

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ATASU BARAJI (TRABZON), GÖL ALANINDA MEYDANA GELECEK OLASI
BİR HEYELAN NEDENLİ SU DALGA MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Saliha MARAL AYDIN

HAZİRAN 2019

TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATASU BARAJI (TRABZON) GÖL ALANINDA MEYDANA GELECEK OLASI
BİR HEYELAN NEDENLİ SU DALGA MODELLEMESİ**

Jeoloji Mühendisi Saliha MARAL AYDIN

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

Tezin Savunma Tarihi: 13.06.2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Trabzon

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Saliha MARAL AYDIN tarafından hazırlanan

ATASU BARAJI (TRABZON) GÖL ALANINDA MEYDANA GELECEK OLASI
BİR HEYELAN NEDENLİ SU DALGA MODELLEMESİ

Başlıklı bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulunun/.../... gün ve sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Aykut Akgün

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

Yüksek lisans eğitimim süresince yardımlarıyla bana yol gösteren, tecrübesini, bilgisini ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. AYKUT AKGÜN'e teşekkür etmeyi borç bilirim.

Arazi çalışmalarımda ki tüm yardımları için kıymetli arkadaşım YASİR SÖZEN ve eşine, laboratuvar çalışmalarımdeki yardımlarından dolayı Araştırma Teknisyeni KERİM TEKNECİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Aynı çalışma ortamını paylaştığım ve bu yoğun çalışma döneminde anlayış ve hoşgörüsü için ayrıca laboratuvar deneyleri için gerekli yardımı yaparak kaynak temini sağlayan Jeoloji Mühendisi MUSTAFA MAKAS'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin başlangıcından bitimine kadar bana inanan ve yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bildiklerini paylaşan, gerek kaynak temininde gerekse tez düzenleme aşamasında yardımını esirgemeyen eşim Jeoloji Mühendisi MEHMET SERCAN AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında bana moral ve destek vererek varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Saliha MARAL AYDIN

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atasu Barajı (Trabzon) Göl Alanında Meydana Gelecek Olası Bir Heyelan Nedenli Su Dalga Modellemesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. AYKUT AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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. 13.06.2019

Saliha MARAL AYDIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	IV
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu	2
1.4. İnceleme Alanının Ulaşım ve Yerleşim Durumu	3
1.5. Morfoloji	4
1.6. Önceki Çalışmalar	5
1.7. Kütle Hareketleri	7
1.7.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması	8
1.7.2. Şev Stabilite Problemleri.....	10
1.7.3. Şev Stabilitesine Etki Eden Nedenler.....	11
1.7.4. Yamaç Dengesinin Hesaplamasında Kullanılan Yöntemler	13
1.7.4.1. Basit (Ordinary) Dilim Yöntemi (İsveç Dilim Yöntemi).....	14
1.7.4.2. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi	16
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	18
3. BULGULAR	19
3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi	19
3.1.1. Çağlayan Formasyonu.....	22
3.1.2. Alüvyonlar ve Yamaç Molozları.....	22
4. ARAZİ ÇALIŞMALARI, LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER	23
4.1. Arazi Çalışmaları.....	23
4.2. Laboratuvar Deneyleri.....	23
4.2.1. Dane Boyu (Granülometri) Analizi Deneyi	24

4.2.1.1. Elek Analizi	24
4.2.1.2. Hidrometre Analizi	25
4.2.2. Su İçeriği Deneyi	29
4.2.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri	29
4.2.3.1. Likit Limit Deneyi	30
4.2.3.2. Plastik Limit Deneyi	31
4.2.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi	33
4.3. Laboratuvar analizleri	36
4.3.1. Zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi	37
4.3.1.1. Doğal Birim Hacim Ağırlık	38
4.3.1.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık	38
4.3.1.3. Elek Analizi Sonuçları	39
4.3.1.4. Kıvamlılık İndisi ve İrdelenmesi	39
4.3.1.5. Sıkışma İndisi	41
4.4. İki Boyutlu Limit Denge Yöntemi İle Heyelana Ait Duraylılık Analizi	42
5. OLASI HEYELAN SONUCU MEYDANA GELECEK SU DALGASI MODELLEMESİ	44
5.1. Giriş	44
5.2. Dalga ve Genel Özellikleri	45
5.2.1. Dalgaların Sınıflandırılması	46
5.3. Çalışma Alanındaki Eski Heyelan Kütlesinin Mühendislik Jeolojisi	46
5.4. Potansiyel Heyelan Kaynaklı Dalgalar	47
5.4.1. Heyelan Hızı	48
5.4.2. Dalga İlerleme Yüksekliği	48
5.4.3. Dalga Hızı	49
5.4.4. Dalga İlerleme Yüksekliği	50
5.4.5. Dalga Modellemesiyle İlgili Değerlendirmeler	52
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
7. KAYNAKLAR	57
8. EKLER	62
ÖZGEçMİş	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ATASU BARAJI (TRABZON) GÖL ALANINDA MEYDANA GELECEK OLASI BİR HEYELAN NEDENLİ SU DALGA MODELLEMESİ

Saliha MARAL AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. AYKUT AKGÜN

2019, 61 Sayfa, 10 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Atasu Barajı (Trabzon) baraj yeri göl alanında meydana gelmesi muhtemel bir heyelan sonucu oluşabilecek dalga modellemesinin incelenmesi amacıyla arazi çalışmaları, laboratuvar deneyleri ve ampirik ilişkilerden yararlanarak dalga modellemesi yapılmıştır.

Bu amaçla, baraj göl alanında daha önceden varlığı belirlenmiş ancak mevcut durumda duraylı olarak görülen bir heyelan alanı dikkate alınmıştır. Laboratuvar çalışmalarında zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Zemin numuneleri üzerinde yapılan elek analizi sonuçları uyarınca elde edilen dane boyu dağılımlarına göre zeminin %6-8 arasında çakıl, %32-40 arası kum, %52-62 arası kil boyutu malzemelerden oluştuğunu belirlenmiştir. Likit limit değerleri %35-47 ve plastisite indisinin de %17-27 arasında olduğu tespit edilmiştir. Kohezyon (c) değeri 0,76 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 7⁰ olarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında dikkate alınan heyelan kütesinin, saha ve laboratuvar verileri kullanılarak iki boyutlu (2B) limit denge analizi yaklaşımı yardımıyla Rocscience firmasına ait Slide 5.0 yazılımı kullanılarak duraylılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında ampirik ilişkiler kullanılarak göl alanında meydana gelmesi olası su dalgasına yönelik tahmin modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre: dalga hızı 57,77 ms⁻¹, ortalama dalga yüksekliği 27,59 m, ortalama dalga hızı 35,91 ms⁻¹, ortalama dalga yüksekliği 84,85 m olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj, Heyelan, Su Dalga Modellemesi, Şev Duraylılığı

Master Thesis

SUMMARY

A POSSIBLE LANDSLIDE INDUCED WATER WAVE MODELING IN ATASU DAM
(TRABZON) RESERVOIR AREA

Saliha MARAL AYDIN

Karadeniz Technical University

Institute of Science

Department of Geological Engineering

Consultant: Prof. Aykut AKGÜN

2019, 61 Pages, 10 Appendix

In this study, in order to investigate the wave modeling which may occur as a result of a landslide likely to occur in Atasu Dam (Trabzon) dam site lake area, wave modeling was made by taking advantage of field studies, laboratory experiments and empirical relations.

For this purpose, a landslide area which has been previously determined in the reservoir area but which has been stagnant in the present situation has been taken into consideration. According to the results of the sieve analysis performed on the soil samples, it was determined that the ground consisted of 6-8% gravel, 32-40% sand and 52-62% clay size materials. Liquid limit values were found to be between 35-47% and plasticity index was between 17-27%. The cohesion (c) value was 0.76 kg / cm² and the internal friction angle (ϕ) was 7°. In the context of the study, stability analysis was performed by using Rockscience Slide 5.0 slope stability software with the help of two-dimensional (2D) limit balance analysis approach by using field and laboratory data.

In the scope of the study, empirical relations which are accepted in the related literature were used and estimation modeling was made for the water wave which may occur in the lake area. According to the results obtained: Wave velocity 57,77 ms⁻¹, mean wave height 27,59 m, mean wave speed 35,91 ms⁻¹, mean wave height 84,85 m.

Keywords: Dam, Landslide, Water Wave Modeling, Slope Stability

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (www.yerbilimleri.mta.gov.tr)	3
Şekil 2. Çalışma alanındaki eğimli yamaçların görünümü.....	4
Şekil 3. Türkiye’deki heyelan sayısı (Gökçe vd., 2006)	7
Şekil 4. 2005–2008 yılları arasında Trabzon ilinde gerçekleşen heyelanlara ait lokasyon haritası (Bayrak ve Ulukavak, 2009).....	8
Şekil 5. Dilim yönteminin uygulandığı.....	15
Şekil 6. Genelleştirilmiş Janbu yönteminde dilime etkiyen kuvvetler	17
Şekil 7. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit (Güven 1993’den değiştirilerek).....	19
Şekil 8. G43A3 Paftasının jeoloji haritası (http://www.dsi.gov.tr/)	20
Şekil 9. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (www.yerbilimleri.gov.tr)	21
Şekil 10. Zeminden örnek alımı	23
Şekil 11. Elek seti ve hassas terazi	24
Şekil 12. Kıvam sınırları ve hacim değişikliği	30
Şekil 13. Casagrande likit limit aleti	30
Şekil 14. Zeminin 3 mm çapında çubuklar haline getirilmesi.....	32
Şekil 15. Üç eksenli basınç deneyinde gerilmelerin Mohr dairesi üzerinde tanımlanması. 35	
Şekil 16. Üç eksenli basınç deneyi verilerinden Mohr yenilme zarfının elde edilmesi.	36
Şekil 17. İnceleme alanının statik durumdaki şev stabilite hesapları	43
Şekil 18. İnceleme alanının Dinamik durumdaki şev stabilite hesapları.	43
Şekil 19. Sinüzoidal Dalga Karakteristiği (Durmuş, 2007’den değiştirilerek)	45

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).....	9
Tablo 2. Numune alınan derinlikler ve geçilen birimler.....	36
Tablo 3. Sahadaki zemine ait fiziksel ve jeomekanik parametreler.....	37
Tablo 4. Plastisite Diyagramı (Usawes, 1967).....	37
Tablo 5. İnce daneli zeminlerin plastisite indeksine göre sınıflaması (Leonards, 1962)....	38
Tablo 6. İnce taneli zeminin doğal birim hacim ağırlığı.....	38
Tablo 7. İnce taneli zeminin kuru birim hacim ağırlığı	39
Tablo 8. İnce taneli zeminin elek analizi değerlendirilmesi	39
Tablo 9. İnce taneli zeminin kıvamlılık indeksi değerlendirilmesi.....	40
Tablo 10. İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflaması (Means ve Parcher, 1963)	40
Tablo 11. İnce taneli zeminin sıkışma indisi değerlendirilmesi	42
Tablo 12. Zemin sıkışabilirliği (Sovvers,1979)	42
Tablo 13. Dalgaların oluşum sebeplerine göre sınıflandırılması (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2015)	46
Tablo 14. Hesaplamalarda kullanılan özellikler ve değerler	47
Tablo 15. Ampirik ilişkilerle hesaplanan değerler.....	52
Tablo 16. Sınır koşul değerlerdeki hesaplamalar.....	53

SEMBOLLER DİZİNİ

F	: Güvenlik katsayısı
τ	: Kayma gerilmesi
σ	: Normal gerilme
\emptyset	: İçsel sürtünme açısı
c	: Kohezyon
HDK	: Hidroskopik Nem düzeltme katsayısı
Fka	: Numunenin etüvde kurutulmuş hali
Hka	: Numunenin havada kurutulmuş hali
G_s	: Numunenin özgül ağırlığı
W_0 ağırlığı	: Hidrometre çözümü için kullanılan zeminin fırında kurutulmuş ağırlığı
R_h	: Düzeltilmiş hidrometre okuması.
M_t	: Süspansiyon sıcaklık düzeltmesi
D	: Dane çapı
w	: Su içeriği
AÇ	: Araştırma çukuru
LL	: Likit Limit (%)
PL	: Plastik limit (%)
PI	: Plastisite indisi (%)
W_n	: Su Muhtevası
γ_n	: Tabii birim hacim ağırlık (gr/cm ³)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm ³)
A	: Aktivite
Ic	: Kıvamlılık indisi
Cc	: Sıkışma indisi
v_s	: Heyelan kayma hızı
v_0	: İlk kayma hızı (0 ms ⁻¹ olarak alınır)
g	: Yer çekimi sabiti (9.81 ms ⁻²)

s	: Heyelan hareket miktarı
α	: Yamaç eğimi
\emptyset_s	: Heyelan malzemesinin içsel sürtünme açısı
D	: Rezervuar alanındaki su derinliği
KE	: Kinetik enerji
l	: Heyelan kütesinin uzunluğu
h	: Heyelan gövdesinin kalınlığı
V_s	: Heyelan kütesinin hacmi
γ_s	: Heyelan metaryalinin yoğunluğu
γ	: Su yoğunluğu (1.0 gcm^{-3})
η_{\max}	: Dalga yüksekliği
H	: Dalga yüksekliği
b	: Heyelan malzemesinin genişliği
x	: Karşı kıyıya olan uzaklık
C	: Dalga hızı
R	: Su gövde seviyesi üzerindeki dalga yüksekliği
β	: Karşı yamacın eğimi
L	: Dalga uzunluğu
Fs	: Güvenlik katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Heyelanlar, Türkiye’de meydana gelen en önemli doğal afetlerden biridir. Heyelanların başlıca sebepleri eğim, yeraltı suyu, yağışlar gibi doğal etkiler ve insanların etkilerine bağlı olarak yamaç duraylılığının bozulması ile ortaya çıkmaktadır. (Öztürk, 2002).

Heyelanların tespiti, tanımlanıp sınıflandırılması ve iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar her ne kadar ilerlemiş olsa da heyelanlardan dolayı oluşan zarar ve kayıplar tüm dünyada devam etmektedir. Türkiye’de meydana gelen kütle hareketleri ve heyelanlar bir çok can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır.

Ülkemizde 1954-1994 yılları arasında oluşan doğal afetler incelendiğinde heyelanlardan dolayı etkilenen bina ve yapılardaki kayıplar %27 oran ile depremde sonra ikinci sırada yer almaktadır (İldır, 1995). Ülkemizde son yıllarda yaşanan yıkıcı doğal afetleri göz önüne alırsak 70 yıllık zaman dilimi içerisinde yapıların %61’i depremlerden %20’si ise heyelanlardan etkilendiği belirtilmiştir (Pehlivan, 2008).

Trabzon ili Karadeniz Bölgesi’nin kuzeydoğusunda yer alan ve Türkiye’nin en fazla yağış alan kentlerinden birisidir. Kent morfolojik olarak yüksek ve eğimli bir topografyaya sahiptir. Trabzon’da şiddetli ve sık yağışlar meydana gelmekte olup yağışlar heyelan tetikleyici neden olarak görülmektedir. Bölgede heyelanlara bağlı olarak her yıl mal ve can kayıpları yaşanmaktadır. Bu sebepten dolayı bölge heyelan açısından birinci derece önemli doğal afet kaynağı sınıfına girmektedir. (Bayrak ve Ulukavak 2009). Bu sebeple heyelanları oluşturan jeolojik, morfolojik, fiziksel, insan kaynaklı etkenler ve bu etkenlere bağlı şevde ya da yamaçta gerçekleşebilecek heyelanları tespit etmek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmalarını destekli incelemelerin yapılması ve güvenliği artırıcı çözümlerin üretilmesi gerekli görülmektedir.

Gerek dünya ölçeğinde gerekse de ülkemizde farklı amaçlar için inşa edilen barajlarda özellikle göl alanlarında meydana gelen heyelanların hem baraj gövde yapısına, hem de yakın civardaki yol, yerleşim vb. yapıları göl alanında oluşan zarar verici etkilere sahip su dalgaları ile olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu olumsuzluklardan biri olarak 9

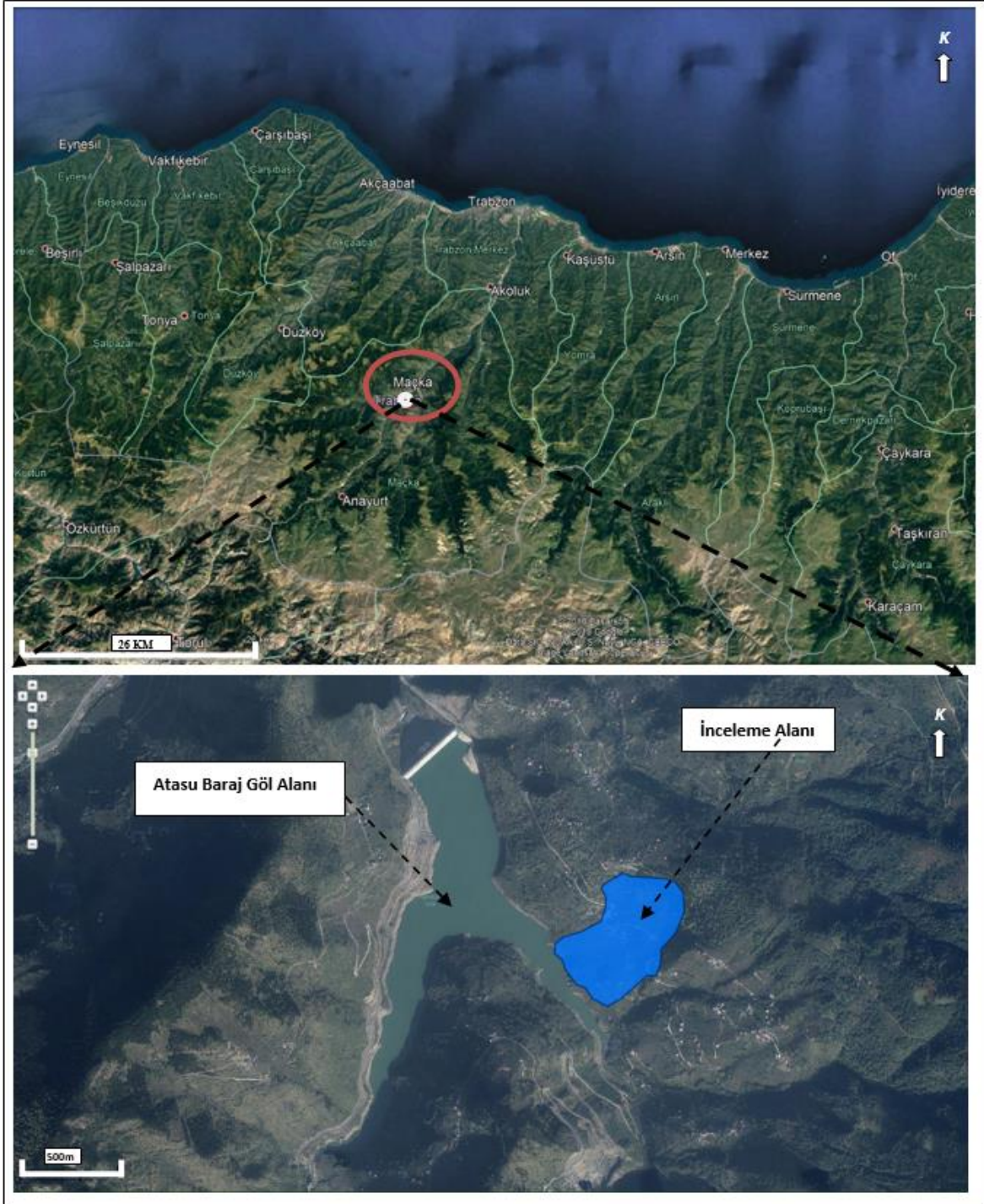
Ekim 1963 tarihinde meydana gelen Vajont barajı faciası örnek verilebilir. İtalya’da bulunan Monte Toc dağının tepesinden saatte 68 mil hızla 340 milyon metreküp büyüklüğündeki kaya kütesinin, baraj göletine düşmesi ve göl alanında yaklaşık 50 metreküp sudan oluşan 250 metre yükseklikte devasa bir dalga oluşturması ile meydana gelmiştir. Bu dev dalga vadinin etrafındaki köyleri yutarak yaklaşık 2000 kişinin ölümüne sebep olmuştur. Bu konuda ise ülkemizde çok az sayıda çalışma yapıldığı bilinmekle birlikte son bir kaç yıl içerisinde bu konuyu ele alan çalışmaların olduğunu söylemek de mümkündür (Akgün, 2011, Ersoy vd., 2019).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, Trabzon kenti, Maçka ilçesine bağlı Esiroğlu beldesinin yaklaşık 4 km GD’inde Galyan Deresi üzerinde yer alan Atasu Barajı, baraj göl alanında belirlenen bir heyelan kütesinin yeniden harekete geçmesi durumunda meydana gelebilecek olası bir su dalgası modellemesinin ve muhtemele zararlı etkilerinin incelenmesi amacıyla arazi gözlemleri, laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve ampirik ilişkiler yardımıyla model değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda dikkate alınan olası heyelanın olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik mühendislik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

1.3. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu

Çalışma alanı, Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz kısmında, Trabzon kenti, Maçka ilçesi, Esiroğlu beldesi sınırları içerisinde yer almakta olup, 1:25.000 ölçekli Trabzon G43a3 paftasında bulunmaktadır. Atasu Barajı göl alanında yer alan çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (www.yerbilimleri.mta.gov.tr)

1.4. İnceleme Alanının Ulaşım ve Yerleşim Durumu

Çalışma alanına ulaşım ilk 13.5 km'si Değirmendere vadisindeki Trabzon-Gümüşhane Devlet Karayolu üzerinden; geriye kalan 2.7 km'si ise Galyan vadisi boyunca devam eden kısmen asfalt kısmen stabilize yol ile yapılmaktadır. İnceleme alanının yakın

çevresindeki önemli yerleşim yerleri: Atasu Beldesi, Esiroğlu Beldesi, Barışlı, Yeniköy ve Temelli Köyü'dür.

Trabzon kenti denize paralel yüksek dağlara hakimdir. Bu nedenle kıyı bölgelerde düz alanlar kısıtlıdır.

Bölgede her mevsim yağış görölmekte olup ve yazları sıcak ve nemli, kışları ılıman geçmektedir. Denizden iç kesimlere doğru ilerledikçe iklim özellikleri değişmektedir. Çalışma alanında uzun yıllar ortalama yağış miktarı 800 mm olup, yıllık ortalama sıcaklık 12.6⁰ C'dir (www.meteor.gov.tr).

Bitki örtüsü iklime bağlı olarak gelişmiştir. Bol yağıştan dolayı yoğun bir bitki örtüsü görölmektedir. Nem oranı iç kesimlere oranla daha fazladır.

1.5. Morfoloji

Oldukça engebeli bir morfolojik yapıya sahip olan inceleme alanı ve civarı Galyan Vadisi üzerindeki baraj göl alanına bakan dik sırtlardan oluşmaktadır. Sırtların eğimleri ise 40⁰-70⁰ arasında değişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanındaki eğimli yamaçların görünümü

1.6. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanını da içine alan ve bölgede çalışmanın amacına yönelik olarak gerçekleştirilmiş birçok çalışma yapılmış olup, çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

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

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

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

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

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

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

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

Öztürk (2002), “Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri” isimli çalışmasında; bir doğal afet çeşidi olan heyelanlar incelenmiştir. Heyelanların Türkiye’deki etkileri, sebepleri ve nasıl önlemler alınması gerektiği üzerinde durulmuştur.

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

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

Alemdağ (2006), Atasu Baraj yerinde yapmış olduğu çalışmalarda, baraj eksenini ve çevresi boyunca yüzeylenen kayaların jeoteknik özelliklerini belirlemiş, temel kayası bazaltlarının taşıma gücünü belirlemek amacıyla çalışmalarda bulunmuştur.

Pehlivan (2008), “Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün Beldesinin Heyelan Analizi” isimli çalışmasında; Kürtün Baraj Gölünün oluşumundan sonra Özkürtün Beldesinde oluşan heyelanlı alanı incelemiştir.

Ulukavak ve Bayrak (2009), “Trabzon Heyelanları” isimli çalışmasında; yağış verilerinin analizini yaparak Trabzon ve çevresinde oluşan heyelanların nedenleri incelenmiş, yağış ve iklime bağlı olarak heyelan analizleri yapılmıştır.

Erkan (2010), “Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) Göl Alanı Sol Yamacındaki Heyelanlı Alanın Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde; çalışma alanındaki heyelanlı sahanın yamaç duraylılığını Basitleştirilmiş Bishop

ve Janbu yöntemlerini kullanılarak “Rocscience Slide 5.0” limit denge analiz programında araştırmıştır.

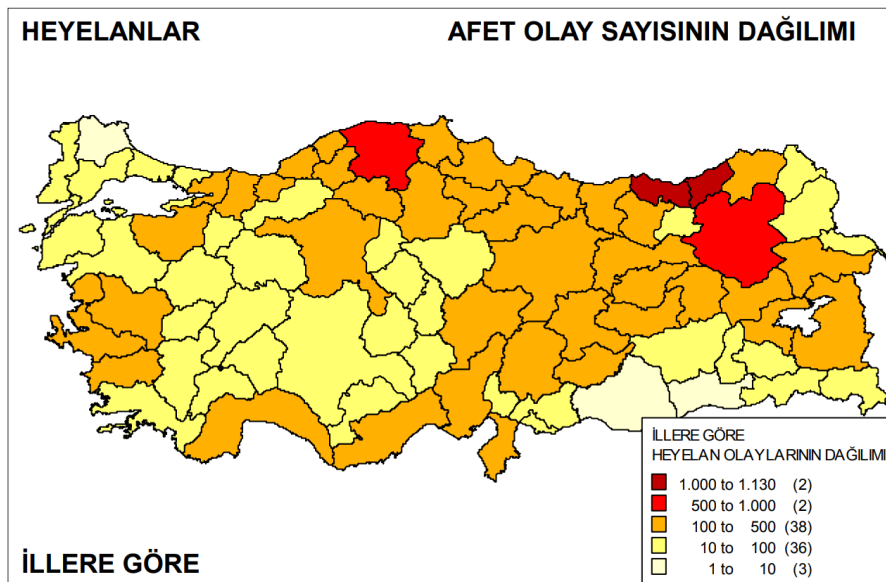
Akgün (2011) Kürtün Barajı göl alanında yer alan Hardısağı mevkiinde gözlenen bir heyelanın olası hareketi sonucu baraj göl alanında meydana gelebilecek su dalgasının baraj gövdesi ve karşı yamaca olacak olası etkilerinin belirlenmesi amacıyla amprik ilişkiler yardımıyla dalga modellemesi gerçekleştirmiştir.

Ersoy vd. (2019) Artvin Barajı göl alanında yer alan bir heyelan kütesinin olası hareketi sonucu oluşacak su dalgasına ait amprik ilişkiler kullanılarak ve üç boyutlu simülasyon modellemesi yardımıyla dalga etki değerlendirmesi gerçekleştirmiştir.

1.7. Kütle Hareketleri

Kütle hareketi, nüfus artışı ile orantılı olarak, yeni konut ihtiyacı için yeni alanlar oluşturulurken topografyanın değiştirilerek arazinin stabil halinin bozulması yada mühendislik yapılarının önemiyetlerinin kaybolması sebebiyle oluşmaktadır.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Ekim,2008 tarihinde hazırlanan heyelan olay sayısının illere göre dağılımı Şekil 3’de verilen haritadan görülmektedir. Haritadan da anlaşıldığı üzere heyelan olaylarının yoğunluk gösterdiği yerler Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleridir.



Şekil 3. Türkiye’deki heyelan sayısı (Gökçe vd., 2006)

Karadeniz Bölgesi topoğrafyasının yapılaşmaya müsait olmaması ve dik eğimli yamaçlardaki arazilerin kütle hareketlerine elverişli olması yerleşimi etkilemektedir.

Trabzon kenti sınırları içinde meydana gelmiş heyelanların ilçeler bazında etkilenen bina sayılarının genel değerlendirilmesi yapıldığında; Trabzon kenti 2005–2008 yılı heyelan analizinde, kentim doğu kısmında heyelan gelişimi yoğunluğu göze çarpmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. 2005–2008 yılları arasında Trabzon ilinde gerçekleşen heyelanlara ait lokasyon haritası (Bayrak ve Ulukavak, 2009)

1.7.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Varnes (1978), heyelan yerine yamaç hareketi terimini kullanmıştır. Avrupa Birliği INSPIRE direktifinde heyelan sınıflamaları için Varnes'i kullanmıştır. Yamaç hareketlerinin farklı yollardan sınıflandırıldığını ve her bir sınıflamada tanıma, kontrol, ıslah veya diğer amaçların ön plana çıkarılabildiğini açıklamıştır. Tanıma ve sınıflama için seçilen kriterleri aşağıdaki şekilde gruplandırmıştır.

- Hareketin tipi
- Malzeme türü
- Hareketin hızı
- Yenilen malzemenin ve yenilen alanın geometrisi
- Yaş
- Sebepler
- Yer değiştiren kütlelerin kopma derecesi
- Jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki
- Gelişme (oluşma) derecesi
- Tip örneğinin coğrafik konumu
- Etkinlik durumu

Tanıma ve sınıflama için hareketin tipi ve malzemenin türünün önemli olduğunu vurgulayarak; heyelanları hareketin tipine ve malzemenin türüne göre sınıflandırmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).

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

1.7.2. Şev Stabilite Problemleri

Mühendislik yönünden şev stabilitesi ile ilgili problemlerde; doğal şevlerin kayma mekanizmalarının incelenmesi, çeşitli mühendislik yapılarındaki yapay dolgu ve yarma şevlerinin projelendirilmesi, stabilitesi bozulmuş şevlerde hasarın giderilmesi, gerekli önlemlerin alınması gibi konularla karşılaşmaktadır.

Bazı zemin mekaniği kaynaklarında şev kayması tanımı ile heyelan tanımı aynı anlamda kullanılmasına rağmen, bazı zemin mekaniği kaynaklarında ise bu terimler birbirinden ayrılmıştır. Skempton ve Hutchinson (19XX), zemin ve kaya kütlelerinde kesme mukavemetinin bir veya birkaç yüzey boyunca azalmasından doğan tüm şev hareketlerini, heyelan olarak nitelendirmiştir. Varnes (1978) ise heyelanları kaymalarla sınırlayarak, şev hareketleri ile aynı anlamda kullanmıştır.

Yamaçların dengesi, etki eden gerilmelerin değişmesi sonucu bozulur. Bölgenin jeolojisi ve insan etkileri heyelanların başlıca sebepleridir. Aynı zamanda bölgede oluşan depremler yamaç dengelerini bozarak heyelan oluşturan etkilerin başında gösterilebilir.

Ülkemizde karayollarındaki şev duraysızlıkları üzerinde yapılan araştırmalarda, şev duraysızlıklarının birincil nedeninin su etkisi olduğu belirlenmiştir. Yer altı su seviyesi etkisinden hemen sonra %37 ayırışma, %28 dik yamaç problemleri, %23 zemin koşulları, %12 ile diğer nedenler sıralanmaktadır (Selçuk ve diğ., 2005)

Şev iyileştirilmesi yapılabilmesi için arazi etütlerinin yeterince yapılması ve nedenlerinin ortaya konulması gerekmektedir. Şev yenilmesindeki araştırmalar dikkatlice yapılmalıdır. Gerekli jeolojik araştırmalar, harita çalışmaları, araştırma sondajları ve hendekler açılmalıdır. YASS araştırılmalıdır.

Şev stabilitesi düşünülürken, sorunlar doğru tespit edilmeli ve çözüm önerilerini iyi belirlenmelidir.

- İyileştirme sonucu sadece hareket dursun mu? Yoksa yapılaşmaya devam edilecek mi?
- Onarım için sınırlayıcı bir sürenin olup olmaması,
- Önlem alınabiliyor mu? Ulaşım sorunu var mı?

- Maliyet nedir?

• Maliyet yüksekse onarılmadan terk edilebilir mi? Sorularının başlangıçta cevaplanması gerekmektedir.

Yenilmez zeminlerde ortaya konulan gerçek neden, şevlerin onarımında doğru işler yapılmasını sağlar.

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

1.7.3. Şev Stabilitesine Etki Eden Nedenler

Heyelanlar iç ve dış nedenler olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Dış Nedenler;

- Şev ve yamaç eteklerinde yapılan kazılar,
- Şev ve yamaç topuklarının sular tarafından oyulması,
- Aşınma ile şev eğiminin artması, yani şev yüksekliğini (H) ve şev açısının (β) değişmesi,
- Zemine doğal ve yapay olarak ek yüklerin yüklenmesi,
- Zemin üstündeki bitki örtüsünün kaldırılması, yüzey sularının sızmasının kolaylaştırılması,
- Çatlak ve fissürlerde suların donması,
- Depremler,
- Yapay patlamalar ve sarsıntılar (dinamit patlatılması gibi) olarak verilebilir.

İç Nedenler;

- Boşluk suyu basıncının artması,
- Şev ve malzeme kohezyonunun azalması,
- Kabarma ve şişme basınçları

Yeraltı su tablasının yükselmesi, sızma, yağış veya kar erimesi gibi sebeplerden ötürü şev zemininin su içeriği artacaktır. Zeminde artan su içeriği nedeniyle kohezyonsuz zeminlerin sürtünme direncinin azalmasına, kohezyonlu zeminlerde şişme potansiyelinden ötürü ilave gerilmelerin artmasına ve efektif kohezyon azalmasına ayrıca yeraltı suyunun yaratacağı yatay toprak basıncından ötürü kaymaya çalışan kuvvetlerin artmasına ve kayma dirençlerinin azalmasına neden olacağından şevin stabilitesi bozulacaktır.

Özellikle sonbahar- kış aylarındaki şiddetli yağışlardan sonra yeraltı su seviyesinin yükseleceği, diğer bir ifadeyle; şevin boşluk basıncı oranının büyük değerler alabileceği, daima göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, çamurtaşı gibi içeriğinde kil bulunan şevler, şiddetli yağışlardan sonra kuruyarak bünyesindeki fisürleşme (ince çatlaklar) daha da yaygın hale gelmekte ve izleyen şiddetli yağış sonrasında şev stabilitesini tamamen kaybederek yenilebilmektedir.

Kar ve yağmur gibi yüzeysel sular şev malzemelerinin suya doygun bir hal almasını sağlar. Suya doygun halde bulunan daneler arası boşluk, su etkisiyle açılır ve içsel sürtünme, kohezyon gibi parametreleri düşürür. Bu sebeple birimin kendinin tutucu özelliği kaybolur. Yamaç veya dik şevlerde akma ve kaymalara sebep olur. Genel olarak incelendiğinde şiddetli yağışlardan sonra heyelan ve kütle kaymaları gözlenmektedir.

Su, kimi zaman kayaçların kimyasını bozar, ayrıştırır ve kütle direncini azaltır.

Yeraltı suları, kütle hareketlerine çeşitli yollarla etki yapar, önce boşlukları doldurur, boşluk suyu basıncı oluşur. Boşluk suyunun duraylılığa etkisi özellikle toprak barajların şevlerinde, sızıntının ve daneler arasındaki basıncın değiştiği yerlerde önemlidir. Sıcaklık, zeminlerde donma ve çözülme yoluyla erozyona ve gerilme değişikliklerine sebebiyet vermektedir. Bitkiler suların kütle içerisinden uzaklaştırılmasını kolaylaştırmakta, yüzeysel akışı yavaşlatmakta ve azaltmaktadır. Bu ise kütle hareketinin erozyona uğramasını

engellemektedir.

Erozyon ve yapılan kazılar şevlerin yüksekliklerini ve eğim açılarını etkilediği için sevi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu değişimler kütlede gerilme değişikliğine sebebiyet verdiği için, kütle yüzeyinde çatlamlar oluşmakta ve buradan sızan sular kütle direncini zayıflatarak harekete geçmesine sebebiyet vermektedir.

Danelerin biçimi kayaçların porozite, boşluk oranı, özgül ağırlık gibi fiziksel özelliklerini, içsel sürtünme açısını, sıkışabilirliklerini, basınç direnci gibi mekanik özellikler üzerinde etkili olur. Tanelerin köşeli olması içsel sürtünme açısını, sıkışabilirliğini ve boşluk oranını artırır. Buna karşılık basınç direncini azaltır. Taneleri birbirine bağlayan çimento türü ve çimentolanma derecesi denge üzerinde etkilidir. Kütlelerin oluşturduğu yamaçlara, herhangi bir şekilde ilave bir yük konulması gerilme artışına sebebiyet vermekte, killi zeminlerde ise boşluk suyu basıncının artmasına neden olmaktadır. Bu yüklemeler sonucu dengede olan şev kritik bir hal alabilmektedir. Titreşimler kütlelerin ilave gerilmeler oluşmasını sağlayarak kütle dengesini etkilemektedir. Kütlelerin, kohezyon ve içsel sürtünme açısının azalmasına neden olarak zemin harekete geçmesini tetikleyebilmektedir (Pehlivan,2008).

1.7.4. Yamaç Dengesinin Hesaplamasında Kullanılan Yöntemler

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

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

$$\text{Güvenlik Katsayısı (F)} = \frac{\text{Kaymayakarşıtkoyankuvvetler}}{\text{Kaydırmayaçalışankuvvetler}}$$

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde, zemin kütlesi içinde

kayma veya göçmeye neden olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini ortaya koyan eşitlik Mohr-Coulomb eşitliğidir.

$$\tau = c + \sigma \tan\theta$$

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

Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen, hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde kayma kütlelerinin dengesinin araştırılmasıdır. Şev stabilite çalışmalarının amacı yapılarda, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenli ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. Bütün şev stabilite analiz yöntemleri arasında, İsveç Dilim Yöntemi, Basitleştirilmiş Bishop ve Basitleştirilmiş Janbu yöntemleri Türkiye’de şev stabilitesi hesabında ağırlıklı olarak tercih edilmektedirler.

1.7.4.1. Basit (Ordinary) Dilim Yöntemi (İsveç Dilim Yöntemi)

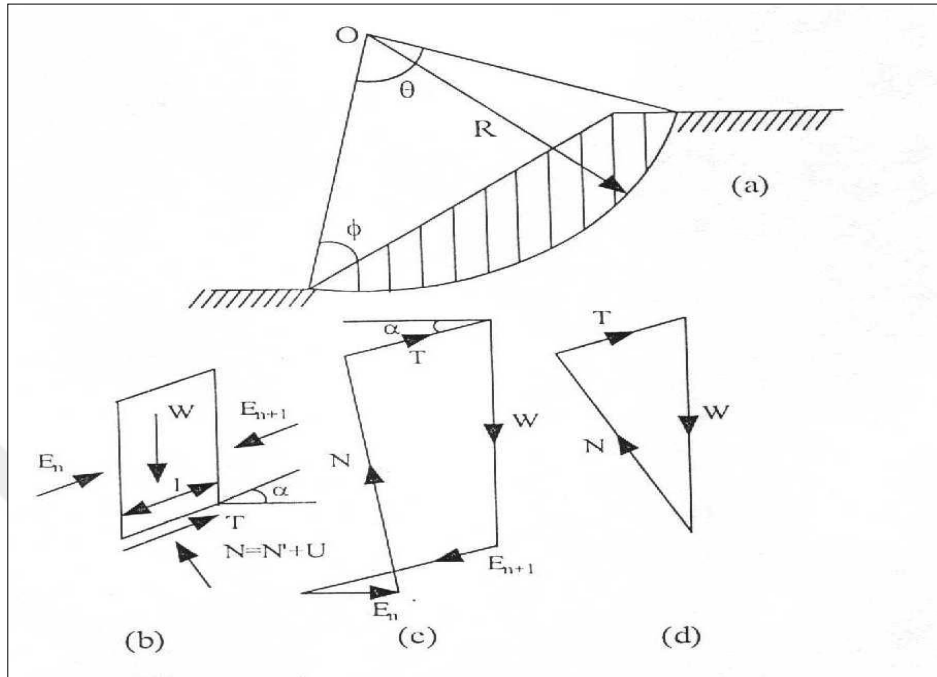
Kayan kütleyle tümüyle inceleyen yöntemler zeminin tabakalı veya üniform olmayan ortamlar olması durumunda uygulanır ise, yanlış sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle, kayma analizi kütlelerin yeterli incelikte dilimlere ayrılması ile gerçekleştirilir. Dilim yöntemi ilk kez İsveç’te geliştirildiği için İsveç Dilim Yöntemi, Fellenius’un yoğun uğraşları nedeniyle Fellenius Yöntemi ya da Adi Dilim Yöntemi (ADY) olarak bilinmektedir. Yöntemde yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etki ettiği kabulü yapıldığından tabana dikey kuvvetler etkilenmemekte böylece güvenlik sayısı en düşük düzeyde çıkmaktadır.

Basitleştirilmiş metotta hesaplar aşağıdaki belirtilen şekillerde yapılır.

- Her dilime etkiyen kuvvetler dengede olmalıdır;
- Dilimler arası reaksiyon bileşenlerinin vektörel toplamı sıfır olmalıdır;
- Bu bileşkelerin aynı düzlemdeki herhangi bir noktaya göre momentleri toplamı sıfır olmalıdır.

Bu yöntemde, birim kalınlıktaki zemin kütlesi Şekil 6.a’da gösterildiği gibi düşey

dilimlere ayrılır. Bu dilimlerden her biri Şekil 6.b'de gösterildiği gibi, beş kuvvetin etkisi altında dengededir.



Şekil 5. Dilim yönteminin uygulanışı

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

Bir dilimin (i) birim kalınlık ağırlığı birim ağırlığın dilimin kesit alanı ile çarpımına eşittir.

$$W_i = A \times \gamma_i = \gamma_i h l \cos \alpha_i$$

Burada α dilim tabanının yatayla yaptığı açıdır (bu açı, dilim tabanı ortasını, O noktasını, bağlayan doğrunun düşeyle yaptığı açıya eşittir). Normal bileşen N ise

$$N = W_i \times \cos \alpha_i = \gamma_i h l \cos^2 \alpha_i$$

ile ifade edilir. u boşluk basıncının bulunması halinde efektif normal kuvvet,

$$N' = W_i x \cos \alpha_i - U_i = \gamma_i h l \cos^2 \alpha_i - u l_i$$

bağıntısı ile bulunur. Normal bileşen O noktasından geçtiğinden, kaydırmaya çalışan moment, teğet T bileşeni ile R moment kolunun çarpımıdır. Bu sebeple toplam kaydırıcı moment, $R \sum T$ olur ($T = \omega \sin \alpha$).

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

$$R \sum (c'l + N'tg\phi') = R(c' \sum l + tg\phi' \sum N')$$

ile hesaplanır. Dilim ağırlıkları hesapla veya alanların planimetri ile ölçülmesi sonucu bulunarak, şekil 6.'da gösterildiği gibi kuvvetler üçgeninden N ve T değerleri elde edilir. Seçilen her kayma dairesi için bu hesaplar bir tablo halinde toplanarak en küçük güvenlik sayısı bulunur.

Toplam gerilme analizinin kullanılması halinde de benzer işlemler yapılır. Burada c' ve ϕ' yerine c_u ve ϕ_u katsayıları kullanılır ve her elemanın toplam normal bileşeni

$$N' = \gamma h l \cos^2 \alpha$$

olur.

Daha kesin analizlerde her dilimde kaymaya karşı duran kuvvetlere aynı güvenlik sayısı uygulanır. Basitleştirilmiş yöntemin kullanılması halinde, dilimler arasındaki kuvvetler ihmal edildiğinden, bu kabul tam olarak geçerli olmaz. Şevin tamamı için güvenlik sayısı, kayma ihtimali olan zemin kütlelerinin stabilitesinden hesaplanır.

1.7.4.2. Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi

Janbu genelleştirilmiş yöntemi dilimler arası kesme kuvvetlerini (düşey kuvvetleri) bir noktadan etki ediyor olarak göz önüne almakta ve bu noktaların bir araya getirilmesi ile bir kuvvet tepkisi doğrusu oluşturmaktadır. Düşey kuvvetlerin toplanması ile normal kuvvet denklemi elde edilmektedir (Janbu ve diğ., 1956).

Güvenlik sayısının çözümü için dilimler arası kesme kuvvetlerinden ve yatay kuvvetlerin dengesinden yararlanılır. b genişliğine sahip her bir dilimin tabanının

merkezine göre çevresinde bulunan kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamından güvenlik sayısı elde edilir. Aşağıdaki eşitlik bir dilimin sağ tarafına ait kesme kuvvetinin değerini vermektedir.

$$X_r = E_r \tan \alpha_t - (E_r - E_L) t_r / b$$

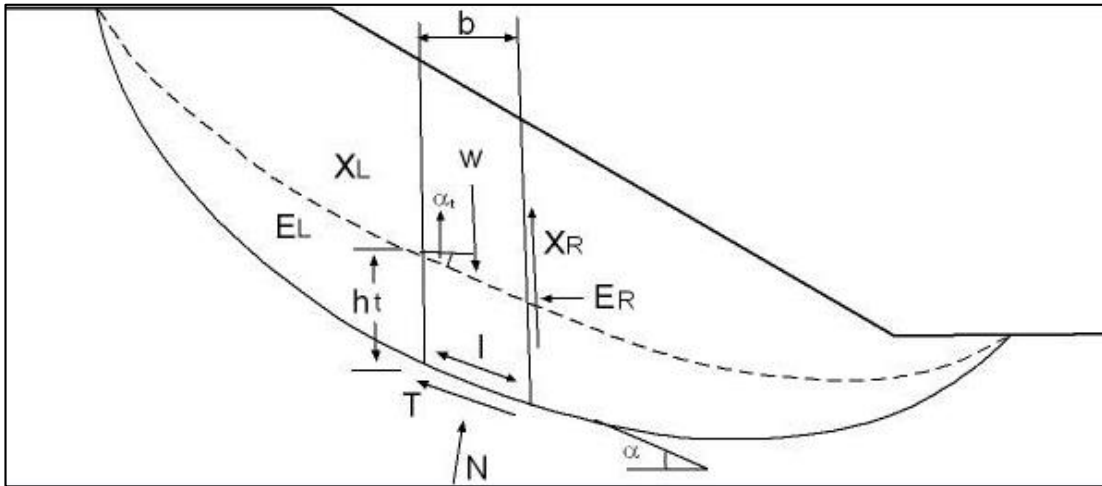
Burada; α_t : bir dilimin sağ tarafındaki doğrultusunun yatay ile yaptığı açı, t_r : bir dilimin sağ tarafındaki tepkinin doğrultusu ile dilimin tabanı arasındaki düşey uzaklıktır.

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

$$E_L - E_r = T_m \cos \alpha - N \sin \alpha$$

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

Janbu genelleştirilmiş yöntemi, moment dengesinin kullanıldığı, başka bir deyişle her bir dilim üzerindeki kuvvetler toplamının göz önüne alınarak kayma dairesinin özel bir şeklinin çözümlenerek güvenlik sayısının elde edildiği bir yöntemdir (Şekil 7).



Şekil 6. Genelleştirilmiş Janbu yönteminde dilime etkiyen kuvvetler

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında çalışılan alanda meydana gelmiş ve gelmesi muhtemel şev duraysızlığı problemleri irdelenmek üzere bir araştırma planı belirlenmiştir. Öncelikle ilk olarak konuyla ilgili literatür çalışması yapılmıştır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda üretilen haritalar, hesaplamalar, gözlemler ve yapılan diğer tüm çalışmalar incelenmiş, çalışma öncesi kılavuz olarak bu verilerden yararlanılmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimlerin belirlenmesi ve sahanın genel jeolojisini anlamak için M.T.A. Genel Müdürlüğü ve D.S.İ. Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış haritalar temin edilmiş ve bu haritalardan faydalanılmıştır.

Çalışma kapsamında arazide gözlem, deney ve incelemeler yapılmıştır. İnceleme alanında 3 farklı noktadan el burgusu ile (Ek-4) örselenmiş zemin numunesi ve Shelby tüpü (Ek-4) ile örselenmemiş zemin numunesi alınıp laboratuvara gönderilerek çalışmada ihtiyaç duyulan fiziksel ve jeomekanik parametrelerin bulunması için ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerin laboratuvar sonuçları Ekler kısmında ayrıca sunulmuştur (Ek-5).



İnceleme alanında tez çalışması kapsamında dikkate alınan heyelan kütlelerinin mevcut şev duraylılık durumunu incelemek için iki boyutlu limit denge şev duraylılık analiz yazılımı olan Rocscience Slide 5.0 yazılımı kullanılarak duraylılık analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu şev duraylılık analizi statik ve pseudo-statik (depremlili) durum göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. (Ek-6)

Çalışma alanında olası bir heyelan durumunda ortaya çıkacak kütle hareketi ve baraj içerisinde meydana gelebilecek dalga oluşumunu belirlemek amacıyla ampirik formüllerden yararlanarak dalga modellemesi yapılmıştır. Bu modellemeler yapılırken laboratuvara gönderilmiş olan numunelerinin sonuçları ve M.T.A.'nın Atasu Barajında daha önceki çalışmalarda baraj ekseninde yapmış olduğu sondaj çalışmaları verilerinden ve heyelan kütlelerinin uzunluk, alan ve hacim tespiti için yine M.T.A.'nın üretmiş olduğu verilerinden yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

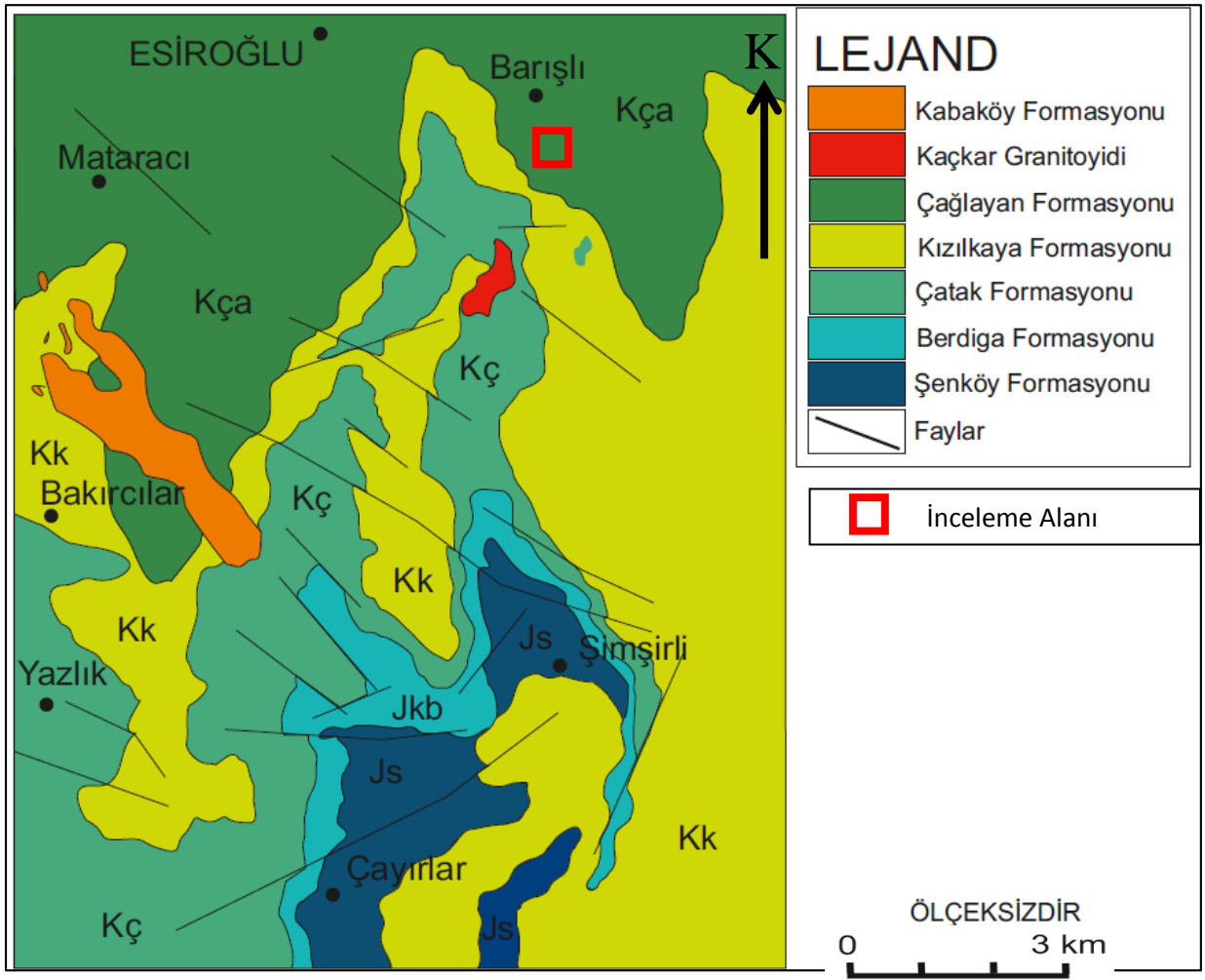
3.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

Volkano-sedimanter kayaçların egemen olduğu inceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru; Üst Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 8).

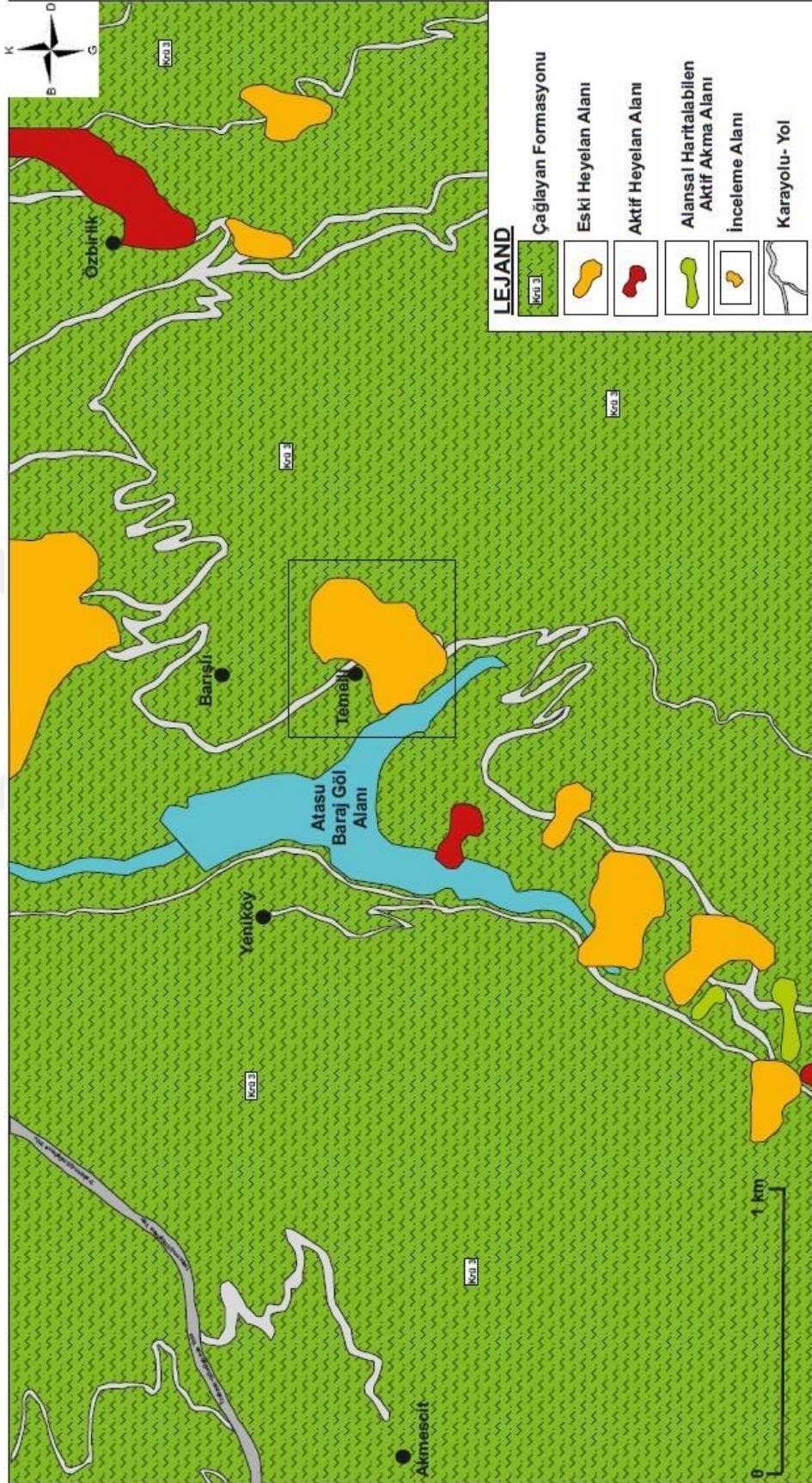
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOİK	KUVATERNER	Alüvyon Yamaç Molozu			Qal Qy		Alüvyon Yamaç Molozu	
MESOZOİK	KRETASE	ÜST KRETASE	KAMPANIYEN- MAASTRİHTİYEN		ÇAĞLAYAN	KrÜ 3		Y₂ : Kaçkar Granodiyoriti KrÜ3 : Bazalt, Andezit, Lav ve piroklastlan (Çamurtaşı, kumtaşı, Tüffit) KrÜf : Kumtaşı, Killaşı Killi Kireçtaşı (Marn, Şeyl, Tüf)

ÖLÇEKSİZDİR

Şekil 7. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit (Güven 1993'den değiştirilerek)



Şekil 8. G43A3 Paftasının jeoloji haritası (<http://www.dsi.gov.tr/>)



Şekil 9. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (www.yerbilimleri.gov.tr)

3.1.1. Çağlayan Formasyonu

Doğu Pontitler’de Geç Kretase volkanizmasının üçüncü evresinde gelişen bazik volkano-tortul nitelikli birim Çağlayan Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Güven,1993). Maçka (Trabzon) ilçesinin kuzeyinde yer alan Çağlayan Köyü ve civarında en iyi yüzeyleme vermesi nedeniyle bu ismi almaktadır.

Galyan vadisi boyunca yüzeyleme veren formasyon yer yer marn, kumlu kireçtaşı, kırmızı biyomikrit ve gri renkli kireçtaşı ara seviyeleri içeren; bazalt, spilitik bazalt ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Bazaltların taze yüzeyleri siyah ve koyu gri, bozunma yüzeyleri ise sarımsı ve kahverengi renklerde görülmektedir. Baraj eksen yerinde esas olarak bazalt, spilitik bazalt, sütun bazalt ve piroklastiklerden oluşan formasyon, yer yer gri renkli kireçtaşı seviyeleri de içermektedir. Volkano-tortul seri içerisinde yer yer gri renkli diyabaz dayklarına rastlanmaktadır. Bu dayklar 0,5-4 m genişliğe ve 15-30 m uzunluğa sahiptir. Formasyon içerisinde yer alan piroklastik kayalar çoğunlukla aglomera, tüfit ve breşlerden oluşmaktadır. Aglomeraları oluşturan elemanların dane boyları 10-30 cm arasında değişmektedir. Tüfitler genellikle bozunmuş ve tabakalı yapı gösterirler. Tabaka kalınlıkları ise 5-150 cm arasında değişmektedir.

3.1.2. Alüvyonlar ve Yamaç Molozları

Alüvyonlar çalışma alanında Galyan Deresi yatağında gözlenir. Alüvyon malzemesi; blok, çakıl, kum, silt ve bunların karışımından oluşmaktadır. Blok boyutu 10-100 cm arasında değişmektedir.

Yamaç molozu, Orta Mahalle ve civarında özellikle vadi yamaçlarında oldukça geniş bir yayılım gösterirken diğer alanlarda küçük yüzeylemeler şeklindedir. Yamaç molozları yer yer iri bloklu, çakıllı, kumlu, killi özelliktedir. Blok boyutu 0,5-100 cm arasında değişmektedir.

4. ARAZİ ÇALIŞMALARI, LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

4.1. Arazi Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında yapılan arazi çalışmaları çerçevesinde, jeolojik ve jeoteknik veri toplama amaçlı çalışmalar yapılmış (3 adet 1.5 metrelik araştırma çukuru), ve gözlemlerde bulunulmuştur. Çalışma alanında laboratuvara gönderilmek üzere yapılacak olan deneyin türüne göre örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır. Örselenmemiş numuneler 13 cm çaplı tüplerle (Shelby ve yarık tüplü) alınıp, tüpler özel gereçlerle çakılmıştır (Şekil 10 A). Çakılan tüplerin alt ve üst kısmı hava almayacak şekilde parafinlenmiştir (Şekil 10 B). Çalışma alanında örselenmiş zemin örnekleri alınmış hava almayacak şekilde poşetlenmiştir (Şekil 10. C).



Şekil 9. Zeminde örnek alımı

4.2. Laboratuvar Deneyleri

Çalışma alanından alınan numunelerin laboratuvar deneyleri ile fiziksel ve jeomekanik özelliklerini belirlemek için Atterberg limitleri, kuru birim ağırlık, doğal birim hacim ağırlık, elek analizi, su muhtevası ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

4.2.1. Dane Boyu (Granülometri) Analizi Deneyi

Zeminlerin sert kısımlarını oluşturan daneler çaplarına göre farklılıklar göstermektedir. Dane boyu dağılımı deneyinde farklı boyutlardaki daneler blok, çakıl, kum, silt ve kil olarak sınıflandırmakta ve hangi boyutlu daneden ne kadar oranda olduğunu hakkında bilgi vermektedir.

Zeminlerde ince ve iri daneli zeminler karışık olarak bulunabileceği için tane çapları 76.2 mm ile 0.075 mm arasında olan kısım elek analizine tabi tutulurken, 0.075 mm den küçük olan zeminlerde ıslak analiz(hidrometre veya pipet analizi) adı verilen yöntemler kullanılmaktadır.

4.2.1.1. Elek Analizi

Zeminlerdeki ince ve iri daneli birimlerin oranlarını tespit edebilmek için elek analizi deneyi yapılmaktadır. Elek analizi ile farklı çaplardaki danelerin ayrımı, kum, silt ve kil gibi birimlerin miktarları tayin edilebilmektedir.

Deneyde etüv, havan ve tokmak, elek seti, terazi (0.1 g hassasiyetli) ve hesap makinası kullanılmıştır.



Şekil 10. Elek seti ve hassas terazi

Deneyde kullanılan standart numune miktarı 400-500 gramdır. Zemini oluşturan danelerin miktarı bu deneyde ağırlıklı olarak saptandığı için, zemin bünyesinde bulunan suyun hesaplara dahil edilmesi gerekmektedir. Bunun için tüm deney numunesinin kurutulması yerine, deney numunesini temsil eden 50 gram kadar numune alınıp 105° C’de olan etüvde 24 saat kurutulup nem içeriği belirlenerek “Hidrokopik Nem Düzeltme Katsayısı” hesaplanır.

Hidrokopik Nem Düzeltme Katsayısı

- Hava ortamında kurutulmuş taneleri havan ve ucu lastik tokmak kullanılarak, ayrıştırılmış deney numunesinden, 50 gr numune alınarak bir kaba konur. Numune kap ile birlikte tartılıp not edilir (Kap+ Havada kurutulmuş numune ağırlığı)
- Numune kap ile birlikte fırına konularak 24 saat süreyle 105° C’de kurutulur.
- 24 saat sonra numune fırından alınarak desikatörde 15 dakika kadar bekletilip soğuması sağlanır ve kap ile birlikte numune tartılır (Kap+ Fırında kurutulmuş numune ağırlığı)
- Hidrokopik Nem Düzeltme Katsayısı;

$HDK = \frac{Fka}{Hka}$ eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Burada; HDK: Hidrokopik nem düzeltme katsayısı,

Fka: Numunenin etüvde kurutulmuş ağırlığı (g),

Hka: Numunenin havada kurutulmuş ağırlığı (g) değerlerini göstermektedir.

4.2.1.2. Hidrometre Analizi

Dane çapı 0,075 mm'den küçük veya 200 nolu elekten geçen numunelerin elekten elenmesi veya çaplarına göre ayrılması mümkün olmadığından dolayı, bu tür zeminlere farklı bir deney uygulanması gerekmektedir. Bu sebeple ıslak analiz, dane çapı küçük olan zeminlerde daha uygundur. Hidrometre analizi “Stoke kanununa” dayanmaktadır.

Deneyde kullanılan numune miktarı ve deney ekipmanları aşağıda verildiği gibidir:

- a) 10 no'lu elek altından iri daneliler için 100 g, ince daneliler için 50 g numune.
- b) 250 mm'lik Beher; toprak örneği; sodyum hegzametafosfat çözeltisinde çözmede kullanılır.
- c) %4' lük sodyum hegzametafosfat; 33 g sodyum hegzametafosfat ve 7 g sodyum karbonat 1 lt suda çözülerek hazırlanır.
- d) Cam silindir; 1000 ml' lik.
- e) Termometre; 50-100 °C arasında bölümlenmiş 1 °C hassasiyetli.
- f) Desikatör; etüvde kurutulmuş numuneleri soğuturken havanın neminden etkilenmemesi için kullanılır.
- g) Su banyosu; hidrometre analizinde kullanılmak üzere 20°C sabit sıcaklığı sağlayabilecek kapasitede olmalı.
- h) Spatula; örneği bir kaptan diğerine boşaltılırken kullanılır.
- i) Buharlaşma kabı; hidrometre çözümü sonucunda 200 no lu elek üstünde kalan örneği içerisine koyup fırında kurutmak için kullanılır.
- j) Piset
- k) Kronometre
- l) Karıştırıcı

Hidrometre Çözümü:

- 10 no lu elek altına geçen kum, silt, kil boyutundaki taneler birbirinden ta olarak ayrılmış durumda değildir. Çözücü kullanılarak tanelerin birbirinden ayrılması sağlanır.
- Ayraç kullanılarak numunenin 50-100 g'ı alınır ve %4' lük $(\text{NaPO}_3)_6$ içerisine dökülür. numune bu çözelti içerisinde 16 saat bekletilerek kil ve silt boyutundaki tanelerin ayrışması sağlanır. 16. saat sonunda çözelti karıştırıcı ile karıştırılıp 1000 ml'lik

süspansiyon silindire dökülür.

- Daha sonra silindirin ağzına elin içi kapatılarak 1 dk süreyle çarkalamp daha önceden hazırlanmış olan 20 °C' deki sabit sıcaklıktaki su banyosu içine yerleştirilir.bu işlemden sonra hidrometre, süspansiyon silindiri içine daldırılarak 30. Saniyede ilk okuma yapılır.bu şekildeki okumalar;1,2,4,8,15,30,60,120ve 240.dakikalar ile 8,24 ve 48.saatlerde yapılan hidrometre okumaları ilgili alanlara yazılır.

- Böylece belirli zaman aralıklarında süspansiyon yoğunluk değişimleri ölçülüp, Stokes Yasası'na göre belli tane boylarında süspansiyonda kalan % miktarları ve bu % miktarlarına karşılık gelen tane çapları ile ilgili eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

İnce Elek Çözümlemesi:

- 48.inci saatin sonunda hidrometre okuması tamamlandıktan sonra, sedimantasyon silindirindeki zemin ve su 200 no lu eleğe dökülür ve su ile iyice yıkanır.

- Yıkama işlemindeki silt ve kil boyutundaki çamur 2 no lu elekten geçecek , 0.075 mm den büyük taneler ise elek üzerinde kalacaktır.

- Elek üzerindeki zemin taneleri bir kaba alınır 24 saat etüvde kurutulur.

- Fırından alınan numuneler desikatör içerisinde 15 dk bekletilerek soğutulması sağlanır.

- İnce elek çözümlemesinde kullanılacak olan fırında kurutulmuş numune ağırlığı bulunur. Tartım işlemi ile ayrıca silt ve kil boyutundaki malzemenin yüzde miktarı hesaplanır.

- Kurutulmuş numune 20, 40, 60, 100, 140 ve 200 no lu eleklerden oluşan elek takımına konup sallayıcıda 15 dk sallanılır.

- Her eleğin üzerinde kalan numune ağırlıkları tartılarak eleklerden geçen toplam ağırlıklar ile yüzde miktarları ayrı ayrı belirlenir.

İnce Elek Çözümlemesi Hesaplaması:

İnce elek çözümlemesinde, 10 no lu elek altındaki numuneden belli bir miktar alıp çözümleme yapıldığından; bu eleklerden geçen numunenin yüzde miktarı bulunurken, 10 no lu elekten geçen zeminin yüzde miktarı esas alınır.

Hidrometre Çözümlemesinin Hesaplaması:

Süspansiyonda Kalan Yüzde (P)

$$P = [G_s / (G_s - 1)] * (100 / W_0) * (R_h + M_t - C_d)$$

G_s : Deneyde kullanılan zeminin özgül ağırlığı.

W_0 : Hidrometre çözümlemesi için kullanılan zeminin fırında kurutulmuş ağırlığı

R_h : Düzeltilmiş hidrometre okuması.

M_t : Süspansiyon sıcaklık düzeltmesi.

C_d : Toprağı dağıtıcı madde olarak kullanılan düzeltme, (%4 lük $(NaPO_3)_6$ için C_d değeri 4 olarak alınır.

Tane Çapı (D)

Süspansiyonda kalan yüzde miktarına karşılık gelen tane boyunun hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

D: Süspansiyonda kalan yüzde miktarlarında karşılık gelen tane boyu.

K: Deneyde kullanılan örneğin tane özgül ağırlığına bağlı olarak saptanan bir katsayı.

L: Etkin derinlik.

t: Hidrometre okumasının yapıldığı zaman (dk)

4.2.2. Su İçeriği Deneyi

Deneyin amacı numunenin içerdiği suyun kütlesinin fırında kurutulmuş numune kütlesinin yüzde olarak ölçülmesidir.

Deneyde etüv (105°C), hava sızdırmaz örnek kapalı örnek kabı, örneklerin soğutulmasında kullanılacak desiskatör, terazi (0,1 g hassasiyetli).

- a) Kap ve kapağı temizlenir, kurulanır ve kütlesi (A) ölçülür
- b) Her biri en az 50 gram kütleli veya en küçük boyutu en büyük tane boyunun 10 katı olan, hangisi daha büyükse, en az 10 parçayı kapsayan temsili bir örnek seçilir. Yerinde su içeriğinin bulunabilmesi için örnekleme, depolama, taşıma öyle olmalıdır ki su içeriği yerindeki değerin %1'i civarında olmalıdır.
- c) Örnek kaba konulur, kapak kapatılır ve art kap kütlesi (B) ölçülür.
- d) Kap açılır ve örnek 105°C 'de sabit bir kütleye ulaşana kadar kurutulur.
- e) Kapak kapatılır ve örnek desiskatörde 30 dakika soğumaya bırakılır. Örnek artı kap kütlesi (C) ölçülür.

Su İçeriği, $w = (\text{gözenekli Su Kütlesi, } M_w / \text{Tane Kütlesi, } M_s) * 100$

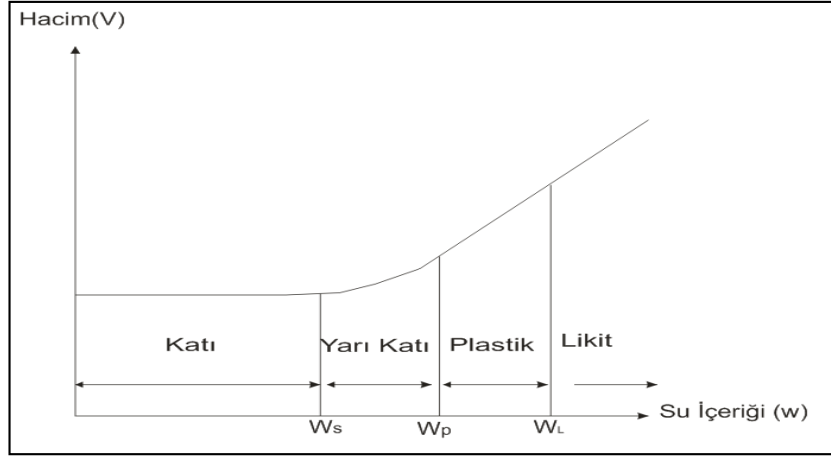
$$w = [(B-C)] / [(C-A)] * 100$$

formülüyle bulunur.

4.2.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri

Atterberg tarafından tanımlanan sınır su içerikleri Atterberg sınırları veya kıvam limitleri olarak adlandırılır. İsveçli bir Ziraat bilgini olan Atterberg tarafından su-kil karışımının kıvamdaki değişiklikleri 1911'de Şekil 12'deki gibi tariflenmiştir.

Zemine ait limit değerleri, kohezyonlu zeminlerin belirli fiziksel hallerde bulunduğu su içerikleri ile tarif edilir ve iyi değerlendirilirse, zeminin birçok özelliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ancak, kıvam limitleri deneylerinde, yoğrularak örselenmiş olan bir zeminde zemine ait tüm mekanik özellikleri tam olarak yansıtması beklenilmemelidir.

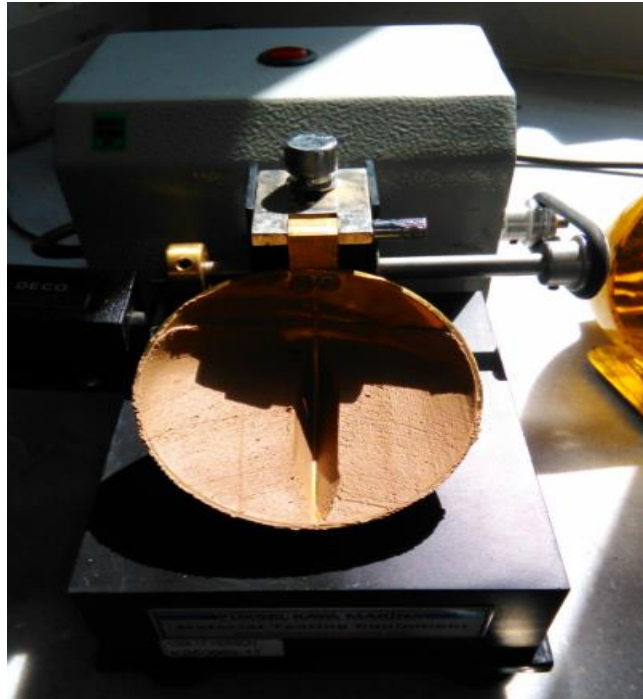


Şekil 11. Kıvam sınırları ve hacim değişikliği

4.2.3.1. Likit Limit Deneyi

Viskozitesi yüksek bir sıvı gibi akıcı durumdaki zeminin plastik duruma dönüştüğü andaki su muhtevasını inceleyen deneydir.

Deneyde Casagrande likit limit aleti (Şekil 13.) oluk açma bıçağı, grafik kağıdı, spatula, karıştırma kabı, kurutma kabı, damıtık su dolu piset, etüv, metal veya plastik cetvel kullanılmaktadır.



Şekil 12. Casagrande likit limit aleti

Deney öncesinde öncelikle cihazın tüm parçalarının çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Kullanılacak malzemelerin ve cihazın temiz, kuru ve boyutlarının standart olmasına dikkat edilmelidir.

Örselenmiş numunelerin 400 mikronluk elekten geçen malzemedan en az 200 gram alınır. Alınan bu numune damıtılmış su ile iyice hamur kıvamına gelene kadar karıştırılır. Homojen durumdaki bu hamur hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat bekletilir.

Numune çıkartılarak en az 10 dakika yeniden karıştırılır. Ardından numune alınarak Casagrande likit limit aletine koyulur. Yüzeyi düzlendikten sonra oluk bıçağı ile ikiye bölünür. İkiye ayrılan numune birbirine değinceye kadar kap kaldırılıp düşürülür. Değme sağlandığında düşüş sayısı ve kesim uzunluğu kaydedilir. Su içeriğinin belirlenmesi için oluğun kapanmış olan kısmından 10gr numune alınarak deney kabına koyulur.

Aynı numune kullanılarak ve su içeriği arttırılarak işlemler tamamlanır.

Seçilen başlangıç su içeriği ve deney sırasındaki zemin su içerikleri; bu su içerikleri için elde edilen düşüş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılmasını sağlayacak biçime ayarlanmalıdır.

Deney kesinlikle numunenin su içeriği arttırılarak yürütülmeli ve numunenin su eklemek amacıyla likit limit kabından her çıkarılışında kap ve oluk açma bıçağı yeniden yıkayıp kurutulmalıdır.

Her denemede elde edilen su içeriğine karşı düşme sayısı, bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir. Bu işlem için, su içeriği değerleri yatay eksen boyunca, düşüş sayısı ise düşey eksen boyunca ölçülmelidir. Elde edilen en az 4 noktaya en iyi uyan doğru çizilir ve elde edilen akış doğrusu üzerinde 25 düşüş için gerekli su içeriği zeminin Likit Limit'i olarak belirlenir.

4.2.3.2. Plastik Limit Deneyi

Bu deney zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasının ölçülmesiyle ilgilidir.

Deneyde metal veya cam kaplar, 0.01 gr duyarlıklı terazi, etüv (105⁰C sıcaklıkta), geniş bir cam levha, 3 mm çağında bir tel çubuk kullanılmıştır. Deneyde izlenen adımlar

aşağıdaki gibidir.

- a.** Likit limit deneyi için hazırlanmış numuneden bir miktar alınır.
- b.** Numune cam levha üzerine konulup avuç içinde yuvalanarak çubuklar haline getirilir.
- c.** Zemin çubukları 3 mm çapındaki çubuklar haline gelinceye kadar yoğrulur (Şekil 14).
- d.** Yukarıdaki işlemler 3mm çubuklar haline geldiğinde çatlama oluşuncaya kadar tekrarlanır.
- e.** Çatlama ve kopmalar başladığı andaki zeminler boş kütlesi bilinen bir kap içerisine konulup tartılır ve kütlesi kaydedilir.
- f.** Daha sonra numuneler etüvde kurutularak kuru ağırlıkları ölçülür bu şekilden az üç deney yapılır.
- g.** Bulunan su içeriklerinin ortalaması zemine ait Plastik Likit değeri olarak kabul edilir.



Şekil 13. Zeminin 3 mm çapında çubuklar haline getirilmesi

4.2.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi

Bu deney silindirik numunelerinin üç eksenli yükleme ile dayanımlarının tayinlerine ilişkin bir deney olup boşluk suyu basıncı dikkate alınmadan zeminlerin değişik yanal basınçlarda makaslama dayanımları, içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri, deformasyon modülü gibi elastik özellikleri ve dayanımlarının saptanması için gerekli verilerin bulunmasını kapsar.

Deneyde;

- Yükleme aleti: yaklaşık 50 kN yükleme kapasitesine sahip (10, 50, 100 kN kapasiteli olabilir), 0.05-10mm/dk arasında değişen hıza sahip olmasında fayda vardır.
 - Yanal basınç pompası: hücreye seçilen çevre basıncını iletmek ve bu basıncı sürekli tutmak için gerekli olan sistemdir bu sistem ayıca bir de manometre içermelidir.
 - Üç eksenli basınç hücresi: içerisine numune yerleştirmek üzere açılıp kapanabilen ve 1000 kPa iç basınca dayanıklı.
 - Yük ölçer: kalibre edilmiş 20 kN kapasiteli bir yük ölçer uygundur.
 - Kauçuk kılıf: kalınlıkları 0.05 ile 0.25 mm arasında değişen membranlara sahip.
 - Eksenel deformasyon ölçer: en az 25 mm hareketli ve 0.01 mm duyarlılıkta olmalı.
 - Tel testere
 - Metal cetvel
 - Terazî
 - Su içeriğini belirlemek için gerekli araçlar
 - Tüplerden numune çıkarılmak için uygun çaplarda numune çıkarıcılar gereklidir.
- a.** Tablaların ve numunelerin yüzeyleri temizlendikten sonra numune alt tablaya konulur ve eksen ayarları kontrol edilir.
- b.** Esnek kılıf geçirildikten sonra hidrolik yağı engellemek için lastik halkalar

yerleştirilir. Ardından basınç hücresine elle yerleştirilir.

c. Silindir hidrolik yağ sızıntısını önleyecek biçimde sıkıca kapatılır ve hidrolik basınç hortumları bağlanır. Deformasyon ölçer yerleştirilir ve basınç hücresi hidrolik yağ ile doldurulur.

d. Yükleme cihazı pistonun ucu numunenin alt başlık yatağından çok az yukarıda kalacak şekilde ayarlanır ve yük ölçme göstergesinden ilk değer kaydedilir.

e. Yükleme cihazı, pistonun ucu numunenin üst başlık yatağına degecek şekilde ayarlanır ve eksenel deformasyon ölçerden okunan ilk değer kaydedilir.

f. Yanal yağ basıncı yavaş yavaş, önceden belirlenmiş basınç düzeyinde yükseltilir aynı zamanda eksenel deformasyon ölçeriyle alınan ilk değerde herhangi bir sapma olmaması için yeterli miktarda eksenel yük uygulanır. Önceden belirlenmiş yanal basınç değerine erişildiğinde yükleme cihazı ile uygulanan eksenel yük kaydedilir. Kaydedilen eksenel yük miktarı sıfır veya başlangıç yükü olarak kabul edilir.

g. Eksenel yük sürekli olarak ve değişmez bir değerde kalıncaya, azalmaya başlayıncaya veya birim boy değişimi numunenin %20 sine ulaşıncaya kadar uygulanır.

h. Yükleme hızı, kırılmayı 5-15 dk içinde oluşturacak bir değerde seçilmelidir gerilme – birim boy kısalması grafiğini çizebilmek için mümkün olduğu kadar çok ölçü alınmalıdır seçilen yükleme hızı, yapılacak bütün deneylerde aynı değerde olmalıdır.

i. Deney süresince, önceden belirlenmiş yanal basınç düzeyinin değişmemesi sağlanmalı ve deformasyon değerleri ölçülerek kaydedilmelidir. Hücre açıldıktan sonra belirlenebiliyorsa, kırılma düzeyi açısından kaydedilmelidir

j. Bu deney metoduna göre yükleme halkalarında elde edilen ilk değer ile daha sonra elde edilen değerler arasındaki farka çevre basıncı ilave edilerek eksenel yük bulunur. Numunenin direnajsız deney sırasında eksene dik alanı (A) numunenin silindir olarak biçim değiştirdiği varsayılarak aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$A = A_0 / (1 - \epsilon)$$

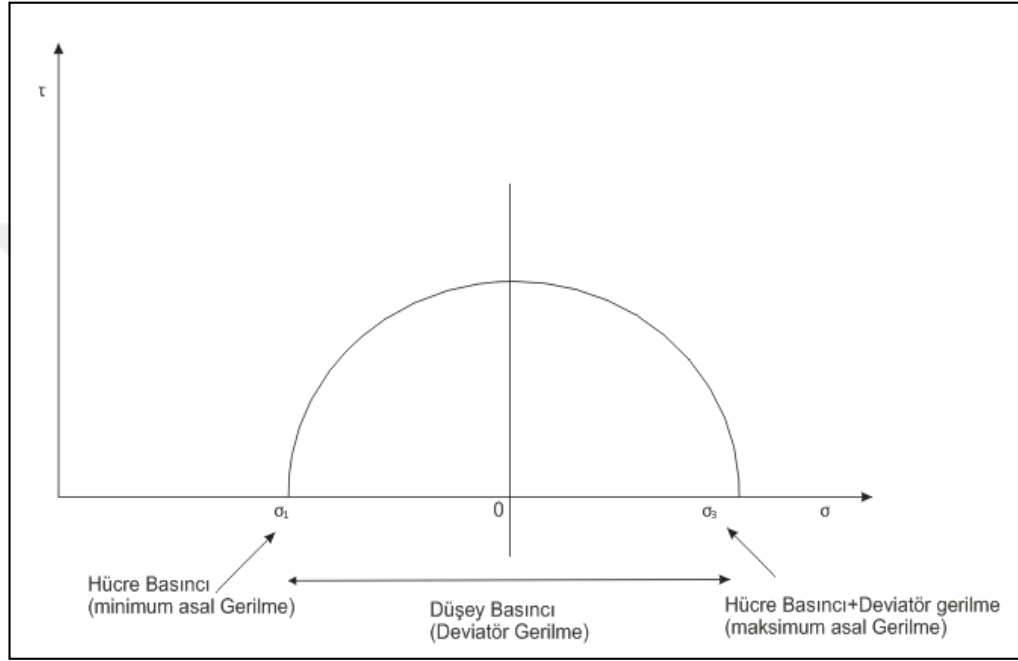
Eşitlik ' de

A_0 = Numunenin başlangıç alanı

$$\varepsilon=(L_0-L)/L_0$$

L_0 = Numunenin başlangıçtaki boyu

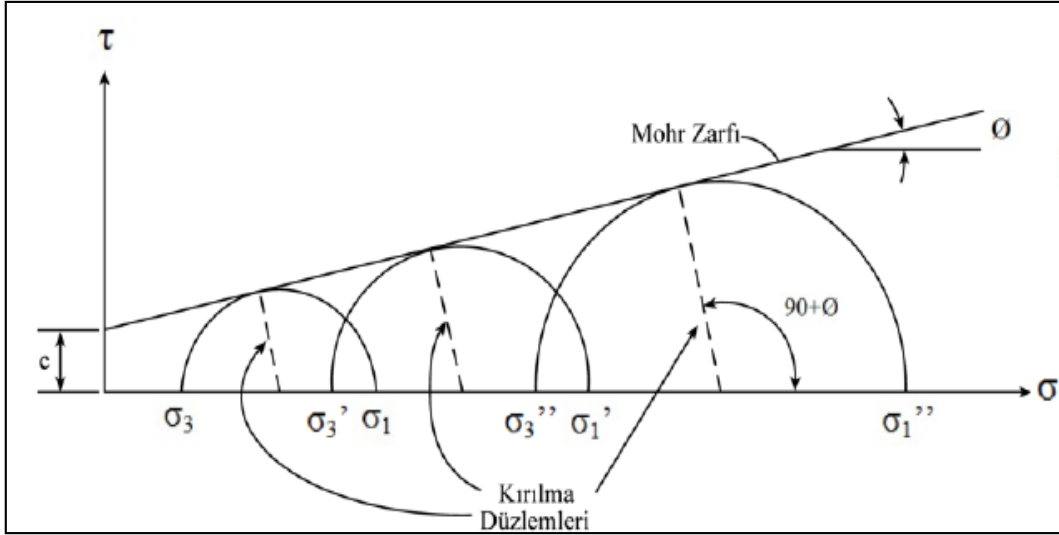
L = Numunenin herhangi bir ölçüm anındaki boyu



Şekil 14. Üç eksenli basınç deneyinde gerilmelerin Mohr dairesi üzerinde tanımlanması

Üzerinde deney yapılan zemine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri, her bir çevre basıncı değeri için yapılan deneylerden hesaplanana σ_1 ve σ_3 gerilme çiftleri kullanılarak çizilen Mohr daireleri yardımıyla bulunabilir.

Mohr dairelerine teğet olan Mohr zarfı $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ şeklinde belirtilen Coulomb eşitliği ile verilir ve böylece zeminin kayma dayanımı parametreleri (c ve ϕ) grafiksel olarak belirlenmiş olur (Şekil 16). Üç eksenli basınç deneyleri, arazi koşullarına göre farklı drenaj koşullarında yapılabilir.



Şekil 15. Üç eksenli basınç deneyi verilerinden Mohr yenilme zarfının elde edilmesi.

4.3. Laboratuvar analizleri

İnceleme alanını oluşturan zeminin fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin ortaya konulması amacıyla gözlemsel çalışmaların yanında el burgu aleti ile 3 adet 1.5 metrelik toplam 4.5 metre derinliğinde araştırma çukuru açılmıştır. Etüt sahasında açılan araştırma çukurlarında geçilen birimler aşağıda verilmektedir.

Tablo 2. Numune alınan derinlikler ve geçilen birimler.

Araştırma Çukuru No	Derinlik(m)	Geçilen Birimler
AÇ-1	1,50	0,00-0,30m Nebati toprak 0,30-1,50m Açık Kahve Renkli Az Çakıllı Kumlu Kil
AÇ-2	1,50	0,00-0,30m Nebati toprak 0,30-1,50m Açık Kahve Renkli Az Çakıllı Kumlu Kil
AÇ-3	1,50	0,00-0,30m Nebati toprak 0,30-1,50m Koyu Kahve Renkli Az Çakıllı Kumlu Kil

İnceleme alanından alınan numuneler laboratuvar deneyleri sonucunda fiziksel ve jeomekanik özelliklerini belirlemek için; atterberg limitleri, kuru birim ağırlık, doğal birim hacim ağırlık, elek analizi, su muhtevası ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Yapılan laboratuvar deneyleriyle elde edilen kil zeminin indeks özellikleri aşağıda sunulan Tablo 3.'de verilmiştir.

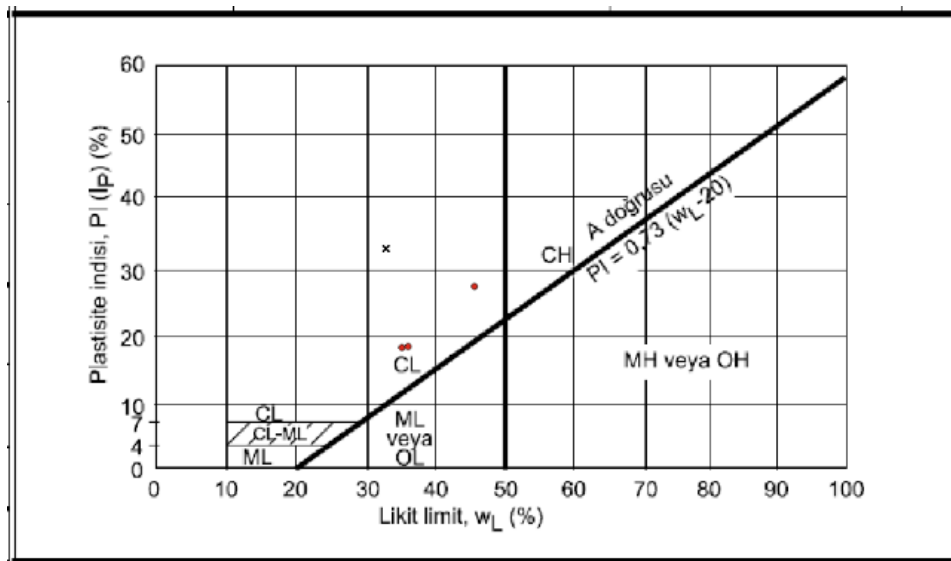
Tablo 3. Sahadaki zemine ait fiziksel ve jeomekanik parametreler

Kuyu No	Numune Derinliği	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı ₁ gr/cm ³	Kuru Birim Hacim Ağırlığı ₁ gr/cm ³	Üç Eksenli Basınç Deneyi		
		+No: 4	-No:200	LL	PL	PI					USCS	c kg/c m ²	φ (°)
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)							
AÇ-1	1.50	8,0	59,2	35	18	17	CL	14,7	1,960	1,709	0,76	7	
AÇ-2	1.50	6,1	62,2	36	19	17	CL	19,5	1,922	1,608	---	---	
AÇ-3	1.50	6,3	52,5	47	20	27	CL	32,3	1,862	1,407	---	---	

4.3.1. Zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

İnceleme sahasında gözlenen ince daneli zeminler “CL” zemin grubunda yer almaktadır (Tablo.4)

Tablo 4. Plastisite Diyagramı (Usawes, 1967)



Plastisite indisi %17-27 değerleri arasındadır. Dolayısıyla zemin; plastisite indisi sınıflamasına göre “**Plastik**” zemin özelliğindedir (Tablo 5).

Tablo 5. İnce daneli zeminlerin plastisite indeksine göre sınıflaması (Leonards, 1962)

Tanım	Plastisite İndisi-PI(%)
Plastik değil	0-5
Orta Derecede plastik	5-15
Plastik	15-40
Çok Plastik	>40

4.3.1.1. Doğal Birim Hacim Ağırlık

Bir cismin birim hacminin ($1 \text{ cm}^3, 1 \text{ m}^3$ v.b) ağırlığı, o cismin birim hacim ağırlığı olarak tanımlanmaktadır. Laboratuvar sonuçlarına göre elde edilen birim hacim ağırlığı Tablo.6’da verilmiştir.

Tablo 6. İnce taneli zeminin doğal birim hacim ağırlığı

A.Ç No	Derinlik (m)	Doğal Birim Hacim Ağırlık $-\gamma_n$ (gr/cm ³)
1	1,50	1,960
2	1,50	1,922
3	1,50	1,862

4.3.1.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık

Yaş ve kuru zemindeki, kuru ağırlığın (dane ağırlığının) toplam hacme oranı olarak tanımlanmaktadır. Laboratuvar sonuçlarına göre elde edilen kuru birim hacim ağırlığı Tablo.7’de verilmiştir.

Tablo 7. İnce taneli zeminin kuru birim hacim ağırlığı

A.Ç No	Derinlik (m)	Kuru Birim Hacim Ağırlık $-\gamma_k(\text{gr/cm}^3)$
1	1,50	1,709
2	1,50	1,608
3	1,50	1,407

4.3.1.3. Elek Analizi Sonuçları**Tablo 8.** İnce taneli zeminin elek analizi değerlendirilmesi

Araştırma Çukur No:	Derinlik (m.)	Geçen % dane oranları	
		(No.4)(%)	(-No.200)(%)
AÇ-1	1,50	8,0	59,5
AÇ-2	1,50	6,1	62,2
AÇ-3	1,50	6,3	52,5

4.3.1.4. Kıvamlılık İndisi ve İrdelenmesi

Zeminin arazide doğal haldeki kıvamının nasıl olduğu hakkında bilgi veren bir değerdir. Kıvamlılık indisi bulunurken

$$I_c = (LL - W_n) / PI$$

formülünden yararlanılır. Çalışma alanından elde edilen veriler doğrultusunda kıvam indisi değerleri;

$$\text{AÇ-1 için; } I_c = (35 - 14,7) / 17 = 1,19$$

$$\text{AÇ-2 için; } I_c = (36 - 19,5) / 17 = 0,97$$

$$\text{AÇ-3 için; } I_c = (47 - 32,3) / 17 = 0,85$$

olarak bulunur.

Tablo 9. İnce taneli zeminin kıvamlılık indeksi değerlendirilmesi

Araştırma Çukur No/	Derinlik (m)	LL(%)	W _n (%)	PI(%)	Kıvamlık indeksi (I _c)	Tanım
AÇ-1	1,50	35	14,7	17	1,19	Çok Sert
AÇ-2	1,50	36	19,5	17	0,97	Sert
AÇ-3	1,50	47	32,3	27	0,54	Yarı sert

Tablo 10. İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflaması
(Means ve Parcher, 1963)

KIVAMLILIK İNDİSİ –I _c	TANIM
< 0	Akışkan (çamur)
0-0.25	Çok yumuşak
0.25-0.50	Yumuşak
0.50-0.75	Yarı sert
0.75-1.00	Sert
> 1.00	Yarı katı (çok sert)

Buna göre zeminin;

- AÇ-1; derinlik; 1,50m değerlerine göre kıvam indisi (relatifkonsistans)

$I_c = (LL - W_n) / PI$ formülünden;

$I_c = (35 - 14,7) / 17 = 1,19$ **Çok Sert** kıvamda;

- AÇ-2; derinlik; 1,50m değerlerine göre kıvam indisi (relatifkonsistans)

$$I_c=(36-19,5)/17= 0,97 \text{ Sert kıvamda;}$$

- AÇ-3; derinlik; 1,50m değerlerine göre kıvam indisi (relatifkonsistans)

$$I_c=(47-32,3)/27= 0,54 \text{ Yarı Sert}$$

kıvamda olduğu gözlenmiştir.

4.3.1.5. Sıkışma İndisi

Sıkışma indisi, e-logP yükleme eğrisinin eğimini ifade eder ve konsolidasyona bağlı oturmanın hesaplanmasında kullanılır. Skempton (1944) örselenmemiş killerde sıkışma indeksi için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$C_c=0,009*(LL-0,1)$$

Bu formül yardımıyla çalışma alanında elde edilen sıkışma indisi değerleri;

- AÇ-1; derinlik 1,50m değerlerine göre;

$$C_c=0.009*(35-0,1)=0,31$$

- AÇ-2; derinlik 1,50m değerlerine göre;

$$C_c=0.009*(36-0,1)=0,32$$

- AÇ-3; derinlik 1,50m değerlerine göre;

$$C_c=0.009*(47-0,1)=0,42$$

olarak bulunmuştur.

Tablo 11. İnce taneli zeminin sıkışma indisi değerlendirilmesi

Araştırma Çukur No	Derinlik(m)	LL	Sıkışma İndisi (Cc)	Tanım
AÇ-1	1,50	35	0,31	Orta sıkışabilirlik
AÇ-2	1,50	36	0,32	Orta sıkışabilirlik
AÇ-3	1,50	47	0,42	Yüksek sıkışabilirlik

Tablo 12. Zemin sıkışabilirliği (Sovvers,1979)

Sıkışma indisi(Cc)	Likit Limit(LL)	TANIM
0-0,19	0-30	Düşük sıkışabilir
0,20-0,39	31-50	Orta sıkışabilir
>0,4	>50	Yüksek sıkışabilir

Zemin sıkışabilirliği (Sovvers, 1979) sınıflamasına göre zemin “**Orta-Yüksek Sıkışabilir**” olarak belirlenmiştir.

4.4. İki Boyutlu Limit Denge Yöntemi İle Heyelana Ait Duraylılık Analizi

Tez kapsamında “Rockscience Slide 5.0 slope stability” şev duraylılık yazılımı kullanılarak dikkate alınan heyelan kütlelerinin güncel duraylılık durumu iki boyutlu limit denge analiz yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında daha önce yapılmış sondaj kuyularındaki gözlem ve araziden alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak Bishop ve Basitleştirilmiş Jambu yöntemleri kullanılarak şev duraylılık analizleri yapılmıştır.

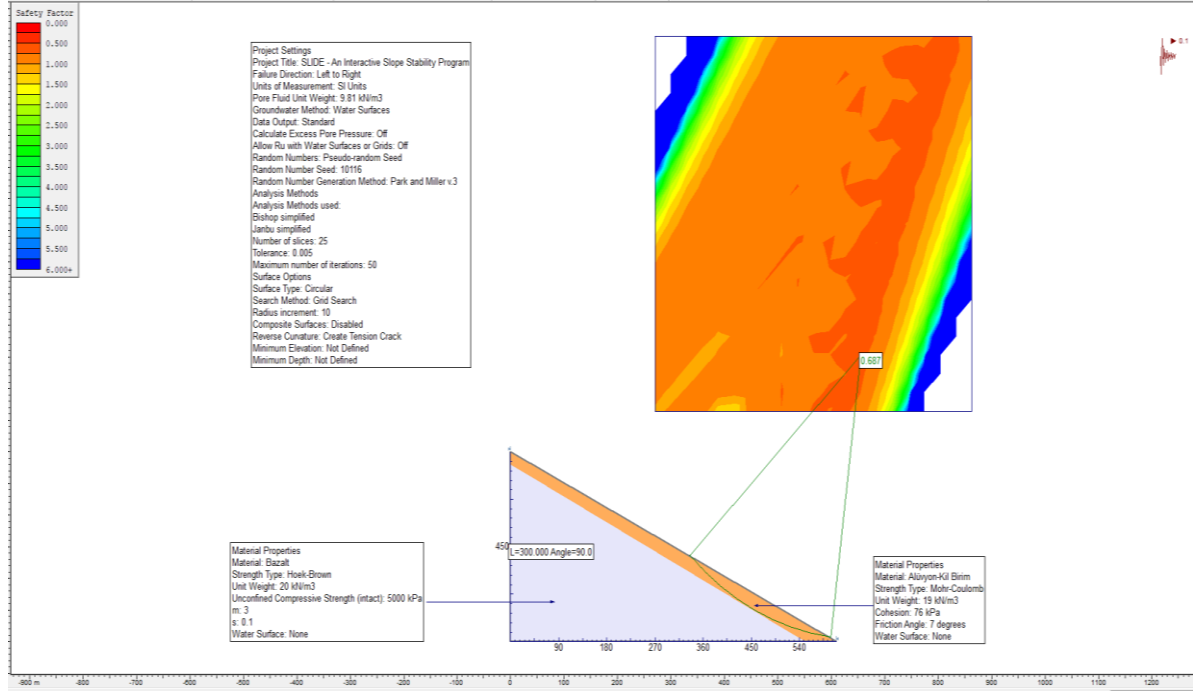
Yapılan analizlerde statik durum için hesaplanan güvenlik sayısı $F_s=0,834$, deprem etkisini dikkate alarak hesaplanan güvenlik sayısı ise $F_s=0,687$ olarak hesaplanmıştır. Her iki durum içinde güvenlik sayılarının limit dengenin altında olduğu ve saptanmıştır.

Depremsiz Durumda $F_s \geq 1.50$

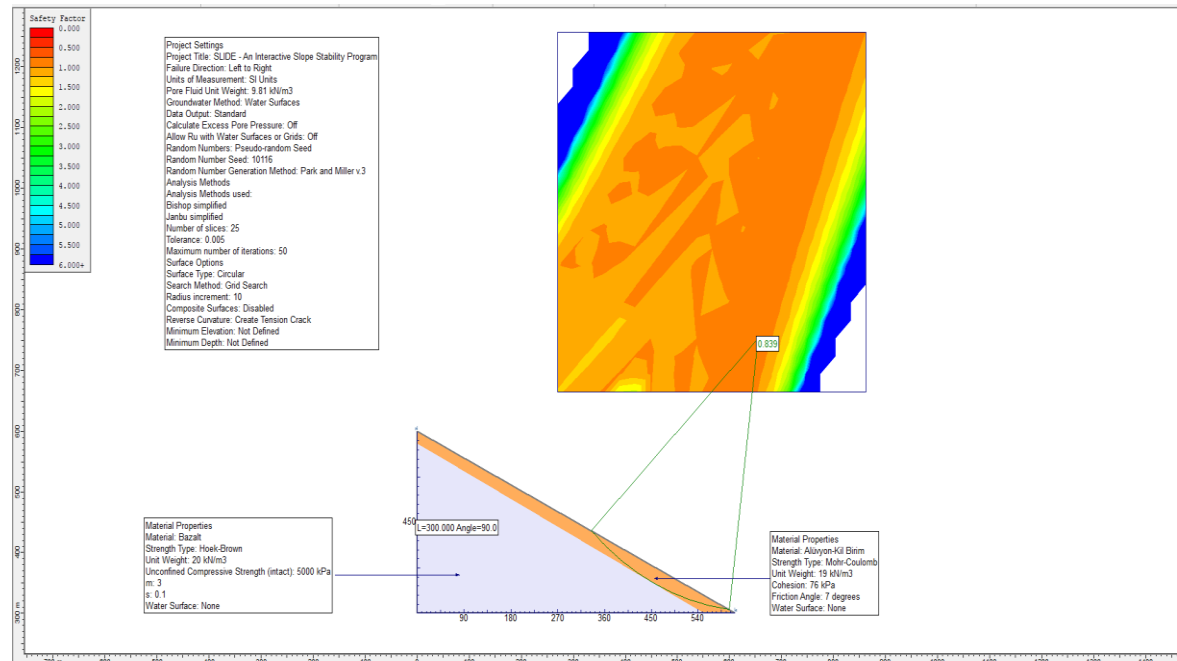
Depremlı Durumda $F_s \geq 1.00$

Drenajlı Durumda $F_s \geq 1.20$

Şekil 16. İnceleme alanının statik durumdaki şev stabilite hesapları



Şekil 17. İnceleme alanının Dinamik durumdaki şev stabilite hesapları.



5. OLASI HEYELAN SONUCU MEYDANA GELECEK SU DALGASI MODELLEMESİ

5.1. Giriş

Dalgalar, su yapılarını etkileyen önemli çevresel faktörlerden biridir. Dalgalar doğadaki en karmaşık olaylar arasında olup karakterlerinin ve davranışlarının tam olarak anlaşılması mümkün görülmemektedir (Çevik, 2003).

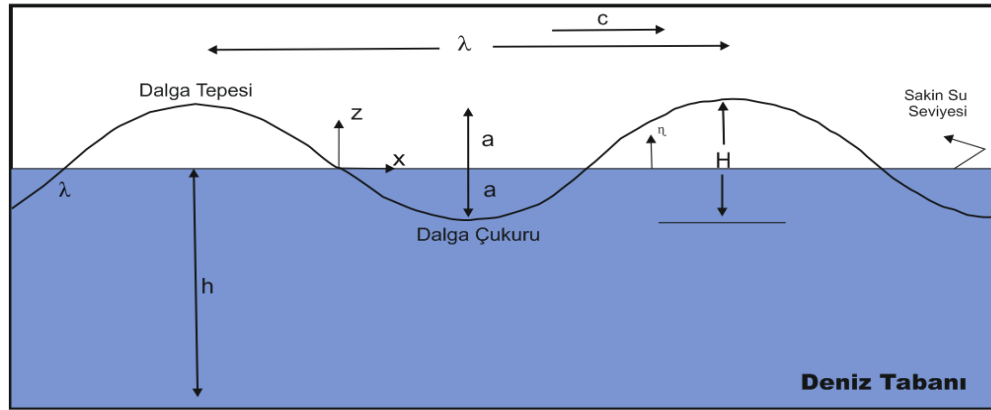
Su yapılarında kıyı kesimdeki heyelanlar; kayalardan, döküntü örtüsünden veya topraktan oluşmuş kütlelerin yerçekimi etkisi altında yerinden koparak rezervuar alanı içerisine yer değişmesiyle meydana gelir. Su yapılarının tabanındaki heyelanlar ise; tabandaki eğimli arazilerde çatlaklı kayalar veya granüllü çökellerde karşımıza çıkar. Bu çökel parçacıkları deprem gibi tektonik erozyona veya sismik şekil değiştirmelere maruz kaldığında gözenekli su basıncında azalma meydana gelir ve çökellerin oluşturduğu parçanın dayanımı azalır. Kasırgalar, geçici rüzgar dalgaları çökel içerisinde birikmiş olan gözeneklerdeki gazların varlığı ve hatta çökel içerisindeki karbonat çözülmesi çökelin mukavemetinin azalmasına sebep olabilir. Bu etkiler kuvvet dengelerini bozar ve hareket başlar (Kılınç, 2008). Bu heyelanlar eğer yeterli hıza sahipse dev dalgalar oluşturabilir.

Deniz, göl ve baraj rezervuar alanlarında heyelan kaynaklı dalgalar önemli tehlike arz etmektedir. Dalgaların saatteki hızı heyelan materyalinin büyüklüğüne bağlı olarak 800 km'ye, boyları 50 metreye kadar ulaşabilir. Dalgaların hızları kıyıya yaklaştıkça azalırken sığ kıyıda bu dalgaların boyları artarak kıyıda çok büyük tahribata yol açabilirler. Buna iki çarpıcı örnek, İtalya'da meydana gelen Vaiont Barajının yapımı devam ederken büyük bir heyelan meydana gelmiş ve 0,7-1 milyon m³ hacmindeki kaya molozu rezervuar alanına girmiştir. Bunun üzerine 262 m yükseklikte 50 milyon m³ dalga 5 köyü tahrip ederek yaklaşık 2000 kişinin ölümüne neden olmuştur. Bir başka örnek ise Alaska mega tsunamisi'dir. Lituya Körfezi'nde bir depremin tetikleme üzerine yaklaşık 30,6 milyon m³ kaya ve toprak 914 metre yükseklikten hızla körfezin sularına akarak 525 metrelik tsunami dalgası oluşturmuştur. Birçok bina yıkılmış nüfusun az olduğu bölgede 5 kişi hayatını kaybetmiştir. İki örnekte de heyelan sonucu büyük kaya kütleleri baraj rezervuar alanı içine kayarak yüzlerce metre yükseklikte dalgalar meydana getirmiştir. Bu dalgalar binlerce insanın ölümüne yol açmıştır.

Dalgaların oluşturduğu riskleri değerlendirmek için günümüzde birçok çalışma yapılmıştır. Bu tür problemleri araştırmak için başlıca olası heyelanın; heyelan materyallerinin birim yükü, heyelan kütesinin uzunluğu, genişliği, kalınlığı, eğimi, içsel sürtünme açısı gibi indeks parametreler ve geometrik çözümlerle alakalı detaylı incelemeler yapılır. Bu çalışmalar sonucunda potansiyel dalganın; hızı, yüksekliği, genliği ve frekansı belirlenebilir. Elde edilen dalga özelliklerine göre muhtemel hasar tespit edilir.

5.2. Dalga ve Genel Özellikleri

Deniz ve göl gibi geniş su yüzeylerinde genellikle rüzgar, deprem gibi kuvvetlerin etkisiyle su partiküllerinin yörüngesel hareketleriyle oluşan kıvrımlı harekete dalga denir. En basit yaklaşımla (lineer dalgalar) dalgaların profili sinüs veya cosinüs eğrisiyle verilir.



Şekil 18. Sinüzoidal Dalga Karakteristiği (Durmuş, 2007'den değiştirilerek)

Bu oluşumda, dalganın ulaştığı en yüksek noktaya dalga tepesi, en düşük noktaya dalga çukuru denilmektedir. Tepe ile çukur arasında kalan mesafeye dalga yüksekliği (H) denir. Dalga yüksekliği, dalga genliğinin (a) iki katına eşittir. Dalga boyu (λ) ise iki tepe veya iki çukur arasında kalan yatay mesafedir. Dalgaların artarda iki tepesinin belli bir noktadan geçiş süresine dalga periyodu (T) denilmektedir. Dalga boyunun dalga periyoduna bölünmesiyle dalga yayılma hızı (c) hesaplanır. Dalga enerjisinin yayılma hızına dalga grup hızı (c_g) denir. Dalga dikliğinde dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranıdır. Bu oranın $1/7$ 'yi aşması durumunda dalga dengesini kaybeder ve sönümlenir.

5.2.1. Dalgaların Sınıflandırılması

Dalgalar çok farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Dalgaların oluşum sebeplerine göre ve periyotlarına göre sınıflandırılması Tablo16.'da verilmiştir.

Tablo 13. Dalgaların oluşum sebeplerine göre sınıflandırılması (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2015)

Dalga Tipi	Periyot	Sebeup
Rüzgar Dalgası (Ağırlık Dalgaları)	≤ 15 s	Rüzgar gerilmesi
Ölü Deniz Dalgası,Soluğan (Swell)	≤ 30 s	Rüzgar dalgası
Surf Salınımı(Surf Beat)	1-5 dak	Dalga Grubu
Liman İçi Çalkantı	2-10 dak	Surt Salınımı ve Tsunami
Çalkantı(Seiche)	2-40 dak	Tsunami,ani rüzgar değişimi, atmosfer etkisi, lineer olmayan dalga etkileşimi
Tsunami	5-60 dak	Deprem, Heyelan
Gel-Git	12-24 saat	Güneş ve Ay Çekimi
Fırtına Kabarması (Storm Surge)	1-30 gün	Rüzgar gerilmesi ve atmosfer Basıncındaki Azalma

Esintilerin, rüzgarların ve fırtına sistemlerinin oluşturduğu kapiller, deniz ve ölü deniz dalgaları atmosfer kaynaklı rüzgar dalgalarıdır. Gök cisimlerinin birbirine uyguladığı çekim kuvvetiyle med-cezir dalgaları meydana gelmektedir. Bu tip dalgalar astronomi kaynaklıdır. Seiches, kısa zaman ölçekli rüzgarların ani ve çok kuvvetli esmeleriyle meydana gelen salınımlardır (Yüksel ve Çevik, 2009). Denizaltı volkanik faaliyetlerinden, fay boyunca kırılmalardan veya sualtı heyelanlarından, su yapılarının yakınındaki eğimli arazilerde meydana gelen heyelan sonucu su yapılarına inen büyük toprak ve kaya kütlelerinin meydana getirdiği yıkıcı etkiye sahip depreşim (tsunami) dalgaları meydana gelmektedir. Bu tezin konusu kapsamında olması sebebiyle heyelan kaynaklı dalgalar daha detaylı incelenmiştir.

5.3. Çalışma Alanındaki Eski Heyelan Kütlesinin Mühendislik Jeolojisi

Türkiye'nin kuzey kısmında Trabzon kenti, Maçka ilçesinde yer alan çalışma alanı Atasu Barajı'nın doğusunda Temelli köyünde yer almaktadır. Heyelan kütlesi ve baraj gövdesi arasındaki uzaklık yaklaşık 1200 metredir. Heyelan kütlesini oluşturan yamaç molozu malzemesi; yer yer iri bloklu, çakıllı, kumlu, killi özelliktedir. Heyelan taç noktası kotu 610 metre, topuk kotu ise 300 metredir. Kütlenin geometrik şekli elipsoittir.

Potansiyel dalga hesaplamalarında kullanılacak olan ortalama ve maksimum genişlik sırasıyla 390 ve 445 metre olarak hesaplanmıştır. Bu alanda DSI' nin yapmış olduğu çalışmalardaki sondaj verileri dikkate alındığında heyelan kütesinin yaklaşık kalınlığının 15 metre olması belirlenmiştir. Kütleinin yoğunluğu dalga özelliklerinin hesaplanması için en temel verilerden biridir. Bu kapsamda heyelan malzemesinin yoğunluğu ortalama olarak 1,915 ton/m³'dür.

Tablo 14. Hesaplamalarda kullanılan özellikler ve değerler

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
Heyelan tepe yüksekliği	610 m
Heyelan taban yüksekliği	300 m
Kayma uzunluğu	710m
Ortalama kayma genişliği	390 m
Maksimum kayma genişliği	445 m
Ortalama kayma kalınlığı	15 m
Ortalama Yoğunluk	1,915 ton/m ³
İçsel sürtünme açısı	7 ⁰
Kayma açısı	40 ⁰
Rezervuar Kıyısındaki Heyelan Mesafesi	150 m
Heyelan Alanı	264,378 m ²
Heyelan Kütesinin Maksimum Hacmi	949 546 m ³
Rezervuar Alanında Maksimum Su Derinliği (DSİ)	118 m

5.4. Potansiyel Heyelan Kaynaklı Dalgalar

Potansiyel heyelan kaynaklı dalgaları değerlendirmek için rezervuar alanlarında birçok metod kullanılmıştır.

Yakın zamana kadar uzun dönemli dalgaların hareketlerini tanımlayan denklemlerin, deniz tabanı ve kıyı özellikleri gibi çeşitli sınır koşullarında sayısal yollarla çözümleri

için başlangıç koşulu olarak depreşim dalgalarına benzeyen su düzeyi seçilmekteydi (Yalçiner ve diğ., 1995). Ancak deniz tabanı hareketlerinin, fay kırılmasının yada heyelan gibi olayların oluşması sırasında deniz ortamına geçen enerjinin oluşturduğu akıntılar ve su düzeyi değişimleri başlangıç dalgalarının özelliklerine etki edebilmektedir (Yalçiner ve diğ., 2000)

Son yıllarda su gövdeleri ve heyelan arasındaki etkileşim kuvvet koşulu kullanılarak hidrodinamik modellerde birleştirildi (Kofoed-Hansen et.al., 2001). Potansiyel heyelan kaynaklı dalga modellerini değerlendirmek için Atasu Barajı rezervuar alanında ampirik ilişkilerden yararlanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 16'da özetlenmiştir.

5.4.1. Heyelan Hızı

Heyelan etki hızı heyelan kaynaklı dalgaların modellenmesi için kullanılan ana parametrelerden biridir. Bu nedenle çalışma kapsamında, heyelan hızı Vought (1979) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$v_s = v_0 + [2g s (\sin\alpha - \tan\phi_s \cos\alpha)]^{1/2} \quad (1)$$

Burada;

v_s : heyelan kayma hızı, v_0 : ilk kayma hızı (0 ms^{-1} olarak alınır), g : yer çekimi sabiti (9.81 ms^{-2}), s : heyelan hareket miktarı, α : yamaç eğimi, ϕ_s : heyelan malzemesinin içsel sürtünme açısıdır. Formülde verilen ilişkiye göre, Tablo 15'de heyelan özelliklerine karşılık gelen değerlerden yararlanılarak heyelan hızı $57,77 \text{ ms}^{-1}$ hesaplanmıştır.

5.4.2. Dalga İlerleme Yüksekliği

Çalışma alanında heyelan kütlelerinin hızlı hareketi halinde, dalgalar belli bir yükseklikte olacak olup bu yüksekliğin Atasu Barajı çevresini olumsuz etkileme potansiyeli söz konusudur. Bu nedenle heyelan sonucu oluşacak dalganın muhtemel yüksekliği tahmin edilmelidir. Bu yükseklik tahmini için üç farklı deneysel ilişki Noda(1970), Slingerland ve Voight (1979), Huber ve Hager (1997) tarafından önerilmiştir. Noda (1970)'ya göre dalga yüksekliği;

$$\eta = F \lambda \quad (2)$$

η : dalga yüksekliği, λ : heyelan kütlelerinin maksimum kalınlığı, F: Froude sayısıdır.

$$F = v / (gd)^{0.5} \quad (3)$$

ile bulunur.

v: heyelan hızı, g: yer çekimi sabiti (9.81 ms^{-2}), d: rezervuar alanındaki su derinliğidir.

Bu verilerden yararlanarak $F=1.70$ ve $\eta=25.5$ metre olarak bulunur.

Sliçler ve Voight (1979) çalışmalarında kullanmış olduğu dalga yüksekliği formülü;

$$\log(\eta_{\max} / d) = a + b \log(KE) \quad (4)$$

Burada a ve b sabit değerler olup sırasıyla -1,25 ve 0,71'dir. KE, kinetik enerji olup 1 ile 100 arasında bir değer alır. Kinetik enerji değeri;

$$KE = 0,5 (1 \text{ hw} / d^3) (\gamma_s / \gamma) (v_s^2 / gd) \quad (5)$$

formülüyle bulunur. l = Heyelan kütlelerinin uzunluğu, h=heyelan gövdesinin kalınlığı, w=ortalama heyelan genişliği, γ_s = heyelan metaryalinin yoğunluğu, γ = su yoğunluğu (1.0 gcm^{-3}). Bu verilerden yararlanarak kinetik enerji (KE) değeri 6,97 olarak bulunur. Dalga yüksekliği (η_{\max}) ise 26,36 metre olarak bulunur.

Huber ve Hager (1997)'ye göre dalga yüksekliği formülü;

$$H = 0,88 \sin \alpha (\gamma_s / \gamma)^{0,25} (V_s / b)^{0,5} (d/x)^{0,25} \text{ 'dir.} \quad (6)$$

V_s =heyelan kütlelerinin hacmi (949 546 m^3), b= heyelan malzemesinin genişliği, x=karşı kıyıya olan uzaklık, α = yamaç eğimidir. Huber ve Hager (1997)'in önerdiği formüle göre çalışma alanının dalga yüksekliği $H=30,92$ metre olarak bulunur. Yukarıdaki bulguya göre çalışma alanı için dalga yüksekliği ortalama 27,59 olarak belirlenmiştir.

5.4.3. Dalga Hızı

Dalga hızı erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi ve oluşacak darbe etkisinin hesaplanması için kullanılan önemli parametrelerden biridir. Muhtemel dalga hızını

hesaplamak için iki deneysel ilişki uygulanmıştır. Bunlardan ilki; dalga hızını belirlemek için Wiegel (1964) tarafından uygulanmıştır. Wiegel (1964) göre dalga hızı formülü;

$$C=[g(d+H)]^{0.5} \quad (7)$$

ile ifade edilmektedir. Burada d suyun derinliği (118 m), g: yer çekimi sabiti(9.81 ms⁻²), H dalga yüksekliği (27,59)'dir. Bu verilerden yararlanarak C= 37,79 m s⁻¹ olarak bulunmuştur.

Dalga hızında kullanılan ikinci ilişki ise Huber ve Hager (1997) tarafından önerilmiştir. Bu ilişkiye göre dalga hızı;

$$C=(g.d)^{0.5} \quad (8)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Bu verilerden yararlanılarak C= 34,02 m s⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bulunan her iki sonuçtaki dalga hızı değerleri benzerlik göstermektedir. Rezervuar alanındaki dalga hızı değeri ortalama 35,91 m s⁻¹ olarak elde edilmiştir.

5.4.4. Dalga İlerleme Yüksekliği

Bir heyelan kütlesi rezervuar alanına ani hareket ettiğinde ortaya çıkan dalga genellikle heyelanın karşısındaki yamaca kadar ulaşır. Bu literatürde dalga ilerleme yüksekliği olarak bilinir (Mueller, 1995; Huber ve Hager, 1997; Wiczorekve diğ., 2007). Bu dalga karşı yamaçtaki doğal ve insan yapımı yapılara zarar verebilmektedir. Çalışma alanında olası dalgaların ilerleme yüksekliği değerlerini belirlemek için 4 ampirik ilişki kullanılmıştır. Chow (1960)'a göre bir heyelanın karşı kıyı üzerindeki eğimli alanda ilerleme yüksekliği aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$h = v_s^2 / 2g \quad (9)$$

Burada v_s heyelan hızı ve g ise yerçekimi ivmesidir. Bu denkleme göre heyelan hızı 57,77 m s⁻¹ olarak alınırsa dalga ilerleme yüksekliği 170,10 metre olarak bulunur. Bu heyelan etkisi altında bulunan, rezervuar alanının altındaki herhangi bir yapının; örneğin balık havuzları gibi, 170 metreye kadar yer değiştirmesinin bekleneceği anlamına gelir. Huber ve Hager (1997)'in dalga ilerleme yüksekliği ile ilgili önerdiği formül aşağıda verilmiştir.

$$R/d=1,25 (\pi/2\beta)^{0,2} (H/d)^{1,25}(h/L)^{-0,15} \quad (10)$$

Burada R su gövde seviyesi üzerindeki dalga yüksekliği, β karşı yamacın eğimi, L dalga uzunluğu (su derinliğinden genellikle 5 kat daha büyüktür), d su derinliği ve H ise (6) daki eşitlikten elde edilmiştir. Dalga derinliği hesaplanırken Wieczorek ve diğ., (2003) tarafından kullanılan denklem (6) dan elde edilmiştir. Wieczorek ve diğ., (2003), Huber ve Hager (1997) tarafından önerilen H değerinin bu değeri temsil ettiği için önermiştir. Çünkü bu değer rezervuar ortasındaki dalga ilerleme yüksekliği ve bu dalga yüksekliğinin ana kaynak üzerinde olması kabul edilir. Bu değer kullanılarak (10)'daki denklemden karşı kıyıdaki dalga ilerleme yüksekliği 22,52 m olarak bulunmuştur.

Dalga ilerleme yüksekliği için bir diğer öneri Synolakis (1987) tarafından yapılmıştır. Bu denklem aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R/d = 2,831(\cot \beta)^{0,5} (H /d)^{1,25} \quad (11)$$

Burada karşı kıyının eğim açısı 40^0 , H için 30,92 metre, d için 118 metre kullanılmıştır. İncelenen heyelanın karşı kıyı eğimi için yaklaşık 68,37 metrelik bir potansiyel yükselme değeri hesaplanmıştır.

Son olarak; Hall ve Watts (1953) tarafından önerilen dalga ilerleme yüksekliği için kullanılan formül aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$R/d = 3,1 (H d)^{1,15} \quad (12)$$

Buradan da dalga ilerleme yüksekliği yaklaşık olarak 78,41 metre olarak hesaplanmıştır. Bu verilen değerlerde üç amprik formül kullanılarak elde edilen ortalama dalga ilerleme yüksekliği 56,43 metre olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm dalga özellikleri Tablo15.'de verilmiştir.

Tablo 15. Ampirik ilişkilerle hesaplanan değerler

Hesaplanan Özellikler ve Hesaplama Yöntemleri	Elde Edilen Değerler
Heyelan Hızı Vought (1979)	57,77 ms ⁻¹
“Dalga Yüksekliği Noda(1970) Slingerland ve Voight (1979) Huber ve Hager (1997) Ortalama Dalga Yüksekliği	25,5 m 26,36 m 30,92 m 27,59 m
Dalga Hızı Wiegel (1964) Huber ve Hager (1997) Ortalama Dalga Hızı	37,79 m s ⁻¹ 34,02 m s ⁻¹ 35,91 m s ⁻¹
Karşı Eğimdeki Dalga Yükselmesi Huber ve Hager (1997) Synolakis (1987) Hall ve Watts (1953) Ortalama Dalga Yükselmesi	22,52 m 68,37 m 78,41 m 56,43 m

5.4.5. Dalga Modellemesiyle İlgili Değerlendirmeler

Bu çalışmada Atasu Barajı rezervuarında ampirik ilişkiler kullanılarak dalga özellikleri hesaplanmıştır. Özellikle, dalga yüksekliği, dalga ilerleme yüksekliği ve dalga hızı sırasıyla 3, 4 ve 2 ampirik ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Birden fazla denklemden faydalanılmasının amacı elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır.

Dalga yüksekliği hesaplanırken üç ampirik denklemde son derece benzer sonuçlar elde edilmiştir. Aynı durumla dalga hızı hesaplanırken de karşılaşılmıştır. Ancak dalga yükselmesini hesaplariken bu ilişkiler arasındaki değerler dikkate değer nitelikte farklılıklar göstermiştir. Örneğin; Chow (1960) tarafından önerilen formül uyarınca elde edilen dalga yükselmesi değeri çok yüksek iken, diğer eşitliklere bağlı bulunan dalga ilerleme yüksekliği değerlerinin daha makul olduğu görülmüştür. Dalga ilerleme yüksekliği hesaplama denklemlerini incelerken görülecektir ki Chow (1960) tarafından önerilen denklemde dalga ilerleme yüksekliği hesaplamak için iki parametre girdisi kullanılır. Bu denklemde; su kütlesi parametresi girdisi bulunmamaktadır. Bu nedenle problemin karmaşık olduğu açıktır. Bu karmaşıklığın üstesinden gelebilmek için su kütlesi ve su

kütlesinin özellikleri dahil olmak üzere birçok parametre ve eğim parametresi değerlendirilmektedir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda Huber ve Hager (1997), Synolakis (1987), Hall ve Watts (1953) gibi diğer araştırmacılar tarafından önerilen denklemlerin kullanılmasını da öngörülmüştür. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan girdi parametrelerindeki değişikliklerden dolayı dalga ilerleme yüksekliği hesaplamalarının çok geniş bir aralıkta olduğu görülmektedir. Bu durum da potansiyel hasar değerlendirmesinde hatalardan kaçınmak için hesaplanan tüm değerlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Söz konusu inceleme alanında yapılan çalışmalarda heyelan hızı, dalga yüksekliği, dalga hızı, dalga ilerleme yüksekliği gibi parametrelerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerine bağlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla alt ve üst sınır koşullardaki veriler kullanılarak hesaplamalar yapılarak Tablo16.' da gösterilmiştir.

Tablo 16. Sınır koşul değerlerdeki hesaplamalar.

Hesaplanan Özellikler Ve Hesaplama Yöntemleri	Sınır Kosullar Dikkate alınarak yapılan hesaplamalar			Açıklamalar
	İçsel Sürtünme (ϕ_s) Açısı 5 için	İçsel Sürtünme (ϕ_s) Açısı 7 için	İçsel Sürtünme (ϕ_s) Açısı 10 için	
Heyelan Hızı Vought (1979)	59.17 ms ⁻¹	57,77 ms ⁻¹	55,57 ms ⁻¹	İçsel sürtünme açısı arttıkça Heyelan Hızı Azalır , ancak kohezyon değerine bağlı değildir
Dalga Yüksekliği Noda(1970) Slingerland ve Voight(1979) Huber ve Hager (1997) Ortalama Dalga Yüksekliği	26,1 m 27.21 m 30.92 m 28.08 m	25,5 m 26,36 m 30,92 m 27.59 m	24.45 m 24.92 m 30.92 m 26.76 m	İçsel sürtünme açısı arttıkça Dalga Yüksekliği Azalır , ancak kohezyon değerine bağlı değildir
Dalga Hızı Wiegel (1964) Huber ve Hager (1997) Ortalama Dalga Hızı	37.85 ms ⁻¹ 34.02 ms ⁻¹ 35,94 ms ⁻¹	37.79 ms ⁻¹ 34.02 ms ⁻¹ 35.91 ms ⁻¹	37.68 ms ⁻¹ 34.02 ms ⁻¹ 35.85 ms ⁻¹	İçsel sürtünme açısı arttıkça Dalga Hızı Azalır , ancak kohezyon değerine bağlı değildir

Karşı Eğimdeki Dalga İlerleme Yüksekliği				
Chow (1960)	178.44 m	170,10 m	157.39 m	Chow (1960) a göre kullanılan ampirik denklem bu tür çalışmalarda önerilmemiştir. Diğer araştırmacılar tarafından önerilen formüllerin kullanılması öngörülmüştür. Ancak bu formüllerle elde edilen sonuçlar içsel sürtünme açısına ve koheziona bağlı değildir.
Huber ve Hager (1997)	22,52 m	22,52 m	22,52 m	
Synolakis (1987)	68.37 m	68.37 m	68.37 m	
Hall ve Watts (1953)	78,41 m	78,41 m	78,41 m	
Ortalama Dalga Yükselmesi	56,43 m	56,43 m	56.43 m	

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu Çalışmada Trabzon ili, Maçka ilçesi, Esiroğlu Beldesi sınırları içerisinde yer alan Atasu Barajı'nın doğu yamacında yaklaşık 265,000 m²'lik heyelan alanının potansiyeli araştırılmış ve bu kapsamda jeolojik ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca olası bir heyelanda meydana gelebilecek dalganın ampirik deneylerden yararlanarak modellenmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Volkano-sedimanter kayaçların egemen olduğu inceleme alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru; Üst Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu, Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

2. Saha çalışmaları kapsamında 3 farklı noktadan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınarak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Örselenmiş numuneler üzerinden kıvam limitleri,, elek analizi, hidrometre deneyi ve dane dağılımı deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş numuneler üzerinden ise kohezyonları, içsel sürtünme açıları, su muhtevaları ile doğal birim hacim ağırlık parametreleri tespit edilmiştir.

3. Zeminler laboratuvar çalışmasında Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre sınıflandırılmış ve bunun sonucunda zeminlerin CL sınıflarında olduğu görülmüştür (az çakıllı kumlu kil).

4. İnceleme alanındaki kil zemini plastise indeksi sınıflamasına göre "Plastik" zemin özelliğindedir. Birim hacim ağırlık sınıflamasına göre zemin tanımlaması "Orta" olarak belirlenmiştir. Zemin sıkışabilirliği sınıflamasına göre zemin "Orta-Yüksek Sıkışabilir" zemin olarak belirlenmiştir.

5. Zeminin kayma dayanımı parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve kohezyonu belirlemek için üç eksenli basınç deneyi yapılmış ve kohezyon 0,76 kg/cm², içsel sürtünme açısı ise 7⁰'dir.

6. Yapılan değerlendirme sonucu zeminin aktivite katsayısı değerleri sırasıyla 0.29, 0.27 ve 0.51 olarak bulunmuştur. Aktivite katsayısı 0,75'den küçük olana killer sınıflaması olan aktif olmayan killer olarak kabul edilmiştir.

7. İnceleme alanında açılan araştırma çukurlarında zeminin kil yüzdesi %10 dan

fazladır. 4 nolu elekten geçen malzemenin likit limiti ise %32 den fazladır. Dolayısıyla inceleme alanı oluşturan zeminde sıvılaşma beklenmemektedir.

8. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ampirik formüllerle elde edilen dalga tahmin ve modellemesi yapılmış elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Dalga tahmin ve modellemesine ilişkin elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- Dalga hızı $57,77 \text{ ms}^{-1}$
- Ortalama dalga yüksekliği 27,59 m
- Ortalama Dalga Hızı $35,91 \text{ m s}^{-1}$
- Ortalama Dalga Yükselmesi 84,85 m

Heyelan hızı, dalga yüksekliği, dalga hızı, dalga ilerleme yüksekliği gibi parametrelerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerine bağlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla alt ve üst sınır koşullardaki hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde heyelan hızı, dalga yüksekliği ve dalga hızı parametreleri içsel sürtünme hızı arttıkça artmakta olup kohezyona bağlı değildir. Dalga ilerleme yüksekliği ise içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerine bağlı olmadığı tespit edilmiştir.

9. İnceleme alanında yapılan sondaj kuyularındaki çalışmalardan ve araziden alınan numune sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak Bishop ve Basitleştirilmiş Janbu yöntemleri kullanarak şev stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda ve analizlerde Statik durumda güvenlik sayısı $F_s=0,834$, Dinamik durumunda güvenlik katsayısı $F_s=0,687$ olarak hesaplanmıştır. Statik durumda ve Dinamik (depremlı) durumda güvenlik sayıları limit dengenin altında olduğu ve riskli düzeyde olduğu saptanmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Akgün, A., 2011. Assessment of Possible Damaged Areas Due to Landslide-Induced Waves at a Constructed Reservoir Using Empirical Approaches: Kurtun (North Turkey) Dam Reservoir area, Hazards Earth Syst. Sci., 11. 1341-1350
- Akpınar, A., 2012. Karadeniz Dalga Modellemesi ve Dalga Gücü Potansiyelinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Alemdağ, S, Gürocak, Z, 2006 Atasu (Trabzon) Baraj Yerindeki Bazaltların Taşıma Gücü, Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilgisi Dergisi, 18, 385-395.
- Andrews, D.C.A., and Martin, G.R., 2000. Criteria for Liquefaction of Silty Soils. Proceedings of the 12 th World Congress on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand Paper No.0312.
- Bayrak, T, Ulukavak, M, 2009. Trabzon Heyelanları, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt:1 No:2 20-30.
- Bell, B., 1999. The Liquid Earth: Atlantic Monthly, 283, 1, 58-72.
- Ceryan, N., 2005. Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemlerinin ve SSPC Yönteminin Bekçiler Torul Arasında Seçilen Kazı Şevlerine Uygulanışı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 163s.
- Chow, V. T.: Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, NY, 1960.
- Çevik E., (2003), Kıyı Mühendisliğinde İstatistiksel Yöntemler, Ders Notları, YTÜ.
- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A., 2005. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi ile Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 84.
- Durmuş, C., 2007. Mersin Bölgesi Kıyı Koruma Yapılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 28s.
- Erguvanlı, K. ve Tarhan, F., 1982. Doğu Karadeniz Kıyı Şeridindeki Kütle Hareketlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi, KTÜ, Yer Bilimleri Dergisi, 100. Yıl Özel Sayısı, Trabzon.

- Erkan, O., 2010. Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) Göl Alanı Sol Yamacındaki Heyelanlı Alanın Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Ersoy, H, Karahan, M, Akgün, A, Tezel, K, 2017 Artvin Baraj Gölü Heyelanının Oluşturacağı Olası Dalga Etkisinin Ampirik Yaklaşımlarla İrdelenmesi, MÜHJEO'2017 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Trabzon 82-87
- Güven, İ. H., 1993, Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara
- Gökçe, O., Demir, A. ve Özden, Ş., 2006. Türkiye'nin Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulama, 1. Heyelan Sempozyumu, Kasım, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 24-40.
- Huber, A., and Hager, W. H., 1997. Forecasting İmpulse Waves in Reservoirs, in Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages, Florence, Commission Internationale des Grands Barrages, 993–1005.
- İldır, B., 1995. Türkiye'de Heyelanların Dağılımı ve Afetler Yasası İle İlgili Uygulamalar, İkinci ulusal heyelan sempozyumu, Adapazarı, 1-9
- İskenderoğlu, A., 1990. Çayeli-Pazar (Rize) Arası Ana Yol Şevlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 154s.
- İskenderoğlu, A. ve Tarhan, F., 1991. Çayeli-Pazar (Rize) Arasındaki Sahil Yolu Şevlerinin Stabilité Açısından İncelenmesi, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 294-309.
- Janbu, N., Bjerrum, L. ve Kjaernsli, B., 1956. Veiling ved losning av fundamentaring soppgaver, Publication No:16, Norwegian Geotechnical Institute.
- Karadağ, M., 2013. Kalebaşı (Süme-Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi Yerleşim Alanındaki Yamaçların Duraylılığının Mühendislik Jeolojisi açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane
- Kılınç, İ., 2008. Marmara Denizi'nde Meydana Gelebilecek Bir Denizaltı Heyelanının İstanbul Kıyılarına Etkileri, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Kul, B., 2012. Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması ve Geriye Dönük Analizlerle Şev Destek Dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Leonards, G.A. (Editor), 1962. Foundation Engineering. Mc Graw Hill Book Company, N.York, 1136 p.
- Means, R.E., and Parcher, J.W., 1963. Physical Properties of Soils. Charles E. Merrill Publishing Company.
- Mueller, D., 1995. Auflaufen und Überschwappen von Impulswellen an Talsperren, VAW-Mitteilung 137, edited by: Vischer, D., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich
- Noda, E., 1970. Water waves generated by landslides, ASCE J. Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, 96(4), 835–855
- Öz, E., 2007. Şev Stabilite ve Mühendislik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Öget, G.D. (2014). *Estimating Swelling Characteristics of Clays Using Methylene Blue Test - A Machine Learning Approach* , Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University Civil Engineering, Ankara, 12-20.
- Önalp. A., 1980. Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TÜBİTAK, M-441, Ankara.
- Önalp, A., Tarhan, F. ve Sevinç, N., 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı, TÜBİTAK, MAG: 585, Ankara.
- Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkiler, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22. Sayı: 2 35-5
- Öztürk, Y.E. (2012). Kil Mineralleri Açısından İnce Daneli Zeminlerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri ile Kıvam Limitleri Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde, 26.
- Pehlivan, M., 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2015, Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 20.06.2017 tarihinde http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DLH/tr/DOKUMANLAR/20151002_151304_10288_1_64.pdf adresinden erişildi.
- Saraçoğlu, K.E., 2011. Karadeniz ile Marmara Denizi Dalga Modellemesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Selçuk, M.E. ve Terzi, N.U., 2005. YASS'nin Drenaj Hendekleri ile Düşürülmesinin Bir Şev Duraylılığı Örneğinde İncelenmesi, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, 467- 474
- Slingerland, R. L. and Voight, B. 1979., Occurrences, in: Properties and Predictive Models of Landslide-generated Water Waves, Chap. 9, edited by: Voight, B., Rockslides and Avalanches, 2, 317–397
- Skempton, A. W., (1953). *The Colloidal Activity of Clays*. Paper presented at Proceeding of the 3th international Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland.
- Stoker, J. J., 1957. Water waves, Interscience: New York, 567 p.
- Synolakis, C. E., 1987. The run-up of solitary waves, J. Fluid Mech., 185, 523–545
- Şirin, A., 1995. Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Kaya Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 213s.
- Tezel, K., 2015. Havuzlu Heyelanının (Yusufeli-Artvin) Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Usawes, 1967., The Unified Soil Classification System. Technical Memo No.3-357, US Army Engineer Waterways Experimental Station Corps of engineers, Vickburg, Missisipi.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176:Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Yılmaz, I., 2000, Mühendislik Jeolojisi Alan Araştırması, Ankara, 81 s.

- Yüksel, Y. ve Çevik, E., Ö., 2009. Kıyı Mühendisliği, ISBN: 9789752959972, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., Deniz Mühendisliği Serisi – No. 1, Cağaloğlu, İstanbul.
- Wieczorek, G. F., Geist, E. L., Motyka, R. J., and Jacob, M. 2007. Possible damaged assessment of the tidal inlet landslide and potential subsequent tsunami, Glacier Bay National Park, Alaska, Landslides, 4, 205–215
- Wiegel, R. L., 1964. Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 44 p.



8. EKLER

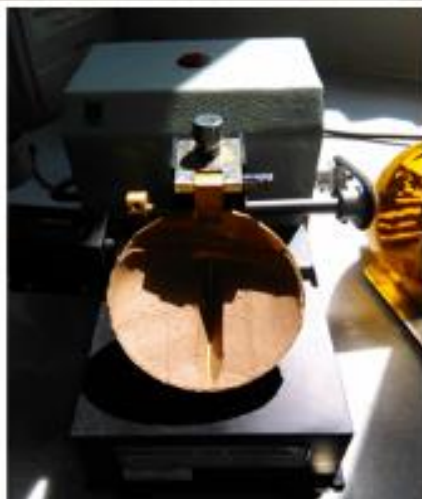
EK-1 Arazi ve Laboratuvar Fotoğrafları

EK-2 Laboratuvar Sonuçları




EK-1 ARAZİ ve LABORATUVAR FOTOĞRAFLARI







EK-2 LABORATUVAR SONUÇLARI


 <p>YERSON LTD.ŞTİ ZEMİN-BETON VE YAPIMALZ.LABORATUVARI SOİL & ROCK MECHANICS LABORATORY A. Gaffar Okan Cad.No:95 Atakum- Samsun Tsh:(0362) 4322866 Faks:4281122</p>	<p>LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI ÖZET TABLOSU SUMMARY TABLE OF LABORATORY TEST RESULTS</p>
---	--

NUMUNENİN GÖNDERENİSAMPLE SENDEN BY: SALIHA MARAL PROJESİ/PROJECT: ATASU BARAJI İL-İLÇE/PROVINCE: TRABZON	Sayfa no/Page no: Pafta no: Porsel no: RAPOR NO/REPORT NO: 0531 TARİH / Date: 28.7.2017
--	---


Sıra no/Item no	Kuyu No Hole No	Örnek No Sample No	Deney Derinliği Test Depth (m)	Elek analiz			Zemin Sınıfı Soil Class.	Su Muh. İçeriği Water Content (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlığı Dry Unit Weight Ton/m ³	Birim Hacim Ağırlığı Weight Ton/m ³	Özgül Ağırlık Specific Gravity G _s	Üç Eksenli Basınç Deneyi Triaxial Test (UU)		Direk Kesme Deneyi Direct Shear Test		Serbest Basınç Deneyi Unconfined Compressive Test		Nokta yüklemesi Point Load Test		Su Emilimi Water Absorp. %	KOMPAKSİYON Compaction		Hidrometre			
				-No.4 (%)	-No.200 (%)	PI (%)						LL (%)	PL (%)	c kg/cm ²	Q (°)	c kg/cm ²	Q (°)	d _u kg/cm ²	d _s kg/cm ²		d _u kg/cm ²	d _s kg/cm ²		W _{opt} %	W _{max} gr/cm ³	
1	AÇ-1	...	1.50	8.0	59.5	35	18	17	CL	14.7	1,709	...	0.76	7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	AÇ-2	...	1.50	6.1	62.2	36	19	17	CL	19.5	1,922	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	AÇ-3	...	1.50	6.3	52.5	47	20	27	CL	32.3	1,862	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

- Laboratuvarımız Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından verilen "LABORATUVAR İZİN BELGESİ" ne sahiptir. Yeterlilik Belge no: 24
- Laboratuvarımız örnek alımı ve taşınmasından kaynaklanacak hatalardan sorumlu değildir.
- Bu deney sonuç tablosu ve ekleri laboratuvarımızın yazılı izni olmadan kopyalanamaz ve değiştirilemez.
- İlgili Standartlar: TS 1900-1, TS 1900-2, BS1377, ISRM-1985

ONAYLAYAN/APPROVED BY:


Ahmet ÇATAL
 Jeolojik Mühendis
 Çip. No: 63544/7881
 JMO Sicil No: 55788
 Denetim Belge No: 3502

DÖK NO: RPR-FRM-002 REV: 1 Y. TARİHİ: 30/12/2008

 YERSON LTD.ŞTİ ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI	SIEVE ANALYSIS ELEK ANALİZİ
	Sayfa no/Page no:

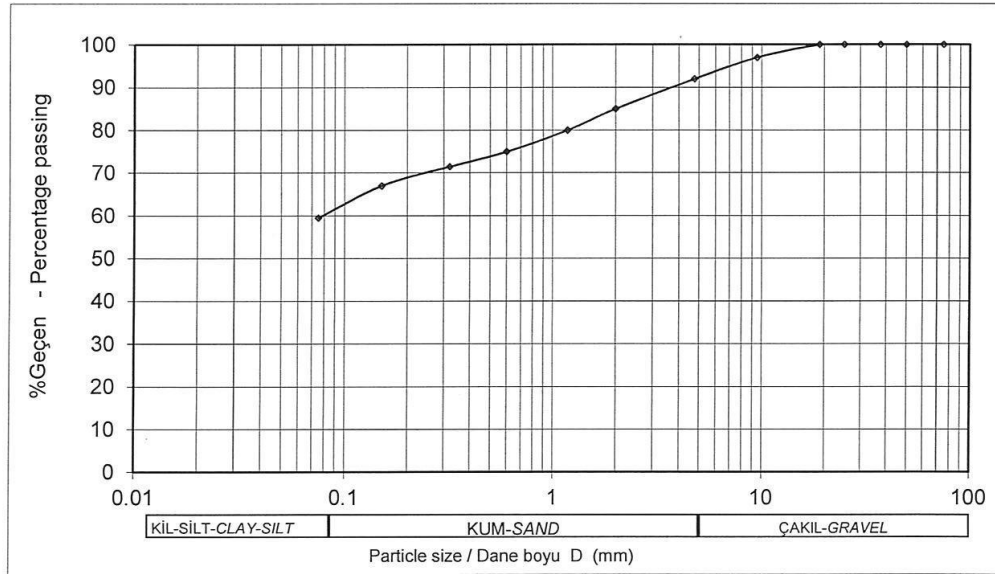
Numuneyi gönderen/Sample sented by: SALIHA MARAL	
Project/Proje: ATASU BARAJI	
PAFTA NO:	Kuyu no/Hole no: AÇ-1
ADA NO:	Derinlik/Depth(m.): 1.5
PARSEL NO: ...	Örnek no/Sample No: ...
Total mass of dry sample:	Rapor no/Report no: 0531
Kuru örneğin toplam ağırlığı: 200	Tarih/Date: 28.7.2017

Deney tipi/Test Type: YAŞ/WET

TEST SIEVES ELEK SERİSİ Sieve no: Elek no: mm	Mass retained Kalan ağırlık g	Cumulative mass retained Kalan toplam ağırlık g	Cum. Percentage retained Kalan toplam yüzde %	Cum. Percentage passing Geçen toplam yüzde %
3 inç	75	0	0.0	100.0
2 inc	50	0	0.0	100.0
1 1/2 inc	37.5	0	0.0	100.0
1 inc	25	0	0.0	100.0
3/4inc	19	0	0.0	100.0
3/8inc	9.5	6	3.0	97.0
No:4	4.75	10	8.0	92.0
No:10	2	14	15.0	85.0
No:16	1.18	10	20.0	80.0
No:30	0.60	10	25.0	75.0
No:50	0.320	7	28.5	71.5
No:100	0.150	9	33.0	67.0
No:200	0.075	15	40.5	59.5

ZEMİN SINIFI/SOIL TYPE(USCS):


CL



KONTROL/CHECKED BY:

DÖK NO: RPR-FRM-003 REV: 0 Y. TARİHİ: 30/10/2001

Abmet CATAL
 Jeoteknik Mühendisi
 Dip. No: O.D.T.U.-47981
 JMO Sicil No: 5560
 Denetçi Belge No: 3502

	YERSON LTD.ŞTİ ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI	SIEVE ANALYSIS ELEK ANALİZİ	
	Sayfa no/Page no:		

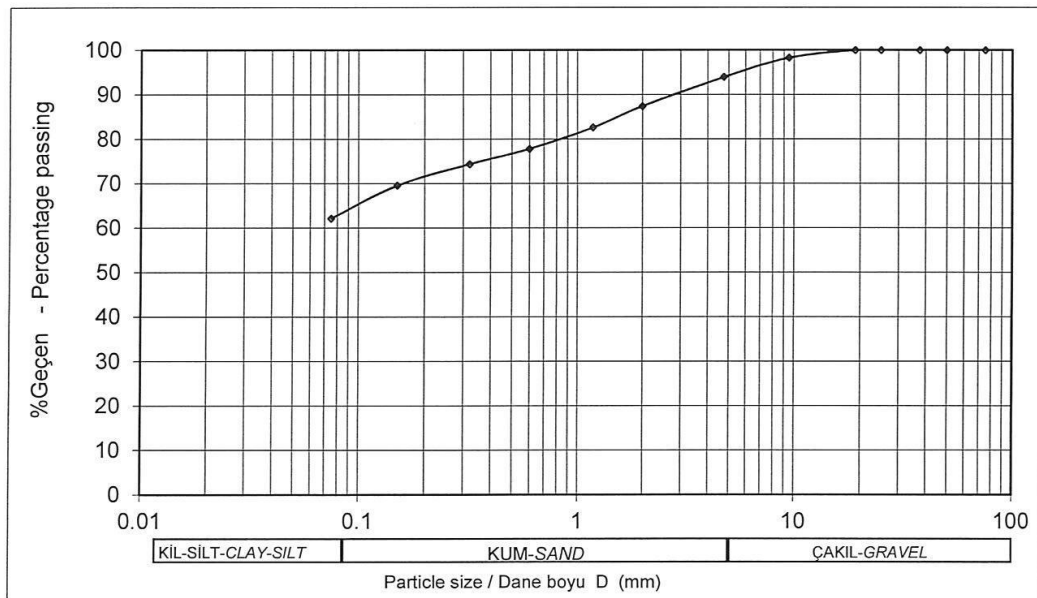
Numuneyi gönderen/Sample send by:		SALIHA MARAL	
Project/Proje:		ATASU BARAJI	
PAFTA NO:		Kuyu no/Hole no:	AÇ-2
ADA NO:		Derinlik/Depth(m.):	1.5
PARSEL NO: ...		Örnek no/Sample No:	...
Total mass of dry sample:		Rapor no/Report no:	0531
Kuru örneğin toplam ağırlığı: 230		Tarih/Date:	28.7.2017

Deney tipi/Test Type: YAŞ/WET

TEST SIEVES ELEK SERİSİ Sieve no:		Mass retained Kalan ağırlık	Cumulative mass retained Kalan toplam ağırlık	Cum. Percentage retained Kalan toplam yüzde %	Cum. Percentage passing Geçen toplam yüzde %
Elek no:	mm	g	g	%	%
3 inç	75	0	0	0.0	100.0
2 inc	50	0	0	0.0	100.0
1 1/2 inc	37.5	0	0	0.0	100.0
1 inc	25	0	0	0.0	100.0
3/4inc	19	0	0	0.0	100.0
3/8inc	9.5	4	4	1.7	98.3
No:4	4.75	10	14	6.1	93.9
No:10	2	15	29	12.6	87.4
No:16	1.18	11	40	17.4	82.6
No:30	0.60	11	51	22.2	77.8
No:50	0.320	8	59	25.7	74.3
No:100	0.150	11	70	30.4	69.6
No:200	0.075	17	87	37.8	62.2

ZEMİN SINIFI/SOIL TYPE(USCS):


CL



KONTROL/CHECKED BY:

Ahmet ÇATAL
 Jeoloji Mühendisi
 İp. No: O.D.T.Ü.-17981
 JMO Sicil No: 5588
 Denetim Balge No: 3502

DÖK NO: RPR-FRM-003 REV: 0 Y. TARİHİ: 30/10/2001

	YERSON LTD.ŞTİ ZEMİN VE KAYA MEKANIĞI LABORATUVARI	SIEVE ANALYSIS ELEK ANALİZİ	
	Sayfa no/Page no:		

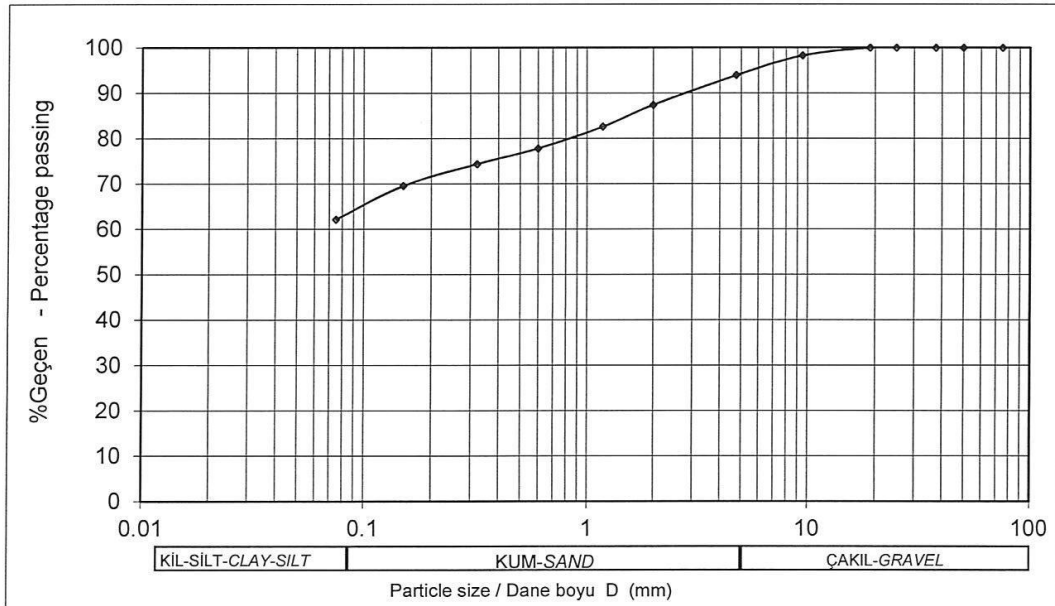
Numuneyi gönderen/Sample sended by:		SALIHA MARAL	
Project/Proje:		ATASU BARAJI	
PAFTA NO:		Kuyu no/Hole no:	AÇ-2
ADA NO:		Derinlik/Depth(m.):	1.5
PARSEL NO: ...		Örnek no/Sample No:	...
Total mass of dry sample:		Rapor no/Report no:	0531
Kuru örneğin toplam ağırlığı: 230		Tarih/Date:	28.7.2017

Deney tipi/Test Type: YAŞ/WET

TEST SIEVES ELEK SERİSİ Sieve no:		Mass retained Kalan ağırlık	Cumulative mass retained Kalan toplam ağırlık	Cum. Percentage retained Kalan toplam yüzde	Cum. Percentage passing Geçen toplam yüzde
Elek no:	mm	g	g	%	%
3 inç	75	0	0	0.0	100.0
2 inc	50	0	0	0.0	100.0
1 1/2 inc	37.5	0	0	0.0	100.0
1 inc	25	0	0	0.0	100.0
3/4inc	19	0	0	0.0	100.0
3/8inc	9.5	4	4	1.7	98.3
No:4	4.75	10	14	6.1	93.9
No:10	2	15	29	12.6	87.4
No:16	1.18	11	40	17.4	82.6
No:30	0.60	11	51	22.2	77.8
No:50	0.320	8	59	25.7	74.3
No:100	0.150	11	70	30.4	69.6
No:200	0.075	17	87	37.8	62.2


ZEMİN SINIFI/SOIL TYPE(USCS):

CL



KONTROL/CHECKED BY:

Ahmet ÇATAL
 Jeoloji Mühendisi
 İp. No: O.D.T.Ü.-17981
 JMO Sicil No: 5560
 Enerji Belge No: 3502

 YERSON LTD.ŞTİ ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI	SIEVE ANALYSIS ELEK ANALİZİ	
---	--	--

Sayfa no/Page no:

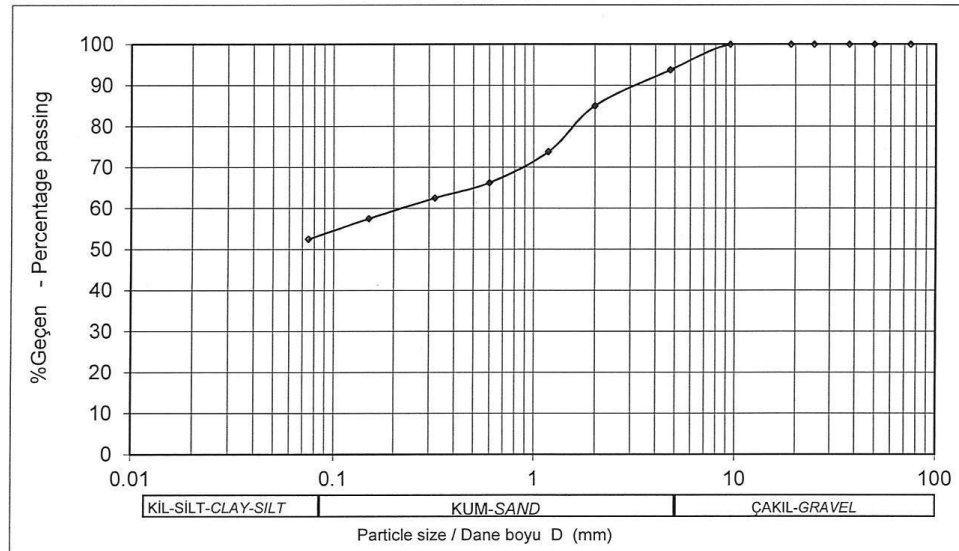
Numuneyi gönderen/Sample send by: SALIHA MARAL	
Project/Proje: ATASU BARAJI	
PAFTA NO:	Kuyu no/Hole no: AÇ-3
ADA NO:	Derinlik/Depth(m.): 1.5
PARSEL NO: ...	Örnek no/Sample No: ...
Total mass of dry sample:	Rapor no/Report no: 0531
Kuru örneğin toplam ağırlığı: 80	Tarih/Date: 28.7.2017

Deney tipi/Test Type: YAŞ/WET

TEST SIEVES ELEK SERİSİ Sieve no:	mm	Mass retained Kalan ağırlık g	Cumulative mass retained Kalan toplam ağırlık g	Cum. Percentage retained Kalan toplam yüzde %	Cum. Percentage passing Geçen toplam yüzde %
3 inç	75	0	0	0.0	100.0
2 inç	50	0	0	0.0	100.0
1 1/2 inç	37.5	0	0	0.0	100.0
1 inç	25	0	0	0.0	100.0
3/4 inç	19	0	0	0.0	100.0
3/8 inç	9.5	0	0	0.0	100.0
No:4	4.75	5	5	6.3	93.8
No:10	2	7	12	15.0	85.0
No:16	1.18	9	21	26.3	73.8
No:30	0.60	6	27	33.8	66.3
No:50	0.320	3	30	37.5	62.5
No:100	0.150	4	34	42.5	57.5
No:200	0.075	4	38	47.5	52.5

ZEMİN SINIFI/SOIL TYPE(USCS):

CL



KONTROL/CHECKED BY:

Ahmet ÇATAL
 Jeoloji Mühendisi
 JİD No: O.D.T.Ü.-17981
 JMO Sicil No: 5560
 Deneyi Bilge No: 3502

DÖK NO: RPR-FRM-003 REV: 0 Y. TARİHİ: 30/10/2001



YERSON LTD.ŞTİ
ZEMİN-BETON ve YAPI MALZ
LABORATUVARI

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI(UU) SONUÇ RAPOR FORMU

Sayfa no/Page no:

Numuneyi Gönderen/Sample Sended by:

SALIHA MARAL

Proje/Project: ATASU BARAJI

Tarih/Date: 28.7.2017

İl-İlçe/Province: TRAZON

Derinlik/Depth: 1.50

Pafta no:

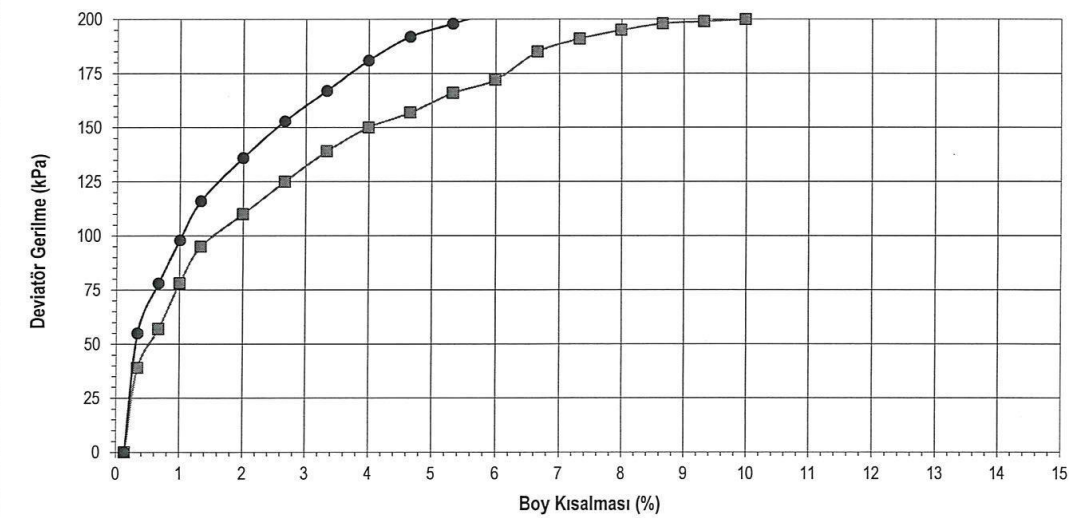
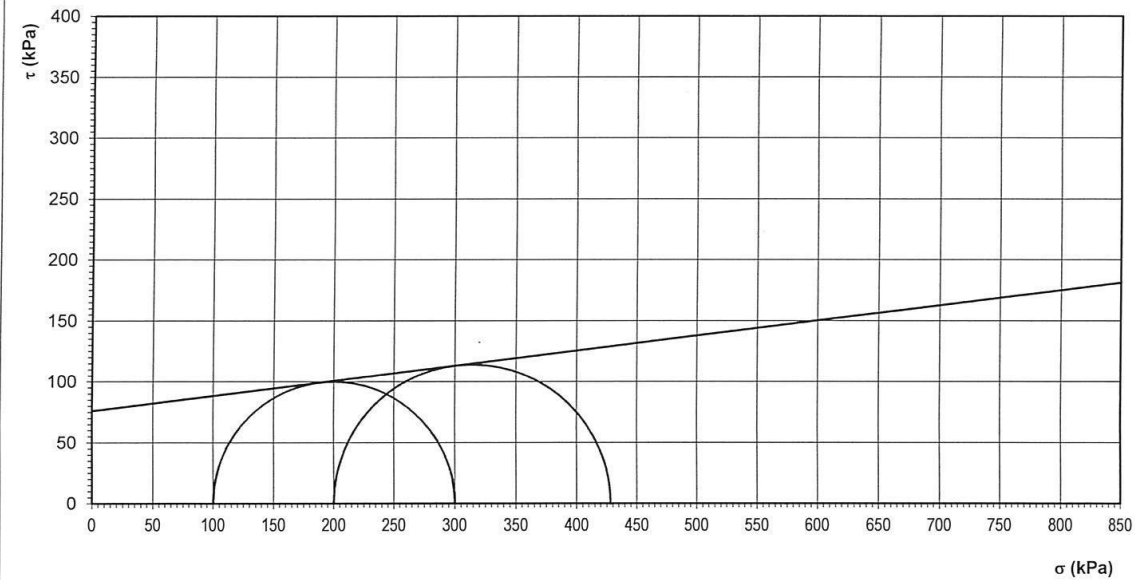
Sondaj No/Drill No: AÇ-1

Ada no:

Rapor No/Report No: 0531

Parsel no: ...

Örnek No/Sample no: ...



1	σ_3	100	●	$\sigma_3 =$	100	SONUÇ	
	σ_1	300			c (kPa)	76	ϕ (derece)	7
2	σ_3	200	■	$\sigma_3 =$	200		
	σ_1	428					

ONAY

Ahmet CATAL
Jeoloji Mühendisi
Şp. No: Q.D.T.Ü.-17981
JMO Sicil No: 5560
Denetçi Bölge No: 3502

DÖK NO: RPR-FRM-006/2 Rev: 09 Y.Tarihi :30.10.20012

ÖZGEÇMİŞ

SALİHA MARAL AYDIN, 1988 yılında SAMSUN (Çarşamba)'da doğdu. İlkokulunu 1999'da Çarşamba Atatürk İlkokulu'nda, orta öğrenimini 2002'de Çarşamba Kenan Evren İlköğretim Okulu'nda, Lise öğrenimi ise 2005 yılında Çarşamba Lisesi'nde tamamlamıştır. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yabancı Diller Okulu, Lisans Öncesi İngilizce Hazırlık Programı'nı başarıyla tamamladı ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden bölüm 4.'sü ve onur öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmektedir.