

Hocaköy Baraj Yeri (İnegöl-Bursa) Rezervuar Alanı Duraysızlıklarının Değerlendirilmesi

Mustafa Serkan Özgün

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2019

The Evolution of the Reservoir Instabilities at Hocaköy Dam Site (İnegöl-Bursa)

Mustafa Serkan Özgün

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

April 2019

Hocaköy Baraj Yeri (İnegöl-Bursa) Rezervuar Alanı Duraysızlıklarının Değerlendirilmesi

Mustafa Serkan Özgün

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ali Kayabaşı

Nisan 2019

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Hocaköy Barajı (İnegöl-Bursa)'nın rezervuar alanında bulunan paleoheyelanlar incelenmiştir. Hocaköy Barajı' nın rezervuarında su tutulmadan önceki ve su tutulduktan sonraki durumlarda statik ve dinamik (depremlı) koşullar araştırılmış ve duraysızlığın oluşup oluşamayacağı tahmin edilmiştir.

Paleoheyelanlar Üst Miyosen yaşlı İnegöl Formasyonu' nun kıltaşları, altere kıltaşları ve Kuvarterner yaşlı yamaç molozundan oluşmaktadır. Paleoheyelanlardaki kayma yüzeyi daireseldir. Paleoheyelanların kayma yüzeylerini paleoheyelanlardaki kıltaşları ile altere kıltaşları arasındaki sınır oluşturur. Paleoheyelanlar Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında aks yerine yaklaşık 1 km uzaklıkta yer almaktadır.

Rezervuar alanında su tutulmadan önce statik koşuldaki durumda yapılan analizlerde belirlenen minimum güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanlar duraylıdır ama depremlı koşulda paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenebilir. Rezervuar alanında su tutulduktan sonra suyun maksimum su kotunda bulunduğu durumda statik koşulda paleoheyelanlar duraylıdır. Depremlı durumda ise paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Baraj, Şev, Paleoheyelan, Rezervuar, Hocaköy

SUMMARY

In this study, paleolandslides at Hocaköy Dam reservoir site (Inegöl-Bursa) were investigated. The static and dynamic (earthquake) conditions were investigated before accumulation of water in reservoir and after accumulation of water in reservoir and the probability of instability were estimated.

Paleolandslides forms from the claystones and altered claystones of Inegöl Formation which is upper Miocene aged and Quaternary aged slope wash material. Circular sliding surface occurs in these type landslides. Sliding surface are between claystones and altered claystones in paleolandslides. Paleolandslides are locates in reservoir site approximately 1 km to the dam axis.

Before accumulation of water in reservoir, the paleolandslides are stable under static condition with minimum factor of safety according to stability analysis. However under earthquake condition, instability may be observed. When the maximum water level maximum at reservoir lake, the paleolandslides will be stable under static condition. The instability will be observed under earthquake condition at paleolandslides.

Keywords: Dam, Slope, Ancient Landslide, Reservoir, Hocaköy

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan ve danışmanlık yapan, mesleki alanda birçok açıdan bana katkıda bulunan değerli hocam Doç. Dr. Ali Kayabaşı' na, çalışmamda bana her konuda yardımcı olan DSİ 1. Bölge Müdürlüğü' ne, değerli şube müdürüm Kemal Olgun' a ve başmühendisim Kamil Keskin' e ve çalışmalarım boyunca bana destek olan değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ ve GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Stratigrafik Jeoloji	3
2.2. Hocaköy Barajı ve Çalışma Alanının Genel Özellikleri	6
2.3. Çalışma Alanının ve Yakın Çevresinin Deprem Durumu	12
2.4. Hidrolik ve Hidrojeolojik Durum.....	14
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	16
4. ŞEV DURAYSIZLIĞI VE ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ	18
4.1. Şev Duraysızlıklarının Sınıflandırılması	19
4.2. Şev Duraylılığı Analiz Yöntemleri	20
4.3. Limit Denge Analiz Yöntemleri.....	20
4.1.1. Fellenius (İsveç Dilim) Yöntemi	21
4.1.2. Bishop Yöntemi.....	21
4.1.3. Morgenstern-Price Yöntemi	21
4.1.4. Spencer Yöntemi	22
5. HOCAKÖY BARAJI' NIN REZERVUARINDA BULUNAN PALEOHEYELANLAR ...	23
5.1. Sol Sahil Paleoheyelanları.....	24
5.2. Sağ Sahil Paleoheyelanı	25
5.3. Göl Alanı Paleoeyelanı	25
6. MATERYAL VE YÖNTEM	27
6.1. Rezervuar Alanındaki Paleoheyelanların Genel Jeolojisi	27
6.2. Şev Stabilite Analizlerinde Kullanılan Veriler.....	27
6.2.1. Jeoteknik Veriler	27
6.2.2. Jeofizik Veriler	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3. Şev Stabilite Analizleri	31
6.3.1. Sol Sahil Paleoheyelanı Şev Stabilite Analizi	31
6.3.2. Göl Alanı Heyelanı Şev Stabilite Analizleri.....	34
6.3.3. Sağ Sahil Heyelanı Şev Stabilite Analizleri	37
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Genel Jeoloji Haritası (DSİ, 1981; MTA, 2009; Ünver, 2010).....	4
2.2. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Genelleştirilmiş Stratigrafik Jeolojik Kesiti (MTA).....	5
2.3. Hocaköy Barajı Aks Yeri Drone Fotoğrafı (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)	6
2.4. Hocaköy Barajı Aks Yeri ve Rezervuarı Drone Fotoğrafı (Mansaptan Membaya Doğru) (DSİ, 2018).....	7
2.5. Çalışma Alanının Türkiye Haritasındaki Konumu (Ergüler)	8
2.6. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	8
2.7. Hocaköy Barajı aks yeri jeoloji haritası	9
2.8. Hocaköy Barajı göl alanı jeoloji haritası	10
2.9. Bursa iline ait ortalama sıcaklık değerleri (MGM., 2016)	11
2.10. Bursa iline ait ortalama yağış değerleri (MGM, 2016)	12
2.11. Türkiye deprem haritası (MTA, 2012; AFAD, 2018)	13
2.12. Çalışma alanı ve yakın çevresinin deprem haritası (MTA, 2012; AFAD, 2018)	14
2.13. Çalışma alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji haritası (Ünver vd., 2014)	15
4.1. Hocaköy Barajı Aks Yeri Sol Sahil Şevi (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)	18
4.2. Hocaköy Barajı Aks Yeri Sağ ve Sol Sahil Şevleri (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)	18
4.3. Düzlemsel ve Dairesel Kayma Modeli (Potter, 2007).....	19
4.4. Varnes' in şev duraysızlığı türleri sınıflaması (Varnes, 1978).....	20
5.1. Hocaköy Barajı'nın rezervuarında bulunan paleoheyelanların topoğrafik haritası	23
5.2. Sol sahil paleoheyelanının barajın sağ sahilinden görünümü.....	24
5.3. Sağ sahil paleoheyelanı	25
5.4. Göl Alanı Paleoheyelanı.....	26
6.1. Roclab programından altere kıltaşı için kohezyon ve içsel sürtünme açısının hesaplanması ...	28
6.2. Kıltaşı için roclab programından kohezyon ve içsel sürtünme açısının belirlenmesi	29
6.3. Pseudostatik şev stabilitesi analizlerinde yatay ve düşey sismik kuvvetler (Melo vd., 2004) ..	30
6.4. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum)..	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.5. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, depremlili durum)	32
6.6. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra statik durum) .	33
6.7. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra depremlili durum)	33
6.8. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum) .	34
6.9. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, depremlili durum)	35
6.10. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, statik durum)	36
6.11. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, depremlili durum)	36
6.12. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum)	37
6.13. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, depremlili durum)	38
6.14. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, statik durum)	39
6.15. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, depremlili durum)	39

ÇİZELGELER DİZİNİ**Çizelge****Sayfa**

2.1. Önerilen yatay sismik katsayılar (Melo vd., 2004)	13
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

F	Güvenlik katsayısı
F _h	Yatay sismik kuvvet
F _v	Düşey sismik kuvvet
k _h	Yatay sismik katsayı
k _v	Düşey sismik katsayı
w	Kayan şev diliminin ağırlığı

Açıklama**Kısaltmalar**

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Açıklama

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çalışma alanı, Bursa İnegöl Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında bulunmaktadır. Çalışma alanında üç adet paleoheyelan bulunmaktadır ve bunlardan 2 tanesi barajın sol sahilinde diğeri de sağ sahilinde bulunmaktadır. Bu paleoheyelanlardan sol sahilde bulunanlardan bir tanesi göl alanı paleoheyelanı olarak adlandırılmıştır. Bunun nedeni barajın rezervuarında su seviyesi maksimum su kotuna ulaştığında paleoheyelanın tamamen suyun altında kalacak olmasıdır.

Hocaköy Barajı' nın planlama çalışmaları kapsamında paleoheyelanlarda DSİ tarafından 9 adet heyelan sondaj kuyusu açılmıştır ve inklinometre deneyleri yapılmıştır ancak yapılan ölçümlerde paleoheyelanlarda herhangi bir hareketlilik gözlenmemiştir.

Hocaköy Barajı, Bursa' nın İnegöl İlçesi' nin Hocaköy Mahallesi' nin yaklaşık 1 km güneyinde Arapkaya Sırtı ile Dorukbağları Sırtı arasında, Hocaköy Deresi (Aliğa Deresi) üzerinde yapılması planlanmış olup, yapımı devam etmektedir. Barajın gövde tipi kil çekirdek kaya dolgu olup, talvegten yüksekliği 93 metre ve temelden yüksekliği 95,5 metredir, maksimum su kotu 454,71 metre ve minimum su kotu 408 metredir. Baraj Bursa İnegöl ilçesinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmaktadır.

Çalışma alanı, Bursa ilinin 37 km güneybatısında yer alır. Bursa ilinden 40 km asfalt yol ile İnegöl ilçesine gelinir. İnegöl ilçesinden asfalt yol ile 4 km güneye gidilerek Hocaköy Mahallesi' ne gelinir. Hocaköy Mahallesi' nden 1 km ham yol ile inceleme alanına ulaşılır. İnceleme alanına ulaşım yoğun yağışlı hava koşulları dışında her mevsim mümkündür.

Hocaköy Barajı' nın aks yerinde ve rezervuarında Üst Miyosen yaşlı İnegöl Formasyonu' nu fişleri bulunmaktadır. Paleoheyelanlarda ise yine Üst Miyosen yaşlı İnegöl Formasyonu' nun kiltaşları bulunmaktadır. Bölge MTA verilerine göre heyelan bölgesidir.

Paleoheyelanların litolojisi, sol sahil ve sağ sahil paleoheyelanında temelde kıltaşı, onun üzerinde altere kıltaşı ve en üstte de yamaç molozundan oluşmaktadır. Göl alanı paleoheyelanı ise temelde kıltaşı ve en üstte altere kıltaşlarından oluşmaktadır. Bu birimler DSİ tarafından barajın temel sondaj çalışmaları kapsamında paleoheyelanlarda açılan heyelan sondaj kuyularının temel sondaj loglarından belirlenmiştir.

Çalışma alanı 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır ve çalışma alanının 4 km kuzeyinden İnegöl Fay Zonu geçmektedir. Paleoheyelanların şev stabilite analizlerinde yatay sismik katsayı (k_h) çalışma alanının 1. Derece deprem bölgesi olması nedeniyle 0,5 alınmıştır. (Terzahgi, 1950)

Paleoheyelanların kayma yüzeyleri yapılan arazi çalışmaları ve literatür verilerine göre daireseldir. Paleoheyelanların kayma yüzeyinin dairesel olmasının nedeni morfolojik olarak dairesel kayma modeline benzemesi ve dairesel kayma özellikleri göstermesidir.

Paleoheyelanların şev stabilite analizleri rezervuarda su tutulmadan önceki durum, rezervuarda su seviyesinin maksimum su kotuna ulaştığı durum ve bu iki durumun statik ve dinamik (depremlı) koşullarına göre yapılmıştır. Şev stabilite analizleri Rocscience (1996)' ın Slide 6 programında yapılmıştır.

Şev stabilite analizlerinde kullanılan paleoheyelanları oluşturan jeolojik birimlerin parametrelerinden (doğal birim hacim ağırlık, suya doymun birim hacim ağırlık, kohezyon vs.) doğal ve suya doymun birim hacim ağırlık araziden alınan kaya örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinden, kohezyon ve içsel sürtünme açısı da Rocscience (1996)' ın Roclab programından elde edilmiştir.

Bu çalışma, Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında bulunan paleoheyelanların barajın rezervuarında su tutulmadan önceki ve sonraki durumda, statik (depremsiz) ve dinamik (depremlı) koşullarda paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenip gözlenmeyeceğinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

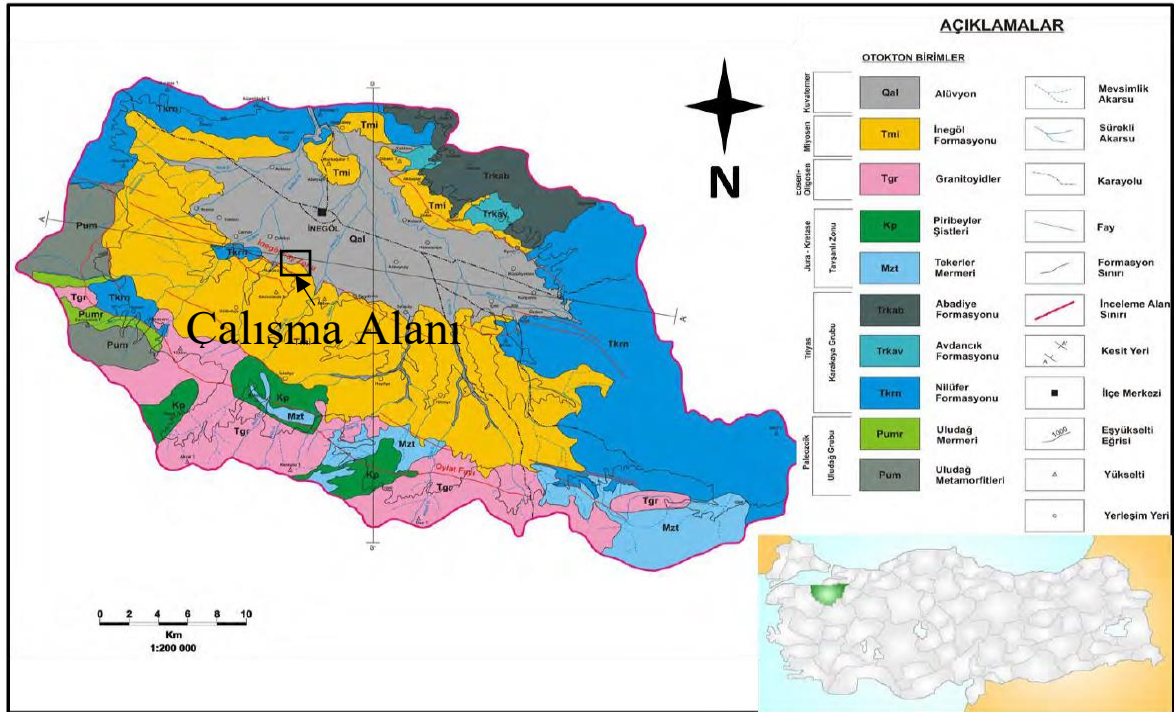
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ ve GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Stratigrafik Jeoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Sakarya Zonu ve Tavşanlı Zonu tektonik birimlerine ait birimler bulunmaktadır. Sakarya zonu altta Uludağ masifinde yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı bir temel ve bu temeli tektonik olarak örten Permian-Triyas yaşta dalma batma zonu kayaçlarından (Karakaya Grubu) meydana gelmektedir. Tavşanlı zonu ise mavi şistler, ofiyolit ve ofiyolitli melanjdan oluşmuştur (Okay,1984; MTA,2009). Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan kaya birimleri özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda tüm birimlerin otokton konumlu olduğu belirlenmiştir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru; Uludağ grubu içerisinde bulunan Uludağ metamorfileri, Uludağ mermeri, Karakaya grubu olarak adlandırılan Nilüfer formasyonu, Avdancık formasyonu ve Abadiye formasyonu ile Tavşanlı zonu içerisinde bulunan Tekerler mermeri ve Piribey şistleri ile Granitoyitler, İnegöl formasyonu ve alüvyondan oluşmuştur. Şekil 2.1’de çalışma alanı ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası verilmiştir.

Birçok araştırmacı tarafından Paleozoyik yaşında olabileceği düşünülen Uludağ metamorfileri genellikle gnays ile amfibolit ardalanması ve yer yer mermer ara tabakalarından oluşmaktadır (Ketin, 1947; Okay vd., 2008). Uludağ mermeri genellikle beyazımsı açık gri renkli, ince-orta kalın tabakalı, bazen masif yer yer erime boşluklu, erime yüzeyli, sert ve sağlam dayanımlıdır (Ketin, 1947). Birim Uludağ metamorfileri üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Permo-Triyas yaşlı Nilüfer formasyonu diyorit, diyabaz, mikrogabro, mikrogabro, spilit metabazit türü kayalar ve metapelitik kayalardan oluşmuştur (Akyüz ve Okay, 1996; Okay vd., 1991). Avdancık formasyonu kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Genç vd., 1986). Formasyonun yaşı yorumsal olarak Permian sonrası ile Üst Triyas arasındadır (Genç, 1986). Permian yaşlı Abadiye formasyonu spilit, spilitik bazalt, radyolarit, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, diyabaz ve çörtlerden oluşmuştur (Genç vd., 1986; Genç, 1986). Jura yaşlı Tekerler mermeri genellikle gri kirli beyaz mavimsi renkli, taze yüzeyi çoğu yerde beyaz renkli, iri kristalli mermerlerden meydana gelmiştir. Piribeyler şistleri, silisli şeyl kökenli mikalı şist, çört kökenli mikalı kuvars şist, pelajik killi kireçtaşı kökenli kalkşist ve bazik volkanik kökenli mavi şistlerden

meydana gelmiştir. Bu formasyon, konkordan bir dokanakla Tekerler mermeri üzerinde yer almaktadır (Tekeli vd., 1989). İnceleme alanının genellikle güneyinde yer alan Eosen-Oligosen yaşlı (Okay vd., 2008) granitoidler, granodiyorit ve granit bileşimlidir. İnegöl formasyonu konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Havzanın güneyinde daha çok konglomera, kumtaşı, kiltası, çamurtaşları, kuzeyinde ise konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşan seviyeler daha yaygındır. Birimin yaşı Üst Miyosen olarak belirlenmiştir ve kendinden yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Genç, 1986). Şekil 2.2’ de çalışma alanı ve yakın çevresinin stratigrafik jeolojik kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Genel Jeoloji Haritası (DSİ, 1981; MTA, 2009; Ünver, 2010)

2.2. Hocaköy Barajı ve Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Hocaköy Barajı, Bursa ili İnegöl İlçesi' nin Hocaköy Mahallesi' nin 1 km güneyinde yer almaktadır. Baraj, Hocaköy (Aliğa) Deresi üzerinde Arapkaya Sırtı ile Dorukbağları Sırtı arasında inşa edilmektedir. Barajın şu an inşaat çalışmaları devam etmektedir. Hocaköy Barajı' nın gövde tipi kil çekirdekli kaya dolgu olup talvegten yüksekliği 93 m, temelden yüksekliği 95,5 m, gövde hacmi 2.920.000 m³ tür, gövdenin ise 530.000 m³ ünü geçirimsiz malzeme (kil), 140.000 m³ ünü geçirimli malzeme (kum, çakıl vb.) ve 2.250.000 m³ ünü kaya malzeme oluşturmaktadır. Barajın minimum su kotu 408 m ve maksimum su kotu 454.71 m olup, minimum su seviyesindeki rezervardaki su hacmi 1.75 hm³ (hektometreküp) rezervuarı 0,782 km², normal su seviyesinde su hacmi 18.92 hm³ (hektometreküp) rezervuarı 0,728 km² ve maksimum su seviyesinde su hacmi 20,90 hm³ (hektometreküp) rezervuarı 0,135 km² dir. Barajın dolusavağı sol sahilde ve derivasyon tüneli sağ sahilde bulunmaktadır. Baraj İnegöl ilçesinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacı ile yapılmaktadır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' te Hocaköy Barajı' nın aks yeri ve rezervuarının drone fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hocaköy Barajı Aks Yeri Drone Fotoğrafı (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)

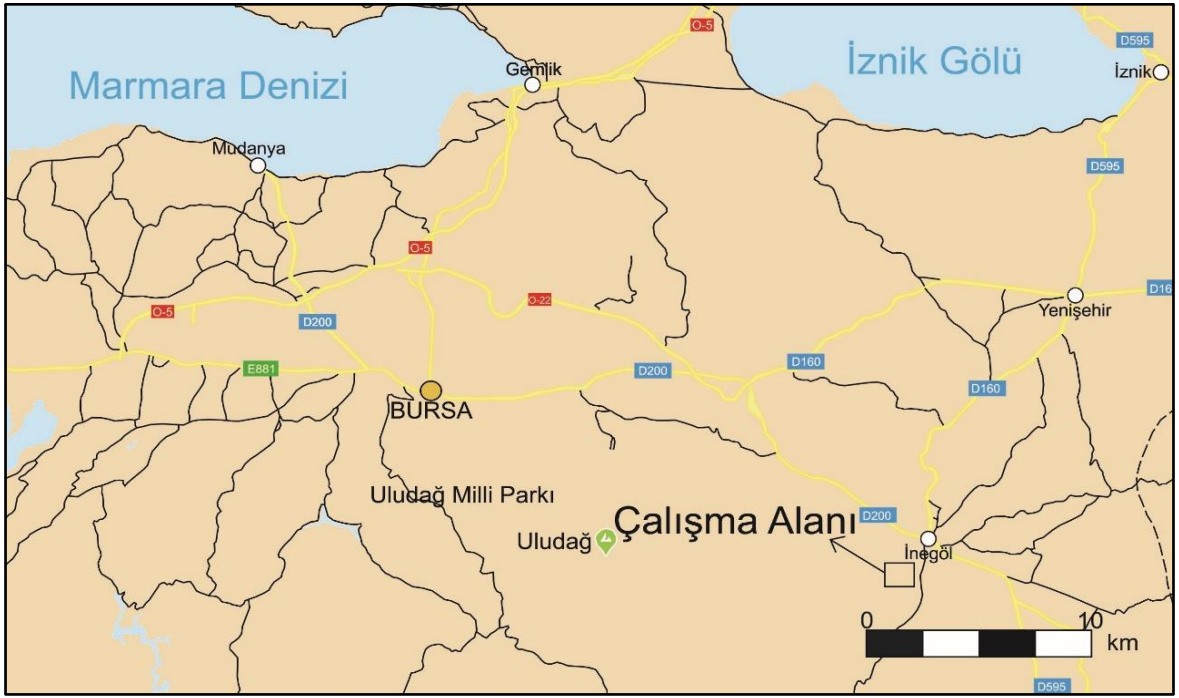


Şekil 2.4. Hocaköy Barajı Aks Yeri ve Rezervuarı Drone Fotoğrafı (Mansaptan Membaya Doğru) (DSİ, 2018)

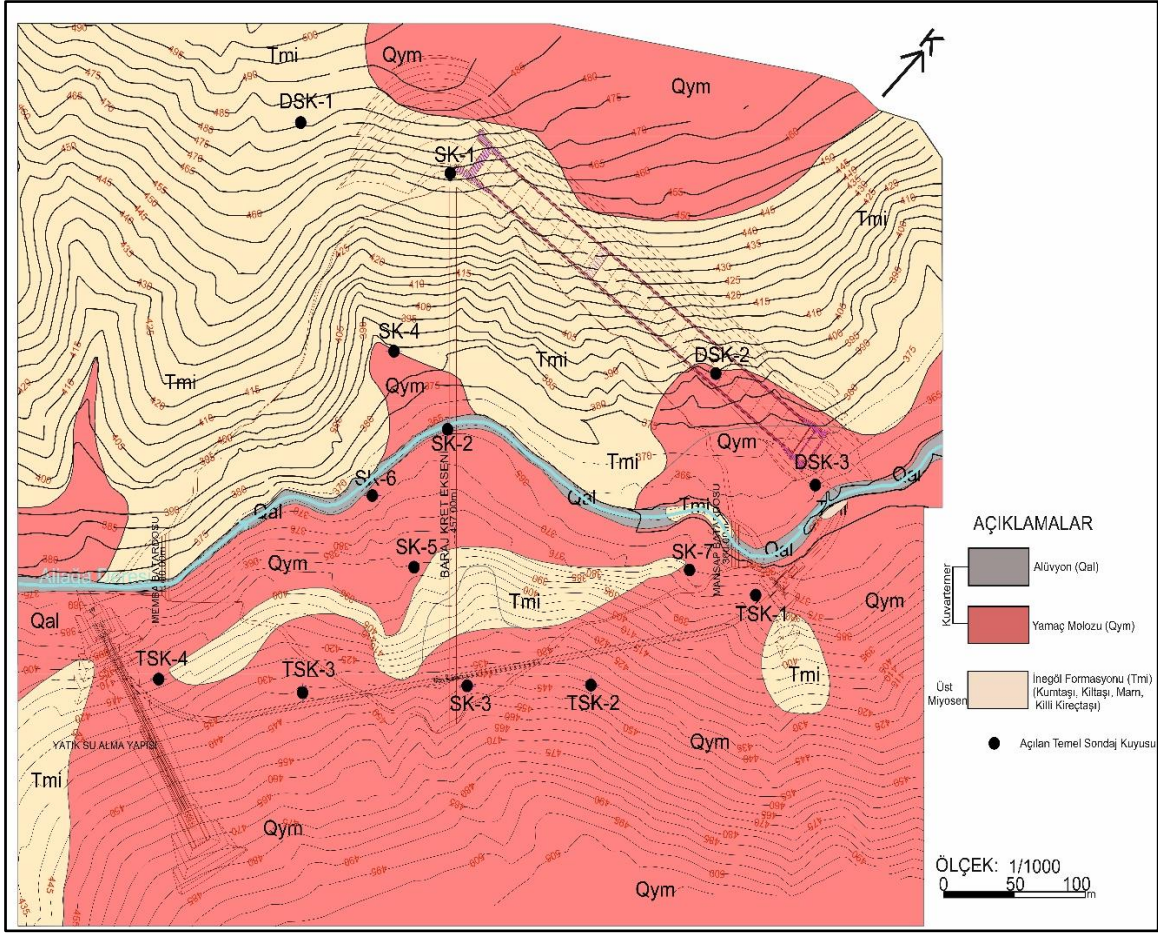
Çalışma alanı, Bursa ilinin yaklaşık 45 km güneydoğusunda bulunmaktadır. Çalışma alanına ulaşmak için Bursa İnegöl ilçesinden asfalt yol ile 4 km güneye gidilerek Hocaköy Mahallesi' ne gelinir. Hocaköy Mahallesi' nden 1 km ham yol ile inceleme alanına ulaşılır. İnceleme alanının ulaşımı yoğun yağışlı hava koşulları dışında her mevsim mümkündür. Şekil 2.5' te çalışma alanının Türkiye Haritasındaki konumu ve Şekil 2.6' da çalışma alanının yer bulduru haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışma Alanının Türkiye Haritasındaki Konumu (Ergüler)

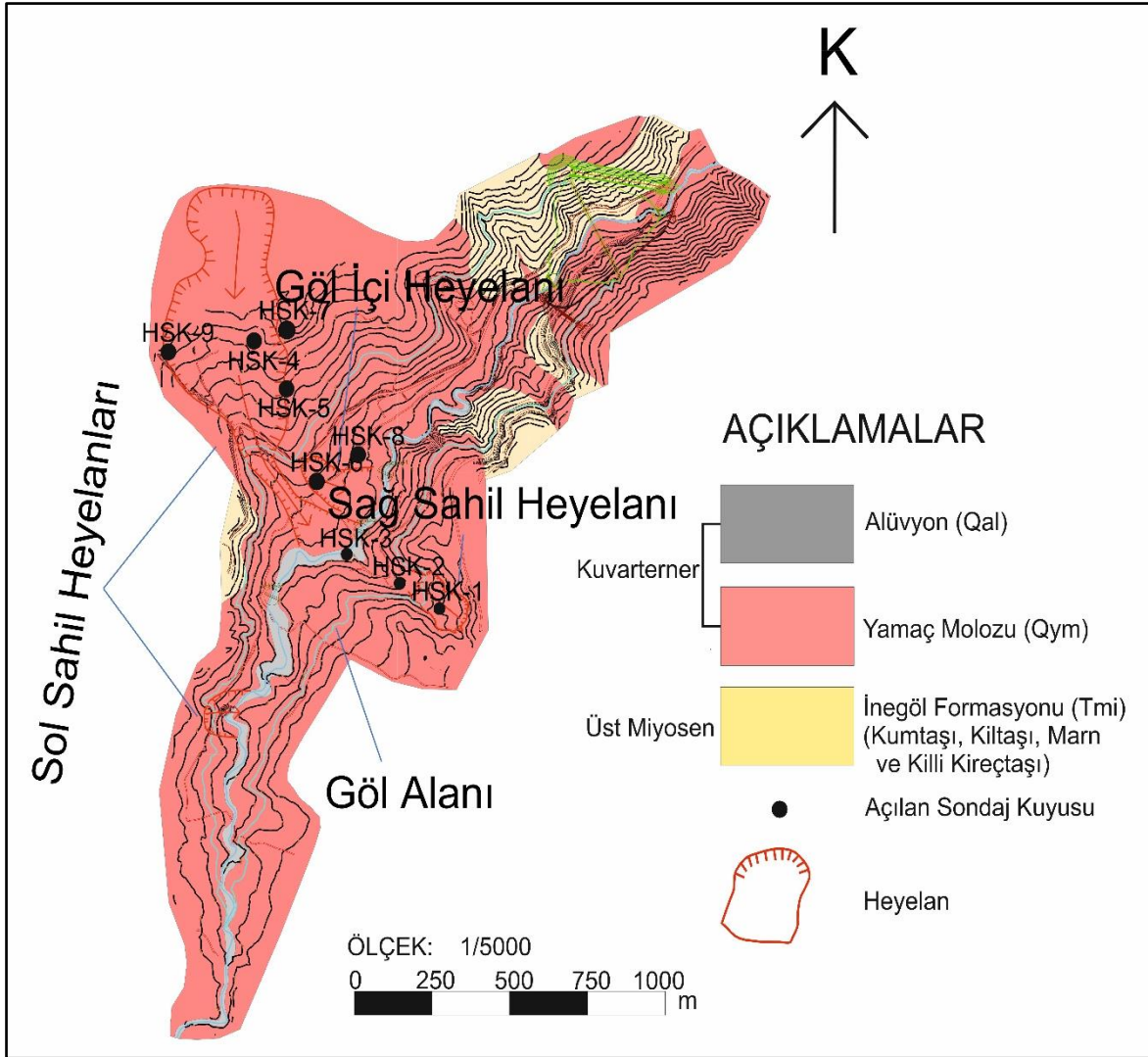


Şekil 2.6. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 2.7. Hoca köy Barajı aks yeri jeoloji haritası

Hoca köy Barajının aks yerinde sol sahilde Üst Miyosen yaşlı İnegöl Formasyonunun filişleri, dolusavak düşü havuzunun çevresinde ve talveğe yakın bölgelerde yamaç molozu bulunmaktadır. Sağ sahilde ise genel olarak yamaç molozu ve sağ sahilin kretine yakın bazı bölgelerde de Üst Miyosen yaşlı filişler bulunmaktadır. Talvege ise alüvyon bulunmaktadır (Şekil 2.7).



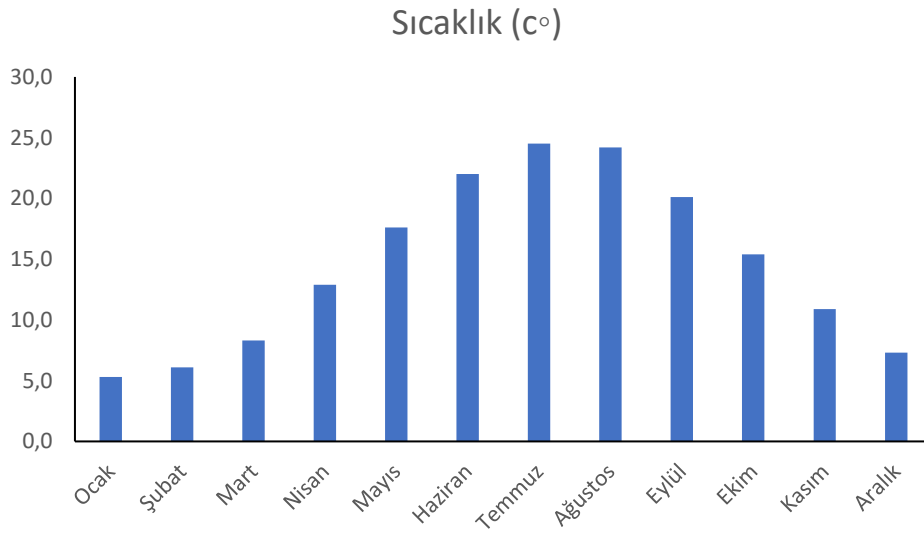
Şekil 2.8. Hocaköy Barajı göl alanı jeoloji haritası

Hocaköy Barajı' nın rezervuarında ise Üst Miyosen Yaşlı İnegöl Formasyonunun filişleri, Kuvarterner yaşlı yamaç molozu ile alüvyon bulunmaktadır. Rezervuar alanında paleoheyelanlar bulunmaktadır. DSİ tarafından bu paleoheyelanlarda 9 adet heyelan sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 2.8).

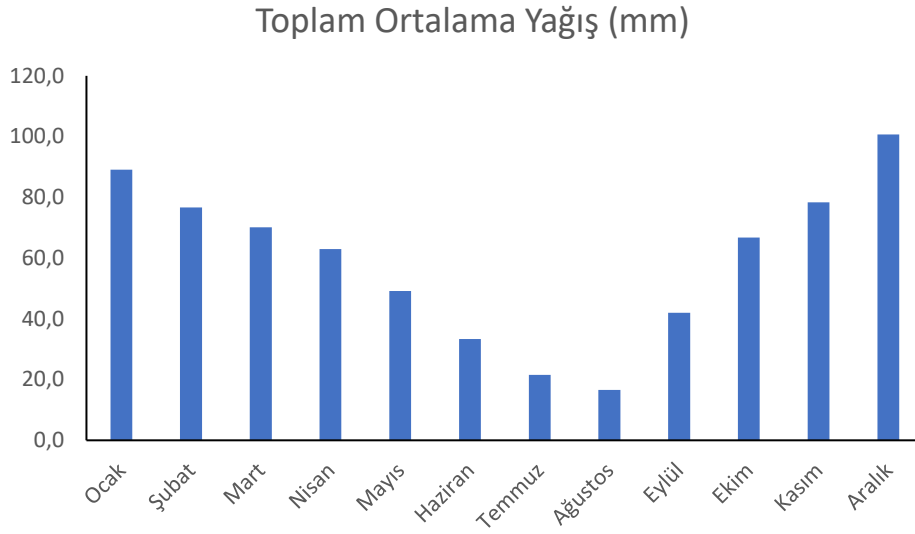
Çalışma alanı, Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında ve barajın aks yerine 1 km uzaklıkta bulunmaktadır. Çalışma alanında sol sahilde 2 adet ve sağ sahilde 1 adet paleoheyelan bulunmaktadır. Sol sahilde bulunan paleoheyelanlardan biri rezervuarda maksimum su kotunda su bulunduğu durumda tamamem suyun altında kalacaktır. Bu paleoheyelan göl alanı paleoheyelanı olarak adlandırılmıştır. Sol sahildeki diğer paleoheyelanın ise taç kısmından maksimum su kotuna kadar olan bölümü barajın gövdesinde geçirimsiz malzeme (kil) olarak kullanılacaktır. Paleoheyelanların duraysızlık türü dairesel kaymadır.

Paleoheyelanlar da genel olarak Üst Miyosen yaşlı İnegöl formasyonunun kıltaşları bulunmaktadır. Sol sahil ve sağ sahil paleoheyelanlarının üst kısımlarında yamaç molozu bulunmaktadır.

Bursa ili ve çevresinde Akdeniz iklim tipi hakimdir ve kışlar ılık, yazlar sıcak ve kurak geçer. Bölgenin en çok yağış aldığı mevsim kıştır ve en çok yağış aldığı aylar Aralık, Ocak ve Şubat' tır (Şekil 2.9 ve 2.10).



Şekil 2.9. Bursa iline ait ortalama sıcaklık değerleri (MGM., 2016)



Şekil 2.10. Bursa iline ait ortalama yağış değerleri (MGM, 2016)

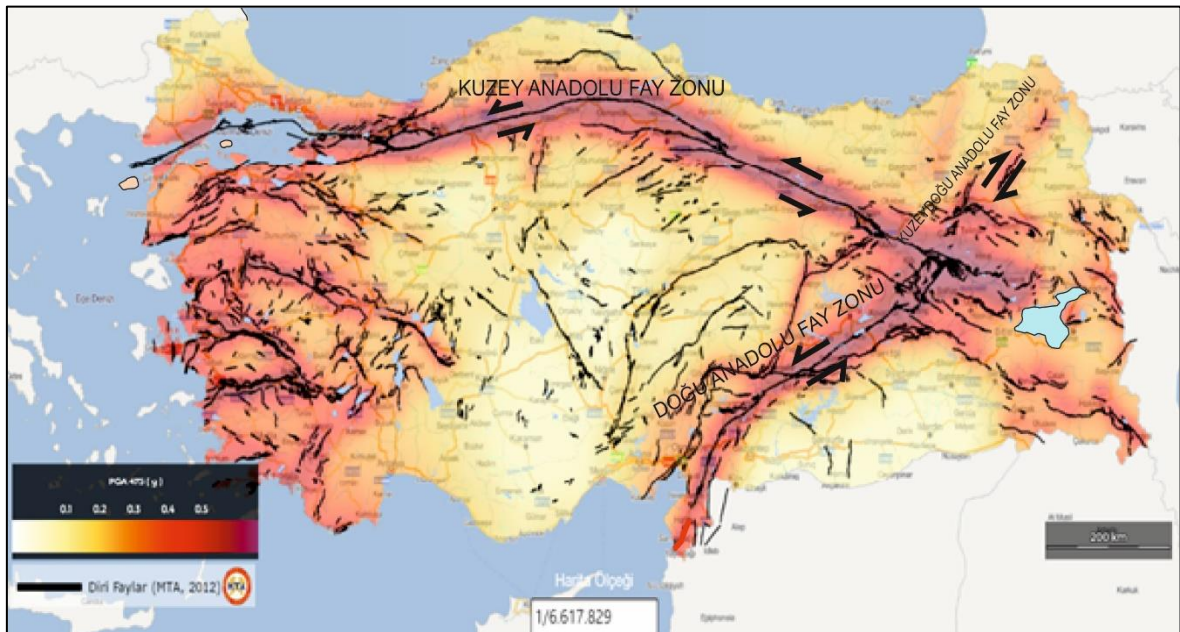
2.3. Çalışma Alanının ve Yakın Çevresinin Deprem Durumu

Bursa ili ve çevresi 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır ve bu bölgeden Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)' in güney kolu geçmektedir. Çalışma alanının yakınlarından İnegöl Fay Zonu geçer. Bölgede tarihte birçok şiddetli deprem meydana gelmiştir. Bölgede yaşanan en son büyük deprem 1999 yılında yaşanmıştır ve büyüklüğü 7.4 magnitüdtür. Şekil 2.11' de2 Türkiye Deprem Haritası ve Şekil 2.12' de çalışma alanı ve çevresinin deprem haritası gösterilmiştir.

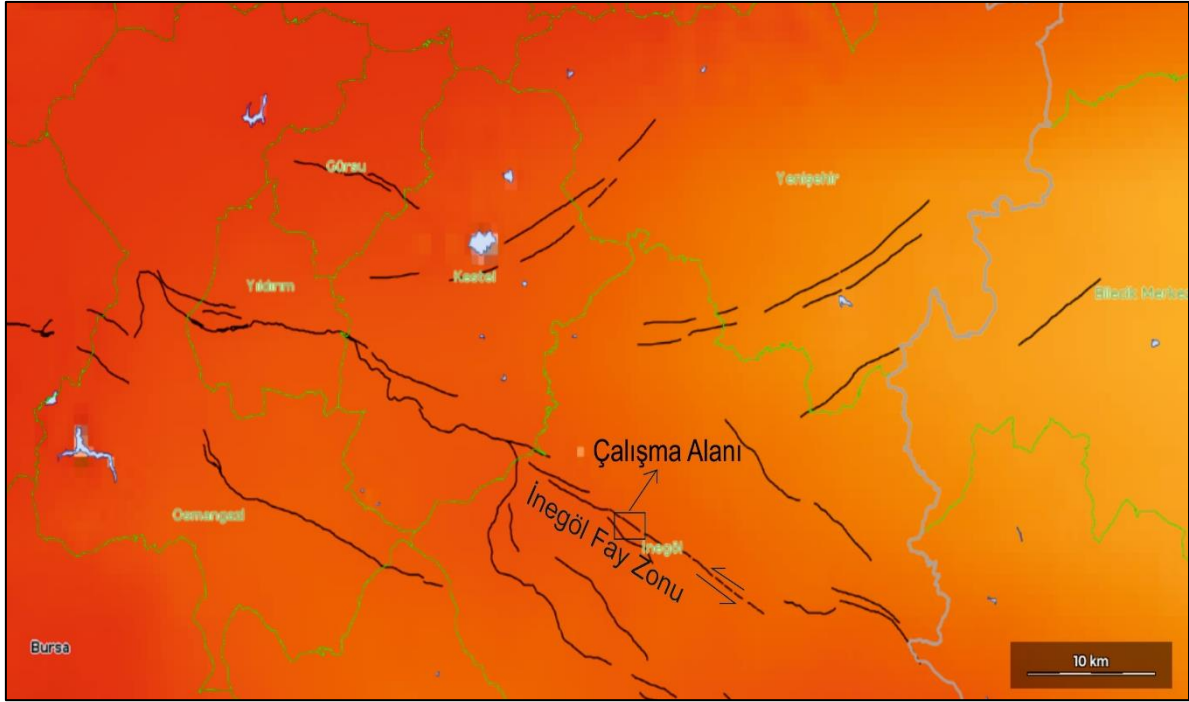
Paleoheyelanların şev stabilite analizlerinde dinamik (depremlı) durum için yatay sismik katsayı önerilen yatay sismik katsayıları tablosuna (Tablo 1) göre çalışma alanının 1.derece deprem bölgesi olması sebebiyle güvenli tarafta kalmak adına 0.5 (Terzahgi' ye göre) alınmıştır. Bu değer tabloda felaket boyutunda depremler tanımlamasına denk gelmektedir. Çizelge 2.1' de önerilen yatay sismik katsayılar ve tanımlamaları belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Önerilen yatay sismik katsayılar (Melo vd., 2004)

Yatay Sismik Katsayı, k_h	Tanımlama	
0.05 - 0.15	Amerika Birleşik Devletleri için	
0.12 - 0.25	Japonya için	
0.1	Şiddetli depremler	Terzaghi
0.2	Çok şiddetli, yıkıcı depremler	
0.5	Felaket boyutunda depremler	
0.1 - 0.2	Seed, FOS ≥ 1.15	
0.10	Büyük deprem, FOS > 1.0	Corps of Engineers
0.15	Çok şiddetli deprem, FOS > 1.0	
1/2 to 1/3 of PHA	Marcuson, FOS > 1.0	
1/2 of PHA	Hynes-Griffin, FOS > 1.0	
FOS = Güvenlik katsayısı. PHA = Maksimum yatay ivme, g's.		



Şekil 2.11. Türkiye deprem haritası (MTA, 2012; AFAD, 2018)



Şekil 2.12. Çalışma alanı ve yakın çevresinin deprem haritası (MTA, 2012; AFAD, 2018)

2.4. Hidrolik ve Hidrojeolojik Durum

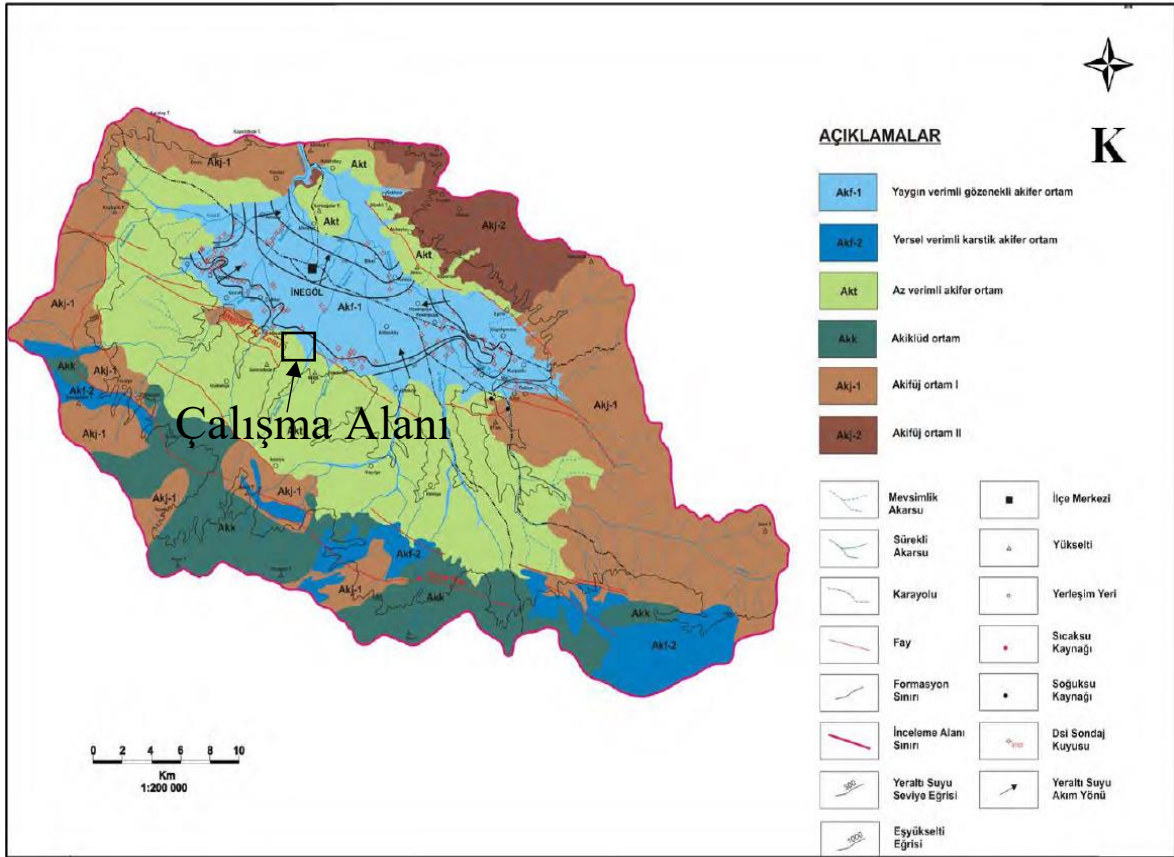
Hocaköy barajı, Hocaköy deresi üzerinde yapılmaktadır ve bu derenin yan deresini de Bedre dere oluşturmaktadır. Bu iki dere çalışma alanının güneyinde yer alan Uludağ' ın yağış alanından beslenmektedir.

Hocaköy deresinin drenaj alanı 31 km^2 , yıllık ortalama akımı $23,56 \text{ hm}^3$ ve yıllık ortalama debisi $0,75 \text{ m}^3/\text{sn}$ ' dir. Bedre derenin ise $59,12 \text{ km}^2$, yıllık ortalama akımı $35,70 \text{ hm}^3$ ve yıllık ortalama debisi ise $1,12 \text{ m}^3/\text{sn}$ ' dir.

Baraj yeri ve rezervuar alanını oluşturan kiltası, kumtaşı ve çakıltaşları geçirimsiz özelliktedir. Baraj yerinin bulunduğu yerde yüzeyleyen kayalarda genelde büyük debili kaynak çıkışı görülmez. Bu bölgede genellikle küçük debili kaynak çıkışları gözlenir.

Çalışma alanını oluşturan paleoheyelanlar rezervuarın bulunduğu Hocaköy deresinin vadisinde bulunmaktadır.

Hocaköy Barajı' nın göl alanında sol sahilde bulunan paleoheyelanın üst kısımlarında yeraltı suyu seviyesi yaklaşık 16 m derinliğindedir ve talveğe yakın kısımlarında ise 5 m derinliğindedir. Göl alanındaki paleoheyelanda ve sağ sahil paleoheyelanında yeraltı suyu bulunmamaktadır. Şekil 2.13' de çalışma alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Çalışma alanı ve yakın çevresinin hidrojeoloji haritası (Ünver vd., 2014)

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Varnes (1978) şev hareketinin morfolojik özellikleri, duraysızlığın mekanizması, kayan malzemenin türü ve tane boyu ve hareketin hızına göre şev duraysızlık türlerini tanımlamıştır. Varnes bu kriterlere ve malzeme özelliklerine göre 6 çeşit duraysızlık türü tanımlamıştır.

Fredlund (1984) şev stabilite analizlerinde analitik methodlar üzerine bir çalışma yapmıştır. Frenlund bu çalışmada o yıllarda kullanılan şev stabilite analiz yöntemleri üzerinde bir inceleme yapmıştır.

DSİ 1. Bölge Müdürlüğü (1985) tarafından yılında Hocaköy Barajı ön inceleme çalışmaları kapsamında proje alanının ön inceleme aşaması jeoteknik etüt raporu hazırlanmıştır ve bu rapor kapsamında hocaköy barajının proje alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla temel sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu rapor barajın ilk inceleme raporudur ve raporda proje alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerinden yüzeysel olarak bahsedilmektedir.

Çetin vd. (2004) tarafından Bursa için CBS destekli olasılıksal sismik tehlike analizi ve sıvılaşma riski haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında Bursa ili için olasılıksal sismik tehlike analizi yapılmış ve şehrin sıvılaşma riski yüksek bölgeleri haritalanmıştır.

Melo vd. (2004), Pseudostatic (Yarı statik) şev stabilite analizlerinde kullanılan sismik katsayılar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yatay ve düşey pseudostatic (yarı-statik) kuvvetlerin zeminler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Yılmaz vd. (2007) tarafından Yenişehir (Bursa) havzasının yapısal özelliklerini ve jeolojik gelişimini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada Yenişehir Havzasının jeolojik ve neotektonik özelliklerini incelemişlerdir.

Zetem Mühendislik (2010) tarafından barajın rezervuar alanındaki paleoheyelanlarla ilgili heyelan raporu hazırlanmıştır. Bu raporda rezervuardaki heyelanlarla ilgili çalışmalardan ve heyelanlar için alınabilecek önlemlerden bahsedilmektedir.

Zetem Mühendislik (2011) tarafından Hocaköy Barajı' nın planlama çalışmaları kapsamında planlama aşaması jeoteknik etüt raporu ve doğal yapı malzemeleri raporu hazırlanmıştır. Jeoteknik etüt raporunda barajın göl alanının ve gövdenin oturacağı yerin genel jeolojisinden ve jeoteknik özelliklerinden bahsedilmektedir. Doğal yapı malzemeleri raporunda ise barajın gövdesinde kullanılacak malzemelerin durumundan bahsedilmektedir.

Ensu Mühendislik (2013) tarafından baraj yerinin sismik tehlike analiz raporu hazırlanmıştır. Bu raporda baraj yerinde yapılan jeofizik çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen verilerden bahsedilmektedir.

Ensu Mühendislik (2014) tarafından proje çalışmaları kapsamında kesin proje aşaması jeoteknik etüt raporu ve doğal yapı malzemeleri raporu hazırlanmıştır. Bu aşamadaki jeoteknik etüt raporunda planlama aşamasından farklı olarak baraj gövdesinin karakteristiklerinden bahsedilmektedir ve doğal yapı malzemeleri raporunda da gövdede kullanılacak malzemeler ve malzeme miktarlarından bahsedilmektedir.

Ünver vd. (2014) İnegöl (Bursa) havzasında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden hidrojeokimyasal süreçleri incelemişlerdir ve yeraltısularının farklı amaçlar için kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Yeraltısularının kimyasal yapısı ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla iki dönem yerinde ölçüm ve kimyasal analizler yapmışlardır. Çalışma sonucunda İnegöl Havzası' ndaki yeraltısularının sulama amaçlı kullanıma uygun olduğunu belirlemişlerdir.

4. ŞEV DURAYSIZLIĞI VE ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ

Şevler, belirli bir geometriye sahip veya düzensiz eğimli yüzeylerdir. Doğal yamaçlar düzensiz geometrisi olan şevleri, farklı mühendislik amaçlarıyla (karayolu şevi, açık işletme şevi, toprak veya kaya dolgu baraj şevi vb.) yapılan şevler ise düzenli geometriye sahip şevleri oluşturur (Şekil 4.1 ve 4.2).

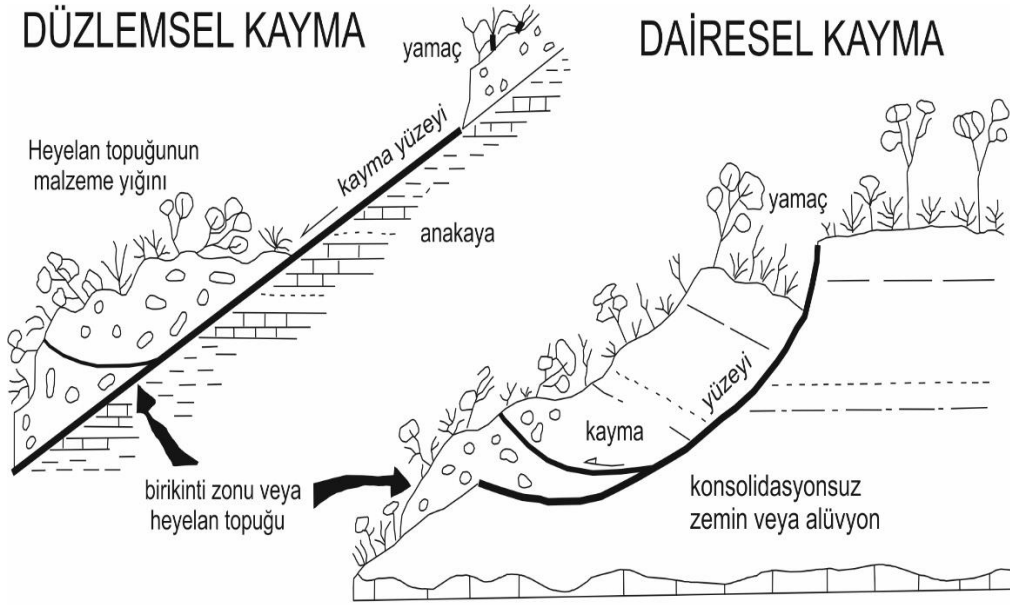


Şekil 4.1. Hocaköy Barajı Aks Yeri Sol Sahil Şevi (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)



Şekil 4.2. Hocaköy Barajı Aks Yeri Sağ ve Sol Sahil Şevleri (Mansaptan Bakış) (DSİ, 2018)

Herhangi bir cismin yerini ve konumunu koruyabilmesi koşulu duraylılık (stabilite) olarak adlandırılır. Bu koşulun yitirilmesine de duraysızlık denir. Bir şevde kayan kütlelin sınırları boyunca gelişen bir makaslama yenilmesi veya yerçekiminin etkisi sonucu şevi oluşturan malzemenin aşağı ve şev önündeki boşluğa doğru hareketine şev duraysızlığı denir. Şekil 4.3’ te dairesel ve düzlemsel kayma duraysızlığı modelleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Düzlemsel ve Dairesel Kayma Modeli (Potter, 2007)

4.1. Şev Duraysızlıklarının Sınıflandırılması

Şev duraysızlıklarının sınıflandırılmak amacıyla pek çok sistem geliştirilmiştir ancak günümüzde Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflama sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem; şev hareketinin morfolojik özellikleri, duraysızlığın mekanizması, kayan malzemenin türü ve tane boyu ve hareketin hızını esas alır.

Varnes sınıflama sisteminde malzeme özellikleri dikkate alınarak 6 çeşit duraysızlık türü tanımlanmıştır (Şekil 4.4).

DURAYSIZLIK TÜRÜ			MALZEMENİN TÜRÜ		
			TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
			İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME			Zemin düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
DEVRİLME			Zemin devrilmesi	Moloz devrilmesi	Kaya devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (Dairesel)	Sınırlı sayıda birim	Zeminde dairesel kayma	Molozda dairesel kayma	Kayada dairesel kayma
	ÖTELENMELİ	Çok sayıda birim	Zeminde blok türü ötelenme Zemin kayması	Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması	Kayada blok türü ötelenme Kaya ötelenmesi
YANAL YAYILMA			Zemin yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
AKMA			Zemin akması (Zeminde krip)	Moloz akması	Kaya akması (Derin krip)
KARMAŞIK DURAYSIZLIKLAR			Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birbirini izlemesiyle gelişen duraysızlıklar		

Şekil 4.4. Varnes' in şev duraysızlığı türleri sınıflaması (Varnes, 1978)

4.2. Şev Duraylılığı Analiz Yöntemleri

Şev duraylılığı analizlerinde, kinematik analiz, limit denge analizi, nümerik analiz ve olasılığa dayalı analiz yöntemleri kullanılır. Bu çalışmada limit denge analiz yöntemlerinden etkin (efektif) gerilme analiz yöntemleri kullanılmıştır.

4.3. Limit Denge Analiz Yöntemleri

Bu yöntemler, duraysızlık modeline bağlı olarak, kayan kütlelerin dilimlere bölünerek önce her dilimin ayrı ayrı, daha sonra tüm dilimler dikkate alınarak kayan kütlelerin dengesinin belirlenmesi ve incelenen şev için en küçük güvenlik katsayısının hesaplanması esasına dayanır. Yenilme (kayma) yüzeyinin üzerindeki malzeme serbest bir kütle olarak kabul edilir (Ulusay, 2010).

Bu çalışmada paleoheyelanların şev stabilite analizlerinde limit denge analiz yöntemlerinden etkin (efektif) gerilme analiz yöntemlerinin dairesel ve dairesel olmayan

yenilme yüzeyleri için kullanılan analiz yöntemlerinden Fellenius (İşveç Dilim Yöntemi), Bishop, Spencer ve Morgenstern-Price Yöntemi kullanılmıştır.

4.1.1. Fellenius (İşveç Dilim) Yöntemi

Fellenius (1927, 1936; Nash, 1987'den) tarafından geliştirilen bu yöntem, en basit dilim yöntemi olup, bilgisayar kullanılmadan da çözümlenebilir. Yöntemde Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kullanılır ve kayan kütle dilimlere bölünür. Yöntem, sadece kayma merkezinin etrafında kaymaya karşı ve kaydırıcı kuvvetlerin moment dengesini dikkate alır ve dairesel kaymalar için uygulanır. Moment dengesi için tek bir eşitliği içeren ve F' 'i hesaplayan bu yöntemde dilimler arasında etkiyen kuvvetlerden düşey yönde olanı ihmal edilir, diğerinin ise o dilimin tabanına paralel yönde etkidiği varsayılır.

4.1.2. Bishop Yöntemi

Dairesel kayma yüzeyleri için Bishop (1955) tarafından geliştirilmiş olan bu yöntem, en yaygın kullanılan analiz yöntemidir. Yöntemin; sadece moment dengesini esas alan Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi, hem de momentle birlikte kuvvetlerin dengesini de değerlendiren Karmaşık Bishop Yöntemi olmak üzere iki türü bulunmaktadır (Ulusay, 2010).

4.1.3. Morgenstern-Price Yöntemi

Bu yöntem genel şekilli kayma analizleri için uygundur ancak bilgisayarda yapılmaktadır. Yöntem her dilim arasındaki kuvvetlerin değişimi kabulüne dayanmaktadır.

Whitman ve Bailey (1967) yöntem sonuçlarının sadeleştirilmiş Bishop yöntem sonuçları arasında genellikle farkın %7 ya da daha az fark olduğu genellikle farkın %2 dolayında olduğunu göstermişlerdir. Yöntemle elde edilen güvenlik katsayılarının Fellenius çözümünden önemli ölçüde farklı olduğu ancak güvenli tarafta kalınan sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir (Genç, 2011).

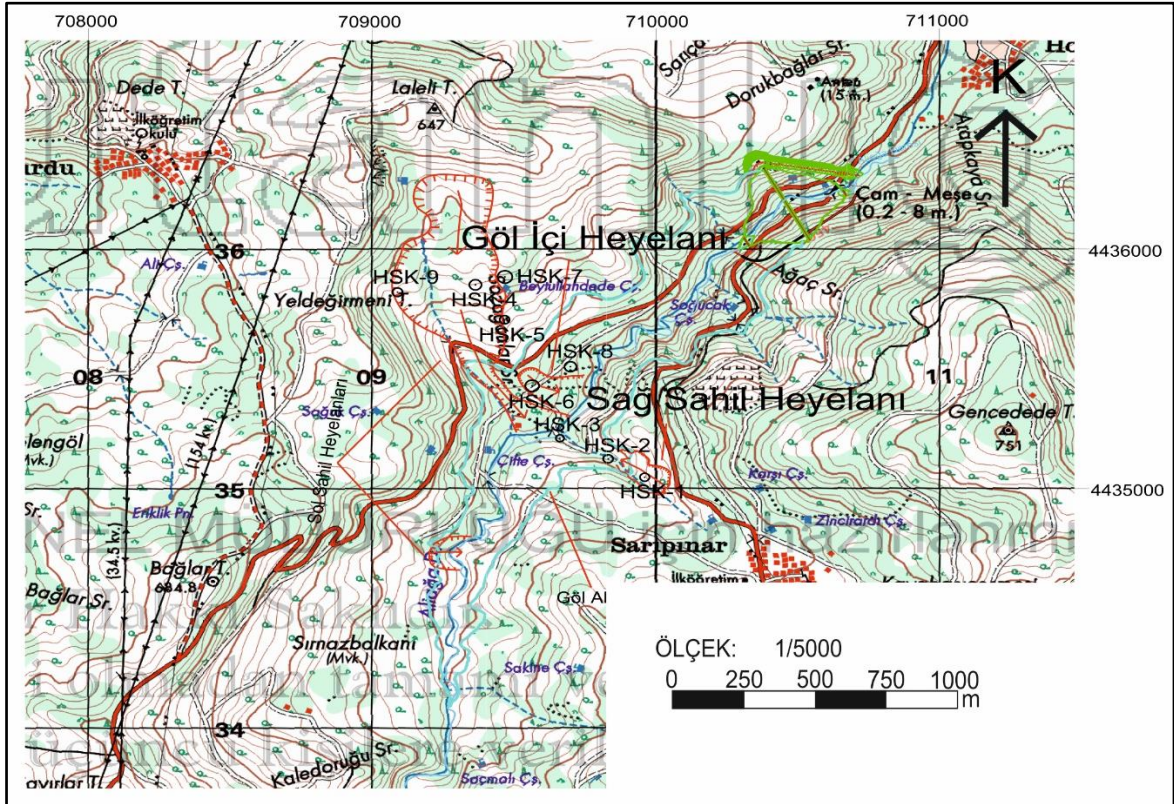
4.1.4. Spencer Yöntemi

Spencer (1967) tarafından önerilen yöntem elle yapılabilen ancak çözüme bilgisayarla son derece kolaylıkla ulaşılmaktadır.

Yöntem her tür kayma yüzeyinde moment ve kuvvet dengesini sağlamak ve çekme çatlaklarının etkisi hesaba katılabilmektedir. Normal ve kayma gerilmelerinin bileşkelerinin paralel olduğu ve yatayla Θ açısı yaptığı kabulünü yapmaktadır. Çözümde başlangıç için bir Θ açısı kabul edilmesi gerekir. Bu kabul ile bir güvenlik katsayısı kuvvet dengesine bir diğer güvenlik katsayısı moment dengesine dayanarak hesaplanır. Daha sonra yeni bir Θ açısı için yeni güvenlik katsayıları hesaplanır ve güvenlik katsayıları eşitleninceye kadar işlem sürdürülür.

5. HOCAKÖY BARAJI' NİN REZERVUARINDA BULUNAN PALEOHEYELANLAR

Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında paleoheyelanlar bulunmaktadır ancak bu çalışma kapsamında bu paleoheyelanlardan 3 tanesi değerlendirilmiştir. Bunlardan iki tanesi barajın sol sahilinde bir tanesinde sağ sahilinde bulunmaktadır. Sol sahildeki paleoheyelanlardan bir tanesi rezervuarda su tutulduktan sonra tamamem suyun altında kalacağından dolayı göl alanı paleoheyelanı olarak adlandırılmıştır. Paleoheyelanların kayma yüzeylerini paleoheyelanlardaki kilttaşları ile altere kilttaşları arasındaki sınır oluşturur. Şekil 5.1' de barajın rezervuarındaki paleoheyelanların topoğrafik haritası gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Hocaköy Barajı' nın rezervuarında bulunan paleoheyelanların topoğrafik haritası

5.1. Sol Sahil Paleoheyelanları

Barajın rezervuar alanının sol sahilinde iki adet paleoheyelan bulunmaktadır. Bunlardan ilk paleoheyelan barajın rezervuar alanının sol sahilinde ve yaklaşık 1 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 5.2). Yaklaşık 25 hektarlık alan kaplamaktadır. Paleoheyelanın taç kısmına yakın yerlerde 3 adet ufak debili kaynak çıkışı izlenmektedir. Topuk kısmı dereye kadar inmektedir. Paleoheyelanın baraj rezervuar su kotu altında kalan büyük kısmı suyun aşındırması ile aşınmış ve yayvan hale gelmiştir. Barajın normal su kotunda oldukça daralır. Paleoheyelanın barajın maksimum su kotu üzerinde kalan kısmı barajın gövde dolgusunda geçirimsiz malzeme olarak kullanılacaktır. Paleoheyelan 30 yıl önce oluşmuştur ve heyelanın topuk kısmının bulunduğu dere üzerine 20 yıl önce DSİ tarafından üç adet tersip bendi yapılmıştır, bu bentlerin inşa edilmesinden sonra heyelan aktivitesini yitirmiştir. Bu bentlerden ortada yer alan heyelanın topuğunun mansabında bulunmaktadır ve bend arkasında biriken dere malzemesi topuk malzemesi üzerine çökelerek heyelana duraylılık kazandırmıştır. Paleoheyelanın duraysızlık türü dairesel kaymadır. Diğer paleoheyelan ise barajın aks yerine yaklaşık 2 km uzaklıkta yer almaktadır ve 1,52 hektarlık bir alan kaplamaktadır. Paleoheyelanın topuk kısmı maksimum su kotunun üzerinde yer almaktadır. Paleoheyelanın duraysızlık türü dairesel kaymadır.



Şekil 5.2. Sol sahil paleoheyelanının barajın sağ sahilinden görünümü

5.2. Sağ Sahil Paleoheyelanı

Barajın rezervuar alanının sağ sahilinde yer almaktadır ve aks yerine yaklaşık 1 km uzaklıktadır (Şekil 5.3). Yaklaşık 2,33 hektarlık bir alan kaplamaktadır. Paleoheyelanın topuk kısmı barajın maksimum su kotunda bitmektedir ancak yine de su ile teması olacaktır. Paleoheyelanın duraysızlık türü dairesel kaymadır.



Şekil 5.3. Sağ sahil paleoheyelanı

5.3. Göl Alanı Paleoheyelanı

Paleoheyelan sol sahil paleoheyelanının doğusunda yer almaktadır. Baraj aks yerine uzaklığı yaklaşık 1 km' dir (Şekil 5.4). Paleoheyelan yaklaşık 1,95 hektarlık bir alan kaplamaktadır. Paleoheyelanın taç kısmında 0,1 lt/sn debili kaynak çıkışı izlenmektedir ve bu kaynak çıkışına ilaveten yol şevinden gelen suyun bu noktada arazide çıkışı sonucu bu heyelan oluşmuştur. Paleoheyelanın duraysızlık türü dairesel kaymadır.



Şekil 5.4. Göl Alanı Paleoheyelanı

6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Rezervuar Alanındaki Paleoheyelanların Genel Jeolojisi

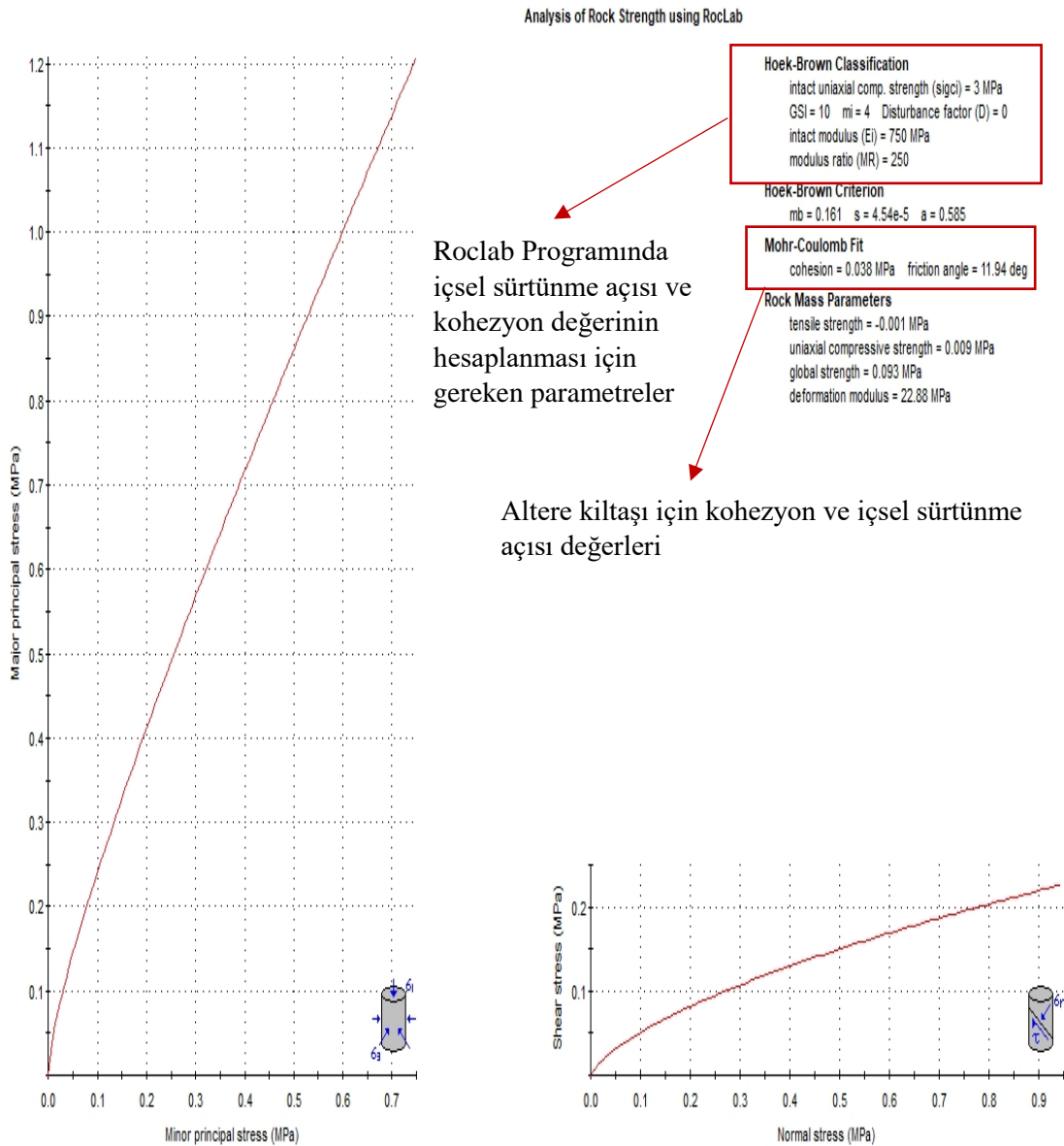
Göl Alanındaki paleoheyelanlarda 3 jeolojik birim bulunmaktadır. Bu birimlerin litolojik olarak sıralaması şu şekildedir; en altta Miyosen yaşlı İnegöl formasyonunun kiltaşları, bunların üzerinde Miyosen yaşlı İnegöl formasyonunun altere olmuş kiltaşları ve en üstte de Kuvarterner yaşlı yamaç molozu bulunmaktadır. Göl alanı paleoheyelanında yamaç molozu bulunmamaktadır.

6.2. Şev Stabilite Analizlerinde Kullanılan Veriler

6.2.1. Jeoteknik Veriler

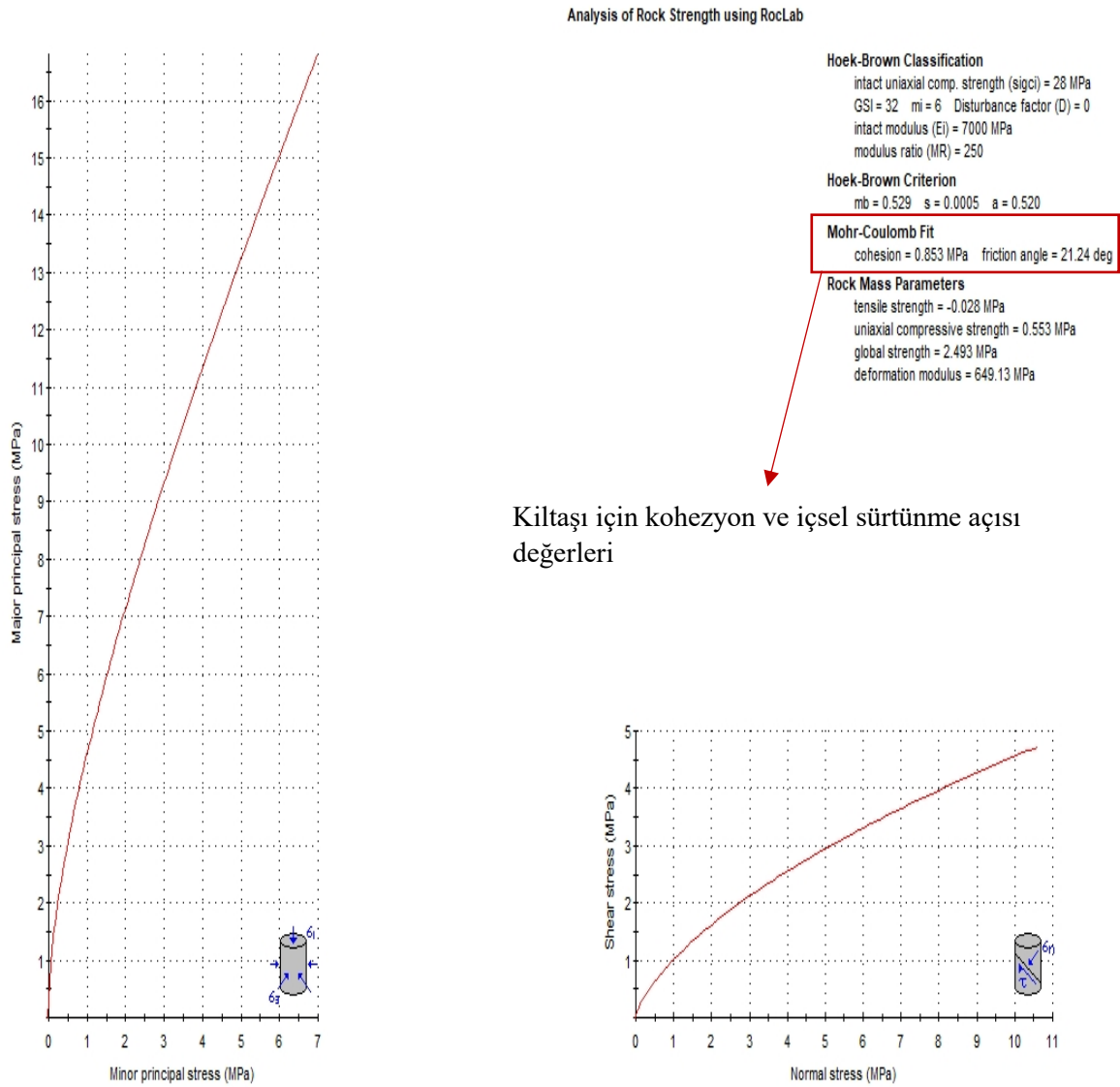
Yapılan şev stabilite analizlerinde yamaç molozunun doğal birim hacim ağırlığı 20 kN/m³ ve suya doymuş birim hacim ağırlığı 190,47 kN/m³, kohezyonu 5 Kpa ve içsel sürtünme açısı 22° alınmıştır. Bu veriler daha önce DSİ tarafından yaptırılan Hocaköy Barajı' nın jeolojik-jeoteknik çalışmaları kapsamında yapılan laboratuvar deneylerinden ve araziden alınan kaya örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilmiştir. Sol sahildeki kiltaşları ve altere kiltaşları için doğal birim hacim ağırlık 22,36 kN/m³ ve suya doymuş birim hacim ağırlık 190,47 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Sağ sahildeki kiltaşları ve altere kiltaşları için de doğal birim ağırlık değeri 22,36 kN/m³ ve suya doymuş birim hacim ağırlık 190,47 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Bu birimler için kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri Roclab 1.0 programı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Roclab programında altere kıltaşının kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlenirken kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı 3 MPa (bu değer roclab programından ampirik olarak belirlenmiştir.), jeolojik dayanım indeksi (GSI) 10, mi değeri (sağlam kaya malzeme sabiti) 4, MR (modül oranı) 250 olarak alınmıştır ve yukarıdaki parametrelere bağlı olarak altere kıltaşının E_i (elastisite modülü) değeri 750 MPa olarak alınmıştır. Şekil 15' teki D (Disturbance factor) patlatmalar için kullanılan bir parametre olup bu çalışmada 0 olarak alınmıştır. Altere kıltaşı için kohezyon 0,038 MPa (38 kN/m^2) ve içsel sürtünme açısı $11,94^\circ$ olarak belirlenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Roclab programından altere kıltaşı için kohezyon ve içsel sürtünme açısının hesaplanması

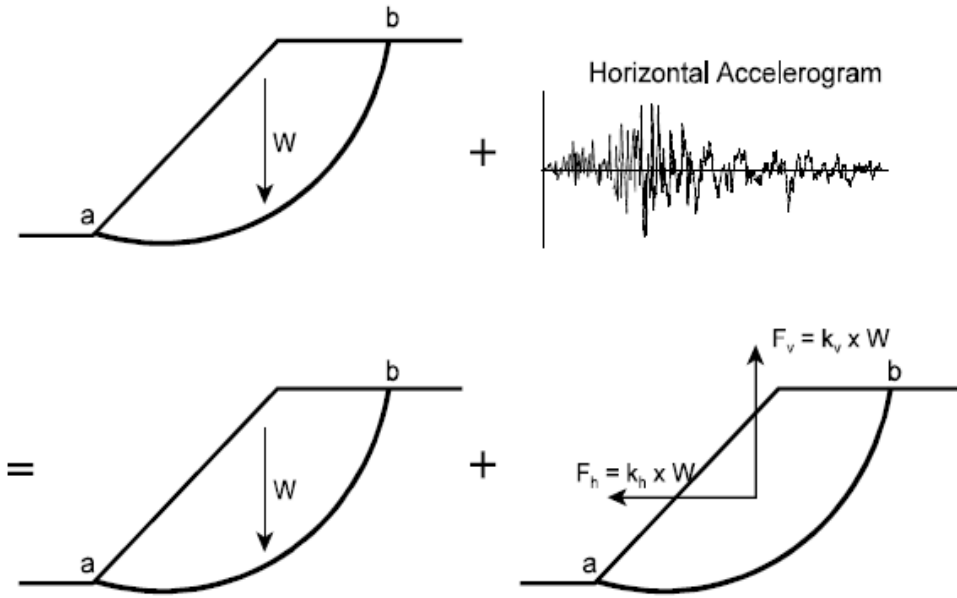
Kiltaşı için ise, tek eksenli basınç dayanımı 28 MPa (bu değer DSİ tarafından Hocaköy Barajı' nın planlama çalışmaları kapsamında yaptırılan temel sondaj çalışmaları kapsamında açılan temel sondaj kuyularından alınan karot numulerde yapılan tek eksenli sıkışma deneyi sonucunda elde edilmiştir.), jeolojik dayanım indeksi (GSI) 32, mi değeri 6, MR (modul oranı) 250 ve yukarıdaki parametrelere bağlı olarak kiltaşının elastisite modülü (Ei) 7000 MPa olarak alınmıştır. D (Disturbance factor) değeri 0 alınmıştır. Kiltaşında kohezyon 0,853 MPa (853 kN/m²) ve içsel sürtünme açısı ise 21,24° olarak belirlenmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Kiltaş için roclab programından kohezyon ve içsel sürtünme açısının belirlenmesi

6.2.2. Jeofizik Veriler

Paleoheyelanların dinamik (depremlı) durumdaki şev stabilite analizlerinde yatay sismik katsayı kullanılmıştır. Sismik katsayı, maksimum deprem ivmesinin yerçekimi ivmesine bölümü olarak gösterilen boyutsuz bir katsayıdır. Yatay ve düşey olmak üzere iki çeşit sismik katsayı bulunmaktadır. Bu katsayılar yatay ve düşey sismik kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılır. Sismik kuvvetler kayan kütle için ağırlığı ile sismik katsayıların çarpılması ile bulunur (Şekil 6.3). Çalışma alanı 1. Derece deprem bölgesinde bulunduğu için güvenli tarafta kalmak için yatay sismik katsayı 0,5 olarak alınmıştır. Bu katsayı Çizelge 2.1’ de Terzaghi’ nin felaket boyutunda depremler tanımlamasına karşılık gelmektedir.



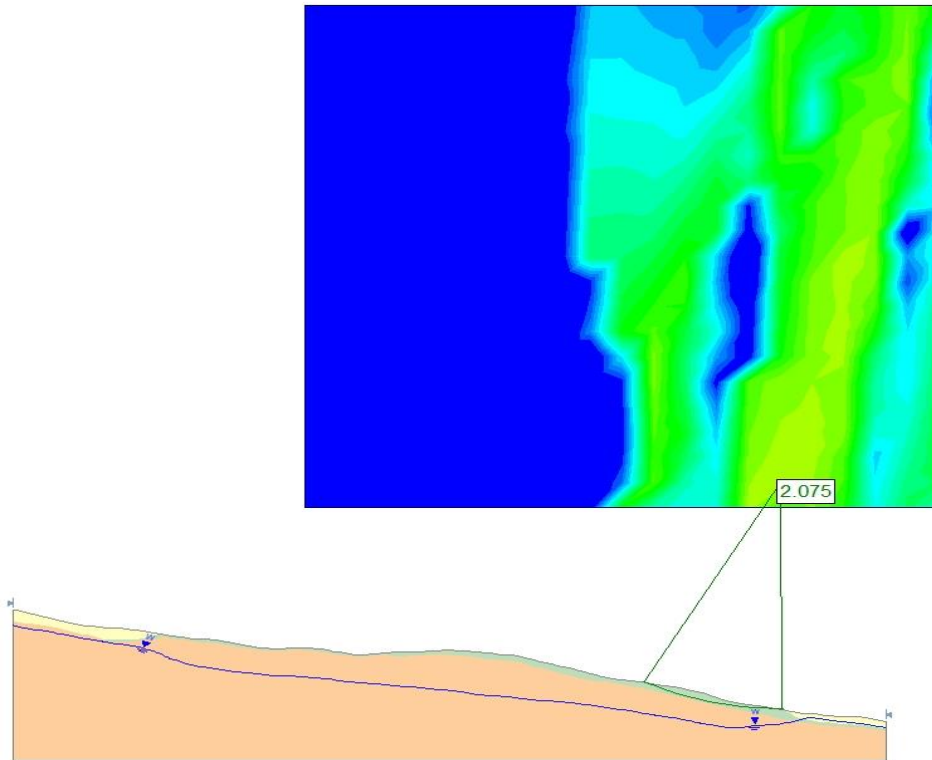
Şekil 6.3. Pseudostatik şev stabilitesi analizlerinde yatay ve düşey sismik kuvvetler (Melo vd., 2004)

6.3. Şev Stabilite Analizleri

Hocaköy Barajı' nın göl alanında bulunan sol sahil paleoheyelanı, göl alanı paleoheyelanı ve sağ sahil paleoheyelanının baraj rezervuarında su tutulmadan önceki ve rezervuardaki su seviyesinin maksimum su kotuna yükseldiği durumlarda ve statik ve dinamik (depremlı) koşullarda şev stabilite analizleri yapılmıştır. Bu analizler Rocscience(1996)' ın Slide 6.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda bu analizlerden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir.

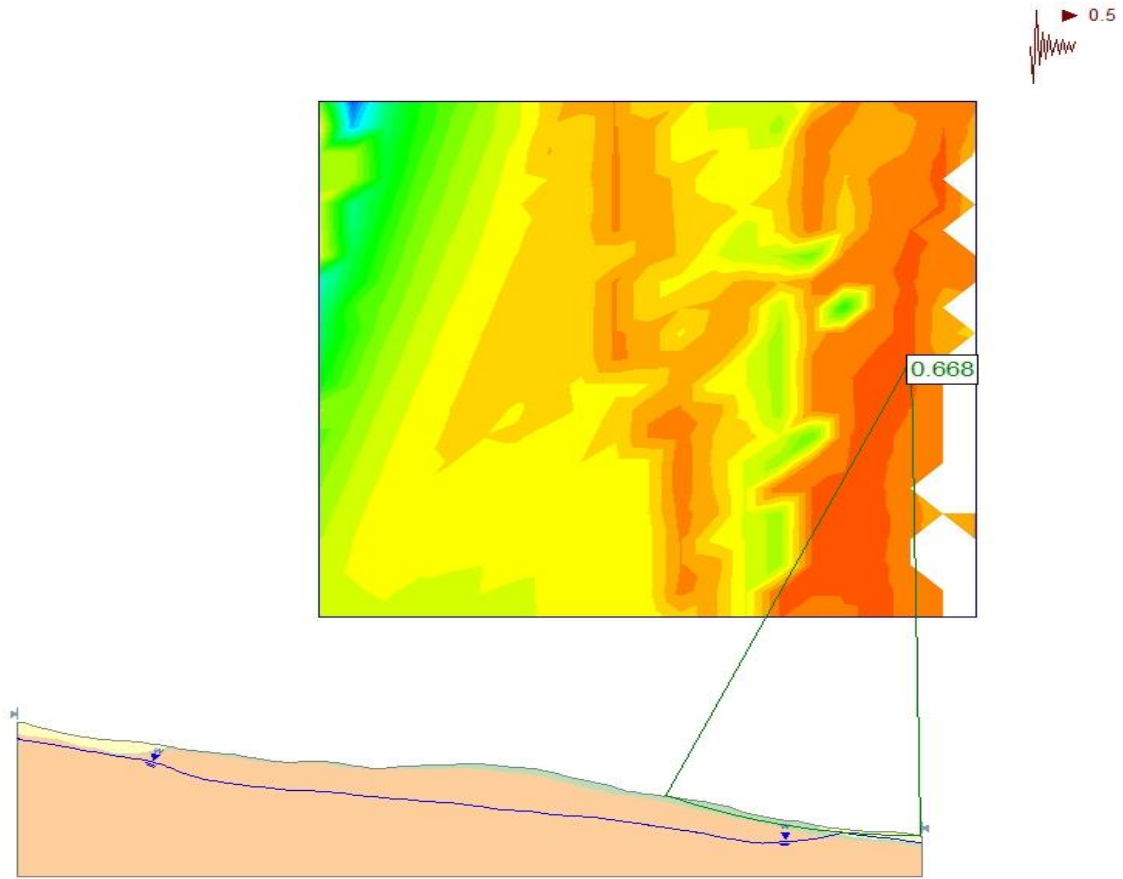
6.3.1. Sol Sahil Paleoheyelanı Şev Stabilite Analizi

Sol sahil paleoheyelanında yapılan şev stabilize analizlerine göre barajın rezervuarında su tutulmadan önce statik koşulda yapılan analizlere göre paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 2,075, Bishop Yöntemine göre 2,088, Spencer Yöntemine göre 2,089 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 2,088 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre paleoheyelan duraylıdır (Şekil 6.4).



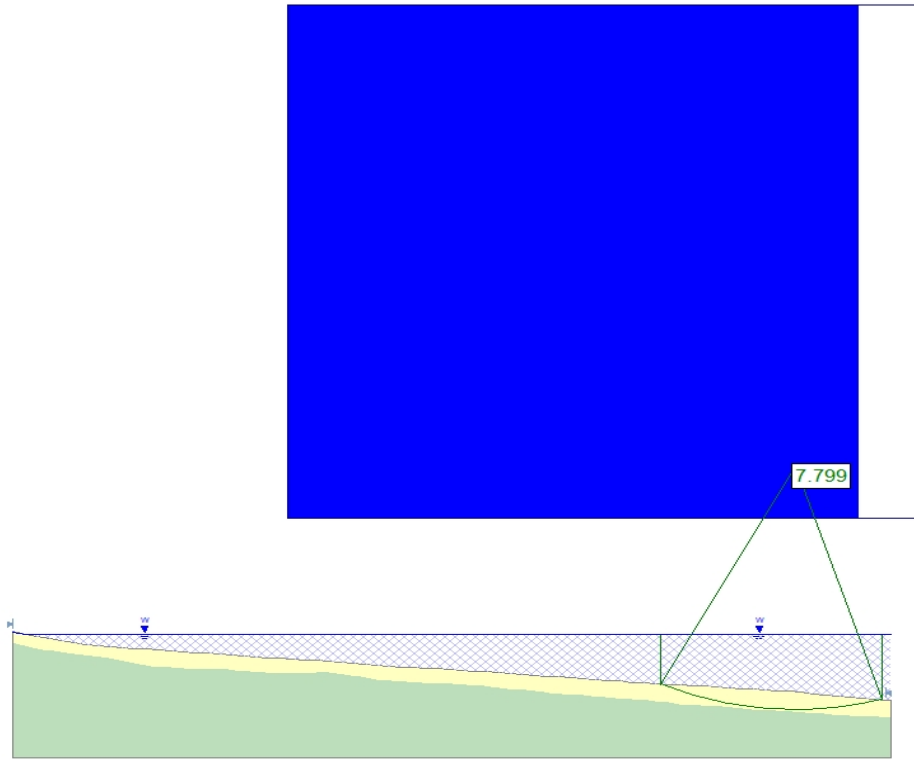
Şekil 6.4. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum)

Depremlilik durumda yapılan analizlere g6re ise paleoheyelanın minimum g6venlik katsayısı Ordinary/Fellenius Y6ntemi' ne g6re 0,653, Bishop Y6ntemi' ne g6re 0,656, Spencer Y6ntemi' ne g6re 0,664 ve Morgenstern-Price Y6ntemine g6re 0,668 bulunmuştur. Bu durumda paleoheyelanda duraysızlık g6zlenecektir (Şekil 6.5).

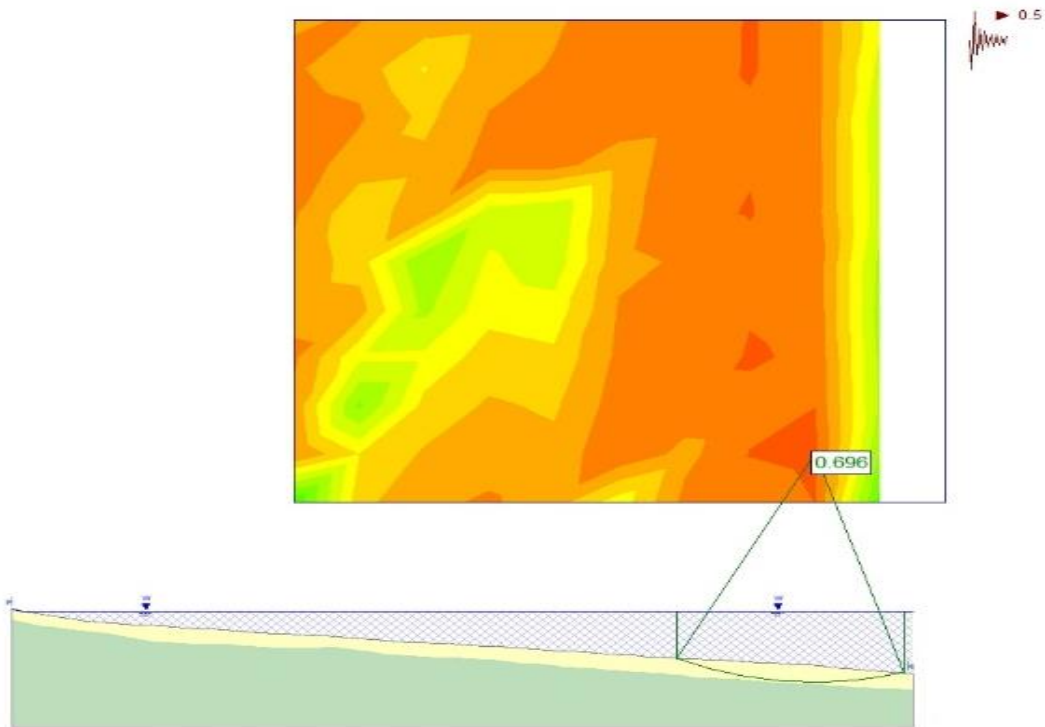


Şekil 6.5. Sol sahil paleoheyelanı Şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan 6nce, depremlilik durum)

Rezervuarda su tutulduktan sonra su seviyesinin maksimum su kotunda olduğu durumda statik koşulda yapılan analizlere g6re paleoheyelanın minimum g6venlik katsayısı Ordinary/Fellenius Y6ntemi' ne g6re 7,799, Bishop Y6ntemine g6re 7,869, Spencer Y6ntemine g6re 7,869 ve Morgenstern-Price Y6ntemine g6re 7,869 olarak bulunmuştur. Bu g6venlik katsayılarına g6re paleoheyelan duraylıdır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra statik durum)

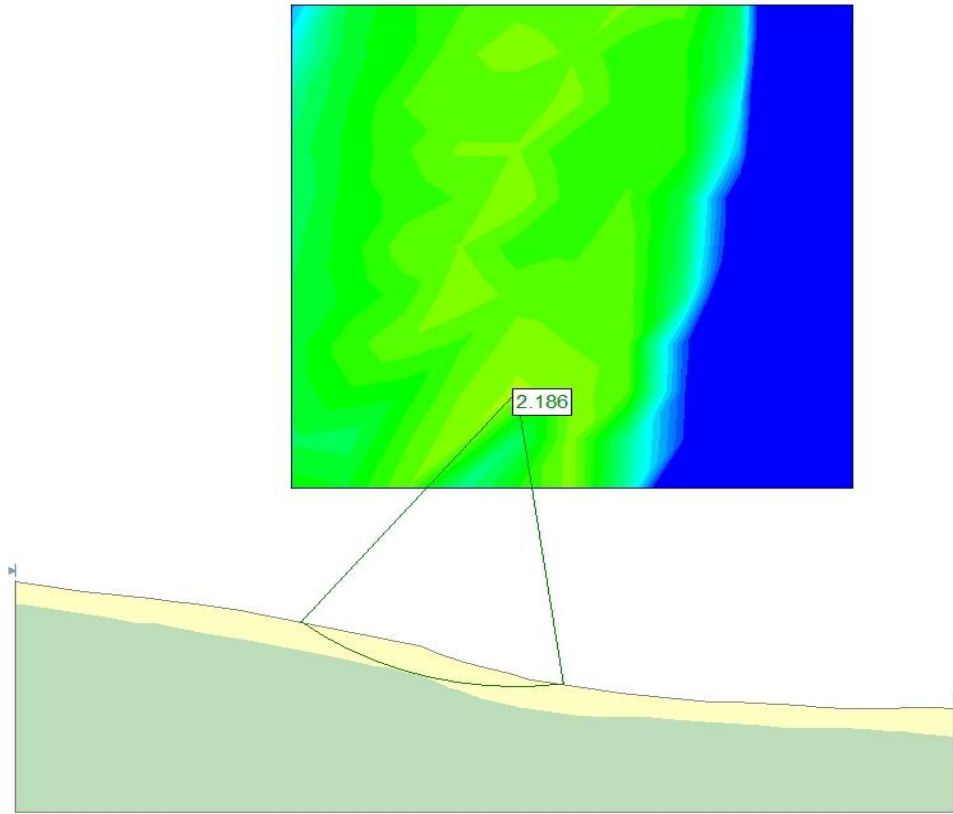


Şekil 6.7. Sol sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra depremlilik durumu)

Rezervuarda su tutulduktan sonra depremlili durumda yapılan analizlere göre ise paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 0,696, Bishop Yöntemi' ne göre 0,704, Spencer Yöntemi' ne göre 0,708 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 0,708 bulunmuştur. Bu durumda paleoheyelanda duraysızlık gözlenecektir (Şekil 6.7).

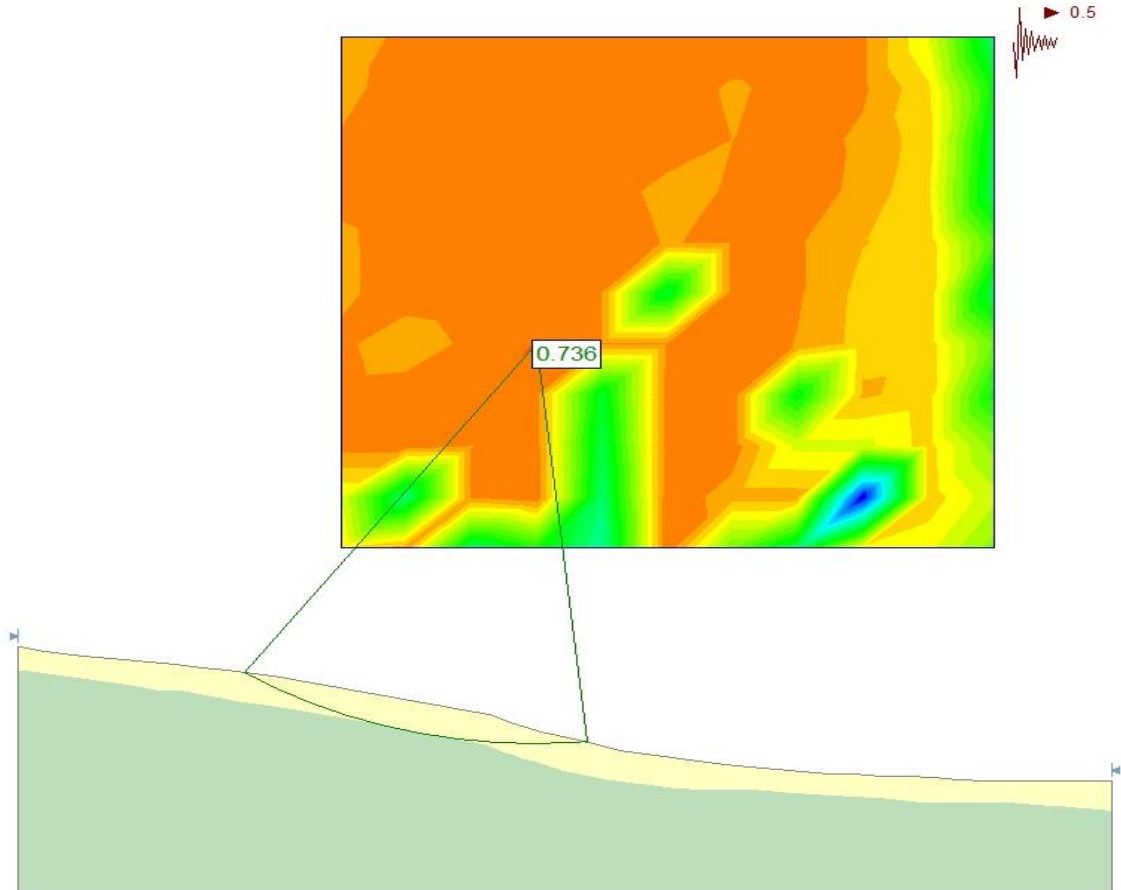
6.3.2. Göl Alanı Paleoheyelanı Şev Stabilite Analizleri

Göl alanı paleoheyelanında rezervuarda su tutulmadan önce statik koşulda paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 2,186, Bishop Yöntemi' ne göre 2,212, Spencer Yöntemi' ne göre 2,214 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 2,213 bulunmuştur. Bu durumda paleoheyelan duraylıdır (Şekil 6.8).



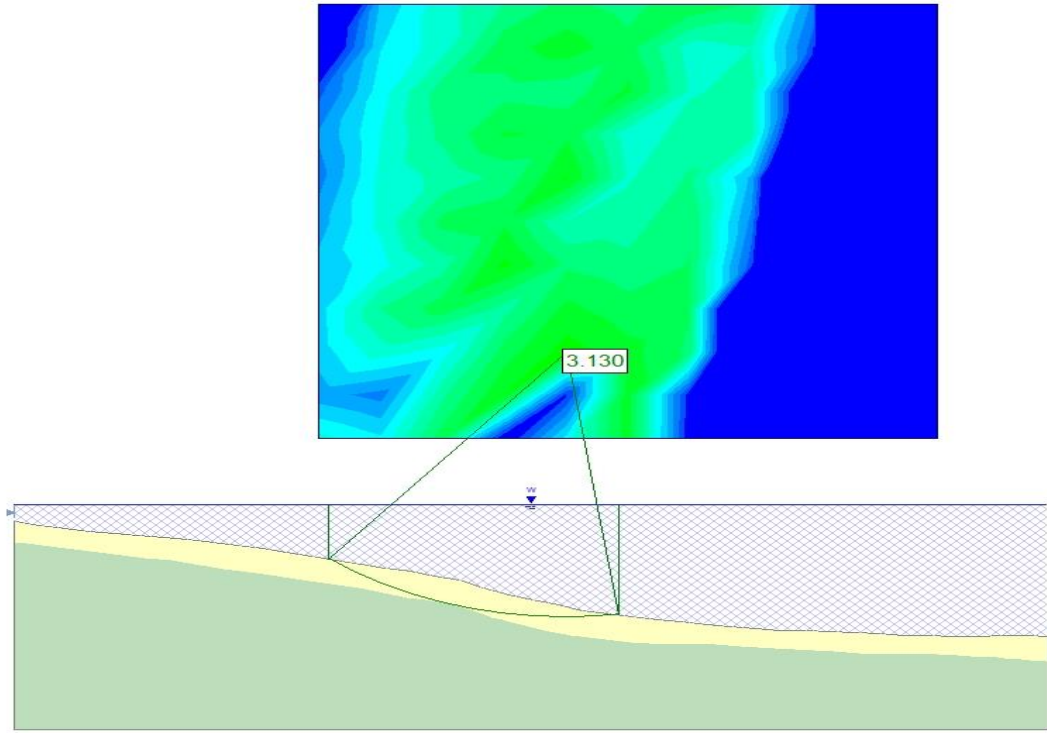
Şekil 6.8. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum)

Depremlı durumunda ise paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 0,702, Bishop Yöntemi' ne göre 0,707, Spencer Yöntemi' ne göre 0,736 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 0,736 bulunmuştur. Bu durumda paleoheyelanda duraysızlık gözlenecektir (şekil 6.9).

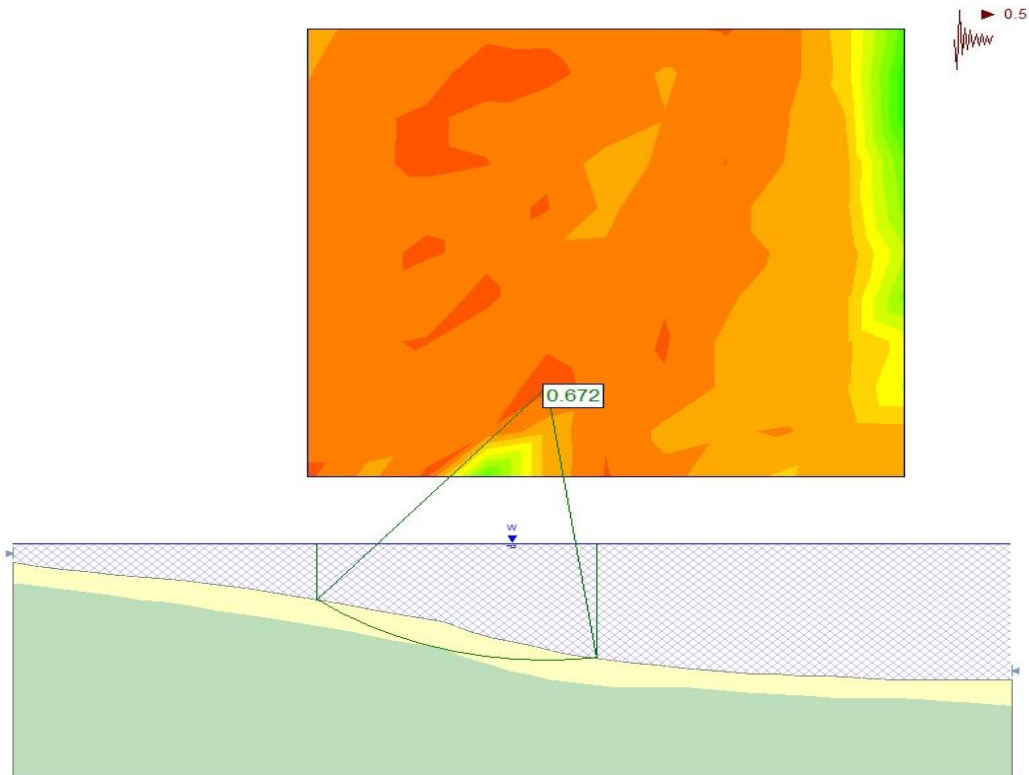


şekil 6.9. Gl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, depremlı durum)

Rezervuarda su tutulduktan sonra statik durumda yapılan analize göre paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 3,130, Bishop Yöntemine göre 3,156, Spencer Yöntemine göre 3,156 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 3,156 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre paleoheyelan duraylıdır (şekil 6.10).



Şekil 6.10. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, statik durum)

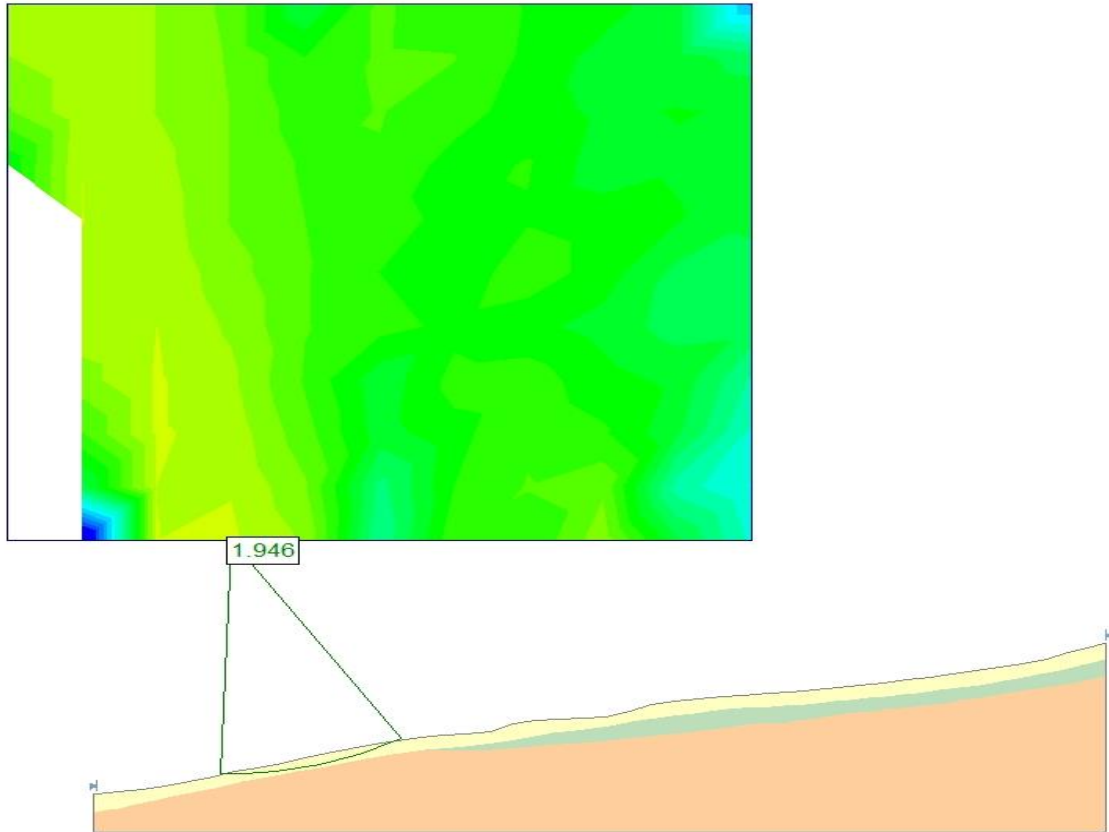


Şekil 6.11. Göl alanı paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, depremlili durum)

Rezervuarda su tutulduktan sonra depremli koşulda yapılan analize göre paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 0,672, Bishop Yöntemine göre 0,674, Spencer Yöntemine göre 0,686 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 0,687 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanda duraysızlık gözlenecektir (Şekil 6.11).

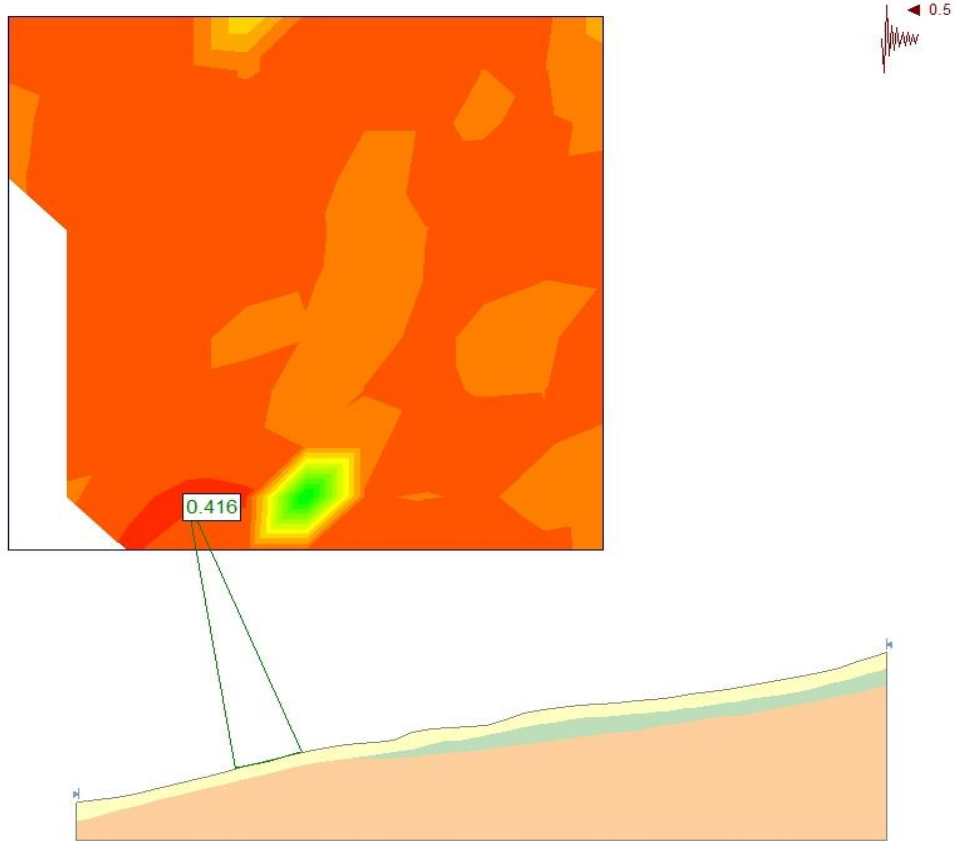
6.3.3. Sağ Sahil Paleoheyelanı Şev Stabilite Analizleri

Sağ sahil heyelanında yapılan şev stabilite analizlerine göre de rezervuarda su tutulmadan önce statik durumda paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 1,946, Bishop Yöntemi' ne göre 1,975, Spencer Yöntemi' ne göre 1,973 ve Morgenstern/Price Yöntemi' ne göre 1,972 bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre sağ sahil heyelanı duraylı durumdadır (Şekil 6.12).



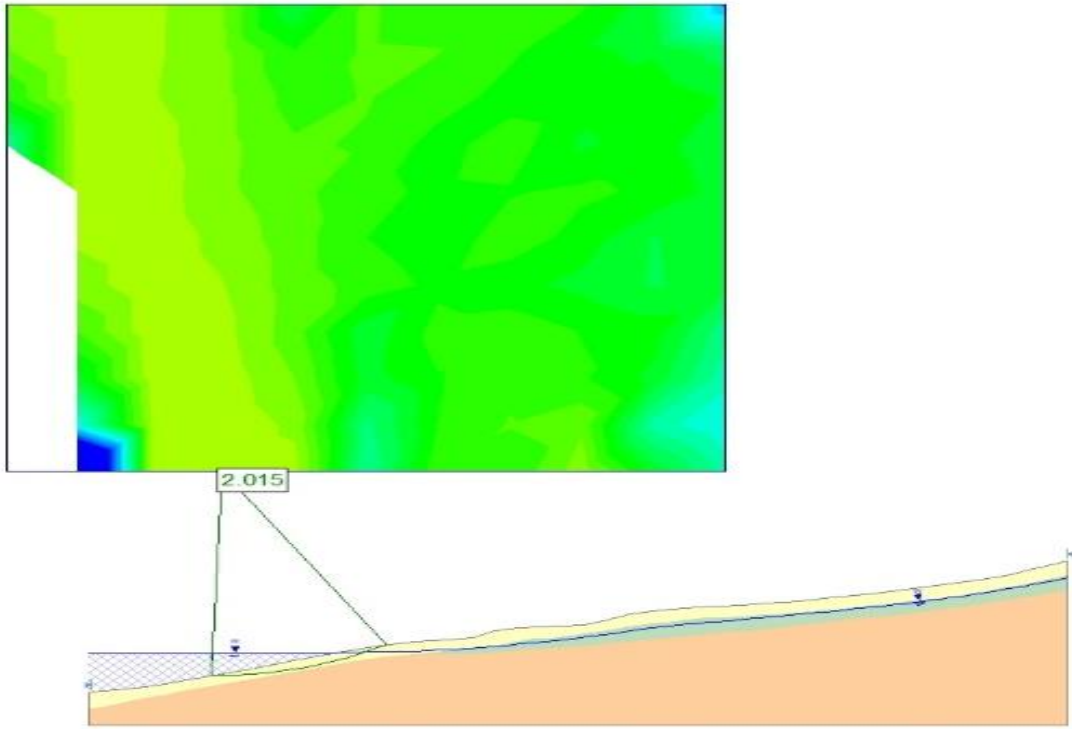
Şekil 6.12. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, statik durum)

Depremlı durumunda ise paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 0,416, Bishop Yöntemi' ne göre 0,346, Spencer Yöntemi' ne göre 0,627 ve Mongestern/Price Yöntemi' ne göre 0,627 bulunmuştur. Bu durumda paleoheyelanda duraysızlık gözlenecektir (şekil 6.13).

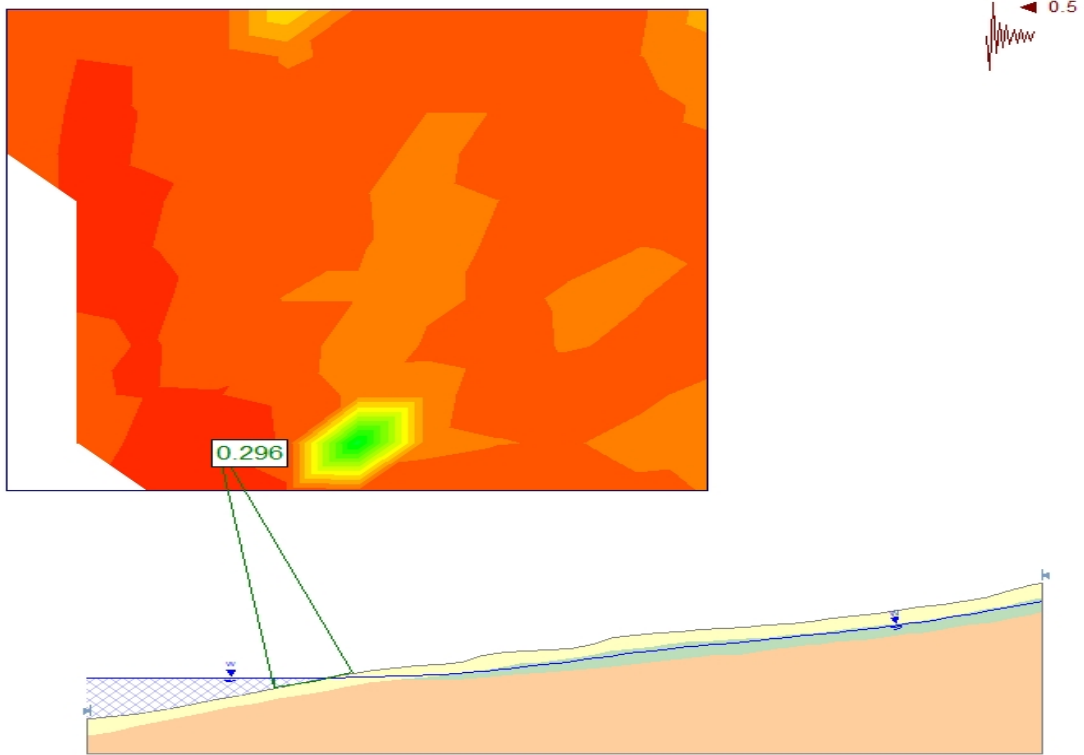


şekil 6.13. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulmadan önce, depremlı durum)

Rezervuarda su tutulduktan sonra statik koşulda yapılan analizlere göre paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 2,015, Bishop Yöntemine göre 2,043, Spencer Yöntemine göre 2,044 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 2,043 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre paleoheyelan rezervuarda su tutulduktan sonra duraylıdır (şekil 6.14).



Şekil 6.14. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, statik durum)



Şekil 6.15. Sağ sahil paleoheyelanı şev stabilite analizi (rezervuarda su tutulduktan sonra, depremli durum)

Rezervuarda su tutulduktan sonra depremleri koşulda yapılan analizlere göre paleoheyelanın minimum güvenlik katsayısı Ordinary/Fellenius Yöntemi' ne göre 0,296, Bishop Yöntemine göre 0,219, Spencer Yöntemine göre 0,472 ve Morgenstern-Price Yöntemine göre 0,469 olarak bulunmuştur. Bu güvenlik katsayılarına göre paleoheyelan rezervuarda su tutulduktan sonra duraylıdır (Şekil 6.15).

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hocaköy Barajı' nın rezervuar alanında bulunan paleoheyelanların şev stabilite analizlerine göre rezervuarda su tutulmadan önce statik koşuldaki minimum güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanlar duraylıdır ancak dinamik (depremlı) koşulda yapılan şev stabilite analizlerine göre ise paleoheyelanlar duraysızlık gösterecektir. Şev stabilite analizlerinde güvenlik katsayısı (F) kaymaya karşı koyucu kuvvetlerin kaymaya neden olan kuvvetlere oranı şeklinde tanımlanır. Burada yapılan şev stabilite analizlerinde de rezervuarda su tutulmadan önceki statik durumda paleoheyelanlardaki kaymaya karşı koyucu kuvvetler kaymaya neden olan kuvvetlerden büyüktür. Depremlı koşulda ise yatay sismik kuvvetin (F_h) kaymaya neden olan kuvvetlere eklenmesiyle kaymaya neden olan kuvvetler kaymaya karşı koyucu kuvvetlerden daha büyük duruma gelmiştir ve paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenmiştir.

Barajın rezervuarında su tutulduktan sonra su seviyesinin maksimum su kotu seviyesine yükseldiği durumda yapılan şev stabilite analizlerine göre belirlenen minimum güvenlik katsayılarına göre ise paleoheyelanlar duraylıdır. Bu analizlerde paleoheyelanların minimum güvenlik katsayıları rezervuarda su tutulmadan önceki durumdan daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda rezervuardaki suyun yükü kaymaya karşı koyucu kuvvetlere eklenmiştir. Sol sahil paleoheyelanının taç kısmından maksimum su kotuna kadar olan bölümü barajın gövdesinde kil malzeme olarak kullanılacağından dolayı rezervuarda su tutulduktan sonraki durumda bu kısım çıkarılarak paleoheyelanın topuk kısmından maksimum su kotuna kadar olan bölümünde şev stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde elde edilen minimum güvenlik katsayıları rezervuarda su tutulmadan önceki duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun sebebi sol sahil paleoheyelanının taç kısmı ile maksimum su kotu arasındaki bölümü kazıldıktan sonra bu paleoheyelandaki kayan kütleinin miktarı ve ağırlığının azalması ve kaymaya neden olan kuvvetlerin azalması olabilir. Depremlı durumda yapılan analizlere göre belirlenen minimum güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenecektir. Bunun nedenide yatay sismik kuvvetin (F_h) kaymaya neden olan kuvvetlere eklenerek kaymaya karşı koyucu kuvvetlerden daha büyük duruma gelmesidir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Hocaköy Barajı' nın (İnegöl-Bursa) rezervuarında bulunan paleoheyelanların rezervurda su tutulmadan önce ve rezervuarda maksimum su kotu seviyesinde su bulunduğu durumda, statik ve dinamik (depremlı) koşullarda paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenip gözlenmeyeceği belirlenmiştir.

Paleoheyelanların şev stabilite analizlerinde doğal birim hacim ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile depremlı durumdaki şev stabilite analizleri için yatay sismik katsayı parametreleri kullanılmıştır. Doğal birim hacim ağırlık ve suya doygun birim hacim ağırlık değerleri çalışma alanından alınan kaya örneklerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilmiştir. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı Rocscience' ın Roclab 1.0 programından elde edilmiştir. Roclab' ta kohezyon ve içsel sürtünme açısının hesaplanması için gerekli parametreler DSİ tarafından Hocaköy Barajı' nın planlama çalışmaları kapsamında açılan temel sondaj kuyularının karot sandıklarından alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilmiştir. Yatay sismik katsayı ise Terzahgi (1950)' nin önerilen yatay sismik katsayılar tablosundan alınmıştır. Bu katsayı çalışma alanının 1. Derece deprem bölgesinde kalması nedeniyle güvenli tarafta kalmak adına Terzahgi (1950)' nin felaket boyutunda depremler tanımlamasına karşılık gelen değer alınmıştır.

Çalışma alanında Üst Miyosen yaşlı İnegöl Formasyonu' nun filişleri bulunmaktadır. Paleoheyelanlarda ise bu formasyonun kilaşları ve Kuvarterner yaşlı yamaç molozu bulunmaktadır. Yamaç molozu sadece sol ve sağ sahil paleoheyelanında bulunmaktadır. Paleoheyelanlarda gerçekleşen duraysızlık hareketi sonucu paleoheyelanların kayma yüzeylerinin üst kısımlarında bulunan kilaşları altere olmuştur.

Paleoheyelanların kayma yüzeyleri yapılan arazi çalışmaları ve literatür araştırmalarına göre dairesel olarak belirlenmiştir. Paleoheyelanların kayma yüzeylerini paleoheyelanlardaki altere kilaşları ile kilaşları arasındaki sınır oluşturur.

Şev stabilite analizlerinde limit denge analiz yöntemlerinin etkin (efektif) gerilim analiz yöntemlerinden Ordinary-Fellenius (İsveç Dilim Yöntemi), Bishop, Spencer ve Morgenstern-Price yöntemleri kullanılmıştır. Ordinary-Fellenius ve Bishop Yöntemi dairesel kaymalarda, Spencer ve Morgenstern-Price Yöntemi dairesel ve dairesel olmayan kaymalarda kullanılmaktadır.

Rezervuarda su tutulmadan önce statik koşulda yapılan şev stabilite analizlerinde hesaplanan minimum güvenlik katsayıları paleoheyelanların duraylı olduğunu göstermektedir. Depremlili koşulda bulunan minimum güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenecektir. Rezervuarda su tutulduktan su seviyesinin maksimum su kotunda bulunduğu durumda hesaplanan minimum güvenlik katsayılarına göre de paleoheyelanlar duraylıdır ancak aynı durumun depremlili koşulunda bulunan minimum güvenlik katsayılarına göre paleoheyelanlarda duraysızlık gözlenecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- AFAD, 2018, Türkiye Deprem Haritası.
- Crawford, M.H., 2012, Using Lidar to Map Landslides in Kenton and Campbell Counties, Kentucky, Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, Lexington.
- Çetin, Ö.D., Yunatçı, A.A., 2004, Bursa Şehri İçin CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Sıvılaşma Risk Haritası Oluşturulması, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Davraz, A., Ünver, Ö., 2014, İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü Dergisi.
- DSİ, 1981, İnegöl Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, 42s.
- DSİ, 2018, Bursa İnegöl Hocaköy Barajı Drone Fotoğrafları.
- Ensu Müh., 2014, Bursa İnegöl Hocaköy Barajı Kesin Proje Aşaması Jeoteknik Etüt Raporu.
- Frenlund, D.G., 1984, Analytical Methods for Slope Stability Analysis, Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, State of Art, pp. 229-250., University of Saskatchewan, Saskatchewan Canada.
- Genç, D., 2011, Zemin Mekaniği ve Temeller, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Genç, Ş., 1986, Uludağ-İznik Gölü Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No: 7853 (yayınlanmamış).
- Genç, Ş., Selçuk, H., Cevher, F., Gözler, Z., Karaman, T., Bilgi, C., Akçören, F., 1986, İnegöl (Bursa) – Pazaryeri (Bilecik) Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No: 7912 (yayınlanmamış).
- Melo, C., Sharma, S., 2004, Seismic Coefficients for Pseudostatic Slope Analysis, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 369, Canada.
- MGM, 2016, Bursa İli Ortalama Sıcaklık ve Yağış Verileri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA>, erişim tarihi: 09.12.2018.
- MTA, 2009. Bursa İli ve Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri, MTA Derleme No: 11163, Ankara.
- Okay, A.İ., 1984. Ağvanis metamorfileri ve civarının jeolojisi, MTA Dergisi, 99/100,16-31.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Okay, A.İ., Satır, M., Zatin, M., Cavazza, W., Topaz, G., 2008. An Oligocene Ductile Strike-Slip Shear Zone: The Uludağ Masif, Northwest Turkey-Implications for the Westward Translation of Anatolia, Geological Society of America. 26229, 2nd pages / 1 of 19.
- Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1991. Geology and Tectonic Evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. Bulletin of the İstanbul Technical University, 44, 191-256.
- Potter, P.E., 2007, Exploring the geology of the Cincinnati/northern Kentucky region: Kentucky Geological Survey, ser. 12, Special Publication 8, 128 p.
- Rocscience, 1996, Slide 6.0 Programı.
- Rocscience, 1996, Roclab 1.0 Programı.
- Spencer, E., 1967, A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces, Geotechnique, Vol.17.
- Spencer, E., 1973, The Trust Line Criterion in Embankment Stability Analysis, Geotechnique, Vol 23.
- Tekeli, O., Boray, A., Akyürek, B., Akay, E., 1989. Gökçedağ (Dursunbey, Balıkesir) Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 8608, Ankara.
- Terzaghi, K., 1950, Mechanisms of Landslides, Engineering Geology (Berkeley) Volume, Geological Society of America.
- Ulusay, R., 2010, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Ünver, Ö., 2010. İnegöl (Bursa) Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 83 s, Isparta.
- Varnes, D. J., 1978. Slope Movement Types and Process. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control, R. L. Schuster and R.J. Krizek (eds.), TRB, National Research Council, Washington D.C., 12-33.
- Yılmaz, M., Koral, H., 2007, Yenişehir Havzasının (Bursa) Neotektonik Özellikleri ve Jeolojik Gelişimi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, C.20 S.1 SS. 21-32.
- Whitman, R., V. and Bailey, W. A., 1967, Use of Computers for Slope Stability Analysis, Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 93, No. SM4.