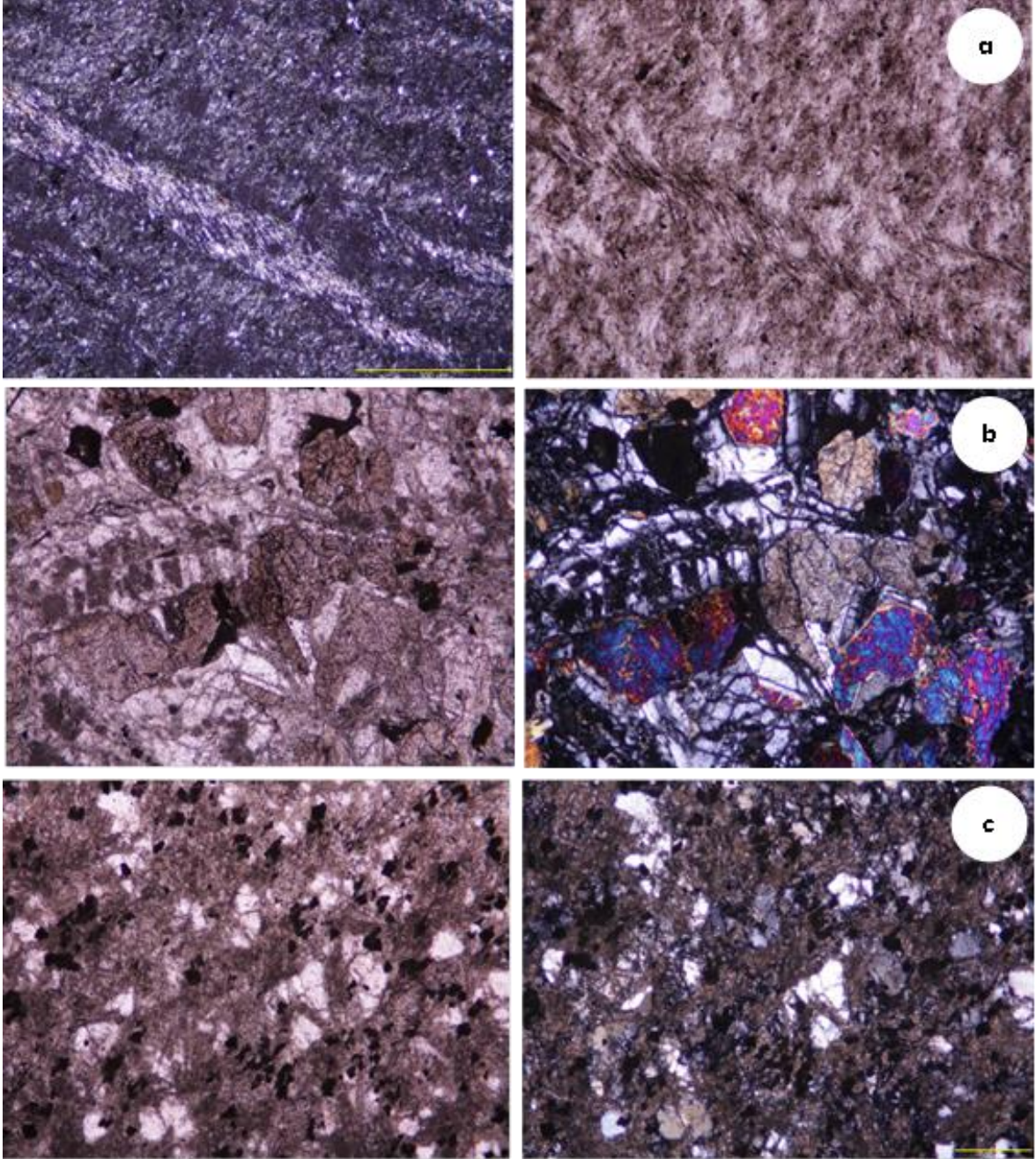
Şekil 3.2. Havuzlu Paleo-Heyelan alanı ve çevresinin jeoloji haritası

Berta Formasyonu, metakumtaşı, metasilttaşı ve şeylerden oluşurken, Mudurnu Formasyonu ise bazik volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bölgede iki adet paleo-heyelan gözlenmiş olup Havuzlu Köyü civarında bulunan heyelan Berta Formasyonu içerisinde,

Demirkent Köyü civarında bulunan heyelan ise Demirkent Formasyonu içerisinde gelişmiş zemin heyelanlarıdır. Yapılan sondaj çalışmaları sonucu elde edilen örneklerden hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskopta incelendiğinde çalışma konusu Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesinin altında bulunan ve Berta Formasyonu oluşturan kayaların genel olarak metakumtaşı, metasilttaşı, fillat ve bazik dayklardan oluştuğu (Şekil 3.3) anlaşılmıştır. Bununla birlikte paleo-heyelan malzemesinde de sondajlarla kesilen bloklarda aynı kayalardan oluştuğu (Şekil 3.4) anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3. Berta Formasyonu'na ait kalkşist (a) ve bunları kesen bazalt (b) dayklarının polarizan mikroskoptaki görünümü (TN: Sol, ÇN: Sağ)



Şekil 3.4. Paleo-Heyelan Malzemesi içindeki bloklara ait örnekler ile Berta Formasyonu'na ait metakumtaşınin polarizan mikroskoftaki görünümü (a:50 m, b:70 m, c:90 m)

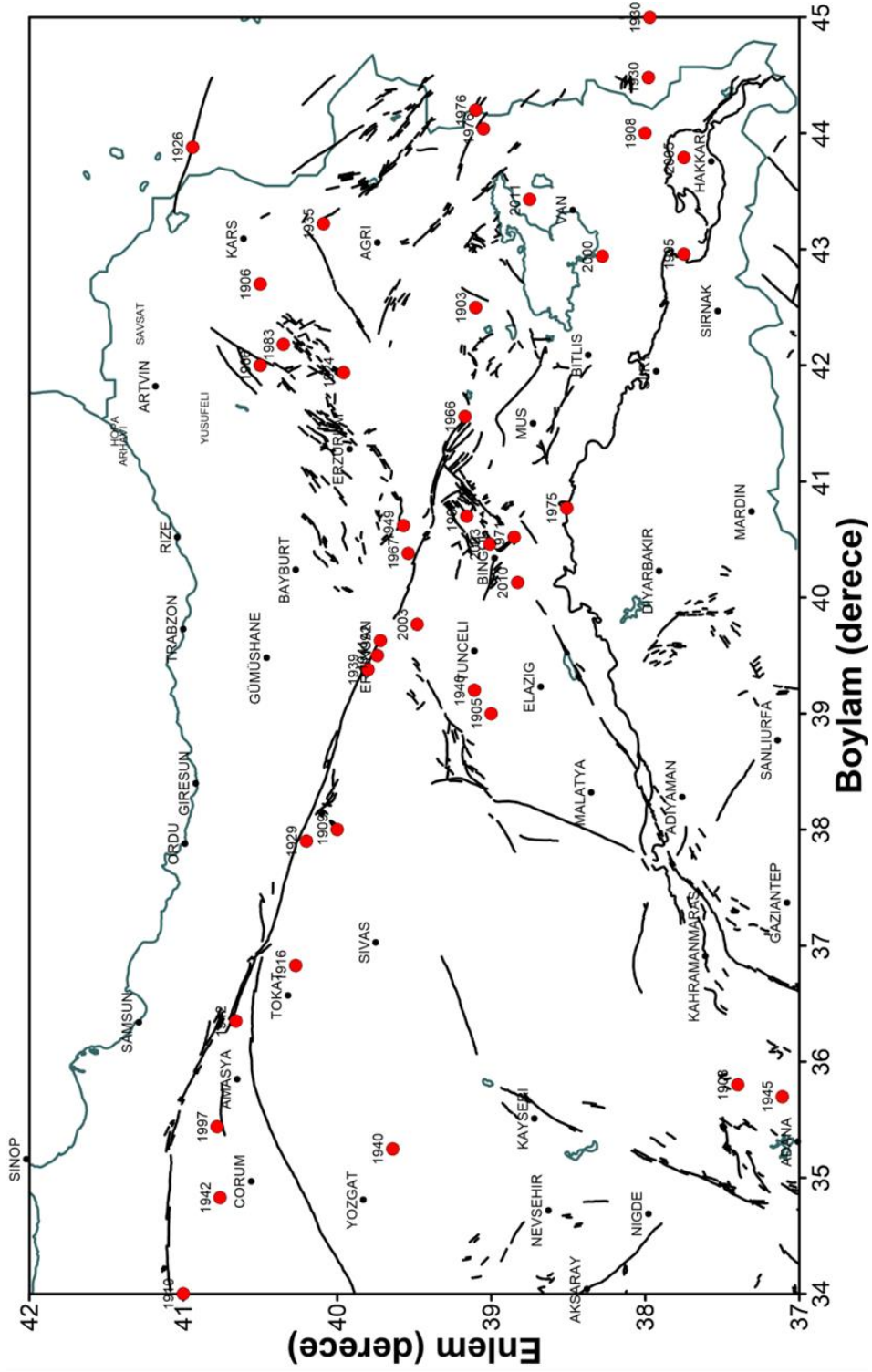
### 3.3. Çalışmanın Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Bir bölgenin depremselliği; o bölgede meydana gelmiş depremlerin coğrafik dağılımını, oluş zamanlarını, büyüklüklerini, mekanizmalarını ve ürettikleri hasarı tanımlar. Depremsellik çalışmaları ise daha çok bir bölgenin sismik riskini değerlendirmek için yapılmaktadır.

Havuzlu Paleo-Heyelanının yer aldığı bölgedeki aktif faylar ve aletsel dönemde meydana gelmiş ve kaydedilmiş hasar yapabilecek, magnitüdüleri 6.0'dan büyük depremlerin dağılımı Şekil 3.5'de verilmektedir. Şekilde episanırları işaretlenen ve önceki yıllarda meydana gelmiş, inceleme alanını etkileyebilecek olan depremler ve bu depremlere ait parametreler Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. İnceleme alanının bulunduğu bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş yıkıcı depremler ve parametreleri (Şaroğlu ve diğ., 1992)

Boylam	Enlem	Tarih	M	Derinlik
42.7	40.5	1906	6.2	30 km
42.0	40.5	1906	6.0	30 km
41.94	39.96	1924	6.8	10 km
40.62	39.57	1949	6.7	40 km
40.38	39.54	1967	6.0	30 km
42.18	40.35	1983	6.8	16 km



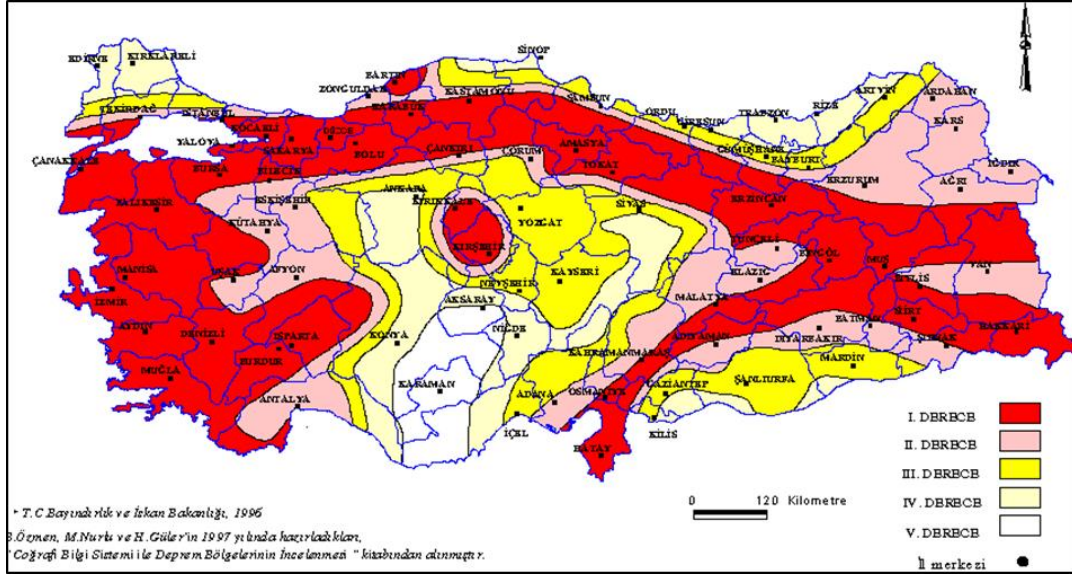
Şekil 3.5. Bölgedeki aktif fayların dağılımı ve aletsel büyüklüğü Mw 6'nın üstünde olan depremler. Kırmızı noktalar, oluşmuş 6.0'dan büyük depremlerin episantırlarını göstermektedir (Şaroğlu ve diğ., 1992'den değiştirilerek)



Artvin ili ve çevresinde deprem oluşma potansiyeli irdelendiğinde, inceleme alanının bulunduğu bölgede yıkıcı özellikte deprem yapabilecek herhangi bir aktif fayın bulunmadığı anlaşılmaktadır. İnceleme alanına en yakın fay sistemi Kuzey Anadolu ve Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonları'dır. Potansiyel yıkıcı deprem üretebilecek bu fayların en yakını kuş uçuşu 50 km mesafededir.

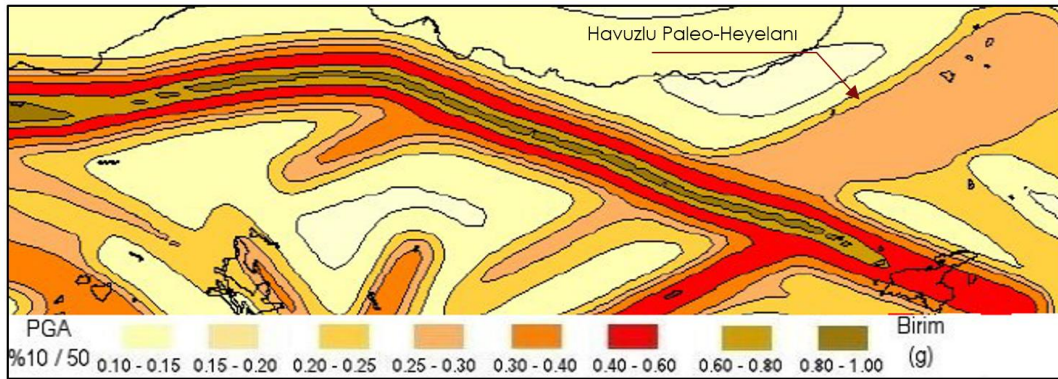
Deprem tehlikesi, hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükte bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belli bir yerde ve belli bir zaman periyodu içerisinde belirlenmesi olarak tanımlanır. Gelecek depremlerin nerede, ne zaman, ne büyüklükte olacağı ve depremin diğer özellikleri belirsizlik gösterdiği için deprem tehlikesi tayinlerinde olasılık hesaplarına dayalı tahminler kullanılmaktadır. Deprem tehlikesi analizleri ile belirli bir bölgede mevcut jeoloji ve depremsellik bilgilerine dayalı olarak, verilen bir dönüş periyodu için hesaplanan maksimum yer hareketi parametreleri (maksimum ivme, spektral ivme, şiddet gibi) elde edilmektedir. İhtimal hesaplarına dayalı deprem tehlikesi analizleri jeolojik, jeofizik, sismolojik ve tarihsel verilerin göz önüne alınmasını sağlar. Ülkemiz için 1998 yılında yürürlüğe konmuş bulunan ve halen geçerli, ihtimal hesabına dayalı olarak hazırlanmış deprem tehlikesi bölgeleme haritasına göre 5 adet deprem tehlike bölgesi tanımlanmaktadır (Şekil 3.6).

Bu harita, mevcut bilgiler kullanılarak hazırlanmıştır. Olasılık metodu hesaplarına göre çizilen eş ivme kontur haritası esas alınarak deprem bölgeleri tespit edilmiştir. Buna göre, normal bir yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içinde %90 ihtimal ile bu ivme değerlerinden fazla bir yüklenmeye maruz kalmayacağı tahmin edilmektedir. Deprem Bölgeleri Haritası ile Afet Bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik birbirini tamamlamaktadır. Bu yönetmeliğe göre deprem bölgelerinde kabul edilen hesap ivmeleri, 1.derece için 0.4g, 2.derece için 0.3g, 3. derece için 0.2g ve 4. derece için 0.1g olarak alınmalıdır. Proje sahası ise T.C Bayındırlık Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan deprem bölgeleri haritasına göre 3. dereceden deprem bölgesidir ve bu haritaya göre bölgede Etkin Yer İvme Katsayısı 0,20g'dir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Çalışılan bölgeye ait Türkiye deprem bölgeleri haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996).

Erdik ve diğ., (2006) tarafından Türkiye'deki diri faylar dikkate alınarak, uygun azalım ilişkileri kullanılarak aşılma olasılığı dağılımlarına göre belirlenmiş dönüş periyotlarına tekabül eden eş-ivme eğrileri haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çalışma alanının içerisinde yer aldığı bölge için NEHRP B/C sınırı zemin koşuluna göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına (475 yıl) karşılık gelen en büyük yer ivmesi dağılımı (PGA, birim'g") (Erdik ve diğ., 2006).

Bu harita 50 yıllık ekonomik ömrü içinde %10 aşılma olasılığı (475 yıllık dönüş süresi) için verilmektedir. Haritada sunulan en büyük yer ivmesi (PGA) ve 0.2 ve 1.0 saniye periyotlarında spektral ivmeler NEHRP zemin sınıfı B/C sınırı (Referans Zemin Mostrası) için elde edilmiştir. Bu haritaya göre de inceleme bölgesinde beklenen en büyük

ivme değerlerinin 0.20-0.25g olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında en büyük yer ivme değeri güvenli tarafta kalmak için 0.25g kabul edilmiş ve stabilite analizlerinde bu değer kullanılmıştır.

### 3.4. Yamaç Duraylılık Analizi

Doğal yamaçlar, düzensiz ve belirli bir geometriye sahip olmayan eğimli yüzeyleri, farklı mühendislik amaçlarıyla yapılan yerüstü kazılarına ait ve düzenli geometrisi olan eğimli yüzeyler ise şevleri temsil eder. Bununla birlikte, herhangi bir cismin yerini ve konumunu koruyabilmesi koşulu duraylılık (stabilite) olarak adlandırılırken, bu koşulun yitirilmesi ise duraysızlıktır. Bir şevde kayan kütlelerin sınırları boyunca gelişen bir makaslama yenilmesi ve/veya yerçekiminin etkisi sonucu şevi oluşturan malzemenin aşağı ve şev önündeki boşluğa doğru hareketi ise, “şev duraysızlığı” olarak tanımlanır. Kazı, yol dolgusu, dolgu tipi baraj, pasa ve atık yığını şevlerinin ekonomik ve güvenli şekilde tasarımı için aşağıda belirtilen iki aşama esas alınarak şev duraylılığı analizleri yapılır.

(a) Ön analizler: Kritik olabilecek jeolojik, hidrojeolojik, malzeme ve çevre koşullarının belirlenmesi ve ekonomik değerlendirme yapılması iken

(b) Ayrıntılı analizler: Şev duraysızlığının özelliklerinin, tekrarlanma sıklığının araştırılıp, tasarıma gidilmesi ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesidir.

Şev duraylılığı analizlerinin başlıca amaçları özetle aşağıda verilmiştir:

(1) Farklı koşullar altında farklı özellikteki şevlerin duraylılığının araştırılması,

(2) Şev yüksekliği ve şev açısı gibi şev tasarımı parametrelerinin tayini amacıyla şev ve malzeme parametrelerinin birbirlerine bağlı değişimlerinin incelenmesi (duyarlılık analizi),

(3) Kayma (duraysızlık) mekanizmasının belirlenmesi,

(4) Şevin yeniden tasarlanması ve iyileştirici (duraylılığı arttırıcı) yöntemlerin belirlenmesi,

(5) Deprem, su, yoğun yapılaşma, trafik vb. gibi etkilerden kaynaklanan dış yüklerin şev duraylılığı üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır.

Yukarıda belirtilen hususlar göz önünde tutulduğunda bu çalışma kapsamında limit denge analizleri kullanılarak şev stabilite araştırmalarında altlık oluşturacak arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş, sondaj ve jeofizik çalışmalar sonucunda pale-heyelan malzemesinin düşey ve yanal devamlılığı araştırılmış, arazi ve laboratuvar deneyleri ile

heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, farklı koşullar için kütle hareketi riski limit denge analizleri ile araştırılmış ve son olarak olası kayacak kütlelerin hacmi hesaplanarak önerilerde bulunulmuştur.

### 3.5. Mühendislik Jeolojisi Haritasının Hazırlanması

Mühendislik jeolojisi haritaları, arazi kullanım potansiyelinin ve mühendislik amaçlı dizayn, inşaat ve koruma alanlarının belirlenmesi gibi çeşitli mühendislik çalışmalarına kılavuzluk edecek nitelikte jeolojik veri içeren ve doğal çevreyi tanımlamaya yönelik hazırlanan özel amaçlı jeolojik haritalardır (Dearman and Matula, 1976; IAEG, 1976; Dearman, 1981). Mühendislik jeolojisi haritalarında, 1/5000-1/10000 ölçekleri arasında tanımlanabilen, mineralojik bileşim ve yapısal anlamda homojen, ancak mekanik özellikler açısından uniform olmayan birimler “*litolojik tür*” olarak ifade edilir. Bu sınıflamada, birimin mekanik özellikleri için gerçek anlamda ve temsil edici ortalama değerlerin verilmesi mümkün olmayıp, mühendislik özellikleri belirli aralıkları temsil eden değerler şeklinde verilebilir. 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen ve fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip birimler ise “jeoteknik birim” olarak ifade edilir (IAEG, 1976; Dearman, 1981).

Bu çalışmada mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken çalışma alanında bulunan birimler litolojik türlere ardından fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip ve 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen birimlere ayrılmış, bu çalışma kapsamında amaca hizmet etmediği için jeoteknik birim kavramı kullanılmamıştır.

Bu çalışma kapsamında mühendislik jeolojisi/jeofiziği çalışmaları iki kademe gerçekleştirilmiştir. Arazi gözlemleri ve yerinde yapılan deneyler (sondaj ve jeofizik çalışmaları) çalışmanın ilk aşamasını oluştururken, laboratuvar deneyleri (kaya/zemin) malzemesinin indeks ve dayanım özelliklerinin ölçümü) ikinci aşamayı oluşturmaktadır. Tüm bu verilerin ışığında mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken, ANON (1976), ISRM (1976) ve IAEG (1976 ve 1979) tarafından önerilen, ANON (1981a,b) ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmış, sonuç olarak 1/2500 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası ve kesitleri hazırlanmıştır (EK-1).

Harita ve kesitler incelenip yorumlandığında paleo-heyelan malzemesinin 39-105 metre arasında kalınlığa ve yaklaşık 85 milyon m<sup>3</sup> hacme sahip olduğu ve heyelan

malzemesi ile ana kaya dokanağında bindirme fayına bağlı olarak gelişen çok kırıklı zayıf bir zonun bulunduğu belirlenmiştir.

### **3.6. Yamaç Stabilitesinde Kullanılacak Zemin Parametrelerin Seçimi**

Kayaçların ayrışması sonucu oluşan zeminler çoğu zaman homojen ve izotrop kabul edilirken, taşınmış zeminler heterojen olarak kabul edilir. Bu nedenle özellikle taşınmış zeminlerin davranışlarının belirlenmesinde mekanik kanunları yeterli olmamaktadır. Ayrıca çok fazlı bir ortam şeklinde bulunmaları sonucu genelde boşluklarında hava ve su, doygun ise yalnızca su bulunur. Bu durum, klasik mekanik problemlerine ilave olarak bir boşluk suyu basıncı kavramını ve diğer inşaat malzemelerinin davranışına kıyasla çok farklı bir davranışı gündeme getirir. Bu nedenle özellikle taşınmış zeminlerin fiziksel özellikleri, mühendislik davranışlarının belirlenmesinde önemli rol oynar.

#### **3.6.1. Laboratuvar Verilerin Değerlendirilmesi**

2013 yılında yapılan çalışmada Paleo-Heyelan malzemesinde açılan 5 adet sondaj ve 2 adet araştırma çukurundan alınan örnekler akredite laboratuvarlara gönderilmiş ve bu zeminlerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3)

Yapılan tüm deneyler değerlendirildiğinde zeminlerin doğal birim hacim ağırlıklarının  $16.8 \text{ kN/m}^3$  ile  $21.8 \text{ kN/m}^3$  arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte zemin içerisindeki çakıl oranının % 45'e ulaştığı, kum oranının % 29 ile % 56, silt ve kil oranının % 25 ile 49, likit limitlerinin % 37 ile % 41, plastik limitlerinin % 23 ile % 30 ve plastisite indisinin ise % 12 ile % 16 arasında olduğu görülmüştür.

DeneySEL veriler plastisite kartına düşürüldüğünde (Şekil 3.8) zeminlere ait ince tanelerin CL grubunda olduğu görülmektedir (bu deney 40 nolu elek altında kalan malzemede yapıldığı için sadece bu boyut malzemenin sınıflaması amacıyla kullanılır ve sınıflama tüm malzemeyi yansıtmaz). CL ise düşük-orta plastisiteli inorganik çakıllı-kumlu-siltli-yağsız killer (illit) şeklinde tanımlanmaktadır. Bu durum da, özellikle zeminlerin su ile temas ettiklerinde şişme, oturma ve akmaya karşı dirençli olduğunu göstermektedir.

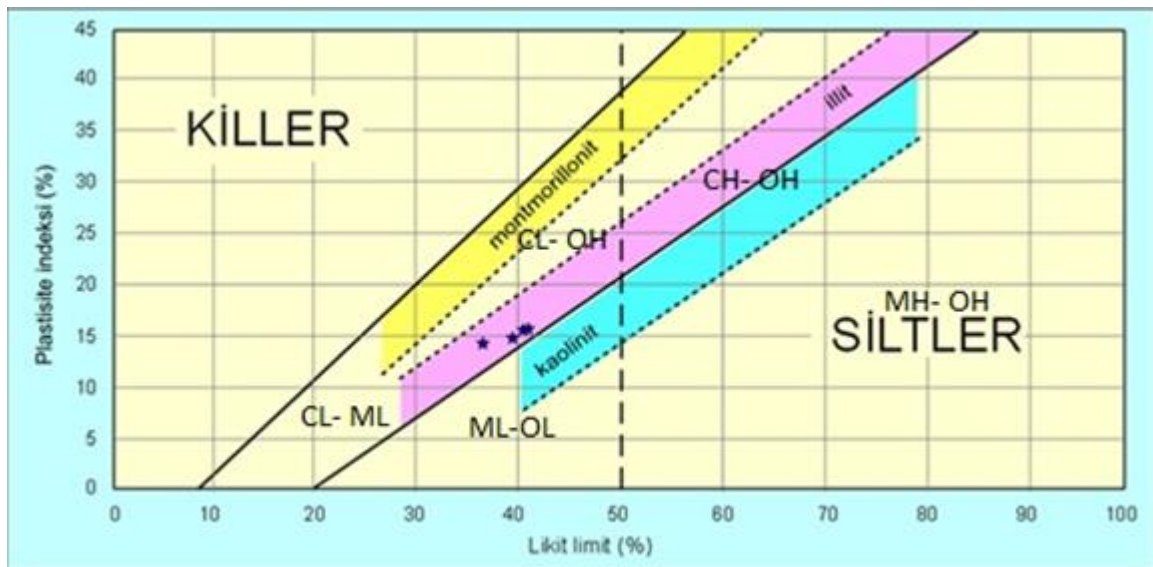
Tablo 3.2. Çalışma konusu zeminlerin dane dağılımları ve kıvam limitleri değerleri

Örnek No	Dane dağılımı (%)			*Kıvam limitleri (%)			Genel Sembol
	Çakıl	Kum	Silt+Kil	LL	PL	PI	
SK5-1	1	56	43	-	-	-	SM
SK4-1	22	29	49	41	25	16	SC
SK1-1	20	55	25	37	23	14	SC
SK1-2	29	40	31	41	25	16	SC
SK5-2	45	29	26	39	24	15	GC
Mak.	45	56	49	41	25	16	SM
Min.	1	29	25	37	23	14	SC
Ort	23	42	35	39	24	15	GC

\*kıvam limit deneyleri toplam malzeme içindeki 40 nolu elekten geçen malzeme üzerinde yapılmıştır.

Tablo 3.3. Çalışma alanındaki zeminlerin dane dağılımları ve kıvam limitleri değerleri

Örnek No	*Kıvam limitleri (%)			BHA ( $\gamma_n$ ) kN/m <sup>3</sup>
	LL	PL	PI	
482	30	17	13	21.84
553	27	15	12	21.08



Şekil 3.8. Silt ve kil boyutlu malzemelerin plastisite kartındaki yeri

Yapılan arazi çalışmaları sırasında açılan sondajlar ve araştırma çukurlarından elde edilen numunelerin dayanım özellikleri Kaya Mühendislik Zemin-Yapı-Malzeme Laboratuvarında (Trabzon) ve DSİ TAKK Dairesinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Elde edilen veriler Tablo 3.4’de özetlenmiştir.

Tablo 3.4. Heyelan malzemesine kayma direnci parametreleri

Laboratuvar	Deney Tipi	Örnek No	Kayma direnci	
			c (kPa)	$\phi$ (derece)
Kaya Müh.	UU (Direk kesme)	SK5-1	4	28
		SK4-1	34	15
		SK1-1	28	21
		SK1-2	30	20
		SK5-2	18	24
DSİ TAKK	UU (Üç eksenli)	482	136	30
		513	175	25
	CU (Direk kesme)	482	6	30
		513	3	34

Şev duraylılığı analiz yöntemlerinde en önemli unsurlardan biri şev geometrisi olup, potansiyel yenilme (kayma) yüzeyinin makaslama dayanımı da diğer önemli bir unsurdur. Bu yüzey, tek bir süreksizlik düzlemi veya birkaç süreksizlik düzleminin oluşturduğu birleşik bir yenilme yüzeyi olabileceği gibi, toprak zemin veya toprak zemin gibi davranan sık eklemlili kaya kütlelerinde ise dairesel yenilme yüzeyi şeklindedir. Bu kayma yüzeylerinin makaslama dayanımının (c ve  $\phi$ ) seçimini; deney verilerinin güvenilirliği ve deney sonuçlarının yorumlanması gibi hususlar denetler ve dayanımdaki küçük değişiklikler, analizlerin sonucunda farklı güvenli şev açısı ve şev yüksekliği değerlerinin elde edilmesine neden olur. Bu nedenle şev stabilite analizlerinde kullanılacak kayma direnci parametreleri titizlikle seçilmelidir.

Zeminlerin kayma direnci parametreleri belirlenirken üç eksenli basınç deneyi ve direk kesme deneyi (kesme kutusu) kullanılır. Bu deneylerde sadece direk kesme deneyinde doruk (pik) ve artık (rezidüel) makaslama direnci parametreleri bulunurken, üç eksenli basınç deneyinde doruk makaslama direnci parametreleri tespit edilebilir. Heyelan araştırmalarında ise artık makaslama direnci parametrelerinin kullanılması birçok araştırmacının ortak görüşüdür. Bu nedenle bu çalışmada direk kesme kutusu deneyinden elde edilen kayma direnci parametreleri stabilite analizinde kullanılabilir.

Bununla birlikte su seviyesinde mevsimsel değişimlerin gözleendiği baraj göl alanlarında konsolidasyonlu-drenajsız deneylerden (CU) elde edilen kayma direnci parametreleri kullanılır. Bu nedenle stabilite analizinde CU deneyinden elde edilen verilerin ortalaması alınarak (kohezyon 5 kPa, içsel sürtünme sayısı 32° olarak) analizler yapılmıştır.

### 3.6.2. Literatür Verilerin Değerlendirilmesi

Özellikle kumlu ve çakıllı zeminlerde örselenmemiş numune alımı zordur. Bu tür zeminlerde makaslama direnci parametreleri ve birim hacim ağırlık ölçümleri yanıltıcı olabilir. Eğer özel örnek alıcılar mevcut değilse; bu tür zeminlerin birim hacim ağırlıklarını ve kayma direnci parametrelerini hatalı ölçümlerle belirlemek yerine literatürde kabul görmüş tablolardan (Tablo 3.5 ve Tablo 3.6) yararlanılması önerilmektedir (Coduto, 1999).

Tablo 3.5. İri taneli zeminlerin bazı indeks ve dayanım özellikleri (Bell, 1983, 2007)

Jeoteknik Özellikler	Çakıl	Kum	Silt
Özgül ağırlık	2.5-3.0	2.6-2.7	2.64-2.66
Porozite (&)	20-50	23-35	-
Likit limit (%)	-	-	24-35
Plastik limit (%)	-	-	14-25
Kayma dayanımı (kPa)	200-600	100-400	
Kohezyon (kPa)	-	-	75
Sürtünme açısı	35-45	32-42	32-36

Tablo 3.6. İri taneli zeminlerin yeraltı suyu altında ve üstünde birim hacim ağırlık değerleri (Bell, 1983, 2007)

Zemin türü ve birleşik zemin sınıflaması	Birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	
	YST üstünde	YST altında
GP (kötü derecelendirilmiş çakıl)	17.5-20.5	19.5-22.0
GW (iyi derecelendirilmiş çakıl)	17.5-22.5	19.5-23.5
GM (siltli çakıl)	16.0-20.5	19.5-22.0
GC (killi çakıl)	16.0-20.5	19.5-22.0
SP (kötü derecelendirilmiş kum)	15.0-19.5	19.0-21.0
SW (iyi derecelendirilmiş çakıl)	15.0-21.0	19.0-23.0
SM (siltli kum)	12.5-21.0	17.5-22.0
SC (killi kum)	13.5-20.5	17.5-21.0



Literatürlerde verilen değerler incelendiğinde SM, SC ve GM sınıfında olan zeminlerde birim hacim ağırlık değerinin 12.5-20.5 kN/m<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Bu tür zeminler kohezyonsuz kabul edildikleri için içsel sürtünme açısı değerlerinin 32<sup>0</sup>-45<sup>0</sup> derece arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte paleo-heyelan malzemesinde kil+silt yüzdesinin 5-15 arasında değişmesi, malzemenin kohezyon değerinin “0” olarak kabul edilemeyeceğini göstermektedir. Bu miktar ince taneli malzeme malzemenin kohezyon değeri 5-10 kPa arasında değişmektedir (Bell, 1983, 2007).

### 3.6.3. Arazi Verilerin Değerlendirilmesi

Bir zemin araştırmasında, yerinde (in-situ) ve laboratuvar ortamında yapılacak deneyler en iyi şekilde planlanmalı, projenin inşa edileceği veya jeoteknik problemin olduğu zemin/kaya yapısı detaylı olarak ortaya çıkarılmalıdır.

Günümüzde jeoteknik projelerde arazi deneylerinden elde edilen veriler laboratuvarda deneysel olarak elde edilen verilere göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle teknik şartnamelerde zemin özelliğine dikkat edilmeden arazi deneyleri zorunlu olarak istenmekte, projenin kalitesi arazi deneylerinin varlığına dayandırılmaktadır. Ancak bu durum çoğu kez yanıltıcı olabilir. Bunun nedeni; arazi deneylerinin kohezyonsuz zeminler için geliştirilmiş ve uygulama alanındaki artışa bağlı olarak kohezyonlu zeminlere uyarlanmış olmasıdır. Bu nedenle jeoteknik projelerde killi ve siltli zeminlerde laboratuvar, kumlu ve çakıllı zeminlerde arazi deneylerinden elde edilen veriler kullanılmalıdır.

Menard (1956) tarafından Fransa’da geliştirilen presiyometre deneyi önceden açılmış bir sondaj kuyusunda zeminin yük/deformasyon parametrelerini belirlemek amacıyla uygulanan ve jeoteknik uygulamalarda en doğru sonuç veren arazi deneylerinden biridir. Deney basit anlamda genişleyebilir silindirik bir probun önceden delinmiş bir kuyuya indirilerek şişirilmesi ve bu esnada prob içerisindeki basınç ve hacim değişikliklerinin ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Günümüzde delme ve deney işlemlerini bir arada yapan düzenekler de bulunmaktadır. Bu nedenle deney, yer altı araştırmalarında en çağdaş yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Presiyometre deneyinde teknolojik gelişmelerinde ilavesiyle G tipi presiyometre günümüzde GC tipi olarak kullanılmakta ve maksimum 2500-4000 kPa basınç verebilmektedir. Bir diğer model ise zemine 2000-2500 kPa basıncı iletebilen E presiyometredir. En fazla basınç verebilen ise GB tipi 10000

kPa'ya, GA tipleri ise 20000 kPa'a kadar ulaşabilmektedir. Uygulayabildiği basınç dayanımından da anlaşılacağı gibi presiyometre çok yumuşak ve yumuşak zeminlerden basınç dayanımı 20000 kPa (20MPa) kadar olan zayıf kayalara kadar farklı ortamlarda uygulanabilmektedir. Menard Presiyometre deneyi ile her bir deney seviyesinde elde edilen yük/deformasyon grafiklerinden zeminin temel mekanik özellikleri, elastisite modülü ve limit basınç değerleri belirlenmektedir. Limit basınç değeri, deneydeki son ölçümlerden, presiyometre modülü ise test esnasında kayıt edilen basınç/hacimsel değişim ölçümlerinden yararlanılarak belirlenmektedir.

Birçok araştırmacı, presiyometre deneylerinden elde edilen veriler ile zeminlerin mühendislik özellikleri arasında ilişkiler geliştirmiştir. Ohya ve diğ. (1982), Ham arazi SPT-N ( $N_f$ ) değeri ile presiyometre modülü arasında aşağıdaki bağıntıları önermişlerdir. N darbe sayılarının standart bir darbe enerjisine göre düzeltilmesi gerekir. %60'lık enerjiye göre düzeltme uygulanan darbe sayıları " $N_{60}$ " simgesiyle gösterilir. Tablo 3.7'de presiyometre deney sonuçları kullanılarak hesaplanan  $N_{60}$  değerleri verilmiştir. Ham veriler şahmerdan etkinliği düzeltilmesi 0.6, kuyu çapı, numune alıcı ve tij düzeltme faktörleri 1 olarak alınmış, örtü düzeltme faktörü derinlik değerleri çok yüksek alındığı için ihmal edilmiştir.

$$E_m (\text{kN/m}^2) = 908N_f^{0.66} \text{ (kumlar)} \quad (1)$$

Burada;

$E_m$  : presiyometre modülü

$N_f$  : Ham SPT-N sayısı

Tablo 3.7. Presiyometre deney verilerine göre hesaplanmış  $N_{60}$  sayıları

Derinlik	Presiyometre Modülü Verilerine Göre Hesaplanmış Düzeltilmiş $N_{60}$ Verileri				
	P1	P2	P3	P4	P4-A
0-5	10-20	5-7	10-20	5-7	5-10
5-10			7-10	20	
10-15					
15-20	10-15	30-40	40	> 40	10-15
20-25				20	
25-30					
30-35	> 40	7-10		40	
35-40		20			
40-45					
45-50					
50-55					
55-60					

SPT sonuçları ile kumların (az killi ve çakıllı) efektif sürtünme açısı arasında birçok bağıntı bulunmaktadır. Ayrıca düşey efektif gerilme ile ilişkili olarak efektif sürtünme ile SPT sayısı arasında grafiksel ilişkiler tanımlanmıştır. İçsel sürtünme açısının hesaplanmasında farklı araştırmacılar farklı eşitlikler önerse de en çok tercih edilen yaklaşım Kulhawy ve Mayne (1990) eşitliğidir.

$$\phi' = \sqrt{20N_{60}} + 20 \quad (2)$$

Çalışma kapsamında presiyometre verileri sonuçlarından yararlanılarak ve ampirik bağıntılar kullanılarak  $N_{60}$  sayılarına göre farklı derinlikler için içsel sürtünme açısı değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Presiyometre verileri sonuçlarından yararlanılarak ve ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilen  $N_{60}$  sayılarına göre farklı derinlikler için hesaplanan içsel sürtünme açısı değerleri

Presiyometre Modülü Verilerine Göre Hesaplanmış Sürtünme Açısı Değerleri					
Derinlik	P1	P2	P3	P4	P4-A (geçersiz)
0-5	34-40	30-32	34-40	30-32	30-34
5-10			32-34	40	
10-15					
15-20	34-37	45-48	48	> 50	34-37
20-25				40	
25-30					
30-35				> 50	
35-40		48			
40-45					
45-50					
50-55					
55-60					

Arazi deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması sonucunda içsel sürtünme açısı değerinin genel olarak  $32^0 - 40^0$  arasında değiştiği görülmektedir. Ancak stabilite analizlerinde güvenli tarafta kalınması amacıyla arazi deneylerinden elde edilen verilerden yola çıkarak içsel sürtünme açısı değerinin  $32^0$  olarak kabul edilmiştir.

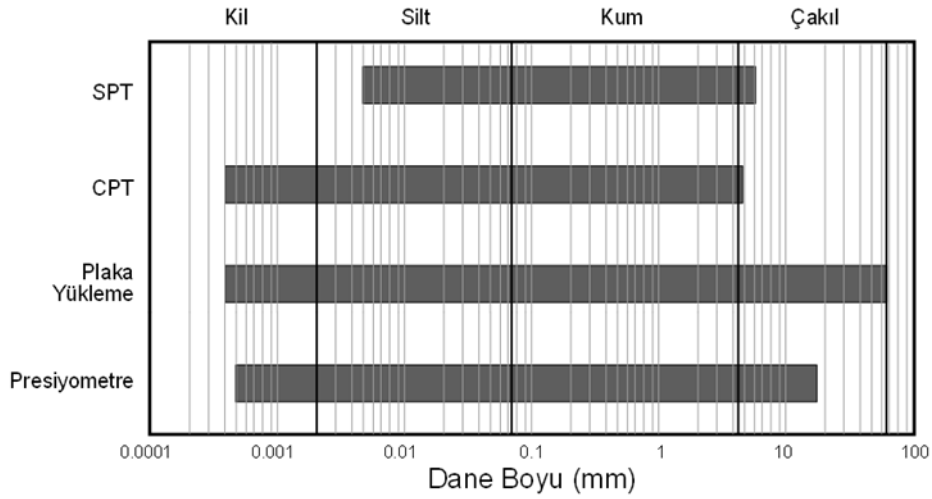
#### 3.6.4. Genel Değerlendirme

Laboratuvar deneyleri, yerinde arazi deneyleri ve literatür çalışmaları sonucunda elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde değerlendirilmiştir;

(1) Laboratuvar deneyleri, zeminlerin indeks özellikleri ile kayma direnci parametrelerini belirlemek için çoğu kez yeterlidir. Laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere zemin numunelerini çeşitli şekillerde almak mümkündür. Kohezyonlu zeminlerde (killer ve siltler) araziden alınan örnek çoğu kez arazi ortamını doğru olarak yansıtır. Ancak kohezyonsuz zeminlerde (kumlar ve çakıllar) örnek alımı sırasında, ortamda gerilme durumunun değişmesi ve numune alma işlemi sırasında numunenin fiziksel etkiye maruz kalması söz konusu olabilir. Bu gibi durumlarda numunelerde istenmeyen örselenmeler gelişebilir. Günümüzde kullanılan ekipmanlarla örselenmenin minimum

düzeyde kalması sağlansa bile, özellikle kohezyonsuz zemin özelliklerinin, yerinde arazi deneyleri ile belirlenmesi gerekmektedir.

(2) Arazi deneylerinin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Önemli olan bir çalışmada yerinde deney miktarını arttırmak değil, jeolojik ortamla uyumlu uygun deneyin seçilmesidir. Ancak bilinmesi gereken birim durum ise arazi deneylerinin siltli, kumlu ve az çakıllı zeminler için uygun olduğudur. Plaka yükleme deneyi hariç (bu deney sadece 1-2 metrelik sığ derinliklerden veri elde etmek için kullanılır) hiçbir arazi deneyi ortamda 20 mm (2 cm) den büyük dane olması durumunda uygun olmayabilir. Zeminlerin cinsine ve farklı dane boyuna göre arazi deneylerinin uygulanabilirliği Şekil 3.9'da verilmiştir (Mayne ve diğ., 2002).



Şekil 3.9. Zeminlerin cinsine ve dane boyuna göre arazi deneylerinin uygulanabilirliği (Coduto, 1999)

(3) Özellikle kumlu ve çakıllı zeminlerde örselenmemiş numune alımı zordur. Bu tür zeminlerde makaslama direnci parametreleri ve birim hacim ağırlık ölçümleri yanıltıcı olabilir. Eğer özel örnek alıcılar mevcut değilse; bu tür zeminlerin birim hacim ağırlıklarını ve kayma direnci parametrelerini hatalı ölçümlerle belirlemek yerine literatürde kabul görmüş tablolardan yararlanılması önerilmektedir (Coduto, 1999).

(4) Arazide yapılan presiyometre deney sonuçları incelendiğinde, elde edilen değerlerin; özellikle DSİ TAK Dairesinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve literatürde verilen değerler ile uyduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında tüm bu veriler dikkate alınarak Tablo 3.9'da verilen zemin özelliklerinin yamaç stabilite analizlerinde kullanılması uygun görülmüştür.

Tablo 3.9. Proje kapsamında yamaç stabilitesi analizinde girdi olarak kullanılan zemin parametreleri

Jeoteknik Özellik	Kohezyon (kPa)	Sürtünme Açısı	BHA (kN/m <sup>3</sup> )
Maksimum	12	45 <sup>0</sup>	20.5 ( $\gamma_d$ )
Minimum	3	32 <sup>0</sup>	17.0 ( $\gamma_n$ )
Kullanılan değer	10	32 <sup>0</sup>	17-20.5
* Analizlerde güvenli tarafta kalınması için makaslama direnci parametreleri düşük, birim hacim ağırlık değeri yüksek (ağırlığı arttırıcı) alınmış, ortalama değerler kullanılmamıştır.			

### 3.7. Uygun Stabilite Yöntemin Seçimi

Zemin şey/yamaç stabilite analizleri kayan kütlelerin dilimlere bölünerek önce her dilimin ayrı ayrı, daha sonra tüm dilimler dikkate alınarak dengesinin belirlenmesi esasına dayanır. Hesaplamalardan elde edilen sonuç (güvenlik katsayısı, F), sadece incelenen yenilme yüzeyi için geçerli olup, en küçük F değerini veren kritik kayma yüzeyi belirlenene değin hesaplamalara devam edilir. Bu yöntemlerde kullanılan parametreler (1)kayan kütlelerin ağırlığı (birim hacim ağırlık ve geometri kullanılır), (2) makaslama dayanım parametreleri, (3) gözenek suyu basıncı, (4) şevin geometrisi, (5), yer ivmesi ve (6) dış yükler şeklinde sıralanabilir.

Fellenius (1927, 1936; Nash, 1987'den) tarafından geliştirilen yöntemde şev yüzeyi ile kayma yüzeyi arasında kalan kayan kütle düşey yönde dilimlere bölünür. Önce her dilimin denge koşulu ayrı ayrı, daha sonra tüm dilimler birlikte değerlendirilerek kayan kütle için şevin güvenlik katsayısı hesaplanır. Dilimlere ayırma işleminde, özellikle birden fazla sayıda malzeme içeren şevlerde her dilimin tabanının tek bir malzemedeki kalmasına ve dilim genişlikleri dar tutularak dilim tabanlarındaki kayma yüzeyine ait parçaların yaklaşık bir doğru şeklinde olmasına dikkat edilir. En basit dilim yöntemi olup, bilgisayar kullanılmadan da çözümlenebilir yapılabildiği için olanak sağlayan yöntemde Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kullanılır ve kayan kütle dilimlere bölünür. Yöntem, sadece kayma merkezinin etrafında kaymaya karşı ve kaydırıcı kuvvetlerin moment dengesini dikkate alır ve *dairesel kaymalar* için uygulanır. Moment dengesi için tek bir eşitliği içeren ve F'i hesaplayan bu yöntemde dilimler arasında etkiyen kuvvetlerden düşey yönde olanı ihmal edilir, diğerinin ise o dilimin tabanına paralel yönde etkidiği varsayılır.

Dairesel kayma yüzeyleri için Bishop (1955) tarafından geliştirilmiş olan yöntem, en yaygın kullanılan analiz yöntemidir. Yöntemin; sadece moment dengesini esas alan Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi, hem de momentle birlikte kuvvetlerin dengesini de değerlendiren Karmaşık Bishop Yöntemi olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Bu yöntemde düşey yöndeki yanal kuvvetlerin farkının ihmal edilebilecek düzeyde küçük olduğu varsayılır ve momentlerin dengesi esas alınır.

Janbu (1973) tarafından önerilen bu yöntem, dairesel olmayan kayma yüzeyleri (dairesele başlayıp düzlemsel şekilde devam eden spiral şekilli vb.) için kullanılır. Yöntemin basitleştirilmiş versiyonunda dilimler arası kuvvetlerin sıfır oldukları kabul edilir. Uygulamada daha çok tercih edilen basitleştirilmiş versiyonudur. Analizlerde yatay yöndeki kuvvetlerin dengesi araştırılır ve düzeltilmemiş güvenlik katsayısı hesaplanır.

Bu çalışma kapsamında ortamın özellikleri de dikkate alınarak, lokal ve sığ dairesele yenilmeler için Bishop, derin dairesele başlayıp düzlemsel devam edebilecek kayma yüzeyleri düşünüldüğünde Janbu yöntemleri ayrı ayrı kullanılarak yamaç stabilite analizleri yapılmış, Janbu yöntemi kullanılarak bulunan güvenlik sayısı değerleri yorumlanmıştır.

### 3.8. Güvenlik Sayısının Seçimi

Şevi veya yamacı oluşturan malzemenin doğası ve jeolojik koşullar nedeniyle her şevin tasarımının birbirinden farklı olması ve duraylılık analizi için doğru yöntemin seçiminin tasarımın sadece bir bölümünü oluşturması bazı belirsizliklere neden olabilir. Bu belirsizlikler:

- (a) Saha ve laboratuvar verilerinin yorumu,
- (b) Şevin ve kayma yüzeyinin geometrisi,
- (c) Sahanın sismik özelliklerinin belirlenmesiyle ilgili güçlükler, sınırlamalar veya belirsizlikler,
- (d) Tasarımcının söz konusu şev sorunuyla ilgili yeterli bilgiye sahip olmaması şeklinde sıralanabilir.

Yukarıda belirtilen belirsizlikler nedeniyle çoğu kez belirli bir risk söz konusu olup, belirsizliklerin güvenlik katsayısı (F) tarafından dengelenmesi yaygın bir eğilimdir. Diğer bir ifadeyle güvenlik katsayısı, tasarım parametrelerindeki belirsizlikleri ve yenilmenin (kaymanın) sonuçlarını karşılayabilmelidir. Bu nedenle güvenlik katsayısının seçiminde ve

tasarım amacıyla kullanılmasında duraysızlığın insan yaşamı, çevre, yerleşim ve tesisler açısından taşıdığı tehlikenin boyutları, analizlerde esas alınan parametreler, sismik risk vb. gibi faktörlere bağlı olarak çeşitli kuruluşlarca güvenlik katsayıları önerilmiştir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. ABD için farklı yıllarda kabul edilmiş ve farklı şartlar için kabul edilen güvenlik sayıları (F)

A.B.D. (D'APPOLONIA CONS. ENGRS. INC, 1975)	En Küçük F		
	Afet potansiyeli açısından		
	Yüksek	Orta	Düşük
1. Tasarımda laboratuvarında belirlenmiş makaslama dayanımının esas alınması koşulu	1.5	1.4	1.3
2. Tasarımın o saha için belirlenen en yüksek yer ivmesi de dikkate alınarak yapılması koşulu	1.2	1.1	1.0

Çoğunlukla deprem durumu ve yeraltı suyundan kaynaklanan boşluk suyu basıncı parametresi dikkate alınarak güvenlik sayısı seçilse de, özellikle zeminlerin makaslama direnci parametreleri için uygulanan yöntemlere göre de güvenlik sayısı belirlenebilmektedir (Tablo 3.11). Bu durumda kayma direnci parametrelerinin doruk veya artık makaslama direnci parametresi olmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3.11. Makaslama direnci parametrelerinin kullanımına göre kabul edilen güvenlik sayıları

İNGİLTERE (NATIONAL COAL BOARD, 1970)	F	
	I*	II**
(1) Kayma yüzeyi boyunca doruk makaslama dayanımının kullanılması	1.5	1.25
(2) Kayma yüzeyinin, tabanda yer alan ve makaslama dayanımı artık değere düşmüş olan bir zeminden geçmesi koşulu	1.35	1.15
(3) Kayma yüzeyinin suyla dolmuş ve makaslama dayanımı olmayan derin ve düşey yönde gelişmiş bir çatlaktan geçmesi koşulu	1.35	1.15
(4) Hem (2) hem de (3) no.lu koşulların birlikte geliştiği durumlar	1.2	1.1

Proje konusu Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi çok düşük kohezyona sahip kaba taneli malzemedan oluşan çoğunlukla bloklu-çakıllı, az oranda siltli-killi kumdan oluşmaktadır. Her ne kadar önceki çalışmalarda bu malzemedan örselenmemiş örnek alınmaya ve bu malzeme üzerinde makaslama deneyleri yapılmaya çalışılmışsa da, bu



çalışma kapsamında literatür verileri kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında güvenlik sayısı seçilirken Tablo 3.10 ve Tablo 3.11'den yararlanılmıştır. Bu durumda yatay yer ivmesinin kullanılması durumu için güvenlik sayısı (F) 1.2, deprem durumu dikkate alınmadığı durum için güvenlik sayısı (F) 1.5 olarak seçilmiştir.

### **3.9. Yamaç Duraylılık Analizleri**

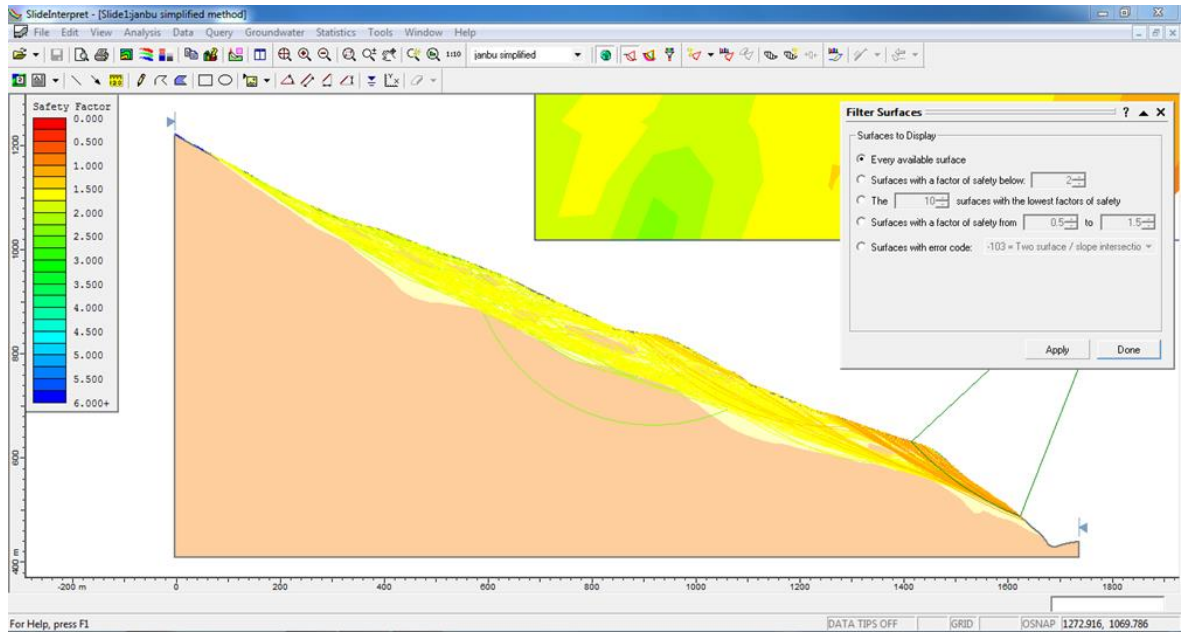
#### **3.9.1. Riskli Bölgelerin Tespiti**

Yapılan tüm literatür, arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında Havuzlu Paleo-Heyelan Malzemesinin duraylılığı limit denge yöntemleriyle araştırılmıştır. Heyelan malzemesinin kalınlığının ortalama 70 metre, uzunluğunun ise yaklaşık 1600 metre olduğu düşünüldüğünde, olası hareketin bir bütün halinde olup olmayacağı çalışmanın ilk aşamasını oluşturmuştur. Bu nedenle ilk olarak laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilmiş, sonrasında elde edilen sonuçlar limit denge yöntemleriyle elde edilen sonuçlarla beraber yorumlanmıştır.

Likit limit zeminlerin kendi ağırlığına akabildiği su muhtevası değeridir. Yüksek likit limit değerine sahip zeminler yüksek kil oranını ve dolayısıyla düşük içsel sürtünme açısı değerlerini ifade eder. Plastisite indisi ise zeminin plastik durumdaki su içeriğine yakındır. % 5 gibi düşük plastisite indisi değerleri; su içeriğindeki küçük değişimlere rağmen zeminin katı halden sıvı hale geçebildiğinin göstergesidir. Bununla birlikte yüksek plastisite indisi değerleri (% 35'den yüksek) zeminlerin şişme potansiyelinin yüksekliğini ifade eder. Bu nedenle genellikle şev stabilitesi ve taşıma gücü problemlerinde plastisite indisi 10-20 arasında değişen zeminler tercih edilir (Coduto, 1999). Yapılan deneysel çalışmalarda proje konusu zeminlerin düşük likit limit (LL) ve şişme potansiyeline sahip düşük plastisiteli zeminler olduğu görülmektedir. Ayrıca su içeriğindeki değişimlerin bu tür zeminleri olumsuz etkileme durumu da düşüktür. Yapılan deneysel çalışmalarda zeminin arazideki su içeriği değeri % 15-25 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu durumda likitide indeksi değerleri eksi işaretlidir ("0" dan küçük). Bu değerler ise su içeriğinin plastik limit değerinden az olduğunu dolayısıyla zeminin mevcut konumu ile katı gibi davrandığını göstermektedir (Rahn, 1996). Bu durum; çalışma konusu heyelan malzemesinde küçük ölçekli oturmalar ve kaymalar görülse bile bu zeminin mevcut durumu ile kütleli bir yenilme (heyelan) tehdidi altında olmadığını bir göstergesidir.

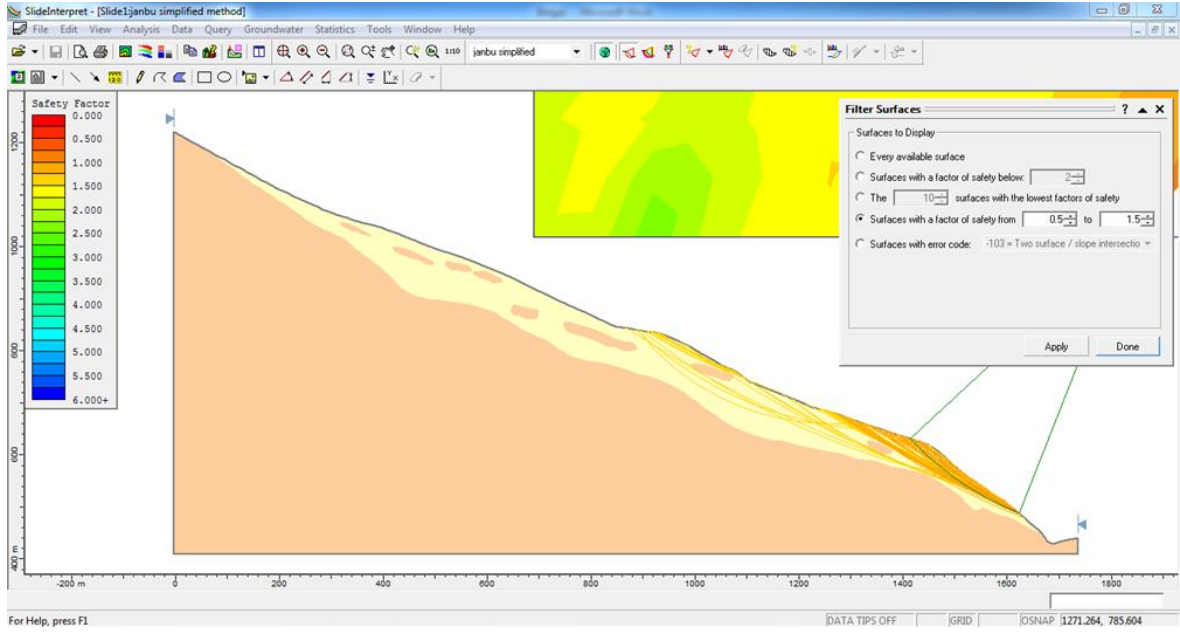
Ancak sadece laboratuvar verileriyle gelişecek olası hareketin lokal olabileceğinin yorumlanması yeterli olmaz. Bu nedenle A-A' kesiti boyunca yapılan limit denge analizleri ile farklı güvenlik sayısına sahip kayma dairelerinin belli bölgelerde grup oluşturup oluşturmadığına bakılmış, elde edilen sonuçlar yardımıyla heyelan malzemesi farklı zonlara ayrılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında toplam 4807 kayma yüzeyi (dairesel-düzlemsel) için stabilite analizi yapılmıştır (Şekil 3.10). Kayma yüzeyleri incelendiğinde bu yüzeylerin tamamının heyelan malzemesi içerisinde kaldığı, Berta ve Mudurnu Formasyonu'ndan oluşan kaya kütleleri içerisinde kayma dairesinin bulunmadığı görülmektedir. Bununla birlikte Berta Formasyonu içerisinde dairesel bir kayma yüzeyi görülmüş, ancak bu yüzeye ait güvenlik sayısı değeri 3'ten büyük olduğu için dikkate alınmamıştır.



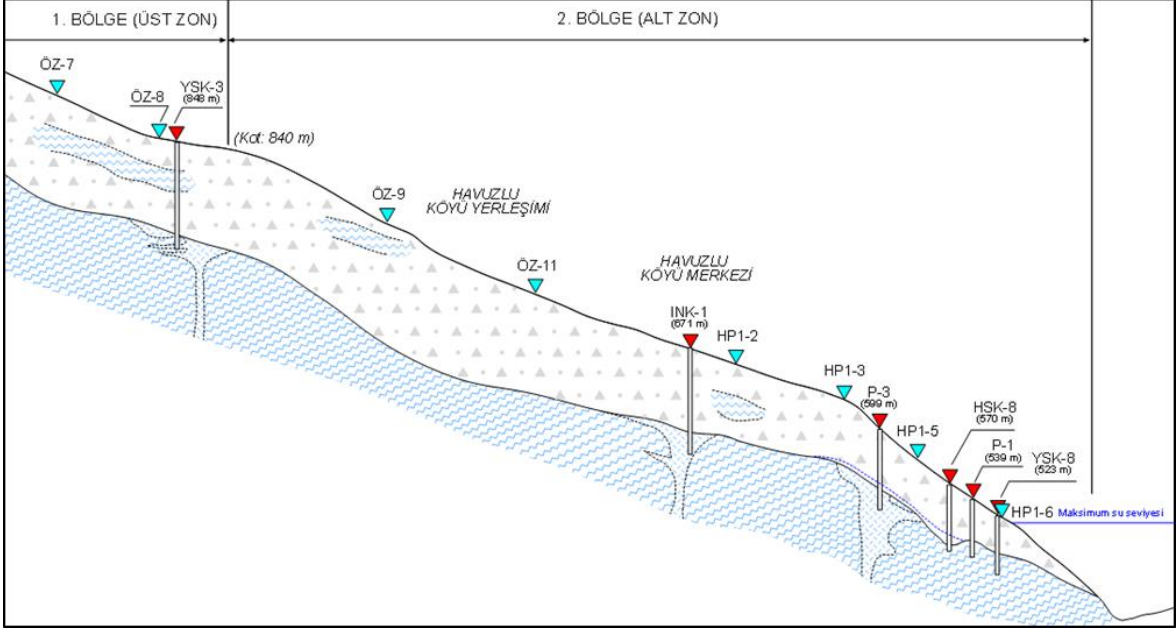
Şekil 3.10. A-A' kesiti boyunca olası kayma yüzeylerinin Slide 6.0 programındaki görünümü

Çalışmanın ikinci aşamasında 0.5-1.5 arasında güvenlik sayısına sahip bölgeler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar yardımıyla heyelan bölgesi farklı zonlara ayrılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. A-A' kesiti boyunca güvenlik sayısı 0.5-1.5 arasındaki kayma yüzeylerinin Slide 6.0 programındaki görünümü

Şekil 3.11 incelendiğinde 0.5-1.5 güvenlik sayısına sahip kayma yüzeylerinin 840 metreden aşağı kotlarda olduğu görülmektedir. Bu kottan heyelan başlangıcı olan 1185 metre kota kadar olan kısımda gelişen kayma dairelerine ait güvenlik sayısı değerlerinin 1.5'ten büyük olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum ise paleo-heyelan malzemesinin 840 kotundan yukarıda ve aşağıda olan bölgesinin ayrı değerlendirilebileceğini göstermektedir (Şekil 3.12). Bununla birlikte heyelan malzemesinde meydana gelebilecek olası yenilmelerin 840 kotundan aşağıda bulunan yüzeylerden itibaren gelişebileceği de görülmektedir. Bu durum; çalışma konusu heyelan malzemesinde küresel bir yenilmeden (heyelan) ziyade lokal yenilmelerin gelişme potansiyelinin çok daha fazla olduğunu göstermektedir.



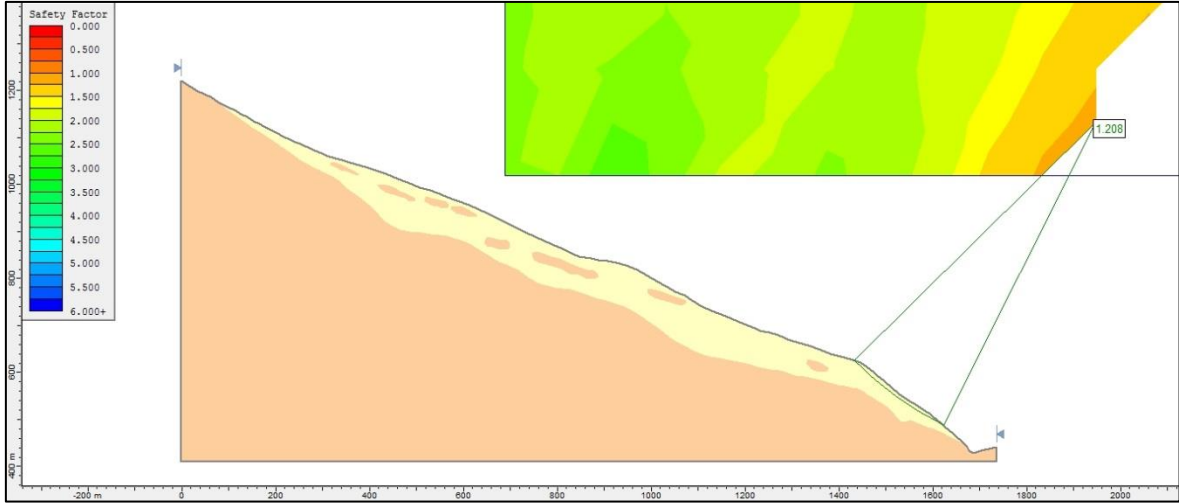
Şekil 3.12. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası heyelan malzemesinde farklı değerlendirmeye alınacak bölgeler

Şekil 3.12 incelendiğinde iki farklı bölgenin farklı davranış göstermesindeki en büyük etkenin yüzey ve yeraltı topografyası olduğu anlaşılmaktadır.

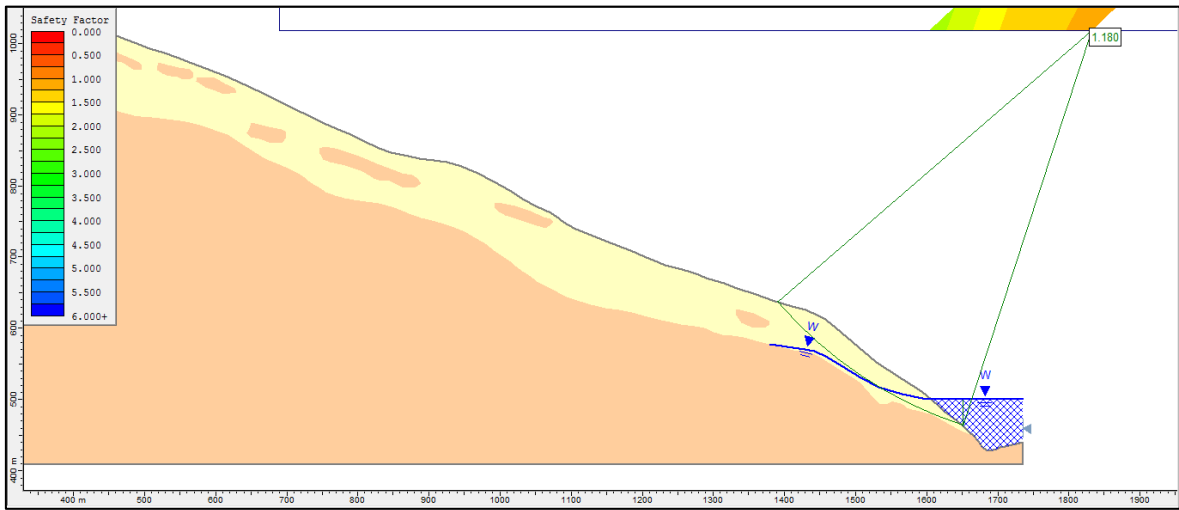
### 3.9.2. Limit Denge Analizleri

Herhangi bir şevi oluşturan zeminin çok zayıf kaya, atık veya pasa malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri şev boyunca çok değişiklik göstermesi durumunda veya bloklu yamaç molozunun mevcudiyetinde dairesel yenilme esasına dayanan stabilite yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Janbu (1956, 1973) yöntemi kullanılarak limit denge analizleri yapılmıştır. Yöntem her biçimde kayma yüzeyine uygulanabilen ve kuvvet dengesi koşullarını sağlayan çözümler içermektedir. Yöntemin temelinde 3 bilinmeyen ve 3 denklemle hesap yapılmaktadır. Bu yöntem temelde Bishop yöntemine benzer olup en belirgin farklılığı herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir.

Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında mevcut durum ve su seviyesinin maksimum düzeye (500 m) çıkması durumunda limit denge analizleri gerçekleştirilmiş (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14), aynı koşullar deprem durumu gözetilerek (yatay yer ivmesi 0.25g) tekrarlanmıştır.

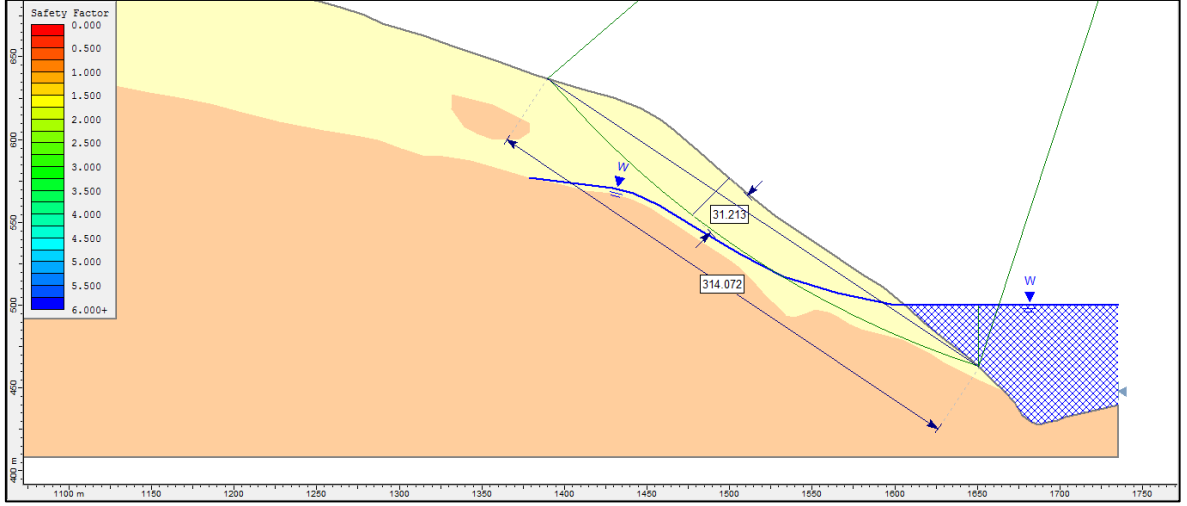


Şekil 3.13. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası mevcut durumda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri ( $G = 1.21$ )



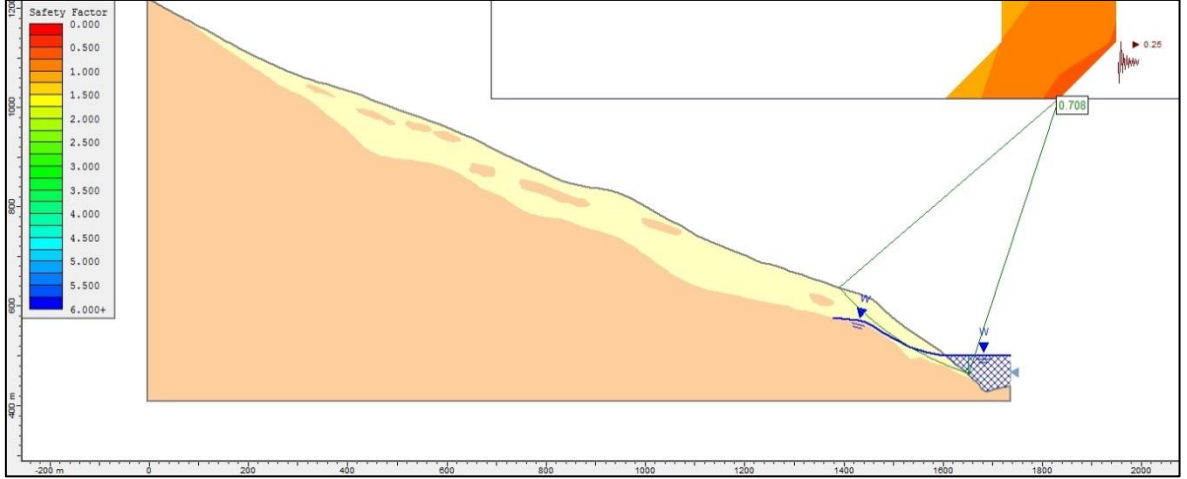
Şekil 3.14. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri

Analizler değerlendirildiğinde Paleo-Heyelan malzemesinin mevcut durumunda güvenlik sayısı değeri 1.21 olarak, su seviyesinin 500 metreye ulaşması durumunda (maksimum işletme seviyesi) güvenlik sayısı değeri 1.18 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gelişebilecek bir kütle hareketinin boyutları incelendiğinde yaklaşık 32 metre kalınlığında, 314 metre uzunluğunda ve hacmi yaklaşık 3 milyon  $m^3$  lük bir kütle bulunduğuna anlaşılmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde olması durumunda gelişebilecek kütle hareketinin boyutları

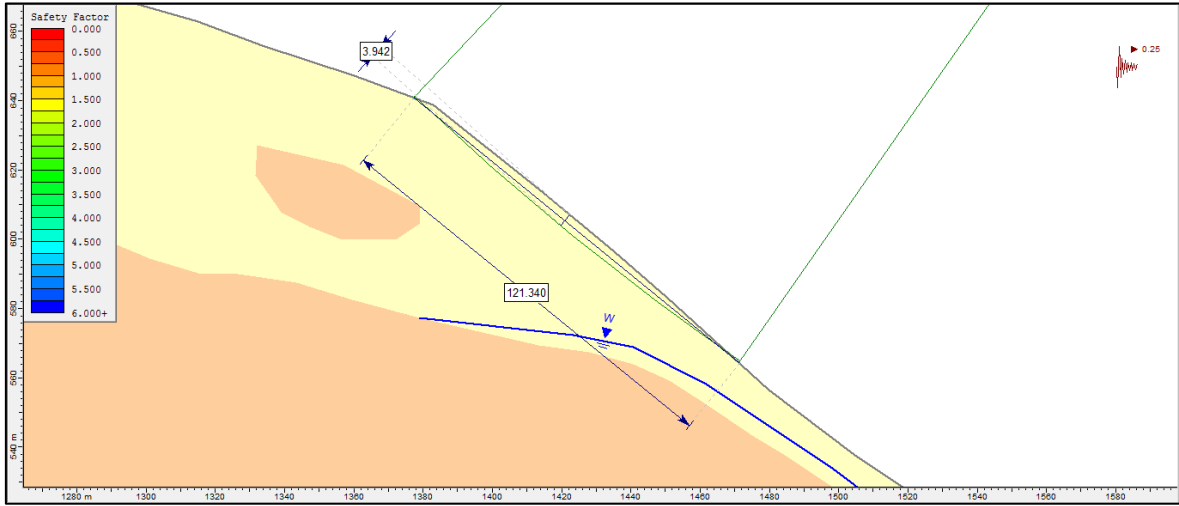
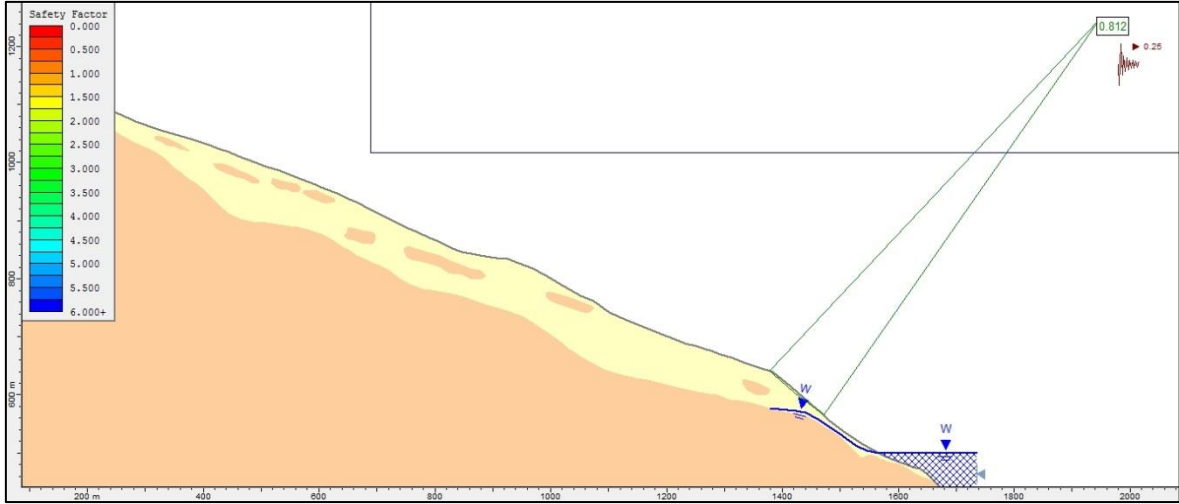
Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus suyun kütle hareketi üzerine etkisinin minimum düzeyde olduğudur (güvenlik sayısı % 2 oranında azalmıştır). Bilindiği gibi kohezyonsuz ve/veya çok düşük kohezyona sahip taneli zeminlerde, suyun kayma direnci parametreleri üzerindeki olumsuz etkisi kohezyonlu zeminlere göre çok daha azdır. Hatta temiz çakıllarda yapılan deneylerde suyun kayma direnci parametrelerini azaltıcı yönde etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmüştür (Coduto, 1999). Bu durum bu çalışma kapsamında da görülmüştür. Bu nedenle olası bir depremin güvenlik sayısı üzerindeki olumsuz etkisinin araştırılması amacıyla, limit denge analizi deprem durumu için (yatay ivmesinin 0.25 olması) tekrarlanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) ve deprem yer ivmesi değerinin 0.25g olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri (1.Kayma)

Şekil 3.16 incelendiğinde su seviyesinin 500 metreye ulaşması durumunda ve bir deprem etkisi sonucunda güvenlik sayısı değerinin 0.71'e düştüğü görülmektedir. Bu durumda malzeme duraysız hale gelmekte ve kütle hareketi beklenmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken kütle hareketi oluşumunda deprem etkisinin suyun etkisinden çok daha fazla olduğudur. Su güvenlik sayısı % 2 oranında azaltırken, olası deprem etkisi güvenlik sayısını yaklaşık % 40 oranında düşürmektedir. 1974-1992 yılları arasında EİEİ tarafından yapılan detaylı araştırmalar sonucunda benzer şekilde deprem etkisinin, yeraltı suyu yükselmesine nazaran daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

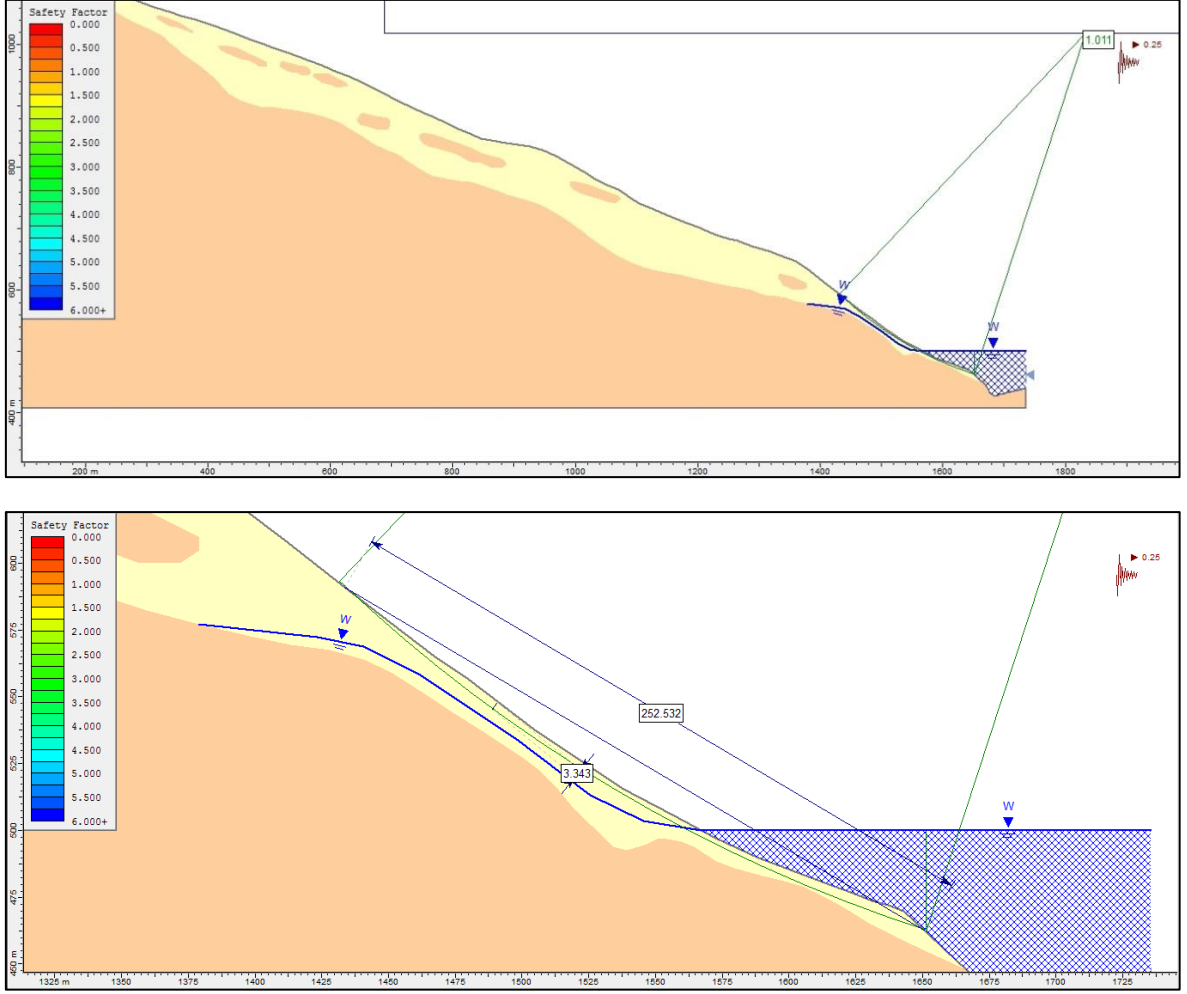
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi kütleli bir yenilme beklenmemekle birlikte kaymanın gerileyen şekilde devam edeceği stabilite analizleri ile tespit edilmiş, kayma neticesinde geometrisi değişen yamaçta limit denge analizleri tekrarlanmıştır. Şekil 3.17'de gelişecek ikinci kayma sonrası güvenlik sayısı ve yamaç geometrisi verilmiştir.



Şekil 3.17. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) olması durumunda gelişecek kayma yüzeyine ait güvenlik katsayısı (0.81) ve kayma yüzeyi geometrisi (2. Kayma)

Şekil 3.17 incelendiğinde incelendiğinde yaklaşık 4 metre kalınlığında, 121 metre uzunluğunda bir kütlede heyelan gelişeceği görülmektedir ( $G = 0.81$ ). Gelişen bu heyelanın ardından oluşan yeni topografya için analiz tekrarlanmış sonuçlar Şekil 3.18'de (3. Kayma).





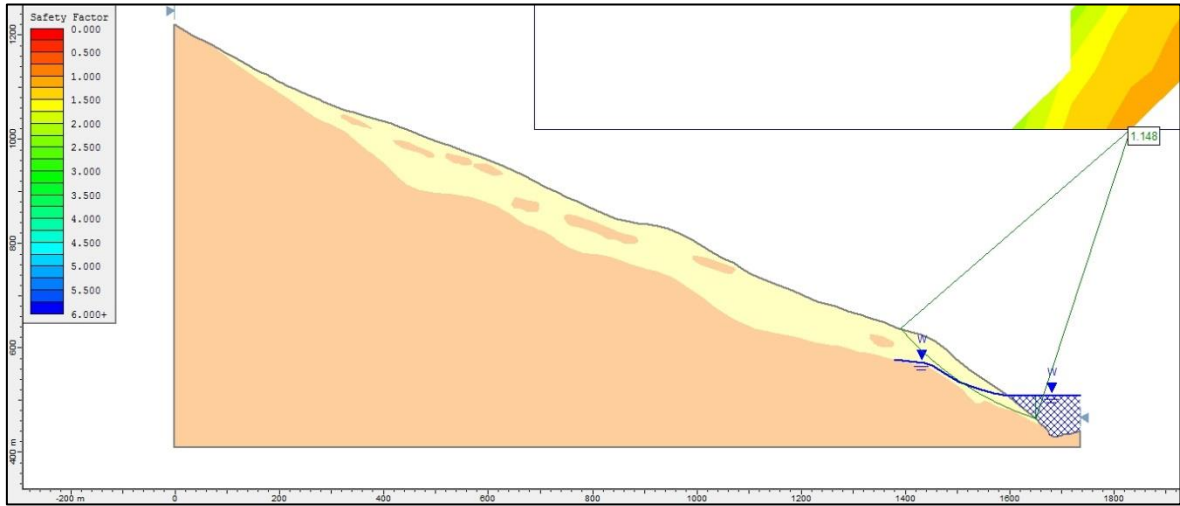
Şekil 3.18. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün maksimum işletme seviyesinde (500 m) olması durumunda gelişecek üçüncü kaymanın geometrisi

Şekil 3.18 incelendiğinde yaklaşık 3 metre kalınlığında, 250 metre uzunluğunda bir kütlede heyelan gelişeceği görülmektedir. Ancak bu durumda deprem durumunda dahi güvenlik sayısı 1 (kritik denge) durumundadır (stabilite sağlanmıştır).

Yapılan tüm analizler incelendiğinde 3. kayma sonucunda olası heyelan sınırının en fazla 640 m kotuna ulaştığı ve heyelan malzemesinin duraylı hale geldiği görülmektedir. Ayrıca tekrarlayan her kayma sonucunda gelişecek yeni kaymada, kayan malzemenin boyutları ve hacmi azalmış, 3. kayma sonunda bu azalma % 90 oranına ulaşmıştır. Bununla birlikte birbirini takip eden her kayma sonucunda kayma dairesine ait güvenlik sayısı değeri artmıştır. Hatta son kaymada sadece yüzeyde birkaç metrelik kısımda heyelan gözlenmiştir.

Bu durum baraj inşası sonucunda rezervuar suyunun maksimum işletme kotuna ulaşması durumunda kütleli ve tüm heyelan malzemesinin etkileneceği bir yenilmenin olmayacağı, ancak daha küçük boyutlarda ve gerileyen nitelikte tekrarlı kütle hareketi riskinin olduğu, gelişebilecek olası kütle hareketinin en fazla 640 metre kotuna ulaşacağını ortaya koymaktadır. Olası kayma yüzeylerinin genel olarak heyelan topuk noktasından yaklaşık 220 metrelik mesafede geliştiği görülmektedir.

Doğuş Enerji tarafından, EİEİ (1990)'nin Artvin baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Cilt 3.1 Proje Esaslarına göre, taşkın durumunda işletme kotu 507 m olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında maksimum su seviyesi için stabilite analizleri tekrar yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.19'da verilmiştir. Bu durumda güvenlik sayısı değerinin 1.15'e düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.19. Slide 6.0 programında yapılan değerlendirme sonrası gölün taşkın seviyesinde (507 m) olması durumunda minimum kayma yüzeyi için güvenlik sayısı değeri

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Artvin Barajı ve HES Projesi, Doğu Karadeniz Bölümü Orta Çoruh Havzasında ve Çoruh Nehri üzerinde planlanmış olup, inşası halen devam etmektedir. Tamamlandığında, su tutması sonucu baraj gölü maksimum su seviyesi 507 metre, minimum su seviyesi kotu 499 metreye ulaşacaktır. Araştırma konusu Havuzlu paleo-heyelan alanı (Yusufeli-Artvin), Artvin barajının su tutması ile baraj rezervuar alanı içerisinde kalacak, baraj gölü maksimum su seviyesi paleo-heyelan topoğuna kadar erişecektir. Bu çalışma kapsamında; inşası devam etmekte olan Artvin barajının su tutmasıyla birlikte topuk kısmı gölalanı içerisinde kalacak olan paleo-heyelan malzemenin yanal ve düşey devamlılığı jeolojik ve jeofizik çalışmalar ile belirlenmiş, farklı koşullar için paleo-heyelan malzemesinin stabilitesi araştırılmıştır.

Stabilite analizinde kullanılacak zemin parametreleri seçilirken laboratuvar deneyleri, yerinde arazi deneyleri ve literatür çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm çalışma sonuçları bir bütün halinde değerlendirildiğinde arazide yapılan presiyometre deney sonuçları incelendiğinde, elde edilen değerlerin; özellikle DSİ TAKK Dairesinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve literatürde verilen değerler ile uyduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında tüm bu veriler dikkate alınarak aşağıdaki tabloda verilen zemin özelliklerinin yamaç stabilite analizlerinde kullanılması uygun görülmüştür (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Yamaç stabilitesi analizinde girdi olarak kullanılan zemin parametreleri

Jeoteknik Özellik	Kohezyon (kPa)	Sürtünme Açısı	BHA (kN/m <sup>3</sup> )
Maksimum	12	45 <sup>0</sup>	20.5
Minimum	3	32 <sup>0</sup>	17.0
Kullanılan değer	10	32 <sup>0</sup>	17-20
* Analizlerde güvenli tarafta kalınması için makaslama direnci parametreleri düşük, birim hacim ağırlık değeri yüksek (ağırlığı arttırıcı) alınmış, ortalama değerler kullanılmamıştır.			

Çalışma alanı Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi çok düşük kohezyona sahip kaba taneli malzemedan oluşan çoğunlukla bloklu-çakıllı, az oranda siltli-killi kumdan oluşmaktadır. Her ne kadar önceki çalışmalarda bu malzemedan örselenmemiş örnek

alınmaya ve bu malzeme üzerinde makaslama deneyleri yapılmaya çalışılmışsa da, bu çalışma kapsamında literatür verileri kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında güvenlik sayısı seçilirken Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’den yararlanılmıştır. Bu durumda yatay yer ivmesinin kullanılması durumu için güvenlik sayısı (F) 1.2, deprem durumu dikkate alınmadığı durum için güvenlik sayısı (F) 1.5 olarak seçilmiştir.

A-A’ kesiti boyunca yapılan limit denge analizleri ile farklı güvenlik sayısına sahip kayma dairelerinin belli bölgelerde grup oluşturup oluşturmadığına bakılmış, elde edilen sonuçlar yardımıyla heyelan malzemesi farklı zonlara ayrılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında toplam 4807 kayma yüzeyi (dairesel-düzlemsel) için stabilite analizi yapılmıştır. Kayma yüzeyleri incelendiğinde bu yüzeylerin tamamının heyelan malzemesi içerisinde kaldığı, Berta ve Mudurnu Formasyonu’ndan oluşan kaya kütleleri içerisinde kayma dairesinin bulunmadığı görülmektedir. Bununla birlikte Berta Formasyonu içerisinde dairel bir kayma yüzeyi görülmüş, ancak bu yüzeye ait güvenlik sayısı değeri 3’ten büyük olduğu için dikkate alınmamıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında 0.5-1.5 arasında güvenlik sayısına sahip bölgeler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar yardımıyla heyelan bölgesi farklı zonlara ayrılmıştır. 0.5-1.5 güvenlik sayısına sahip kayma yüzeylerinin 840 metreden aşağı kotlarda olduğu görülmektedir. Bu kottan heyelan başlangıcı olan 1185 metre kota kadar olan kısımda gelişen kayma dairelerine ait güvenlik sayısı değerlerinin 1.5’ten büyük olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum ise paleo-heyelan malzemesinin 840 m kotundan yukarıda ve aşağıda olan bölgesinin ayrı değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte heyelan malzemesinde meydana gelebilecek olası yenilmelerin 840 m kotundan aşağıda bulunan yüzeylerden itibaren gelişebileceği de görülmektedir. Bu durum; çalışma konusu heyelan malzemesinde kütleli bir yenilmeden (heyelan) ziyade lokal yenilmelerin gelişme potansiyelinin çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

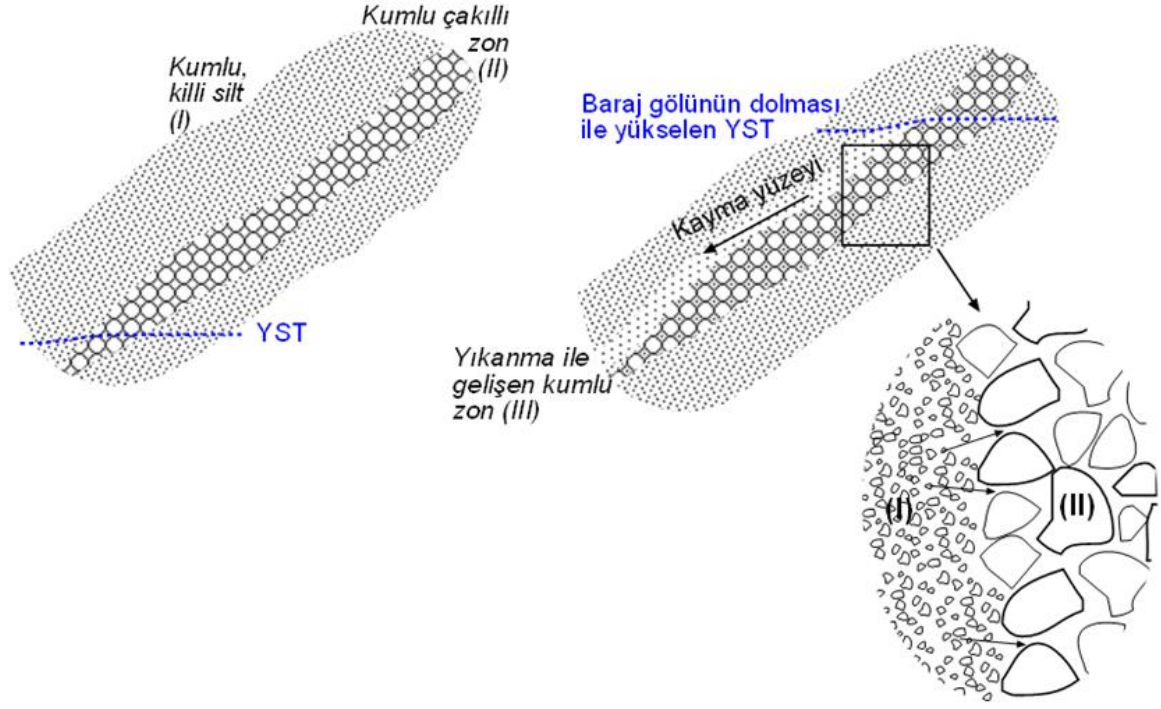
Yamaç stabilitesine yönelik yapılan çalışmanın ilk aşamasında mevcut durum ve su seviyesinin maksimum işletme düzeyine (500 m) çıkması durumunda limit denge analizleri gerçekleştirilmiş, aynı koşullar deprem durumu gözetilerek (yatay yer ivmesi 0.25g) tekrarlanmıştır. Analizler değerlendirildiğinde Paleo-Heyelan malzemesinin mevcut durumu ile denge değerinde olduğu görülmektedir (Güvenlik sayısı “1.21”). Bununla birlikte su seviyesinin 500 metreye ulaşması durumunda güvenlik sayısı değeri 1.18’e düşecektir. Bu durumda malzeme duraysız hale gelecek ve yüksek ihtimalle kütle hareketi

gelişecektir. Gelişebilecek kütle hareketi boyutları incelendiğinde yaklaşık 32 metre kalınlığında, 314 metre uzunluğunda ve hacmi yaklaşık 3 milyon m<sup>3</sup> lük bir kütlenin kayma riski bulunduğu anlaşılmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus suyun kütle hareketi üzerine etkisinin minimum düzeyde olduğudur (güvenlik sayısı % 2 oranında azalmıştır). Bilindiği gibi kohezyonsuz ve/veya çok düşük kohezyona sahip taneli zeminlerde, suyun kayma direnci parametreleri üzerindeki olumsuz etkisi kohezyonlu zeminlere göre çok daha azdır. Hatta temiz çakıllarda yapılan deneylerde suyun kayma direnci parametrelerini azaltıcı yönde etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmüştür (Coduto, 1999). Bu durum bu çalışma kapsamında da görülmüştür. Bu nedenle olası bir depremin güvenlik sayısı üzerindeki olumsuz etkisinin araştırılması amacıyla, limit denge analizi deprem durumu için (yatay yer ivmesinin 0.25 g olması) tekrarlanmıştır. Su seviyesinin 500 metreye ulaşması durumunda ve bir deprem etkisi sonucunda güvenlik sayısı değerinin 0.71'e düştüğü görülmektedir. Bu durumda malzeme duraysız hale gelmekte ve kütle hareketi beklenmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken kütle hareketi oluşumunda deprem etkisinin suyun etkisinden çok daha fazla olduğudur. Su güvenlik sayısı % 2 oranında azaltırken, olası deprem etkisi güvenlik sayısını yaklaşık % 40 oranında düşürmektedir. 1974-1992 yılları arasında EİEİ tarafından yapılan detaylı araştırmalar sonucunda benzer şekilde deprem etkisinin, yeraltı suyu yükselmesine nazaran daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında kaymanın gerileyen şekilde devam edeceği stabilite analizleri ile tespit edilmiş, kayma neticesinde geometrisi değişen yamaçta limit denge analizleri tekrarlanmıştır. Yapılan tüm analizler incelendiğinde 3. kayma sonucunda olası heyelan sınırının 640 m kotuna ulaştığı görülmektedir. Ayrıca tekrarlayan her kayma sonucunda gelişecek yeni kaymada, kayan malzemenin boyutları ve hacmi azalmış, 3. kayma sonunda bu azalma % 90 oranına ulaşmıştır. Bununla birlikte birbirini takip eden her kayma sonucunda kayma dairesine ait güvenlik sayısı değeri artmıştır. Hatta son kaymada sadece yüzeyde birkaç metrelik kısımda heyelan gözlenmiştir. Bu durum baraj inşası sonucunda rezervuar suyunun maksimum 507 metre kotuna ulaşması durumunda kütleli ve tüm heyelan malzemesinin etkileneceği bir yenilmenin olmayacağı, ancak daha küçük boyutlarda ve gerileyen nitelikte tekrarlı kütle hareketi riskinin olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Olası kayma yüzeylerinin genel olarak heyelan topuk noktasından yaklaşık 220 metrelik mesafede geliştiği görülmektedir.

Baraj göl alanlarında özellikle ince taneli materyal mevcudiyetinde yer altı suyu seviyesinin değişimiyle ilişkili olarak gelişen iç erozyon sonucu yamaç içerisinde kanalların oluşumu (borulanma) beklenen bir olumsuzluktur. Özellikle siltli zeminler borulanmaya meyillidir. Bazı zeminlerde, özellikle paleo-heyelan alanları ve yamaç molozlarında yerel ince ve/veya kaba taneli malzeme seviyeleri bulunabilir. Bu zeminlerin daha ince taneli zeminlerle temas yüzeyi oluşturması durumunda sızma kuvveti daha ince taneli partikülleri bu zona itmeye zorlar ve yapay zonlar tıkanarak süreksizlik zonları oluşturabilir. Ayrıca hareket eden ince taneli materyallerin yerinde kalan boşluklar uzun mesafelerde yayılırlarsa borulanma gelişebilir. Bu durum kütle hareketinin gelişmesine neden olabilir. Borulanma problemleri suyu geçiren fakat göçme potansiyeli olan zeminleri tutan filtreler yerleştirmek suretiyle giderilebilir (derecelenmeli zemin filtreleri ve jeosentetik filtreler). Bu nedenle ortamı homojen olarak kabul eden stabilite analizleri kadar zeminlerin borulanma potansiyeli de bu tür projeler için önem arz eder. Aşağıdaki şekilde proje konusu heyelan malzemesi için öngörülen borulanma modeli verilmiştir (Şekil 4.1).

Bu çalışma kapsamında güvenlik açısından hem yüzeyde hem de yer altında izleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerekli okumalar düzenli olarak halen devam etmektedir. Yüzeysel olarak, “elektronik mesafe ölçerlerden” yararlanılmakta, lazer ışınının, şev yüzeyine takılmış reflektörlerden (istasyondan) hareketsiz bir noktaya kurulmuş ölçüm cihazına yansıtılarak istasyonların koordinatlarındaki değişim periyodik ölçümlerle saptanmaktadır. Ölçümlerde genel olarak eğik mesafe değerleri dikkate alınmıştır. Ölçülen eğik mesafeler incelendiğinde kütle hareketini gösteren bir değere rastlanılmamıştır. Bununla birlikte sadece (-) değerlerin olması ve bu değerlerin lineer azalış göstermesi bir heyelan hareketinin kanıtı olarak görülmektedir. Oysaki ölçümlerde hem (+), hem de (-) değerlerin olması ve bu değerlerin azalan bir eğilim göstermemesi ortamda mevcut hali ile bir hareketin olmadığını göstermektedir. Bu sapmalar ise ölçüm aletinin hassasiyetiyle ilgilidir. Bu tür ölçümler uzaklığa bağlı olarak 1-10 mm arasında sapma verebilirler. Bu nedenle özellikle baraj gölünde su tutulmaya başlanması ile beraber INK-1 numaralı kuyuda yapılan inklometre ölçümleri dikkatlice incelenmeli ve elde edilen veriler ışığında düzenlemeler yapılmalıdır.



Şekil 4.1. Proje konusu heyelan malzemesinde gelişebilecek borulanma modeli (ince taneli zemin (I) yıkanma yoluyla kaba taneli zemin (II) içine girerek boşlukları tıkar. Kumlu ve çakıllı zona (II) ince materyalin kaçması sonucu gelişen yıkanma; çakıllı zonun çevresinde geçirgen ve zayıf bir zonun (III) gelişmesine olanak kılar)

Heyelanın gelişeceği vadinin kesitinin en dar olduğu alanda heyelan malzemesinin genişliği boyunca göl rezervuar hacmi 3.6 milyon m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Oluşacak muhtemel heyelanın by-pass tüneline devre dışı bırakması durumuna karşı, mevcut batordonun yükseltilmesi, tünel giriş ağzına baca yapılması veya tünelin uzatılması gibi önlemlerden birinin alınması önerilir.

Heyelan malzemesinin özellikleri nedeniyle, baraj işletmesi süresince rezervuar su seviyesindeki değişimlerin kontrollü yapılması ve ani seviye değişimlerine izin verilmemesi önem arz etmektedir. Ayrıca, Havuzlu Paleo-Heyelan alanında, yerleşimin olup olmamasına bağlı olmaksızın, yüzey ve yağmur sularının uzaklaştırılması uygun olacaktır.

Havuzlu Heyelanından rezervuar içine ani kütle kaymasıyla Artvin Barajı memba yüzünde ve Yusufeli Barajı mansap topuğunda oluşabilecek dalga yüksekliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, oluşabilecek dalga yüksekliğine göre Artvin

Barajının memba ve mansap vadi yamaçları boyunca risk taşıyan bölgeler için gerekli önlemlerin alınması ve bir acil eylem planının hazırlanması önerilir.



## 5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1997, Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altınlı, İ. E., 1969, Oltu-Olur-Narman Dolayının Jeolojik İncelenmesi, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Rapor No: 449, Ankara.
- Altınlı, İ. E., Soytürk, N. ve Saka, K., 1970, Hereke-Tavşancıl-Tavşanlı-Tepecik Alanının Jeolojisi, Seri B, Cilt XXXV, Sayı1-2, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, İstanbul.
- ANON, 1976, Engineering Geological Maps, A Guide to their preparation, UNESCO Publishing House, Paris.
- ASTM D422, 2007, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken.
- Baykal, E., 1952, Kelkit- Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar, MTA Rapor No:2205, Ankara.
- Bektaş, O., Şen, C., Atıcı, Y. ve Köprübaşı, N., 1999, Migration of the Upper Cretaceous subduction-related volcanism towards the back-arc basin of the Eastern Pontide magmatic-arc (NE Turkey), Geol J 34, 95-106.
- Bell, F., 1992, Engineering In Rock Masses, 580 pp, Butterford-Heinemann Ltd, Oxford.
- Bell, F., 1993, Engineering Geology, 358 pp, Blackwell Scientific Publications, London.
- Bell, F., 2004, Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat, Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, Ankara.
- Bishop, A. W., 1995, The use of Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, Geotechnique, 5, 7-17.
- Coduto, D., 2000, Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, Kayabalı, K., Mollamahmutoğlu, M., Gazi Kitabevi, Ankara.
- Derman, W. R., 1976, Matura, M., Environmental Aspect of Engineering Geological Mapping, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 14, 141-146.
- Derman, W. R., 1981, Engineering Geology of Carbonate Rocks, Symposium of Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, General Report, No:24, 3-17, United Kingdom.

- Erdik, M., Demircioğlu, M., ŐeŐetyan, K. ve Durukal, E., 2006, UlaŐtırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar ve Havameydanları İnaaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlemesi, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Ertunç, A., 1979, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ankara.
- Ertunç, A., 2003, Mühendislik Jeolojisi, S.D.Ü. Yayınları, Isparta.
- Fellenius, W., 1927, Erdstatische Berechnungen mil Reibung and Kohaesion, Ernst, Berlin.
- Fellenius, W., 1936, Calculation of Stability of Earth Dams, Transactions, Second Congress on Large Dams, Washington, 4, 445-462.
- Foster, M., Fell, R. Ve Spannagle, M., 2000, The statistics of embankment dam failures and accidents, 37 (5), 521-532, 1000-1024, doi:10.1139/t00-030, Canadian Geotechnical Journal.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S., ve Özsayar, T., 1979, The Main Lines of The Geotectonic Evolution of The Pontids in Mesozoic Era, Geome, 68-69, Ankara.
- Güven, İ. H., 1993, Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, İ. H. ve Erguvanlı, K., 1995, Mühendislik jeolojisi, Dördüncü Baskı, Seç Yayın, İstanbul.
- Güven, İ. H., 1998, 1/100.000 Ölçekli Açınmasa Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:57,58,59,60, MTA Yayınları, Ankara.
- Günay S., 1991, Orta Çoruh Havzası Artvin Barajı ve HES Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu, Ankara.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980, Underground Excavations in Rock, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- IAEG, 1976, Engineering Geological Maps, A Guide to their preparation, The UNESCO.
- IAEG, 1979, Commission on Engineering Geological Mapping, Classification of rocks and soils for engineering geological mapping, Part 1: Rock and Soil Materials, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 19, 364-371.
- ISRM, 1976, International Society for Rock Mechanics, Engineering Geological Maps, The UNESCO, No:15, 78.

- ISRM, 1981, Basic Geotechnical Description of Rock Masses, International Society for Rock Mechanics Min. Sci and Geomech, Great Britain.
- ISRM, 1981, International Society for Rock Mechanism, ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitarng. E. T. Brown(ed.), Pergamon Press, London, 211 pp.
- Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsli, B., 1956, Veiling ved losning av fundamentaring-soppgaver, Publication No:16, Norwegian Geotechnical Institute.
- Janbu, N., 1973, Slope Stability Computations Embankment Dam Engineering-Casagrande Volume, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos (eds.), John Wiley and Sons, 47-86, New York.
- Kank, M., 2009, Ayvalı (Olur, Erzurum) Baraj Yerindeki Andezitlerin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaygusuz, A., 2000, Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keskin, İ., INM İnşaat Mühendisleri için Jeoloji, Baraj ve Rezervuar Jeolojisi, <http://www.inankeskin.com/index.php/dersnotu/category/43-hafta-9?...74> 27 Kasım 2014.
- Ketin, İ., 1951, Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, Seri B 16, 113-127, İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, İstanbul.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun Tektonik Birliktelikleri, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 66, 23-34.
- Kulhawy, F.H. ve Mayne, P. W., 1990, Manval on estimating soil properties for foundation design, Electric Power Instutte, Palo Alto, CA.
- Nash, D., 1987, A comparative revive of limiting equilibrium method of stability analysis, In: Slope Stability, M. G. Anderson and K. S. Richard (eds.), John Wiley and sons, 11-75.
- Ohya, S., Imai, T. ve Matsubaru, M., 1982, Relationship between N value by SPT and LLT Pressuremeter Results, Proceeding, 2. European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 1, 125-130.
- Okay, I. A. ve Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey, Special Publications 156, 475-515, Geological Society.

- O'Neil, M.V. ve Poormoayed, N., 1980, Methodology for Foundations on Expansive Clays, Journal of Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 106, 12, 251-261.
- Rahn, P. H., 1996, Engineering Geology: An Environmental Approach, 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River NJ.
- Sivrikaya, O., İnşaat Mühendisleri için Jeoloji Ders Notları, [www.nigde.edu.tr/ckfinder\\_portal/userfiles/files/13pdf](http://www.nigde.edu.tr/ckfinder_portal/userfiles/files/13pdf) 16 Aralık 2014.
- Sucu, S. ve Dinç, T., Çoruh Havzası Projeleri, 2. Su Politikaları Kongresi, Mart 2008, Ankara, Türkiye Mühendislik Haberleri sayı:449.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992, Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Yayını, Ankara.
- Tarhan, F., 2002, Mühendislik Jeoloji Prensipleri, K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu, Cilt No:1, Ankara, 1982.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü, 1982, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu, Cilt No:2, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü, 1982, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu, Cilt No:3, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi, 1982, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu Jeoloji, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi, 1982, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu Hidroloji, Cilt No:1, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi, 1982, Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu Hidroloji, Cilt No:2, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Baraj ve Hidroelektirik Santral Projesi Kesin Proje Raporu, Cilt No:1, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Baraj ve Hidroelektirik Santral Projesi Kesin Proje Raporu, Cilt No:2, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Baraj ve Hidroelektirik Santral Projesi Kesin Proje Raporu, Cilt No:3, Ankara.

- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Kesin Proje Raporu Jeoloji ve İnşaat Malzemeleri Cilt No:1, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Kesin Proje Raporu Jeoloji ve İnşaat Malzemeleri Cilt No:2, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1990, Artin Projesi Havuzlu Heyelanı Deney Sonuçları, Yayın No: 91-66, Ankara.
- T.C. Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müd., 1992, Orta Çoruh Havzası Artvin Barajı ve HES Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu, Ankara.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2013, DSİ Faaliyet Raporu, Ankara.
- Tokel, S., 1977, Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen yaşlı kalk-alkalen Andezit ve Jeotektonizma (Eocene calc- alkaline Andesite and Geotectonism in the Eastern Black Sea Region), Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20, 49-54.
- Tosun, H., 2004, Baraj Mühendisliğinde Geoteknik- Geçirimli Zeminler ve İyileştirme Esasları, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), 2, 430.
- URL1, [http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/kilic\\_2643a4504f32cc350574bbd61ef6d638.pdf](http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/kilic_2643a4504f32cc350574bbd61ef6d638.pdf). 20 Kasım 2014.
- URL-2, [http://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/11/files/ders\\_notlari/muhendislik\\_jeolojisi/Muhendislik\\_Jeolojisi\\_5.pdf](http://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/11/files/ders_notlari/muhendislik_jeolojisi/Muhendislik_Jeolojisi_5.pdf) Mühendislik Jeolojisi. 29 Aralık 2014.
- URL-3, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10912.pdf>. 14 Ocak 2015.
- Yavuz, S., 2011, Artvin- Yusufeli Yöresinde Karaçamın Dikim Başarısının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Yılmaz, Y., 1972, Petrology and Structure of the Gümüşhane Granite and Surrounding Rocks, NE Anatolia, Ph D Thesis, Univ. of London.

## **6. EKLER**

## **ÖZGEÇMİŞ**

Kübra TEZEL, 30.05.1989 yılında Soma (Manisa)'da doğdu. İlkokulu Gelibolu (Çanakkale) Namık Kemal İlköğretim Okulu'nda, Ortaokulu Gelibolu Orgeneral Eşref Bitlis İlköğretim Okulu'nda ve Liseyi Gelibolu Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2007-2008 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2012-2013 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisansa başladı. Yazar Çanakkaleli olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.