

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yeter AKSOY

**ÇORLU (KARAIŞALI/ADANA) HEYELANININ JEOLJİK-
JEOTEKNİK İNCELENMESİ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇORLU (KARAIŞALI/ADANA) HEYELANININ JEOLJİK-
JEOTEKNİK İNCELENMESİ

Yeter AKSOY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
Yıl: 2022 Sayfa: 111
Jüri : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Prof. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS

2019 yılı Ocak ayında Karaisalı İlçesi, Çorlu Köyü yakınlarında bulunan Hüsür Mevkiinde meydana gelen heyelan bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Çalışmalara ilk olarak arazide başlanmış, heyelanın halihazır haritası yapılarak kayan kütlelerin boyutları ortaya çıkarılmıştır. Cingöz Formasyonu içerisinde meydana gelen hareketin K60°B doğrultulu ve 10° GD'ya eğimli düzlemsel türde bir hareket olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere sahadan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınıp heyelanın içinde geliştiği Cingöz Formasyonu'nun jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Sahadan alınan veriler doğrultusunda laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilerek büro çalışmaları için gerekli veriler sağlanmış, sahadan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılarak heyelanın içinde geliştiği Cingöz Formasyonu'nun kırılma zarfı elde edilmiştir. Büro çalışmaları bilgisayar programları ve çizimleri ile desteklenerek heyelanların oluşum mekanizması ve çevreye olan etkisi araştırılmıştır. Limit denge yöntemiyle geri analizler yapılarak heyelanı meydana getiren kohezyon ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir. Elde edilen veriler heyelanın meydana gelmesinde 2019 yılı ocak ayında mevsim normallerinin üzerinde yağın yağışlar nedeni ile birimlerin suya doymun hale gelmesi sonucu boşluk suyu basıncının artmasına bağlı olarak efektif gerilmenin azalması yanında kayan kütlelerin üzerindeki kıltaşı-kumtaşı aralanmasının varlığı, tabaka doğrultu ve eğim yönü ile tansiyon çatlaklarının da önemli rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca Google Earth görüntülerinin 2014 yılı geçmişi incelendiğinde; heyelan bölgesinde ağaç kesimi yapıldığı ve bitki örtüsünün kaldırıldığı gözlenmiş olup, kayma etkisinde bu durumun da tetikleyici unsurlar arasında olabileceği düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çorlu Heyelan, Düzlemsel Kayma, Cingöz Formasyonu, Boşluk Suyu Basıncı, Tansiyon çatlağı

ABSTRACT

MSc THESIS

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF THE ÇORLU (KARAIŞALI/ADANA) LANDSLIDE

Yeter AKSOY

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
Year: 2022 Pages: 111
Jury : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Prof. Dr. Tolga ÇAN
: Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS

The landslide that occurred in Hüsür Mevkii near the Çorlu Village of Karaisalı District in January 2019 is the subject of this study. The studies were first started in the field, the current map of the landslide was made and the dimensions of the sliding mass were revealed. It has been determined that the movement occurred within the Cingöz Formation is a planar type movement with a N60°W strike and a 10° SE dip. Disturbed and undisturbed samples were taken from the field to be used in laboratory studies and the geotechnical characteristics of the Cingöz Formation, in which the landslide developed, were determined. In line with the data obtained from the field, the data obtained from the laboratory studies were evaluated and the necessary data for the office studies were provided, and the breaking envelope of the Cingöz Formation, in which the landslide developed, was obtained by performing shear box experiments on the undisturbed samples taken from the field. The formation mechanism of landslides and their effects on the environment were investigated by supporting the office studies with computer programs and drawings. The cohesion and internal friction angles that caused the landslide were determined by back analysis with the limit equilibrium method. The obtained data indicate that the landslide occurred in January 2019 due to the precipitations above the seasonal norms, as a result of the units becoming saturated with water, the increase in pore water pressure, as well as the decrease in the effective stress, the presence of claystone-sandstone alternation on the sliding mass, the layer strike and slope direction and tension cracks, has also shown to play an important role. In addition, when the 2014 history of Google Earth image is examined; It was observed that trees were cut and vegetation was removed in the landslide area, and it was thought that this situation might be among the triggering factors in the slip effect.

Key Words: Çorlu Landslide, Planar Slide, Cingöz Formation, Pore Water Pressure, Tension crack

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Adana İli, Karaisalı İlçesi, Çorlu Köyünün yaklaşık 650 metre doğusunda yer alan Hüsür Mevkii civarında 2019 yılının Ocak ayında yağın aşırı yağışlar sonrasında meydana gelen heyelan bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır (Şekil 1.1).

Çalışılan alan, 1/2000'lik ölçeğinde halihazır harita olarak haritalanmış, jeolojik durumları incelenerek laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere sahadan, örselenmemiş ve örselenmiş numuneler alınmıştır. Heyelanın oluşmasına sebebiyet veren faktörlerin belirlenebilmesi için heyelanın oluştuğu birimlerin indeks, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayinine yönelik zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Ortaya konulan veriler ışığında heyelanın oluşum nedenleri ve çevreye olan etkisi araştırılmıştır.

Çalışma alanında Adana basenine ait iki birim gözlenmiş olup Güvenç Formasyonu ve Cingöz Formasyonu geçişleri tespit edilmiştir. Heyelanın meydana geldiği alan Cingöz ve Güvenç formasyonlarının dokanağına oldukça yakın bir lokasyonda bulunmakla birlikte heyelan Cingöz Formasyonu içerisinde meydana gelmiştir. Güvenç Formasyonu dokanağı heyelanın 3 km güneyinden geçmektedir (Şekil 4.2). Heyelan, Varnes (1978)'e göre düzlemsel türde bir kütle hareketi olup, kayma düzlemi K60°B doğrultulu ve 10° GD'ya eğimlidir. Bu aynı zamanda heyelan külesini oluşturan tabakaların doğrultu ve eğimidir.

Adana Baseninde heyelanın içerisinde meydana geldiği Cingöz Formasyonu; Schmidt (1961) tarafından adlandırılmış, yazar tarafından birbiri ile yanal ve düşey geçişli Köpekli, Ayva ve Topallı üyelerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Daha sonra Yetiş ve Demirkol (1986) ile Yetiş (1988) yaptıkları çalışmalarda Köpekli şeyl üyesini Güvenç Formasyonu içerisinde olduğunu düşünmüşler ve Cingöz Formasyonunun Güvenç Formasyonu içerisinde iki büyük lob şeklinde gelişmiş türbiditik kumtaşlarından oluştuğunu anlatmışlardır.

Cingöz Formasyonu, kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve tabanda gri renklidir. Bu kesimde birim, tablamsı kalın katmanlıdır. Üst kesimlerde ise kumtaşı-şeyl ardalanması hakimdir. Kumtaşı düzeyleri genellikle aşınmalı bir taban üzerinde, keskin bir dokanakla başlayıp oyu dolgu yapıları ile çizikler ve kaval yapıları sunmaktadır. Çok ince-ince orta-kalın tabakalanma sunan birim 3500 m kalınlıktadır. Alt-Orta Miyosen yaşlı birim; tabanda Girdirli Formasyonu, Kaplankaya Formasyonu, Güvenç Formasyonu ve Karaisalı Formasyonu ile tavanda ise Güvenç Formasyonu ile geçişlidir.

Çorlu (Karaisalı/Adana) Heyelanının oluşum mekanizması, kayma yönü, boyutu, kapladığı alan ve kayan kütlelerin hacmini bulmak için 1/2000 ölçekli halihazır harita hazırlanmış ve daha sonra 1/250 ölçekli A-A' (KB-GD), B-B' (KB-GD) ve C-C' (KB-GD) güzergahı boyunca 3 adet enine kesit hazırlanmıştır (Şekil 4.16, 4.17, 4.18). Ayrıca, heyelanın geometrisini belirlemek amacıyla D-D' (KB-GD), E-E' (GB-KD), F-F' (GB-KD) ve G-G' (GB-KD) güzergahı boyunca 4 adet kütleli dik kesen enine kesit alınmıştır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22).

Heyelanı haritalamak için arazide pusula, şerit metre, açı ölçer, milimetrik kağıt, enine kesitlerin hazırlanması için GPS total station ve Netcad programı ile Autocad programları kullanılmıştır. Halihazır haritalama sonunda heyelanın 71 m genişliğinde 317 m uzunluğunda, yatay olarak kayma miktarının 40 metre ve kayma düzleminin yüzeyden derinliği ise 14,30 metre olarak belirlenmiştir. Kayan kütle alanı $19511,1 \text{ m}^2$, hacmi ise yaklaşık olarak 48993 m^3 tür.

Çizelge 4.1 incelendiğinde 2013-2022 yılları toplam yıllık yağış ortalamaları karşılaştırıldığında metrekareye düşen yağış miktarının 2019 yılında en fazla yağış miktarı ile toplamda $1429 \text{ kg/m}^2/\text{ay}$ olarak gerçekleştiği görülmüştür. Çizelge 4.2'ye bakıldığında Aralık-Ocak-Şubat ayları incelendiği zaman en yüksek yağışların bu 3 aylık periyotlarda gerçekleştiği görülmüştür. Bu 3 ayın yağış ortalamalarında ise en fazla toplam ortalama yağış miktarı, 2018-2019 yıllarında ve $258,67 \text{ kg/m}^2/\text{ay}$ olarak gerçekleşmiştir. Yöre halkı ile yapılan görüşmelerde heyelanın 17 Ocak 2019 tarihinde meydana geldiği tespit edilmiş, 2019 yılına ait

günlük yağış verileri incelendiğinde 16 Ocak 2019 tarihinde bir yılın toplamda metrekaresine düşen en yüksek yağış miktarı $111,8 \text{ kg/m}^2/\text{gün}$ olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.24, Çizelge 4.3,4.4).

Atterberg (Kıvam) limitleri deneyleri ile tane boyu analizinde hidrometre ve elek analizi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre heyelanın içerisinde geliştiği Cingöz Formasyonu'nun killi seviyesi Şekil 4.31 ve EK 3'de gösterilen USCS birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılmış olup CL türü zemin sınıfına girmektedir.

Yöre halkı ile yapılan görüşmelerde bölgede daha önce de heyelan olduğu öğrenilmiş, bu sebeple sahada gerçekleşmiş heyelanları temsil etmek amacıyla, araziden alınan örselenmemiş numunelerde laboratuvar ortamında yapay olarak kesme düzlemi oluşturulmuş, ve kesme kutusu deneyleri bu şekilde hazırlanmış olan örselenmemiş numune üzerinde yapılmıştır. Böylelikle zeminin rezidüel (kalıntı) kohezyon (c) değeri $0,18 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $15,8^\circ$ ve pik kohezyon (c) değeri $0,19 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısı (ϕ) ise $34,0^\circ$ olarak bulunmuştur. Limit denge yöntemiyle de geri analizler yapılarak heyelanı meydana getiren olası kohezyon değerinin $0,16-0,22 \text{ kg/cm}^2$ aralığında ve içsel sürtünme açısı değerinin ise $12,5^\circ-20^\circ$ aralığında olduğu tespit edilmiştir. Geri analiz değerleri ile kesme kutusu deney sonuç verileri grafikte karşılaştırılarak pik ve rezidüel (kalıntı) parametreleri ile kaymanın oluşum esnasındaki gerilme durumu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bölgeye düşen aşırı yağışlar nedeniyle zemin suya doymun hale gelmiş ve bunun sonucunda boşluk suyu basıncı artarak efektif gerilmeler azalmış ve rezidüel (kalıntı) gerilmeler etkisi altında Çorlu Heyelanı meydana gelmiştir.



TEŞEKKÜR

Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamış olduğum Yüksek Lisans Tezimin hazırlanmasında bana gerekli imkanları sunan, çok değerli öneri ve yardımları ile bana destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ÇETİN' e teşekkür ederim.

Bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Tolga ÇAN ve Prof. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Karaisalı Belediye Başkanı Sayın Saadettin Aslan ve ekibine teşekkür ederim.

Yardımlarıyla tezimin tamamlanmasında katkısı olan Arş. Gör. Emre PINARCI'ya teşekkürlerimi sunarım

Çalışmam süresince manevi desteklerini yanımda hissettiğim çok sevdiğim değerli arkadaşlarım Şehnaz HAMZADI'ya, Jeoloji Mühendisi Ülkü KALİK'e teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem Sultan AKSOY ve babam Sadık AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması.....	3
1.1.1. Kaymalar	5
1.1.1.1. Düzlemsel Kayma	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Materyal	11
3.2. Metod	11
3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar	12
3.2.2. Arazi Çalışmaları	12
3.2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	13
3.2.3.1. Tane Boyu (Granülometre) Analiz Deneyi	14
3.2.3.2. Su İçeriği Deneyi.....	19
3.2.3.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri	21
3.2.3.4. Plastisite İndisi, Kıvamlılık İndisi (Konsistans), Likitlik İndisi	26
3.2.3.5. Özgül Ağırlık Deneyi	27
3.2.3.6. Boşluk Oranı, Porozite ve Doygun Birim Hacim Ağırlığı Tayini.....	29

3.2.3.7. Kesme Kutusu Deneyi.....	32
3.3. Büro çalışmaları.....	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37
4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi	37
4.1.1. Senozoyik.....	41
4.1.1.1. Tersiyer.....	41
4.1.1.1.(1). Cingöz Formasyonu.....	41
4.1.1.1.(2). Güvenç Formasyonu.....	44
4.1.1.1.(3) Karaisalı Formasyonu.....	44
4.2. Heyelanın haritalanması ve Enine kesit alımı.....	44
4.3. İklim ve Bitki Örtüsü	59
4.4. Yağış Verileri.....	59
4.4.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	65
4.4.2.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri.....	65
4.3.1.2. Zeminlerin İndeks Özellikleri.....	67
4.3.1.3. Zeminlerin Mekanik Özellikleri	77
4.3.1.3.(1). Duraylılık Analizleri.....	85
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
ÖZGEÇMİŞ	99
EKLER	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Heyelan Tipleri	3
Çizelge 4.1. Çalışma sahasının 2013-2022 yılları aylık yağış verileri (kg/m ² /ay)	60
Çizelge 4.2. Aralık-Ocak-Şubat ayları arasındaki 3 aylık yağış ortalaması (kg/m ² /ay)	61
Çizelge 4.3. 2018 yılı günlük yağış miktarları	63
Çizelge 4.4. 2019 yılı günlük yağış miktarları	64
Çizelge 4.5. Özgül ağırlık deneyi hesabı	66
Çizelge 4.6. Boşluk oranı, porozite ve doymun birim hacim ağırlık hesabı	66
Çizelge 4.7. Tane boyu yüzdeleri	67
Çizelge 4.8. Atterberg (Kıvam) Limitleri, Plastisite İndisi, Kıvamlılık İndisi, Likitlik İndisi ve Zemin Sınıfı	70
Çizelge 4.9. Likit Limit Deney sonuçları	70
Çizelge 4.10. Plastik Limit Deney sonuçları	71
Çizelge 4.11. Likit Limit Deney sonuçları	71
Çizelge 4.12. Plastik Limit Deney sonuçları	73
Çizelge 4.13. Likit Limit Deney sonuçları	73
Çizelge 4.14. Plastik Limit Deney sonuçları	74
Çizelge 4.15. İnce taneli zeminlerin Kıvamlılık İndeksine göre sınıflandırılması	75
Çizelge 4.16. İnce taneli zeminlerin Likitlik İndeksine göre sınıflandırılması	75
Çizelge 4.17. İnce taneli zeminlerin Plastisite İndeksine göre sınıflandırılması ...	76
Çizelge 4.18. Cingöz Formasyonu'na ait zeminlerin Kıvamlılık İndisi, Likitlik ve Plastisite İndisi değerlerinin hesaplanması ve sınıflandırılması	76
Çizelge 4.19. Düşey ve yanal gerilme hesabı	79
Çizelge 4.20. Pik ve rezidüel dayanım parametreleri tablosu	83

Çizelge 4.21. SLIDE yazılımından ve kesme kutusu deneylerinden elde edilen
c ve ϕ değerleri..... 86



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Yer Bulduru Haritası	2
Şekil 1.2.	Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri.....	4
Şekil 3.1.	Hidrometre Deneyi	19
Şekil 3.2.	a) Elek analizi deney aleti (üçlü set), b) Elek analizi deney aleti (tekli set).....	20
Şekil 3.3.	Likit Limit deneyinin yapılışı; a) Casagrande aleti ve zemin numunesi içerisinde likit limit kaşığı ile açılmış oyuk, b) Deney aşamasından görünüm (genel), c) Deney aşamasından görünüm (yakın plan).....	24
Şekil 3.4.	Özgül ağırlık deney seti.....	29
Şekil 3.5.	Kepçe (back-hoe) yardımı ile arazide numune alım aşaması.	31
Şekil 3.6.	Örselenmemiş numune alımı; a) Numunenin balmumu-parafın karışımıyla izole edilmesi b) İzole edilen numunelerin korunaklı olarak muhafaza edilmesi.....	32
Şekil 3.7.	Kesme kutusu deneyi; a) Kesme kutusu deney aleti (genel görünüş), b) Kare ring içerisine yerleştirilmiş numune, c) Tokmak.....	35
Şekil 4.1.	Adana Baseninin genelleştirilmiş Tersiyer stratigrafi istifi.....	38
Şekil 4.2.	Çalışma Alanı Jeoloji Haritası.....	40
Şekil 4.3.	Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması, (Batıdan Doğuya bakış).....	42
Şekil 4.4.	Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması, (Doğudan Batıya bakış).....	42
Şekil 4.5.	Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Kuzeyden Güneye bakış)	43
Şekil 4.6.	Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Batıdan doğuya bakış).....	43

Şekil 4.7.	İnceleme alanının halihazır haritası (1/2000 ölçek)	46
Şekil 4.8.	Total Station GPS ile sahada ölçüm yapılması (Heyelanın alt kısmı).....	47
Şekil 4.9.	Total Station GPS ile sahada ölçüm yapılması (Heyelanın üst kısmı).....	47
Şekil 4.10.	Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Kuzeydoğudan Güneydoğuya bakış)	48
Şekil 4.11.	Heyelan sahasının 2010 yılındaki Google Earth görüntüsü	48
Şekil 4.12.	Heyelan sahasının 2013 yılındaki Google Earth görüntüsü	49
Şekil 4.13.	Heyelan sahasının 2014 yılındaki Google Earth görüntüsü	49
Şekil 4.14.	Heyelan sahasının 2017 yılındaki Google Earth görüntüsü	50
Şekil 4.15.	Heyelan sahasının 2019 yılındaki Google Earth görüntüsü	50
Şekil 4.16.	Çorlu heyelanının A-A' güzergahı boyunca enine kesiti	52
Şekil 4.17.	Çorlu heyelanının B-B' güzergahı boyunca enine kesiti.....	53
Şekil 4.18.	Çorlu heyelanının C-C' güzergahı boyunca enine kesiti.....	54
Şekil 4.19.	Çorlu heyelanının D-D' güzergahı boyunca enine kesiti.	55
Şekil 4.20.	Çorlu heyelanının E-E' güzergahı boyunca enine kesiti.	56
Şekil 4.21.	Çorlu heyelanının F-F' güzergahı boyunca enine kesiti.....	57
Şekil 4.22.	Çorlu heyelanının G-G' güzergahı boyunca enine kesiti.	58
Şekil 4.23.	Aralık-Ocak-Şubat aylarına ait 3 aylık yağış ortalaması (kg/m ² /ay).....	61
Şekil 4.24.	2019 yılı Ocak ayı günlük yağış miktarları (kg/m ² /gün) (Not: Ocak ayının günlük verilerinde 0,0 olan yağış miktarları grafiğe alınmamıştır).	65
Şekil 4.25.	Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-1).....	68
Şekil 4.26.	Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-2).....	68
Şekil 4.27.	Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-3).....	69
Şekil 4.28.	Likit Limit grafiği (Deney-1)	70
Şekil 4.29.	Likit Limit grafiği (Deney-2)	72

Şekil 4.30. Likit Limit grafiği (Deney-3)	74
Şekil 4.31. Zeminin Casagrande Plastisite Diyagramı üzerinde gösterilmesi (Casagrande, 1948 ve Howard, 1977'den geliştirilmiştir.)	77
Şekil 4.32. Pik kesme kutusu deneylerine ait gerilme deformasyon eğrileri.....	80
Şekil 4.33. Rezidüel kesme kutusu deneylerine ait gerilme deformasyon eğrileri	81
Şekil 4.34. Pik ve rezidüel kırılma zarfları	83
Şekil 4.35. Pik ve Rezidüel kırılma zarfları ile kayma düzlemi üzerinde doğun ve doğun olmayan ortamlardaki stres durumları temsil eden Mohr daireleri ilişkileri	84
Şekil 4.36. Geri analiz ve kesme kutusu deney sonuçları ilişkisi	86
Şekil 4. 37. Şevin kayma gerçekleşmeden önceki durumunu gösterir A-A' kesiti	87
Şekil 4. 38. Şevin kayma gerçekleşmeden önceki durumunu gösterir B-B' kesiti	88
Şekil 4. 39. Şevin kayma gerçekleşmeden önceki durumunu gösterir C-C' kesiti	89



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Numune alanı (cm ²)
A ₀	: Deney başı numune alanı
A _C	: Aktivite
A _d	: Düzeltilmiş Alan (cm ²)
A _J	: Mezür kesit alanı (cm ²)
ASTM	: American Society of Testing Materials
C	: Kohezyon (kg/cm ²)
CD	: Konsolidasyonlu-Drenajlı Kesme Deneyi
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CI	: Kıvam indisi
CL	: Düşük plastisiteli kil
CU	: Konsolidasyonlu-Drenajsız Kesme Deneyi
d	: Hidrometre düzeltme değeri
D	: Tane çapı (mm)
D ₀	: Düzeltilmiş okuma (mm)
e	: Boşluk oranı (birimsiz)
e ₀	: Deney başı boşluk oranı (birimsiz)
G _S	: Numune ait özgül ağırlık (birimsiz)
G _{S(Tx)}	: Zeminin özgül ağırlığı (birimsiz)
G _{W(Tx)}	: Suyun Tx sıcaklığındaki özgül ağırlığı
h	: Numune boyu (cm)
H _S	: Katı (Tane) Kısımın Yüksekliği (cm)
H ₀	: Zemin numunesi deney başlangıcındaki kalınlık (gr/cm ³)
J	: 0.002 mm'den küçük tanelerin ağırlıkça yüzdesi (kil yüzdesi) (%)
LI	: Likitlik İndisi
LL	: Likit Limit (%)
N	: D tane çapından küçük tanelerin yüzdesi (%)

- n : Porozite (%)
PI : Plastisite İndisi (%)
PL : Plastik Limit (%)
R : Numunenin çapı (cm)
RL : Rötire Limit (%)
r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması
r_a : Deney sırasında süspansiyondaki hidrometre okuması
R_A : Ring ağırlık (gr)
R_D : Ring çapı (cm)
R_L : Ring boyu (cm)
r_s : Sudaki hidrometre okuması
S : Doygunluk derecesi
t : Toplam geçen zaman (dk)
t₁ : Deney süresi (sn)
Tgü : Güvenç Formasyonu
Tc1 : Cingöz Formasyonu
USCS : Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi
UU : Konsolidasyonsuz-Drenajsız Kesme Deneyi
V_O : Deney başı numune hacmi (cm³)
V_H : Hidrometre hacmi (cm³)
V_S : Deney başı numune içi katı (tane) hacmi (cm³)
V_{sp} : Süspansiyonun hacmi (cm³)
V_T : Toplam hacim (cm³)
V_V : Numune içi boşluk hacmi (cm³)
W : Deney başı su içeriği (%)
ω_f : Deney sonu su içeriği (%)
ω_n : Numune su içeriği (%)
W_{Yaş} : Yaş numune ağırlığı (gr)
W_{kap} : Kap ağırlık (gr)

W_{kuru}	: Kurutulmuş numune ağırlık (gr)
W_{numune}	: Deney sonu kurutulmuş numune ağırlık (gr)
$W_{psw(Tx)}$: Tx sıcaklığındaki numune + piknometre + su ağırlığı (gr)
$W_{pw(Tx)}$: Tx sıcaklığındaki su ağırlığı+piknometre (gr)
W_s	: Kuru numune ağırlık (gr)
W_{skn}	: Deney sonu kuru numune ağırlık (gr)
W_{su}	: Su ağırlığı (gr)
W_T	: Toplam ağırlık (gr)
Z_r	: Süspansiyonun yüzeyinden hidrometre hacim merkezine olan uzaklığı (cm)
ΔL	: Toplam deformasyon (cm)
ϕ	: İçsel sürtünme açısı ($^{\circ}$)
σ_1	: Serbest basınç gerilmesi (kg/cm^2)
T	: Kesme gerilmesi (kg/cm^2)
σ_n	: Normal gerilme (kg/cm^2)
T_{max}	: Kayma gerilmesi (kg/cm^2)
ϵ_v	: Düşey deplasman (mm)
ϵ_h	: Yatay deplasman (mm)
σ	: Gerilme (kg/cm^2)
$\Delta \sigma$: Gerilme artışı
μ	: Deney sıcaklığındaki suyun viskozitesi
γ_d	: Suyu doymun birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_s	: Katı (tane) birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)



1. GİRİŞ

Yeryüzünün %24'ünü kaplayan eğimli bölgelerde, jeolojik yapı ve litolojiye bağlı olarak sıkça görülen doğal afetlerden bir tanesi de heyelanlardır (Price ve Butt, 2000). Arazi yapısı eğimli, hassas yapılı zeminler, aşırı yoğun yağışlar, uygun jeolojik yapı ile litoloji ve deprem aktiviteleri; bu alanları heyelanlara karşı aktif hale getirmektedir. Ülkemizde kütle hareketlerinin özellikle de heyelanların, neden olduğu kayıplar oldukça yüksek olup, her yıl ülkemizde görülen heyelanlar, çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açmaktadır (Duman ve ark., 2005).

Adana İli, Karaisalı İlçesi, Çorlu Köyünün yaklaşık 650 metre doğusunda yer alan Üsür Mevkii civarında 2019 yılının Ocak ayında yağın aşırı yağışlar sonrasında heyelan meydana gelmiştir (Şekil 1.1). Bu heyelanın jeolojik-jeoteknik açıdan incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi olarak yaptığım çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Çalışmalarda heyelan arazisi 1/2000'lik ölçeğinde halihazır harita olarak haritalanmış, jeolojik açıdan incelenerek laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere gerekli olan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Heyelanın oluşumuna sebebiyet veren etkenlerin belirlenmesi için heyelanın oluştuğu birimlerin indeks, fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayin edilmesine yönelik zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Ortaya konulan veriler ışığında heyelanın oluşum nedenleri ve çevreye olan etkisi araştırılmıştır. Limit denge yöntemiyle SLIDE yazılımı kullanılarak heyelan oluşumu esnasında etkin olan olası kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ortaya konmuştur.



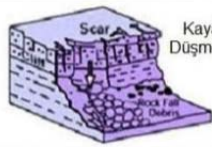
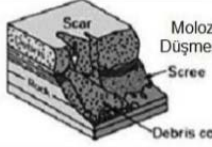
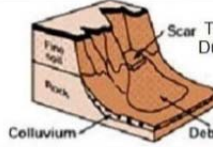

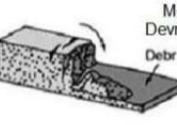
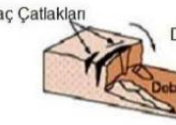

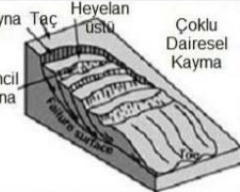
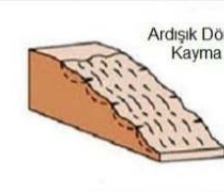
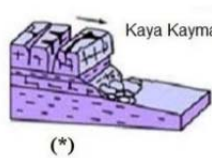
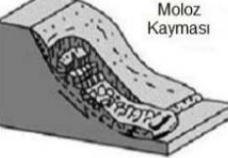
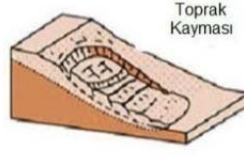

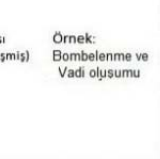
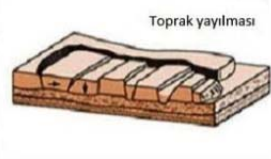
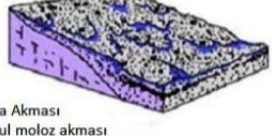
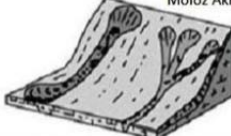
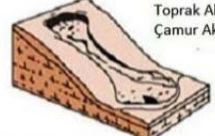
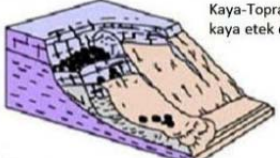

Şekil 1.1. Yer Bulduru Haritası

1.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Heyelanlar oluşum mekanizmalarına göre çeşitli sınıflandırmalar ile tanımlanmıştır. Varnes (1978) yaptığı sınıflandırmada yamaç hareketlerini aşağıdaki gibi sınıflandırmaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Heyelan Tipleri (Varnes, 1978)

HAREKETİN TİPİ		MALZEMELERİN CİNSİ		
		ANAKAYA	MÜHENDİSLİK ZEMİNLERİ	
DÜŞMELER		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
DEVRİLMELER		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
KAYMALAR	DÜZLEMSEL	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
	DAİRESEL (ROTASYONEL)			
YANAL KAYMALAR		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
AKMALAR		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
KOMPLEKS		İki ya da daha fazla ana hareket tipinin kombinasyonu		

Malzeme Hareketin Türü	KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER	 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi Scree Debris cone	 Toprak Düşmesi Colluvium Debris cone
DEVİLMELER	 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi Debris cone	 Taç Çatlakları Toprak Devrilmesi Debris cone
KAYMALAR	DÖNEL  Tek Dairesel Kayma	DÖNEL  İkincil ayna Ayna Taç Heyelan Çoklu Dairesel Kayma	DÖNEL  Ardışık Dönel Kayma
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)  Kaya Kayması (*)	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)  Moloz Kayması	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)  Toprak Kayması
YAYILMALAR	 Örtü kayası Normal yataya yakın yapı Dişbükey eğim ve fay yapısı Çatlak Tabakların İncelmesi Taban bindirmesi düzlemi Sağlam ana kaya	 Örnek: Bombelenme ve Vadi oluşumu	 Toprak yayılması
AKMALAR	 Kaya Akması Buzul moloz akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması Çamur Akması
KARMAŞIK	 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü	 Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde	

Şekil 1.2. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türleri (Varnes, 1978).

1.1.1. Kaymalar

Kayma; makaslama yenilmeleri sonucunda, bir ya da birden fazla bloğun tanımlanabilen bir kayma yüzeyi boyunca şev aşağı yönünde hareket etmesi olayına denir. Kayma ile denge kaybı, bir ya da daha fazla yüzey boyunca kitle içinde uyanan kayma direncinin azalması ile oluşur. Kayma eğer bir düzlemde olursa, kayma sonucunda kütlede kırılma ve büyük şekil değiştirmeleri görülür (Ulusay, 2002).

1.1.1.1. Düzlemsel Kayma

Tabakalı kayalarda ve ortamda tek ya da birden fazla süreksizlik yüzeyinin bulunması durumunda oluşur. Duraysızlığın sebebi kayma difrençlerindeki farklılıktır. Dönel hareketten farklı bir şekilde dengeyi bozan kuvvetlerdeki zaman veya hareket miktarında çökme sonucu kopmalar tipik olarak belirti olup, kütlelerin durumunda aşırı deformasyonlar izlenmez. Ötelenmeli kaymalar, düz kayma yüzeyleri boyunca meydana gelen kütle hareketleri şeklinde ifade edilebilir. Bu yüzeyler genelde zayıf zonlar ile tabaka düzlemleridir ve kalınlık/uzunluk oranı genel olarak 0.1'den küçüktür. Düzlemsel kayma; zayıf bir düzlem üzerinde şevin aşağı yönünde olan harekete denir. Kama türü kayma; iki süreksizliğin oluşturduğu kama kütlelerinin, kesişme hattı devamınca şev aşağı yöndeki hareketine denilir. Bazen de, birden fazla yüzey üzerinde hareket olabilir. Bu tür duraysızlıklara da iki ya da çok yüzeyli kayma denilir (Ulusay, 2002). Bu çalışmanın konusunu oluşturan Çorlu heyelanı da düzlemsel bir heyelandır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma sahası ve yakın civarında bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğu Genel Jeoloji amaçlıdır. Çalışma sahası ve yakın civarında yapılan Mühendislik Jeolojisi çalışmalarında son zamanlarda ağırlık verilmiştir.

Schmidt (1961), 1957-1960 yıllarında Adana baseni genel stratigrafisini çalışmış olup; bu çalışmaya göre 47 kaya birimini ayırtlayarak adlandırmıştır. Cingöz Formasyonu Birimi ilk kez adlandırılmış, birbiri ile düşey ve yanal geçişli Köpekli, Ayva ve Topallı üyelerinden oluştuğu belirtilmiştir.

İlker (1975), Adana havzasının kuzeybatı kısmının Jeolojisini incelemiş, bölgenin 1/50000 ölçeğinde jeoloji haritasını yapmıştır. Havzanın petrol olanaklarını incelemiş, bu havzada farklı zamanlar da oluşmuş olan formasyonları incelemiştir.

Nazik (1983), Karaisalı civarındaki Güvenç Formasyonu içerisinde gelişmiş planktonik foraminiferler varlığına göre yaptığı biyostratigrafik incelemede birim içinde bulundurduğu 22 planktonik foraminiferlere ve ayırtladığı biyozonlar ile çökelin Landhiyen-Serravaliyen yaşında olduğunu ve ortamın pelajik olduğunu tespit etmiştir.

Yetiş ve ark. (1986), Köpekli şeyl üyesinin Güvenç Formasyonu içinde varolduğunu düşünmüşler, Cingöz Formasyonu'nun varlığının Güvenç Formasyonu içerisinde iki adet büyük lob şekilde gelişmiş olan türbiditik kumtaşlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

Çaynak ve ark. (1991), Çatalan barajı rezervuarında kalan Karaisalı-Karsantı karayolu için, Burdigaliyen ve Serravaliyen yaşlı Güvenç Formasyonu içerisinde açılmış olan yeni yol yarmasında meydana gelmiş düzlemsel kaymanın sebeplerini incelemişlerdir.

Gürbüz (1993), Sedimantolojik incelemeler neticesinde Köpekli şeyl üyesinin Schmidt (1961) tarafından belirtildiği gibi Cingöz Formasyonu'na ait olmadığını gözlemlemiştir. Ayrıca Yetiş ve arkadaşları (1986) Cingöz Formasyonu'nun iki büyük lob olarak değil, iki büyük denizaltı yelpazesi şeklinde olduğunu, sığ denizel ortam da çökelen sedimanlar olarak Köpekli şeyllerinin varlığını saptamış, sonuç olarak birim Kaplankaya Formasyonu'na ilave edilmiştir.

Özçelik ve ark. (1993), Adana baseninde Güvenç Formasyonu'na (Alt-Orta Miyosen) ait fasiyes ve ortamsal durumlarını tespit etmişlerdir.

Özçelik ve Yetiş (1994), Karaisalı, Güvenç, Kuzgun (2113 m), Çukurköy (108 m) Formasyonları ölçülerek; şeyl yapıllı olan Güvenç Formasyonu'nun Adana baseni içerisinde en yüksek kalınlığa ulaştığı stratigrafik kesitlerinden faydalanılarak planktik foraminifer biyostratigrafisini belirlemiştir.

Günalan (1996), Eğlence köyü kuzeydoğusundaki Torunsolaklı civarında meydana gelen heyelanların jeolojik-jeoteknik ve mühendislik özelliklerini ortaya koymuştur.

Sayarlan ve ark. (1997), Güvenç Köyü civarlarındaki killi seviyelerden elde edilen sediman numunelerinin minerolojik içeriği incelenerek, bu numuneler ile yapılmış testler sonucu tuğla endüstrisi için uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

Çetin (1999), "Heyelan Çalışmalarına Çok Disiplinli Bir Yaklaşım: Karaisalı Heyelanları" adlı çalışmasında heyelanlar ile bölgeye düşen yağış miktarı, meydana gelen heyelanlar üzerindeki ağaçların yaş halkaları, heyelanların meydana geldiği birimlerin tabaka doğrultu ve eğimi, çatlak sistemi, kumtaşı yüzdesi ve bazı heyelanlar üzerinde bulunan eski nehir taraçaları arasında yakın ilişkilerin olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Gökoğlu (2003), yaptığı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Güvenç Formasyonu ve Eski Alüvyon (Nehir Taraçası) birimlerinin jeoteknik özellikleri ile

bu birimler içerisinde meydana gelen düzlemsel-dairesel iki adet heyelanın Jeolojik-Jeoteknik özelliklerini araştırmıştır.

Erdeve (2006), yaptığı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Aralık 2001 ve Ocak 2002 tarihlerinde 100. Yıl (Adana) Bölgesi batı kesiminde Handere Formasyonu'nun içerisinde meydana gelen heyelanların Jeolojik-Jeoteknik özelliklerini incelemiştir.

Pınarcı (2011), yaptığı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Adana ili, Karaisalı ilçesi, Haç Gediği mevkiinde meydana gelen heyelan üzerinde yaptığı çalışmada, Denrokronolojik analizlerin sonucunda oluşturulan kronolojiler ile heyelanın geçmiş hareketinin yaşını tespit etmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışılan heyelan sahası; Adana'ya yaklaşık 49 km, Karaisalı ilçesine yaklaşık 15 km uzaklıktaki Çorlu köyünün yaklaşık 650 metre doğusunda bulunan Hüsür mevkiinde bulunmaktadır.

Adana Baseninde heyelanın içerisinde geliştiği formasyon Cingöz Formasyonu; Schmidt (1961) tarafından adlandırılmıştır, birbiriyle yanal ve düşey geçişli Köpekli, Ayva ile Topallı üyelerinden oluştuğunu tespit etmiştir. Yetiş ve Demirkol (1986) ile Yetiş (1988) ise yaptığı çalışmalarda Köpekli şeyl üyesinin Güvenç Formasyonu içerisinde bulunduğunu düşünmüşlerdir. Güvenç Formasyon içerisinde iki lob olarak gelişmiş şekilde türbiditik kumtaşlarından meydana geldiğini düşündükleri Cingöz Formasyonunun varlığını ortaya koymuşlardır.

Cingöz Formasyonu Birimi, kumtaşı, çakıllı kumtaşı, tabanda gri renkten oluşan kumtaşı yapılarıdır. Birim, Kayma yapıları ile ara ara büyük ölçekte çapraz katmanlanma sunar, belirgin tablamsı kalın katmanlıdır. Üst kısımlarda hakim olan kumtaşı-şeyl ardalanmasıdır. Kumtaşı düzeyleri genellikle aşınmalı bir taban üstünde keskin bir dokanakla başlayarak oygu dolgu yapılarıyla çizikler ve kaval yapıları ortaya koymaktadır. Orta-kalın ve çok ince-ince tabakalanma oluşturan birim 3500 m kalınlıktadır. Alt-Orta Miyosen yaş birim; tabanda Girdirli-Kaplankaya-Güvenç-Karaisalı Formasyonu olup tavanda da Güvenç Formasyonu ile geçişlidir.

3.2. Metot

Çalışma dört aşama olarak gerçekleştirilmiştir. Arazi öncesi ile arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve son olarak büro çalışmaları şeklinde tamamlanmıştır.

İlk süreçte çalışma alanına ait topografik ayrıca jeoloji haritaları elde edilmiştir. Çalışılacak bölge ile alakalı önceki yapılan çalışmalar derlenmiştir.

İkinci aşama olarak sahaya gidilerek çalışmalar yapılmış, heyelan halihazır olarak haritalanmış ve laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere örselenmiş ve örselenmemiş numuneler elde edilmiştir.

Üçüncü aşama da, sahadan alınan numunelerden zemin mekaniği test-deneyle yapılmıştır. Sahadan örselenmiş, örselenmemiş olarak alınan numuneler üzerinde zeminin mekanik, fiziksel ve indeks özellikleri belirlenmiştir.

Dördüncü ve son aşama olarak, arazi ile laboratuvar çalışmalarından çıkartılan sonuçlar büro çalışmaları ile değerlendirilip yorumlanarak çalışma tamamlanmıştır.

3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar

Bu süreçte çalışma sahasına ait 1/25000 ölçekli topografik harita ile 1/100000 ölçekli jeoloji haritası temin edilmiş ve bölge ile ilgili önceki çalışmalar derlenmiştir. Bununla birlikte Karaisalı Meteoroloji İstasyonunun bağlı olduğu Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğünden bölgenin 2013-2022 yıllarına ait yağış kayıtları temin edilerek arazi öncesi çalışmalar tamamlanmıştır.

3.2.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarında heyelan 1/2000 lik ölçeğinde halihazır harita olarak haritalanmıştır. Heyelanın haritalanmasından sonra 1/250 Ölçeğinde KB-GD yönünde üç adet enine kesit hazırlanmıştır. Bunlara ek olarak, heyelanın geometrisini belirlemek amacıyla KB-GD ve GB-KD yönlerinde toplamda 4 adet kütleyi dik kesen enine kesit hazırlanmıştır.

Heyelan haritası yapımında şerit metre ve pusula ile ölçüm yapıp heyelan sahasına ait detay kesitlerinin çıkarılması için veriler alınmıştır

Heyelan alanından; örselenmemiş numuneler alınmış ve boşluk oranı ile porozite tayini daha sonra ise doymun birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur. Atterberg Limitleri deneyleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi için örselenmiş numuneler alınmıştır. Numune alımı aşamasında araç ve gereç olarak,

kepçe (back-hoe), numune torbası, çapa, kürek, tülbent bezi, metre, bıçak, bal mumu, parafin, piknik tüpü kullanılmıştır.

Blok olarak alınmış olan örselenmemiş numunelerin su içeriğinde değişiklik olmaması amacıyla numuneler, bal mumu parafin karışımı ile izole altına alınmıştır. İzole altına alma işlemi; blok numunenin hava ile temasını kesecek şekilde tülbent beziyle sarılarak, tülbent bezinin tamamına fırça yardımıyla bal mumu ve parafin karışımı eriyiğinin sürülmesi ile işlem tamamlanmıştır. Son olarak numuneler torbalara konarak etiketlenmiştir.

Heyelan sahasında kepçe (back-hoe) yardımı ile çıkarılan blok numuneler ve sahanın fotoğrafları çekilmiştir. Heyelan alanı içindeki ve dışındaki birimlere ait tabaka eğim doğrultuları ölçülmüş, yöre halkı ile görüşülerek heyelan oluşumu ile ilgili bilgiler alınarak arazi çalışmaları son bulmuştur.

3.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları için, çalışma alanından örselenmemiş (blok) ve örselenmiş olarak alınan numuneler laboratuvar ortamına getirilerek test ve deneylere tabi tutulmuştur. Çalışma alanından alınan örselenmiş numuneler için tane boyu analiz, Atterberg Limit deneyleri, doğal birim hacim ağırlık ve su içeriği tayin, örselenmemiş numuneler üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılarak bu deney sonuçları ile zeminin indeks ve dayanım özellikleri irdelenmiştir.

Bunlar;

Mühendislik/Dayanım Özellikleri

- Kesme direnci (τ)
- Kohezyon (c)
- İçsel sürtünme (kayma direnci) açısı (ϕ)

Temel (Fiziksel) Özellikler

- Özgül ağırlık (G_s)
- Tane birim hacim ağırlık (γ_s)

- Suyun birim hacim ağırlığı (γ_w)
- Doğal su içeriği (W_n)
- Doğal birim hacim ağırlık (γ_n)
- Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)
- Boşluk oranı (e)
- Porozite (n)
- Doygunluk derecesi (S_r)
- Doygun birim hacim ağırlık (γ_d)

İndeks Özellikleri

- Tane boyu analiz
- Atterberg (Kıvam) Limitleri
 - Likit Limit Deneyi(LL)
 - Plastik Limit Deneyi (PL)
- Plastisite indisi (PI)
- Kıvamlilik indisi (I_c)
- Likitlik indisi (LI)

3.2.3.1. Tane Boyu (Granülometre) Analiz Deneyi

Zeminlerde katı kısmı oluşturan taneler şekil ve boyut açısından farklıdır. Zeminler için çaplarına göre tane boyutları blok, kum, çakıl, kil, silt olarak adlandırılır. Deneyin amacı, verilen zeminde mevcut olan her tane boyutunun hangi orana sahip olduğunun tespit edilmesi ve buna göre sınıflandırılmasıdır.

İri taneli (kum, çakıl) olan zeminde tane boyu dağılımı, daha önceden belirlenmiş elek serileriyle elek analizi yapıp bulunur. İnce taneli (silt, kil) olan zeminlerde de hidrometre yöntemi kullanılarak tane boyu dağılımı tespit edilir. Elek analizinde; 200 numaralı eleğin (0,075 mm) üstünde kalan numune için

uygulanırken, hidrometre analizinde bu durum farklı olup; 200 numaralı eleğin altında kalmış olan numunelere uygulanmaktadır.

1) Hidrometre Analizi

a) Gerekli Araçlar

Bu analizde kullanılacak hidrometreler iki tiptedir. Birincisi 20°C'de olup özgül ağırlığa göre derecelendirilir ve derecelenmeler 0.995-1.030 ile 0.995-1.040 ve 1.000-1.060 limitler arasında olabilmektedir. 20°C'de bir litrelik süspansiyonun gram cinsinden değerini veren ikinci tip hidrometrelerde ise 0-50 limitleri arasında derecelenmektedir.

Karıştırıcı (mikser), 10000 devir/dk kapasiteli elektrik motoruyla dönen; sökülüp takılabilir pervaneler ile ayrıştırma kabından oluşur.

Silindirik çökelim mezürü yaklaşık olarak 45 cm yüksekliğinde, 1000 cm³ hacminde ve 6-6,5 cm çapın cam kapdan oluşmaktadır (Şekil 3.1).

b) Deneyin Yapılışı

American Society Of Testing Materials (ASTM) D422-63 (1993) standartına göre hidrometre analizi yapılmıştır. Deneyin yapılışı;

- Kumlu zeminlerde 100 gr, killi zeminlerde 50 gr olacak şekilde etüvde kurutulmuş olan numune alınır. Numunenin üzeri örtülecek şekilde, yaklaşık olarak 125 ml lik saf su eklenerek karıştırıldıktan sonra numune 24 saat bekletilmeye alınır.
- Numuneye saf su eklenerek karıştırıcı kap içerisine aktarılır.
- İçerisine Sodyum hegzametazofosfat (kalgon) (Na_6PO_3)₆ ilave edilir.
- Karıştırıcı içerisine konan malzeme üstüne saf su ilave edilip 10 dakika süre ile karıştırılır.
- Karışım saf su kullanılıp mezüre ilave edilir ve mezürün üzerindeki 1000 ml çizgisine gelecek şekilde saf su ilave edilir.

- Okumalara başlanılmadan önce, süspansiyonun ilave edildiği mezürün ağzının avuç içiyle kapatılması sonrası birkaç defa baş aşağı-yukarı getirilir. Bu şekilde karışımın homojen hale gelmesi sağlanır. Genellikle 60 saniye süre ile bu işlem gerçekleştirilir ve 0.25, 0.50, 1.00, 2.00 dakikalarında hidrometre süspansiyon içerisinde çıkarılmadan okumalar yapılır. Sonraki aşamada hidrometre süspansiyon içerisinde çıkartılıp karışım tekrar çalkalanıp karışımın homojen duruma gelmesi sağlanır. İlk 2 dakikada yeni okuma alınıp, aynı süreler için ise; birbiriyle yakın olan son iki okuma alınmaya kadar işlem devam ettirilir.
- Karışım sıcaklığı ölçülerek tespit edilir.
- Daha sonra süspansiyon yeniden karıştırılarak, ilk 2 dakikadaki okuma alınmayarak sonraki aşamalarda 5., 10., 20., 30. dakikalar ile bunu takip edecek olan 1., 2., 4., 8., ve 24. Saatlik sürelerde sıcaklık ve hidrometre ölçümleri bulunur.

c) Hesaplamalar

Deney aşamasında kaydedilen hidrometre okumalarında düzeltme yapmak gerekebilir. Hidrometreler belli sıcaklık derecesinde (örneğin 20°C gibi) kalibre edilmelidirler. Düzeltmeyi gerçekleştirmek amacıyla deney sürecinde her bir hidrometre okuması alınmasında mezürün içerisinde bulunan suyun ölçüm esnasındaki sıcaklığı kabul edilir. Sonraki süreçte EK 1A'daki eğriden mevcut sıcaklığa tekabül eden hidrometre düzeltme katsayı belirlenerek; alınmış olan hidrometre okuma sonuçlarından düzeltme katsayısı çıkarılıp düzeltilmiş olan hidrometre okuması bulunur.

$$r = r_a - d$$

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş olan hidrometre okuması,

r_a : Deney aşamasında süspansiyonda bulunan hidrometre okuması,

d : Hidrometre düzeltme değerleri (EK-1A),

- Tane ap hesabı

Stokes kanununda; sıvı içerisindeki serbest olarak duen kurenin hızı aşağıda gösterilen formül ile ifade edilmektedir.

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}{30 \times \mu} \times D^2 \quad D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r}{t}}$$

D : Tane apı (mm),

μ : Deney sıcaklığında mevcut suyun viskozitesi (poise) (EK 2A)

γ_s : Tane birim hacim ağırlık (gr/cm³),

γ_w : Deney sıcaklığında mevcut suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm³) (EK 2B)

Z_r : Hidrometre hacim merkezinden süspansiyon yüzeyine olan uzaklık (cm) (EK 1B)

V_H : Hidrometre hacmi (cm³) (67 cm³),

A_J : Mezr kesit alanı (cm²) (27,17)

t : Toplam geçen zaman (dak).

- Geçen yüzde hesabı

Hidrometre okuması değerine karşılık olarak bulunan D tane çapı oranından kk tanelerin yüzdesi formül olarak aşağıda verilmiştir.

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{V_{sp}}{W_s} \times (r - r_s) \times 100$$

N : D tane çaptan kk tane yüzdesi (%),

G_s : Numune zgl ağırlığı,

V_{sp} : Süspansiyon hacmi (1000 cm³),

W_s : Kuru zemin ağırlık (gr),

r : Sspansiyonda düzeltilmiş olan hidrometre okuması,

r_s : Sudaki hidrometre okuması (süspansiyon ile aynı sıcaklıkta suyun özgül ağırlığı) (EK 2B)



Şekil 3.1. Hidrometre Deneyi

2) Elek Analizi

ASTM-D 422-63 (1993) standartlarında uygulanmış olan elek analiz deneyinin yapılışı aşağıdaki gibidir (Şekil 3.2. a, b).

- Mezür içerisindeki karışım elek setinden geçirilir.
- Set üzerindeki numune en altta temiz su akana kadar saf suyla yıkanır.
- Yıkanmış numunenin eleklerin üzerinde kalmış olan kısmı için saf su kullanılıp sonra kurutma kabına aktarılarak, etüvde $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurutmaya alınır.
- Kuru numunenin ağırlığı ölçülür.
- Geçen yüzde değerleri bulunduktan sonra granülometre eğrisi diğer ifade ile tane boyu eğri çizimi gerçekleştirilir.
- Deney için başta ve sonda numune için kayıp % 3'den fazla olamaz.



Şekil 3.2. a) Elek analizi deney aleti (üçlü set), b) Elek analizi deney aleti (tekli set)

3.2.3.2. Su İçeriği Deneyi

a) Deneyin Amacı

Doğal ortamda mevcut haliyle korunmuş zemin numunelerinin doğal su içeriğini bulmak amacıyla yapılır. Su içeriği belirlenmesi için uygulanan standart yöntemin amacı, yaş olan zemin örneğinin etüvde kurutulması ile içerdiği su kütlesini belirleyip, sonucu zeminin kuru kütle değerinin yüzdesi olarak sunmaktır.

b) Deneyde kullanılan aletler

- Etüv ($110 \pm 5^\circ\text{C}$)
- Cam tartım şişe ya da 50 mm çap 25 mm yükseklikte ve paslanmaz, hava geçirmez metal kutu.
- Terazî: 0,01 gr duyarlılıkta
- 500 gr'lık numune konulabilecek kapaklı kap (paslanmaz olup hava geçirmeyecek şekilde)

- Yaklaşık olarak 100 mm genişlikte, 200 mm uzunlukta kürek.
Deney; iri taneli, orta, ince zeminler için uygulanır.
Su İçeriği Tayin; İnce Taneli Zeminler için,

Metal kum (su içeriği kabı) ya da cam malzemeden olan tartım şişesi temizlenerek kurutulur ve daha sonra kapakla birlikte 0,01 gr duyarlıkta tartım yapılır (m_1). 10 gramlık miktardan az olmayan zemin numunesi ufalanarak gevşek olacak şekilde kap içine konulup, kapatılır. Numune ve kap 0,01 gr duyarlıkta tartılır (m_2).

Kabın kapağı açık olacak şekilde etüve konulur. Etüvde $110\pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklık derecesinde kurutulur. Numune büyüklüğü ve zemin türüne bağlı olarak, numunenin kuruması için gereken süre değişkenlik gösterir. Numune kural olarak, değişmez kütle durumuna erişinceye kadar kurutmaya devam edilir. Kurutulan numune soğur ve tartılır, tekrar etüve konup 4 saat kurutulur. Sonra tekrar soğutulur tartıldığında, iki tartım sonucu arasında çıkan fark numunenin ilk başlangıcındaki (yaş haldeki) kütle değerinin % 0,1 oranından büyük değil ise, numune istenilen değişmez kütle değerine erişmiş kabul edilir. Çoğunlukla 16-24 saatlik kurutma zamanı yeterli sayılır.

Numune kurutulduktan sonra etüvden çıkarılarak soğumaya bırakılır. Numune istenilen oda sıcaklığına ulaştığında kapatılan kap, içerisindeki numune ile beraber 0,01 gr duyarlıkta tartılıp işlem sonlandırılır (m_3).

a) Hesaplamalar

Zemin su (nem) içeriği (w); kuru zemin kütle yüzdesi olarak formül ile hesaplanır;

$$W = \frac{(m_2 - m_3)}{m_3 - m_1} \times 100$$

W = Su içeriği (%)

m_1 = Kabın kütlesi (gr)

m_2 = Yaş numune kütlesi+ kap (gr)

m_3 = Kuru numune kütlesi+kap (gr)

3.2.3.3. Atterberg (Kıvam) Limitleri

Atterberg limit deneylerinin zemin davranışının önceden tahmin edilmesindeki önemi büyük olup ince taneli zeminlerin sınıflandırılması amacıyla kullanılır. Örnek olarak zeminin plastiklik durumunun yüksek ya da düşük olmasıyla killerin yağsız ve yağlı olması Atterberg limit deney sonuçlarıyla belirlenmektedir. Atterberg limitleri; Rötire Limit (RL), Plastik Limit (PL), Likit Limit (LL) deneylerinden oluşur.

Ayrıca Atterberg limit deneyi; zemin tane boyu değerlerinin tespiti ile birlikte kullanılıp, zeminlerin sınıflandırılması aşamasında da kullanılmaktadır. Plastik Limit (PL), Likit Limit (LL) ile su içerik (W_n) değerleri ile 0,002 mm'den küçük (kil boyutu) olan tane boy yüzde değer sonuçlarından (J) faydalanılıp zemine ait Kıvamlılık İndisi (I_c), Plastisite İndisi (PI), Likitlik İndisi (LI) elde edilen değerler hesaplanıp, zemine ait olan sınıflandırmalar yapılır.

1) Likit Limit Deneyi (LL)

Zemine ait kayma direncinin azalıp, akma eylemi gösterdiği süreçteki su içeriğidir (Uzuner 1998).

a) Gerekli araçlar

- Casagrande aleti (Şekil 3.3. a), 40 no'lu elek, Terazı (0,01 gr duyarlıkta), Etüv ($110\pm 5^{\circ}\text{C}$), porselen kap, spatula, cam plaka, Oluk açma bıçağı, Saf su, Numaralı numune kapları

Numune hazırlanması: Sahadan alınmış olan numune doğal ortamda kurutulur. Daha sonra 40 no'lu elekte elenip 250-300 gr miktarda numune alınır.

b) Casagrande aletinin ayarlanması

- Deneye başlanılmadan evvel casagrande aletinde bulunan pirinç kap için sert plastiğe düşecek yükseklik 1 cm olup olmadığı tespit edilip, 1 cm olacak şekilde düzeltilir.
- Pirinç kap yüksekliğinin kontrolünün yapılabilmesi için standart olan oyuk açma bıçak sapı kullanılıp netleştirilir.
- Oyuk açma bıçak ve deney alet yapılacak her deney öncesi temizlenip, kurulanır ve çalışır halde bırakılır.

c) Deneyin yapılışı

Deney American Society of Testing Materials ASTM-D 4318-84 (1993) standartlarında uygulanmıştır. Deney yapılışı (Şekil 3.3. b, c);

- 40 numaralı elekten geçirilen malzeme üstüne saf su eklenip, porselen bir kap içinde spatula yardımıyla karıştırılır.
- Hazırlanmış olan numunenin içinden bir miktar alınıp Casagrande aletinin pirinç kabına konur. Yükseklik tabana paralel olacak şekilde düzenlenir.

- Oluk açma bıçak yardımıyla malzeme belirgin olacak şekilde ikiye bölünür. İşlem sırasında oluk açma bıçak pirinç kap yüzeye dik olacak şekilde tutulur.
- Casagrande aletindeki kol, saat yönü tersinde olacak şekilde saniyede 2 devir hızla çevrilmek suretiyle ikiye bölünen parçasının oluşun taban kısmında 1 cm boyunca birleşecek durumu sağlayan darbe sayısı saptanır.
- Su içeriği tayini için, birleşmenin gerçekleştiği kısımdan spatula ile 10 gr'a yakın bir miktarda yaş olan numuneden alınarak ağırlığı daha önce tespit edilmiş bir numune kabına konulur.
- 0,01 gr duyarlılığı olan terazide yaş numune+kap tartılıp ağırlık kaydedilir.
- Numune kurutulmak üzere etüve konulup burada 24 saat beklemeye alınır.
- 24 saat sonra etüv içerisinde kurutulan numune çıkartılarak kuru ağırlık ve su içeriği saptanır.
- Kapta içerisindeki malzeme porselen kap içerisine alınıp, su içeriği ilave olarak arttırılarak tekrar darbe sayısı tespit edilir. Bu yapılan işlemler 10-40 arası ve azami 4 darbe sayısı tespit edilinceye dek devam edilir. Tespiti yapılan bütün darbe sayıları için su içerik saptanır.
- Denemelerde elde edilmiş olan su içerik değerine karşı vuruş sayısı, logaritmik olan grafik kağıdı üstüne işaretlenir. Bu uygulama için, su içeriğine ait olan değerlerinin koordinat eksenini devamınca, vuruş sayısı logaritmik apsis eksenini devamınca işaretlenir. Tespit edilen noktalar geçen uygun bir biçimde doğru ve bu doğru üstünde 25 adet vuruşa karşılık gelen, su içeriği sonucu zemine ait likit limit (LL) sonucunu verir.



(a) (b) (c)
Şekil 3.3. Likit Limit deneyinin yapılışı; a) Casagrande aleti ve zemin numunesi içerisinde likit limit kaşığı ile açılmış oyuk, b) Deney aşamasından görünüm (genel), c) Deney aşamasından görünüm (yakın plan)

2) Plastik Limit Deneyi

Numunenin cam veya porselen bir tabla üzerine konulup avuç içiyle yuvarlanarak 3 mm çapında 8 mm boyutlarında numunelerin silindirik hale getirilerek, bu numuneler üstünde oluşan çatlakların andaki su içeriğidir ve % şeklinde ifade edilir (Uzuner, 1998).

a) Deneyin yapılışı

Deney ASTM-D 4318-84 (1993) standartlarına uygun olacak şekilde aşağıdaki gibi yapılır;

- 40 numaralı elekten geçirilen malzemedan 20 gr miktarda numune alınarak kap içerisine yerleştirilir. Sonra üstüne saf su ilave edilerek homojen hale gelene ve plastik oluncaya dek karıştırılarak yoğurulur.
- Numune cam veya porselen üzerine konulup avuç içiyle 3 mm çapında silindir şeklinde parçalar haline gelene dek yuvarlanır. Yuvarlama ve yoğurma uygulamasına 3 mm çapındaki numune yüzeyinde kopmalar ve çatlamlar oluşuncaya kadar uygulamaya devam edilir.
- İstenilen zemin numunesi özelliklerine ulaşıldığında en az 5 gr'lık olacak şekilde numune alınarak bir kaba konulur.
- 0,01 gr duyarlıkta olan terazide yaş numune+kap tartılıp ağırlıkları kaydedilir.
- Numunenin kurutulması amacıyla etüve konulup 24 saat süreyle bekletilir.
- 24 saat süre sonunda kurutulan numune çıkarılıp kuru ağırlığı ölçülerek numuneye ait su içeriği (W_n) tespiti yapılır.
- Bu uygulamalar birkaç kez daha yapıp su içerik değerleri tespit edilir. Bu değerlerin sonuçlarının ortalaması alınıp Plastik Limit (PL) değer tespiti yapılır.

3.2.3.4. Plastisite İndisi, Kıvamlılık İndisi (Konsistans), Likitlik İndisi

Plastisite İndisi (PI): Zemini plastik limitinden likit limitine ulaştırarak su miktarının yüzde olarak değeridir.

$$PI = LL - PL$$

PI= Plastisite indisi (%)

LL= Likit Limit (%)

PL= Plastik Limit (%)

Kıvamlılık İndisi (Konsistans) (I_C): Zeminin arazide doğal haldeki kıvamının nasıl olduğu hakkında bilgi veren bir değerdir.

$$I_C = \frac{LL - W_n}{PI}$$

I_C = Kıvamlılık indisi

LL = Likit Limit (%)

W_n = Doğal su içeriği (%)

PI = Plastisite indisi (%)

Likitlik İndisi: Kıvam indisine benzer bir Şekilde zeminin arazideki durumunu belirlemek için kullanılan bir değerdir.

$$LI = \frac{W_n - PL}{PI}$$

LI = Likitlik İndisi

W_n = Doğal su içeriği (%)

PL = Plastik Limit (%)

PI =Plastisite indisi

3.2.3.5. Özgül Ağırlık Deneyi

Bir zeminde özgül ağırlık, belli hacimde olan zemin tanelerinin havada mevcut olan ağırlığının, aynı sıcaklık içerisinde eşit hacimde bulunan saf suyun havada mevcut olan ağırlığına oranıdır (Can ve ark., 1992).

1) Gerekli Araçlar

- Piknometre (50, 100, 250, 500 ml' lik), saf su, vakum uygulayıcı olan alet, terazi (0,01 gr duyarlıkta), etüv ($110\pm 5^{\circ}\text{C}$), 1°C hassaslıkta okunabilen termometre, damlalık veya pipet

2) Deneyin Yapılışı

Deney ASTM-D 854-92 (1993) standardına göre uygulanmıştır. Deneyin yapılışı (Şekil 3.4):

- 4 numaralı elekten geçirilen, etüvde kurutulmuş olan kohezyonlu zemin için 20-75 gr; etüvde kurutulmuş olan kohezyonsuz zemindense 100-150 gr alınarak, 0,01 gr duyarlılıkta tartılmış olan malzeme kalibresi yapılmış piknometre aletine aktarılır.
- Üstüne piknometrenin yarısı doluncaya dek su eklenir. Bu şekilde piknometrenin boyun kısmında kalabilecek malzeme piknometrenin içerisinde yıkanmış olur.
- Karışım içinde varolan havayı çıkartmak amacıyla piknometrenin ağız kısmındaki vakum uygulanıp altındaki karışım 10 dk süreyle kaynatılır. Kaynadıktan sonra 10-15 dakika süreyle yeniden kısmi vakum yapılır. Bu esnada hava kabarcık çıkışları izlenebilmektedir. Kaynama esnasında karışım taşabilir bu sebeple dikkat edilmelidir.
- İçerideki havayı alım aşamasının sonunda piknometrenin ince boyun kısmındaki kalibrasyon çizgisi 1-1,5 cm altında kalana dek havası alınan saf su ilave edilir. Piknometrenin iç kısımları ve dış yüzeyi kağıt havlu

yardımıyla kurulanır. Saf suyun içerisindeki hava alınmaya kadar vakum uygulanmaya devam edilir. Vakum uygulaması bitirildiğinde süspansiyonun mevcut seviyesi 1 mm' den az alçalmış ise süspansiyonun içerisindeki havanın tamamının alınmış olduğu geçerli kabul edilir.

- Piknometreye saf su ilave edilip menüsküs tabanının piknometre üstündeki kalibrasyon çizgisine değene kadar gelmesi sağlanmalıdır.
- Piknometrenin iç kısımları ve dış yüzeyi kağıt havlu yardımı ile kurulanır.
- Piknometre, içerisinde bulunan mevcut karışımla beraber 0,01 gr duyarlılığı olan teraziyle tartılarak, $W_{pw(Ta)}$ (su+kuru numune+piknometre) şeklinde kaydedilir.
- Tartım sürecinden sonra mevcut karışımın sıcaklığının bütün noktalarda eşit olabilmesi amacıyla piknometrenin ağzı kapatılıp birkaç kez ağzı baş aşağı-yukarı getirilir (üst alt edilir). Karışım sıcaklık değeri T_x şeklinde kaydedilir.

3) Hesaplamalar

$$G_{s(Tx)} = \frac{W_s \times G_{w(Tx)}}{W_s + W_{pw(Tx)} - W_{psw(Tx)}}$$

$G_{s(Tx)}$ = Zeminin özgül ağırlığı

W_s = Kuru numune ağırlık (gr)

$W_{pw(Tx)}$ = T_x sıcaklığında su ağırlığı+piknometre (gr)

$W_{psw(Tx)}$ = T_x sıcaklığında numune+piknometre+su ağırlığı (gr)

$G_{w(Tx)}$ = Suyun T_x sıcaklığıdaki özgül ağırlığı



Şekil 3.4. Özgül ağırlık deney seti

3.2.3.6. Boşluk Oranı, Porozite ve Doygun Birim Hacim Ağırlığı Tayini

Cingöz Formasyonu'nun killi seviyesindeki numunenin tabakalı bir yapı göstermesi nedeniyle bu birimden kepçe (back-hoe) yardımıyla belli boyutlarda örselenmemiş blok numuneler alınmış ve numuneler su içeriğini kaybetmemesi için tülbent beziyle sarılmıştır. Tülbent bezi dış yüzey kısmına fırçayla bal mumu-parafin karışım eriyiğinin sürülerek izole etme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.5 ve 3.6. a, b). Daha sonra numuneler etiketlenerek laboratuvara sarsılmadan getirilmiştir. Laboratuvara getirilen numunenin ağırlığının tartılması ve hacminin belirlenmesiyle doğal birim hacim ağırlığı bulunmuştur. Daha sonra numune kaba

konulup etiv içerisinde 24 saat kurutulması sağlanıp, kuru numunenin ağırlığı tartılmıştır. Bulunan bu sayısal verilerden faydalanılarak hesaplamalar yapıldıktan sonra numuneye ait kuru birim hacim ağırlığı, doğal su içeriği, boşluk oranı, doğal birim hacim ağırlığı, doygun birim hacim ağırlığı, doygunluk derecesi, hava boşluk yüzdesi, porozite bulunmuştur.

D_T = Silindirik tüp çapı (cm)

H_T = Silindirik tüp yüksekliği (cm)

A_T = Silindirik tüpün alanı (cm²)

V_T = Silindirik tüpün (numunenin) hacmi (cm³)

$$\gamma_n = \frac{W}{V}$$

$$W_n = \frac{W_y - W_k}{W_k} \times 100$$

W_n = Su içeriği (%)

W_y = Yaş numune ağırlık (gr)

W_k = Kuru numune ağırlık (gr)

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1 + W_n}$$

γ_k = Kuru birim hacim ağırlık (gr)

γ_s = $G_s \times \gamma_w$

γ_s = Tane birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

γ_n = Doğal birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

G_s = özgül ağırlık

γ_w = suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

$$S_r = \frac{G_s * W_n}{\frac{\gamma_s}{\gamma_k} - 1}$$

S_r = Doygunluk derecesi (%)

$$e = \frac{Gs * Wn}{Sr}$$

e = Boşluk oranı

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

n= porozite

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s + e + \gamma_w}{1 + e}$$

γ_d = Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm³)



Şekil 3.5. Kepçe (back-hoe) yardımı ile arazide numune alım aşaması.



Şekil 3.6. Örselenmemiş numune alımı; a) Numunenin balmumu-parafin karışımıyla izole edilmesi b) İzole edilen numunelerin korunaklı olarak muhafaza edilmesi

3.2.3.7. Kesme Kutusu Deneyi

a) Deneyin amacı

Zeminler içerisinde kendi ağırlıkları ve zemin yüzeyine uygulanmış olan yükler sebebiyle gerilmeler olduğu tespitlidir.

Kesme kutusu deneyi, genellikle kohezyonsuz zeminlere ait kayma mukavemeti saptanmasında kullanılır. Zemin kayma mukavemeti tespitine ait deneyler iki grupta olup aşağıdaki gibidir (Uzuner, 2007);

- 1- Direkt kesme deneyleri: Direkt kesme, Vane deneyi
- 2- İndirekt kesme deneyleri: Üç eksenli basınç ve serbest basınç deneyi

Kesme kutusu deneyinde; numune dairesel yada dikdörtgen kesit ile iki adet parçadan oluşmuş rijit kutu olan malzeme içine yerleştirilerek, numunenin yerleştiği kısım, ortası kısmından ikiye bölünerek, kare kesit şeklinde olan madeni kutudur. Kesme kutusuna ait olan alt ve üst kısmına numune yerleştirilmeden poroz taşı yerleştirilir. Numune için normal gerilmeler etkisinde kayma mukavemetinin tespitini yapmak için, direkt kesme cihazının altında bulunan yük askısı üzerine ağırlıklar yerleştirildikten sonra numune üstüne gelecek olan basınçlar sağlanır. Yük askısı üzerine konulmuş olan bütün ağırlıklar numune üstünde genel itibariyle on katı ağırlığında etki etmektedir. Kesme kutusuna ait olan alt yarı kısım bilyeler üstüne oturtulmuş ve belirli üniform hız ile yatay olacak şekilde ileriye itilir. Kesme kutusuna ait diğer yarı ise; yük halkası üzerine dayanmakta ve bu halkanın deformasyon değerleri okunarak buradan hesaplama ve kesme kuvvet değerleri bulunmaktadır.

Zeminlerde kayma meydana gelebilmesi için, olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekir. Genel kayma belli bir kayma düzlemi üzerine etkileyen normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkileri sonucu ortaya çıkmaktadır. Zeminin kayma direnci kaymaya meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanır (Şekil 3.7. a, b, c).

b) Deneyin yapılışı

Deney ASTM-D 3080-90 (1193) standartları uygulanarak yapılmaktadır. Buna göre;

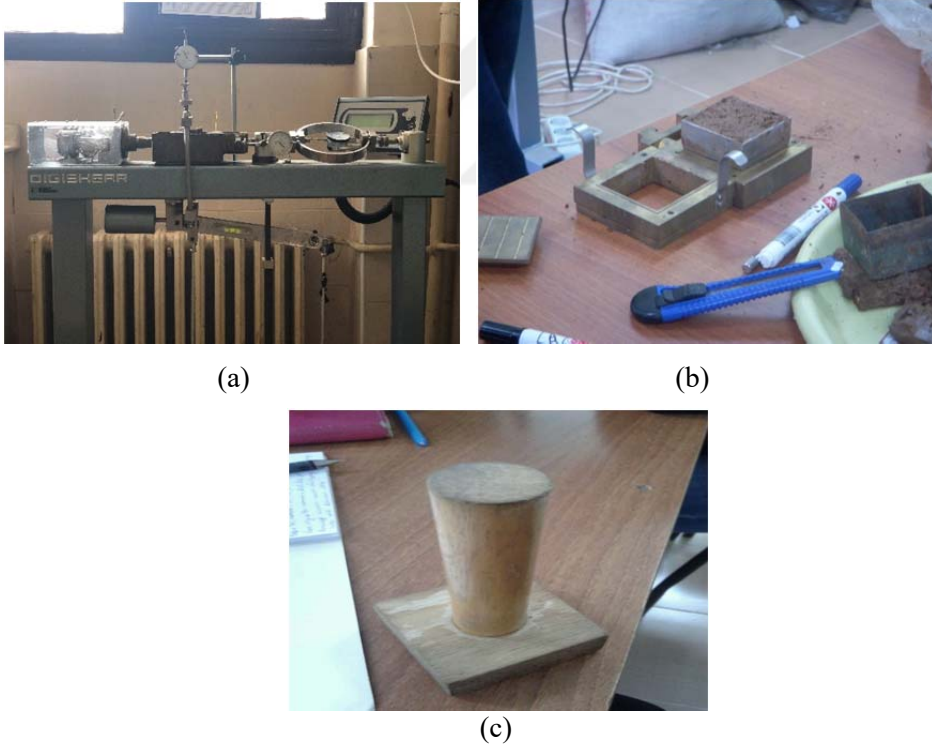
- 1) Numune kabının boyutları ölçülür ve kaydedilir.
- 2) Deneyin; örselenmemiş numunenin üstünde yapılması durumunda, numunenin çevresi tıraşlanarak kutunun mevcut cidarıyla tam olarak temas

edecek biçimde yerleştirilir. Örselenmiş numunenin üstünde yapılması durumunda poroz taş üzerinde 0,5 inç kalınlıktaki bir tabaka oluşturacak şekilde yerleştirilir. Tokmak yardımı ile istenen güçte ağırlık verilerek numune sıkıştırılır. Bu işlem hafif darbe olacak şekilde yapılabilir.

- 3) Normal yük uygulaması için, alt kısımda bulunan ayar denge kolunun yatay hale getirilmesi ile istenen ağırlık yükü, yük askısına yerleştirilebilir.
- 4) Kesme kutusu aletinin parça kısımları birbirine bağlanır.
- 5) Hazırlanılan numune ve kabı birlikte tartılır.
- 6) Kesme kutusunun alt kısmına poroz taşı ile birlikte süzgeç kağıt yerleştirilir. Örselenmiş olan numune için yapılan deneyde kap ile birlikte geri kalan zemin kısmı da tartılır. İlk ağırlık ile arasında olan fark sarf edilmiş zemini verir. Örselenmemiş numune de ise; kesme kutusunun birinci ağırlığı ve numuneyle beraber ağırlığı arasındaki bulunan fark sonucu numune ağırlığını vermektedir.
- 7) Kalıp ve yük üzerindeki varolan yükü her bölgeye eşit olacak şekilde dağıtabilmesi için, tevzi bilyesiyle beraber yerleştirilir.
- 8) Kesme kutusu alete yerleştirilir.
- 9) Birinci deney aşamasındaki istenilen normal yük uygulanır. Eğerki deney konsolidasyonlu olacak ise mevcut yük ile konsolidasyonun bitirilmesi beklenir fakat konsolidasyonlu değilse kesme işlemi için hazırlıklar başlatılır.
- 10) Düşey ve yatay deplasman okumaları için deformasyon saat ayarları bağlanarak, kesme yükü numuneye verilmeye başlanır.
- 11) İstenilirse işlemler azami iki kez daha tekrarlanır.

Çalışma alanından alınan numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi için 6x6x2,5 cm olarak hazırlanan prizmatik zemin numunesi kare kesitli, iki parçadan oluşmuş olan rijit kutunun içerisine yerleştirilip, sonrasında ise zemin numunesi üstüne düşey olan kuvvet (normal kuvvet) uygulanır. Uygulanılan kesme

yükü altında, kutunun üst kısımdaki parçası sabit kalırken alt kısımdaki parçası yatay olacak şekilde bir düzlem üzerinde hareket etmekte, bunun sonucunda numunenin orta noktasından geçmekte olan yatay düzlem süresince zemin kaymaya zorlanmaktadır. Artarak devam eden kesme kuvvetine karşın, zemin örneği önce direnir, daha sonra düzlem boyunca kesilir. Uygulanan kuvvet, bir yük (kuvvet) halkası ile ölçülür. Zemin numunesinin deney sırasındaki hacim değişmesini izlemek üzere yatay ve düşey deformasyon saati kesme kutusu deney aleti üzerinde gerekli yerlere yerleştirilir. Deney başlangıcından itibaren, hem yük halkası hem de düşey deformasyon ve yatay deformasyon saati okumaları, belirli zaman aralıkları ile okunarak kaydedilir. Zemin numunesi kesildikten bir süre sonra deneye son verilir.



Şekil 3.7. Kesme kutusu deneyi; a) Kesme kutusu deney aleti (genel görünüş), b) Kare ring içerisine yerleştirilmiş numune, c) Tokmak

3.3. Büro çalışmaları

Büro çalışmaları esansında çalışma alanı ve civarında çalışılmış olan veriler derlenmiş, arazi verilerinin değerlendirilmesiyle devam etmiştir. GPS Total Station ölçümlerinden alınan veriler Netcad programına aktararak araziden alınan kot ve koordinatlar ile sahanın halihazır haritası çıkarılmıştır. Netcad de üretilen bu veriler Autocad programına aktararak kayan kütlelerin şematik görüntüsünü oluşturacak şekilde 3 adet enine kesit hazırlanmıştır. Autocad programında oluşturulan kesitler SLIDE programına aktarılıp arazide belirlenen kayma düzleminin verileri programa girildikten sonra Limit denge yöntemi ile geri analizler yapılmış ve kayma esnasında olası kohezyon ile içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir. Tespit edilen değerler ile kesme kutusu deneylerinden elde edilen veriler karşılaştırılarak güvenlik katsayısı “1” olan $c-\phi$ çiftleri elde edilmiştir. Netcad programında çizilen heyelan haritası ve enine kesitlerden faydalanılarak heyelanın kayma yönü, boyutu belirlenerek, kayan kütlelerin kapladığı alan ve hacmi hesaplanmıştır. Ayrıca, heyelanın geometrisini belirlemek için 4 adet heyelanı dik kesen enine kesit alınmıştır.

Laboratuvar aşamasında yapılan deneylerin sonuçlarıyla heyelanların oluşum mekanizmaları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Karaisalı Meteoroloji istasyonunun bağlı olduğu Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen 2013-2022 yılları arasındaki yağış kayıtları derlenerek bölgeye düşen yağışların grafikleri çizilerek istatistikleri yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

Toros Orojenik KuŐağında yer almakta olan Adana Havzası Tersiyer istifi, temelinde paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayaçlar üstüne uyumsuz olacak şekilde gelmektedir (Yetiş, 1988; Schmidt, 1961). Genellikle havzada Oligosen-Pliyosen yaşlı kayaç toplulukları yer almaktadır. Bu kayaçlar, temel kayaçların oluşturduğu engebeli bir topoğrafya üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Bu topoğrafya Miyosen’deki sedimantasyonu etkileyerek, havza kenarında bulunan çukur ve vadilere Oligosen-Erken Miyosen döneminde göl ve akarsu ortamlarını karakterize etmiŐ olan Gildirli ve Karsantı formasyonları çökelmiştir (Şekil 4.1). Paleotopoğrafik yükselteler ile havzanın kenar kısımlarında Erken- Orta Miyosen zaman aralığında Kaplankaya ile Karaisalı Formasyonları, daha derin kısımlardaysa Cingöz ve Güvenç Formasyonları çökelmiştir (Schmidt, 1961; Görür, 1979; Özer ve ark., 1974; Yetiş, 1988; Öğrünç, 2001).

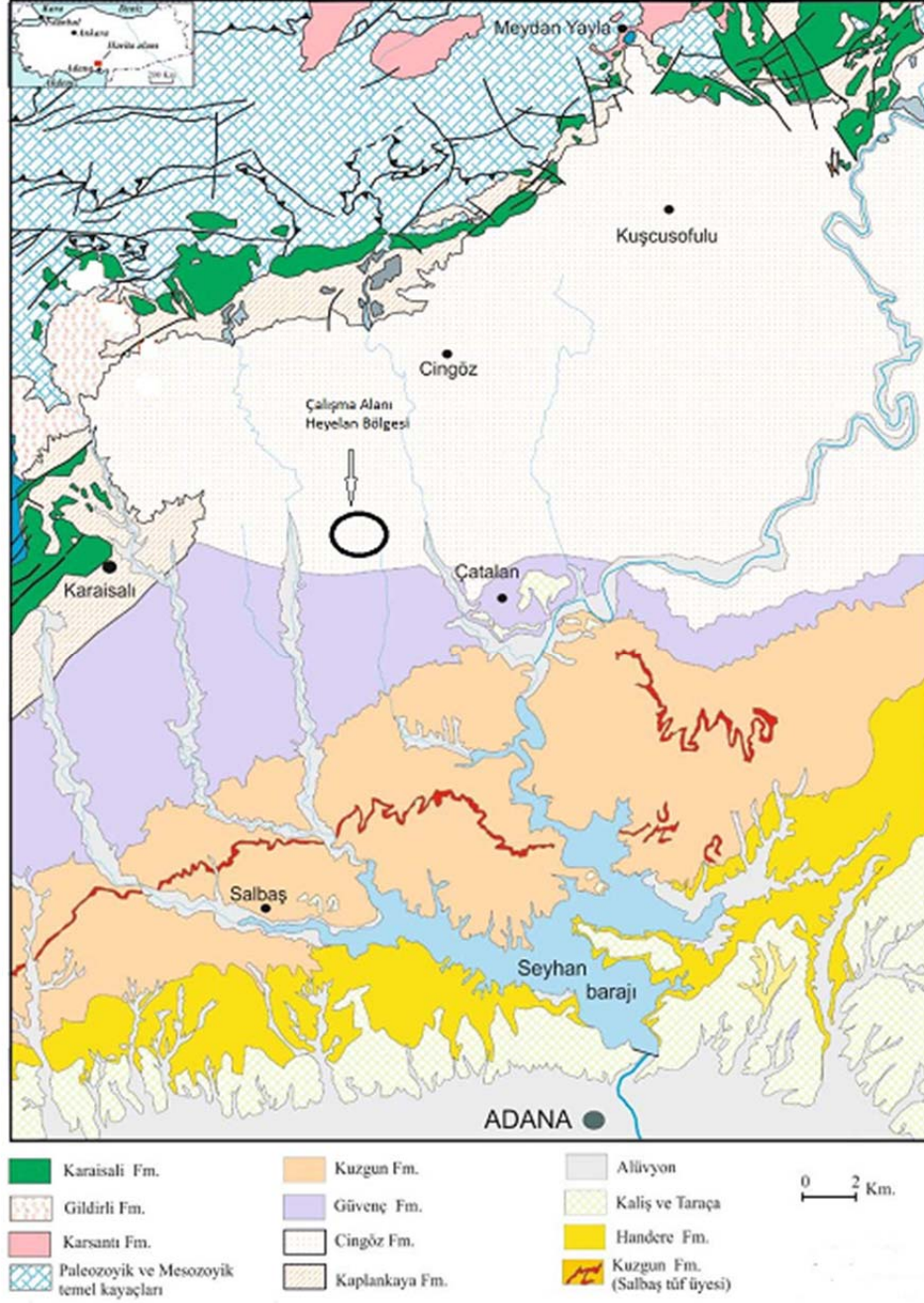
YAŞ	FORMASYON	LİTOLOJİ	ÇÖKELME ORTAMI
PLİYO- KUVERTNER	KURANŞA		KARASAL
ERKEN PLİYOSEN MESSİNYEN	HANDERE		SİĞ DENİZ- LAGÜN
TORTONİYEN	KUZGUN		SİĞ DENİZ- DELTA
SERRAVALİYEN			SİĞ DENİZEL
SERRAVALİYEN — LANGİYEN	GÜVENÇ		AKARSU SİĞ DENİZEL DERİN DENİZ- KIYI ÖTESİ
	CİNGÖZ		TÜRBİDİT (DENİZALTI YELPAZELERİ)
BURDİGALİYEN — AKİTANİYEN	KARAIŞALI		RESİFAL KARBONATLAR
	KAPLANKAYA		ŞELF- KİTA YOKUŞU
	GİLDİRLİ		KARASAL
OLİGOSEN	KARSANTI		ALÜVİYAL YELPAZE VE GÖL (LAKUSTRİN)
		PALEOZOYİK, MESOZOYİK YAŞLI TEMEL KAYAÇLAR	

DÜŞEY ÖLÇEK UYGULANMAMIŞTIR

Şekil 4.1. Adana Baseninin genelleştirilmiş Tersiyer stratigrafisi istifisi (Yetiş ve Demirkol, 1986; Ünlügenç, 1993; Yetiş ve ark., 1995).

Çalışma alanında Adana basenine ait iki birim gözlenmiş olup Güvenç Formasyonu ve Cingöz Formasyonu geçişleri tespit edilmiştir. Heyelanın meydana geldiği alan Cingöz ve Güvenç formasyonlarının dokanağına oldukça yakın bir lokasyonda bulunmakla birlikte heyelan Cingöz Formasyonu içerisinde meydana gelmiştir. Güvenç Formasyonu dokanağı heyelanın 3 km güneyinden geçmektedir (Şekil 4.2). Heyelan, Varnes (1978)'e göre düzlemsel türde bir kütle hareketi olup, kayma düzlemi $K60^{\circ}B$ doğrultulu ve 10° GD'ya eğimlidir. Bu aynı zamanda heyelan kütesini oluşturan tabakaların doğrultu ve eğimidir.





Şekil 4.2. Çalışma Alanı Jeoloji Haritası (Ünlügenç, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır).

4.1.1. Senozoyik**4.1.1.1. Tersiyer****4.1.1.1.(1). Cingöz Formasyonu**

Birim ilk olarak Schmidt (1961) tarafından adlandırılıp, yazar birbiri ile düşey ve yanal geçişli Köpekli, Ayva ve Topallı üyelerinden oluştuğunu belirlemiştir. Yetiş ve Demirkol (1986) ile Yetiş (1987) yaptığı çalışmalarda Köpekli şeyl üyesinin Güvenç Formasyonu içinde olduğunu düşünerek, Cingöz Formasyonu'nun Güvenç Formasyonu içinde iki adet büyük lob olacak şekilde gelişmiş türbiditik kumtaşlarından oluştuğunu belirlemiştir. Daha sonra Gürbüz (1993) tarafından yapılan sedimantolojik incelemeler sonucunda Köpekli şeyl üyesinin Schmidt (1961) in belirttiği gibi Cingöz Formasyonu' na ait olmadığı gözlenmiştir. Aynı şekilde Yetiş ve Demirkol'un (1986) açıkladığı gibi Cingöz Formasyonu'nun iki adet büyük Lob olmadığı iki büyük denizaltı yelpazesi olduğu ve Köpekli şeyllerinin sığ denizel ortamda çökelmiş sedimanlar olduğu tespit edilmiş ve birim Kaplankaya Formasyonu'na eklenmiştir (Ünlügenç ve ark., 1990; Ünlügenç, 1993; Gürbüz, 1993).

Gürbüz 1993; yaptığı detay sedimantolojik çalışmalarla Cingöz Formasyonu'nun iki adet denizaltı yelpazesi şeklinde çökeldiğini ve bunların yapıları itibariyle aktif bir basen kenarında oluştuklarını söylemiştir. Ayrıca Nazik ve Gürbüz (1992), Cingöz Formasyonu'nun Geç Langiyen Serrevaliyen zaman aralığında oluştuğunu belirlemiştir.

Birim, kumtaşı, çakıllı kumtaşı, üst kesimlerde ise kil ağırlıklı seviyelerden oluşmaktadır. Kayma yapıları ile yer yer büyük ölçekte çapraz tabakalanma sunan birim belirgin tablamsı kalın katmanlıdır. Daha üst kesimlerde kumtaşı-şeyl aralanmalıdır (Şekil 4.3., 4.4., 4.5., 4.6.). Kumtaşı seviyeleri çoğunlukla aşınmalı bir taban üzerinde keskin bir dokanakla başlayıp oygu dolgu yapıları ile çizikler, kaval yapıları sunmaktadır. Çok ince-orta-kalın tabakalanma sunan birim 3500 m kalınlığa sahiptir. Birim Burdigaliyen-Serravaliyen zaman aralığında çökelmiştir (Çaynak ve ark., 1991).



Şekil 4.3. Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması, (Batıdan Doğuya bakış)



Şekil 4.4. Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması, (Doğudan Batıya bakış)



Şekil 4.5. Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Kuzeyden Güneye bakış)



Şekil 4.6. Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Batıdan doğuya bakış)

4.1.1.1.(2). Güvenç Formasyonu

Büyük çoğunlukla koyu gri renkli şeylden oluşan birim % 10 veya daha az, ince kumtaşı-silttaşı-killi kireçtaşı ve yer yer kırıntılı karbonlu şeyl düzeyleri bulunur (Schmidt, 1961). Sedimanter yapı olarak konvolüt ve paralel laminalanma seyrek olarak da içerisindeki kumtaşı bantlarında kaval yapıları bulunmaktadır. Birimin kalınlığı 20-3230 m arasında değişmektedir (Schmidt, 1961; İlker, 1975). Formasyon tabanda Karaisalı Formasyonu ve Kaplankaya Formasyonu ile tavanda ise Kuzgun Formasyonu yanıl ve düşey geçişlidir.

4.1.1.1.(3) Karaisalı Formasyonu

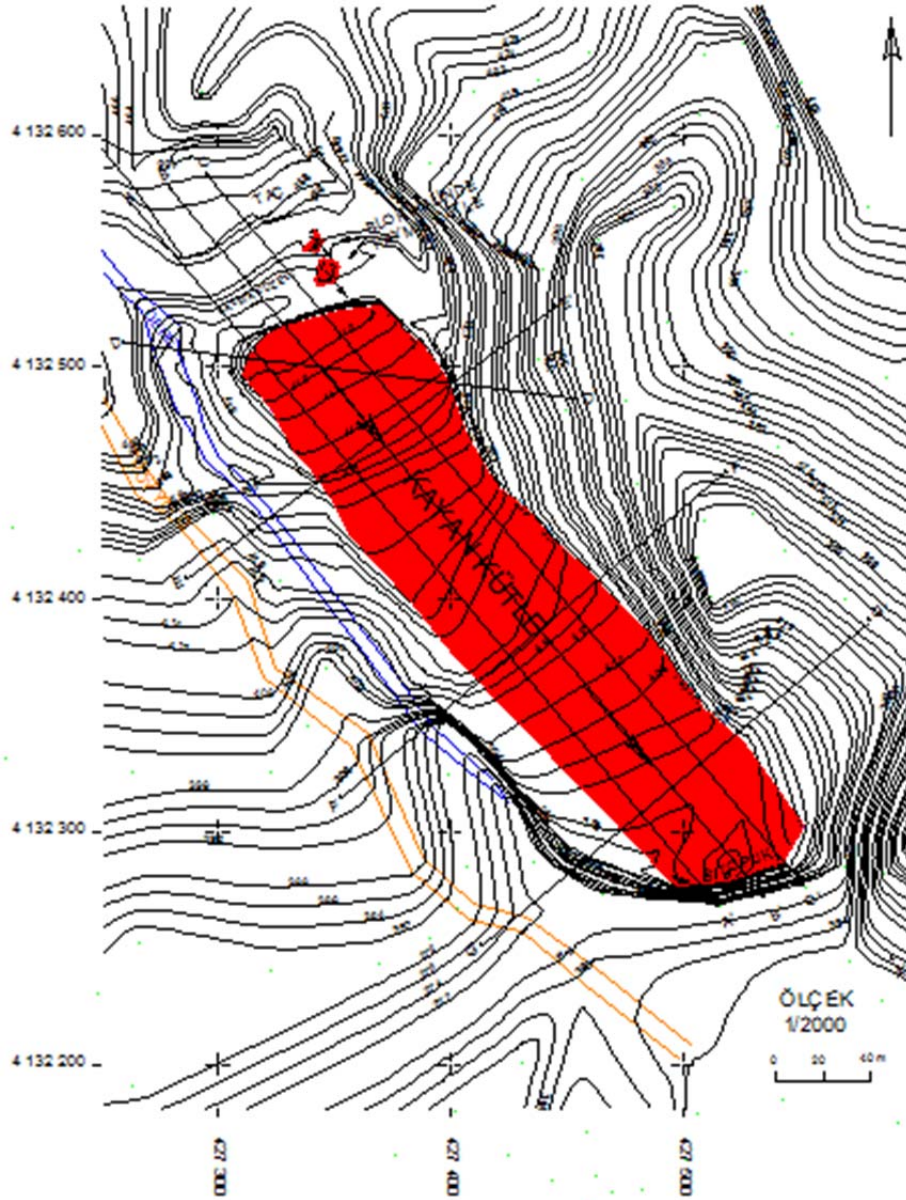
Bej renkli, açık gri, gri, Çok kalın-kalın tabaka yapılı resifal kireçtaşlarından oluşan birime ait kalınlık 0-600 m arasındadır (İlker, 1975). Bu formasyonda tabanda Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerine aşılal diskordanslı, Kaplankaya Formasyonu ile yanıl ve düşey geçişlidir. Üzerine yanıl ve düşey geçişli olarak Güvenç Formasyonu ve Cingöz Formasyonu gelmektedir. Birimin yaşı Alt-Orta Miyosen'dir (Görür, 1979).

4.2. Heyelanın Haritalanması Ve Enine Kesit Alımı

İnceleme alanında GPS Total Station ile ölçüm yapılarak koordinatlar alınmış, alınan bu koordinatlar Netcad programına aktarılıp kayan kütlenin konumu ile sınırları belirlenerek halihazır haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10). Kayan kütlenin topoğrafyasının yıllara göre değişimi, Google Earth görüntüleri üzerinde 2010, 2013, 2014, 2017, 2019 yılları incelenmiş ve kütlenin taç kısmında hilal şeklinde çökmüş bir boyun yapısının varlığı görülmüştür. Bu durum heyelan kütlesinin daha öncede kaydığı şekilde yorumlanmış ve yöre halkı ile yapılan görüşmelerde de bu durum teyit edilmiştir. 2013 yılı görüntüsünde heyelan alanı ile civarında sık orman ağaçlarının olduğu görülmüş, 2014 yılındaki görüntü incelendiğinde ise; heyelan bölgesinde ağaç kesimi yapıldığı ve bitki örtüsünün kaldırıldığı gözlenmiştir. Bu durumun; zeminin suya doymun hale gelmesini

kolaylaŐtırarak boŐluk suyu basıncının artmasına sebep olmuŐ, bununda kaymayı tetiklemiŐ olabileceđi dűŐünműŐtűr (Őekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15).





Şekil 4.7. İnceleme alanının halihazır haritası (1/2000 ölçek)



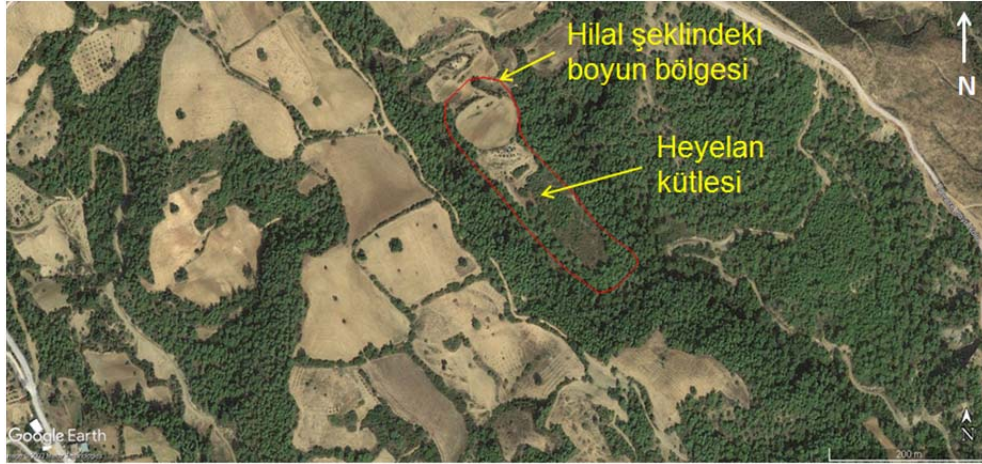
Şekil 4.8. Total Station GPS ile sahada ölçüm yapılması (Heyelanın alt kısmı)



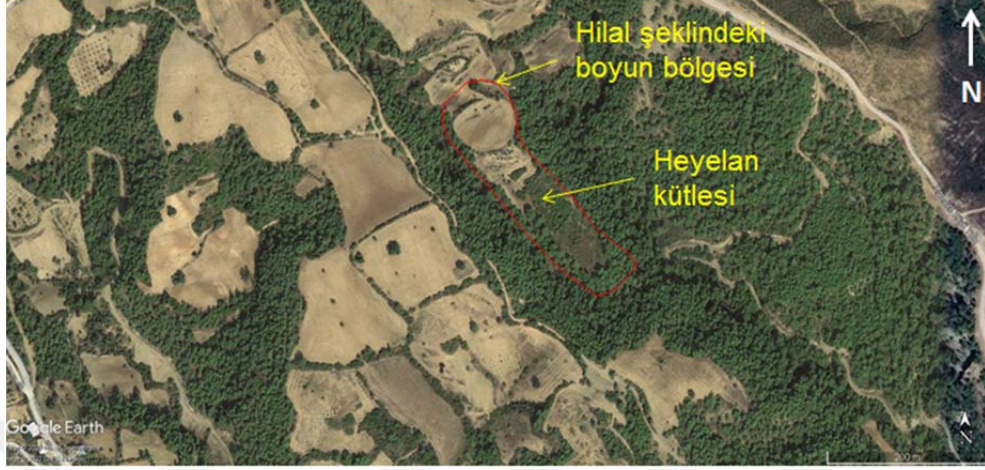
Şekil 4.9. Total Station GPS ile sahada ölçüm yapılması (Heyelanın st kısmı)



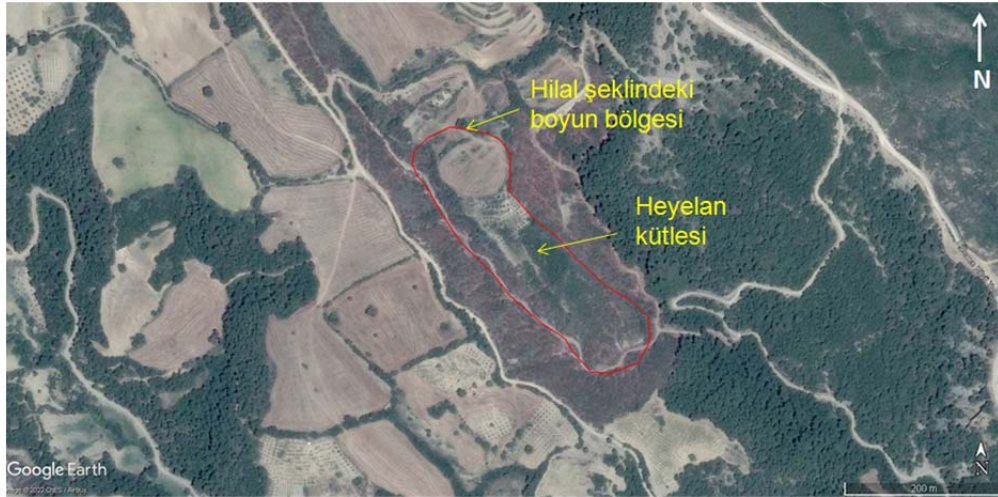
Şekil 4.10. Cingöz Formasyonu (Tci); kum-kumtaşı-kil-kiltaşı ardalanması kayan kütle görünümü (Kuzeydoğudan Güneydoğuya bakış)



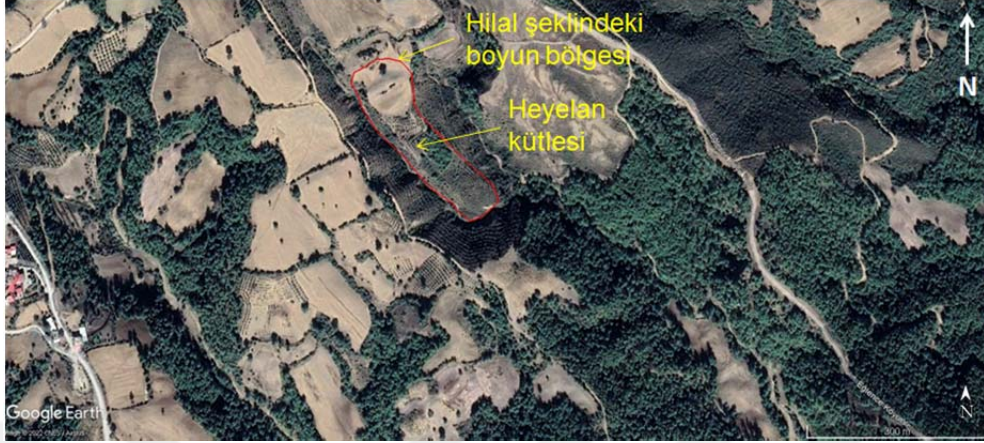
Şekil 4.11. Heyelan sahasının 2010 yılındaki Google Earth görüntüsü



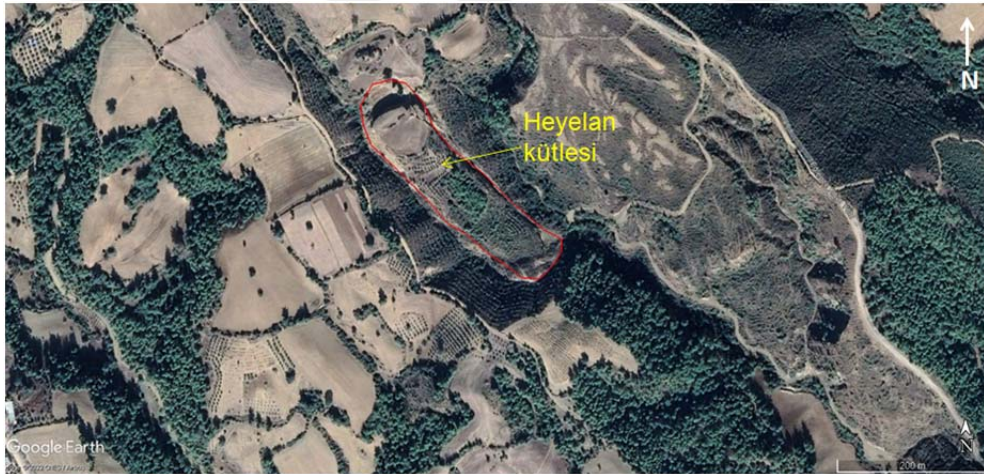
Şekil 4.12. Heyelan sahasının 2013 yılındaki Google Earth görüntüsü



Şekil 4.13. Heyelan sahasının 2014 yılındaki Google Earth görüntüsü



Şekil 4.14. Heyelan sahasının 2017 yılındaki Google Earth görüntüsü

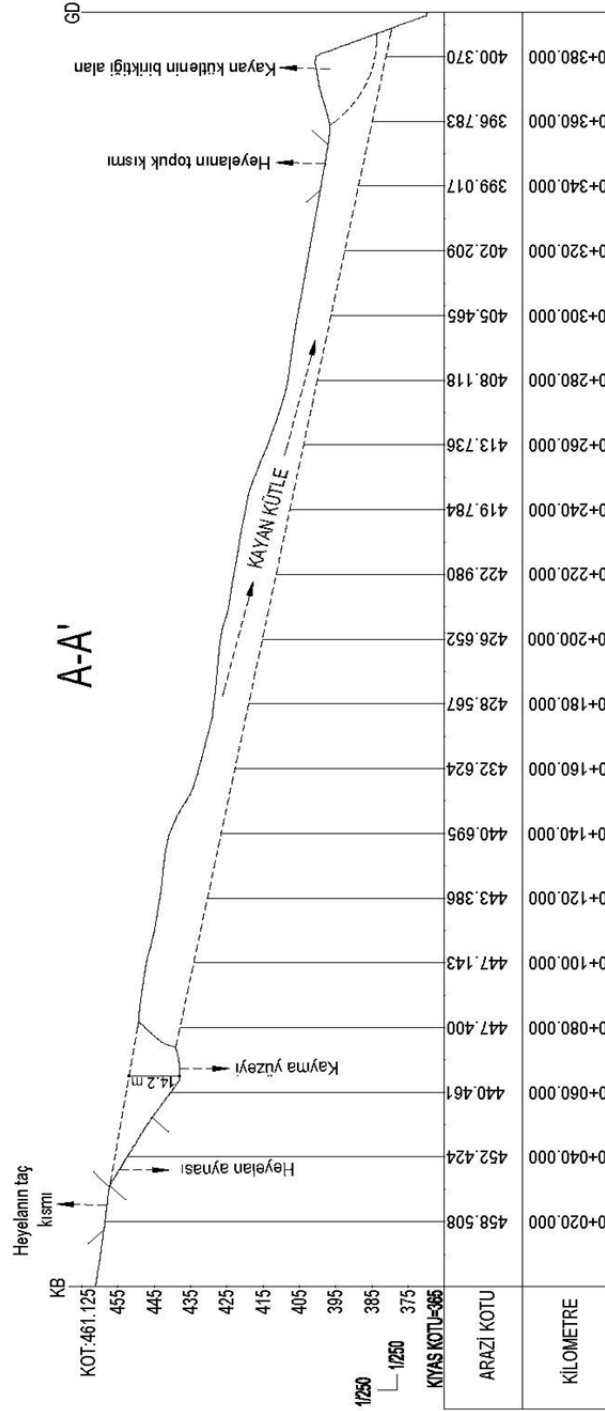


Şekil 4.15. Heyelan sahasının 2019 yılındaki Google Earth görüntüsü

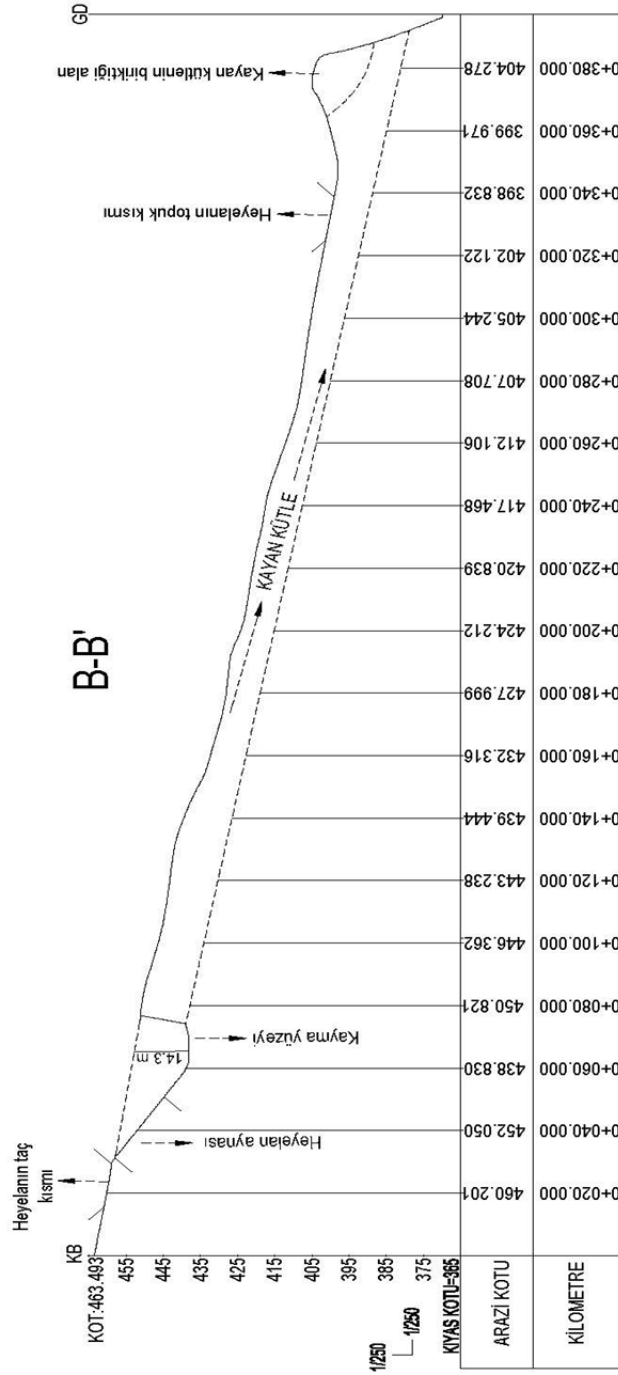
Çorlu (Karaisalı/Adana) Heyelanının oluşum mekanizması, kayma yönü, boyutu, kapladığı alan ve kayan kütlelerin hacmini bulmak için 1/2000 ölçekli halihazır harita çizilmiş ve daha sonra 1/250 ölçekli A-A' (KB-GD) ve B-B' (KB-GD) ve C-C' (KB-GD) güzergahı boyunca 3 adet enine kesit alınmıştır (Şekil 4.16, 4.17, 4.18). Ayrıca, heyelanın geometrisini belirlemek için D-D' (KB-GD), E-E' (GB-KD), F-F' (GB-KD) ve E-E' (GB-KD) güzergahları boyunca 4 adet kütleyi dik yönde kesen enine kesit alınmıştır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22).

Yapılan ölçümler sonucunda halihazır harita çıkarılarak heyelanın 71 m genişliğinde 317 m uzunluğunda, yatay olarak kayma miktarı 40 metre ve kayma düzleminin yüzeyden derinliği ise 14,30 m olduğu belirlenmiştir. Kayan kütlemin kapladığı alan 19511,1 m² ve hacim ise 48993 m³'tür. Ayrıca heyelanın içerisinde geliştiğı Cingöz Formasyonunu oluşturan kumtaşlarının 14,30 m yüksekliğindeki kayan kütlemin sadece 2 m'lik kesimini temsil ettiğı, geri kalanın killi seviyelerden oluştuğı belirlenmiştir.

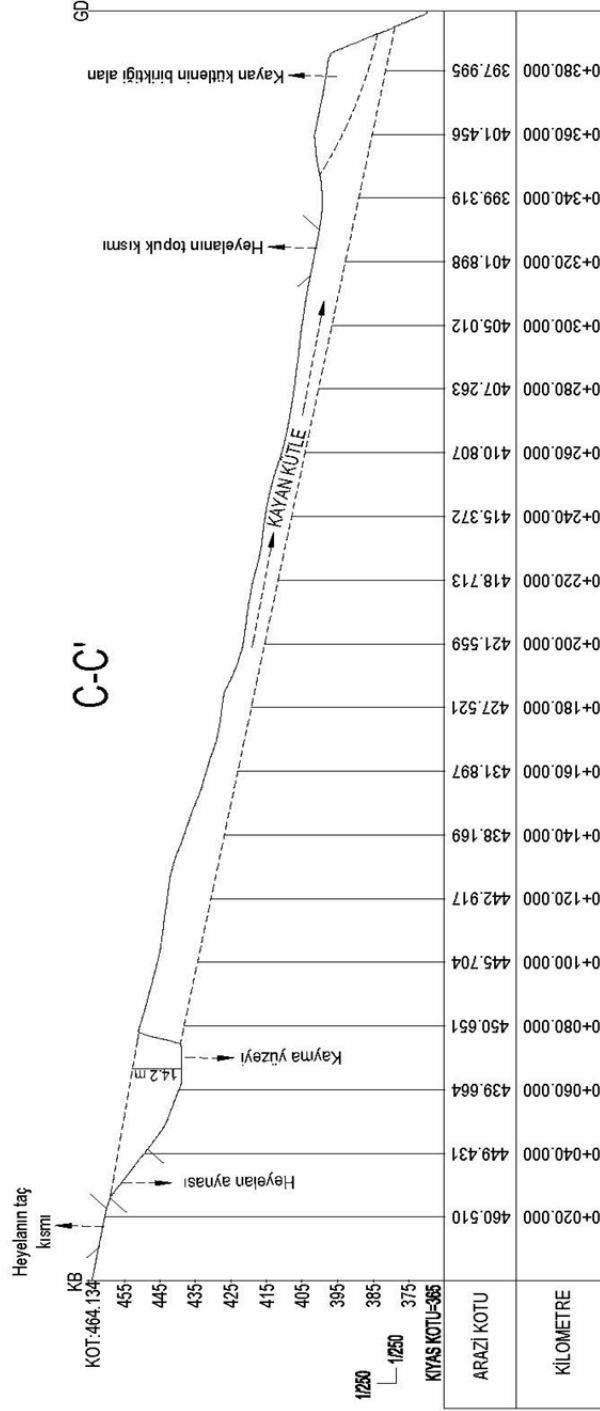




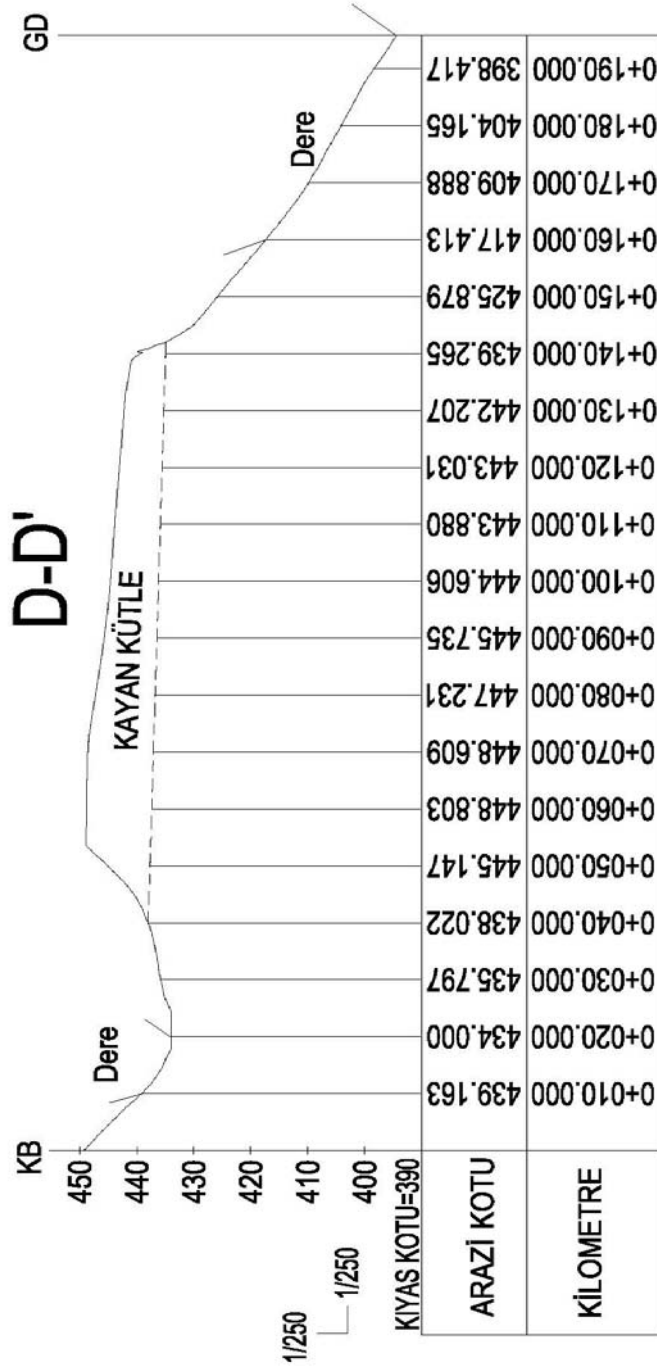
Şekil 4.16. Çorlu heyelanının A-A' güzergahı boyunca enine kesiti



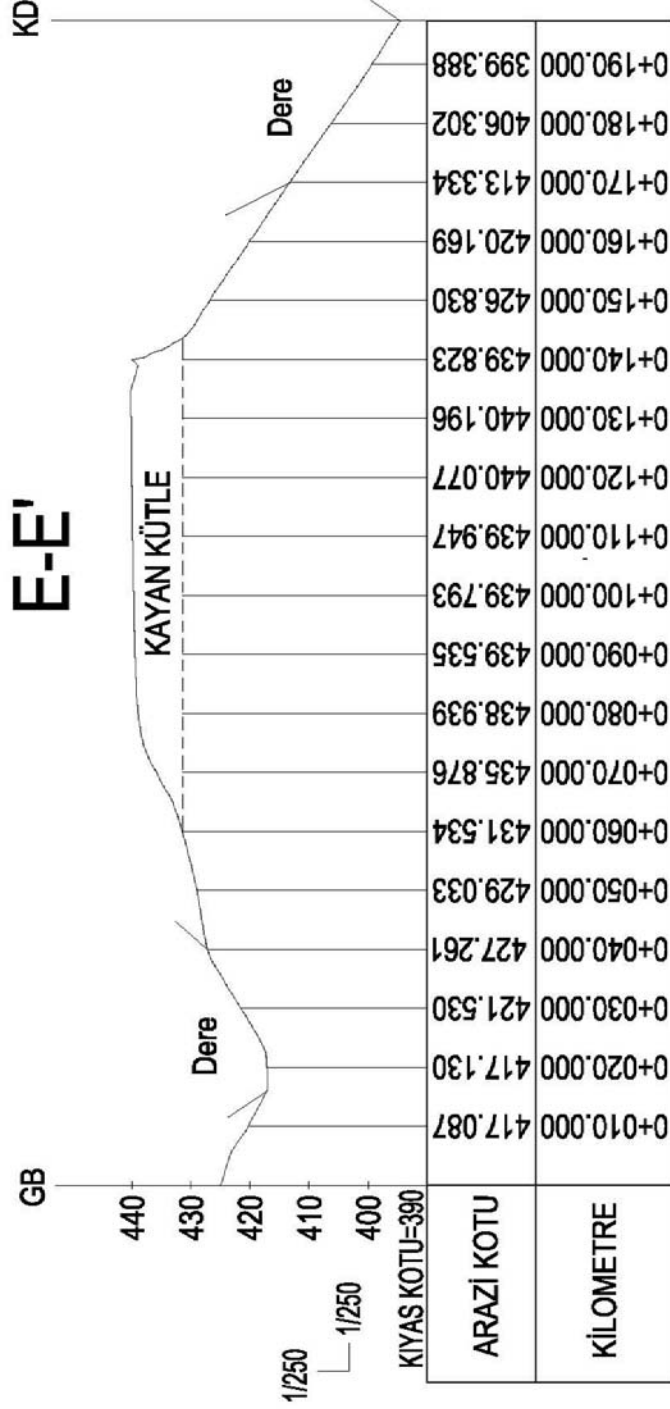
Şekil 4.17. Çorlu heyelanının B-B' güzergahı boyunca enine kesiti



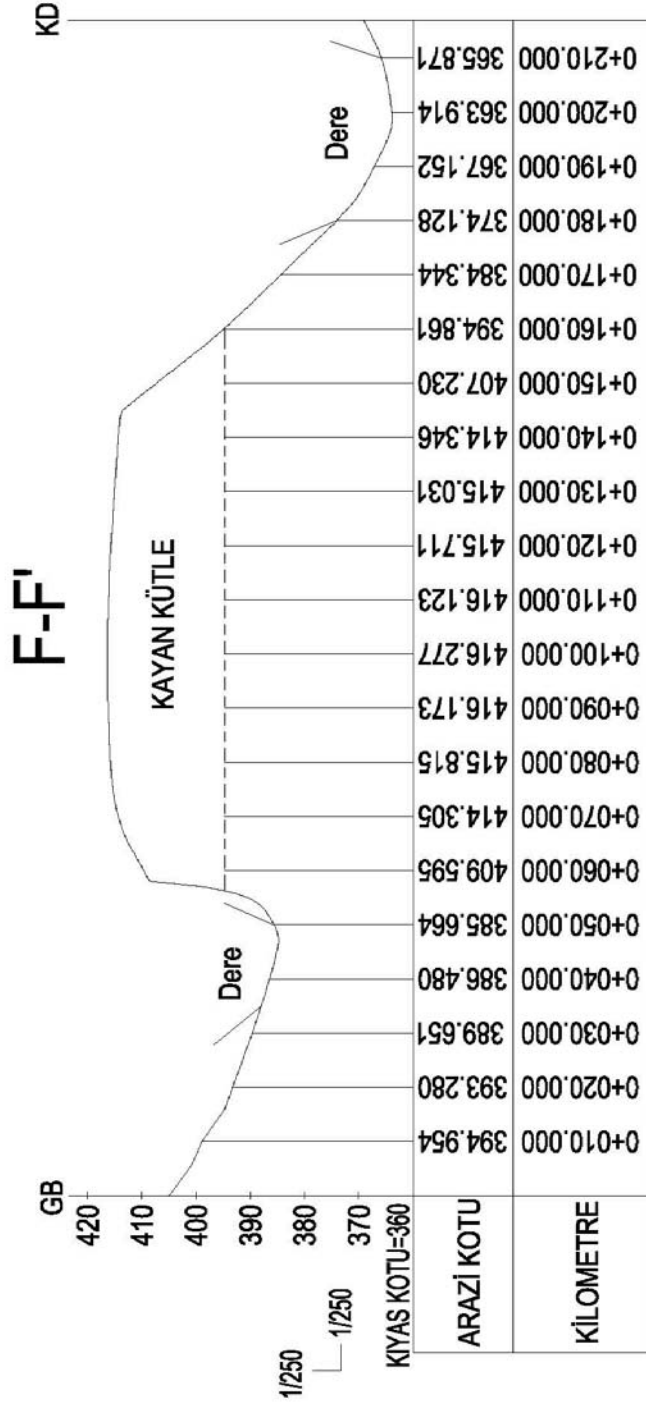
Şekil 4.18. Çorlu heyelanının C-C' güzergahı boyunca emine kesiti



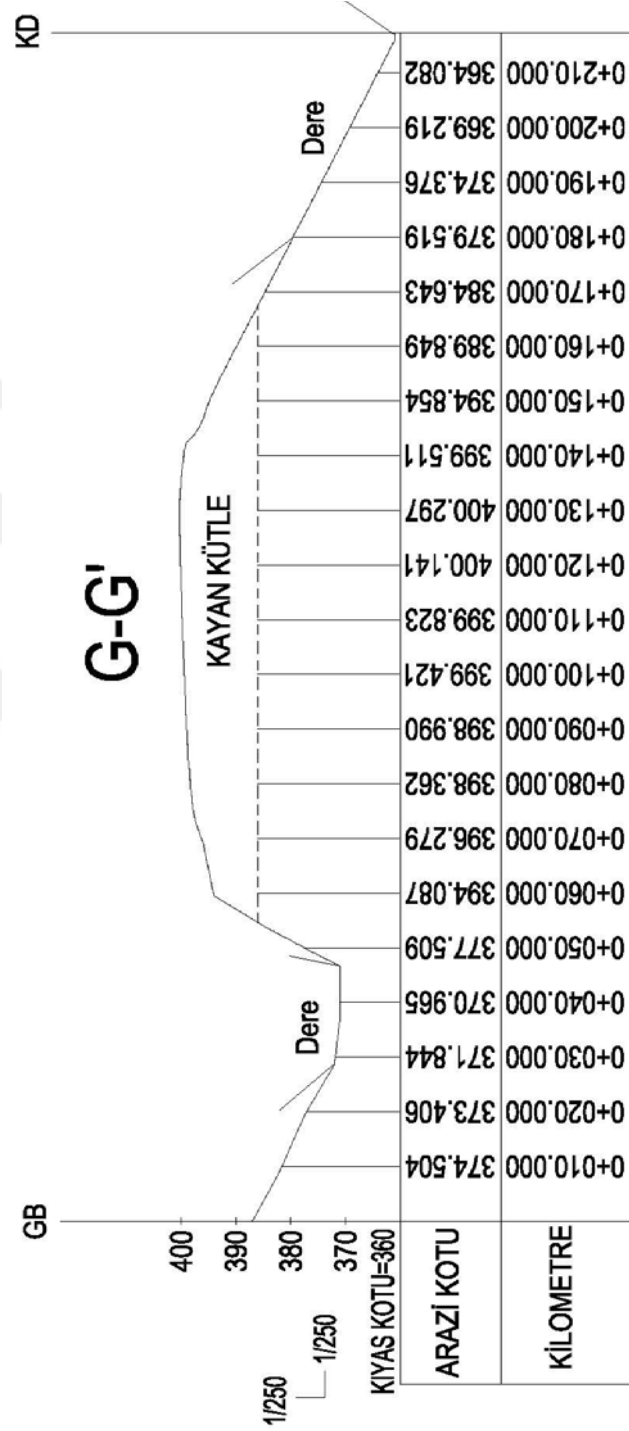
Şekil 4.19. Çorlu heyelanının D-D' güzergahı boyunca enine kesiti.



Şekil 4.20. Çorlu heyelanının E-E' güzergahı boyunca emine kesiti.



Şekil 4.21. Çorlu heyelanının F-F' güzergahı boyunca enine kesiti.



Şekil 4.22. Çorlu heyelanının G-G' güzergahı boyunca enine kesiti.

4.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölge Akdeniz iklimine ait olan özellikler taşımaktadır. Yaz döneminde sıcak-kurak, kış döneminde ılık-yağışlıdır. Bölgede dönemsel olarak yağın yağışlar, genellikle yamaç yağışlarıyla gezici hava kütlelerinin karşılaşması sonucu oluşmaktadır. Yaz dönemlerinde nem yüklü sıcak bir hava görülmektedir (<https://www.ilimiz.net/ilce/1/14-adana-ilimizin-karaisali-ilcesi.html>).

Bölgenin mevcut bitki örtüsü aynı şekilde Akdeniz iklimi özelliği taşımaktadır. Rakımın az olduğu alanlarda bodur ağaçlardan oluşmuş olan makiler bulunmaktadır.

Heyelanın meydana geldiği bölgenin 2014 yılı Google Earth görüntüleri incelenmiş ve bu dönemde bölgede ağaç kesimi yapılarak bitki örtüsünün seyreltildiği, orman ağaç türlerinin yerine bazı kesimlerde meyve ağaçlarının dikilerek bölgede seyrek bitki örtüsüne sahip alanlar meydana getirildiği gözlenmiştir. Çıplak ve seyrek bitki örtüsüne sahip bu alanlar ormanlık alanlara göre hızlı erozyona maruz kalacakları gibi duraysızlığa karşı eğilimleri yüksek olacaktır.

4.4. Yağış Verileri

Çalışma alanına ait yağış verileri Karaisalı Bölge İstasyonunun (İstasyon Adı/No: Karaisalı/17936) bağlı bulunduğu Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışma alanının 2013-2022 yılları arasındaki aylık yağış miktarları ve yıllık toplam yağış miktarları kg/m^2 olarak Çizelge 4.1' de verilmiştir.

2013-2022 yılları toplam yıllık yağış ortalamaları karşılaştırıldığında metrekareye düşen yağış miktarının 2019 yılında en fazla yağış miktarı ile toplamda 1429 kg/m^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 4.1).

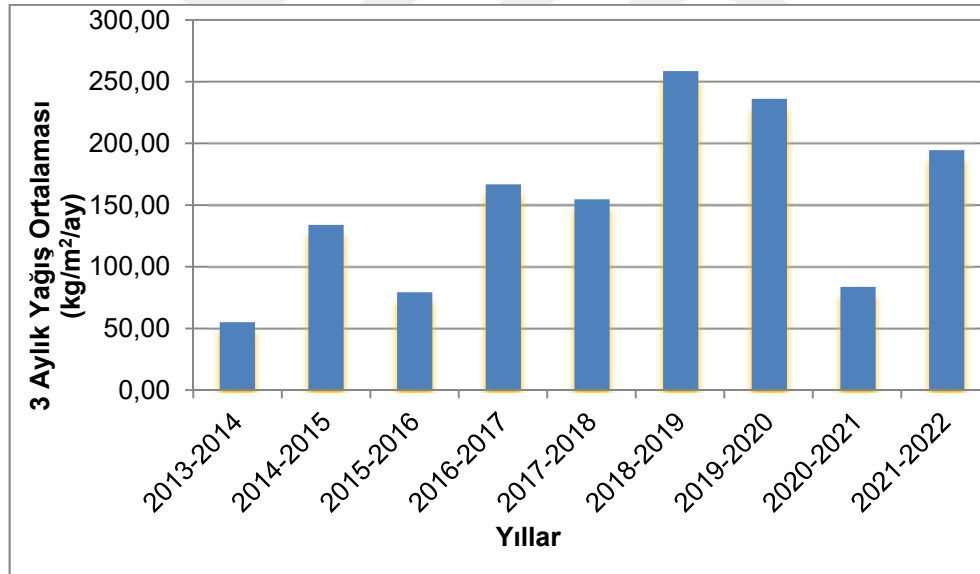
Çizelge 4.1. Çalışma sahasının 2013-2022 yılları aylık yağış verileri (kg/m²/ay)
(Karaisalı Meteoroloji İstasyonu, 2022; İstasyon Adı/No:
Karaisalı/17936)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOPLAM
2013	37,2	49,6	54,2	113,0	29,4	0,2	0,6	9,6	43,4	24,2	13,0	23,6	398
2014	99,4	42,8	86,4	47,2	82,2	68,4	1,4	15,4	206,2	22,8	99,6	99,8	871,6
2015	121,4	182,2	118,6	62,2	27,2	102,4	0,6	43,8	23,6	94,0	16,6	17,2	809,8
2016	129,2	92,8	83,6	7,2	72,6	35,6	95,8	0,2	76,0	1,6	28,6	398,0	1021,2
2017	102,4	0,0	112,4	163,8	61,0	24,0	0,6	12,6	0,0	38,0	139,6	27,8	682,2
2018	381,6	54,8	48,4	52,2	92,8	67,8	8,0	3,6	47,4	72,6	15,4	364,2	1208,8
2019	289,2	122,6	161,0	116,8	18,4	235,4	62,6	0,0	10,0	17,8	28,4	366,8	1429,0
2020	170,8	170,2	99,0	24,2	81,6	82,0	0,0	26,6	0,0	1,8	62,8	61,8	780,8
2021	161,4	28,8	98,4	79,4	38,8	36,6	14,4	10,2	14,0	0,8	58,6	143,2	605,2
2022	293,0	149,0	80,2	8,6	21,6								

2013-2022 yılları arasında Aralık, Ocak, Şubat ayları incelendiği zaman en yüksek yağışların bu 3 aylık periyotlarda gerçekleştiği görülmüştür. Bu 3 ayın yağış ortalamaları en fazla 2018-2019 yıllarında 258,67 kg/m²/ay, 2019-2020 yıllarında 235,93 kg/m²/ay ve 2021-2022 yıllarında 195,07 kg/m²/ay olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bu 3 ayın yağış ortalamalarının birbirlerine göre durumları ise Şekil 4.23' de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Aralık-Ocak-Şubat ayları arasındaki 3 aylık yağış ortalaması (kg/m²/ay)

YILLAR	3 aylık yağış ortalaması (kg/m ² /ay)
2013-2014	55,27
2014-2015	134,47
2015-2016	79,73
2016-2017	166,80
2017-2018	154,73
2018-2019	258,67
2019-2020	235,93
2020-2021	84,00
2021-2022	195,07

Şekil 4.23. Aralık-Ocak-Şubat aylarına ait 3 aylık yağış ortalaması (kg/m²/ay)

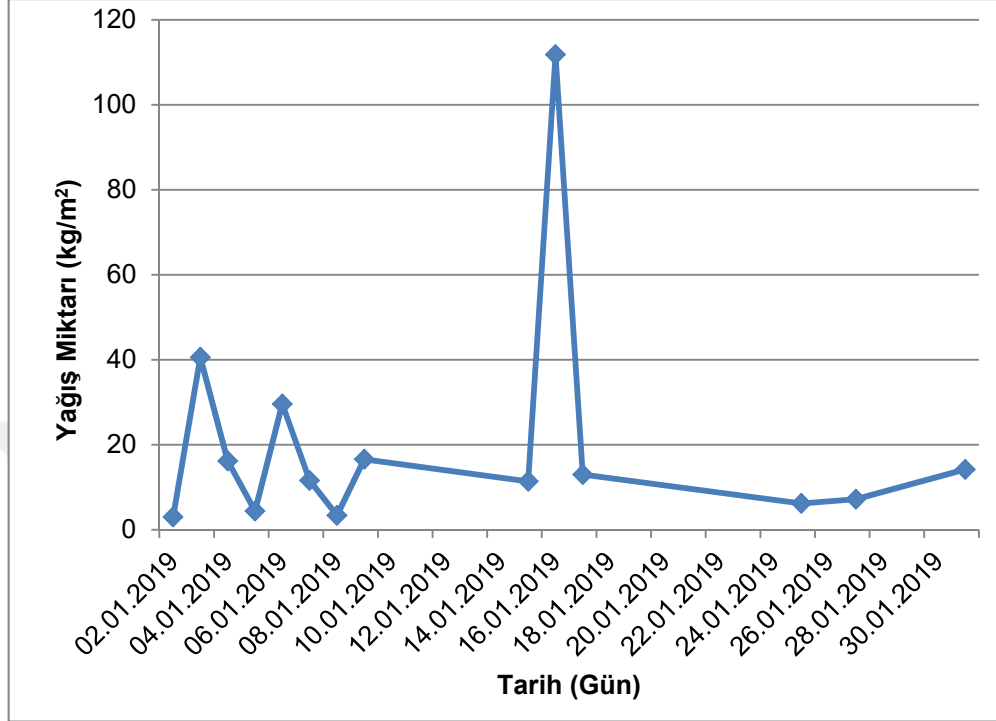
Çizelge 4.1 incelendiğinde 2013-2022 yılları toplam yıllık yağış ortalamaları karşılaştırıldığında metrekareye düşen yağış miktarının 2019 yılında en fazla yağış miktarı ile toplamda 1429 kg/m²/ay olarak gerçekleştiği görülmüştür. Çizelge 4.2'ye bakıldığında Aralık-Ocak-Şubat ayları incelendiği zaman en yüksek yağışların bu 3 aylık periyotlarda gerçekleştiği görülmüştür. Bu 3 ayın yağış ortalamalarında ise en fazla toplam ortalama yağış miktarı, 2018-2019 yıllarında ve 258,67 kg/m²/ay olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 4.3 ve 4.4'de 2018-2019 yılı tüm aylara ait günlük yağış verileri incelendiğinde 16 Ocak 2019 tarihinde bir yılın toplamda metrekareye düşen en yüksek yağış miktarı 111,8 kg/m²/gün olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.24). Heyelan; 16 Ocak 2019 tarihinde bölgeye düşen aşırı yağışlardan sonra, zeminin suya doymun hale gelmesi sonucunda 17 Ocak 2019 tarihinde meydana gelmiştir.

Çizelge 4.3. 2018 yılı günlük yağış miktarları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022; İstasyon Adı/No: Karaisalı/17936)

Gün	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	47,4	0,0	3,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	53,2
2	0,0	0,0	0,2	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	50,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	18,8
6	3,0	0,0	2,0	0,0	4,4	0,4	0,0	3,4	0,4	0,0	0,0	45,6
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	26,4	0,0	0,0	29,6
8	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	0,6	0,0
9	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	42,4	32,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8
11	0,0	0,0	0,0	2,8	2,6	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,2	25,0
12	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
13	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0
14	8,2	0,0	0,0	0,2	0,0	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	16,6	1,2	0,0	0,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
18	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	13,4	0,0	14,4
19	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,4
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	40,6
21	0,0	0,0	3,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0
22	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	33,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
23	96,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
24	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,0
25	20,6	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	0,4	0,0
26	57,0	0,6	3,2	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	15,2	0,0	39,6
27	3,0	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	3,6
28	0,0	16,4	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
29	0,0	0,0	35,2	0,0	5,4	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4

Çizelge 4.4. 2019 yılı günlük yağış miktarları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022; İstasyon Adı/No: Karaisalı/17936)

Gün/ Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0,0	12,2	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	3,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	1,8
3	40,6	0,0	0,0	31,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	16,2	0,0	18,0	5,2	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	4,4	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	29,6	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	11,6	43,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
8	3,4	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	16,6	22,4	0,0	0,8	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	1,0	0,0	12,6	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8
11	0,0	5,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
12	0,0	0,0	1,2	0,6	0,0	83,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
13	0,0	9,6	0,2	0,0	0,0	0,4	31,4	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2
14	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	78,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0
15	11,4	6,4	7,0	17,2	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	2,8	19,0
16	111,8	0,2	19,8	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0
17	13,0	0,0	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	6,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	11,8	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	13,6	0,0	24,6	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0
23	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0
25	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2
27	7,2	3,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	20,4
28	0,0	3,2	3,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
29	0,0		66,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,2
30	0,0		4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	36,0
31	14,2		10,8		0,0		0,0	0,0		0,0		45,0



Şekil 4.24. 2019 yılı Ocak ayı günlük yağış miktarları (kg/m²/gün) (Not: Ocak ayının günlük verilerinde 0,0 olan yağış miktarları grafiğe alınmamıştır).

4.4.2. Laboratuvar Çalışmaları

4.4.2.1. Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Çalışma sahasından temin edilen numuneler üzerinde özgül ağırlık deneyleri yapılarak, bu deneyler sonucunda ortalama özgül ağırlık 2,49 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5). Çalışma sahasından alınan örselenmemiş blok numunelerin porozite ve boşluk oranları tespit edilmiş, daha sonra ise doymun birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. Özgül ağırlık deneyi hesabı

ÖZGÜL AĞIRLIK				
Deney sayısı	1	2	3	4
Numune Ağırlığı (gr)	35,03	35,02	35,16	35,10
Piknometre + numune +su ağırlığı (gr)	376,88	372,15	376,40	372,01
Piknometre + su ağırlığı (gr)	355,32	350,66	355,02	350,57
Özgül ağırlık	2,51	2,50	2,46	2,48
Ortalama özgül ağırlık	2,49			

Çizelge 4.6. Boşluk oranı, porozite ve doygun birim hacim ağırlık hesabı

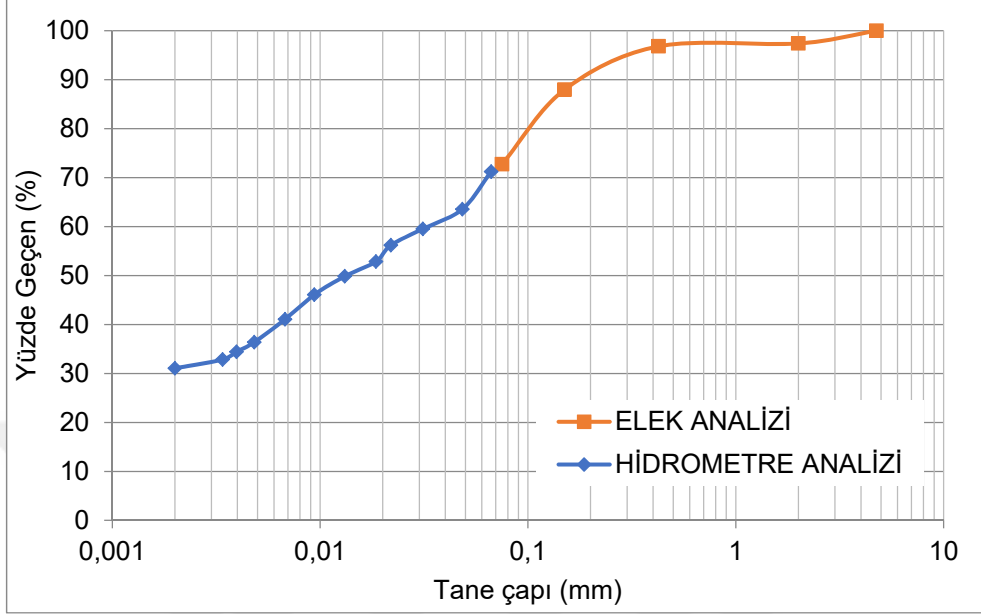
FİZİKSEL ÖZELLİKLER				
	90	90	90	90
Kare ring (numune) hacmi (cm ³)	90	90	90	90
Kare ring + yaş numune (gr)	246,04	244,28	242,26	237,05
Kare ring ağırlığı (gr)	80,54	80,54	80,54	80,54
Yaş numune ağırlığı (gr)	165,50	163,74	161,72	156,51
Doğal birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	1,84	1,82	1,80	1,74
Kap + yaş numune ağırlığı (gr)	444,80	436,42	444,80	444,80
Kap + kuru numune ağırlığı (gr)	403,21	399,17	403,21	403,21
Kap ağırlığı (gr)	66,99	67,02	66,99	66,99
Su ağırlığı (gr)	41,59	37,25	41,59	41,59
Kuru numune ağırlığı (gr)	336,22	332,15	336,22	336,22
Doğal su içeriği (%)	12,37	11,21	12,37	12,37
Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	1,64	1,64	1,60	1,55
Özgül ağırlık	2,49	2,49	2,49	2,49
Suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	1	1	1	1
Tane birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	2,49	2,49	2,49	2,49
Porozite (n)	34,28	34,30	35,78	37,85
Boşluk oranı (e)	0,52	0,52	0,56	0,61
Doygunluk derecesi (%)	59,05	53,48	55,28	50,58
Doygun birim hacim ağırlığı (gr/cm ³)	1,98	1,98	1,96	1,93

4.3.1.2. Zeminlerin İndeks Özellikleri

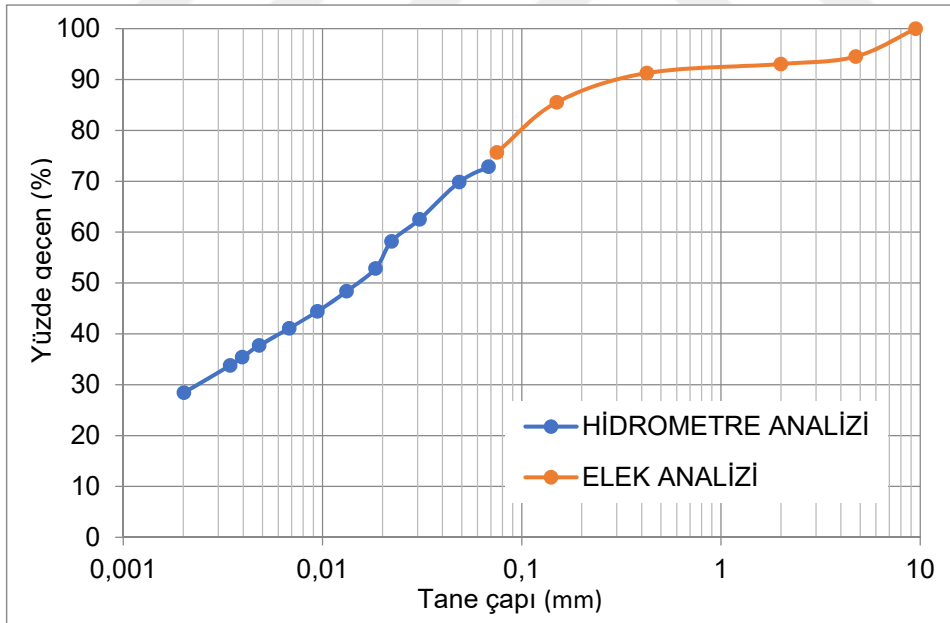
Çalışma sahasında Cingöz Formasyonu'nun killi seviyelerinden alınan numuneler üzerinde tane boyu analizi ile Atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır. Tane boyu analizinde hidrometre ve elek analizi deneyleri yapılmıştır (EK-4, 5, 6). Tane boyu analizi sonucu ile elde edilen tane boyu eğrileri Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de gösterilmiştir. Tane dağılımları ise Çizelge 4.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Tane boyu yüzdeleri

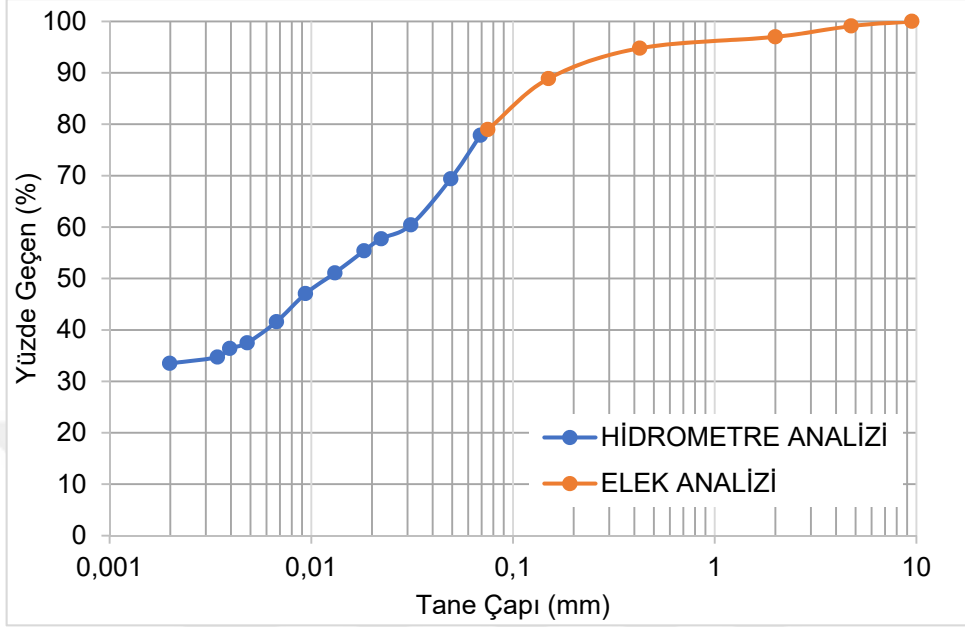
TANE BOYU ANALİZ SONUÇLARI				
Tane boyu (mm)	Tane grubu	1.Deney	2.Deney	3.Deney
		%	%	%
<0,005 mm	Kil	36,4	37,70	37,5
0,075-0,005 mm	Silt	36,34	37,98	41,48
0,425-0,075 mm	İnce kum	24,06	15,60	15,8
2-0,425 mm	Orta kum	0,6	1,76	2,22
4,75-2 mm	Kaba kum	2,6	1,48	2,1
19-75 mm	Çakıl	0	5,48	0,9
75 mm <	Blok			



Şekil 4.25. Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-1)



Şekil 4.26. Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-2)



Şekil 4.27. Cingöz Formasyonuna ait tane boyu eğrisi (Deney-3)

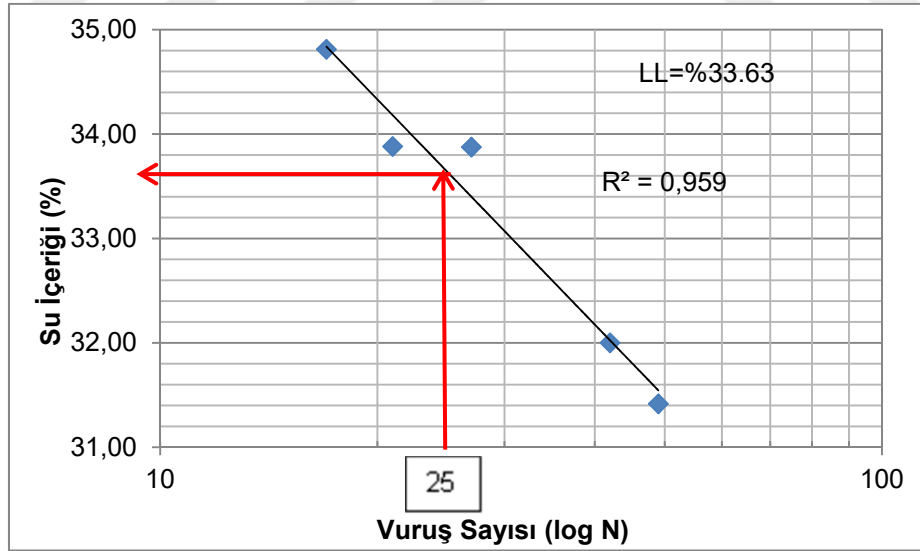
Çalışma sahasında Cingöz Formasyonu'nun killi seviyelerinden alınan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan Atterberg (Kıvam) limit deneyleri sonuçları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 ve Şekil 4.28, 4.29, 4.30).

Çizelge 4.8. Atterberg (Kıvam) Limitleri, Plastisite İndisi, Kıvamlılık İndisi, Likitlik İndisi ve Zemin Sınıfı

Deney No	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Kıvamlılık İndisi (IC)	Likitlik İndisi (LI)	Zemin Sınıfı (USCS)
1	33,63	22,80	10,83	1,99	0,99	CL
2	33,00	22,17	10,83	1,93	0,93	CL
3	33,20	21,00	12,20	1,73	0,73	CL

Çizelge 4.9. Likit Limit Deney sonuçları

Deney sayısı	1	2	3	4	5
Darbe sayısı	49	42	27	21	17
Kap No	G8	H4	A2	32	LOG28
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	15,78	35,65	58,23	25,31	39,19
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	14,25	33,49	55,52	22,63	36,13
Kap Ağırlığı (gr)	9,38	26,74	47,52	14,72	27,34
Su Ağırlığı (gr)	1,53	2,16	2,71	2,68	3,06
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	4,87	6,75	8,00	7,91	8,79
Su İçeriği (%)	31,42	32,00	33,87	33,88	34,81



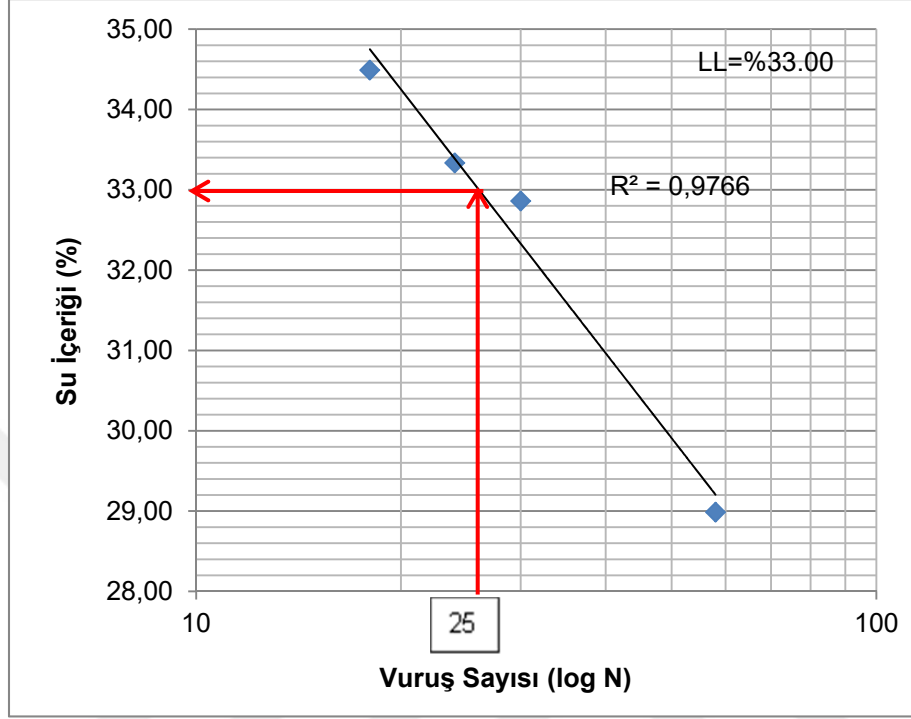
Şekil 4.28. Likit Limit grafiği (Deney-1)

Çizelge 4.10. Plastik Limit Deney sonuçları

Darbe sayısı	1	2	3
Kap No	G20	G10	G7
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	13,89	12,71	8,91
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	13,05	12,30	8,37
Kap Ağırlığı (gr)	9,48	10,42	6,03
Su Ağırlığı (gr)	0,84	0,41	0,54
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	3,57	1,88	2,34
Su İçeriği (%)	23,53	21,81	23,08
Plastik limit (%)	22,80		

Çizelge 4.11. Likit Limit Deney sonuçları

Deney sayısı	1	2	3	4
Darbe sayısı	58	30	24	18
Kap No	G60	E6	G20	G10
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	13,49	16,98	15,91	16,99
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	12,69	15,36	14,30	15,30
Kap Ağırlığı (gr)	9,93	10,43	9,47	10,40
Su Ağırlığı (gr)	0,80	1,62	1,61	1,69
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	2,76	4,93	4,83	4,90
Su İçeriği (%)	28,99	32,86	33,33	34,49



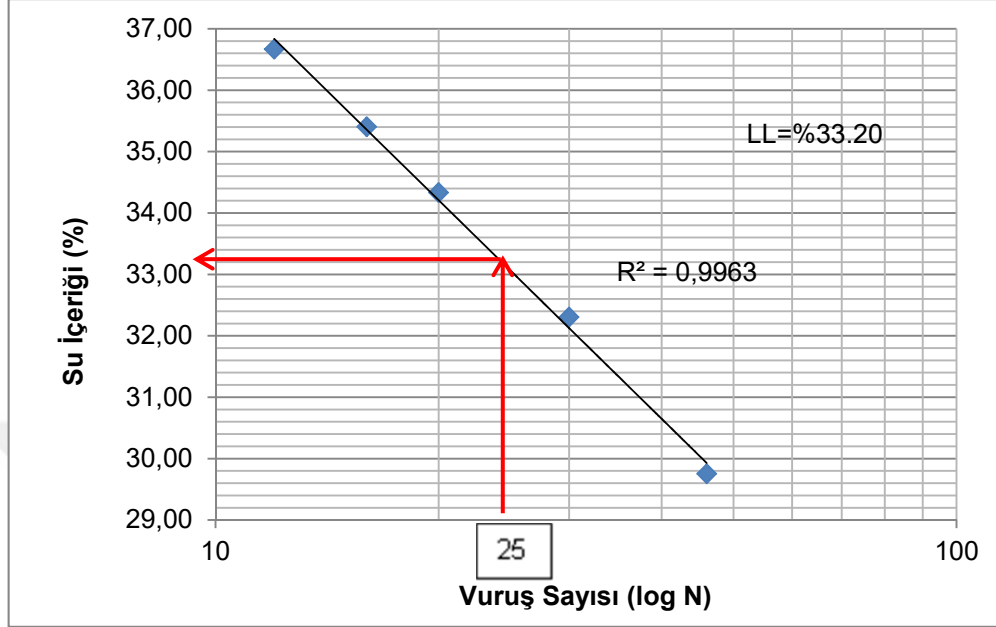
Şekil 4.29. Likit Limit grafiği (Deney-2)

Çizelge 4.12. Plastik Limit Deney sonuçları

Deney sayısı	1	2	3
Kap No	G60	12.00	E6
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	12,40	10,44	12,94
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	11,94	10,12	12,49
Kap Ağırlığı (gr)	9,93	8,65	10,43
Su Ağırlığı (gr)	0,46	0,32	0,45
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	2,01	1,47	2,06
Su İçeriği (%)	22,89	21,77	21,84
Plastik limit (%)	22,17		

Çizelge 4.13. Likit Limit Deney sonuçları

Deney sayısı	1	2	3	4	5
Darbe sayısı	20	46	30	16	12
Kap No	Log28	H4	G17	21	A3
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	34,07	31,42	15,69	55,01	52,12
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	32,35	30,34	14,33	53,47	50,91
Kap Ağırlığı (gr)	27,34	26,71	10,12	49,12	47,61
Su Ağırlığı (gr)	1,72	1,08	1,36	1,54	1,21
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	5,01	3,63	4,21	4,35	3,30
Su İçeriği (%)	34,33	29,75	32,30	35,40	36,67



Şekil 4.30. Likit Limit grafiği (Deney-3)

Çizelge 4.14. Plastik Limit Deney sonuçları

Deney sayısı	1	2
Kap No	G7	12
Yaş Numune+Kap Ağırlığı (gr)	6,45	9,29
Kuru Numune+Kap Ağırlığı (gr)	6,38	9,17
Kap Ağırlığı (gr)	6,01	8,65
Su Ağırlığı (gr)	0,07	0,12
Kuru Numune Ağırlığı (gr)	0,37	0,52
Su İçeriği (%)	18,92	23,1
Plastik limit (%)	21,00	

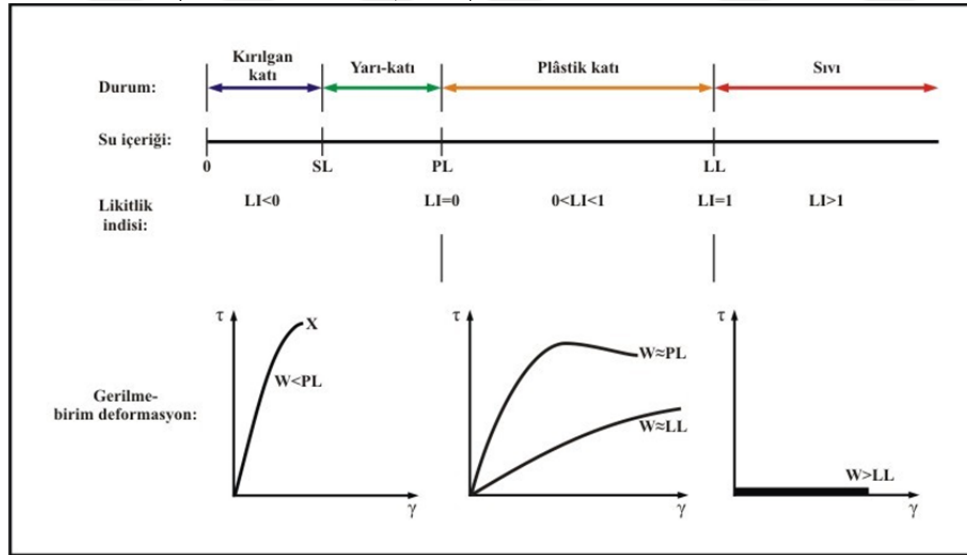
Çalışma sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, elde edilen doğal su içeriği ve Atterberg (Kıvam) limitleri kayma düzleminin içerisinde geliştiği killi seviyeler için Kıvamlılık indisi (I_C) ile Likitlik İndisi (LI) ve Plastisite İndisi değerleri bulunmuş ve sınıflamalar yapılmıştır

(Çizelge 4.15, 4.16, 4.17, 4.18). Bulunan değerlere göre Cingöz Formasyonu'nun killi seviyeleri Kıvamlilik İndisine (I_c) göre Yarı Katı (Çok Sert) sınıfına; Likitlik İndisine (LI) göre Plastik katı; Plastisite İndisine (PI) göre ise Orta Derecede Plastik sınıfına girmektedir.

Çizelge 4.15. İnce taneli zeminlerin Kıvamlilik İndeksine göre sınıflandırılması (Means and Parcher, 1963, Ulusay, 2001).

KIVAMLILIK İNDİSİ (I_c)	SINIFLAMA
< 0	Akışkan (ÇAMUR)
0-0.25	Çok Yumuşak
0.25-0.50	Yumuşak
0.50-0.75	Yarı sert (SİKLİ)
0.75-1.00	Sert
> 1.00	Yarı katı (ÇOK SERT)

Çizelge 4.16. İnce taneli zeminlerin Likitlik İndeksine göre sınıflandırılması (Holtz and Kovacs, 1981)



Çizelge 4.17. İnce taneli zeminlerin Plastisite İndeksine göre sınıflandırılması (Leonards, 1962)

PLASTISITE İNDİSİ (PI) (%)	SINIFLAMA
0-5	Plastik değil
5-15	Orta derecede plastik
15-40	Plastik değil
>40	Çok plastik

Çizelge 4.18. Cingöz Formasyonu'na ait zeminlerin Kıvamlılık İndisi, Likitlik ve Plastisite İndisi değerlerinin hesaplanması ve sınıflandırılması

KIVAM LİMITLERİ	
Likit Limit (%)	33.28
Doğal Su İçeriği (Muhtevası) (W _n)(%)	12.37
Plastik Limit (%)	21.99
Plastisite İndisi (%)	11.29
Kıvamlılık İndisi (IC)	1.88
Kıvamlılık İndisine Göre Sınıflama	Yarı sert (Çok Sert)
Likitlik İndisi (LI)	0.88
Likitlik İndisine Göre Sınıflama	Plastik

Tane boyu analizi ve Atterberg limitleri deney sonucunda elde edilen sayısal verilere göre Cingöz Formasyonu'nun heyelanın içerisinde meydana geldiği killi seviyesi, Şekil 4.27, EK 3'de gösterilen USCS birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılmış olup CL türü zemin sınıfına girmektedir. Bu tür zeminler, düşük-orta plastisiteli inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli killer, yağlı killer içerebilir (Şekil 4.31).

Kesme kutusu deneyinde, önce araziden alınmış örselenmemiş numune üzerinde sahanın heyelan öncesi durumu tasarlanarak kayma düzlemi üzerindeki düşey gerilmelere göre pik dayanım parametrelerini elde etmek amacıyla numuneye 500 gr ($\sigma_n = 0,138 \text{ kg/cm}^2$), 2 kg ($\sigma_n = 0,555 \text{ kg/cm}^2$), 4 kg ($\sigma_n = 1,111 \text{ kg/cm}^2$), 6 kg ($\sigma_n = 1,665 \text{ kg/cm}^2$) normal yükler uygulanmıştır. Daha sonra, rezidüel dayanım parametrelerini elde etmek amacıyla, pik deneylerde elde edilen kayma düzlemleri üzerinde 500 gr ($\sigma_n = 0,138 \text{ kg/cm}^2$), 1 kg ($\sigma_n = 0,277 \text{ kg/cm}^2$), 4 kg ($\sigma_n = 1,111 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yükler altında deneyler tekrarlanmıştır (Şekil 4.32, Şekil 4.33).

Arazide yapılan ölçümlerde ve yapılan halihazır harita üzerinden alınan 3 adet kesitten yararlanılarak heyelan kütesinin kalınlığının maksimum olduğu yerde litolojik birimlerin kalınlıkları ayrı ayrı tespit edilmiş ve bu birimlere ait doğal birim hacim ağırlık ile doygun birim hacim ağırlık değerleri çarpılarak düşey ve yanıl gerilmeler elde edilmiştir.

Kesme kutusu deneyindeki normal gerilmeler aşağı tablodaki verilerin hesaplanması sonucu belirlenmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Düşey ve yanal gerilme hesabı

MEKANİK ÖZELLİKLER	
Birime ait kalınlık (h) (cm)	1430
Doğal birim hacim ağırlık γ_n (gr/cm ³)	1,80
Doygun birim hacim ağırlığı γ_d (gr/cm ³)	1,96
Düşey gerilme σ_{v1} (kg/cm ²)	2,57
Düşey gerilme σ_{v2} (kg/cm ²)	2,80
Plastisite indisi PI (%)	11,29
K _o	0,4874
Yanal gerilme σ_{h1} (kg/cm ²)	1,25
Yanal gerilme σ_{h2} (kg/cm ²)	1,37

$$\sigma_v = \gamma_d \times h$$

$$K_0 = 0,44 + 0,42 * \left(\frac{PI}{100}\right) \text{ (Massarsch, 1979)}$$

K_o =Yer Basıncı Katsayısı

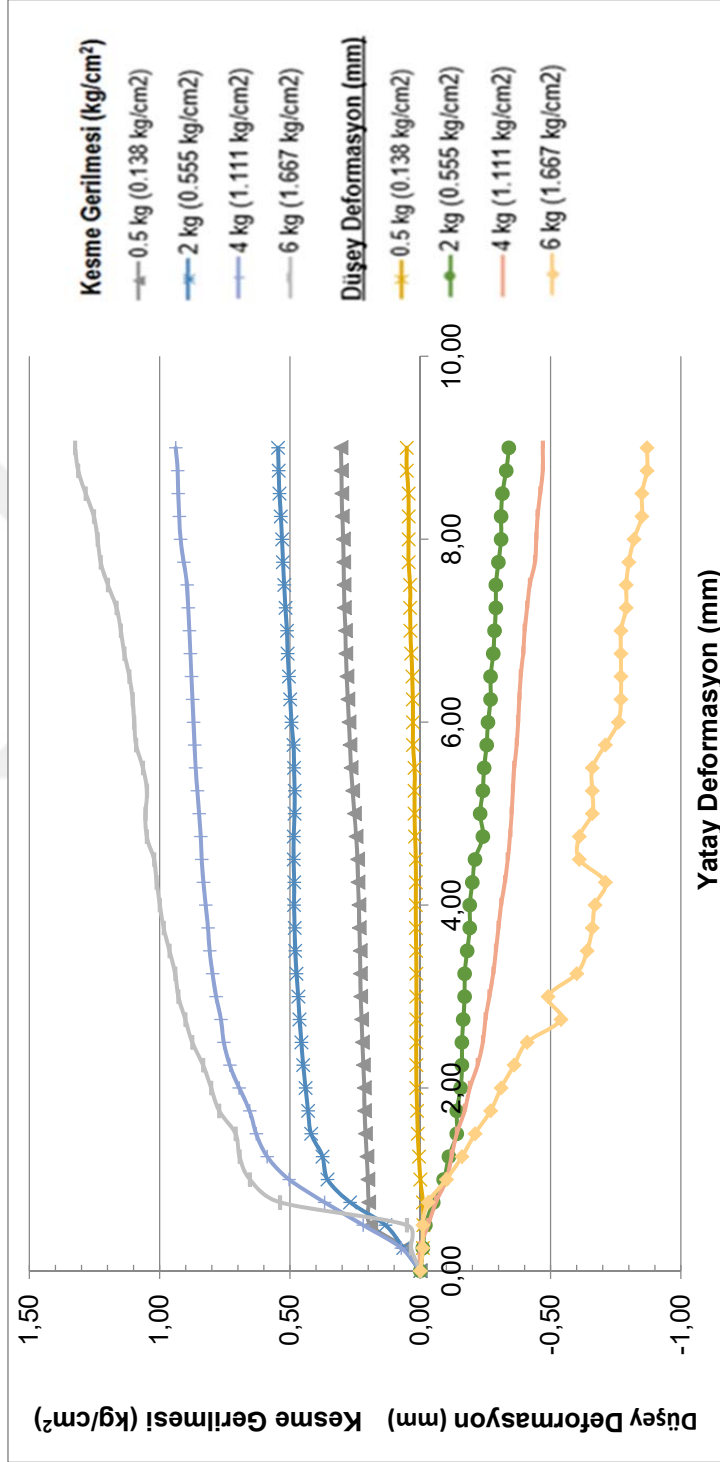
σ_v = Düşey gerilme (kg/cm²)

γ_d = Doymun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

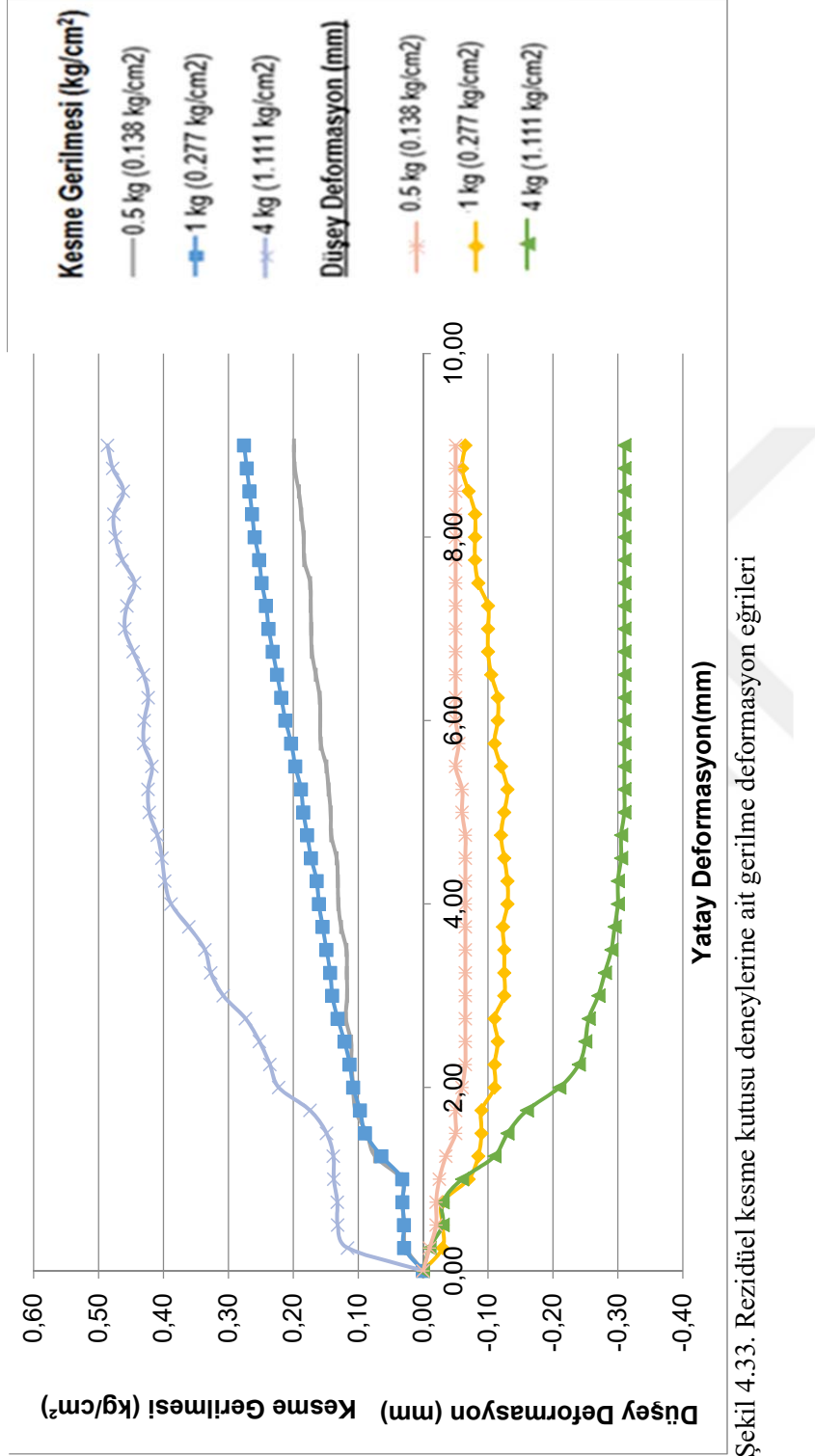
γ_n = Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm³)

h = Litolojik birime ait kalınlık (cm)

PI = Plastisite İndisi (%)



Şekil 4.32. Pik kesme kutusu deneylerine ait gerilme deformasyon eğrileri



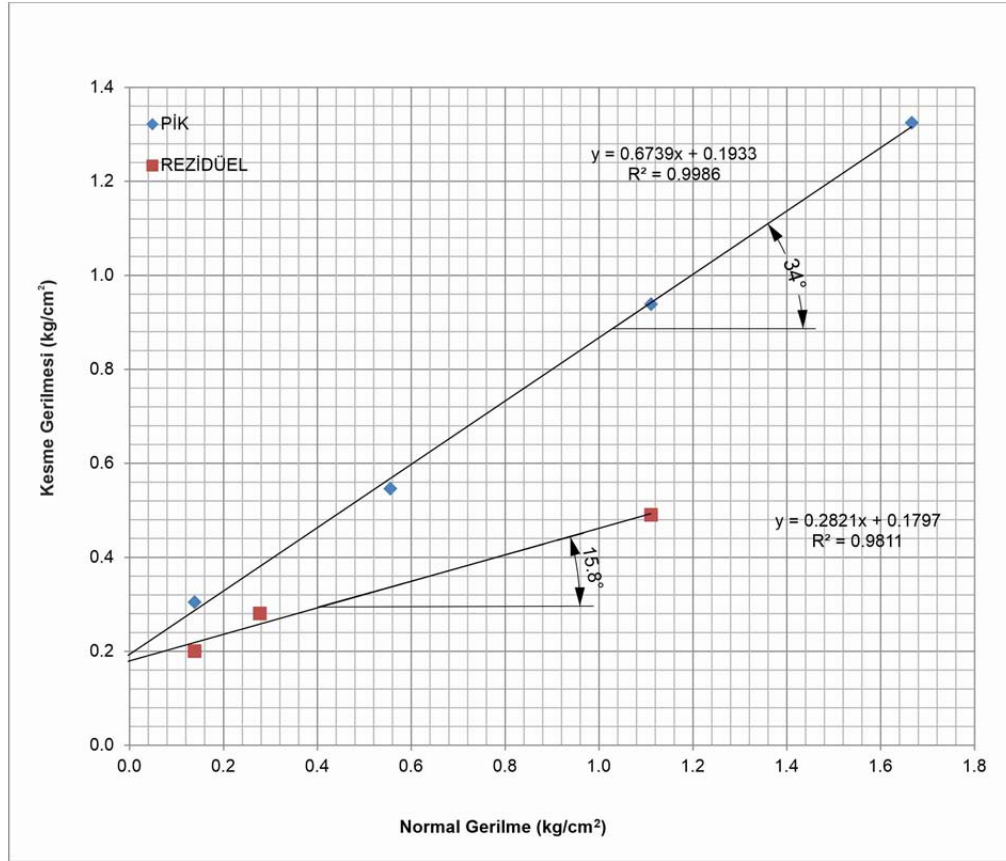
Şekil 4.33. Rezidüel kesme kutusu deneylerine ait gerilme deformasyon eğrileri

Kesme kutusu deneyine ait veriler ışığında çizilen kırılma zarfından zemine ait pik kesme kutusu deneyi sonucu kohezyon (c) 0,19 kg/cm², içsel sürtünme açısı (ϕ) 34,0°, rezidüel kesme kutusu deneyi sonucu kohezyon (c) 0,18 kg/cm², içsel sürtünme açısı (ϕ) 15,8° olarak bulunmuştur (Çizelge 4.20, Şekil 4.32, 4.33, 4.34).

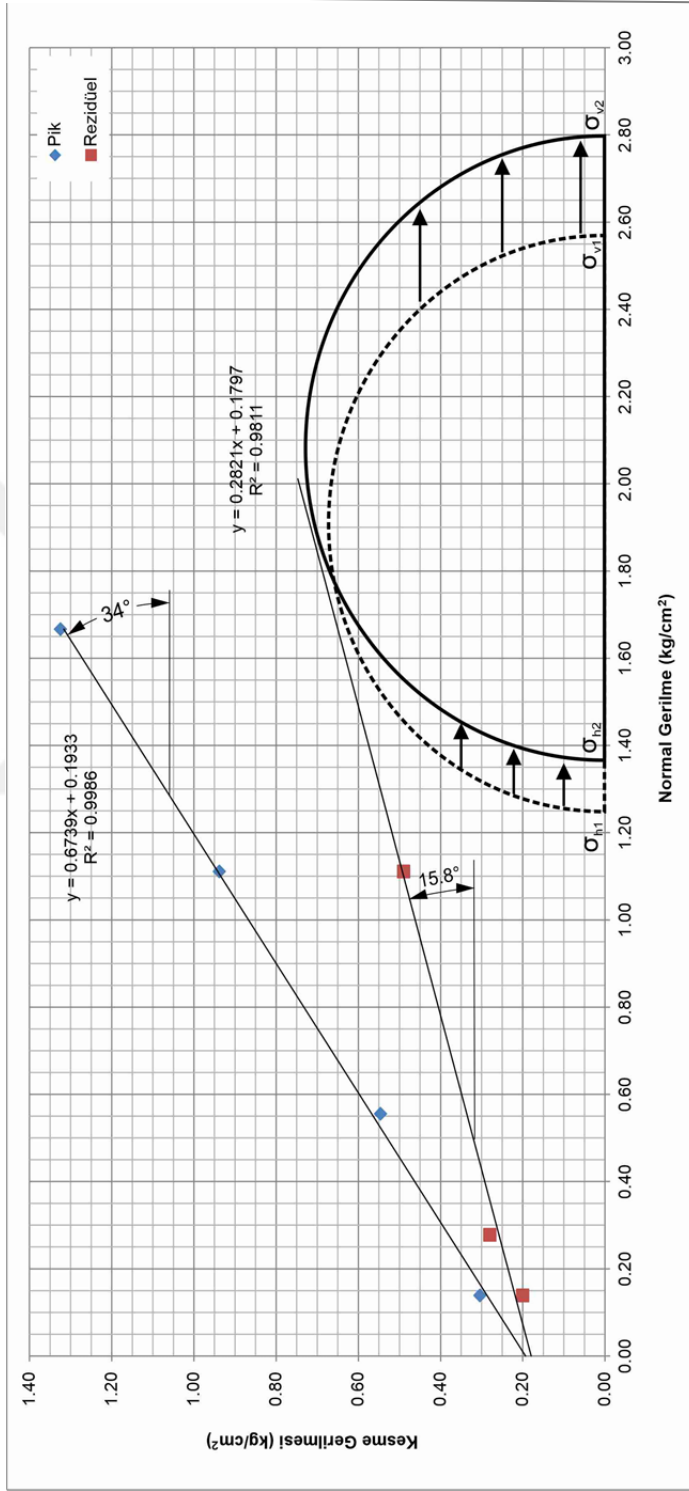
Heyelan sahası içerisinde meydana gelen düzlemsel kayma için yanal gerilmeler (σ_{h1} ve σ_{h2}) ve düşey gerilmeler (σ_{v1} ve σ_{v2}) kullanılarak doymun ve doymun olmayan ortamları temsil eden Mohr daireleri çizilmiştir (Şekil 4.35). Kaymanın oluşabilmesi için dairenin yenilme anı parametreleri kullanılarak çizilmiş olan kırılma zarfına değmesi gerekir. Şekil 4.35’de çizilen Mohr dairelerinden, zeminin doymun olmayan yani doğal birim hacim ağırlığında rezidüel (kalıntı) kırılma zarfına değmediği ancak zeminin doymun birim hacim ağırlığında suya doymun hale geldikten sonra rezidüel kırılma zarfına değdiği ve bu durumda da heyelanın rezidüel (kalıntı) parametreler (c ve ϕ) etkisi altında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Heyelanın meydana geldiği dönemde bölgeye düşen aşırı yağışlar zeminin boşluk suyu basıncını artırmış ve zemindeki tutucu kuvvetleri azaltarak kaymanın meydana gelmesine sebep olmuştur. Daha önceki kayma nedeniyle kayma direnci azalmış olan birim yağışlar nedeniyle suya doymun hale gelmiş, bunun sonucunda boşluk suyu basıncı artmış ve stabilitesini kaybederek harekete geçmiştir.

Çizelge 4.20. Pik ve rezidüel dayanım parametreleri tablosu

Yük (kg)	Etkiyen yük(kg)	Normal gerilme(kg/cm ²)	Kesme gerilmesi (Pik) (kg/cm ²)
0,5	5	0,14	0,30
2	20	0,56	0,55
4	40	1,11	0,94
6	60	1,67	1,32
Yük (kg)	Etkiyen yük(kg)	Normal gerilme(kg/cm ²)	Kesme gerilmesi (Rezidüel) (kg/cm ²)
0,5	5	0,14	0,20
1	10	0,28	0,28
4	40	1,11	0,49



Şekil 4.34. Pik ve rezidüel kırılma zarfları



Şekil 4.35. Pik ve Rezidüel kırılma zarfları ile kayma düzlemi üzerinde doygun ve doygun olmayan ortamlardaki stres durumları temsil eden Mohr daireleri ilişkileri

4.3.1.3.(1). Duraylılık Analizleri

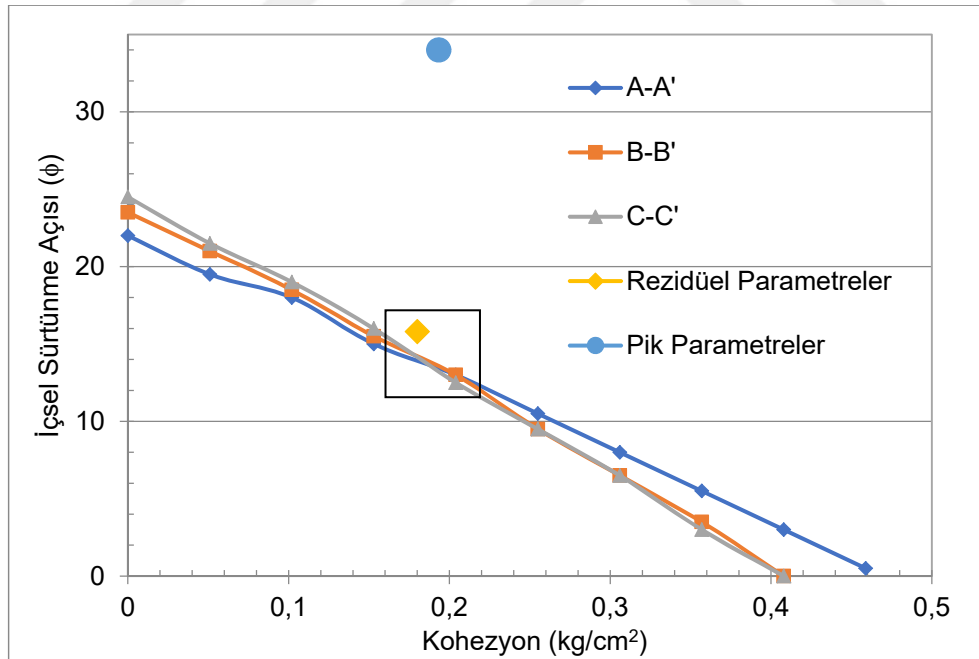
Heyelan alanında yapılan ölçümler sonucunda oluşturulan A-A', B-B', C-C' kesitlerinde kütlelerin kayma gerçekleştikten sonraki durumu Netcad ve Autocad yazılımlarına aktararak hazırlanmış ve Autocad yazılımında oluşturulan kesitler daha sonra SLIDE (Rocscience, 2018) yazılımına aktararak; sahanın kayma gerçekleşmeden önceki topoğrafyası tasarlanmıştır (Şekil 4.37, 4.38, 4.39). Arazi çalışmalarından elde edilen veriler ile kayma düzleminin konumu kesitler üzerine işlenmiştir.

SLIDE yazılımında zeminin kayma anındaki güvenlik katsayısının tespit edilebilmesi için A-A', B-B', C-C' kesitlerine ayrı ayrı c ve ϕ çiftleri verilerek güvenlik katsayısını 1 veren c ve ϕ çiftleri elde edilerek grafik üzerinde gösterilmiştir (Çizelge 4.21, Şekil 4.36). Üç kesit için gerçekleştirilen geri analiz sonuçlarından elde edilen c - ϕ eğrileri incelendiğinde bu eğrilerin kesişim bölgesinin heyelan esnasında etkin olan kayma dayanımı parametrelerini temsil ettiği belirlenmiştir. Bu parametrelerden kohezyon değerinin $0,16-0,22 \text{ kg/cm}^2$ aralığında ve içsel sürtünme açısı değerinin ise $12,5^\circ-20^\circ$ aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Geri analizden elde edilen değerler ile kesme kutusu deneylerinden elde edilen değerleri karşılaştırmak amacıyla deney sonuçları grafik üzerinde gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere kesme kutusu deney sonucu rezidüel c ve ϕ değerlerinin geri analiz sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Pik değerlerinin ise geri analiz sonuçları ile uyumlu olmadığı belirlenmiştir. Bu durum heyelanın rezidüel gerilmeler etkisi altında meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.36).

Çizelge 4.21. SLIDE yazılımından ve kesme kutusu deneylerinden elde edilen c ve ϕ değerleri

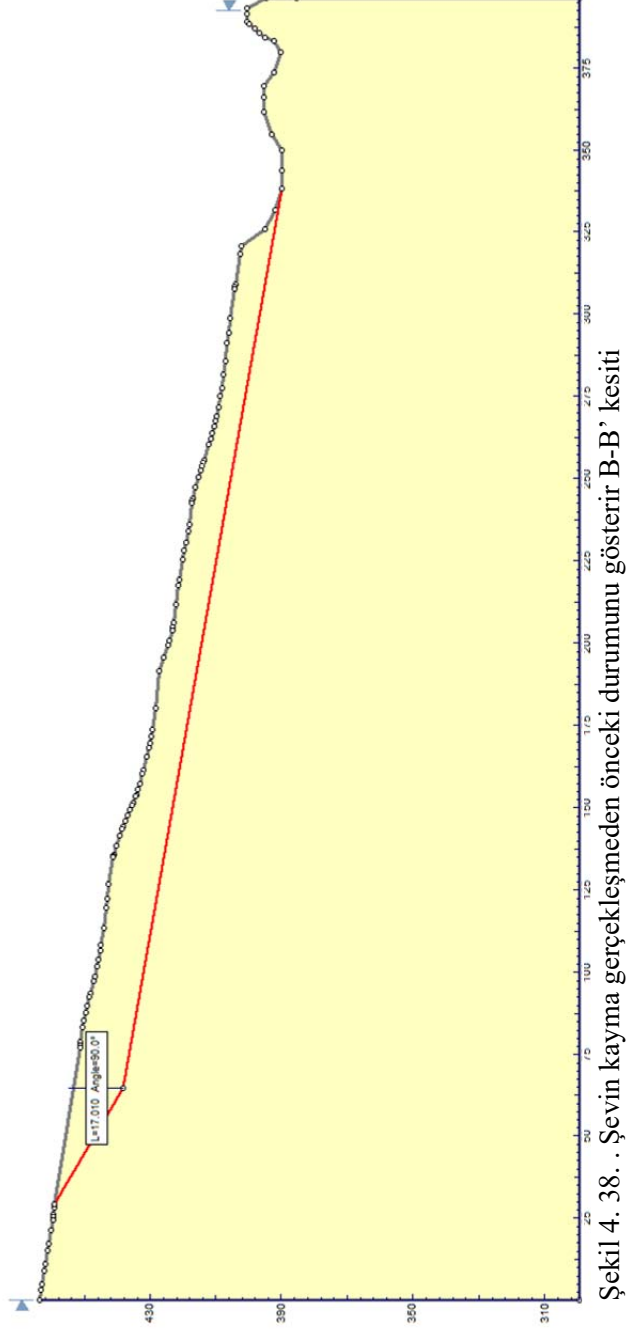
Geri Analiz Tablosu						Kesme kutusu deney sonuçları	
A-A'		B-B'		C-C'		Pik	
c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
0,00	22	0,00	23,5	0,00	24,5	0,19	34
0,05	19,5	0,05	21	0,05	21,5	Rezidüel	
0,10	18	0,10	18,5	0,10	19	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
0,15	15	0,15	15,5	0,15	16	0,18	15,8
0,20	13	0,20	13	0,20	12,5		
0,25	10,5	0,25	9,5	0,25	9,5		
0,31	8	0,31	6,5	0,31	6,5		
0,36	5,5	0,36	3,5	0,36	3		
0,41	3	0,41	0	0,41	0		
0,46	0,5	-	-	-	-		

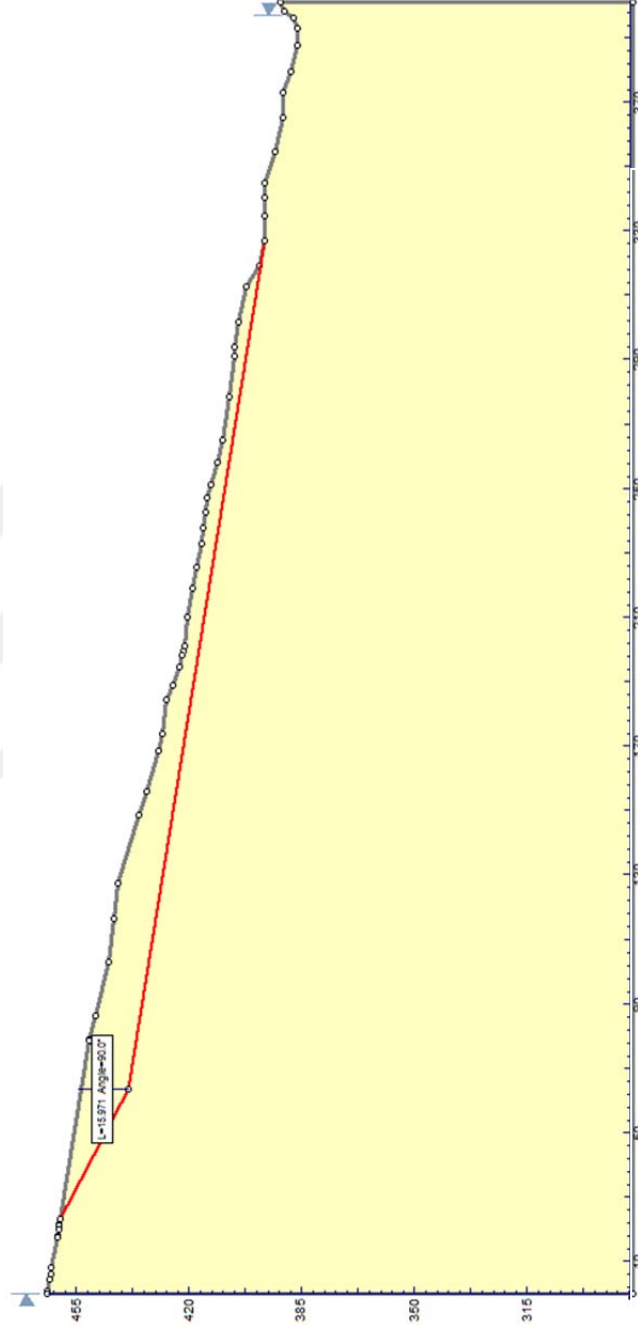


Şekil 4.36. Geri analiz ve kesme kutusu deney sonuçları ilişkisi



Şekil 4.37. . Şevin kayma gerçekleşmeden önceki durumunu gösterir A-A' kesiti





Şekil 4. 39. . Şevin kayma gerçekleşmeden önceki durumunu gösterir C-C' kesiti



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

16 Ocak 2019 tarihinde meydana gelen yoğun yağışlar ($111,8 \text{ kg/m}^2/\text{gün}$) sonucu 17 Ocak 2019 tarihinde meydana gelen Çorlu (Karaisalı) heyelanı Jeolojik- Jeoteknik açıdan çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, 2019 yılında meydana gelen düzlemsel türdeki heyelanda, kaymanın pik veya rezidüel streslerin etkisi altında mı meydana geldiği, yağışların etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır.

Heyelanın 16 Ocak 2019 tarihinde aşırı yağışlar ile birlikte birimlerin suya doymun hale gelmesi sonucu oluşan boşluk suyu basıncının artması ve örtü yükünden kaynaklanan efektif basınç ve kohezyonun azalması sonucu meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu olaylar sonucu, güvenlik katsayısı düşmüş ve heyelan meydana gelmiştir.

Arazide yapılan incelemede, kayan kütlelerin doğu ve batısından geçen ve kuzeyden güneydoğuya doğru akan derelerin kütlelerin topuk kısmını zaman içerisinde aşındırarak sonraki sürece zemin hazırladığı görülmüştür.

Google Earth görüntüleri incelendiğinde, heyelan olan sahanın bulunduğu alanda 2014 yılında ağaç kesimi yapılarak bitki örtüsü kaldırılmış ve heyelan kütlelerinin de içinde bulunduğu alan korumasız hale gelmiştir.

Heyelanın içerisinde geliştiği Cingöz Formasyonu kum, kil, silt, kıltaşı, kumtaşı ardalı tabakalardan oluşmaktadır. USCS'e göre zeminin CL (düşük-orta plastisiteli inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, yağlı kil) olduğu belirlenmiştir.

Pik ve rezidüel kesme dayanım deneyleri sonucunda, kayma düzleminin içerisinde geliştiği killi seviyelerin pik dayanım parametreleri kohezyon (c) $0,19 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısı (ϕ) 34° , rezidüel (kalıntı) dayanım parametreleri ise kohezyon (c) değeri $0,18 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısı (ϕ) $15,8^\circ$ olarak bulunmuştur.

Heyelan sahası içerisinde meydana gelen düzlemsel kayma için yanal gerilmeler (σ_{h1} ve σ_{h2}) ve düşey gerilmeler (σ_{v1} ve σ_{v2}) değerleri kullanılarak kayan

kütleye ait doymun ve doymun olmayan durumları temsil eden Mohr daireleri çizilmiştir. Doymun ortam için çizilen Mohr dairesinin rezidüel (kalıntı) parametreler kullanılarak oluşturulan kırılma zarfına değdiği belirlenmiştir.

SLIDE yazılımı ile yapılan geri analiz sonuçları incelendiğinde heyelanı meydana getiren parametrelerden kohezyon değerinin 0,16-0,22 kg/cm² aralığında ve içsel sürtünme açısı değerinin ise 12,5°-20° aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kesme kutusu deneyinden elde edilen rezidüel dayanım parametreleri geri analiz sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Pik dayanım parametrelerinin ise geri analiz sonuçları ile uyumlu olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bölgeye düşen aşırı yağışlar nedeniyle zemin suya doymun hale gelmiş ve bunun sonucunda boşluk suyu basıncı artarak efektif gerilmeler azalmış ve rezidüel (kalıntı) gerilmeler etkisi altında Çorlu Heyelanı meydana gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Astm D 3080-98, 2003. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Annual Book of Astm Standards, pp.347-352. West Conshohocken, PA, 04.08.
- Astm D 422-63, 2003. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, In:Annual Book of Astm Standarts, Volume 04.08, West Conshohocken, pp. 10-17.
- Astm D 4318-00, 2003. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, In: Annual Book Astm Standarts, Volume 04.08, West Conshohocken, pp. 582-595
- Astm D 854-02, 2003. Standard Test Method for Specific Gravity of Soils, In: Annual Book of Astm Standarts, Volume 04.08, West Conshohocken, pp. 93-99.
- Astm D 4644-87, 2003. Standard Test Method for Slake Durabilty of Shales and Similer Weak Rocks, In: Annual Book of Astm Standarts, Volume 04.08, Philadelphia, PA, pp. 958-960.
- Avşar, N. ve Nazik, A., 2006, Adana Havzası Kuzgun formasyonunun mikrofosiller ile ortamsal yorumu, Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, Yerbilimleri, 27 (1), 1-21.
- Butler, D.R. 1987. Teaching General Principles and Applications of Dentrogeomorphology. Journal Of Geological Education, v.35, p.35.
- Butler, D.R., Malanson, G.P. ve Oelfke, J.K. 1987. Tree-Ring Analysis And Natural Hazard Chronologies: Minimum Sample Sized And Index Values, Professional Geographer 39 (1): 41-47.
- Can, H., Güntekin, A., Aslan, M. ve Demiran, D., 1992. Alt Yapı Laboratuvarı. Milli Eğitim Bakanlığı Basımevi, İstanbul, s.157.

- Casagrande, A., 1948. Classification and Identification of Soils, Transactions, ASCE, Vol. 113, pp. 901-930
- Çaynak, S., Yetiş, C. ve Ertunç, A., 1991. Karaisalı-Karsantı Karayolu Güzergahı Üzerindeki Güvenç Formasyonunda Heyelan Oluşumuna Yapı ve Litolojinin Etkisi. Acar A. Jeoloji Sempozyumu-Bildiriler, Adana-Türkiye, s.63-69.
- Çetin, H., 1999. Heyelan Çalışmalarına çok disiplinli yaklaşım: Karaisalı Heyelanları. Heyelan'99, Türkiye 3. Ulusal Heyelan Sempozyumu-Bildiri Özleri, 13-15 Mayıs, Adana, s.14.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş. ve Durmaz, S. 2005. Landslide inventory of North western Anatolia, Turkey. Engineering geology, 77, 99-114.
- Erdeve, E., 2006. 100. Yıl Heyelanı (Adana) Jeolojik-Jeoteknik İncelemesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 73 s.
- Gökoğlu, A., 2003. Eğlence (Karaisalı-Adana) Heyelanı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 86 s.
- Görür, N., 1979. Karaisalı Kireçtaşının (Miyosen) Sedimentolojisi:Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 22/2, 227-234.
- Günalan, R., 1996. Torunsolaklı (Karaisalı/Adana) Heyelanları. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi, 42s.
- Gürbüz, K., 1985. Karaömerli-Balcalı bölgesi (N Adana) Tersiyer İstifinin sedimanter jeolojik incelemesi: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 77 s. (yayımlanmamış).

- Gürbüz, K. ve Gökçen, S. L., 1985. Provenance and sedimentology of the Late Tertiary foreland deposits of the northern Adana basin, Turkey: International Symposium on Foreland basins, 66, Fribourg, Switzerland.
- Gürbüz, K., Gökçen, S. L. ve Gökçen, N., 1985. Some stratigraphic remarks on the Upper Neogene sequence of the northern Adana basin-southern Turkey. VIII the Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy, ss. 138-240, Budapest.
- Gürbüz, K., 1993. Identification and evolution of Miocene submarine fans in the Adana Basin, Turkey. Ph. D Thesis, University of Keele. 327p.
- Holtz, R. D. and Kovacs, W.D., 1981. (Çeviri:Kayabalı, K., 2002) Geoteknik Mühendisliğine Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara 723 s.
- Howard, A. K., 1977. Laboratory Classification of Soils-Unified Soil Classification System, Earth Sciences Training Manual No. 4, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 56 pp.
- İlker, S., 1975. Adana baseni kuzeybatısının jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO Arama Arşiv No:973, Ankara, 63 s.
- Kerey, İ. E., Yetiş, C., ve Demirkol, C., 1985. Meandering plain deposits and marginal sea processes in the Upper Miocene Kuzgun Formation of the Adana basin in Turkey: 6 th European regional meeting of Sedimentology, Abstracts, Spain, 217-218.
- 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.
- Nazik, A., 1983. Güvenç Formasyonu Stratigrafik Kesitinin Planktonik Foraminiferlerle Biyostratigrafi İncelemesi. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Mühendislik Tezi, Ankara, s. 35.

- Nazik, A. ve Gürbüz, K., 1992. Karaisalı-Çatalan-Eğner yöresi (KB Adana) Alt-Orta Miyosen yaşlı denizaltı yelpazelerinin planktonik foraminifer biyostratigrafisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 1, 67-80.
- Öğrünç, G., 2001. Messiniyen tuzluluk krizi sırasındaki ve sonrasındaki çökellerin stratigrafisi ve paleoekolojisi. Bir örnek: Adana Baseni, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.1-218.
- Özçelik, N., Yetiş, C., Nazik, A. ve Şafak, Ü., 1993. Adana Baseni Güvenç Formasyonunun (Alt-Orta Miyosen) Fasiyes ve Ortamsal Nitelikleri. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 115 s.
- Özçelik, N. ve Yetiş, C., 1994. Adana Baseni Tersiyer istifi Güvenç Formasyonu'nun Planktonik Foraminifer Biyostratigrafisi. Yerbilimleri, No:25, ss. 21-30.
- Özer, B., Duval, B., Courier, P., Letouzey, J. 1974. Antalya, Mut Adana Neojen havzaları Jeolojisi, Türkiye II. Petrol Kongresi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Ankara, 57-84.
- Pınarcı, E., 2011, Haç Gediği Heyelanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 110 s.
- Price and Butt (eds), 2000. Forests in sustainable mountain development: A state-of knowledge report for 2000. CAB International, Wallingford: 4-9.
- Sayarslan, M. ve Öner, F., 1997. Güvenç Köyü (Karaisalı-Adana) Civarındaki Sedimanların Mineralojik ve Kimyasal Bileşimi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliğ Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, s.247.
- Schmidt, G. C., 1961. Stratigraphic nomenclature for the Adana Region petroleum district 7. Petr Admin. Public. Bull. 6, 47-63, Ankara.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 2. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:38, Ankara, 385s.
- Ulusay, R., 2002. Şevlerin duraylılığı ve Tasarımı (Kurs Notu), Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı, Ankara, 177 s.

- Uzuner, B. A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara, 376s.
- Ünlügenç, U. C., 1993. Controls on Cenezoic Sedimentation, Adana Basin Southern Turkey. Ph.D. Thesis, University of Keele, Two Volumes, 228 p.,England.
- Varnes, D. J., 1978. Slope Movements, Type And Processes. In Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds), Landslide Analysis and Control. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176, Washington D.C.
- Yetiş, C. ve Demirkol, C., 1986. Adana baseni batı kesiminin detay jeolojik etüdü: MTA Raporu derleme no. 8037-8037a, 187 s. (yayımlanmamış).
- Yetiş, C., 1987. Adana baseni Burdigaliyen-Tortoniyen istifinin sedimantolojik gelişimi: Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, 232-333.
- Yetiş, C., 1988. Reorganisation of the Tertiary stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey. Newsletter Stratigraphy, 20 (1), 43-58.
- Yetiş, C., Demirkol, C., Lagap, H. ve Ünlügenç, U.C., 1991. Kozan-K20 Paftası: MTA 1/100000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:36, 18 s.



ÖZGEÇMİŞ

Yeter AKSOY, İlk ve ortaokulu Ankara Kayalar İlköğretim Okulu'nda, Lise eğitimini Ankara Yenimahalle Ticaret Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2018 yılında Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2018-2019 öğrenim yılı güz döneminde Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

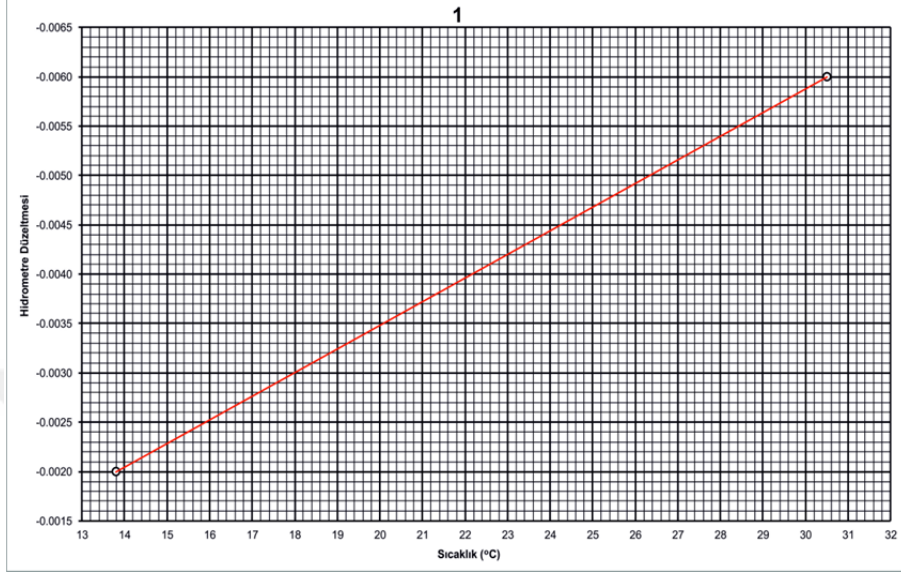




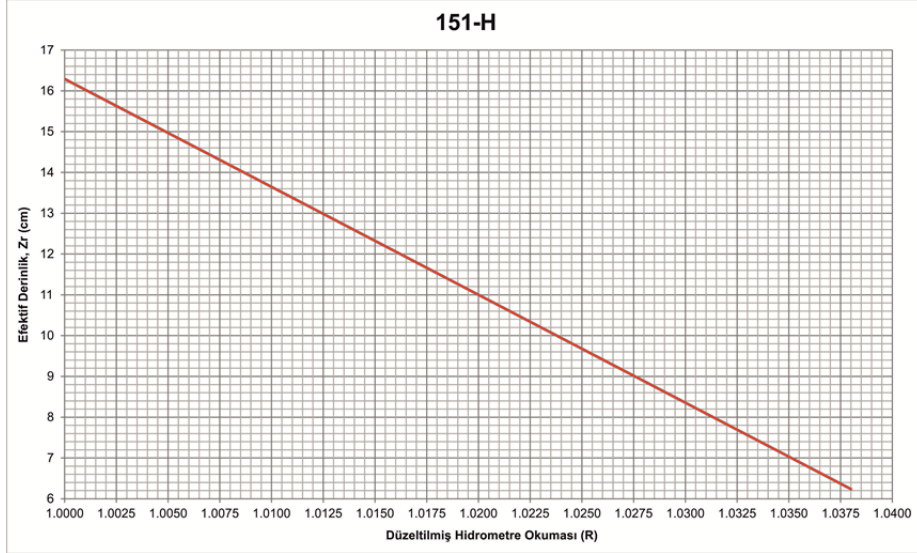
EKLER



EK-1A. Sıcaklığa göre hidrometre düzeltmesi (Çetin, 1998)



EK-1B. Düzeltilmiş hidrometre okumasına karşılık efektif derinlik düzeltmesi (Çetin, 1998)



**EK-2A. Sıcaklığa bağlı olarak suyun viskozite değerinin değişimi (milipoise)
(Hogeman, 1959)**

T (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.01794	0.01732	0.01674	0.01619	0.01568	0.01519	0.01473	0.01429	0.01387	0.01348
10	0.01310	0.01274	0.01239	0.01206	0.01175	0.01145	0.01116	0.01088	0.01060	0.01034
20	0.01009	0.00984	0.00961	0.00938	0.00916	0.00895	0.00875	0.00855	0.00836	0.00818
30	0.00800	0.00783	0.00767	0.00751	0.00736	0.00731	0.00706	0.00692	0.00679	0.00666
40	0.00654	0.00642	0.00630	0.00618	0.00608	0.00597	0.00587	0.00577	0.00568	0.00558
50	0.00529	0.00540	0.00532	0.00524	0.00515	0.00507	0.00499	0.00492	0.00484	0.00477
60	0.00470	0.00463	0.00456	0.00450	0.00443	0.00437	0.00431	0.00424	0.00419	0.00413
70	0.00407	0.00402	0.00396	0.00391	0.00386	0.00381	0.00376	0.00371	0.00366	0.00362
80	0.00357	0.00353	0.00348	0.00344	0.00340	0.00336	0.00332	0.00328	0.00324	0.00320
90	0.00317	0.00313	0.00310	0.00306	0.00303	0.00299	0.00296	0.00293	0.00290	0.00287
100	0.00284	0.00282	0.00279	0.00276	0.00273	0.00270	0.00267	0.00264	0.00262	0.00259

EK-2B.Suyun Sıcaklıkla Yoğunluğunun Değişmesi (ASTM D854-02, 2003)

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (gr/mL) ^B	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (gr/mL) ^B	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (gr/mL) ^B	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (gr/mL) ^B
15	0.9991	16	0.99895	17	0.99878	18	0.9986
0.1	0.99909	0.1	0.99893	0.1	0.99876	0.1	0.99858
0.2	0.99907	0.2	0.99891	0.2	0.99874	0.2	0.99856
0.3	0.99906	0.3	0.9989	0.3	0.99872	0.3	0.99854
0.4	0.99904	0.4	0.99888	0.4	0.99871	0.4	0.99852
0.5	0.99902	0.5	0.99886	0.5	0.99869	0.5	0.9985
0.6	0.99901	0.6	0.99885	0.6	0.99867	0.6	0.99848
0.7	0.99899	0.7	0.99883	0.7	0.99865	0.7	0.99847
0.8	0.99898	0.8	0.99881	0.8	0.99863	0.8	0.99845
0.9	0.99896	0.9	0.99879	0.9	0.99862	0.9	0.99843
19	0.99841	20	0.99821	21	0.99799	22	0.99777
0.1	0.99839	0.1	0.99819	0.1	0.99797	0.1	0.99775
0.2	0.99837	0.2	0.99816	0.2	0.99795	0.2	0.99773
0.3	0.99835	0.3	0.99814	0.3	0.99793	0.3	0.9977
0.4	0.99833	0.4	0.99812	0.4	0.99791	0.4	0.99768
0.5	0.99831	0.5	0.9981	0.5	0.99789	0.5	0.99766
0.6	0.99829	0.6	0.99808	0.6	0.99786	0.6	0.99764
0.7	0.99827	0.7	0.99806	0.7	0.99784	0.7	0.99761
0.8	0.99825	0.8	0.99804	0.8	0.99782	0.8	0.99759
0.9	0.99823	0.9	0.99802	0.9	0.9978	0.9	0.99756
23	0.99754	24	0.9973	25	0.99705	26	0.99679
0.1	0.99752	0.1	0.99727	0.1	0.99702	0.1	0.99676
0.2	0.99749	0.2	0.99725	0.2	0.997	0.2	0.99673
0.3	0.99747	0.3	0.99723	0.3	0.99697	0.3	0.99671
0.4	0.99745	0.4	0.9972	0.4	0.99694	0.4	0.99668
0.5	0.99742	0.5	0.99717	0.5	0.99692	0.5	0.99665
0.6	0.9974	0.6	0.99715	0.6	0.99689	0.6	0.99663
0.7	0.99737	0.7	0.99712	0.7	0.99687	0.7	0.9966
0.8	0.99735	0.8	0.9971	0.8	0.99684	0.8	0.99657
0.9	0.99732	0.9	0.99707	0.9	0.99681	0.9	0.99654
27	0.99652	28	0.99624	29	0.99595	30	0.99565
0.1	0.99649	0.1	0.99621	0.1	0.99592	0.1	0.99562
0.2	0.99646	0.2	0.99618	0.2	0.99589	0.2	0.99559
0.3	0.99643	0.3	0.99615	0.3	0.99586	0.3	0.99556
0.4	0.99641	0.4	0.99612	0.4	0.99583	0.4	0.99553
0.5	0.99638	0.5	0.99609	0.5	0.9958	0.5	0.9955
0.6	0.99635	0.6	0.99607	0.6	0.99577	0.6	0.99547
0.7	0.99632	0.7	0.99604	0.7	0.99574	0.7	0.99544
0.8	0.99629	0.8	0.99601	0.8	0.99571	0.8	0.99541
0.9	0.99627	0.9	0.99598	0.9	0.99568	0.9	0.99538

EK-3. Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)

Ana Bölümler		Grup Sembolü (*)	Tipik Adlamlar	Arazide tanıma yöntemleri				
1	2	3	4	5				
İri taneli zeminler Malzemenin Yarıdan çoğu 200 No.lu Elek çapından (0,075 mm) büyük	Çakıl İri fraksiyonunun yarıdan çoğu 4 No.lu elek çapından (4,75 mm) daha büyük	Temiz Çakıl (çok az veya sıfır ince tane)	GW	İyi derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, sıfır veya çok az ince tane	Tane boyunda geniş aralıklar ve tüm orta boy taneler önemli miktarda			
		İnce tane içeren Çakıl (önemli miktarda ince tane)	GP	Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, sıfır veya çok az ince tane	Bazı ara boyların eksik olduğu tek boy veya bir dizi boydar egemen			
		İnce tane içeren Çakıl (önemli miktarda ince tane)	GM	Siltli çakıl, çakıl-kum-silt karışımı	Plastik olmayan ince taneler veya düşük plastisiteli ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda ML'ye bakınız)			
			GC	Killi çakıl, çakıl-kum-kil karışımı	Plastik ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda CL'ye bakınız)			
	Kum İri fraksiyonunun yarıdan çoğu 4 No.lu elek çapından (4,75 mm) daha büyük (Görsel sınıflandırmaya için 5 mm No.lu elek çapına eşdeğer kabul edilebilir)	Temiz Kum (çok az veya sıfır ince tane)	SW	İyi derecelenmiş kum, çakıllı kum, sıfır veya çok az ince tane	Tane boylarında geniş aralık ve ara partikül boyları önemli miktarda			
		İnce tane içeren Kum (önemli miktarda ince tane)	SP	Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, sıfır veya çok az ince tane	Bazı ara boyların eksik olduğu tek boy veya bir dizi boydar egemen			
			SM	Siltli kum, kum-silt karışımı	Plastik olmayan ince taneler veya düşük plastisiteli ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda ML'ye bakınız)			
	İnce taneli zeminler Malzemenin Yarıdan çoğu 200 No.lu Elek çapından (0,075 mm)	Silt veya kil Laker Limit 50'den küçük	SC	Killi kum, kum-kil karışımı	Plastik ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda CL'ye bakınız)			
						40 No.lu Elek Çapından Küçük Fraksiyonları Tanıma Yöntemleri		
						Kuru dayanım (ezilme karakteristikleri)	Dilatans (sarsmaya tepki)	Sağlamlık (Kıvrım Pl. yakınında)
ML			İnorganik silt ve çok ince kum, kaya uru, siltli veya killi ince kum veya çok az plastisiteli killi silt	Yok – çok az	Çabuk – yavaş	Yok		
Silt veya kil Laker Limit 50'den büyük		CL	Düşük-orta plastisiteli inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil, yağlı kil	Orta – yüksek	Yok – çok yavaş	Orta		
		OL	Düşük plastisiteli organik silt ve organik siltli kil	Çok az – orta	Yavaş	Çok az		
		MH	İnorganik silt, mikali veya diatomeli ince kumlu veya siltli zemin, elastik silt	Çok az – orta	Yavaş –yok	Az – orta		
İleri Derecede Organik Zeminler		Pi	Turba ve diğer ileri derece organik zeminler	Renk, koku, süngerimsi his ve çoğu zaman da lifli yapılarıyla kolayca tanımlar				
				CH	Yüksek plastisiteli inorganik kil, yağlı kil	Yüksek – çok yüksek	Yok	Yüksek
				OH	Orta-yüksek plastisiteli organik kil, organik silt	Orta – yüksek	Yok – çok yavaş	Az – orta

EK-4

TANE BOYU ANALİZİ

Proje: Çorlu (Karaisalı/ADANA) Heyelanının Jeolojik-Jeoteknik İncelenmesi

Lokasyon: Çorlu/Karaisalı/ADANA

Numunenin alındığı derinlik: kayma yüzeyinden yukarı 3 m

Deneyi Yapanlar: EMRE PINARCI, YETER AKSOY

Numunenin Tanımı: Kahverengi kumlu-siltli-killi zemin (Cingöz Formasyonu)

Deney Tarihi:17/06/2022

Deney No:1

Deney Başı Numune Ağırlığı: 50 gr

Hidrometre Türü: ASTM 151-H

Numunenin özgül ağırlığı: 2,49

HİDROMETRE ANALİZİ												
Tarih	Okuma Zamanı	Geçen Zaman (dk)	Geçen Zaman (sn)	Sıcaklık (°C)	Hidrometre Okuması (r_s)	Hidrometre Düzeltmesi (r)	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Z_r (cm)	Suyun Viskozitesi (μ)	Deney Sıcaklığındaki Suyun Birim Hacim Ağırlığı ($\gamma_w \cdot r_s$)	Tane Çapı: D (mm)	N (%)
19.06.2022	10.32	0.25	15	27.70	1.026	-0.00532	1.0207	10.81	0.00836	0.99632	0.12856	81.21740
19.06.2022	10.32	0.5	30	27.70	1.025	-0.00532	1.0197	11.38	0.00836	0.99632	0.09328	77.88335
19.06.2022	10.33	1	60	27.70	1.023	-0.00532	1.0177	11.57	0.00836	0.99632	0.06650	71.21525
19.06.2022	10.34	2	120	27.70	1.021	-0.00532	1.0154	12.21	0.00836	0.99632	0.04831	63.54694
19.06.2022	10.37	5	300	27.20	1.020	-0.00519	1.0143	12.45	0.00855	0.99646	0.03120	59.51833
19.06.2022	10.42	10.5	630	27.30	1.0185	-0.00522	1.0133	12.84	0.00855	0.99643	0.02186	56.18284
19.06.2022	10.57	15	900	27.20	1.018	-0.00519	1.0123	13.20	0.00855	0.99646	0.01855	52.84961
19.06.2022	11.02	30	1800	27.10	1.017	-0.00516	1.0114	13.24	0.00855	0.99649	0.01313	49.84968
19.06.2022	11.32	60	3600	26.80	1.016	-0.00511	1.0104	13.50	0.00855	0.99657	0.00938	46.08425
19.06.2022	12.32	120	7200	26.60	1.014	-0.00506	1.0089	14.07	0.00855	0.99663	0.00677	41.05064
19.06.2022	14.32	240	14400	26.70	1.013	-0.00509	1.0075	14.25	0.00855	0.99660	0.00482	36.38128
19.06.2022	16.32	360	21600	26.80	1.012	-0.00511	1.0069	14.44	0.00855	0.99657	0.00396	34.41313
19.06.2022	18.32	480	28800	27.10	1.0115	-0.00516	1.0063	14.13	0.00855	0.99649	0.00339	32.84411
20.06.2022	10.32	1440	86400	26.90	1.011	-0.00515	1.0059	14.73	0.00855	0.99654	0.00200	31.04455

ELEK ANALİZİ							
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Kurutma Kabı Ağırlığı (gr)	Kurutma Kabı+Zemin Ağırlığı (gr)	Elek üstü Zemin Ağırlığı (gr)	%Kalan	Toplam % Kalan	Toplam % Geçen
3/8"	9.5						100
4	4.75	10.00	10	0.00	0	0	100
10	2	12.00	13.3	1.30	2.60	2.6	97.4
40	0.425	11.50	11.8	0.30	0.60	3.2	96.8
100	0.15	40.78	45.2	4.42	8.84	12.04	87.96
200	0.075	66.94	74.55	7.61	15.22	27.26	72.74

EK-5

TANE BOYU ANALİZİ

Proje: Çorlu (Karaisalı/ADANA) Heyelanının Jeolojik-Jeoteknik İncelenmesi

Lokasyon: Çorlu/Karaisalı/ADANA

Numunenin alındığı derinlik: kayma yüzeyinden yukarı 3 m

Deneyi Yapanlar: EMRE PINARCI, YETER AKSOY

Numunenin Tanımı: Kahverengi kumlu-siltli-killi zemin (Cingöz Formasyonu)

Deney Tarihi:25/06/2022

Deney No:2

Deney Başı Numune Ağırlığı: 50 gr

Hidrometre Türü: ASTM 151-H

Numunenin özgül ağırlığı: 2,49

HİDROMETRE ANALİZİ												
Tarih	Okuma Zamanı	Geçen Zaman (dk)	Geçen Zaman (sn)	Sıcaklık (°C)	Hidrometre Okuması (r_s)	Hidrometre Düzeltmesi (r)	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Z_1 (cm)	Suyun Viskozitesi (μ)	Deney Sıcaklığındaki Suyun Birim Hacim Ağırlığı ($\gamma_w; r_s$)	Tane Çapı: D (mm)	N (%)
25.06.2022	10.25	0.25	15	27.30	1.0245	-0.00522	1.0193	11.82	0.00836	0.99643	0.134432	76.1886
25.06.2022	10.25	0.5	30	27.30	1.0238	-0.00522	1.0186	12.09	0.00836	0.99643	0.096137	73.85459
25.06.2022	10.26	1	60	27.30	1.0235	-0.00522	1.0183	12.18	0.00836	0.99643	0.068232	72.8543
25.06.2022	10.27	2	120	27.30	1.0226	-0.00522	1.0174	12.38	0.00836	0.99643	0.048642	69.85344
25.06.2022	10.30	5	300	27.30	1.0204	-0.00522	1.0152	12.32	0.00836	0.99643	0.030689	62.51799
25.06.2022	10.35	10	600	27.20	1.0191	-0.00519	1.0139	12.61	0.00855	0.99646	0.022202	58.18458
25.06.2022	10.40	15	900	27.20	1.0175	-0.00519	1.0123	13.07	0.00855	0.99646	0.018456	52.84961
25.06.2022	10.45	30	1800	27.00	1.0162	-0.00517	1.0110	13.40	0.00855	0.99652	0.013214	48.38351
25.06.2022	11.25	60	3600	26.80	1.0150	-0.00511	1.0099	13.67	0.00855	0.99657	0.009437	44.41695
25.06.2022	12.25	120	7200	26.40	1.0140	-0.00500	1.0090	13.93	0.00875	0.99668	0.006814	41.08537
25.06.2022	14.25	240	14400	26.50	1.0130	-0.00504	1.0080	14.20	0.00855	0.99665	0.004809	37.71641
25.06.2022	16.25	360	21600	26.80	1.0123	-0.00511	1.0072	14.40	0.00855	0.99657	0.003954	35.41351
25.06.2022	18.25	480	28800	26.70	1.0118	-0.00507	1.0067	14.53	0.00855	0.99660	0.003440	33.78023
26.06.2022	10.25	1440	86400	26.70	1.0102	-0.00507	1.0051	14.98	0.00855	0.99660	0.002016	28.44476

ELEK ANALİZİ							
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Kurutma Kabı Ağırlığı (gr)	Kurutma Kabı+Zemin Ağırlığı (gr)	Elek üstü Zemin Ağırlığı (gr)	%Kalan	Toplam % Kalan	Toplam % Geçen
3/8"	9.5						100
4	4.75	9.47	12.21	2.74	5.48	5.48	94.52
10	2	27.34	28.08	0.74	1.48	6.96	93.04
40	0.425	10.42	11.3	0.88	1.76	8.72	91.28
100	0.15	67.01	69.89	2.88	5.76	14.48	85.52
200	0.075	66.56	71.48	4.92	9.84	24.32	75.68

EK-6**TANE BOYU ANALİZİ**

Proje: Çorlu (Karaisalı/ADANA) Heyelanının Jeolojik-Jeoteknik İncelenmesi

Lokasyon: Çorlu/Karaisalı/ADANA

Numunenin alındığı derinlik: kayma yüzeyinden yukarı 3 m

Deneyi Yapanlar: EMRE PINARCI, YETER AKSOY

Numunenin Tanımı: Kahverengi kumlu-siltli-killi zemin (Cingöz Formasyonu)

Deney Tarihi:28/06/2022

Deney Başı Numune Ağırlığı: 50.03
gr

Deney No:3

Hidrometre Türü: ASTM 151-H

Numunenin özgül ağırlığı: 2,49

HİDROMETRE ANALİZİ												
Tarih	Okuma Zamanı	Geçen Zaman (dk)	Geçen Zaman (sn)	Sıcaklık (°C)	Hidrometre Okuması (r _a)	Hidrometre Düzeltmesi (r _t)	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Z _t (cm)	Suyun Viskozitesi (μ)	Deney Sıcaklığındaki Suyun Birim Hacim Ağırlığı (V _w -t _s)	Tane Çapı: D (mm)	N (%)
25.06.2022	10.25	0.25	15	27.10	1.0250	-0.00516	1.0198	14.47	0.00855	0.99649	0.150418	77.859
25.06.2022	10.25	0.5	30	27.10	1.0240	-0.00516	1.0188	12.17	0.00855	0.99649	0.097543	74.524
25.06.2022	10.26	1	60	27.10	1.0250	-0.00516	1.0198	12.17	0.00855	0.99649	0.068973	77.859
25.06.2022	10.27	2	120	26.90	1.0225	-0.00515	1.0174	12.37	0.00855	0.99654	0.04917	69.392
25.06.2022	10.30	5	300	27.00	1.0198	-0.00516	1.0146	12.44	0.00855	0.99652	0.031186	60.421
25.06.2022	10.35	10	600	26.90	1.0190	-0.00515	1.0139	12.64	0.00855	0.99654	0.022228	57.721
25.06.2022	10.40	15	900	26.90	1.0183	-0.00515	1.0132	12.80	0.00855	0.99654	0.018264	55.387
25.06.2022	10.45	30	1800	26.80	1.0170	-0.00511	1.0119	13.18	0.00855	0.99657	0.013104	51.086
25.06.2022	11.25	60	3600	26.70	1.0158	-0.00509	1.0107	13.47	0.00855	0.99660	0.009368	47.052
25.06.2022	12.25	120	7200	26.90	1.0143	-0.00515	1.0092	13.86	0.00855	0.99668	0.006719	41.586
25.06.2022	14.25	240	14400	26.80	1.0130	-0.00511	1.0079	14.23	0.00855	0.99665	0.004814	37.483
25.06.2022	16.25	360	21600	26.90	1.0126	-0.00515	1.0075	14.30	0.00855	0.99654	0.00394	36.380
25.06.2022	18.25	480	28800	26.70	1.0121	-0.00509	1.0070	14.44	0.00855	0.99660	0.003429	34.714
26.06.2022	10.25	1440	86400	26.80	1.0118	-0.00511	1.0067	14.53	0.00855	0.99665	0.001986	33.481

ELEK ANALİZİ							
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Kurutma Kabı Ağırlığı (gr)	Kurutma Kabı+Zemin Ağırlığı (gr)	Elek üstü Zemin Ağırlığı (gr)	%Kalan	Toplam % Kalan	Toplam % Geçen
3/8"	9.5						100
4	4.75	9.47	9.92	0.45	0.9	0.9	99.1
10	2	14.77	15.82	1.05	2.1	3.00	97
40	0.425	58.27	59.38	1.11	2.22	5.22	94.78
100	0.15	66.58	69.54	2.96	5.92	11.14	88.86
200	0.075	67.01	71.95	4.94	9.88	21.02	78.98