ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre PINARCI

# HAÇ GEDİĞİ HEYALANININ (KARAİSALI/ADANA) AĞAÇ HALKALARI YÖNTEMİYLE ANALİZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# HAÇ GEDİĞİ HEYALANININ (KARAİSALI-ADANA) AĞAÇ HALKALARI YÖNTEMİYLE ANALİZİ

**Emre PINARCI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 22/12/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

| | | |
|---|---|---|
| ..... | ..... | ..... |
| Prof. Dr. Hasan ÇETİN<br>DANIŞMAN | Doç. Dr. Tolga ÇAN<br>ÜYE | Doç. Dr. A. Mahmut KILIÇ<br>ÜYE |

Bu tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
**Kod No:**

**Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL**
**Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
**Proje No: MMF2010YL12**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki Hükümlere dayalıdır.

# ÖZ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAÇ GEDİĞİ HEYALANININ (KARAİSALI-ADANA) AĞAÇ HALKALARI YÖNTEMİYLE ANALİZİ**

**Emre PINARCI**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
Yıl :2011, Sayfa: 110
Jüri : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Doç. Dr. Tolga ÇAN
: Doç. Dr. A.Mahmut KILIÇ

Bu çalışma kapsamında Adana Baseninde yer alan Güvenç formasyonu içerisinde meydana gelen sığ ve düzlemsel bir kayma olan Haç Gediği heyelanı incelenmiştir.

Heyelanın meydana geldiği zeminden (Ayrışmış Güvenç) alınan örselenmiş ve örselenememiş numunelerle zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Zeminin indeks ve mühendislik özellikleri tespit edilerek zeminin kayma direnci parametreleri belirlenmiş ve heyelanın gerilme durumu ortaya konmuştur.

Çalışma sırasında daha önce meydana gelmiş olan heyelanın geçmişteki hareketi/hareketlerinin yaşını tespit edebilmek için dendrokronolojik analizlerde kullanılmak üzere heyelanın üzerinden 10 adet ve heyelana yakın bir bölgeden kesilmiş 9 adet kızılçam (*Pinus Brutia Ten.*) örneği kullanılmıştır. Denrokronolojik analizlerin sonucunda oluşturulan kronolojiler ve Karaisalı Meteoroloji İstasyonuna ait yağış verileri kullanılarak heyelanın geçmiş hareketinin yaşı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Heyelan, Ağaç Halkaları, Dendrokronoloji, Zemin Mekaniği, Mühendislik Jeolojisi

## ABSTRACT

## MsC THESIS

**ANALYSIS OF HAÇGEDİĞİ LANDSLIDE (KARAİSALI/ADANA) BY TREE RINGS METHOD**

**Emre PINARCI**

**ÇUKUROVAUNIVERSITY**
**INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**
**DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
Year: 2011, Page: 110
Jury : Prof. Dr. Hasan ÇETİN
: Assoc.Prof. Tolga ÇAN
: Assoc.Prof. A.Mahmut KILIÇ

In this study, a shallow and planar type Hac Gedigi landslide developed in the Guvenc Formation in the Adana Basin has been investigated.

Soil mechanical tests were performed on disturbed and undisturbed samples taken from the unit (Weathered Guvenc Formation) in which the landslide developed.

Engineering characteristics, shear strenght parameters and the state of stress for the landslide have been determined.

In order to determine the age and history of the landslide 10 pine trees (*Pinus Brutia Ten.*) on the slide mass and 9 pine trees adjacent to it were cut for dendrochronological analysis.

The past movement history of the landslide has been determined by means of the chronological data obtained from dendrochronological analysis and meteorological data obtained from the Karaisalı Meteorological Station.



**KeyWords**: Landslide, Tree Rings, Dendrochronology, Soil Mechanics, Engineering Geology

**TEŞEKKÜR**

Yüksek Lisans çalışmalarımda bana her türlü desteği gösteren, değerli önerileri ile başarı göstermemi sağlayan ve gerekli imkânları sunan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ÇETİN'e teşekkür ederim.

Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ'e ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü değerli hocalarına teşekkür ederim.

Yıllık halka analizlerinin yapılması için İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dendrokronoloji laboratuvarının tüm olanaklarını kullanmamı sağlayan, fikir ve önerileriyle beni yönlendiren Sayın Prof.Dr. Ünal Akkemik'e ve Yrd. Doç. Dr. Nesibe Köse'ye teşekkür ederim.

Heyelan bölgesi ve çevresinden ağaçların kesilmesi için yardımcı olan Karaisalı Orman İşletme Şefliğine teşekkür ederim.

Çalışmam süresince benden yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen çok sevdiğim ve saydığım ve laboratuar çalışmalarımda da yardımcı olan değerli arkadaşlarım Jeoloji Yüksek Mühendisi Barış KAYHAN'a, Jeoloji Mühendisi Evren ARSLAN'a, Jeoloji Mühendisi Meltem TAŞÇI'ya, Jeoloji Mühendisi Mustafa BELEN'e, Jeoloji Mühendisi Gökhan ÇEVİK'e ve Jeoloji Mühendisi Nurgül ŞEFLEK'e teşekkür ederim.

Her an yanımda hissettiğim, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

**İÇİNDEKİLER** **SAYFA**

ÖZ ..... I
ABSTRACT ..... II
TEŞEKKÜR ..... III
İÇİNDEKİLER ..... IV
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... X
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... XII
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması ..... 2
1.1.1. Düşme ..... 2
1.1.2. Devrilme ..... 3
1.1.2.1. Bükülme Devrilmesi ..... 3
1.1.2.2. Blok Tipi Devrilme ..... 3
1.1.2.3. Bloklu-Bükülme Tipi Devrilme ..... 3
1.1.2.4. İkincil Devrilme Türleri ..... 4
1.1.3. Kaymalar ..... 4
1.1.3.1. Dairesel Kayma ..... 4
1.1.3.2 Ötelenmeli Kayma ..... 5
1.1.4. Yanal Yayılma ..... 6
1.1.5. Akma ..... 7
1.1.6. Karmaşık Kaymalar ..... 8
1.2. Yaşlandırma Teknikleri ..... 11
1.2.1. Radyoaktif Yöntemler ..... 11
1.2.2. Radyoaktif Olmayan Yöntemler ..... 11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 17
3. MATERYAL VE METOT ..... 19
3.1. Materyal ..... 19
3.2. Metot ..... 19
3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar ..... 20

3.2.2. Arazi Çalışmaları ..... 20
3.2.3. Laboratuar Çalışmaları ..... 22
3.2.3.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyleri ..... 22
3.2.3.1.(1). Deney İçin Numunenin Hazırlanması ..... 22
3.2.3.1.(2). Likit Limit Deneyi ..... 23
3.2.3.1.(2).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler ..... 23
3.2.3.1.(2).(b). Casagrande (Likit Limit) Aleti'nin Ayarlanması ..... 23
3.2.3.1.(2).(c). Deneyin Yapılışı ..... 24
3.2.3.1.(3). Plastik Limit Deneyi ..... 25
3.2.3.1.(3).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler ..... 25
3.2.3.1.(3).(b). Deneyin Yapılışı ..... 26
3.2.3.1.(4). Plastisite (PI), Likitlik(LI), Kıvam İndisi (CI) Değerleri ..... 26
3.2.3.2. Özgül Ağırlık Deneyi ..... 28
3.2.3.2.(1). Gerekli Araçlar ve Malzemeler ..... 28
3.2.3.2.(2). Piknometrenin Kalibrasyonu ..... 28
3.2.3.2.(3). Deneyin Yapılışı ..... 29
3.2.3.2.(4). Hesaplamalar ..... 31
3.2.3.3. Tane Boyu Analizi ..... 31
3.2.3.3.(1). Hidrometre Analizi ..... 32
3.2.3.3.(1).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler ..... 32
3.2.3.3.(1).(b). Deneyin Yapılışı ..... 33
3.2.3.3.(1).(c). Hesaplamalar ..... 35
3.2.3.3.(2). Elek Analizi ..... 36
3.2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi ..... 37
3.2.3.4.(1). Deneyin yapılışı ..... 40
3.2.3.4.(2). Hesaplamalar ..... 41
3.3.Yıllık Halka Analizleri ..... 42
3.3.1.1. Yıllık Halka Genişliklerinin Ölçülmesi ..... 42
3.3.1.2. Eşleştirme (Crossdating) ..... 42

3.3.1.3. Standartlaştırma ..... 46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 47
4.1. Genel Jeoloji ..... 47
4.1.1. Güvenç Formasyonu ..... 47
4.1.2. Kuzgun Formasyonu ..... 47
4.1.2.1. Kuzgun Üyesi ..... 47
4.1.2.2. SalbaşTüfit Üyesi ..... 48
4.1.2.3. Memişli Üyesi ..... 48
4.1.3. Handere Formasyonu ..... 49
4.1.3.1. Gökkuyu Alçıtaşı Üyesi ..... 49
4.2. Zeminlerin İndeks ve Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi ..... 51
4.2.1. Zeminlerin İndeks Özellikleri ..... 51
4.2.1.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyleri ..... 51
4.2.1.2. Özgül Ağırlık Deneyi ..... 54
4.2.1.3. Tane Boyu Analizi ..... 54
4.2.2. Zeminin Mühendislik Özellikleri ..... 55
4.2.2.1. Zeminin Kesme Direnci ..... 59
4.3. Yıllık Halka Analizleri (Dendrokronolojik Çalışmalar) ..... 64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 73
KAYNAKLAR ..... 75
ÖZGEÇMİŞ ..... 81
EKLER ..... 83

**ÇİZELGELER DİZİNİ** **SAYFA**

Çizelge 1.1. Heyelan tipleri (Varnes, 1978).....2
Çizelge 3.1. Zemine göre piknometrelere konulması gereken numune miktarı (ASTM, 2003).....30
Çizelge 3.2. Elektrikli mikser ile karıştırma süreleri (ASTM, 2003).....34
Çizelge 4.1. Plastisite derecesinin plastisiteindisine (PI) göre belirlenmesi (Leonards, 1962).....52
Çizelge 4.2. Killerin kıvam indisine (CI) göre sınıflandırılması(Aytekin, 2004).....53
Çizelge 4.3. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Skempton, 1953)..55
Çizelge 4.4. Düşey ve yanal gerilme hesabı .....59
Çizelge 4.5. Zemin cinsine göre tipik $K_0$ değerleri (Uzuner, 2007) .....59
Çizelge 4.6. Ağaçların reaksiyon odunu oluşturduğu yıllar.....67

**ŞEKİLLER DİZİNİ** **SAYFA**


Şekil 1.1. Karaisalı – Aladağ yolu üzerinde meydana gelen düzlemsel kayma.....9
Şekil 1.2. Hareketin türüne göre heyelan çeşitleri .....10
Şekil 1.3. "11" numaralı ağaçta ilkbahar odunu, yaz odunu ve yağışlı, kurak mevsimleri temsil eden halkaların gösterilmesi.....12
Şekil 1.4. Çalışma alanının uzaktan görüntüsü .....14
Şekil 1.5 Çalışma alanının yakından görütüsü.....14
Şekil 1.5. Çalışma alanının yer bulduru haritası .....15
Şekil 3.1. LINTAB-TSAP ölçüm sistemi .....20
Şekil 3.2. Örselenmemiş numunenin balmumu-parafin karışımıyla izole edilmesi.....21
Şekil 3.3. Analize hazır hale getirilen ağaç kütükleri .....21
Şekil 3.4. Numunenin Casagrande aynasına serilmesi.....25
Şekil 3.5 Direkt kesme kutusu deney aletinin şematik olarak gösterimi (Uzuner, 2007'den değiştirilerek).....38
Şekil 4.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Yetiş ve Demirkol, 1986; Ünlügenç, 1993'den; değiştirilerek) .....50
Şekil 4.2. Likit limit (LL) değerinin bulunması.....51
Şekil 4.3. Killerin likitlik indisine (LI) göre sınıflandırılması ve değişik su içeriklerinde zeminin gerilme-birim deformasyon tepkileri (Holtz ve Kovacs, 1981'den değiştirilerek).....52
Şekil 4.4. Zeminin Casagrande plastisite diyagramı üzerinde gösterilmesi (Casagrande, 1948 ve Howard, 1977) .....53
Şekil 4.5. Tane boyu grafiği.....55
Şekil 4.6. Heyelan bölgesinin taçdan topuğa doğru görünümü .....55
Şekil 4.7. Heyelan bölgesinin genel görünümü .....56
Şekil 4.8. Haç Gediği Heyelanının detay haritası .....57
Şekil 4.9. Haç Gediği Heyelanının A-A' güzergahında enine kesiti .....58
Şekil 4.10. 6 kg'lık yük altında yapılan kesme kutusu deneyine ait gerilme-deformasyon grafiği.....60

Şekil 4.11. 6 kg'lık yük altında yapılan kesme kutusu deneyine ait gerilme-deformasyon grafiği ....61
Şekil 4.12. Zemine ait kırılma zarfı ....61
Şekil 4.13. Mohr dairesi ....62
Şekil 4.14. Kırılma zarfının aşağıya çekilmesi ile Mohr dairesine değmesi ....63
Şekil 4.15. Mohr dairesinin sola doğru kaydırılarak kırılma zarfına değmesi ....63
Şekil 4.16. "4" ve "K15" numaralı ağaçlardan alınan disk şeklindeki örnekler ....65
Şekil 4.17. "6" numaralı örnek üzerinde belirlenen ölçüm yönleri (A ve B) ....65
Şekil 4.18. "13" numaralı örnekte 1989 yılı haklasında reaksiyon odunu oluşan ve oluşmayan yönlerdeki halka genişliği ve hareketin yönü ....66
Şekil 4.19. Aylık yağışlar ve ortalama halka genişliği arasında oluşturulan korelasyon katsayılarını gösteren grafik ....68
Şekil 4.20 Oluşturulan kronolojilerin aynı grafik üzerinde gösterilmesi ....69
Şekil 4.21. Bölgeye düşen yağışlar ve HAH kronolojisi ....70
Şekil 4.22. Bölgeye düşen yağışlar ve HAK kronolojisi ....71
Şekil 4.23. Java tik ağacı yıllık halkaları ve doğu muson yağışları arasındaki ilişkiyi gösteren kronoloji ....72

**SİMGELER VE KISALTMALAR**

$A$ : Numune alanı ($cm^2$)

$A_0$ : Deney başı numune alanı

$A_C$ : Aktivite

$A_d$ : Düzeltilmiş Alan ($cm^2$)

$A_J$ : Mezürün 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 Gerilmesi

$d$ : Hidrometre düzeltme değeri

$D$ : Tane çapı (mm)

$D_o$ : Düzeltilmiş okuma (mm)

$e$ : Boşluk oranı (birimsiz)

$e_o$ : Deney başı boşluk oranı (birimsiz)

$G_s$ : Numunenin özgül ağırlığı (birimsiz)

$G_{s(Tx)}$ : Zemine ait özgül ağırlık(birimsiz)

$G_{w(Tx)}$ : Suyun Tx sıcaklığındaki özgül ağırlığı

$h$ : Numune boyu (cm)

$H_s$ : Katı (Tane) Kısmın Yüksekliği (cm)

$H_0$ : Zemin numunesinin deney başlangıcındaki kalınlığı ($gr/cm^3$)

$J$ : 0,002 mm'den küçük tanelerin ağırlıkça yüzdesi (kil yüzdesi) (%)

LI : Likitlik İndisi

LL : Likit Limit (%)

$N$ : D tane çapmdan küçük tanelerin yüzdesi (%)

$n$ : Porozite (%)

PI : Plastisite İndisi (%)

PL : Plastik Limit (%)

R : Numune yarı çapı (cm)

RL : Rötre Limit (%)

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması

$r_a$ : Deney sırasındaki süspansiyondaki hidrometre okuması

$R_A$ : Ring ağırlığı (gr)

$R_D$ : Ring çapı (cm)

$R_L$ : Ring boyu (cm)

$r_s$ : Sudaki hidrometre okuması

S : Doygunluk derecesi

t : Toplam geçen zaman (dk)

$t_1$ : Deney süresi (sn)

Tgü : Güvenç Formasyonu

USCS : Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi

UU : Konsolidasyonsuz- Drenajsız Kesme Gerilmesi

$V_0$ : Deney başı numune hacmi($cm^3$)

$V_H$ : Hidrometre hacmi ($cm^3$)

$V_s$ : Deney başı numune içi katı (tane) hacmi ($cm^3$)

$V_{sp}$ : Süspansiyonun hacmi ($cm^3$)

$V_T$ : Toplam hacim ($cm^3$)

$V_v$ : Numune İçi Boşluk Hacmi ($cm^3$)

w : Deney başı su içeriği (%)

$\omega_f$ : Deney sonu su içeriği (%)

$\omega_n$ : Numune su içeriği (%)

$W_{ıslak}$ : Islak numune ağırlığı (gr)

$W_{kap:}$ : Kap ağırlığı (gr)

$W_{Kuru}$ : Kurutulmuş numune ağırlığı (gr)

$W_{numune}$ : Deney sonu kurutulmuş numune ağırlığı (gr)

$W_{psw(Tx)}$ : Tx sıcaklığındaki piknometre + numune + su ağırlığı (gr),

$W_{pw(Tx)}$ : Tx sıcaklığındaki piknometre + su ağırlığı (gr),

$W_s$ : Kuru numune ağırlığı (gr),

$W_{skn}$ : Deney sonu kuru numune ağırlığı (gr)

$W_{su}$ : Su ağırlığı (gr)

$W_T$ : Toplam ağırlık (gr)

$Z_r$ : Süspansiyonun yüzeyinden hidrometre hacim merkezine olan uzaklık (cm)

$\Delta L$ : Toplam deformasyon (cm)

$\phi$ : İçsel sürtünme açısı ($^o$)

$\sigma_1$ : Serbest basınç gerilmesi (kg/cm$^2$)

$\tau$ : Kesme gerilmesi (kg/cm$^2$)

$\sigma_n$ : Normal gerilme (kg/cm$^2$)

$\tau_{max}$ : Kayma gerilmesi (kg/cm$^2$)

$\varepsilon_v$ : Düşey deplasman (mm)

$\varepsilon_h$ : Yatay deplasman (mm)

$\pi$ : 3,1415

$\sigma$ : Gerilme (kg/cm$^2$)

$\Delta\sigma$ : Gerilme artışı

$\mu$ : Deney sıcaklığındaki suyun viskozitesi

$\gamma_d$ : Suya doygun birim hacim ağırlık (gr/cm$^3$)

$\gamma_k$ : Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm$^3$)

$\gamma_n$ : Doğal birim hacim ağırlık (ıslak yoğunluk) (gr/cm$^3$)

$\gamma_s$ : Katı (tane) birim hacim ağırlığı (gr/cm$^3$)

$\gamma_w$ : Suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm$^3$)

# 1. GİRİŞ

Kütle hareketleri şeklinde genel olarak adlandırılan heyelanlara ait birçok araştırmacı tarafından değişik tanımlamalar yapılmış olmakla beraber bu tanımlar aslında birbirlerinden çok farklı değildir. Cruden, (1991) heyelanları genel olarak, bir yamaçtaki kaya, toprak zeminin veya molozların yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlamıştır.

Doğal afetler içinde yaratmakta olduğu olumsuz etkilerden dolayı önemli bir yer tutan heyelanlar, etkin oldukları bölgede yerleşim yerlerine can ve mal kaybı şeklinde zarar vermekle beraber aynı zamanda önemli mühendislik projeleri (kara ve demir yolu, baraj, nükleer santral, hastane, okul vb.) yanında bahçe veya ekili alanlar gibi ekonomik yapıları da etkilemeleri bakımından önemlidirler. Ülkemizde heyelanlardan kaynaklanan afetler, depremlerden sonra ikinci sırada yer alır. Özellikle Batı Karadeniz, Doğu Karadeniz, Marmara bölgeleri yoğunlukta olmak üzere birçok bölgede heyelanlar meydana gelmekte bunlardan bazıları ciddi sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Ünsal, 2005).

Heyelan zararlarının büyük bir kısmı kayıt altına alınmamaktadır. Genellikle tetikleyici faktörün bir sonucu olarak değerlendirilmekte ve buna bağlı olarak söz konusu kayıpların nedeni ilgili tetikleyici faktör olarak kabul edilmektedir. Örnek olarak; 1964 Alaska depremi esnasında gerçekleşen kayıpların çoğunluğu heyelan kaynaklı olmasına karşın, söz konusu kayıpların nedeni yer sarsıntısı olarak kayıt edilmiştir (Schuster, 1996).

Schuster (1996), Heyelan aktivitesindeki artışın temel nedenlerini heyelana duyarlı alanlardaki şehirleşme ve gelişme oranındaki artış heyelana duyarlı alanlardaki ağaç kesimi ve iklim değişikliğine bağlı olarak bölgesel yağış miktarındaki artış olarak belirtmiştir.

### 1.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Herhangi bir heyelan iki isimle sınıflandırılabilir ve ifade edilebilir. Varnes (1978) yaptığı sınıflamada; birinci terim malzemeyi, ikinci terim hareketin tipini ifade eder (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Heyelan tipleri (Varnes, 1978)

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">HAREKETİN TİPİ</th><th colspan="3">MALZEMELERİN TİPİ</th></tr>
<tr><th rowspan="2">ANAKAYA</th><th colspan="2">MÜHENDİSLİK ZEMİNLERİ</th></tr>
<tr><th>Ağırlıklı olarak kaba taneli</th><th>Ağırlıklı olarak ince taneli</th></tr>
<tr><td colspan="2">DÜŞMELER</td><td>Kaya düşmesi</td><td>Moloz düşmesi</td><td>Toprak düşmesi</td></tr>
<tr><td colspan="2">DEVRİLMELER</td><td>Kaya devrilmesi</td><td>Moloz devrilmesi</td><td>Toprak devrilmesi</td></tr>
<tr><td rowspan="2">KAYMALAR</td><td>DAİRESEL</td><td rowspan="2">Kaya kayması</td><td rowspan="2">Moloz kayması</td><td rowspan="2">Toprak kayması</td></tr>
<tr><td>DÜZLEMSEL</td></tr>
<tr><td colspan="2">YANAL YAYILMALAR</td><td>Kaya yayılması</td><td>Moloz yayılması</td><td>Toprak yayılması</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">AKMALAR</td><td>Kaya akması</td><td>Moloz akması</td><td>Toprak akması</td></tr>
<tr><td>(Derin krip)</td><td colspan="2">(Toprak kribi)</td></tr>
<tr><td colspan="2">KARMAŞIK</td><td colspan="3">İki veya daha fazla ana hareket tipinin birleşimi</td></tr>
</table>

#### 1.1.1. Düşme

Bu duraysızlık toprak ve kayaç zeminlerde münferit blokların ya da moloz bloklarının dik ve derin bir yamaçtan herhangi bir kesme yenilmesi olmaksızın, yerçekiminin etkisi altında düşmesi şeklinde gerçekleşir. Düşmeler, kaya kütlelerinde mevcut süreksizliklerin, toprak zeminlerde ise fisürlerin katkısıyla gelişirler. Hareket hızlı veya aşırı deredede hızlıdır (Şekil 1.2) (Ulusay, 2002).

### 1.1.2. Devrilme

Devrilme duraysızlığı; eğimi şevin tersi yönde olan süreksizliklerle bölünmüş kolonsal yapıya sahip birimlerde kolonların belirli bir dönme noktasının üzerinde komşu kolonların ve yerçekiminin etkisiyle kazı boşluğunda devrilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu duraysızlık, kolonsal yapıya sahip eklemli kaya kütleleri ile fisürlü killerde yaygın olarak gözlenir ve süreksizliklerin devamlılığının yüksek olması önem taşır. Devrilme bir çökme davranışı olmayıp, doğrudan bir bükülme davranışını yansıtır (Şekil 1.2) (Ulusay, 2002).

#### 1.1.2.1. Bükülme Devrilmesi

Topuk erozyonu, kayma, alttan kazı gibi nedenlerle ince devamlılığı yüksek kolonların kazı boşluğuna doğru bükülmesi ve kayacın çekilme dayanımının aşılmasıyla kolonların kırılması sonucu gelişir (Ulusay, 2002).

#### 1.1.2.2. Blok Tipi Devrilme

Bu devrilme türü, dike yakın süreksizlikler içeren ve bu süreksizlikleri bölen diğer süreksizliklerin oluşturduğu blokların kayması sonucu meydana gelir. Topuktaki ilk ve en kısa blok kayınca gerideki bloklarda kayma davranışı gösterir. (Yenilmenin tabanı bükülme tipi devrilmedekine göre daha belirgin olup, çapraz süreksizliklerden dolayı basamaklı bir görünüm sergiler (Ulusay, 2002).

#### 1.1.2.3. Bloklu-Bükülme Tipi Devrilme

Bu tür devrilme ince-uzun kolonların çapraz süreksizlikler tarafından kesilmesi sonucu gelişir. Sürekli kolonların bükülerek yenilmesi yerine, kolonların devrilmesi çapraz süreksizlikler üzerinde yoğunlaşan yer değiştirmelerle meydana gelir. Bükülme devrilmesinde gözlenene oranla biraz daha fazla çekilme çatlağı gelişir ve bloklar arasındaki temas ve boşluk miktarı daha az olur (Ulusay, 2002).

#### 1.1.2.4. İkincil Devrilme Türleri

a) Topukta gelişen kaymayla ilişkili devrilme: Erozyon veya kazı işlemleri nedeniyle, şevin topuk kesimindeki bir harekete bağlı olarak, gerideki bloklar kayan kısmın arkasındaki boşluğa devrilirler.

b) Tabandaki kaymayla ilgili devrilme: Oldukça dik eğimli kolnsal bir yapıya sahip kaya kütleleri üzerindeki toprak zemin veya yığın şevlerinin kayması, alttaki kolonsal eklemli kaya kütlesinde kesme kuvvetleri yaratarak kolonların öne doğru devrilesine neden olur.

c) Üstteki kaymaya bağlı olarak gelişen devrilme: Şevin touk kesiminde dike yakın kolonsal eklemli bir kaya kütlesi üzerinde yer alan farklı bir malzemede gelişen duraysızlık, kolonları üzerinde ek yükler oluşturur ve kolonlar devrilir.

d) Çekilme (Tansiyon) çatlağının neden olduğu devrilme: Kohezyonlu zeminlerde açılmış dik şevlerde çekilme çatlaklarının gelişmesiyle veya devamlılığı yüksek fisürlerin varlığı nedeniyle oluşan ince-uzun bloklar devrilebilir.

e) Devrilme ve kayma: Toprak zemin veya ayrışmış kayaç malzemesi üzerinde bulunan kolonsal yapıya sahip bir kaya kütlesinde, toprak zeminin dairesel kaymaya uğraması sonucu gelişen çatlakların kaya kütlesindeki süreksizliklerle birleşmesi sonucu meydana gelir (Ulusay, 2002)

### 1.1.3. Kaymalar

Bir veya birden fazla yüzey üzerinde ve kesme birim deformasyonu sonucu meydana gelen hareketler genel anlamda kayma olarak tanımlanır. Kayma hareketleri dairesel ve ötelenmeli olmak üzere iki grupta değerlendirilir (Ulusay, 2002).

#### 1.1.3.1. Dairesel Kayma

Dairesel kaymalar kaşık şeklindeki bir yüzey boyunca gelişir ve harekete bağlı çatlaklar plan görünümünde konsantrik olup, hareketin yönüne doğru

konkavdır. Bu tür kaymaların tipik özelliği, şev üzerindeki ağaç, kafes, direk vb. ile kayan kütlenin geriye yatık olmasıdır (Ulusay, 2002).

### 1.1.3.2. Ötelenmeli Kayma

Bu tür kaymalarda kütle düzlemsel veya ondüleli bir kayma yüzeyi üzerinde ve geriye yatmaksızın hareket eder (Ulusay, 2002)

a) Düzlemsel Kayma: Düzlemsel kayma, genellikle düz veya az dalgalı bir süreksizlik boyunca gelişen kesme yenilmesine bağlı olarak meydana gelir ve kütle yaklaşık olarak süreksizlik düzleminin genel eğimine paralel yönde hareket eder (Şekil 1.1).

Bu tür duraysızlıkta hareket eden kütle fazla deforme olmaz ve kayaç malzemesinin kesme dayanımı kaymanın üzerinde geliştiği sürekziliğin kesme dayanımından çok yüksektir. Düzlemsel kayma, yapısal denetimli bir duraysızlık olarak türü olarak da bilinir ve tabaka, fay, eklem, dilinim, şiztozite vb. süreksizlik yüzeyleri üzerinde meydana gelir. Ayrıca şev tepesinde tansiyon çatlağı da gelişebilir. Düzlemsel kaymanın özel türleri aşağıda verilmiştir.

- İnce plaka şeklindeki ötelenmeli kayma: Yamaç boyunca kuru ve kohezyonsuz malzemenin yamaca paralel yöndeki hareketiyle meydana gelir.
- Dilim şeklindeki ötelenmeli kayma: Ana kaya üzerindeki kilin, moloz birikintisinin veya rezidüel zeminin yamaca paralel yönde hareketi şeklinde gelişen bu tür duraysızlıklar oldukça sığ kayma yüzeylerine sahiptirler.
- Basamaklı ötelenmeli kayma: Kazı boşluğuna eğimli ana süreksizlik takımlarının yanı sıra, bunlara verev konumlu ikincil süreksizliklerin varlığı halinde, duraysızlık basamaklı bir kayma yüzeyi üzerinde gelişir.

b) Kama türü kayma: Eklemli sert kayma kütlelerinde ve devamlılığı yüksek fisürlere sahip aşırı konsolide killerde süreksizliklerin veya fisürlerin kesişmesi sonucu tetrahedral kama blokları oluşur. Süreksizliklerin kesişme hattının dalım açısının şevin eğiminden küçük olması ve bu yüzeylerin kesme dayanımının aşılması halinde, söz konusu tetrahedral kama blokları kama blokları kazı boşluğuna doğru hareket ederler

c) Moloz kaymaları: Bu tür duraysızlıklarda kayan malzeme genellikle düşük kohezyona sahip olup, hareket sırasında dönmeye ve burulmaya eğilim gösterir. Moloz kaymaları, eğimli ana kaya üzerinde birikmiş sığ moloz şevlerinde gelişir ve yamaç eğimi yaklaşık $25^0$-$45^0$ arasındadır. Hareketin hızı, yamaç eğimine bağlı olup, kil içeriğinin artmasıyla azalır. Bu tür kaymalar, genel olarak, aşırı yağışlar ve depremler tarafından tetiklenir.

d) Birleşik yüzeyler boyunca kaymalar: Bu tür duraysızlıklar, şevdeki karmaşık yapının bir sonucu olarak gelişir. Kayma yüzeyleri üstte oldukça dik ve eğrisel, altta düzlemsel iki birleşik yüzeyin yanı sıra, iki veya daha fazla sayıdaki düzlemsel yüzeyin birleşmesinden de oluşabilir. Bu tür duraysızlığın gelişiminde şevdeki heterojen koşullar etkili olur. Özellikle bozunmuş ve bozunmamış malzemeler arasındaki sınır önem kazanır (Ulusay, 2002).

### 1.1.4. Yanal Yayılma

Bu tür duraysızlıklarda kesme ve çekilme çatlaklarının eşliğinde gelişen yanal yöndeki bir genişleme hareketi, başlıca duraysızlık mekanizmasını oluşturur. İki farklı türde yanal yayılma duraysızlığı söz konusu olup, bu duraysızlık türü depremler sırasında gelişen sıvılaşma davranışına bağlı yanal yayılma hareketi ile karıştırılmamalıdır (Şekil 1.2).

a) Yanal kaya yayılması: Bu tür yayılma, örneğin kil gibi plastik özellikteki bir zeminin üzerinde yer alan bloklu kaya kütlesinin dokanak yüzeyi boyunca kesme yenilmesi sonucu ve yavaş bir hızla kazı boşluğuna doğru hareketiyle gelişir. Kaya kütlesini bölen devamlılığı yüksek süreksizliklerin oluşturduğu blokları kilometrelerce mesafe boyunca plastik malzeme üzerinde hareket edebilirler.

b) Yanal zemin yayılması: Bu tür yayılma, göreceli olarak sünümlü ve zayıf kil veya benzeri bir malzeme içindeki rijit, eklemli veya tabakalı bir kaya kütlesinin eğim aşağı hareketi olarak tanımlanabilir. Özellikle örselenme veya yoğrulma sonucu dayanımlarını önemli ölçüde yitiren duyarlı killer ve siltlerde gözlenir. Duraysızlık, yerel olarak başlar ve yayılır. Bu tür yanal yayılmalarda en yüksek hız 10-25 mm/yıl olup genellikle harekete ilişkin belirgin göstergeler gözlenmez ve hareketin

gelişiminde yüksek su basınçları etkilidir. Bu tür hareketin içinde geliştiği yumuşak zon kalın ise, bloklar zeminin içine batar ve geriye doğru yatar. Yumuşak zonun içinde olması koşulunda ise, duraysızlık ötelenmeli kayma türüne dönüşür (Ulusay, 2002).

### 1.1.5. Akma

Bu duraysızlık konsolide olmamış malzemenin doygun, ya da kuru halde ve düşük veya yüksek hızla yamaç boyunca akması şeklinde gerçekleşir. Akma duraysızlığında, kaymaya oranla, malzemenin içsel deformasyonu daha fazladır. Hareketin birden fazla sayıda kesme yüzeyi boyunca gerçekleşmesi ve su içeriği yüksekse malzemenin akışkan gibi davranması (özellikle ince taneli malzemelerde) bu duraysızlığın en tipik özellikleridir. Hem kaya, hem de toprak zemin türü malzemelerde gelişen akma davranışı toprak zeminlerde akan malzemenin türüne göre kuru kum akması, çamur akması ve moloz akması şeklinde alt gruplara ayrılır.

a) Kaya akması: Kaya akmaları, genellikle yavaş bazen gravite hareketi şeklinde gelişir ve kayma sonrası kıvrımlanma, bükülme ve kabarma gibi yüzey şekilleri oluşur. Kaya akmalarının nümerik çözümü çok güç olup, küçük veya büyük boyutlu kırıklar arasındaki kaya bloklarının deformasyonu söz konusudur.

b) Zemin akması: Toprak zemin akması, tipik olarak topukta gelişen bir hareket türü olup, yumuşak ve ayrışmış malzemenin yavaşça hareketi şeklinde gelişir. Yamaç eğiminin azalmasıyla ve zemin kütlesinin kurumasıyla dayanım artar, dolayısıyla hareketin hızı artar. Bu akma türü, kayma hareketiyle çamur akması arasındaki geçişi karakterize eder. Genellikle hareketin başlangıcı zor farkedilir ve kısa sürelidir. Özellikle yağıştan sonra su ile zeminin karışması hareketin gelişiminde etkili olur. İnce taneli silt, kil ve killi kumun varlığı halinde hareketin hızı artar ve hız malzemenin su içeriğine ve yamaç eğimine bağlı olarak değişir.

- Kuru kum akması: Hızlı-çok hızlı bir hareket türü olan kuru kum akması, kıyılarda ve kuru taneli malzemenin üzerindeki dolgularda yaygın olarak gözlenir.

- Çamur akması: Hızlı bir akma türü olup yamaç eğiminin $5^0$-$15^0$ arasında değişmesi bu hareket için yeterlidir. Hareketin geliştiği malzemelerde %50 kum-silt ve kil taneleri (kil fraksiyonu %40-65) tipiktir. Ayrıca, ince kum arabantları içeren yüksek su basınçlarının geliştiği fisürlü ve fisürsüz killer ile kolaylıkla ayrışmaya maruz kalabilen şeyl gibi kayaçlar ile ince taneli volkanik kül seviyelerinde , ayrıca löslerde de gelişebilir. Bu zeminlerde kum seviyelerinde gelişen erozyon akmaya neden olur. Kayma yüzeyleri genellikle parlak ve kaygandır.

c) Moloz akması: Bazı sınıflama sistemlerinde çamur akması olarak da değerlendirilen bu tür duraysızlık, tane boyu esas alınarak ayrı bir grup halinde değerlendirilir. Moloz akmaları, genel olarak, aşırı yağış ve karın erimesi sonucu dağlık bölgelerde yamaçlardaki molozların eğim aşağı harekete geçmesidir (Şekil 1.2). Yüksek boşluk suyu basınçları ve drenajsız koşullarda meydana gelen bu hareket yavaş veya çok hızlı olabilir (Ulusay, 2002).

### 1.1.6. Karmaşık Kaymalar

Birden fazla sayıda değişik duraysızlık türünün birlikte geliştiği duraysızlara karmaşık kayma adı verilir ve

a) Kaya düşmesi ve moloz çığı

b) Dairesel kayma ve kaya devrilmesi

c) Dairesel kayma ve zemin akması

d) Ötelenmeli kayma ve kaya düşmesi

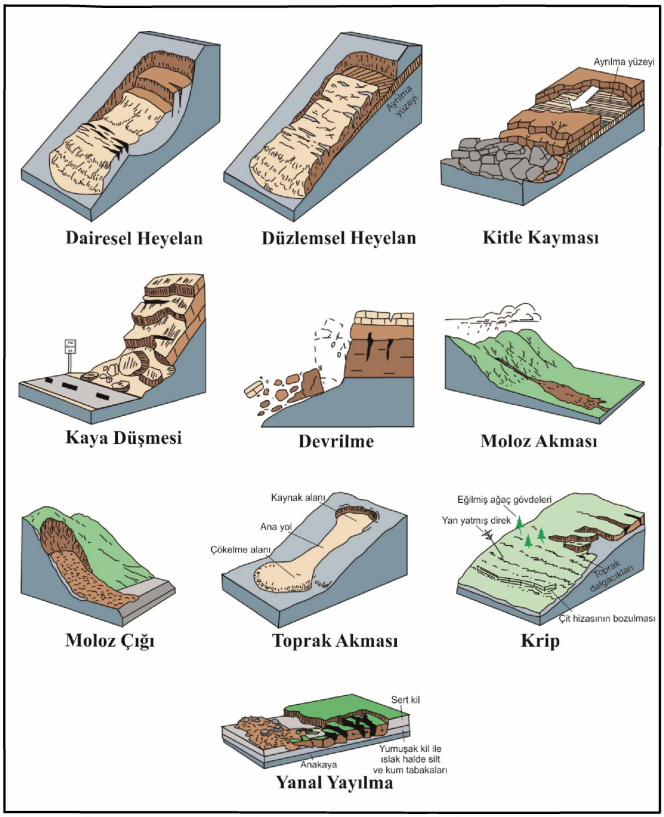
gibi duraysızlıkların birliktelikleri bu türe tipik örnekler oluşturur (Ulusay, 2002).



Şekil 1.1. Karaisalı – Aladağ yolu üzerinde meydana gelen düzlemsel kayma (Ertunç, 2003)

Heyelan yaşı ve aktivite durumu ile ilgili ifadeler Varnes (1978)'e göre ifade edilmektedir. Bir heyelanın aktivite durumu hareketin gerçekleşme zamanına ilişkin bilgiyi ifade eder. Aktivite dağılımı heyelanın alansal olarak hangi yöne doğru geliştiğini ifade eder. Aktivite tipi ise heyelanın meydana geliş şeklini (tekil, karmaşık) ifade eder (Duman, 2007'den değiştirilerek).

Heyelanların oluşma nedenleri; Jeolojik nedenler (zayıf malzeme, duyarlı malzeme, günlenmiş malzeme, vb.), morfolojik nedenler (tektonik veya volkanik yükselmeler, buzul çekilmesi, vb.), fiziksel nedenler (aşırı yağış, yavaş kar erimesi, vb.), insan etkisi (yamaçlardaki veya topuktaki kazılar, bitki örtüsünün yokedilmesi, sulama, vb.) olarak sayılabilir (Cruden ve Varnes, 1996).




Şekil 1.2. Hareketin türüne göre heyelan çeşitleri (http://pubs.usgs.gov)

Heyelanlar diğer doğal afetler gibi periyodik olarak tekrarlayan hareketlerdir ve belirli gerçekleşme sıklıkları vardır. Bu nedenle heyelanların geçmişteki hareketlerini belirlemek gelecekteki muhtemel hareketlerinin zamanının ve büyüklüğünün belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

### 1.2. Yaşlandırma Teknikleri

Deprem, heyelan v.b. doğal afetleri yaşlandırılmasında çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

#### 1.2.1. Radyoaktif Yöntemler

- Radyoaktif Parçalanmaya Dayanan Yöntemler
  a) C14 Yöntemi
  b) Potasyum Argon Yöntemi
  c) Fizyon İzleri Yöntemi

- Radyoaktiviteden Dolayı Çıkan Enerjinin Birikimine Dayanan Yöntemler
  a) Termolüminesans Yöntemi
  b) Elektron Spin Rezonans Yöntemi

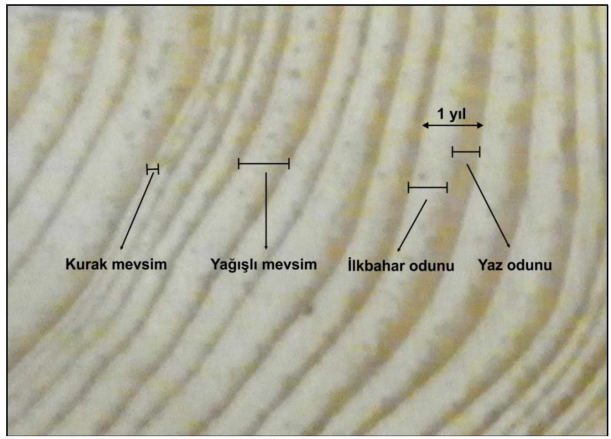
#### 1.2.2. Radyoaktif Olmayan Yöntemler

- Sürekli Doğal ve Kimyasal Değişimlere Dayanan Yöntemler
  a) Manyetik Alan Değişimi Yöntemi
  b) Amino Asit Resamizasyonu Yöntemi
  c) Uranyum-FlorinYöntemi
  d) Obsidyen Hidrasyonu
- Doğal Ritmik Olaylara Dayanan Yöntemler
  a) Dendrokronoloji Yöntemi
  b) Varv Yöntemi

Bu çalışmada yaşlandırma tekniği olarak kullanılan Dendrokronoloji, yıllık halkalara dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlanmaktadır. Eski Yunanca'da, "Dendron" odun, "Chronos" tarih ve "Logos" bilim anlamına gelmektedir (Fritts, 1976).

Dendrokronoloji çalışmalarının temel malzemesini oluşturan ağaç, her yıl sadece boyuna büyümez; aynı zamanda çap artımı da yapar. Ağacın gövdesinde canlı

kabuğun hemen altında gövdeyi saran birkaç hücre kalınlığındaki kambiyum tabakasının her yıl bölünmesi sonucu oluşan odun maddesi, içeriye doğru yıllık tabakalar halinde üst üste yığılır (Avcı, 2007). Ülkemizin de içinde bulunduğu ılıman iklim kuşağında, kambiyum tabakası ilkbaharda faaliyete geçip sonbaharda faaliyetine son verdiğinden, her yıl sınırları belirgin bir halka oluşturmaktadır. Bu halkaların genişliği, başta genetik yapı olmak üzere, iklim faktörlerinden sıcaklık ve yağış, arazinin topografik yapısı, denizden yüksekliği, ana kaya ve toprak özelliği, bakı, kapalılık, rüzgar gibi çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Vejetasyon döneminin kesintiye uğradığı iklim bölgelerinde farklı tonlarda ağaç halkaları oluşmaktadır. Bir koyu ve bir açık yıllık halka bir seneyi göstermektedir. Koyu renkte olan halka yaz odunu açık renkte olan ise ilkbahar odunudur (Şekil 1.3). Yıllık halka genişliklerindeki bir yıldan diğerine meydana gelen bu değişimler, bir türün aynı bölgedeki bireylerinde aynı yönde olmaktadır. Hatta bir cinsin farklı türlerinde, aynı ekolojik koşullarda yetişen farklı cinslerde de, hakla genişliğindeki değişimler aynı yönde seyretmektedir. Yıllık halkaların bu özellikleri, dendrokronoloji bilim dalının temelini oluşturmaktadır (Akkemik, 2004).




Şekil 1.3. "11" numaralı örnekte ilkbahar odunu, yaz odunu ve yağışlı, kurak mevsimleri temsil eden halkaların gösterilmesi

Heyelanlar, çamur akıntıları ve çığ gibi doğal afetlerin de tarihlendirilmesi, insana etkileri nedeniyle önem taşır. Özellikle yoğun nüfuslanan alanlarda doğal afetlerle ilgili araştırmalar yürütülmektedir. Katastrofik süreçlerle ilgili dendrokronoloji uygulamalarında çoğu zaman iki yaklaşım ayırd edilmektedir. Bunlardan birincisi örneğin bir heyelan üzerinde yetişmiş ağaçların minumum yaşlarının ortaya çıkarılmasıdır. Böylece en eski ağaçların yaşlandırılması, olayın meydana gelişinden sonra geçen zamanı tahmin etmeyi sağlar. İkinci yaklaşım ise seller, heyelanlar ya da çığlar gibi doğal afetlerden zarar gören canlı ağaçların yıllık halka paternlerinin incelenmesidir (Butler ve ark. 1987).

Yıllık halka genişlikleri ölçülerek elde edilen 'ana kronolojiler' başlangıç ve bitiş yılları belli olan kronolojilerdir. Hangi yıllara ait olduğu bilinmeyen hareketli kronolojiler elde edildikten sonra, bunlar takvim yılları belli olan ana kronoloji üzerinde gezdirilmekte ve çakıştığı yıllar belirlenmektedir. Bu şekilde bir yandan ana kronoloji geriye uzatılmakta, diğer yandan da tarih belirleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir (Akkemik, 2004).

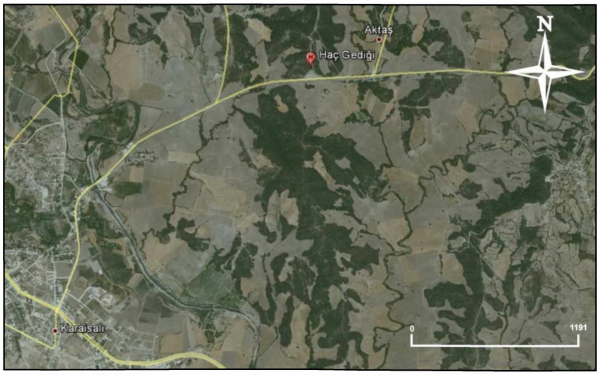
Heyelanlar, Türkiye'de de uygulamalı jeoloji çalışmalarına konu olan önemli doğal afetlerden birisidir. Dendrokronolojinin heyelanlara uygulama örneği olarak Québec'de meydana gelen bir heyelan (Wiles ve ark. 1996) ile Türkiye'de Sülük gölü heyelanı (Aytuğ ve Kılıç, 1993) verilebilir. Bu heyelanlarla ilgili olarak önemli veriler, dendrokronoloji ile elde edilmiştir. Yine ağaçların heyelan alanlarında eğim yönlerinin belirlenmesi ve gelişim anomalilerin saptanması ve bunların korelâsyonun sağlanması ile dikkate değer bulgulara erişilebilmektedir (Stefanini, 2004, Wieczorek ve ark., 2006).

Bu yüsek lisans tezi kapsamında Adana'ya 49 km. uzaklıkta bulunan Karaisalı İlçesinde meydana gelmiş olan Haç Gediği heyelanının (Şekil 1.4, 1.5 ve 1.6) Zemin Mekaniği deneyleri eşliğinde ağaç halkaları (dendrokronoloji) kullanılanarak yaşlandırması yapılmış ve heyelanın kronolojik gelişimi ile birlikte heyelanın aktivitesi incelenmiştir.

Arazide heyelanın detay haritası oluşturulmuş ve Jacop çubuğu yardımıyla kesit alınmıştır. Alman örselenmemiş zemin numuneleri ile heyelanın meydana

geldiği zeminin mühendislik özellikleri ortaya konmuş, örselenmiş numuneler ile de zeminin indeks özellikleri belirlenmiştir.

Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğünden gerekli izinler alınarak belirlenen bazı kızılçam ağaçları (*Pinus brutia Ten.*) kestirilmiştir. Heyelanın değişik bölgelerinden 1, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 numarası verilen 10 adet ağaç. Heyelan meydana gelmeyen aynı eğim, bakı ve zemin yapısına sahip yakın bir bölgeden kesilen K1, K2, K3 K5, K6, K7, K8, K9, K15 numarası verilen 9 adet ağaç dendrokronolojik anaizlerde kullanılmıştır.




Şekil 1.4. Çalışma alanının uzaktan görüntüsü (Google Earth)




Şekil 1.5. Çalışma alanının yakından görütüsü (Google Earth)




Şekil 1.6. Çalışma alanının yer bulduru haritası (maps.google.com)

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma sahasını içeren çalışmalar genelde Genel Jeoloji ağırlıklı olmakla beraber, özellikle son zamanlarda Mühendislik Jeolojisi çalışmaları da oldukça artmıştır.

Schmidt (1961), 1957–1960 yılları arasında Adana baseninin genel stratigrafisini sistemli olarak çalışmış ve 47 kaya birimi ayırtlayarak adlandırmıştır.

Alestalo (1971), "Dendrochronological interpretation of geomorphic process" başlıklı çalışmasında ilk defa dendrojeomorfoloji terimini kullanmıştır.

İlker (1975), Adana baseninin kuzeybatı kesiminin jeolojisini inceleyerek bölgenin 1/50000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamıştır. Havzanın petrol olanaklarını araştırmış ve bu havzada Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar gelişmiş bütün Formasyonları incelemiştir.

Nazik (1983), Karaisalı dolayındaki Güvenç Formasyonu'nda planktonik foraminiferlere dayanarak yaptığı biyostratigrafik incelemede birim içinde tayin ettiği 22 planktonik foraminiferlere ve ayırtladığı biyozonlar ile çökelin Langhiyen-Serravaliyen yaşında olduğunu saptamış ve ortamsal bir yorum ortaya koymuştur.

Yetiş ve ark. (1986), "Adana havzası Kuzgun Formasyonu'nun fasiyes ve ortamsal nitelikleri" adlı çalışmalarında batıdan doğuya doğru Güvenç Formasyonunun üzerleyen Kuzgun Formasyonu'nun doğuda karasal nitelikte olduğunu, batıya doğru ise sığ deniz ortamına geçtiğini belirtmişlerdir.

Butler (1987), "Teaching General Principles and Applications of Dendrogeomorphology" başklı çalışmasında dendrokronolojik çalışmalarla heyelanların geçmiş hareketleri ve büyüklüklerinin belirlenmesinde hangi yolların izlenebileceğini açıklamıştır.

Çaynak ve ark. (1991), Karaisalı-Karsantı arasındaki karayolunun Çatalan barajı rezervuarında kalması nedeniyle, Burdigaliyen-Serravaliyen yaşlı Güvenç Formasyonu içinde açılan yeni yol yarmasında oluşan düzlemsel kaymanın nedenlerini araştırmışlardır.

Aytuğ ve Kılıç, (1993), Bolu-Mudurnu yakınlarında bulunan Sülüklü Gölün, bir heyelan sonucu oluştuğunu içerisinde dikili kuru durumdaki ağaçlardan

bulmuşlardır. Gölden alman örneklerin son yıllık halkaları 1702-1703 tarihlerine denk gelmiştir. Gölün, bir heyelan sonucunda, bu tarihlerde oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Özçelik ve ark. (1993), Adana baseni Güvenç Formasyonu'nun (Alt-Orta Miyosen) fasiyes ve ortamsal niteliklerini ortaya koymuşlardır.

Özçelik ve Yetiş (1994), Şeyl yapılışlı Güvenç Formasyonu'nun Adana baseninde maksimum kalınlığa eriştiği Karaisalı-Güvenç-Kuzgun (2113 m) ve Çukurköy (108 m) ölçülmüş stratigrafi kesitlerinden yararlanarak planktik foraminifer biyostratigrafisini ortaya koymuşlardır.

Sayarslan ve Öner (1997), Güvenç köyü (Karaisalı-Adana) yakınlarındaki killi seviyelerden alman örneklerinin mineralojik içeriği incelenmiş ve bu örnekler üzerinde yapılan testlerde tuğla endüstrisi için uygunluğu araştırılmıştır.

Gökoğlu (2003), "Eğlence (Karaisalı-Adana) Heyelanı" başlığını taşıyan Yüksek Lisans tezinde Güvenç Formasyonu ve onun üzerinde diskordanslı bir şekilde bulunan Eski Alüvyon (Nehir Taraçası) birimlerinin jeoteknik özelliklerini ve bu birimler içerisinde oluşan biri düzlemsel diğeri ise dairesel olan iki adet heyelanı incelemiştir.

Carrara ve O'Neill (2003), Güneydoğu Montana, ABD'de meydana gelen heyelanları dendrokronolojik yöntemlerle tarihlendirerek sismik olaylarla ilişkilerini ortaya koymuştur.

Stefanini (2004), Kuzey Apennine dağlarında (İtalya) meydana gelen karmaşık bir heyelanı denrokronolojik yöntemle analiz etmiştir ve heyelanın geçmiş hareketlerini tespit etmiştir.

Kayhan (2006), "Adana Bölgesindeki Killi Zeminlerin Hassasiyet Özelliği" başlığını taşıyan Yüksek Lisans tezinde Adana bölgesindeki killi zeminlerin hassasiyet derecesini belirleyerek, deprem gibi dinamik koşullarda dayanımdaki düşüş veya artışa bağlı olarak zeminin taşıma gücünde nasıl bir durum meydana gelebileceği ortaya koymuştur. Kayhan çalışmasında heyelanın meydana geldiği Güvenç Formasyonu killerini "hassas değil" olarak nitelemiştir.

# 3.MATERYAL VE METOT

## 3.1. Materyal

Heyelanın meydana geldiği Güvenç Formasyonuna ait killi birimin ayrışmış ve ayrışmamış kesimlerinden alman örselenmemiş, örselenmiş numuneler ile heyelan üzerinden (1, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15) ve yakın çevresinden kestirilen ağaçlar (K1, K2, K3 K5, K6, K7, K8, K9, K15) çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır.

Arazide heyelanın kesitinin alınmasında Jacop çubuğu ve pusula kullanılmıştır. Zeminden örselenmiş ve örselenmemiş numune alımında zemin bıçağı, balmumu, parafin, tülbent vb. numune alma araç ve gereçleri kullanılmıştır.

Laboratuvar aşamasında zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesinde elek seti, hidrometre seti, Casagrande cihazı, plastik limit plakası, piknometre ve ısıtıcı, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısının ($\phi$) belirlenmesinde kesme kutusu deney aygıtı ve numune düzeltme araç-gereçleri kullanılmıştır.

Dendrokronolojik analizlerin yapılmasında heyelan üzerinden ve yakın çevresinden kestirilen ağaçları yaşlandırmak amacıyla LINTAB-TSAP ölçüm sistemi (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarının eşleştirme (crossdating) işlemine tabi tutulması için COFECHA, standartlaştırma işlemine tabi tutulması için ARSTAN programı kullanılmıştır.

Dendrokronolojik analizlerin sonuçlarının değerlendirilmesinde Karaisalı Meteoroloji İstasyonundan alman 1950-2002 arasındaki yağış verileri kullanılmıştır.

## 3.2. Metot

Bu yüksek lisans çalışması; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları (zemin mekaniği ve dendrokronolojik analizler) ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. LINTAB-TSAP ölçüm sistemi

### 3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar

Bu aşamada ilk önce çalışma alanına ait jeolojik haritalar temin edilmiş ve bu haritalar üzerinde heyelanın meydana geldiği birimin jeolojik özellikleri irdelenmiştir. Dendrokoronolojik analizlerin sonuçlarıyla korele edilmek üzere Karaisalı Meteoroloji İstasyonundan 1950-2002 arasındaki yağış verileri alınmıştır. Daha sonra literatür taraması yapılarak önceki çalışmalar derlenmiştir.

### 3.2.2. Arazi Çalışmaları

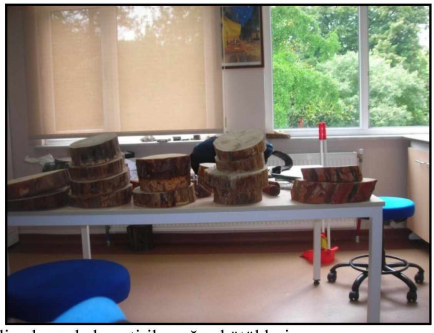
Arazi çalışmalarında, kaymanın gerçekleştiği birim (Ayrışmamış Güvenç) ve üzerinde yer alan (Ayrışmış Güvenç) birimlerden kıvam limitleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizinde kullanılmak üzere örselenmiş ve kesme kutusu deneylerinde kullanılmak üzere örselenmemiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler

standartlara uygun olarak izole edilmiş ve taşımaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2).

Dendrokronolojik analizler için kayan kütlenin belirli kesimlerinden ve heyelan bölgesine yakın olan kaymaya uğramamış olan yerlerden seçilen ağaçlar Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğünden gerekli izinler alınarak kestirilmiştir. Laboratuvara getirilen ağaç kütükleri marangoz atölyesinde inceltilip yüzeyleri zımparalanarak halkalarının net bir biçimde görülmesi sağlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Örselenmemiş numunenin balmumu-parafin karışımıyla izole edilmesi



Şekil 3.3. Analize hazır hale getirilen ağaç kütükleri

### 3.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

#### 3.2.3.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri

Atterberg (Kıvam) limitleri, zemin davranışında belirli limitlerdeki veya kritik aşamalardaki su içeriğini ifade eder. İnce taneli zeminlerin tanımlanmasında Atterberg limitleri doğal su içeriği ile beraber en önemli kavramları teşkil etmektedir. Atterberg limitlerinin zemin laboratuvarındaki önemi büyük olup zeminin özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Örneğin bir zeminin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı veya yağsız oluşu Atterberg limitleri ile belirlenebilir. Atterberg limitleri; likit limit (LL), plastik limit (PL), ve rötre limiti (SL)'den oluşur.

Zeminlerin kıvamı; tanecikleri arasındaki adezyon kuvvetini (veya bağ kuvvetini), yük karşısında kayma direncini ve stabilitesini, suyla değişen katılığını ve hangi su içeriğinde hangi katılığa sahip olacağını belirleyen en temel özelliktir.

Atterberg limitleri ayrıca, tane boyu değerleri ile birlikte zeminlerin sınıflandırılmasında da kullanılır. Likit limit ($\omega_L$, LL), plastik limit ($\omega_P$, PL), doğal su içeriği ($\omega_n$) ve 0,002 mm'den küçük tane boyu yüzde değerlerinden (kil fraksiyonu; J) faydalanılarak zeminin plastisite indisi ($I_P$, PI), likitlik indisi ($I_L$, LI), kıvam indisi ($I_C$, CI) ve aktivite ($A_C$) değerleri hesaplanıp, zemine ait çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir.

##### 3.2.3.1.(1). Deney İçin Numunenin Hazırlanması

Kıvam Limitleri öğrenilmek istenen zemin numunesinden bir miktar alınarak havada kurutulur. Kurutulan zemin 40 no'lu elekten elenerek, yaklaşık 250-300gr numune alınır. Numune bir kap içerisine konularak çok az miktarlarda saf su kademeli olarak ilave edilir ve her defasında iyice karıştırılır. Numune kabı hava almaması için plastik bir örtü ile üzeri kapatılarak desikatör içerisine konur. Burada 24-36 saat süreyle kür için bekletilir.

### 3.2.3.1.(2). Likit Limit Deneyi

Likit Limit (LL); zeminin kıvamlılığının artan su içeriğinde plastik halden viskoz sıvı hale dönüştüğü anda sahip olduğu su içeriği olup taşıma gücünün pratik olarak en az olduğu veya olmadığı kıvama işaret eder.

### 3.2.3.1.(2).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler

Likit limit deneyinde aşağıdaki araç gereçler kullanılır;

- Casagrande (Likit limit) aleti
- Oluk açma bıçağı
- Saf su
- 40 no'lu elek
- Terazi (0,01 gr duyarlıkta)
- Etüv (110 ± 5°C sıcaklıkta)
- Numune kapları (düşük gramajlı ve numaralı)
- Porselen kap
- Esnek Spatula
- Desikatör
- Cam plaka
- Bıçak.

### 3.2.3.1.(2).(b). Casagrande (Likit Limit) Aleti'nin Ayarlanması

Likit limit deneyinin standart bir şekilde yapılabilmesi için, Casagrande aynasının (pirinç kap) sert plastiğe düşüş yüksekliğinin 1 cm olması gerekir.

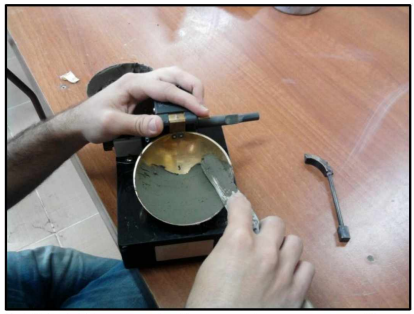
- Bu yükseklik kare şekilli 1 cm en kesiti olan standart oyuk açama bıçağının sapı referans alınır ve ayar vidası ile düşüş yüksekliği ayarlanır.
- Deney aleti ve oyuk açma bıçağı her deneyden önce temiz, kuru ve çalışır durumda olmalıdır.

**3.2.3.1.(2).(c). Deneyin Yapılışı**

Likit limit deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 4318-00 (2009) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyin yapılışı aşağıdaki gibidir:

- Kürünü tamamlamış olan numune desikatörden alınır, üzerine saf su eklenerek bir porselen kap içerisinde spatula ile karıştırılır.
- Hazırlanan bu numuneden bir parça alınarak Casagrande aynası içine konur. Maksimum yüksekliği tabana paralel olarak düzlenir (Şekil 3.4).
- Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir şekilde iki eşit parçaya bölünür. Bu işlem yapılırken oluk açma bıçağı pirinç kap yüzeyine dik olarak tutulmalıdır.
- Likit limit aletindeki kol saat yönünün tersi yönünde saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, zeminin iki parçasının oluk tabanında 13 mm boyunda birleşmesini sağlayacak vuruş sayısı saptanır.
- Su içeriğinin belirlenmesi için, birleşen zemin kısmından kuru ve temiz spatula ile bir miktar (yaklaşık 10 gr) yaş numune alınıp ağırlığı bilinen bir kaba (numune kabına) konulur.
- 0,01 gr duyarlıklı bir terazide Kap+Yaş Numune ağırlığı tartılarak kaydedilir.
- Numune kuruması için 110 ± 5°C'lik etüve konur ve 24 saat beklenir.
- 24 saat sonunda etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su içeriği saptanır.
- Daha sonra kaptaki malzeme porselen kaba alınır ve su içeriği arttırılarak yeni bir vuruş sayısı saptanır. Bu işlemlere 10 ile 50 arasında en az 3 vuruş sayısı saptanıncaya kadar devam edilir. Saptanan her vuruş sayısı için su içeriği belirlenir.
- Her denemede elde edilen su içeriğine karşı vuruş sayısı, yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerinde işaretlenir. Bu işlem için, su içeriği değerleri ordinat ekseni, vuruş sayısı değerleri ise logaritmik apsis ekseni olarak alınır ve karşılıklı değerleri çakıştırılarak işaretlenir. Elde edilen noktalardan uygun biçimde bir

doğru geçirilir ve bu doğru üzerinde 25 darbeye karşılık gelen su içeriği değeri zeminin likit limit (LL) değerini verir.



Şekil 3.4. Numunenin Casagrande aynasına serilmesi

### 3.2.3.1.(3). Plastik Limit Deneyi

Plastik Limit (PL): Zeminin artan su içeriğinde yarı katı halden plastik kıvama geçtiği su içeriğidir. Zemin bu kıvamda yüke maruz kalırsa geçici deformasyondan ziyade kalıcı deformasyon gösterdiğinden dolayı PI değeri plastiklik sınırına işaret eden su içeriğidir.

### 3.2.3.1.(3).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler

Likit limit deneyinde aşağıdaki araç gereçler kullanılır;

- Geniş cam plaka (levha)
- Saf su
- Spatula
- Cetvel
- Numune kapları (düşük gramajlı ve numaralı)
- Terazi (0,01gr duyarlıkta)
- Etüv (110 ± 5$^{o}$C sıcaklıkta)

### 3.2.3.1.(3).(b). Deneyin Yapılışı

Plastik limit deneyi American Society of Testing Materials (ASTM) D 4318-00 (2009) standardına göre yapılmış olup deneyin yapılışı aşağıdaki gibidir;

- Kürünü tamamlamış olan numune desikatörden alınarak üzerine saf su eklenir ve homojen bir duruma gelene ve plastik olana kadar spatula ile karıştırılır.
- Numune cam plaka üzerine konarak avuç içi ile 3 mm çapında silindirik parçalar elde edinceye kadar yuvarlanır. Bu yoğurma ve yuvarlama işlemine 3 mm çapındaki zemin yüzeyinde çatlamalar ve kopmalar meydana gelinceye kadar devam edilir.
- Zemin istenilen özelliklere ulaştığında en az 5 gr'lık numune bir kaba konur.
- 0,01 gr duyarlıklı bir terazide Kap+Yaş Numune tartılarak ağırlığı kaydedilir.
- Numune kuruması için etüve konur ve 24 saat beklenir.
- 24 saat sonunda etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su içeriği ($\omega_n$) saptanır.
- Bütün bu işlemler birkaç defa daha yapılarak su içeriği değerleri bulunur ve bu değerlerin ortalaması alınarak, zemine ait plastik limit (PL) değeri belirlenir.

### 3.2.3.1.(4). Plastisite (PI), Likitlik (LI), Kıvam (CI) Değerleri

Plastisite İndisi (PI): Zeminin plastik kıvamda bulunduğu aralığı temsil ederek hacim değiştirme ve kohezyon özelliklerini belirler. Zeminin su içeriği belli bir miktardan daha fazla arttığında kohezyonu azalır. Bu azalmanın nedeni ise kil tanelerinin etrafındaki suyun bir nevi yağlama etkisi yaratarak tanelerin birbirlerinin üzerinden kaymasına yol açmasından kaynaklanmaktadır.

$$PI = LL - PL \quad (1,1)$$

PI : Plastisite İndisi (%)

LL : Likit Limit (%)

PL : Plastik Limit (%).

Likitlik İndisi (LI): Kıvam limitlerinin laboratuvarda ölçülmesinden sonra arazideki durumunu belirlemek için likitlik indisi hesaplanmalıdır. Böylece zeminimizin arazide kesmeye maruz kaldığında nasıl davranacağını söyleyebiliriz.

$$LI = \frac{W_n - PL}{PI} \tag{1,2}$$

LI : Likitlik İndisi

$\omega_n$ : Doğal su içeriği

PL : Plastik limit

PI : Plastisite indisi

Kıvam İndisi (Konsistans) (CI): Likitlik indisine benzer olarak, zeminin arazide doğal haldeki kıvamının nasıl olduğunu belirler.

$$CI = \frac{LL - W_n}{PI} \tag{1,3}$$

CI : Kıvam İndisi

LL : Likit limit

$\omega_n$ : Doğal su içeriği

PI : Plastisite indisi

Aktivite (Ac): Killerin su içeriğine bağlı olarak hacimlerinde meydana gelen değişmeyi gösteren aktivite; platisite indisinin, zeminin 0,002 mm çapma karşılık gelen yüzde geçen değerine oranı olarak tanımlanır.

$$A_c = \frac{PI}{J} \tag{1,4}$$

$A_c$ : Aktivite

PI : Plastisite İndisi (%)

J : 0,002 mm'den küçük tanelerin ağırlıkça yüzdesi (kil fraksiyonu) (%)

### 3.2.3.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül Ağırlık: Bir zeminin özgül yoğunluğu, belli hacimdeki zemin tanelerinin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve eşit hacimdeki saf suyun havadaki ağırlığına eşit oluşu olarak tanımlanır.

#### 3.2.3.2.(1). Gerekli Araçlar ve Malzemeler

Özgül ağırlık deneyinde aşağıdaki araç gereçler kullanılır;

- Piknometre (250 veya 500ml'lik piknometrelerden uygun olanı)
- Termometre (0,1$^{o}$C hassaslıkta)
- Terazi (0,01gr duyarlılıkta)
- Saf su
- Isıtıcı levha
- Piknometre altlığı (Isıyı dağıtan ve ısınmayı yavaşlatan)
- Vakum uygulayıcı alet (100mm Civa basıncı uygulayabilen)
- 4 nolu Elek
- Etüv (110 ± 5$^{o}$C sıcaklıkta)
- Piset veya damlalık
- Huni
- Yalıtkan eldiven.

#### 3.2.3.2.(2). Piknometrenin Kalibrasyonu

Deney sırasında suyun ağırlığı sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden piknomere+saf su ağırlığını sıcaklığa göre kalibre etmek gerekmektedir.

- Piknometre yıkanır.
- Piknometre ters çevrilip 15-20 dakika beklenerek kuruması sağlanır.

- Piknometre üzerinde bulunan ve yapımcı firma tarafından konulan işarete kadar havası alınmış saf su ile doldurulur. Sudaki menüsküsün alt yüzeyi işarete getirilir.
- Piknometrenin boş kalan kısmı ve dış yüzeyleri kurulanır.
- Piknometre, içerisindeki su ile birlikte 0,01gr duyarlıktaki bir terazide tartılır. Ağırlığı kaydedilir.
- Piknometre içerisinde bulunan suyun sıcaklığının üniform olmasını sağlamak için piknometre birkaç defa baş aşağı getirilir (alt-üst edilir). Suyun sıcaklığı hassas bir şekilde kaydedilir.
- Suyun sıcaklığını mevcut oda sıcaklığının 4-5$^{o}$C altına getirebilmek için piknometre soğuk su kabına konulur. Gerekirse soğumanın hızlandırılması için buzda kullanılabilir.
- Üniform bir sıcaklık sağlanıncaya kadar son üç adımda açıklanan işlemler tekrarlanmalıdır.
- Piknometredeki suyun soğuması ile hacmi azalacağından, azalma miktarı kadar su ilave edilerek menüsküs tabanının tekrar piknometrede bulunan işaretin üzerine teması sağlanır.
- Kalibrasyon eğrisinin çizilmesinde kullanılacak üçüncü bir nokta için piknometre ve içerisindeki su ısıtılarak mevcut oda sıcaklığının yaklaşık olarak 5$^{o}$C üstüne çıkarılması sağlanır. Su ısınınca hacmi artacağından su seviyesini sabit tutabilmek için bir miktar suyun boşaltılması gerekilebilir.
- Kalibrasyon eğrisinin çizilebilmesi için yaklaşık 10-15$^{o}$C üstündeki (veya altındaki) sıcaklıklarda ısıtılarak (veya soğutularak) en az 4 nokta (daha fazla nokta daha iyi sonuç verecektir) elde edilir.
- Tüm ölçümlerden sonra sıcaklık apsis, piknometre+saf su ağırlığı ordinat ekseni olmak üzere kalibrasyon eğrisi çizilir.

**3.2.3.2.(3). Deneyin Yapılışı**

Özgül ağırlık deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 854-02 (2003) standartlarına göre yapılmıştır. Bu deney farklı iki metotta yapılabilir.

Birinci metotta zemin fırında kurutulmaz. Özellikle bu metot organik zeminler, yüksekçe plastikler, ince taneli zeminler, tropikal zeminler ve halloysit kili içeren zeminlerde kullanılabilir. Bu tür zeminlerde bu yöntemi uygulama zorunluluğu bulunmamaktadır. İkinci metotta ise zemin 24 saat süreyle etüvde kurutulur. Tüm zemin çeşitleri için uygulanabilir. İkinci metodun yapılışı aşağıda tanımlanmıştır:

- Deneyde kullanılacak numune 24 saat süreyle 110 ± 5°C'lik etüvde kurutulur ve 4 no'lu elekten elenir.
- Numuneden, bu zeminin cinsine ve kullanılacak piknometre hacmine göre Çizelge 3.1'de belirtilen kadar numune alınır. 0,01gr hassasiyetle tartılan bu malzeme huni yardımıyla kalibre edilmiş piknometreye aktarılır.
- Kalibrasyon eğrisinin çizilmesinde kullanılacak üçüncü bir nokta için piknometre ve içerisindeki su ısıtılarak mevcut oda sıcaklığının yaklaşık olarak üstüne çıkarılması sağlanır. Su ısınınca hacmi artacağından su seviyesini sabit tutabilmek için bir miktar suyun boşaltılması gerekilebilir.

Çizelge 3.1. Zemine göre piknometrelere konulması gereken numune miktarları (ASTM D854–02, 2003)

| Zemin tipi | 250 ml'lik piknometre için gerekli numune miktarı (gr) | 500 ml'lik piknometre için gerekli numune miktarı (gr) |
|---|---|---|
| SP, SP-SM | 60 ± 10 | 100 ± 10 |
| SP-SC, SM, SC | 45 ± 10 | 75 ± 10 |
| Silt veya Kil | 35 ± 5 | 50 ± 10 |

- Numunenin üzerine piknometrenin yarısını dolduruncaya kadar saf su eklenir. Böylece piknometrenin ince boyun kesiminde kalabilecek olan malzeme piknometrenin içinde yıkanmış olur.
- Karışım içerisindeki havayı çıkartmak için ya ısıtıcı plaka yardımı ile karışım yavaşça kaynatılır ya da piknometrenin ağzından vakum uygulanır.
- Kaynatma işleminde karışım kaynamaya başladıktan sonra 10-15 dakika süre ile kaynatma işlemine devam edilir. Eğer vakum uygulanıyorsa, vakumun basıncı 100 mm civa basıncını aşmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Her iki

yöntemde de hava kabarcıklarının çıkışını izlemek mümkündür. Kaynama sırasında karışımın taşmamasına dikkat edilmelidir.

- Hava alma işleminin sonunda piknometreye, havası alınmış saf su ilave edilerek menüsküsün tabanının piknometre üzerinde bulunan kalibrasyon çizgisine kadar gelmesi sağlanır. Bu işlem çok yavaş bir şekilde yapılmalı, dökülen suyun türbülans yaparak hava kabarcıkları oluşturmamasına dikkat edilmelidir.
- Piknometrenin dış yüzeyi ve su bulunmayan iç kısımları kâğıt havlu ya da peçeteler yardımıyla kurulanır.
- Piknometre, içerisindeki karışım ile birlikte 0,01gr duyarlıklı terazi ile tartılır ve $W_{psw(Tx)}$ (Piknometre+Kuru Numune+Su) olarak kaydedilir.
- Tartımdan hemen sonra karışım sıcaklığının her noktada aynı olabilmesi için piknometrenin ağzı kapatılarak birkaç defa baş aşağı getirilir (alt-üst edilir). Karışımın sıcaklığı $T_x$ olarak kaydedilir.

### 3.2.3.2.(4). Hesaplamalar

Özgül ağırlık değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır;

$$G_{s(Tx)} = \frac{W_s \times G_{w(Tx)}}{W_s + W_{pw(Tx)} - W_{psw(Tx)}} \qquad (1,5)$$

$G_{s(Tx)}$ : Zemine ait özgül ağırlık

$W_s$ : Kuru numune ağırlığı (gr)

$W_{pw(Tx)}$ : Tx sıcaklığındaki piknometre + su ağırlığı (gr) (EK-3a'daki eğriden)

$W_{psw(Tx)}$ : Tx sıcaklığındaki piknometre + numune + su ağırlığı (gr)

$G_{w(Tx)}$ : Suyun Tx sıcaklığındaki özgül ağırlığı (EK-3b).

### 3.2.3.3. Tane Boyu Analizi

Zemini oluşturan tanelerin boyutu gözle görülemeyecek boyuttan iri blok büyüklüğüne kadar değişik boyutlar gösterir. Zeminlerin katı kısmını meydana

getiren taneler boy ve şekil bakımından farklıdırlar. Zeminlerin tane boyutları çaplarına göre blok, çakıl, kum, silt ve kil olarak isimlendirilir. Zeminin boyut dağılımı gerek yoğunluk gerekse stabilite açısından önemli bir özelliktir.

Tane boyu dağılım deneylerinde amaç, verilen bir zeminde bulunan her tane boyutunun hangi oranda olduğunun saptanması ve sınıflandırılmasıdır.

İri taneli (çakıl ve kum) zeminlerde tane boyu dağılımı önceden saptanmış elek serileri ile elek analizi yapılarak tespit edilir. İnce taneli (silt ve kil) zeminlerde ise tane boyu dağılımı hidrometre yöntemi kullanılarak bulunur. Elek analizi 200 no'lu elek (0,075mm) üzerinde kalan numuneler için uygulanırken, hidrometre analizi ise 200 no'lu elek altında kalan numuneler için uygulanmaktadır.

### 3.2.3.3.(1). Hidrometre Analizi

Bir zeminin içerdiği tanelerin biçimi, boyutu ve bunların yüzde olarak dağılımı, özellikle iri taneli ortamlarda fiziksel ve mekanik özellikleri etkiler. Buna bağlı olarak zeminin sınıflandırılması öncelikle tane dağılımları göz önüne alınarak yapılır.

İnce taneli zeminler olan silt ve killer için hidrometre analizi yapılır. Bu deneyin esası viskoz sıvı içinde düşen küreler için Stoke yasasına dayanır. Stoke yasasında, viskoz sıvı içinde düşen tanelerin nihai hızı tanenin çapma ve süspansiyon halindeki taneler ile sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Düşüş mesafesi ve zamanı bilindiği için tanenin çapı hesaplanabilmektedir.

### 3.2.3.3.(1).(a). Gerekli Araçlar ve Malzemeler

- Terazi (0,01gr duyarlıklı),
- Karıştırıcı (mikser) ve karıştırma kabı (Dakikadaki devir sayısı en az 10000 olan bir elektrik motoru ile dönen düşey bir şaft ucunda metalden yapılmış sökülüp takılabilir pervanelerden oluşan),
- Hidrometre ASTM 151H veya ASTM 152H (hidrometre analizinde kullanılan hidrometreler iki tiptir. Bunlardan birincisi $20^{o}C$'de ve özgül

ağırlığa göre derecelenmiştir. Bu derecelenmeler 0,995-1,030, 0,995-1,040, 1,000-1,060 limitleri arasında olabilir. 20°C'de 1 litrelik süspansiyonun gram cinsinden değerini veren ikince tip hidrometreler ise 0–50 limitleri arasında derecelenmektedir),

- Mezür: Sedimantasyon silindiri (457mm yüksekliğinde, 63,5mm çapında, camdan yapılmış, 1000ml'ye kadar ölçeklendirilmiş ve iki adet),
- Termometre (0,5°C hassaslıkta)
- Elek seti ve temizleme fırçaları
- Sabit sıcaklık banyosu
- Beher (250ml'lik)
- Kronometre
- Piset
- Saf su,
- Sodyum hegza meta-fosfat ($Na_8P_3O_{10}$)
- Cam çubuk veya spatula
- Buharlaştırma kapları
- Etüv (110 ± 5°C sıcaklıkta)
- Su içeriği kabı
- Karıştırıcı kaşık
- Spatula.

**3.2.3.3.(1).(b). Deneyin Yapılışı**

Hidrometre analizi American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2003) standardına göre yapılmıştır. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir:

- Killi zeminler için 50 gr, kumlu zeminler için ise 100 gr etüvde kurutulmuş numune alınır.
- Numunenin üstünü örtecek kadar sodyum hegza metafosfatlı saf su (1000 ml'lik saf suya 40 gr sodyum hegza metafosfat eklenerek oluşturulan

çözeltiden) eklenir, cam çubuk yardımıyla karıştırılır ve numune bu şekilde 24 saat bekletilir.

- Numune saf su kullanılarak karıştırıcı kabı içerisine aktarılır.
- Karıştırıcıya konan bu malzeme daha önceden yapılan kıvam analizi sonucu bulunan plastisite indisine göre aşağıdaki Çizelge 3.2'de belirtilen süre kadar karıştırılır.

Çizelge 3.2. Elektrikli mikser ile karıştırma süreleri (ASTM, D422-63, 2003)

| Plastisite İndisi (PI) | Karıştırma süresi (dakika) |
|---|---|
| PI<5 | 5 |
| 5≤PI≤20 | 10 |
| PI>20 | 15 |

- Karışım saf su kullanılarak mezüre aktarılır ve mezürün 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenir.
- Okumalara başlamadan önce, süspansiyonun bulunduğu mezürün açık ağzı kapatılarak birkaç kez baş aşağı getirilir. Böylece karışımın homojen duruma gelmesi sağlanır. Yaklaşık 60 saniye süreyle bu işlem yapılır ve 0,25., 0,50., 1., 2., dakikalarda hidrometre süspansiyondan çıkarılmadan okumalar alınır. Daha sonra hidrometre süspansiyondan çıkartılarak karışım yukarıda belirtildiği üzere tekrar çalkalama işleminden geçirilerek karışımın homojen hale gelmesi sağlanır ve ilk 2 dakika için yeni okumalar alınır. Aynı zamanlar için birbirine çok yakın son iki okuma dizileri alınıncaya kadar bu işlem sürdürülür.
- Karışımın sıcaklığı ölçülür.
- Bu işlemden sonra süspansiyon tekrar karıştırılır ve ilk 2 dakika için okuma alınmadan bundan sonraki aşamalarda 5., 10., 20., 30. dakikalarda ve bunu takip eden 1., 2., 4., 8., ve 24. saatlerde hidrometre ve sıcaklık ölçümleri yapılır.

### 3.2.3.3.(1).(c). Hesaplamalar

Deney sırasında kaydedilen hidrometre okumaları için düzeltme yapmak söz konusudur. Hidrometreler belli bir sıcaklıkta (örneğin 20°C gibi) kalibre edilirler. Düzeltme için deney süresince her bir hidrometre okumasının alınması sırasında mezürün içindeki suyun ölçülen sıcaklığı baz alınır. Daha sonra EK-5a'daki eğriden bu sıcaklığa karşılık gelen hidrometre düzeltme katsayısı belirlenir ve alınan hidrometre okumalarından düzeltme katsayısının çıkarılması ile düzeltilmiş hidrometre okuması elde edilir.

$$r = r_a - d \tag{1,6}$$

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması,

$r_a$ : Deney sırasında süspansiyondaki hidrometre okuması,

d : Hidrometre düzeltme değeri (EK 5a'daki eğriden bulunur).

Elde edilen ölçüm değerleriyle tane çapı hesabı iki şekilde yapılır. Bunlardan birincisi ilk 2 dakikadaki ölçümler için tane çapı hesabı, ikincisi ise 2. dakikadan sonraki ölçümler için tane çapının hesabıdır.

- İlk 2 dakikadaki ölçümler için tane çapı hesabı;

Stoke kanuna göre sıvı içindeki serbest düşen bir kürenin hızı aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_k) \times 980}{30 \times \mu} \times D^2 \tag{1,7}$$

$$D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r}{t}} \tag{1,8}$$

- 2 dakikadan sonraki ölçümler için tane çapı hesabı;

$$D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r - (V_H / 2 \times A_j)}{t}} \tag{1,9}$$

D : Tane çapı (mm),

$\mu$ : Deney sıcaklığındaki suyun viskozitesi (poise) (EK-3a'dan),

$\gamma_s$ : Tane birim hacim ağırlığı (gr/cm$^3$),

$\gamma_w$ : Deney sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm$^3$) (EK-5c veya EK-5d'den),

$Z_r$ : Süspansiyonun yüzeyinden hidrometre hacim merkezine olan uzaklık (cm) (EK-5b'deki grafikten),

$V_H$ : Hidrometre hacmi (cm$^3$) (67 cm$^3$),

$A_J$ : Mezürün kesit alanı (cm$^2$),

t : Toplam geçen zaman (sn).

- Geçen yüzde hesabı

Herhangi bir hidrometre okumasına karşılık bulunan D tane çapmdan daha küçük tanelerin yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla bulunur;

$$N=((100000/W_s)* G_s /( G_s - \gamma_w))*(r- \gamma_w) \quad (2,1)$$

N : D tane çapmdan küçük tanelerin yüzdesi (%),

$G_s$ : Numunenin özgül ağırlığı,

$V_{sp}$ : Süspansiyonun hacmi (cm$^3$),

$W_s$ : Kuru zemin ağırlığı (gr),

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması,

$r_s$ : Sudaki hidrometre okuması (süspansiyon ile aynı sıcaklıkta).

**3.2.3.3.(2). Elek Analizi**

Elek analizi American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2009) standardına göre yapılmış olup, deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir;

- Mezürdeki karışım malzeme kaybedilmeksizin elek setinden geçirilir.
- Elek setindeki numune alttan temiz su akıncaya kadar saf su ile yıkanır.

- Yıkanan bu numunenin her eleğin üzerinde kalan kısmı saf su kullanılarak kurutma kaplarına aktarılır ve etüvde 110 ± 5°C'de kurutulur.
- Kuru numune ağırlıkları bulunur.
- Geçen yüzdeler bulunarak granülometri eğrisi (tane boyu eğrisi) çizilir.
- Deneyin başındaki ve sonundaki numune kaybı % 3'den fazla olmamalıdır.

### 3.2.3.4. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi, genellikle kohezyonsuz zeminlerin kayma mukavemetinin saptanması için kullanılır. Zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Zeminlerin kayma mukavemetinin bulunmasına ait deneyler iki grupta toplanabilir.

I. Direkt kesme deneyleri : Direkt kesme, Vane deneyi

II. İndirekt kesme deneyleri: Üç eksenli basınç ve serbest basınç deneyi

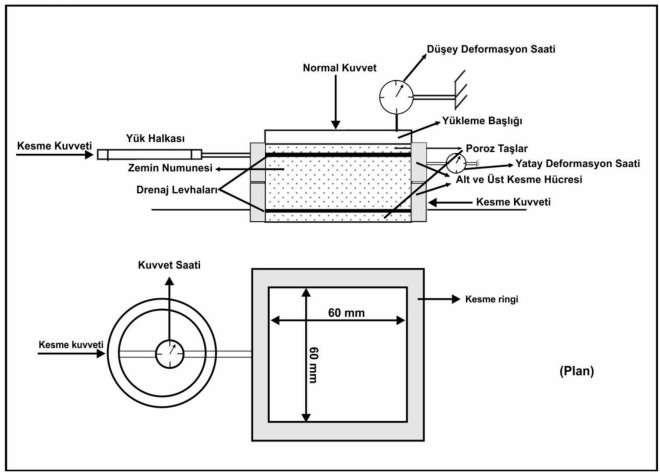
Kesme kutusu deneyinde zemin numunesinin yerleştirildiği kısım, ortasından ikiye bölünmüş, planda kare kesitli madeni bir kutudur. Numune yerleştirilmeden önce alt kesme kutusunun alt ve üst kısmına poroz taş yerleştirilir. Numunenin belli bir normal gerilme altında kayma mukavemeti tespit edilmek istenirse, direkt kesme cihazı altındaki yük askısına ağırlıklar yerleştirilerek numune üzerine gelecek gerekli basınçlar sağlanır. Yük askısına konan her ağırlık numune üzerine genelde on katı olacak şekilde etkimektedir. Kesme kutusunun alt yarısı bilyeler üzerine oturtulmuş olup belirli bir üniform hızla yatay olarak ileriye doğru itilir. Kesme kutusunun diğer yarısı çelik yük halkasına dayanmakta olup bu halkanın deformasyonları okunur ve buradan hesaplamalar ile kesme kuvveti bulunur.

Numunenin konsolidasyona bırakılması durumunda ve kesme olayının devamı boyunca meydana gelen hacim değişimlerini ölçmek için yükün uygulandığı üst kapağın düşey hareketini kaydedecek bir saat (komparatör) alete tespit edilir. Drenajlı deneylerde numuneye giren veya çıkan su poroz taşlardan ve delikli madeni levhadan geçer. Drenajsız deneylerde delikli tip yerine deliksiz levhalar kullanılır.

Bununla beraber drenaj yolunun kısalığı nedeniyle drenajsız deneylerin yalnız düşük permeabiliteli zeminlerde yapılması mümkün olmaktadır. Killer ve kumlar

için yaygın alarak kullanılan kesme kutusu boyutu genellikle 6x6 cm olup numune kalınlığı 2 cm'dir.

- Direkt kesme kutusu deney aleti (Şekil 3.5)
- Numune hazırlama ve su içeriği için değişik büyüklükte kaplar
- 105 °C - 110 °C sıcaklık sağlayan etüv
- Çelik cetvel
- Spatula
- Kıl testere
- Numune alma, hazırlama aparatları




Şekil 3.5. Direk kesme Kutusu deney aletinin şematik olarak gösterimi (Uzuner, 2007'den değiştirilerek alınmıştır)

Zeminlerin kayma direnci parametrelerini tespit etmek üzere laboratuvarda yapılan deneyler başlıca üç gurupta toplanır.

Drenajsız Deneyler (UU): Deney oldukça hızlı yapıldığı için, bunlara "hızlı" deneyler de denir. Bu deneylerde numunenin yüklenmesi ve kesilmesi sırasında drenaja müsaade edilmez. Deney sırasında boşluk suyu basıncı ölçülebilir. Kayma direnci parametreleri toplam veya boşluk suyu basıncı ölçülmüşse efektif gerilmeler cinsinden ifade edilir. Bu tip deneyde, numune kesilmeye başlamadan önce, normal kuvvet uygulanır. Eğer zemin kohezyonlu ve doygun ise ilave boşluk suyu basınçları oluşabilir. Analoji yapılacak olursa üç eksenli UU deneyi gibi tarif edilebilir.

Konsolidasyonlu-Drenajsız Deneyler (CU): Bu deneylerde önce, numune tayin edilen gerilmeler altında konsolide edilir. Konsolidasyon sona erdikten sonra, numune drenaja izin verilmeden (hızlı) kesilir. Kesme sırasında boşluk suyu basınçları ölçülerek, kayma direnci parametreleri efektif gerilmeler cinsinden ifade edilir. Bu deney tipinde normal kuvvet uygulanır ve kesme başlamadan önce numunedeki oturmanın durması beklenir. Bu deney tipi analoji yapılırsa CU üç eksenli deney tipindedir.

Drenajlı Deneyler (CD): Bu deneylerde, yükleme ve kesme sırasında drenaja izin verilir. Konsolidasyon sona erdikten sonra, numune boşluk suyu basıncı oluşmasına izin verilmeksizin "yavaş" olarak kesilir. Böylece efektif kayma direnci parametreleri deney sonunda doğrudan tayin edilmiş olur. Normal kuvvet uygulanır ve bütün oturma tamamlanıncaya kadar kesme deneyine başlanmaz. Daha sonra numune içerisinde boşluk suyu basınçlarının ihmal edilebilir düzeyde seyredebilmesi için kesme hızı çok yavaş bir şekilde uygulanır. Bu deney tipinde üç eksenli CD deneyi ile analoji yapılabilir.

Temeller altındaki killi zeminler genellikle öyle bir hızla yüklenirler ki, üst yapı tamamlandığı anda drenaj henüz olmamıştır. Yapı yükü nedeniyle oluşan boşluk suyu basıncının dağılması uzun zaman alır. Bu durumda, drenajsız deney tercih edilir. Zemin basınçları ve geçici yarmalardaki şev stabilitesi hakkında tahminlerde bulunmak için de drenajsız deneylerden faydalanılır.

İnşa hızı sebebiyle yüksek boşluk suyu basınçlarının oluştuğu toprak barajların projelendirilmesinde, boşluk suyu basınçlarının ölçüldüğü drenajsız deneyleri yapmak doğru olur. Mevcut bir toprak barajda su seviyesinin çabuk indirilmesi, konsolide olmuş zeminin gerilme durumunda ani bir değişiklik yaparak

bölgesel yenilmelere yol açabilir. Böyle durumlarda stabilitenin CU deneyleri ile incelenmesi uygun olur.

Şevler ve istinat duvarları üzerinde toprak basınçları ile ilgili uzun süreli stabilite problemleri genellikle drenajlı deneylere ihtiyaç gösterirler. Drenajlı deneylerde suya doygun killer dahi gözle görülebilir $\phi$ değeri verirler.

Kumlu zeminler son derece geçirgen oldukları için, en hızlı yüklemelerde dahi boşluk suyu basıncı oluşmaz. Bu yüzden kumlu zeminlerin kayma direnci parametreleri genellikle drenajlı deneylerle bulunur (Özüdoğru, 1996'dan değiştirilerek).

### 3.2.3.4.(1). Deneyin Yapılışı

Kesme kutusu deneyi ASTM D 3080-90 (2003) standartlarına göre yapılmış olup deneyin yapılışı ise şöyledir:

- Numune 6x6x2.5 cm kare kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine traşlanarak yerleştirilir.
- Normal yük uygulanması için, alt kısımdaki denge kolu yatay hale getirilerek uygulanacak normal gerilmeye göre ağırlık yük askısına yerleştirilir. Zemin numunesi üzerine düşey bir yük (normal yük) uygulanır.
- Direkt kesme deney aletinin haznesi su ile doldurularak numunenin doygun hale gelmesi için 24 saat süre ile bekletilir.
- Uygulanan kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır.
- Yatay ve düşey deformasyonları ölçebilmek için iki tane komparatör saati yerleştirilir. 1 mm/dak'lık kesme hızıyla numune kesmeye tabi tutulur.
- Kuvvet halkasındaki değerler okunarak yatay ve düşey deformasyon saatlerinden de okumalar alınır. Deney başlangıcından itibaren ilk bir dakika içinde okumalar her 10 sn. de bir yapılır. Diğer okumalar 25 sn. aralıklarla yapılır.

- Gittikçe artan kesme kuvvetine karşın, zemin örneği önce direnir, sonra kesme ringini ayıran düzlem boyunca kesilir.
- Yatay kuvvet uygulandığı halde kuvvet halkasındaki yük değeri artmıyorsa ya da aniden bir azalma olmuşsa numune kesilmiştir sonucuna varılır. Numune kesildikten sonra kesme kutusu boşaltılır.
- Numunenin kesilme işlemi 15 mm sonunda devamlı artmışsa deformasyonun % 15 (9 mm)'ine karşılık gelen değer maksimum kesme gerilmesi olarak kabul edilir. Bu adımlar en az iki numune üzerinde daha tekrarlanır ve kayma direnci hesaplanır.

### 3.2.3.4.(2). Hesaplamalar

Kesme kutusu deneyi sonuçları aşağıdaki formüller yarımıyla hesaplanır;

$A_0$: a x a (2,2)

$\varepsilon_{düşey}$ : Düşey Def. Okuması x Düşey Def. Okuması: 1 birimi (2,3)

$\varepsilon_{yatay}$ : Yatay Def. Okuması x Yatay Def. Okuması: 1 birimi (2,4)

F : Kuvvet Halkası Okuması x Kuvvet Halkası Faktörü (2,5)

Ad : $A_0 - \frac{\varepsilon_{yatay} * 6}{10}$ (2,6)

$\tau$ : $\frac{F}{A_d}$ (2,7)

$\sigma_n$ : $\frac{N}{A_0}$ (2,8)

a: Kesme ringinin kenar uzunluğu (cm)

$A_0$: İlk Alan ($cm^2$)

$\varepsilon_{düşey}$ : Düşey Deformasyon

$\varepsilon_{yatay}$: Yatay Deformasyon

F: Kesme Kuvveti ($kg/cm^2$)

Ad: Düzeltilmiş Alan ($cm^2$)

N: Normal Yük (kg)

Çizilen gerilme deformasyon grafiklerinden her bir normal yük altında ($\sigma_n$) oluşan maksimum kesme gerilmeleri ($\tau_{max}$) bulunur. Bulunan maksimum kesme gerilmeleri ve normal gerilmeler kullanılarak eksenleri eşit ölçekli kırılma zarfı çizilir. Zemine ait kohezyon (c) kırılma zarfının apsis eksenini kestiği nokta, içsel sürtünme açısı ($\phi$) ise kırılma zarfının ordinat ekseniyle yaptığı açıdır.

### 3.3. Yıllık Halka Analizleri

#### 3.3.1.1. Yıllık Halka Genişliklerinin Ölçülmesi

Yıllık halkaların belirgin bir şekilde görülebilmesi için artım kalemlerinin enine yüzeyleri maket bıçağıyla düzeltilmiştir. Ölçüm işlemine geçmeden önce her bir kalem, ölçüm yönünde (özden kabuğa) 10'ar yıllık bölümlere ayrılmıştır. Bu işlem, özellikle çok dar yıllık halkalara sahip ağaçlarda yıllık halkaların atlanmadan ölçülmesini sağlamaktadır. Ayrıca, ölçüm sırasında yapılabilecek herhangi bir hatada kalemin tamamını yeniden ölçmek yerine hata bölüm içerisinde giderilebilmektedir. Örnekler LINTAB-TSAP ölçüm sistemiyle 0,01 mm duyarlılıkta ölçülmüştür (Şekil 3.1). Ölçüm sonuçları TSAP-WIN programında *.rwl uzantılı dosyalar halinde kaydedilmiştir.

#### 3.3.1.2. Eşleştirme

Örnekler ayrı ayrı ölçüldükten sonra eşleştirme (Crossdating) yapılmıştır. Ağaçların çoğu olumsuz çevre koşullarının çok etkin olduğu yıllarda, ya hiç halka oluşturmamakta, ya çok dar ya da sadece ağacın bir tarafında halka oluşturmaktadır. Çevresel koşulların elverişli olduğu bazı yıllarda genç ağaçların ikinci bir halka oluşturduğu görülmektedir (Akkemik, 2004). Özellikle, yaşlı ağaçlarda eksik halka problemine sık rastlanmaktadır. Benzer şekilde yaşam süresi içerisinde ağaçların

bazılarında çeşitli sebeplerle küçük veya büyük yaralar meydana gelebilmektedir. Bu yaralar, meydana geldikleri yıllarda yıllık halkaların ya geniş, ya çok dar olmasına ya da oluşmamasına neden olmaktadır (Köse ve ark. 2010). Eşleştirme, yıllık halka serilerinde eksik ve yalancı halkaların belirlenmesine ve varsa ölçüm hatalarının giderilmesine olanak sağlamaktadır. Eşleştirme işlemi COFECHA programı (Holmes, 1983) kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda programının çalıştırılmasıyla ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir (Grissino-Mayer, 2001).

COFECHA, Dendrokronoloji Program Kütüphanesi'ndeki (DPL) diğer programlar gibi, birkaç ASCII formatındaki veriyi okuyabilen bir program olup, yıllık halka serilerindeki eksik ve yalancı halkaların yerlerini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Programın okuyabildiği formatlar, ITRDB (Uluslararası Yıllık Halka Veri Bankası) tarafından belirlenen halka ölçümündeki ve indislerindeki standart formatlar ve ayrıca Tucson formatlarıdır. Dünyanın farklı ülkelerinde çalışan araştırıcıların oluşturdukları yıllık halka kronolojileri, Uluslararası Yıllık Halka Veri Bankası'nda (ITRDB) toplanmakta ve bu kronolojiler 'http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html internet adresinde araştırıcıların kullanımına sunulmaktadır. Veri bankası, ham yıllık halka genişliği ölçüm değerlerini veya odun yoğunluğu ölçüm değerleri ile yöre kronolojilerine ait indis değerlerini içermektedir. Veri bankasında altı kıtadan 2000'in üzerinde kronoloji bulunmaktadır İndis formatı büyük bir çoğunlukla ana kronolojiler için kullanılırken, halka ölçüm formatı (Tucson veya on yıllık olarak adlandırılan) yıllık halka ölçümlerinde kullanılmaktadır. COFECHA, veri dosyalarını 0.01 veya 0.001 mm doğrulukta okuyabilmektedir. Ölçüm sonuçları her bir örnek için *.rwl uzantılı tek bir dosyada toplanarak bu dosya, programın tarihi bilinen halka serileri sorgulamasında veri olarak girilir. Bütün işlemler seçildikten sonra kullanıcı, COFECHA'yı çalıştırmaya başlar.

COFECHA, korelasyon katsayılarına dayanarak eşleştirme yapmaktadır. Dönüştürülmüş her seri daha sonra, seçilen segment uzunluğu ve örtüşme kullanılarak yapılan korelasyon analizi ile ortalama kronolojiye karşı test edilmektedir. Her bir segment için ortalama kronolojiye karşı test edilen serilerdeki değerler kullanılarak bir korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır. Korelasyon

katsayısı, seçilen güven düzeyinde anlamlı ve pozitif olduğunda doğrulanmaktadır. Korelasyon katsayısı ayrıca, tarihlendirilen yıldan 10 yıl önce (-10 ve 10 yıl sonrasına kadar (+10) alternatif pozisyonlarda yüksek korelasyonlar olup olmamasına bakarak da denetlenmektedir. Bu tarihlendirilen pozisyonun iki yanındaki 10 yıllık kısımlar bir çok çakıştırma hatasının yerini belirlemek ve ayrıca ölçüm sırasında atlanarak veya tekrarlanarak yapılan hataları (10 yıla kadar) yakalamaktadır.

Eğer ana kronolojiyi oluşturan serilerin çoğu, verilen herhangi bir zaman aralığında yanlış tarihlendirilmişse, ana serilerin kendisi doğru tarihlendirilmiş parçalar içermeyebilir. Bu durumda serilerin tamamı veya büyük bir kısmı bu aralıkta düşük korelasyon gösterecektir. Verilen zaman aralığında test edilen serilerin yarıdan fazlası yanlış tarihlendirilmiş olsa bile, örnek büyüklüğü yeterli ise, COFECHA problemli segmentlerin yerini bulmada hala etkilidir. Çünkü doğru tarihlendirilmiş serilerin master serinin bu segmenti üzerindeki sinyalleri daha güçlü olacaktır. Seriler sistematik olarak hatalı tarihlendirilmediği sürece, fazla sayıdaki hatalı tarihlendirilmiş seriye rağmen, doğru seriler işaretlenmezken, COFECHA hata içeren bu serileri hala düzgün bir şekilde tanımlayacaktır.

Hatalı olduğu belirlenen segmentler 'A' veya 'B' harfleriyle işaretlenmektedir. Bu şekilde kullanıcı hangi kalemin hangi segmentinde veya segmentlerinde hata yaptığını görebilmektedir.

'A' işareti bir kaç sebepten dolayı meydana gelebilmektedir:

1) Test edilmekte olan halkaların serileri yöredeki diğer ağaçlarda görülmeyen, ağacın kendinden kaynaklanan bazı rahatsızlıklardan etkilenmiş halka genişliklerine sahip olabilir. Örneğin komşu ağaç üzerine devrilen ve yaralanan bir ağaç bunu izleyen yıllardaki büyümesinde bu zarara tepki verecek problemler yaşayabilir.

2) Yıllık halkalar doğru ölçümü özellikle zorlaştıran, aşırı reçine veya diğer birkaç renk bozulması nedeniyle gözden kaçabilirler.

3) Gençlik halkaları 'A' işaretiyle işaretlenme problemi yaratır, çünkü bu halkalar, çevresel faktörlerden çok yaşa tepki vermektedir.

4) Yıllık halka ölçümleri, örneğin dış kısımda hatalı olabilmektedir. Büyüme ağaç yaşlandıkça ekstrem yavaş olabilir, bu dönem süresince diğer bütün ağaçların halkalarında bulunan sinyali yansıtmayan problem yaratan çok dar halkalar oluşturabilmektedir. Böyle durumlarda 'A' işareti en son segmentlerde gözlenir.

'A' işaretli segmentler bununla birlikte, o dönem için örneklerin büyük bir kısmında bulunan ortak çevresel sinyalleri paylaşmayan halkalarda, gürültüyü göstermektedirler. Bu nedenle işaretlenmiş segmentler önce mikroskop altında değerlendirilip, daha sonra gürültünün büyük bir kısmını yaratan bu halkalar serilerden çıkarılmalıdır. Çıkarılacak halkaları belirlemeye COFECHA yardım etmekte, ayrıca işaretlenen segmentlerde korelasyon katsayısını düşüren bireysel halkaları açıklayan çıktıyı vermektedir.

Eğer 'A' işareti, bir serinin ortadaki bir segmentinde oluşursa ve her iki yanda problemsiz segmentler varsa, halkayı dışarıda bırakmak çok daha zordur. Eğer bir segment, girilen veri setinde bulunan birçok örnek için bir dönem temsil ediyorsa, o zaman işaretlenen segment, olası minimal negatif etkiyle alıkonabilir. Ancak bu dönem için bir kaç örnek bulunmaktaysa, işaretlenen segment diğer örneklerden elde edilen sinyali olumsuz yöne etkileyebilir. İşaretlenmiş segmentteki problemli halkalar daha önceden tanımlanabilir. Olası bir çözüm, test edilmekte olan serilerden biri orijinal serilerin iç kısmını, diğeri dış kısmını temsil edecek şekilde iki ayrı bireysel seri yaratmaktır. Problemli halkalar bu iki yakın seriden uzaklaştırılabilir. Eğer orijinal seriler kısaysa, serilerin bölünmesi istenmez veya mümkün olmayabilir ve serilerin hepsinin veri setinden uzaklaştırılması düşünülebilir.

'B' işaretiyle işaretlenmiş segmentler çok daha ciddi problemlere sahip olabilir. Bu işaretler potansiyel bir eşleştirme hatasını göstermektedir. çünkü COFECHA, -10'dan +10'a kadar olan aralıktaki bir alternatif tarihlendirme pozisyonunda daha yüksek bir korelasyon bulmuştur. Alternatif pozisyon için korelasyon katsayısı, tarihlendirilen pozisyondaki (veya sıfır noktasında) korelasyon katsayısından çok daha yüksek olmalıdır. Örneğin alternatif bir konumdaki 0.54 korelasyon katsayısı, eğer 0 noktasındaki pozisyonundaki korelasyon katsayısı 0.52 ise, anlamlı bir düzeltmeye gerek yoktur. Alternatif pozisyonlar için bunun gibi

yüksek korelasyonlar nadirdir ve ancak basit değişimlerle oluşabilir. Bu işaret değişiklikle oluşturulabilecek alternatif bir pozisyon önerisi sunar.

İki veya daha fazla sayıda komşu segment, noktasından daha güçlü alternatif tarihlendirme pozisyonlarında işaretlendiğinde, 'B' işareti çok daha ciddi bir problemi ifade ediyor olabilir. Bu gibi tarihlendirme hataları 'sistematik hatalar' olarak adlandırılırlar ve eşleştirmenin hatalı olduğunu güçlü bir şekilde gösterirler. Örneğin, üç ardışık segment, +1 alternatif konumunda 0 noktasının en az 2 katı kadar fazla korelasyon katsayılarına sahip olabilir. 0 noktasının +1 ilerisi makul seçenektir ve alternatif pozisyonlardaki üç korelasyon katsayısının da daha yüksek olması gerçeğiyle desteklenmektedir. Bu +1 ileri pozisyonu, görsel veya grafik çakıştırma prosedürü sırasında gözden kaçan bir eksik halkayı göstermektedir (Güner, 2010).

### 3.3.1.4. Standartlaştırma

Ağaçların büyüme ve gelişmeleri ile çevresi arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, yıllık halka oluşumları sırasında, ağacın yaşma, bulunduğu ortamın toprak koşullarına, bakısına, eğimine ve kapalılık durumuna göre yıllık halka genişliklerinde uzun dönem trendleri görülmektedir. Bu trendlerin ortadan kaldırılması ve kronolojilerin standart hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Standartlaştırma işlemi için mutlak halka genişlikleri grafiğine en uygun regresyon eğrisi geçirilir. Daha sonra indis değerleri elde edilir. İndis değerleri iki şekilde elde edilmektedir: Birincisinde gerçek değerlerin, regresyondan elde edilen değerlere bölünmesiyle, ikincisinde de gerçek değerlerden regresyondan elde edilen değerlerin çıkarılmasıyla indis değerleri elde edilmekte ve kronoloji standart hale dönüştürülmektedir (Güner, 2010).

$$\mathrm{It} = \frac{Wt}{\mathrm{Yt}} \quad \text{(Bölme Yöntemi)} \qquad (2,9)$$

$$\mathrm{It} = \mathrm{Wt} - \mathrm{Yt} \quad \text{(Fark Yöntemi)} \qquad (3,1)$$

$I_t$ = t yılındaki halka genişliği indisini,

$W_t$ = t yılındaki ölçülen yıllık halka genişliğini,

$Y_t$ = regresyondan elde edilen t yılındaki değeri

ifade etmektedir. İndis değerleri kullanılarak çizilen kronolojilere standart kronolojiler denmektedir. Bu çalışmada standartlaştırma işlemi ARSTAN programı kullanılarak yapılmıştır.

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

## 4.1. Genel Jeoloji

### 4.1.1. Güvenç Formasyonu (Tgü)

Birim Schmidt (1961) tarafından adlanmıştır. Büyük çoğunluğu koyu gri, yeşilimsi gri renkli şeylden oluşan birim içerisinde %10 veya daha az, ince kumtaşı-silttaşı-killi kireçtaşı ve yer yerde kıt karbonlu şeyl düzeyleri bulunur. Sedimanter yapı olarak konvolüt ve paralel laminalanma, seyrek olarak ta içerisindeki kumtaşı bantlarında kaval yapıları bulunmaktadır. Birimin kalınlığı 20-3230 m arasında değişmektedir (Schmidt, 1961; İlker, 1975). Formasyon tabanda Karaisalı ve Kaplankaya formasyonları, tavanda ise Kuzgun formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Formasyonda tespit edilen fosil topluluklarına göre formasyonun yaşı Burdigaliyen-Serravalliyen olarak verilmiştir (Nazik, 1983).

### 4.1.2. Kuzgun Formasyonu (Tkü)

Birim Schmidt (1961) tarafından adlanmıştır. Schmidt, Kuzgun formasyonu ile Adana grubunun Memişli kumtaşı ve bununla yanal geçişli olan diğer üyeleri bir arada gözeterek Kuzgun formasyonu adı altında incelenmiştir. Formasyonun tabanında sığ denizel-karasal nitelikli asfasiyeslerden oluşma Kuzgun üyesi bulunup üzerinde ise Salbaş tüfit üyesi ile Memişli üyesi yer almaktadır (Yetiş ve ark., 1991).

#### 4.1.2.1. Kuzgun Üyesi (Tkuk)

Kuzgun formasyonunun tabanını oluşturan ve başlıca akarsu-sığ deniz çökelleri ile temsil edilen birime Kuzgun üyesi adı verilir. Başlıca; çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmalarından oluşmaktadır (Yetiş ve ark., 1986). Birim kırmızı, kahverengi, alacalı renkli olup, tekne şeklinde çapraz tabakalanma,

düşük açılı çapraz tabakalanma, kaba laminalı, dalga ripilli ve biyoturbasyon yapıları sunmaktadır (Kerey ve ark., 1985). Üyenin kalınlığının; İlker (1975) tarafından 200-1600 m arasında olduğu bildirilmiştir. Yetiş ve ark. (1991)'de 434m kalınlık ölçmüştür. Bu üye tabanda Güvenç formasyonu ile geçişli olup tavanında ise Salbaş tüfit üyesi bulunmaktadır (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Formasyonda tespit edilen fosil topluluklarına göre formasyonun yaşı Serravalliyen-Tortoniyen olarak verilmiştir (Yetiş ve ark., 1991).

#### 4.1.2.2. Salbaş Tüfit Üyesi (Tkus)

Birim Yetiş ve ark. (1991) tarafından MTA projesi kapsamında adlanmıştır. Tabanda açık gri renkli volkanoklastik kumtaşı-çakıltaşı (yaklaşık 1m) ile başlamaktadır. Üyenin esasını oluşturan ana tüfit kütlesi açık gri-kirli beyaz renkli, kil ve mil içeren, yer yer biyotit ve kıt mafik mineralli tüfit veya volkanoklastik miltaşı yapılışlıdır. Bazı kesimlerde belirgin, düşük açılı, yayvan çapraz tabakalanmalı olup genellikle çok kalın tabakalı-som görünüşlüdür. Birimin kalınlığı bölgesel olarak 0-10 m arasındadır. Kuzgun formasyonu içerisinde bir kılavuz katman niteliğinde olan bu üyenin taban dokanağı Kuzgun üyesi, tavan dokanağı ise Memişli üyesi ile uyumludur (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Salbaş tüfit üyesi içerisinde bulunan Hipparian sp. olarak tanıtılan dişin Geç Miyosen "Tortoniyen-Messiiniyen"i karakterize ettiği bildirilmiştir. Bölgesel ölçekte düşünüldüğünde Salbaş tüfit üyesi Kuzgun formasyonu içerisindeki konumu ile Tortoniyen evresinde çökelmiş olmalıdır (Yetiş ve ark., 1991).

#### 4.1.2.3. Memişli Üyesi (Tkum)

Schmidt (1961) tarafından Memişli kumtaşı olarak ayırtlanan birim, Yetiş ve ark. (1991) tarafından Kuzgun formasyonu Memişli üyesi olarak adlandırılmıştır. Başlıca akarsu, göl ve sığ deniz çökellerinden oluşan birimin akarsu çökelleri; alacalı renkli, çapraz tabakalı, çakıllı kumtaşı ve kaba kumtaşı ile başlamaktadır. Üzerine ince-orta tabakalı, düşük açılı tekne biçimli çapraz tabakalı kumtaşı ve daha üstte ise

kırmızı-kahve, alacalı renkli silttaşı-çamurtaşı gelmektedir. Sığ denizel çökeller ise seyrek çakıllı ince-orta kumtaşı, silttaşı-çamurtaşı yapılışlıdır. Kumtaşlarında çapraz tabakalanma, paralel laminalanma, dalgalı laminalanma ve belirgin dalga kırıkları yer almaktadır (Gürbüz, 1985; Gürbüz ve Gökçen, 1985). Birimin Çakıt Çayı boyunca ölçülen kesite göre kalınlığı 443 m olup, Schmidt (1961) tarafından 850 m kalınlık verilmiştir. Tabanında Salbaş tüfit üyesi bulunan birim, üzerine gelen Handere formasyonu ile geçişli bir dokanak ilişkisine sahiptir (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Formasyonda tespit edilen fosil topluluklarına göre Kuzgun formasyonunun Memişli üyesi, Tortoniyen-Messiniyen evresinde çökelmiş olmalıdır (Tanar, 1985; Gürbüz, 1985; Gürbüz ve Gökçen, 1985; Gürbüz ve ark., 1985).

### 4.1.3. Handere Formasyonu (Th)

Schmidt (1961) tarafından adlanmıştır. Birim başlıca boz renkli çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı marn yapılışlı olup yer yer alçıtaşı mercekleri içermektedir. Çakıltaşlarında teknemsi çapraz tabakalanma, ince kırıntılılarda ise paralel laminalanma gözlenmektedir. Birimin kalınlığı 120-700m arasındadır. Altta Kuzgun formasyonu üzerinde geçişli bir dokanağa sahip olan birim, üstte Adana baseninin yaygın taraça oluşumları ve yere yer de genç alüvyon ile örtülü bulunmaktadır (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

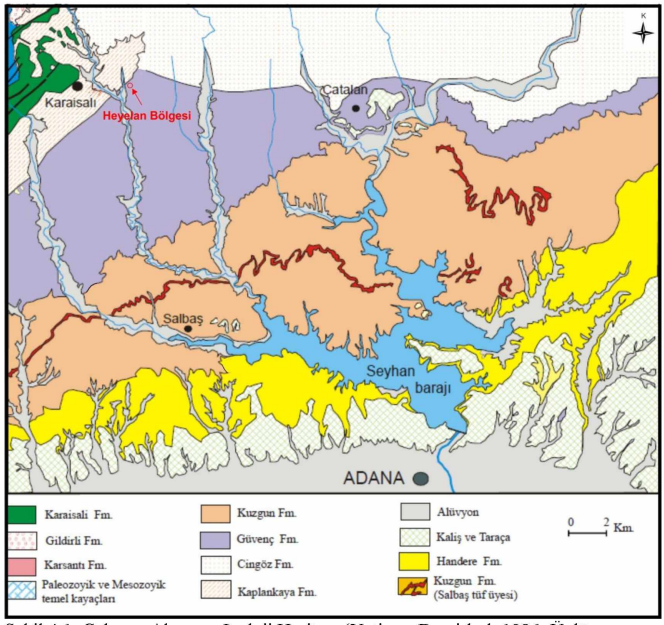
Formasyonda tespit edilen fosil topluluklarına göre formasyonun yaşı Messiniyen-Pliyosen olarak verilmiştir (Gürbüz, 1985; Gürbüz ve Gökçen, 1985).

#### 4.1.3.1. Gökkuyu Alçıtaşı Üyesi (Thg)

Yetiş ve ark. (1991), Handere formasyonu içerisindeki merceksel geometrili, yer yer birkaç kilometre uzunluğa erişen alçıtaşı uzanımlarını Handere formasyonunun Gökkuyu alçıtaşı üyesi olarak adlandırmışlardır. Birimi oluşturan alçıtaşları beyaz-kirli beyaz renkli, yer yer meryemcamı şekilli, iri kristalli, yer yer de ufak taneli ve kesme şekersi görünümlüdür. Birim içerisinde silttaşı-çamurtaşı

arakatmanları bulunmaktadır. Bölgesel olarak kalınlığı 0-20m arasındadır. Alt ve üst kesiminde bulunan Handere formasyonunun kırıntılıları ile yanal ve düşey geçişlidir (Yetiş ve Demirkol, 1986; Yetiş, 1987).

Gökkuyu alçıtaşı üyesi, Handere formasyonu içerisinde bulunduğu yönle Messiniyen-Pliyosen evresinde çökelmiş olmalıdır (Yetiş ve ark., 1991).




Şekil 4.1. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Yetiş ve Demirkol, 1986; Ünlügenç, 1993'den; değiştirilerek alınmıştır).

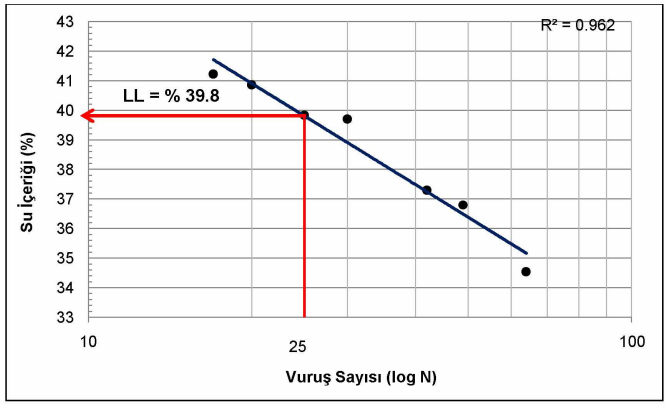
## 4.2. Zeminlerin İndeks ve Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi

### 4.2.1. Zeminlerin İndeks Özellikleri

#### 4.2.1.1. Atterberg (Kıvam) Limitleri Deneyleri

Kıvam limitlerinin belirlenebilmesi için American Society of Testing Materials ASTM D 4318-00 (2003) standardına göre Casagrande likit limit cihazı kullanılmıştır.

Buna göre likit limit (LL), % 39,8 ve plastik limit (PL), % 19,6 bulunmuştur (Şekil 4.2). Bu değerlerden de plastisite indisi (PI) değeri, % 20,2 bulunarak, zeminin plastik özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Kıvam limitleri verileri ve hesaplamaları EK-2'de verilmiştir

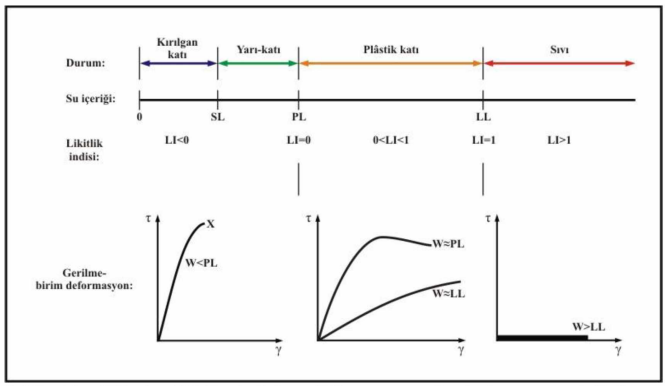



Şekil 4.2. Likit limit (LL) değerinin bulunması

Çizelge 4.1. Plastisite derecesinin plastisite indisine (PI) göre belirlenmesi (Leonards, 1962)

| Plastisite İndisi: PI (%) | Plastisite Derecesi | Kuru Dayanım |
|---|---|---|
| <5 | Plastik değil | Çok düşük |
| 5-15 | Az plastik | Düşük |
| 15-40 | Plastik | Orta yüksek |
| >40 | Çok plastik | Yüksek |

Kesme kutusu deneyi örselenmemiş numunelerinin başlangıç su içeriği değeri ortalamaları alınarak, zemine ait doğal su içeriği ($\omega_n$), % 12,92 olarak bulunmuştur. Bu değer kullanılarak zemine ait likitlik indisi (LI), -0,33 ve kıvam indisi (CI), 1,33 bulunarak zeminin arazideki kıvamı belirlenmiştir. LI değerine göre zemin arazide kırılgan-katı durumdadır (Şekil 4.3), CI değerine göre ise arazideki doğal su içeriği likit limit değerinden küçüktür (Çizelge 4.2).




Şekil 4.3. Killerin likitlik indisine (LI) göre sınıflandırılması ve değişik su içeriklerinde zeminin gerilme-birim deformasyon tepkileri (Holtz ve Kovacs, 1981'den değiştirilerek)

Çizelge 4.2. Killerin kıvam indisine (CI) göre sınıflandırılması (Aytekin, 2004)

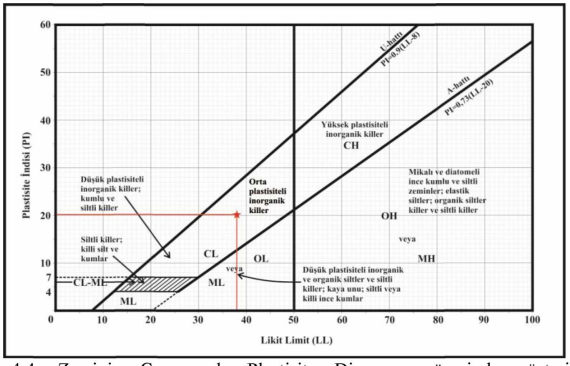
| Kıvam İndisi (CI) | Sınıflama |
|---|---|
| CI=0 | Zemin likit limittedir |
| 0<CI<1 | $W_n$<LL |
| CI=1 | Zemin plastik limittedir |
| CI>1 | Zemin yarı katı veya katı |

Tane boyu analizi neticesinde elde edilen ağırlıkça kil yüzdesi değeri kullanılarak da zemine ait Aktivite ($A_C$), 0,687 olarak bulunmuş ve zeminin aktif olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Skempton, 1953)

| Aktivite ($A_C$) | Sınıflama |
|---|---|
| $A_C$<0,75 | Aktif olmayan killer |
| 0,75<$A_C$<1,25 | Normal killer |
| $A_C$>1,25 | Aktif killer |

Casagrande plastisite diyagramı (Şekil 4.4) kullanılarak zeminin cinsi CL (düşük plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.




Şekil 4.4. Zeminin Casagrande Plastisite Diyagramı üzerinde gösterilmesi (Casagrande, 1948 ve Howard, 1977'den geliştirilmiştir.)

#### 4.2.1.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Araziden numuneler American Society of Testing Materials ASTM D 854-02 (2003) standardına uygun olarak deneye tabi tutularak zemine ait özgül ağırlık değeri tespit edilmiştir. Bu deney sonucunda zeminin özgül ağırlık değeri (Gs) 2,63 olarak bulunmuştur.

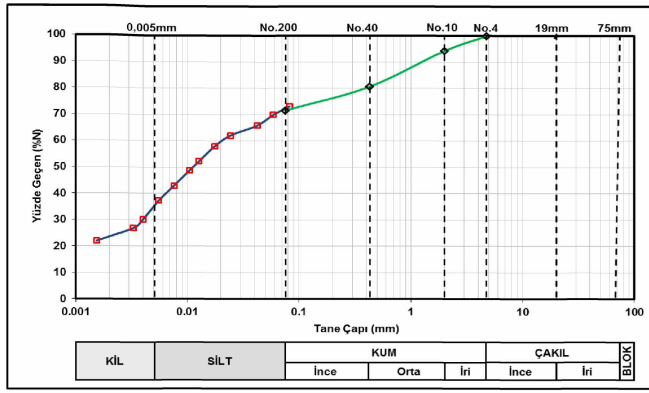
Daha sonra bu değer hidrometre analizi hesaplamalarında kullanılmıştır. Özgül ağırlık deneyi verileri ve hesaplamaları EK-3'te verilmiştir.

#### 4.2.1.3. Tane Boyu Analizi

Çalışma konusunu oluşturan heyelanın meydana geldiği zemine ait tane boyu oranlarını belirlemek amacıyla, American Society of Testing Materials (ASTM) D 422-63 (2003) standardına uygun olarak tane boyu analizi yapılmıştır. Bu standart gereği % kil ve silt oranları hidrometre analizi ile % kum ve çakıl oranları ise elek analizi sonucu bulunmuştur. Daha sonra zemine ait tane boyu eğrisi bu iki analiz sonuçları birleştirilerek elde edilmiştir.

Zemininin tane boyu analizinin (Şekil 4.5), Hidrometre analizi aşaması sonucunda; Kil, % 35,3, Silt, % 36,6, Elek analizi aşaması sonucunda; İnce Kum; % 8,6 Orta Kum; % 13,6 İri Kum; % 5,60, Çakıl; % 0,24 olarak bulunmuştur.

USCS zemin sınıflamasına (Ek-4) göre tane boyu analizi, kıvam limitleri deney sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde zeminin ML (düşük plastisiteli inorganik killi silt) tipi bir zemin olduğu görülmektedir. Zemininin tane boyu analizi verileri EK-5'te verilmiştir.




Şekil 4.5. Tane boyu grafiği

### 4.2.2 Zeminin Mühendislik Özellikleri

Karaisalı ilçesinde bölgeye düşen aşırı yağışlar sonucunda 5 Ocak 2002 tarihinde Karaisalı-Çatalan yolunun 3+000 km.'sinde düzlemsel sığ derinlikli bir heyelan meydana gelmiştir. Heyelan nedeniyle Karaisalı-Çatalan yolu bir süre ulaşıma kapanmıştır. Karayolları ekipleri tarafından yol ulaşıma açılmıştır ve kayan kütle tamamıyla kaldırılmıştır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).

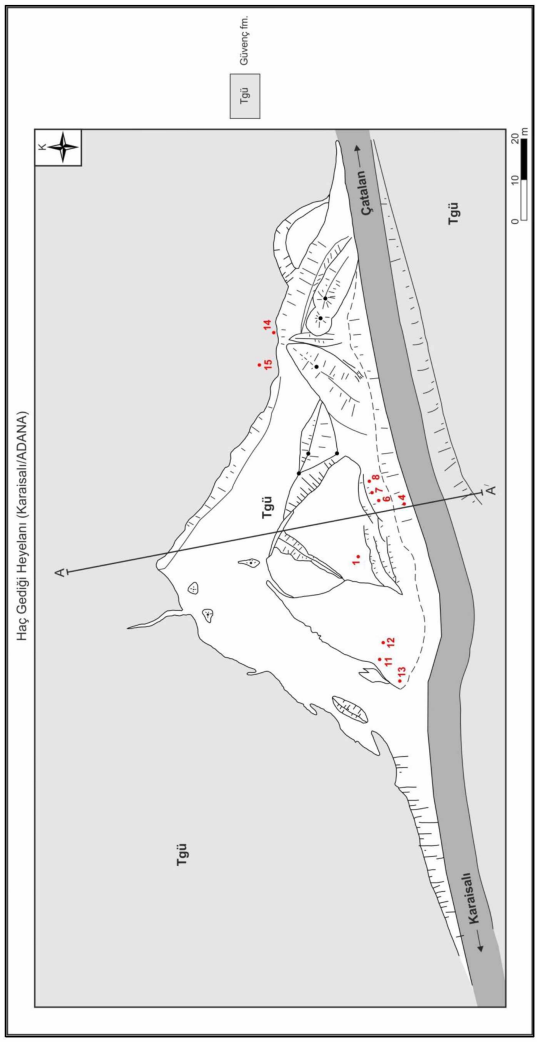


Şekil 4.6. Heyelan bölgesinin taçdan topuğa doğru görünümü

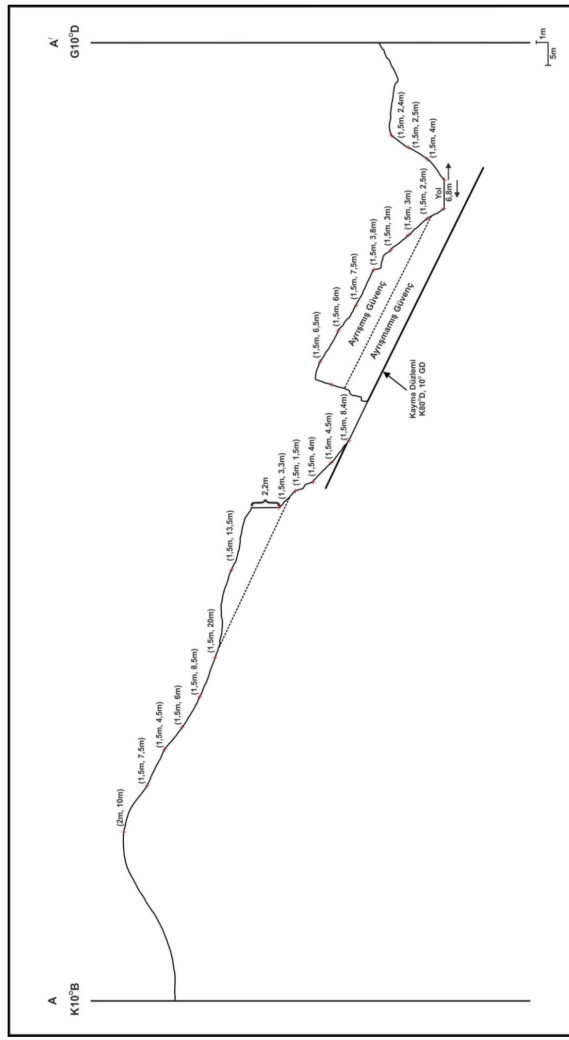


Şekil 4.7. Heyelan bölgesinin genel görünümü

Heyelan meydana geldikten kısa bir süre sonra araziye gidilerek heyelanın detay haritası (Şekil 4.8) ve enine kesiti çizilmiştir (Şekil 4.9). Heyelan Ayrışmamış Güvenç birimi içerisinde meydana gelen $K80^0D$ doğrultulu, $10^0$ GD'ya eğimli düzlemsel sığ bir kaymadır. Heyelan yamaç dışına doğru tabakalanmış olan Güvenç Formasyonunda (Ayrışmamış Güvenç) meydana gelmiştir. Yamaç yağışların da etkisiyle doygun hale gelerek, direncini yitirmiş ve zayıf tabakalanma zonu boyunca hareket etmiştir. Çizilen heyelan kesiti kullanılarak kayma düzlemi üzerinde kalınlığın en fazla olduğu noktadan birimlerin kalınlıkları ölçülmüştür. Buna göre kayan kütlenin maksimum kalınlığı 5,03 m bulunmuştur. Kayma düzleminin üzerinde Ayrışmamış Güvenç birimi 2,46 m bunun üzerinde üzerinde Ayrışmış Güvenç birimi 2,57 m kalınlığa sahiptir.




Şekil 4.8. Haç Gediği Heyelanının detay haritası (Kırmızı noktalar kızılçam örnekleme noktalarını göstermektedir)




Şekil 4.9. Haç Gediği Heyelanının A-A' güzergahında enine kesiti

Büro çalışmaları aşamasında çizilen enine kesitten yararlanılarak heyelanın kütlesinin maksimum olduğu yerde birimlerin tespit edilen kalınlıkları, laboratuvar aşamasında bulunmuş olan birim hacim ağırlıkların ortalaması ile çarpılarak kayma düzlemi üzerinde etkin olan düşey örtü gerilmesi ($\sigma_v$) ve yanal gerileme ($\sigma_h$) hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Birim hacim ağırlık verileri Ek-8'de ve Ek-9'da verilmiştir. Heyelanın zeminin aşırı yağış nedeniyle doygun hale gelmesi bunun neticesinde boşluk suyu basıncının artması sonucunda meydana geldiği düşünüldüğünden hesaplamalarda doygun birim hacim ağırlıklar ($\gamma_d$) kullanılmıştır. Yatay gerilme $\sigma_h = \sigma_v x K_0$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır. $K_0$ değeri için Çizelge 4.5'den yararlanılmıştır. Kaymanın meydana geldiği Ayrışmamış Güvenç birimi sert kil olduğundan $K_0$ katsayısı 0,5 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4. Düşey ve yanal gerilme hesabı

| Birim/Özellik | Doygun Birim Hacim Ağırlık ($gr/cm^3$) $\gamma_d$ | Birime Ait Kalınlık (cm) h | Düşey Gerilme ($kg/cm^2$) $\sigma_v$ | Yatay Gerilme ($kg/cm^2$) $\sigma_h$ |
|---|---|---|---|---|
| Ayrışmamış Güvenç | 2,20 | 246 | 0,541 | 0,541 |
| Ayrışmış Güvenç | 1,90 | 257 | 0,488 | 0,488 |
| Toplam | | 503 | **1,030** | **0,515** |

Çizelge 4.5. Zemin cinsine göre tipik $K_0$ değerleri (Uzuner, 2007)

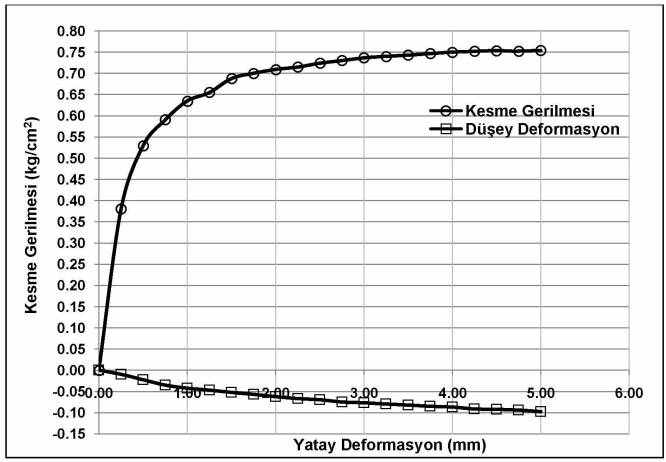
| Zemin Cinsi | $K_0$ |
|---|---|
| Gevşek Kum | 0.4 |
| Sıkı Kum | 0.6 |
| Yumuşak Kil | 0.6 |
| Sert Kil | 0.5 |

#### 4.2.2.1 Zeminin Kesme Direnci

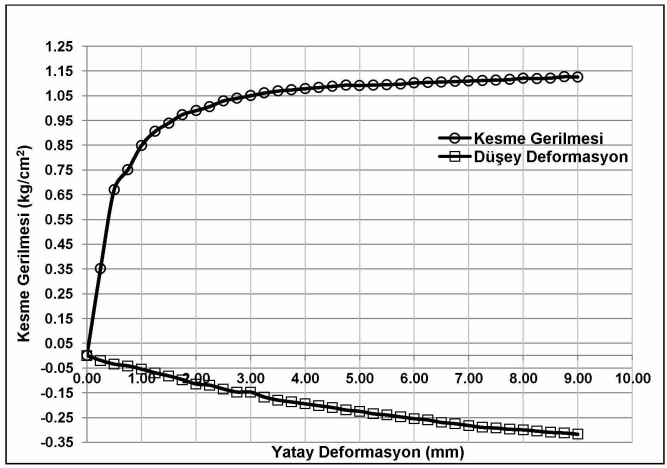
Bu çalışmada, heyelanın içinde oluştuğu Güvenç Formasyonu'na (Ayrışmamış) ait killi siltli zeminin kırılma zarfını elde etmek ve kaymanın

mekanizmasını belirleyebilmek için kesme kutusu deneyi konsolidasyonlu-drenajsız (CU) olarak yapılmıştır. Heyelan kayma düzlemi boyunca ani şekilde gerçekleştiğinden CU kesme kutusu deneyinin arazi şartlarını temsil edeceği düşünülmüştür.

Ayrışmamış Güvenç biriminden numune alma zorluğu nedeniyle 2 adet kesme kutusu deneyi yapılabilmiştir. CU kesme kutusu deneylerinden 6 kg ($\sigma_n$ = 1,667)' lık normal yük altında kesme direnci 0,75 kg/cm$^2$ (Şekil 4.10), 12 kg ($\sigma_n$ = 3,334)'lık normal yük altında kesme direnci 1,10 kg/cm$^2$ (Şekil 4.11) olarak bulunmuştur.

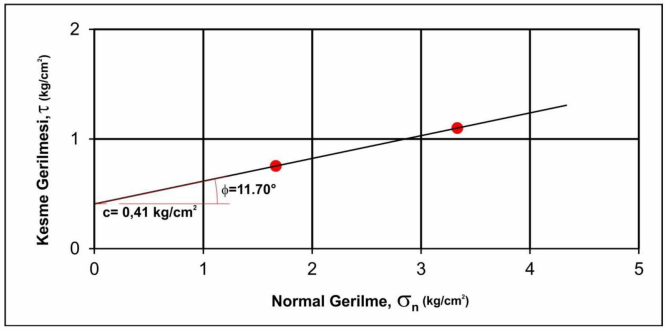



Şekil 4.10. 6 kg'lık yük altında yapılan kesme kutusu deneyine ait gerilme-deformasyon grafiği



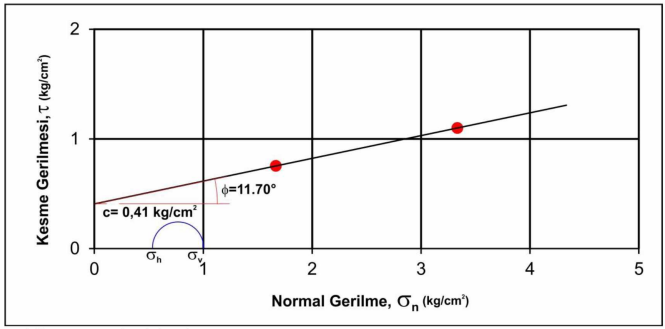

Şekil 4.11. 6 kg'lık yük altında yapılan kesme kutusu deneyine ait gerilme-deformasyon grafiği

Kesme kutusu deneyine ait veriler Ek-6'da ve Ek-7'de verilmiştir. Bu değerler ışığında çizilen kırılma zarfından (Şekil 4.12) zemine ait kohezyon (c) 0,41 kg/cm$^2$, İçsel Sürtünme Açısı 11,7$^0$ olarak bulunmuştur.




Şekil 4.12. Zemine ait kırılma zarfı

Hesaplanan $\sigma_h$ ve $\sigma_v$ değerleri kullanılarak Mohr dairesi çizilmiştir. Şekil 4.13'de görüldüğü gibi çizilen Mohr dairesi kırılma zarfına değmemektedir. Kaymanın oluşabilmesi için dairenin yenilme anı parametreleri kullanılarak çizilmiş olan kırılma zarfına değmesi gerekir.

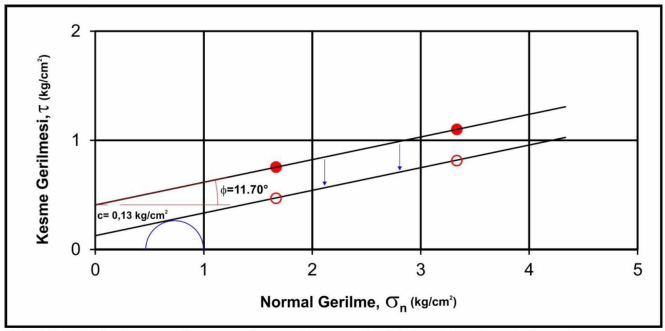



Şekil 4.13. Mohr dairesi

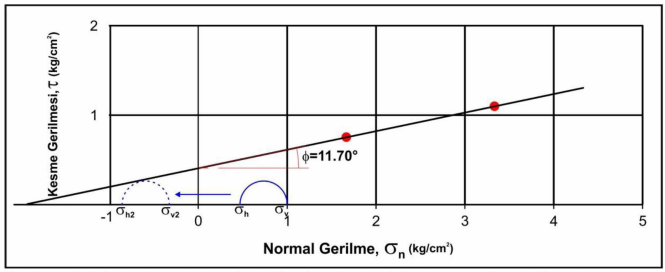
Bu bölgede heyelanın daha önce meydana geldiği yöre halkıyla yapılan görüşmelerden öğrenilmiştir. Bu sebeple heyelanın rezidüel (kalıntı) gerilmeler altında oluştuğu düşünülmüştür. Bu olasılık kırılma zarfının aşağı çekilerek kırılma zarfına değmesi ile mümkündür (Şekil 4.14).

Daha önce heyelan meydana gelen ince taneli (killi, siltli) zeminlerde meydana kaymalarda rezidüel kohezyon ($c_r$) her zaman 0 olmamaktadır. Bu olasılığın gerçekleşmesi durumunda kohezyon (c) 0,13 kg/cm$^2$'ye düşecektir.

Diğer durum bölgeye düşen aşırı yağışların zeminin boşluk suyu basıncını artırması sonucunda heyelanın meydana gelme olasılığıdır. Bu durumda Mohr dairesi boyutları değişmeden sola doğru kayarak kırılma zarfına değecektir. (Şekil 4.15).




Şekil 4.14. Kırılma zarfının aşağıya çekilmesi ile Mohr dairesine değmesi




Şekil 4.15. Mohr dairesinin sola doğru kaydırılarak kırılma zarfına değmesi

Boşluk suyu basıncındaki (u) aşırı artış sonucunda oluşan gerilme yamaçtaki kütlenin düşey gerilmesini ($\sigma_v$), buna bağlı olarak yatay gerilmesini ($\sigma_h$) aşmıştır. Bunun sonucunda da kayma düzlemi boyunca kütle düzlemsel olarak hareket ederek heyelanı meydana getirmiştir. Heyelanın bu ikinci olasılıkla gerçekleşmesi durumu göz önüne alınırsa oluşan aşırı boşluk suyu basıncı düşey gerilmeyi ($\sigma_{v2}$) -0,33 kg/cm$^2$, yatay gerilmeyi ($\sigma_{h2}$) -0,87 kg/cm$^2$'ye düşürecektir.

İncelenen bu iki durum göz önüne alınırsa; daha önceden hareket eden bir heyelan olduğundan meydana gelen kayma rezidüel gerilmeler etkisi altında meydana gelmiştir. Heyelanın meydana geldiği dönemde bölgeye düşen aşırı yağışlar zeminin boşluk suyu basıncını artırmış ve yamaçtaki tutucu kuvvetleri azaltarak

kaymanın meydana gelmesine sebep olmuştur. Görülmektedir ki daha önceki kayma nedeniyle kayma direnci azalmış olan birim yağışlar nedeniyle suya doygun hale gelmiş, bunun neticesinde boşluk suyu basıncı artmış ve stabilitesini kaybederek harekete geçmiştir. Yukarıda bahsedilen iki olasılığın bi arada gerçekleşerek heyelanı meydana getirdiği anlaşılmaktadır.

### 4.3. Yıllık Halka Analizleri (Dendrokronolojik Çalışmalar)

Dendrokronolojik çalışmaların yapılması için heyelan üzerinden kesilen 1, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 ve heyelanın oluşmadığı fakat aynı eğim, bakı ve zemin yapısına sahip yakın bir bölgeden kontrol amaçlı kesilen K1, K2, K3, K5, K6, K7, K8, K9, K15 numaralı disk örnekler (Şekil 3.3) marangoz atölyesinde inceltilmiş, yıllık halkaları net olarak görülecek şekilde zımparalanmış ve İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı Dendrokronoloji Laboratuvarına getirilmiştir.

Heyelanın üzerinden alman tüm kızılçam örneklerinde eksantrik büyüme (özün ağacın ortasında olmaması) ve reaksiyon odunu oluşumu gözlenmiştir (Şekil 4.16). Reaksiyon odunu ağaçlarda, eğim, rüzgar, kar yığılması ve toprak kayması gibi bir yönlü etkiyle gövdenin bir tarafında meydana gelen odun oluşumudur (Akkemik, 2004). Reaksiyon odunu oluşumu aynı zamanda hareketin yönünü göstermektedir (Şekil 4.18). Kayma sonucunda kütle hareketinin ağaca uyguladığı baskı, hareketin geldiği yönde halka genişliklerini daraltmakta tam aksi yönde halka genişlikleri artırmaktadır (Şekil 4.17). Heyelan bölgesine yakın bir bölgeden aynı eğime, aynı bakıya ve aynı zemin yapısına sahip bölgeden alman örneklerin hiçbirinde reaksiyon odunu oluşumu gözlenmemiş olması reaksiyon odunu oluşumunun sebebinin geçmişte meydana gelmiş bir heyelan olduğuna işaret etmektedir. Ağaçların reaksiyon odunu oluşturduğu yıllar belirlenerek bir tablo üzerinde gösterilmiştir (Çizelge 4.6).



Şekil 4.16. "4" ve "K15" numaralı ağaçlardan alınan disk şeklindeki örnekler

Ölçümde kullanılacak kızılçam örnekleri öncelikle kalem ile 10 yıllık bölümlere ayrılarak ağaçların üzerine yazılmıştır. Bölümlere ayırma işlemi ölçümü kolaylaştırmak ve ölçüm yapılırken bir hata oluştuğunda bunu daha kolay tespit edebilmek ve hatanın oluştuğu bölüme geri dönülerek giderilmesi amacıyla yapılmıştır. Bölümlere ayırma işleminden sonra reaksiyon odunu olan ve olmayan yönler belirlenmiş (A ve B) ölçüm yapılacak hat ağaçların üzerine çizilerek iki yönde ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.17). Kronolojiler oluşturulurken bu iki yöndeki ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

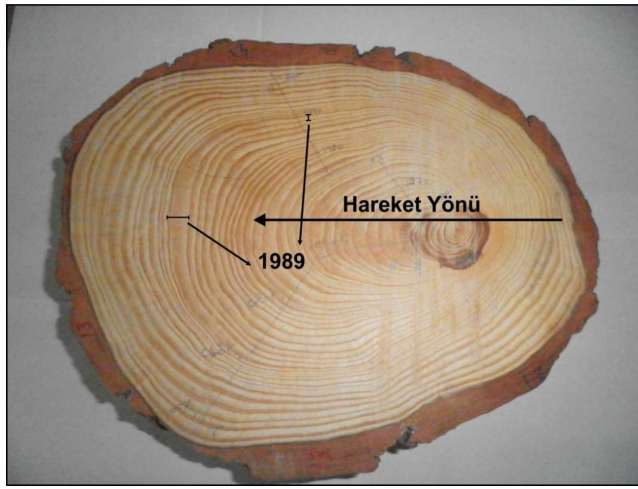



Şekil 4.17 "6" numaralı örnek üzerinde belirlenen ölçüm yönleri (A ve B)

Ölçüm işlemi LINTAB-TSAP sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sistemi polarizan mikroskop ve yazılımın (TSAP-Win) kurulu olduğu bir

bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Disk şeklindeki örnekler sisteme yerleştirilmiştir ve cihazın kolu çevrilerek polarizan mikroskoptan örneğin her bir yıllık haklası tespit edilerek her bir yıl için bilgisayara mouse ile bir işaret koyulmuştur. Ölçümler her örnek için 0,01 mm hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları *.rwl uzantılı dosyalar halinde kaydedilmiştir. COFECHA programı çalıştırılarak örneklerin eksik ve yalancı halkaları belirlenip, ölçüm hataları giderilmiştir.

Elde edilen veriler ARSTAN programı çalıştırılarak standart indise çevrilmiştir. İndise çevirilen halka genişlikleri grafiklerle gösterilmiştir.



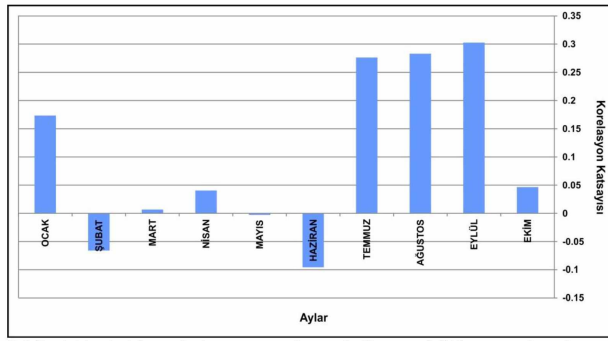

Şekil 4.18. "13" numaralı örnekte 1989 yılı haklasında reaksiyon odunu oluşan ve oluşmayan yönlerdeki halka genişliği ve hareketin yönü

Çizelge 4.6. Ağaçların reaksiyon odunu oluşturduğu yıllar ("R" harfleri o ağaçta reaksiyon odunu oluşumunun varlığını gösterir)

| | Ağaçlar | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Yıllar** | **1** | **4** | **6** | **7** | **8** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** |
| **1960** | | | | | | | | | | |
| **1961** | | | | | | | | | | |
| **1962** | | | | | | | | | | |
| **1963** | | | | | | | | | | |
| **1964** | | R | | | | | | | | |
| **1965** | | R | | | | | | | | |
| **1966** | R | R | | R | | | | | | |
| **1967** | R | R | | R | | | | | | |
| **1968** | R | R | | R | | | R | | R | |
| **1969** | R | R | | R | | | R | | R | |
| **1970** | | R | | R | | | R | | R | |
| **1971** | | | | R | | | R | | R | |
| **1972** | | | | | | | | | R | |
| **1973** | | | | | | | | | | |
| **1974** | | | | | | | | | | |
| **1975** | | | | | | | | | | |
| **1976** | | | R | | | R | | | | |
| **1977** | | | R | | | R | | | | |
| **1978** | | | R | | R | R | R | | | |
| **1979** | | | R | | R | R | | | | |
| **1980** | | | R | | R | R | | | | |
| **1981** | | | R | | R | R | | | | |
| **1982** | | | | | R | R | | | | |
| **1983** | | | | | R | | | | | |
| **1984** | | | | | R | | | R | | |
| **1985** | | | | | R | | | R | | |
| **1986** | | | | | R | | | R | | |
| **1987** | | | | | | | | R | | |
| **1988** | | | | | | | | R | | |
| **1989** | | | R | | | | | R | | |
| **1990** | | | R | | | | | | | |
| **1991** | | R | R | | | | | | | |
| **1992** | | R | R | | | | R | | | |
| **1993** | R | R | R | | | | R | | R | |
| **1994** | R | R | R | R | | R | R | | R | |
| **1995** | R | R | R | R | | R | R | | R | |
| **1996** | R | R | R | R | | R | R | | R | |
| **1997** | R | R | R | R | R | R | R | | R | |
| **1998** | R | | R | R | R | R | R | | R | |
| **1999** | R | | R | R | R | R | R | | R | |
| **2000** | R | | R | R | R | | R | | | |
| **2001** | R | | R | R | R | | R | | | |
| **2002** | | | R | R | | | R | | | |

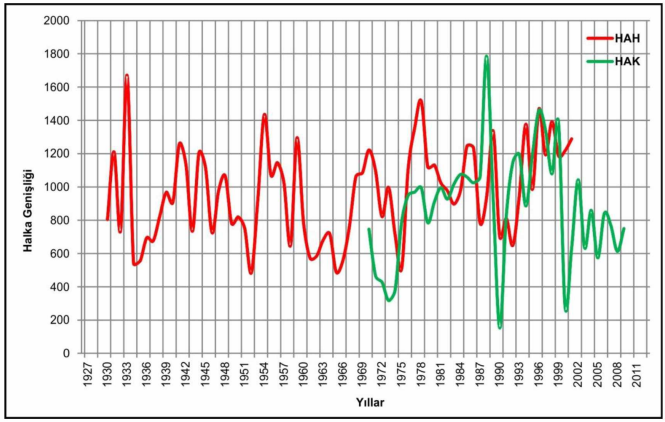
Dendrokronolojik analizlerde 2 adet kronoloji oluşturulmuştur (Şekil 4.20). İlk kronoloji heyelan üzerinden kesilen ağaçlardan oluşturulan kronolojidir (HAH). Yaklaşık 70 yıl uzunluğundadır. İkinci kronoloji heyelanın meydana geldiği bölge ile aynı eğime, aynı bakıya ve aynı zemin yapısına sahip bölgeden kesilen ağaçlarla oluşturulmuş kronolojidir (HAK). Yaklaşık 30 yıl uzunluğundadır. Oluşturulan kronolojiler Karaisalı Meteoroloji İstasyonundan alınan yağış verileriler ile karşlaştırılmıştır. Karaisalı Meteoroloji İstasyonundan alınan 12 aylık yağış verilerinden (Ek-1) yıllık halka oluşumunu en fazla etkileyen aylar olan Ocak-Ekim arasında yer alan veriler kullanılmıştır. Yağış verilerinden Kasım ve Aralık aylarına ait veriler değerlendirmeye tabi tutulmamıştır.

Halka oluşumu ile bölgeye düşen yağışlar arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 4.19). Buna göre en yüksek korelasyon katsayıları Eylül, Ağustos, Temmuz ve Ocak aylarından elde edilmiştir. Şubat ve Haziran aylarında ise negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılardan anlaşılmaktadır ki Şubat ve Haziran aylarında düşen yağışlardan halka genişliğini negatif yönde etkilenmektedir. Bölgede en kurak aylar olan Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında (Ek-1) halka genişliğinin yağış ile pozitif korelasyon içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum halka genişliğini artıran faktörün yağışlardan daha çok mekanik bir etki olduğu görüşünü desteklemektedir.

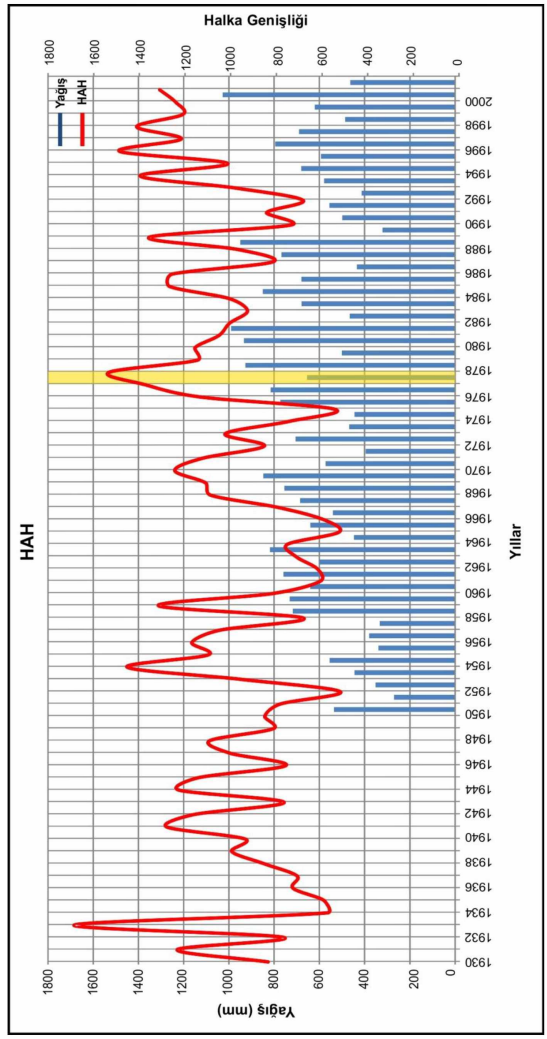



Şekil 4.19 Aylık yağışlar ve ortalama halka genişliği arasında oluşturulan korelasyon katsayılarını gösteren grafik

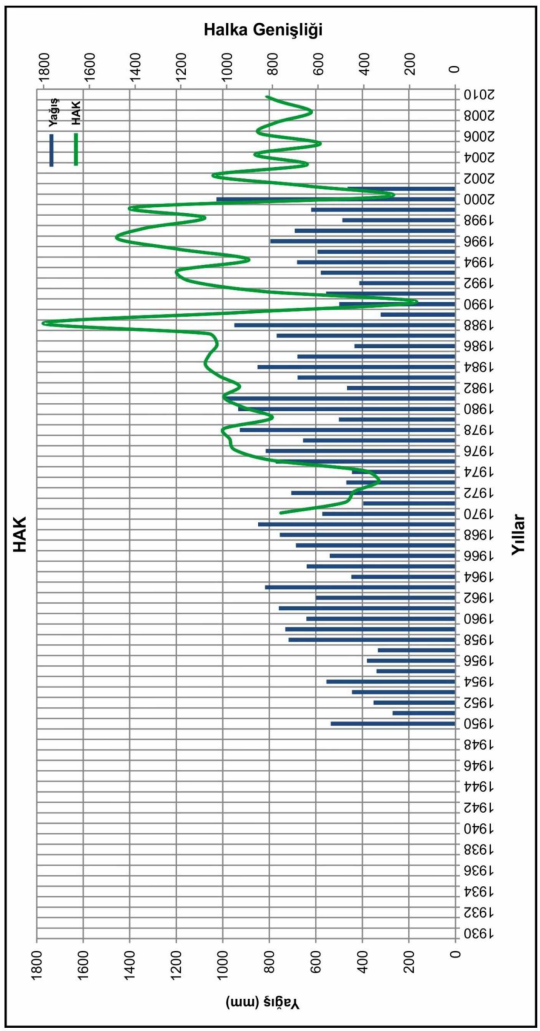
Oluşturulan kronolojiler ile yağış verileri aynı grafik üzerinde gösterildiğinde HAK kronolojsinin yağış verileriyle tam bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir, her halka genişliği o yılın yağış artış veya azalışıyla uyumldur (Şekil 4.22). HAH kronolojisinde ise belirli kesimlerdeki uyumsuzluk dikkati çekmektedir. HAH kronolojisinin HAK kronolojisine göre yağışa daha duyarsız olduğu grafiklerden görülmektedir (Şekil 4.21, Şekil 4.22). HAH kronolojisinde özellikle 1977 yılında bölgeye bir önceki yıldan daha az yağış düşmesine rağmen halka genişliğinin aşırı bir derecede arttığı gözlenmektedir (Şekil 4.21). Eğer ağacın üzerinde herhangi bir fiziksel etki (rüzgar, çığ, heyelan vb.) yoksa halka genişliklerinin yağışla aynı yönde seyretmesi beklenir. HAK kronolojisinde bu durum gözlenmemekle beraber halka genişliğinin yağışla doğru orantılı bir şekilde arttığı ve azaldığı gözlenmektedir. Bu durum HAH kronolojisinde mekanik bir etkinin bu uyumsuzluğu meydana getirdiğini göstermektedir. Halka genişliği ve yağış verileri arasındaki 1977 yılından önce ve sonra bir uyumsuzluğun görülmemesi 1977 yılında bir heyelanın meydana geldiğine işaret etmektedir.




Şekil 4.20 Oluşturulan kronolojilerin aynı grafik üzerinde gösterilmesi

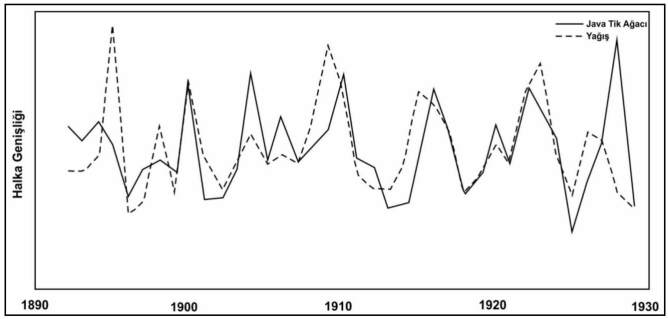



Şekil 4.21. Bölgeye düşen yağışlar ve HAH kronolojisi (Sarı işaretli bölge 1977 yılında yağış ve halka genişliğinin uyumuzluğunu göstermektedir)




Şekil 4.21. Bölgeye düşen yağışlar ve HAH kronolojisi (Sarı işaretli bölge 1977 yılında yağış ve halka genişliğinin uyumuzluğunu göstermektedir)

Berlage 1931'de, Coster'in çalışmalarına dayanarak ilk defa yıllık halka kronolojisini (Şekil 4.23) oluşturmuştur (Worbes 2002). Bu kronolojide de görülmektedir ki normal şartlar altında, yağış ile yıllık halka genişlikleri aynı yöne seyretmektedir. Bu durum düşük bir yamaç eğimine sahip olan ($10^0$), rüzgarın hakim olmadığı bir bölgede meydana gelmiş olan Haç Gediği heyelanından alınan örneklerle oluşturulan HAH kronolojisinde meydana gelen anomalinin heyelan sebebiyle oluştuğunu desteklemektedir.




Şekil 4.23 Java tik ağacı yıllık halkaları ve doğu muson yağışları arasındaki ilişkiyi gösteren kronoloji (Avcı, 2007'den değiştirilerek)

# 5. SONUÇLAR

Daha önce birçok heyelanın meydana geldiği Güvenç Formasyonunda meydana gelen Haç Gediği heyelanında 2002 yılında meydana gelen heyelanın ardından çalışılmaya başlanmıştır. Bölge halkıyla yapılan görüşmelerde daha önce Haç Gediği mevkiinde heyelan meydana geldiği öğrenilmiştir. 2002 yılında meydana gelen heyelanda, kaymanın rezidüel streslerin etkisi altında mı yoksa yağışların etkisiyle zeminin suya doygun hale gelip, boşluk suyu basıncının aşırı artmasıyla mı meydana geldiği ve heyelanın geçmişteki hareketi/harektlerinin yaşı araştırılmaya çalışılmıştır.

Arazide yapılan heyelanın detay haritası ve enine kesiti heyelan özelliklerinin incelenmesine yardımcı olmuştur.

Heyelanın meydana geldiği birimden (Ayrışmamış Güvenç) alınan numunelerle yapılan deneylerle; Likit limiti (LL), % 39,8 Plastik limiti (PL), % 19,6 olarak bulunmuştur. Yapılan tane boyu analizinde zeminin % 35,3 Kil, % 36,6 Silt, % 8,6 İnce Kum, % 13,6 Orta Kum, % 5,60 İri Kum, % 0,24 Çakıl'dan oluştuğu belirlenmiştir. USCS'e göre zeminin ML (düşük plastisiteli inorganik killi silt) olduğu tespit edilmiştir.

Zeminin kayma direnci parametrelerini belirlemek için laboratuarda direkt kesme kutusu deneyi (CU) yapılmıştır. Zemine ait kohezyon (c) 0,41 kg/cm$^2$, İçsel Sürtünme Açısı 11,7$^0$ olarak bulunmuştur.

Çizilen mohr daireleri ile heyelanın gerçekleştiği andaki kayma parametreleri tespit edilmiştir.

Heyelanın geçmiş hareketlerinin zamanını bulabilmek için dendrokronolojik analizler yapılması kararlaştırılmış ve heyelan üzerinden bazı kızılçam ağaçları kestirilmiştir. Kestirilen ağaçlardan dendroronolojik analiz için elverişli olan 1, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 numaralı ağaçlar kullanılmıştır. Daha sonra heyelan bölgesine çok yakın, aynı eğim, bakı ve zemin yapısına sahip bir bölgeden konrol amaçlı kesilen ağaçlardan K1, K2, K5, K6, K7, K8, K9, K15 numarası verilen disk şekilli örnekler kullanılmıştır. Bu örnekler kullanılarak heyelan olan (HAH) ve olmayan (HAK) bölgeye aitm iki adet kronoloji oluşturulmuştur. Oluşturulan bu iki kronoloji

ve Karaisalı Meteoroloji İstasyonundan alman yağış verileri bir arada değerlendirilmiş ve bölgede 1977 yılında bir kaymanın meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

2002 yılında heyelanın meydana geldiği dönemde bölgeye düşen aşırı yağışlar zeminin boşluk suyu basıncını artırmış ve şevin stabilitesini büyük ölçüde azaltmıştır, aynı zamanda heyelanın daha önceden meydana gelmiş olduğu tespit edildiğinden kayma rezidüel stresler etkisi altında gerçekleşmiştir. Bu durumda heyelanın daha önce irdelenen iki koşulun da etkisi altında meydana gelmiş olduğu ortaya konmuştur.

Dendrokronolojik çalışmalar birçok alanda (dendrojeomorfoloji, denroklimatoloji, dendroglasiyoloji, dendroarkeoloji) kullanılmaktadır. Fakat mühendislik jeolojisi zemin mekaniği ve şev stabilitesi perspektifinden değerlendiren bir çalışma ülkemizde daha önce yapılmamıştır. Bu açıdan yapılan bu çalışmanın bir örnek teşkil ederek heyelan ve doğal afetlerin yaşlandırılması, mühendislik jeolojisi ve heyelan önleme çalışmalarına bir destek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Çeşitli yöntemlerle (artım burgusu, disk örnek alma) heyelanlar üzerinden alınacak örneklerle daha uzun kronolojiler oluşturulup, heyelanların geçmişteki hareketleri tespit edilerek, olası doğal afetlerin önüne geçilebilmesi mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR


AKKEMİK, Ü. 2004. Dendrokronoloji İlkeleri - Biyolojik Temelleri – Yöntemleri - Uygulama Alanları, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı, İstanbul.

ALESTALO, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic process: Fennia v.105, p.1-140

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 Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, p. 93-99.

AVCI, M., 2007. Dendrokronoloji ve Coğrafyacıların Kuvaterner Çalışmaları Açısından Önemi. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA VI) 16-18 Mayıs 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul s.116

AYTEKİN, M. 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 2.Baskı, Ankara, 624 s.

AYTUĞ, B. ve KILIÇ, A. 1993. Contribution D'une Étude Dendrochronologique Á La Constatation De L'âge Du Lac Sülük (Bolu), Proceeding 5th Optima Meeting, Istanbul 8-15 September, 1986: 119–233, İstanbul.

BELL, F, G., 2004. (Çeviri: KAYABALI, K., 2006), Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat, Gazi Kitabevi, Ankara, 797s.

BERLAGE, H.P. 1931. On The Relationships Between Thickness Of Tree-Rings Of Djati (Teak) Trees And Rain Fall On Java. Tectona 24: 939-953.

BUTLER, D.R. 1987. Teaching General Principles and Applications of Dendrogeomorphology. 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.

CARRARA, P.E., O'NEILL, J.M. 2003. Tree-Ring Dated Landslide Movements And Their Relationship To Seismic Events İn Southwestern Montana, USA. Quaternary Research 59 (2003) 25–35.

CASAGRANDE, A., 1948. Classification and Identification of Soils, Transactions, ASCE, Vol. 113, pp. 901-930.

CRUDEN, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43, 27-29.

CRUDEN, D.M., VARNES D. J., 1996. Landslides Types and Processes. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (Eds.) Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press, WA, 36-75.

ÇAYNAK, S., YETİŞ, C. ve ERTUNÇ, A., 1991. Karaisah-Karsantı Karayolu Güzergahı Üzerindeki Güvenç Formasyonunda Heyelan Olusumuna Yapı ve Litolojinin Etkisi. Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu-Bildiriler, Adana-Türkiye, ss. 63-69.

DUMAN, T.Y.,2007. Heyelan (Sunum), MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Yayınlanmamış.

ERGUVANLI, K., 1982. Mühendislik Jeolojisi, Seç Kitabevi, İstanbul, 575s.

ERTUNÇ, A., 2003. Mühendislik Jeolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yayın No: 41, S.D.Ü Basımevi, Isparta.

FRITTS, H. C., 1976, Tree Rings and Climate, Academic Press London.

GÖKOĞLU, A., 2003, Eğlence (Karaisalı-Adana) Heyelanı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 86 s.

GRISSINO-MAYER, H.D., 2001, Research Report Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program Cofecha, Tree-Ring Research, Vol: 57(2), 205-221.

GÜNER, H. T., 2010, Sakarya Havzası Akım Verilerinin Dendroklimatolojik Yöntemlerle Rökonstrüksiyonları, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 107 s.

GÜRBÜZ, K., 1985. Karaömerli-Balcalı bölgesi (N Adana) Tersiyer istifinin sedimanter jeolojik incelemesi: Çukurova Üniviversitesi, 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 nothern 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 northen Adana basin-southern Turkey. VIIII the Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy, ss. 138-240, Budapest.

HOLMES, R. L., 1983, Computer-assisted quality control in tree-ring data and measurements. Tree-ring Bulletin,. 43, 69-78.

HOLTZ, R. D. and KOVACS, W. D., 1981. (Çeviri: KAYABALI, 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.

KAYHAN, B., 2006, Adana Bölgesindeki Killi Zeminlerin Hassasiyet Özelliği, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 103s.

KEREY, İ. E., YETİŞ, C., DEMİRKOL, 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 Sedimatology, Abstracts, Spain, 217-218.

KÖSE, N., 2007, Batı Anadolu'da İklim Değişkenliği ve Yıllık Halka Gelişimi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisligi Anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul, 163 s.

KÖSE, N., AYDIN, A., AKKEMİK, Ü., YURTSEVEN, H. ve GÜNER, T., 2010, Using tree-ring signals and numerical model to identify the snow avalanche tracks in Kastamonu, Turkey, Natural Hazard

LEONARDS, G.A., 1962. Foundation Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1136 pp.

NAZİK, A., 1983. Güvenç Formasyonu Stratigrafik Kesitinin Planktonik Foraminiferlerle Biyostratigrafi İncelemesi. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, s. 35.

ÖZÇELİK, N. ve YETİŞ, C., 1994. Adana Baseni Tersiyer istifi Güvenç Formasyonu'nun Planktik Foraminifer Biyostratigrafisi.Yerbilimleri, No: 25, ss. 21-30.

ÖZÇELİK, N., YETİŞ, C., NAZİK, A. ve ŞAFAK, Ü., 1993. Adana Baseni Güvenç Formasyonu'nun (Alt-Orta Miyosen) Fasiyes ve Ortamsal Nitelikleri. 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 115 s.

ÖZÜDOĞRU, K., 1996. Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 160 s.

SAYARSLAN, M. ve ÖNER, F., 1997. Güvenç Köyü (Karaisalı-ADANA) Civarındaki Sedimanların Mineralojik ve Kimyasal Bileşimi. Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği 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.

SCHUSTER, R. L., 1996, Socioeconomic significance of landslides, In Turner, A. K.; Schuster, R. L., editors, Landslides-Investigation and mitigation: National Academy Press; National Research Council Transportation Research Board Special Report 247, p. 12-35

SKEMPTON, A.W. 1953. The colloidal "Activity" of clays. Proceedings of the 3rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering. (1) 57-60.

STEFANINI, M. C., 2004. Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology, Geomorphology, 63: 191–202.

TANAR, Ü., 1985. Körlü (Tarsus-Mersin) bölgesi "Karaisalı, Kuzgun, Memişli Formasyonları'nın Mollusca faunası: Jeoloji Mühendisliği Dergisi, sayı 24, ss. 17-31.

ULUSAY, R., 2002. Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı (Kurs Notu), Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı, Ankara, 177 s.

UZUNER, B. A., 2007. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitabevi, Trabzon, s.370.

ÜNLÜGENÇ, U. C., 1993. Controls on Cenezoic Sedimentation, Adana Basin Southern Turkey. Ph.D. Thesis, University of Keele, Two Volumes, 228 p., England.

ÜNSAL, N., 2005. Heyelanlar ve Kitle Hareketleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi

VARNES, D. J., 1978. Slope Movements, Type And Processses. In Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), Landslide Analysis and Control. Transportation Research Board, National Academy of Scienses, Special Report 176, Washington D.C.

WIECZOREK, G.F., EATON, S.L., YANOSKY, T.M. ve TURNER, E.J. 2006. "Hurricane-induced landslide activity on an alluvial fan along Meadow Run, Shenandoah Valley, Virginia (eastern USA)", Landslides 3: 95-106

WILES G.C., CALKIN, P.E. ve JACOBY, G.C. 1996. "Tree-ring analysis and Quaternary geology: Principles and recent applications", Geomorphology 16(3): 259-272.

WORBES, M. 2002. "One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and an outlook to future challenges", Dendrochronologia 20 (1–2): 217–231.

YETİŞ, C. ve DEMİRKOL, C., 1986. Adana baseni batı kesiminin detay jeolojik etüdü: MTA Raporu derleme no. 8037-8037a, 187 s. (yayımlanmamış).

YETİŞ, C., 1987, Adana baseni Burdigaliyen-Tortoniyen istifinin sedimantolojik gelişimi: Türkiye 7. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, 232-333.

YETİŞ, C., DEMİRKOL, C., LAGAP, H., ÜNLÜGENÇ, U. C., 1991. Kozan-K20 Paftası: MTA 1:100000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 36, 18 s.

http://maps.google.com/ (Erişim tarihi: 05 Nisan 2010)

http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html (Erişim tarihi: 16 Kasım 2011)

http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html (Erişim tarihi: 17 Temmuz 2010)

## ÖZGEÇMİŞ

27.08.1986 tarihinde Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde üniversite eğitimine başladı. 2008 yılı Eylül ayında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2011 Şubat ayında Libya/Trablus'da "Main Infrastructure Works for National Housing Project in Tajura (10680 Units)" isimli projede, Mart 2011-Ekim 2011 tarihleri arasında Ankara-Pozantı Otoyolu Gölcük Kemerhisar Kesiminde Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalıştı. Kasım 2011'den bu yana Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

# EKLER

EK-1 Karaisalı İlçesi Meteoroloji İstasyonuna ait 1950-2002 yılları arası yağış verileri
EK-2 Kıvam limitleri deney verileri
EK-3 Özgül Ağırlık deney verileri
EK–3a BG-1 Nolu Piknometrenin Kalibrasyon Grafiği
EK 3b EK–3b. Suyun Sıcaklıkla Özgül Yoğunluğunun ve Birim Hacim Ağırlığının Değişmesi
EK-4 Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)
EK-5 Tane Boyu Analizi deney verileri
EK–5a Sıcaklığa göre hidrometre düzeltmesi
EK–5b Düzeltilmiş hidrometre okumasına karşılık efektif derinlik düzeltmesi
EK–5c Sıcaklığa bağlı olarak suyun viskozite değerinin değişimi
EK–5d Suyun Sıcaklıkla Yoğunluğunun Değişmesi
EK-6 Kesme Kutusu deney verileri (6 kg)
EK-7 Kesme Kutusu deney verileri (12 kg)
EK-8 Birim Hacim Ağırlık Deney verileri (Ayrışmış Güvenç)
EK-9 Parafin Yöntemiyle Birim Hacim Ağırlık deney verileri (Ayrışmamış Güvenç)
EK-10 1 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-11 4 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-12 6 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-13 7 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-14 8 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-15 11 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-16 12 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-17 13 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-18 14 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-19 15 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-20 K1 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-21 K2 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-22 K3 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-23 K5 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-24 K6 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-25 K7 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-26 K8 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-27 K9 Numaralı ağaca ait kronoloji
EK-28 K15 Numaralı ağaca ait kronoloji

EK-1 Karaisalı İlçesi Meteoroloji İstasyonuna ait 1950-2002 yılları arası yağış verileri

| Y/A | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***50*** | 44.7 | 17.9 | 128.1 | 13.7 | 178.5 | 15.5 | 77.5 | | 18.0 | 41.8 | 5.6 | 29.5 | 570.8 |
| ***1951*** | 104.7 | 22.0 | 81.3 | 0.0 | | 31.1 | | | 31.0 | | 23.7 | 68.0 | 361.8 |
| ***1952*** | 16.5 | 64.5 | 7.0 | 109.0 | 79.5 | 57.5 | 18.0 | | | | 96.0 | 241.5 | 689.5 |
| ***1953*** | 169.0 | 0.0 | 57.0 | 135.0 | 43.0 | 24.0 | | | 8.5 | 8.0 | 29.0 | 71.0 | 544.5 |
| ***1954*** | 75.5 | 56.4 | 71.5 | 89.1 | 148.5 | 24.5 | | | 4.9 | 84.5 | 70.9 | 242.3 | 868.1 |
| ***1955*** | 46.8 | 49.7 | 98.9 | 73.8 | 21.1 | 3.5 | | 27.5 | | 17.8 | 102.6 | 61.8 | 503.5 |
| ***1956*** | 90.9 | 138.3 | 41.3 | 5.3 | 81.2 | | | 7.5 | 15.9 | | 8.0 | 73.6 | 462.0 |
| ***1957*** | 45.6 | 40.5 | 44.5 | 86.1 | 59.0 | 15.9 | | | 15.5 | 26.5 | 27.7 | 332.0 | 693.3 |
| ***1958*** | 331.3 | 45.5 | 116.3 | 15.5 | 48.5 | 103.3 | | 36.2 | 13.1 | 7.6 | | 108.2 | 825.5 |
| ***1959*** | 513.2 | 0.0 | 10.5 | 47.7 | 40.2 | 112.1 | 7.4 | | | | | | 731.1 |
| ***1960*** | | 29.6 | 154.7 | 190.7 | 57.8 | 96.7 | 105.1 | 3.0 | 0 | 3.0 | 89.1 | 81.8 | 811.5 |
| ***1961*** | 68.5 | 323.1 | 96.1 | 52.0 | 71.8 | 38.1 | | | 58.8 | 50.8 | 18.9 | 525.3 | 1303.4 |
| ***1962*** | 110.3 | 181.9 | 35.9 | 71.3 | 91.3 | 8.5 | 0.0 | 1.0 | 0 | 99.4 | 0.5 | 294.6 | 894.7 |
| ***1963*** | 207.8 | 113.6 | 51.7 | 102.1 | 199.2 | 92.0 | 32.0 | | 20.2 | 0.0 | 26.0 | 60.5 | 905.1 |
| ***1964*** | 12.7 | 151.4 | 99.5 | 14.3 | 83.7 | 68.3 | 3.2 | 6.9 | 7.4 | | 150.9 | 89.3 | 687.6 |
| ***1965*** | 145.5 | 197.7 | 98.2 | 107.2 | 24.2 | 34.2 | | 5.4 | | 27.3 | 27.0 | 126.2 | 792.9 |
| ***1966*** | 352.3 | 17.0 | 66.2 | 40.1 | 26.4 | 8.5 | 0.6 | 1.5 | 15 | 12.9 | 43.0 | 248.8 | 832.3 |
| ***1967*** | 100.2 | 65.9 | 182.8 | 100.7 | 76.3 | 9.5 | 10.9 | 0.0 | 85.9 | 53.4 | 92.1 | 167.3 | 945.0 |
| ***1968*** | 254.1 | 71.7 | 125.3 | 11.6 | 110.3 | 92.1 | 1.4 | 12.5 | 55.3 | 20.9 | 304.6 | 391.0 | 1450.8 |
| ***1969*** | 234.2 | 36.4 | 212.1 | 61.1 | 80.5 | 52.8 | 0.2 | 77.3 | 56.2 | 37.3 | 51.3 | 195.5 | 1094.9 |
| ***1970*** | 103.8 | 141.8 | 80.7 | 8.2 | 74.1 | 23.0 | 38.9 | 9.4 | 5.2 | 87.5 | 220.3 | 30.3 | 823.2 |
| ***1971*** | 28.3 | 108.9 | 50.8 | 142.1 | 32.0 | 8.1 | 0.4 | 15.4 | 4.8 | 5.1 | 73.7 | 79.3 | 548.9 |
| ***1972*** | 26.8 | 124.6 | 31.6 | 97.1 | 56.8 | 132.9 | 83.5 | 67.6 | 39.5 | 45.0 | 23.2 | | 728.6 |
| ***1973*** | 37.4 | 100.2 | 52.6 | 67.7 | 26.6 | 112.8 | 46.4 | | 7.1 | 17.9 | 47.8 | 83.9 | 600.4 |
| ***1974*** | 52.6 | 61.9 | 129.8 | 61.3 | 31.2 | 10.6 | | 22.3 | 33.8 | 41.1 | 63.3 | 341.9 | 849.8 |
| ***1975*** | 126.9 | 133.5 | 65.7 | 248.5 | 102.4 | 78.5 | 13.5 | 2.2 | 0.8 | 0.9 | 90.4 | 95.2 | 958.5 |
| ***1976*** | 154.2 | 71.6 | 63.0 | 111.8 | 137.3 | 72.3 | 7.1 | 29.9 | 61.8 | 106.5 | 211.3 | 139.2 | 1166.0 |
| ***1977*** | 134.7 | 45.2 | 80.6 | 147.7 | 142.5 | 45.9 | 16.3 | | 19.3 | 22.6 | 1.4 | 155.8 | 812.0 |
| ***1978*** | 258.4 | 157.6 | 153.1 | 113.6 | 7.4 | 66.6 | 2.5 | 0.1 | 0.1 | 167.5 | 14.1 | 132.6 | 1073.6 |
| ***1979*** | 145.0 | 55.1 | 24.2 | 64.6 | 109.0 | 23.7 | 0.4 | 2.1 | 22.1 | 54.9 | 122.5 | 172.3 | 795.9 |
| ***1980*** | 242.7 | 111.9 | 220.1 | 128.8 | 196.4 | 1.1 | | 0.1 | 0 | 32.5 | 132.6 | 97.2 | 1163.4 |
| ***1981*** | 580.4 | 159.4 | 65.3 | 16.1 | 100.0 | 43.8 | 1.4 | | 3.5 | 20.4 | 69.2 | 292.6 | 1352.1 |
| ***1982*** | 36.9 | 25.2 | 90.2 | 80.8 | 24.6 | 35.3 | 69.2 | 43.5 | 0.9 | 59.5 | 8.7 | 67.3 | 542.1 |
| ***1983*** | 216.4 | 173.3 | 83.8 | 65.6 | 53.3 | 43.1 | 0.2 | 0.0 | 25.3 | 17.6 | 142.8 | 187.8 | 1009.2 |
| ***1984*** | 312.8 | 78.4 | 154.4 | 148.9 | 3.7 | 73.5 | 24.1 | 36.9 | 3.4 | 14.1 | 79.7 | 92.7 | 1022.6 |
| ***1985*** | 157.6 | 128.1 | 89.9 | 66.1 | 96.2 | 18.3 | | | 1.2 | 122.2 | 111.6 | 52.2 | 843.4 |
| ***1986*** | 132.9 | 73.8 | 10.0 | 12.9 | 73.1 | 101.4 | 0.7 | 0.2 | 11.7 | 17.5 | 72.1 | 140.1 | 646.4 |
| ***1987*** | 169.7 | 66.1 | 327.9 | 52.1 | 70.0 | 8.9 | 33.0 | 17.4 | | 23.1 | 92.3 | 369.8 | 1230.3 |
| ***1988*** | 36.3 | 230.1 | 166.2 | 107.4 | 189.5 | 72.8 | 1.7 | 0.2 | 19.1 | 127.0 | 100.5 | 134.6 | 1185.4 |
| ***1989*** | 91.2 | 0.3 | 22.2 | 0.0 | 30.5 | 80.6 | 0.1 | 0.1 | 29.4 | 66.7 | 182.5 | 72.0 | 575.6 |
| ***1990*** | 50.3 | 164.1 | 110.2 | 100.0 | 11.5 | 16.2 | 1.3 | 16.0 | 12.2 | 17.5 | 28.4 | 62.8 | 590.5 |
| ***1991*** | 35.8 | 138.2 | 18.5 | 216.3 | 41.4 | 5.8 | 5.1 | 1.3 | 34.7 | 58.7 | 59.0 | 404.7 | 1019.5 |
| ***1992*** | 2.3 | 44.4 | 32.8 | 26.1 | 94.9 | 130.6 | 40.2 | | 19.7 | 22.0 | 186.2 | 192.6 | 791.8 |
| ***1993*** | 70.3 | 78.7 | 101.4 | 82.3 | 128.5 | 58.4 | 5.0 | 42.1 | 10.2 | 2.0 | 7.9 | 65.4 | 652.2 |
| ***1994*** | 243.5 | 98.0 | 105.6 | 29.0 | 101.2 | 32.8 | 8.4 | 15.6 | 1 | 45.5 | 209.9 | 140.4 | 1030.9 |
| ***1995*** | 84.0 | 72.0 | 100.1 | 91.0 | 57.5 | 50.2 | 78.7 | 24.0 | 8.6 | 26.6 | 286.9 | 74.2 | 953.8 |
| ***1996*** | 248.6 | 88.4 | 169.8 | 101.3 | 52.6 | 16.6 | | 15.1 | 23.3 | 79.7 | 70.6 | 155.2 | 1021.2 |
| ***1997*** | 56.4 | 70.7 | 53.4 | 98.5 | 45.1 | 125 | 12.6 | 38.7 | 18.9 | 171.3 | 85.6 | 179.1 | 955.1 |
| ***1998*** | 71.9 | 5.9 | 118.1 | 83.4 | 108 | 26.1 | 32.2 | 0 | 21.8 | 19.1 | 72.3 | 246.2 | 804.5 |
| ***1999*** | 76.8 | 99 | 99.6 | 115 | 32.2 | 58.4 | 1.5 | 24.3 | 59.5 | 54.7 | 1.2 | 103.3 | 725.0 |
| ***2000*** | 307.7 | 160.3 | 33.8 | 161 | 180 | 14.8 | | 43.6 | 82.8 | 43.4 | 105.9 | 47.7 | 1181.3 |
| ***2001*** | 18 | 136 | 52.2 | 39.1 | 168 | 0.2 | | 2.6 | 10 | 38 | 121.9 | 676.6 | 1262.4 |
| ***2002*** | 173.2 | 97.7 | | | | | | | | | | | 270.9 |
| ***Ort.*** | 144.2 | 99.5 | 1991 | 142 | 92.8 | 91.1 | 80.2 | 80.3 | 48.6 | 21.1 | 17.092 | 21.221 | 42.685 |

| ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ<br>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ<br>ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI | EK-2 |
|---|---|

**KIVAM LİMİTLERİ**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proje adı | Haç Gediği Heyalanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi | | |
| Lokasyon | Karaisalı/ADANA | | |
| Numune alım yeri | | Numunenin alındığı derinlik | 0,5m |
| Numune no | HG1 | Numune tipi | Örselenmiş |
| Numunenin tanımı | Yeşilimsi gri renkli kil | | |
| Deneyi yapanlar | Emre PINARCI, Mustafa BELEN | | |
| Deney tarihi | 10.10.2010 | | |

| | LİKİT LİMİT DENEYİ | | | | | | | PLASTİK LİMİT DENEYİ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deney No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 |
| Kap No | G7 | G8 | G6 | M24 | G12 | G13 | 24 | G19 | G18 | G20 |
| Kap Ağırlığı(gr) | 6.03 | 9.38 | 9.09 | 29.32 | 8.65 | 10.45 | 27.48 | 10.48 | 9.43 | 9.47 |
| Kap+Yaş Numune | 11.25 | 15.05 | 15.76 | 35.59 | 13.26 | 20.04 | 35.03 | 12.89 | 11.28 | 12.56 |
| Kap+Kuru Numune | 9.91 | 13.51 | 13.86 | 33.76 | 11.95 | 17.46 | 32.84 | 12.49 | 10.99 | 12.04 |
| Su Ağırlığı (gr) | 3.88 | 4.13 | 4.77 | 4.44 | 3.30 | 7.01 | 5.36 | 2.01 | 1.56 | 2.57 |
| Kuru Numune Ağ. | 1.34 | 1.54 | 1.90 | 1.83 | 1.31 | 2.58 | 2.19 | 0.40 | 0.29 | 0.52 |
| Su İçeriği (%w) | 34.54 | 37.29 | 39.83 | 41.22 | 39.70 | 36.80 | 40.86 | 19.90 | 18.59 | 20.23 |
| Vuruş Sayısı (N) | 64 | 42 | 25 | 17 | 30 | 49 | 20 | - | - | - |

| ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ<br>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ<br>ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI | EK-3 |
|---|---|

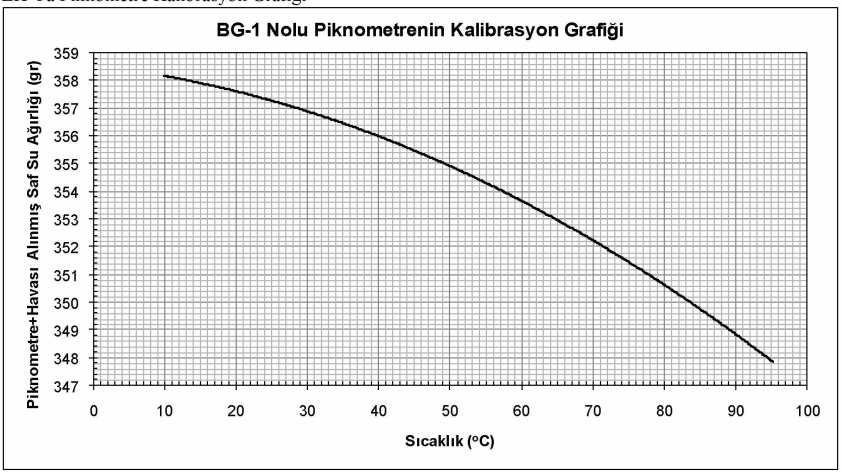
**ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proje Adı: | Haç Gediği Heyalanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi | | |
| Lokasyon: | Karaisalı/ADANA | | |
| Numune tanımı: | Kuruyken çok sert, gri renkli kil | Numune no: HG2 | |
| Piknometre Türü: | 250 ml | Deney yöntemi: Kaynatma | |
| Deneyi yapanlar: | Emre PINARCI | Deney tarihi:13.04.2010 | |

| Özgül Ağırlık Verileri | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ölçüm no | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Piknometre ağırlığı (gr) | 107.96 | 107.93 | 108.16 | 107.95 |
| Piknometre + Numune ağırlığı | 145.08 | 145.22 | 145.17 | 145.33 |
| Numune ağırlığı (gr) | 37.12 | 37.29 | 37.24 | 37.38 |
| Piknometre + Numune ağ. + Saf su ağ. (gr) | 374.61 | 372.75 | 376.43 | 374.09 |
| Piknometre + Saf su ağ. (gr) [A] | 350.75 | 349.20 | 352.97 | 350.63 |
| Sıcaklık (°C) | 79.3 | 88.0 | 65.0 | 80.0 |
| Suyun bu sıcaklıktaki özgül ağırlığı (Gw) [B] | 0.9724 | 0.9667 | 0.9806 | 0.9724 |
| Özgül Ağırlık (Gs) | 2.722 | 2.624 | 2.650 | 2.611 |
| Ortalama | 2,63 | | | |

[A] EK–3a'daki kalibrasyon eğrisinden, [B] EK–3b'deki tablodan.

EK–3a Piknometre Kalibrasyon Grafiği




EK–3b. Suyun Sıcaklıkla Özgül Yoğunluğunun ve Birim Hacim Ağırlığının Değişmesi ($\gamma_w$, $r_s$, $G_w$) (Can ve diğ., 1992)

| T(°C) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,9999 | 0,9999 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9998 |
| 10 | 0,9997 | 0,9996 | 0,9995 | 0,9994 | 0,9993 | 0,9991 | 0,9990 | 0,9988 | 0,9986 | 0,9984 |
| 20 | 0,9982 | 0,9980 | 0,9978 | 0,9976 | 0,9973 | 0,9971 | 0,9968 | 0,9965 | 0,9963 | 0,9960 |
| 30 | 0,9957 | 0,9954 | 0,9951 | 0,9947 | 0,9944 | 0,9941 | 0,9937 | 0,9934 | 0,9930 | 0,9926 |
| 40 | 0,9922 | 0,9919 | 0,9915 | 0,9911 | 0,9907 | 0,9902 | 0,9898 | 0,9894 | 0,9890 | 0,9885 |
| 50 | 0,9881 | 0,9876 | 0,9872 | 0,9867 | 0,9862 | 0,9857 | 0,9852 | 0,9848 | 0,9842 | 0,9838 |
| 60 | 0,9832 | 0,9827 | 0,9822 | 0,9817 | 0,9811 | 0,9806 | 0,9700 | 0,9795 | 0,9789 | 0,9784 |
| 70 | 0,9778 | 0,9772 | 0,9767 | 0,9761 | 0,9755 | 0,9749 | 0,9743 | 0,9737 | 0,9731 | 0,9724 |
| 80 | 0,9718 | 0,9712 | 0,9706 | 0,9699 | 0,9693 | 0,9686 | 0,9680 | 0,9673 | 0,9667 | 0,9660 |
| 90 | 0,9653 | 0,9647 | 0,9640 | 0,9633 | 0,9626 | 0,9619 | 0,9612 | 0,9605 | 0,9598 | 0,9591 |

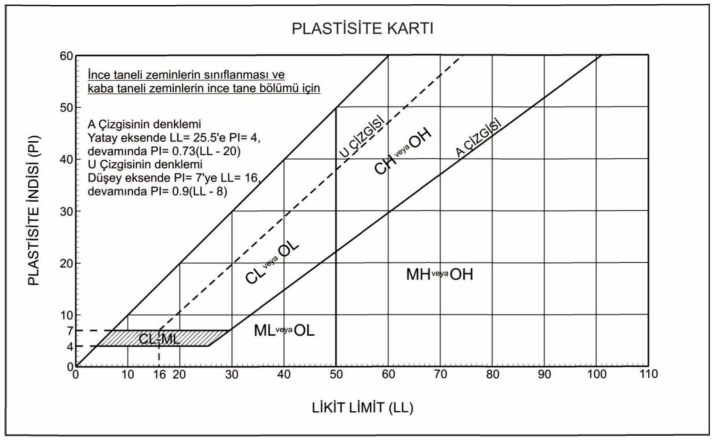
## Ek-4 Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (USCS)

| Ana Bölümler | | | Grup Simgeler (*) | Tipik Adlamalar | Arazide tanıma yöntemleri | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | | |
| İri taneli zeminler<br>Malzemenin Yardan çoğu 200 No.lu Elek çapından (0,075 mm) büyük<br>200 No.lu elek çapı yaklaşık olarak çıplak gözle görülebilir en küçük partiküldür | Çakıl<br>İri fraksiyonunun yarıdan çoğu<br>4 No.lu elek çapından (4,75 mm) daha büyük<br>(Görsel sınıflandırma için 5 mm No.lu elek çapına eşdeğer kabul edilebilir) | 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 | | |
| | | | GP | Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl kum karışımı, sıfır veya çok az ince tane | Bazı ara boyların eksik olduğu tek boy veya bir dizi boylar 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<br>İri fraksiyonunun yarıdan çoğu<br>4 No.lu elek çapından (4,75 mm) daha küçük | 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 | | |
| | | | SP | Kötü derecelenmiş kum, çakıllı kum, sıfır veya çok az ince tane | Bazı ara boyların eksik olduğu tek boy veya bir dizi boylar egemen | | |
| | | İnce tane içeren Kum (önemli miktarda ince tane) | SM | Siltli kum, kum-silt karışımı | Plastik olmayan ince taneler veya düşük plastisiteli ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda ML'ye bakınız) | | |
| | | | SC | Killi kum, kum-kil karışımı | Plastik ince taneler (teşhis yöntemleri için aşağıda CL'ye bakınız) | | |
| İnce taneli zeminler<br>Malzemenin Yardan çoğu 200 No.lu Elek çapından (0,075 mm) | | | | | 40 No.lu Elek Çapından Küçük Franksiyonları Tanıma Yöntemleri | | |
| | | | | | Kuru dayanım (ezilme karakteristikleri) | Dilatans (sarsmaya tepki) | Sağlamlık (Kıvam PL yakınında) |
| | Silt veya Kil<br>Likit Limit<br>50'den küçük | | ML | İnorganik silt ve çok ince kum, kaya unu, siltli veya killi ince kum veya çok az plastisiteli killi silt | Yok – çok az | Çabuk – yavaş | Yok |
| | | | 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 |
| | Silt veya Kil<br>Likit Limit<br>50'den büyük | | MH | İnorganik silt, mikalı veya diatomeli ince kumlu veya siltli zemin, elastik silt | Çok az – orta | Yavaş –yok | Az – orta |
| | | | 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 |
| İleri Derecede Organik Zeminler | | | Pt | Turba ve diğeri ileri derece organik zeminler | Renk, koku, süngerimsi his ve çoğu zaman da lifli yapılarıyla kolayca tanınırlar | | |

Fraksiyonu tanımada "arazi tanıması" başlığı altındaki tane boyu eğrisini kullanınız.

| Laboratuar Sınıflama Kriterleri | |
|---|---|
| 6 | |
| Tane boyu eğrisinden çakıl ve kumun yüzdelerini tanımlayınız. İnce tane yüzdesine (200 No.lu elekten geçen fraksiyona) bağlı olarak iri taneli zeminler şöyle sınıflanır:<br>%5'den az : GW, GP, SW, SP<br>%12'den çok: GM, GC, SM, SC<br>%5-12 arası: İkili simge kullanımı gerektiren sınır durumları | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ 4'den büyük<br>$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 1 ile 3 arasında |
| | GW için tüm gradasyon şartları sağlanmaz |
| Atterberg limitleri A hattının altında veya PI 4'den küçük | A hattının üstünde ve PI 4 ile 7 arasında ise ikili simge kullanımı gerektiren sınır durumu |
| Atterberg limitleri A hattının üstünde veya PI 7'den büyük | |
| | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ 6'dan büyük<br>$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 1 ile 3 arasında |
| | SW için tüm gradasyon şartları sağlanmaz |
| Atterberg limitleri A hattının altında veya PI 4'den küçük | PI 4 ile 7 arasında ve limitler taralı alana düşerse ikili simge kullanımı gerektiren sınır durumu |
| Atterberg limitleri A hattının üstünde veya PI 7'den büyük | |

İnce taneli zeminlerin laboratuar sınıflaması için Plastisite Abağı



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI

EK-5

## TANE BOYU ANALİZİ

Proje Adı: Haç Gediği Heyalanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi

Lokasyon: Karaisalı/ADANA

Numune no: HG4 | Mezür no: 1

Numune tanımı: Kuruyken çok katı, gri renkli kil.

Deney Başı Numune Ağırlığı: 50.11gr | Numunenin özgül ağırlığı: 2,63

Hidrometre türü: ASTM 151-H | Başlama tarihi: 22.10.2010

Deneyi yapanlar: Emre PINARCI

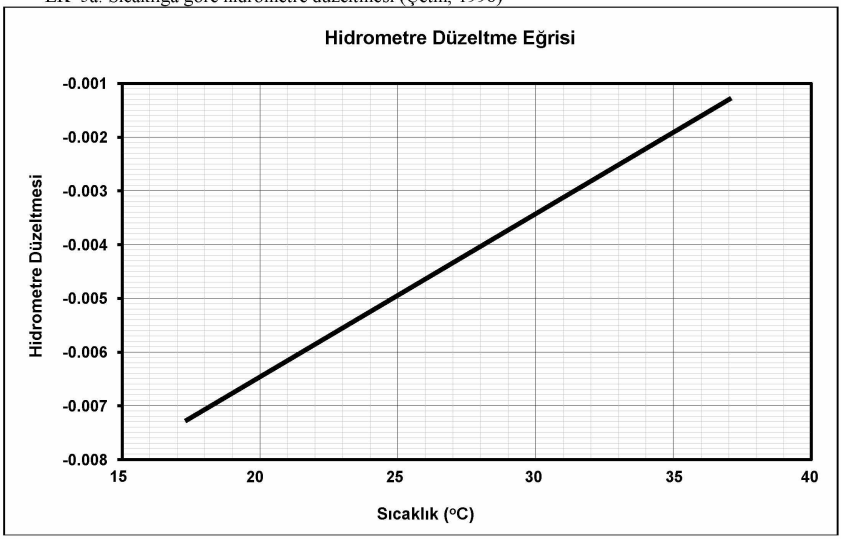
### HİDROMETRE ANALİZİ

| Tarih | Okuma Zamanı | Geçen Zaman (sn) | Sıcaklık $^0C$ | Hidrometre Okuması ( $r_a$) | Hidrometre Düzeltmesi (d) | Düzeltilmiş Hidrometre Okuması (r) | Zr (cm) | Deney Sıcaklığındaki Suyun Viskozitesi (μ) | Deney Sıcaklığındaki Suyun Birim Hacim Ağırlığı (γw: rs) | Tane Çapı: D (mm) | N (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22.10.2010 | 10:25 | 15 | 26.00 | 1.0253 | -0.004820 | 1.0204 | 12.13 | 0.008750 | 0.99679 | 0.11522 | 76.00 |
| 22.10.2010 | 10:25 | 30 | 26.00 | 1.0243 | -0.004820 | 1.0195 | 12.37 | 0.008750 | 0.99679 | 0.08228 | 73.05 |
| 22.10.2010 | 10:26 | 60 | 26.00 | 1.0233 | -0.004820 | 1.0185 | 12.65 | 0.008750 | 0.99679 | 0.05883 | 69.84 |
| 22.10.2010 | 10:27 | 120 | 26.00 | 1.0221 | -0.004820 | 1.0172 | 12.98 | 0.008750 | 0.99679 | 0.04214 | 65.77 |
| 22.10.2010 | 10:30 | 300 | 25.50 | 1.0212 | -0.0049830 | 1.0162 | 11.92 | 0.008750 | 0.99692 | 0.02432 | 62.04 |
| 22.10.2010 | 10:35 | 600 | 25.50 | 1.0199 | -0.0049830 | 1.0149 | 12.29 | 0.008750 | 0.99692 | 0.01749 | 57.86 |
| 22.10.2010 | 10:45 | 1200 | 25.20 | 1.0183 | -0.0050670 | 1.0132 | 12.71 | 0.008950 | 0.99700 | 0.01274 | 52.19 |
| 22.10.2010 | 10:55 | 1800 | 25.10 | 1.0173 | -0.0050850 | 1.0122 | 13.00 | 0.008950 | 0.99702 | 0.01053 | 48.86 |
| 22.10.2010 | 11:25 | 3600 | 24.90 | 1.0156 | -0.0051520 | 1.0104 | 13.50 | 0.008950 | 0.99707 | 0.00760 | 43.02 |
| 22.10.2010 | 12:25 | 7200 | 24.40 | 1.0141 | -0.0053140 | 1.0088 | 13.96 | 0.009160 | 0.99720 | 0.00554 | 37.26 |
| 22.10.2010 | 14:25 | 14400 | 24.00 | 1.0121 | -0.0054330 | 1.0067 | 14.51 | 0.009160 | 0.99730 | 0.00400 | 30.12 |
| 22.10.2010 | 16:25 | 21600 | 24.00 | 1.0111 | -0.0054330 | 1.0057 | 14.78 | 0.009160 | 0.99730 | 0.00330 | 26.91 |
| 23.10.2010 | 15:20 | 104300 | 23.20 | 1.0100 | -0.0056820 | 1.0043 | 15.10 | 0.009380 | 0.99749 | 0.00154 | 21.96 |

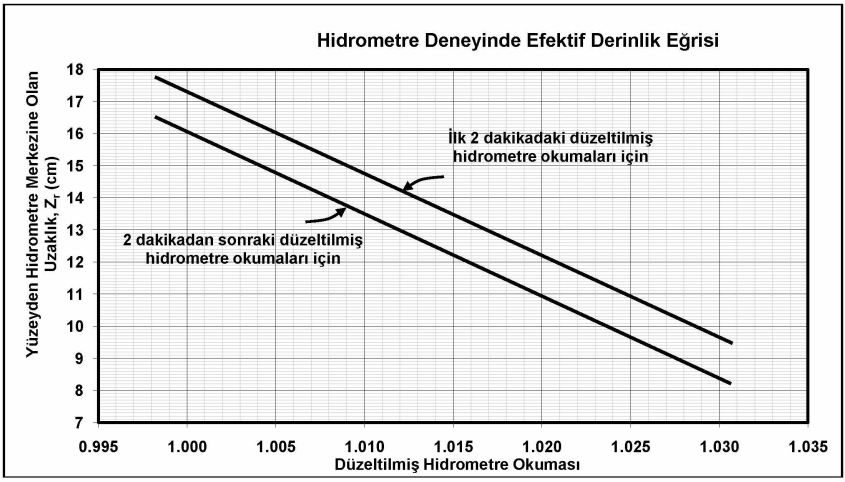
### ELEK ANALİZİ

| Elek No | Elek Açıklığı (mm) | Kurutma Kabı Ağırlığı (gr) | Kurutma Kabı + Zemin Ağırlığı (gr) | Elek Üstü Zemin Ağırlığı (gr) | % Kalan | Toplam % Kalan | Toplam % Geçen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ¾ | 19,00 | 10,00 | 10,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 4 | 4,75 | 40,08 | 40,22 | 0.14 | 0.279 | 0.279 | 99.72 |
| 10 | 2,00 | 44,53 | 47,33 | 2.80 | 5.588 | 5,867 | 94.13 |
| 40 | 0,475 | 40,00 | 46,82 | 6.82 | 13.610 | 19,477 | 80.52 |
| 200 | 0,075 | 39,15 | 43,67 | 4.52 | 9.020 | 28,497 | 71.50 |
| Tava | 0 | | | | | | |

EK–5a. Sıcaklığa göre hidrometre düzeltmesi (Çetin, 1998)




EK–5b. Düzeltilmiş hidrometre okumasına karşılık efektif derinlik düzeltmesi (Çetin, 1998)



EK–5c. Sıcaklığa bağlı olarak suyun viskozite değerinin değişimi (milipoise) (Hogeman, 1959)

| T (°C) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,94 | 17,32 | 16,74 | 16,19 | 15,68 | 15,19 | 14,73 | 14,29 | 13,87 | 13,48 |
| 10 | 13,10 | 12,74 | 12,39 | 12,06 | 11,75 | 11,45 | 11,16 | 10,88 | 10,6 | 10,34 |
| 20 | 10,09 | 9,84 | 9,61 | 9,38 | 9,16 | 8,95 | 8,75 | 8,55 | 8,36 | 8,18 |
| 30 | 8,00 | 7,83 | 7,67 | 7,51 | 7,36 | 7,31 | 7,06 | 6,92 | 6,79 | 6,66 |
| 40 | 6,54 | 6,42 | 6,30 | 6,18 | 6,08 | 5,97 | 5,87 | 5,77 | 5,68 | 5,58 |
| 50 | 5,29 | 5,40 | 5,32 | 5,24 | 5,15 | 5,07 | 4,99 | 4,92 | 4,84 | 4,77 |
| 60 | 4,70 | 4,63 | 4,56 | 4,50 | 4,43 | 4,37 | 4,31 | 4,24 | 4,19 | 4,13 |
| 70 | 4,07 | 4,02 | 3,96 | 3,91 | 3,86 | 3,81 | 3,76 | 3,71 | 3,66 | 3,62 |
| 80 | 3,57 | 3,53 | 3,48 | 3,44 | 3,40 | 3,36 | 3,32 | 3,28 | 3,24 | 3,20 |
| 90 | 3,17 | 3,13 | 3,10 | 3,06 | 3,03 | 2,99 | 2,96 | 2,93 | 2,90 | 2,87 |
| 100 | 2,84 | 2,82 | 2,79 | 2,76 | 2,73 | 2,70 | 2,67 | 2,64 | 2,62 | 2,59 |

| Sıcaklık ($^{O}$c) | Yoğunluk (Gr/Ml)$^{B}$ | Sıcaklık ($^{O}$c) | Yoğunluk (Gr/Ml)$^{B}$ | Sıcaklık ($^{O}$c) | Yoğunluk (Gr/Ml)$^{B}$ | Sıcaklık ($^{O}$c) | Yoğunluk (Gr/Ml)$^{B}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15.0 | 0.99910 | 16.0 | 0.99895 | 17.0 | 0.99878 | 18.0 | 0.99860 |
| .1 | 0.99909 | .1 | 0.99893 | .1 | 0.99876 | .1 | 0.99858 |
| .2 | 0.99907 | .2 | 0.99891 | .2 | 0.99874 | .2 | 0.99856 |
| .3 | 0.99906 | .3 | 0.99890 | .3 | 0.99872 | .3 | 0.99854 |
| .4 | 0.99904 | .4 | 0.99888 | .4 | 0.99871 | .4 | 0.99852 |
| .5 | 0.99902 | .5 | 0.99886 | .5 | 0.99869 | .5 | 0.99850 |
| .6 | 0.99901 | .6 | 0.99885 | .6 | 0.99867 | .6 | 0.99848 |
| .7 | 0.99899 | .7 | 0.99883 | .7 | 0.99865 | .7 | 0.99847 |
| .8 | 0.99898 | .8 | 0.99881 | .8 | 0.99863 | .8 | 0.99845 |
| .9 | 0.99896 | .9 | 0.99879 | .9 | 0.99862 | .9 | 0.99843 |
| 19.0 | 0.99841 | 20.0 | 0.99821 | 21.0 | 0.99799 | 22.0 | 0.99777 |
| .1 | 0.99839 | .1 | 0.99819 | .1 | 0.99797 | .1 | 0.99775 |
| .2 | 0.99837 | .2 | 0.99816 | .2 | 0.99795 | .2 | 0.99773 |
| .3 | 0.99835 | .3 | 0.99814 | .3 | 0.99793 | .3 | 0.99770 |
| .4 | 0.99833 | .4 | 0.99812 | .4 | 0.99791 | .4 | 0.99768 |
| .5 | 0.99831 | .5 | 0.99810 | .5 | 0.99789 | .5 | 0.99766 |
| .6 | 0.99829 | .6 | 0.99808 | .6 | 0.99786 | .6 | 0.99764 |
| .7 | 0.99827 | .7 | 0.99806 | .7 | 0.99784 | .7 | 0.99761 |
| .8 | 0.99825 | .8 | 0.99804 | .8 | 0.99782 | .8 | 0.99759 |
| .9 | 0.99823 | .9 | 0.99802 | .9 | 0.99780 | .9 | 0.99756 |
| 23.0 | 0.99754 | 24.0 | 0.99730 | 25.0 | 0.99705 | 26.0 | 0.99679 |
| .1 | 0.99752 | .1 | 0.99727 | .1 | 0.99702 | .1 | 0.99676 |
| .2 | 0.99749 | .2 | 0.99725 | .2 | 0.99700 | .2 | 0.99673 |
| .3 | 0.99747 | .3 | 0.99723 | .3 | 0.99697 | .3 | 0.99671 |
| .4 | 0.99745 | .4 | 0.99720 | .4 | 0.99694 | .4 | 0.99668 |
| .5 | 0.99742 | .5 | 0.99717 | .5 | 0.99692 | .5 | 0.99665 |
| .6 | 0.99740 | .6 | 0.99715 | .6 | 0.99689 | .6 | 0.99663 |
| .7 | 0.99737 | .7 | 0.99712 | .7 | 0.99687 | .7 | 0.99660 |
| .8 | 0.99735 | .8 | 0.99710 | .8 | 0.99684 | .8 | 0.99657 |
| .9 | 0.99732 | .9 | 0.99707 | .9 | 0.99681 | .9 | 0.99654 |
| 27.0 | 0.99652 | 28.0 | 0.99624 | 29.0 | 0.99595 | 30.0 | 0.99565 |
| .1 | 0.99649 | .1 | 0.99621 | .1 | 0.99592 | .1 | 0.99562 |
| .2 | 0.99646 | .2 | 0.99618 | .2 | 0.99589 | .2 | 0.99559 |
| .3 | 0.99643 | .3 | 0.99615 | .3 | 0.99586 | .3 | 0.99556 |
| .4 | 0.99641 | .4 | 0.99612 | .4 | 0.99583 | .4 | 0.99553 |
| .5 | 0.99638 | .5 | 0.99609 | .5 | 0.99580 | .5 | 0.99550 |
| .6 | 0.99635 | .6 | 0.99607 | .6 | 0.99577 | .6 | 0.99547 |
| .7 | 0.99632 | .7 | 0.99604 | .7 | 0.99574 | .7 | 0.99544 |
| .8 | 0.99629 | .8 | 0.99601 | .8 | 0.99571 | .8 | 0.99541 |
| .9 | 0.99627 | .9 | 0.99598 | .9 | 0.99568 | .9 | 0.99538 |

| | ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ<br>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ<br>ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI | EK-6 |
|---|---|---|

**KESME KUTUSU DENEYİ**

| | |
|---|---|
| Proje: Haç Gediği Heyalanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi | |
| Lokasyon: Karaisalı/ADANA | |
| Numune no: HG8 | Numunenin alındığı derinlik: 0,2m |
| Yükleme hızı : 1 mm/dk | Kuvvet halkası sabiti (k) : 0,21 |
| Yatay Deformasyon okuması 1 birimi : 0.01mm | Yatay Deformasyon okuması 1 birimi : 0.01mm |
| Deneyi yapanlar : Emre PINARCI | Deney Tarihi : 26.01.2011 |
| Numune Boyutları: 6*6*2 | |
| ☒Örselenmemiş | ☐ Örselenmiş |
| Normal Yük: 6 kg | |

| 6 kg | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kuvvet Halkası Okuması** | **Kesme Kuvveti (kg)** | **Yatay Deplasman Okuması** | **Yatay Deplasman ε (mm)** | **Düşey Deplasman Okuması** | **Düşey Deplasman ε (mm)** | **Düzeltilmiş Alan (Ad) ($cm^2$)** | **Kesme Gerilmesi ($kg/cm^2$)** |
| 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.00 | 0.0000 |
| 65.00 | 13.65 | 25 | 0.25 | -1.00 | -0.01 | 35.85 | 0.3808 |
| 90.00 | 18.90 | 50 | 0.50 | -2.25 | -0.02 | 35.70 | 0.5294 |
| 100.00 | 21.00 | 75 | 0.75 | -3.50 | -0.04 | 35.55 | 0.5907 |
| 107.00 | 22.47 | 100 | 1.00 | -4.20 | -0.04 | 35.40 | 0.6347 |
| 110.00 | 23.10 | 125 | 1.25 | -4.70 | -0.05 | 35.25 | 0.6553 |
| 115.00 | 24.15 | 150 | 1.50 | -5.20 | -0.05 | 35.10 | 0.6880 |
| 116.50 | 24.47 | 175 | 1.75 | -5.70 | -0.06 | 34.95 | 0.7000 |
| 117.50 | 24.68 | 200 | 2.00 | -6.20 | -0.06 | 34.80 | 0.7091 |
| 118.00 | 24.78 | 225 | 2.25 | -6.70 | -0.07 | 34.65 | 0.7152 |
| 119.00 | 24.99 | 250 | 2.50 | -7.00 | -0.07 | 34.50 | 0.7243 |
| 119.50 | 25.10 | 275 | 2.75 | -7.50 | -0.08 | 34.35 | 0.7306 |
| 120.00 | 25.20 | 300 | 3.00 | -7.70 | -0.08 | 34.20 | 0.7368 |
| 120.00 | 25.20 | 325 | 3.25 | -8.00 | -0.08 | 34.05 | 0.7401 |
| 120.00 | 25.20 | 350 | 3.50 | -8.20 | -0.08 | 33.90 | 0.7434 |
| 120.00 | 25.20 | 375 | 3.75 | -8.50 | -0.09 | 33.75 | 0.7467 |
| 120.00 | 25.20 | 400 | 4.00 | -8.70 | -0.09 | 33.60 | 0.7500 |
| 119.80 | 25.16 | 425 | 4.25 | -9.10 | -0.09 | 33.45 | 0.7521 |
| 119.50 | 25.10 | 450 | 4.50 | -9.20 | -0.09 | 33.30 | 0.7536 |
| 118.80 | 24.95 | 475 | 4.75 | -9.40 | -0.09 | 33.15 | 0.7526 |
| 118.50 | 24.89 | 500 | 5.00 | -9.80 | -0.10 | 33.00 | 0.7541 |

| | | |
|---|---|---|
| | **ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**<br>**MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ**<br>**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**<br>**ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI** | EK-7 |

**KESME KUTUSU DENEYİ**

| | |
|---|---|
| Proje: Haç Gediği Heyalanının (Karaisalı/Adana) Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi | |
| Lokasyon: Karaisalı/ADANA | |
| Numune no: HG8 | Numunenin alındığı derinlik: 0,2m |
| Yükleme hızı : 1 mm/dk | Kuvvet halkası sabiti (k) : 0,21 |
| Yatay Deformasyon okuması 1 birimi : 0.01mm | Yatay Deformasyon okuması 1 birimi : 0.01mm |
| Deneyi yapanlar : Emre PINARCI | Deney Tarihi : 26.01.2011 |
| Numune Boyutları: 6*6*2 | |
| ☒Örselenmemiş | ☐ Örselenmiş |
| Normal Yük: 12 kg | |

| 6 kg | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kuvvet Halkası Okuması** | **Kesme Kuvveti (kg)** | **Yatay Deplasman Okuması** | **Yatay Deplasman ε (mm)** | **Düşey Deplasman Okuması** | **Düşey Deplasman ε (mm)** | **Düzeltilmiş Alan (Ad) ($cm^2$)** | **Kesme Gerilmesi ($kg/cm^2$)** |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.00 | 0.00 |
| 60.00 | 12.60 | 25.00 | 0.25 | -2.00 | -0.02 | 35.85 | 0.35 |
| 114.00 | 23.94 | 50.00 | 0.50 | -3.50 | -0.04 | 35.70 | 0.67 |
| 127.00 | 26.67 | 75.00 | 0.75 | -4.20 | -0.04 | 35.55 | 0.75 |
| 143.00 | 30.03 | 100.00 | 1.00 | -5.50 | -0.06 | 35.40 | 0.85 |
| 152.00 | 31.92 | 125.00 | 1.25 | -7.00 | -0.07 | 35.25 | 0.91 |
| 157.00 | 32.97 | 150.00 | 1.50 | -8.25 | -0.08 | 35.10 | 0.94 |
| 162.00 | 34.02 | 175.00 | 1.75 | -9.75 | -0.10 | 34.95 | 0.97 |
| 164.00 | 34.44 | 200.00 | 2.00 | -11.50 | -0.12 | 34.80 | 0.99 |
| 166.00 | 34.86 | 225.00 | 2.25 | -12.00 | -0.12 | 34.65 | 1.01 |
| 169.00 | 35.49 | 250.00 | 2.50 | -13.50 | -0.14 | 34.50 | 1.03 |
| 170.00 | 35.70 | 275.00 | 2.75 | -14.75 | -0.15 | 34.35 | 1.04 |
| 171.00 | 35.91 | 300.00 | 3.00 | -14.75 | -0.15 | 34.20 | 1.05 |
| 172.00 | 36.12 | 325.00 | 3.25 | -16.75 | -0.17 | 34.05 | 1.06 |
| 172.50 | 36.23 | 350.00 | 3.50 | -18.00 | -0.18 | 33.90 | 1.07 |
| 172.50 | 36.23 | 375.00 | 3.75 | -18.75 | -0.19 | 33.75 | 1.07 |
| 172.50 | 36.23 | 400.00 | 4.00 | -19.50 | -0.20 | 33.60 | 1.08 |
| 172.50 | 36.23 | 425.00 | 4.25 | -20.25 | -0.20 | 33.45 | 1.08 |
| 172.50 | 36.23 | 450.00 | 4.50 | -21.00 | -0.21 | 33.30 | 1.09 |
| 172.50 | 36.23 | 475.00 | 4.75 | -22.00 | -0.22 | 33.15 | 1.09 |
| 171.50 | 36.02 | 500.00 | 5.00 | -22.50 | -0.23 | 33.00 | 1.09 |
| 170.5 | 35.81 | 550.00 | 5.50 | -24.00 | -0.24 | 32.70 | 1.09 |
| 170 | 35.70 | 575.00 | 5.75 | -24.75 | -0.25 | 32.55 | 1.10 |
| 170 | 35.70 | 600.00 | 6.00 | -25.50 | -0.26 | 32.40 | 1.10 |
| 169.5 | 35.60 | 625.00 | 6.25 | -26.00 | -0.26 | 32.25 | 1.10 |
| 169 | 35.49 | 650.00 | 6.50 | -27.00 | -0.27 | 32.10 | 1.11 |
| 168.5 | 35.39 | 675.00 | 6.75 | -27.50 | -0.28 | 31.95 | 1.11 |
| 168 | 35.28 | 700.00 | 7.00 | -28.25 | -0.28 | 31.80 | 1.11 |
| 167.5 | 35.175 | 725.00 | 7.25 | -29.00 | -0.29 | 31.65 | 1.11 |
| 167 | 35.07 | 750.00 | 7.50 | -29.25 | -0.29 | 31.50 | 1.11 |
| 166.5 | 34.965 | 775.00 | 7.75 | -29.75 | -0.30 | 31.35 | 1.12 |
| 166.5 | 34.965 | 800.00 | 8.00 | -30.00 | -0.30 | 31.20 | 1.12 |
| 165.5 | 34.755 | 825.00 | 8.25 | -30.50 | -0.31 | 31.05 | 1.12 |
| 165 | 34.65 | 850.00 | 8,50 | -31.00 | -0.31 | 30.90 | 1.12 |
| 165 | 34.65 | 875.00 | 8.75 | -31.25 | -0.31 | 30.75 | 1.13 |

| | ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ<br>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ<br>ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI | EK-8 |
|---|---|---|

**BİRİM HACİM AĞIRLIK TAYİNİ**

| | |
|---|---|
| **Proje No** | Haç Gediği Heyalanının Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi |
| **Numune No** | 1 - 2 |
| **Numune Tanımı** | Ayrışmış Güvenç |
| **Deney No** | BHA - 1 |
| **Deney Tarihi** | 06/10/2010 |
| **Deneyi Yapan** | Emre PINARCI |

| Özellik | Değer | | Birim | Formül |
|---|---|---|---|---|
| **Kap no** | 3 | 13 | - | - |
| **Kap ağırlığı** | 14.71 | 27.90 | gr | Tartım |
| **Yaş num. Ağ. + Kap ağ.** | 84.11 | 95.62 | gr | Tartım |
| **Kuru num ağ. + Kap ağ.** | 67.7 | 79.14 | gr | Tartım |
| **Su ağırlığı** | 16.41 | 16.48 | gr | (Yaş num..+Kap ) – ( Kuru num.+Kap ) |
| **Kuru ağırlık** | 52.99 | 51.24 | gr | ( Kuru num. ağ.+Kap ağ.) – (Kap ağ.) |
| **Su İçeriği (ω)** | 30.97 | 32.16 | gr | (Su ağ / Kuru ağ.) * 100 |
| **Ortalama Su İçeriği (ω)** | 31.57 | | | |
| **Ring çapı (cm)** | 4.98 | 5.00 | | Ölçüm |
| **Ring boyu (cm)** | 1.96 | 1.98 | | Ölçüm |
| **Yaş Numune hacmi ($cm^3$)** | 38.18 | 38.88 | | Tartım |
| **Deney Başı Numune (Yaş) Ağırlığı** | 71.96 | 72,09 | gr | Tartım |
| **Katı Tane Birim Hacim Ağırlığı ($\gamma_s$)** | 2,69 | 2,69 | gr/cm3 | Özgül ağırlık deneyinden |
| **Suyun Birim Hacim Ağırlığı ($\gamma_w$)** | 1 | 1 | gr/cm3 | Kabul |
| **Doğal Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_n$)** | 1.885 | 1.854 | gr/cm3 | $\gamma_n = Wt / Vt$ |
| **Kuru Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_k$)** | 1.439 | 1.403 | gr/cm3 | $\gamma_k = [\gamma n / (1 + \omega)]$ |
| **Porozite (n)** | 45,28 | 46,65 | % | $n = [(\gamma_s - \gamma_k) / \gamma_s] * 100$ |
| **Boşluk Oranı (e)** | 0.83 | 0.87 | Birimsiz | $e = [n / (1 – n)]$ |
| **Doygunluk Derecesi (*S*)** | 99,79 | 98,94 | % | $S = [((1 – n) * \gamma_s * \omega) / n]*100$ |
| **Doygun Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_d$)** | 1.90 | 1.89 | gr/cm3 | $\gamma_d = (\gamma_s + e * \gamma_w) / (1+e)$ |
| **Su Altındaki Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_A$)** | 0,91 | 0,89 | gr/cm3 | $\gamma_A = \gamma_d – \gamma_w$ |

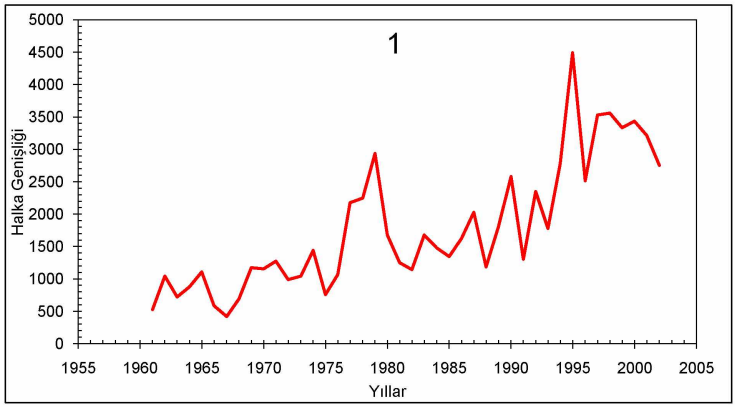
| | ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ<br>JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ<br>ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUARI | EK-9 |
|---|---|---|

**PARAFİN YÖNTEMİYLE BİRİM HACİM AĞIRLIK TAYİNİ**

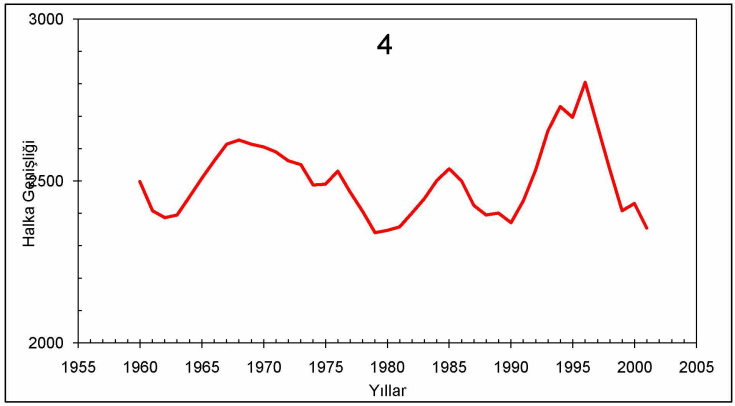
| | |
|---|---|
| **Proje No** | Haç Gediği Heyalanının Ağaç Halkaları Yöntemiyle Analizi |
| **Numune No** | 1 - 2 |
| **Numune Tanımı** | Ayrışmamış Güvenç |
| **Deney No** | PBHA - 1 |
| **Deney Tarihi** | 07/04/2010 |
| **Deneyi Yapan** | Emre PINARCI |

| **Özellik** | Değer | Birim | |
|---|---|---|---|
| **Yaş Numune Ağırlığı ($W_n$)** | 153,45 | gr | Tartım |
| **Yaş Numune + Parafin Ağırlığı ($W_{np}$)** | 165,42 | gr | Tartım |
| **Yaş Numune Hacmi (V)** | 85,12 | $cm^3$ | Ölçüm |
| **Parafinin Birim Hacim Ağırlığı ($\gamma_p$)** | 0,82 | $gr/cm^3$ | Kabul |
| **Ortalama Yaş Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_n$)** | 2,18 | $gr/cm^3$ | $Wn/(V-((Wnp-Wn)/0,82))$ |
| **Ortalama Doygun Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_d$)** | 2,20 | $gr/cm^3$ | $\gamma_d = (\gamma_s + e * \gamma_w) / (1+e)$ |

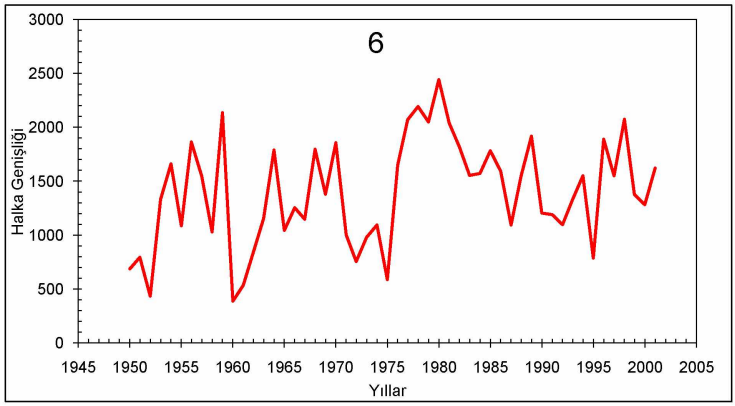
EK-10 1 Numaralı ağaca ait kronoloji



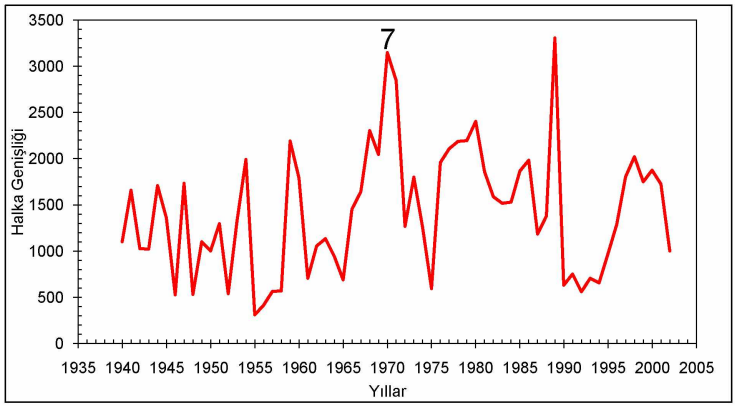

EK-11 4 Numaralı ağaca ait kronoloji



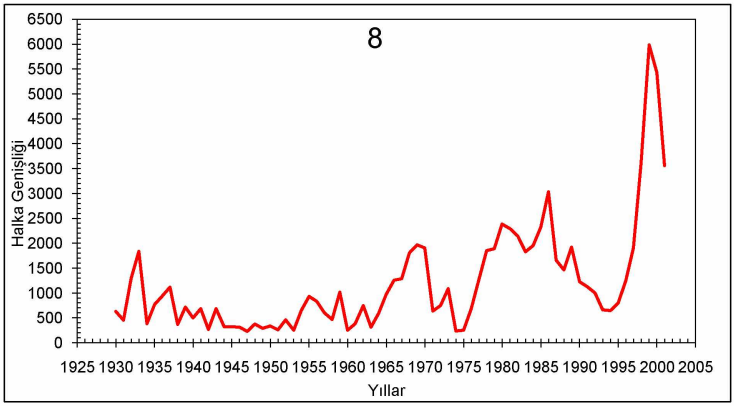
EK-12 6 Numaralı ağaca ait kronoloji



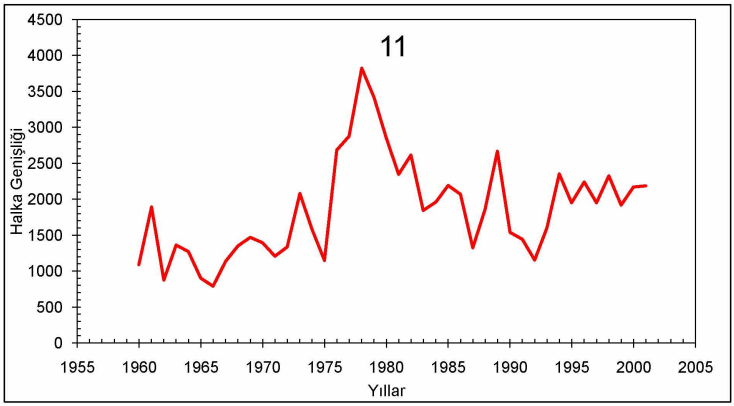

EK-13 7 Numaralı ağaca ait kronoloji



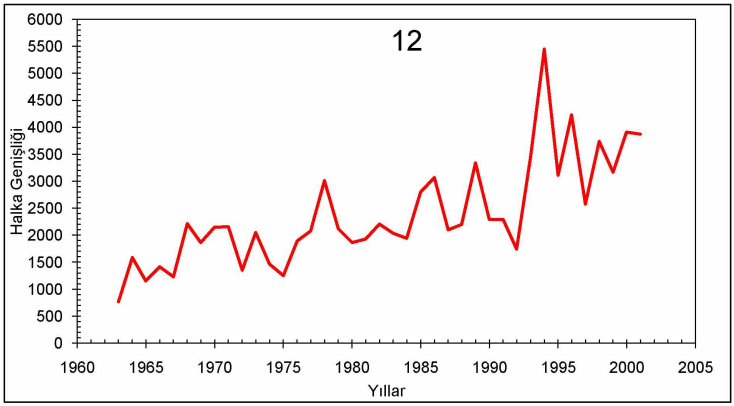
EK-14 8 Numaralı ağaca ait kronoloji



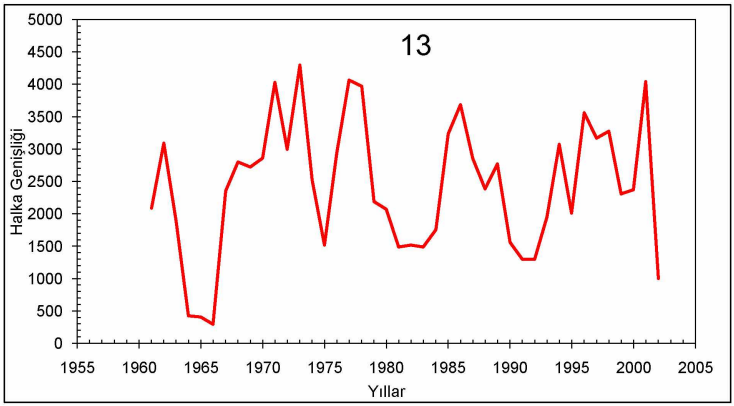

EK-15 11 Numaralı ağaca ait kronoloji



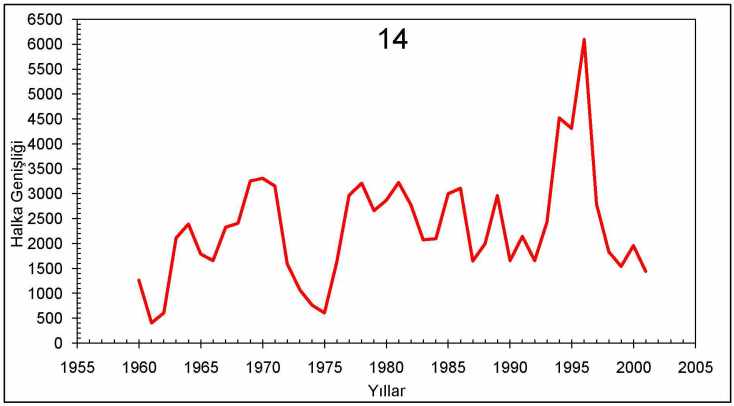
EK-16 12 Numaralı ağaca ait kronoloji



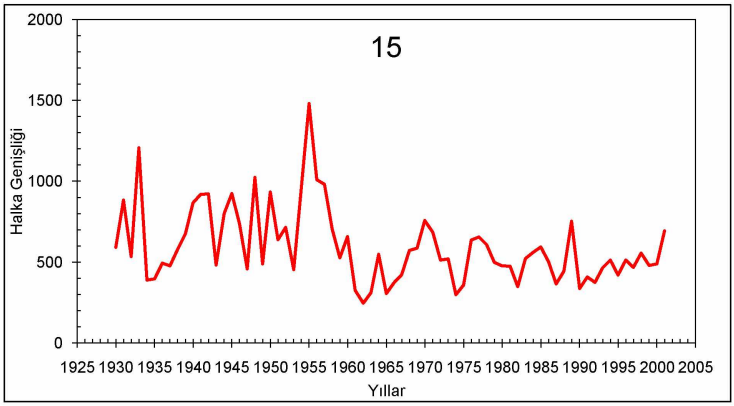

EK-17 13 Numaralı ağaca ait kronoloji



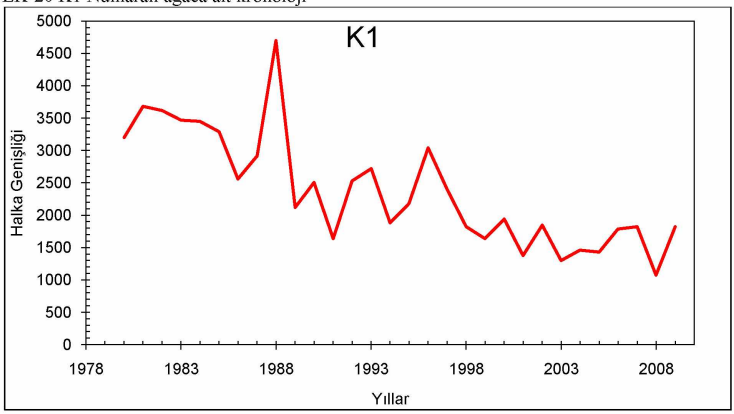
EK-18 14 Numaralı ağaca ait kronoloji



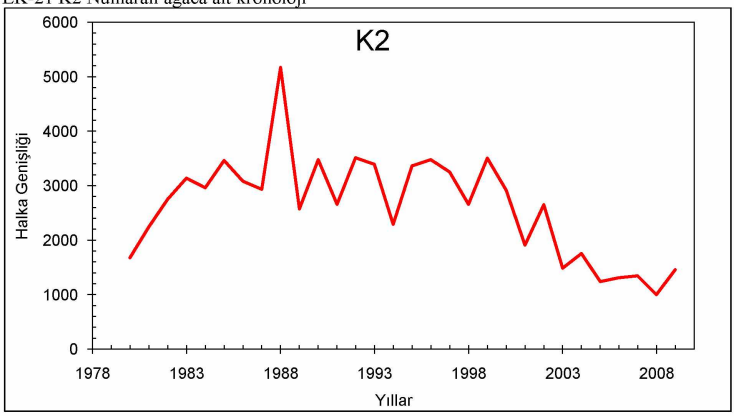

EK-19 15 Numaralı ağaca ait kronoloji



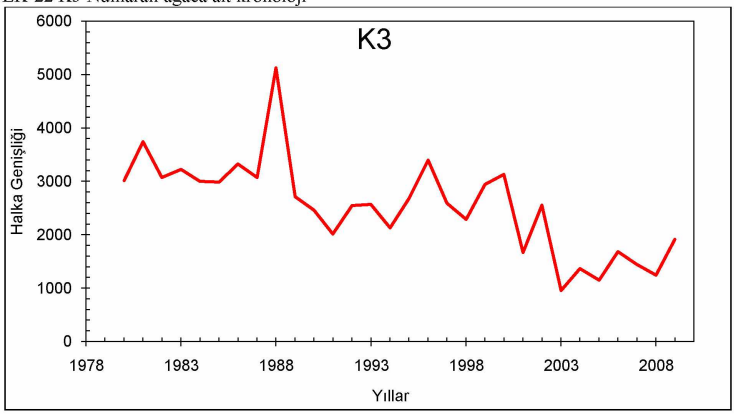
EK-20 K1 Numaralı ağaca ait kronoloji



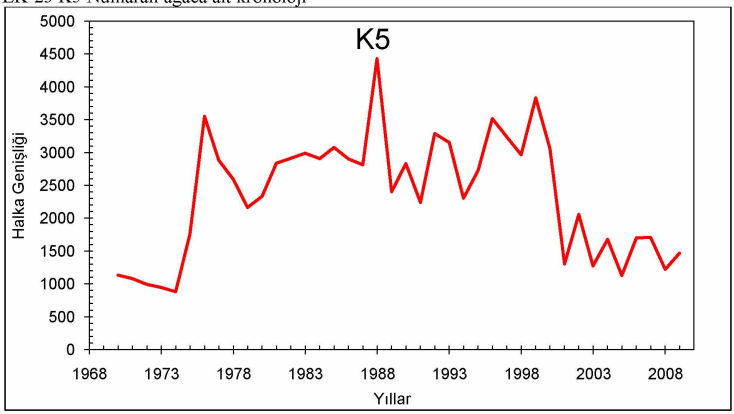

EK-21 K2 Numaralı ağaca ait kronoloji



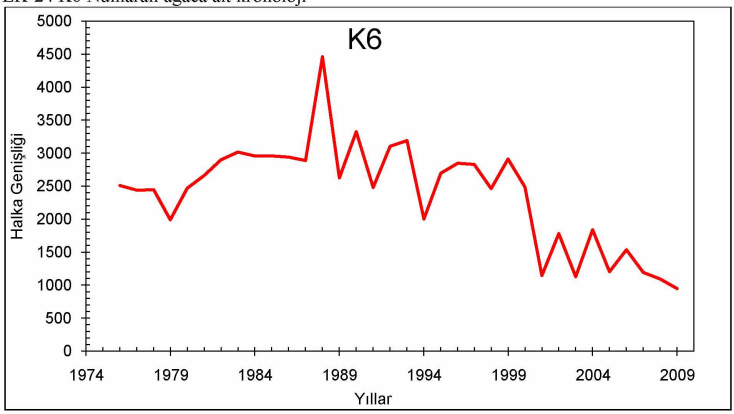
EK-22 K3 Numaralı ağaca ait kronoloji



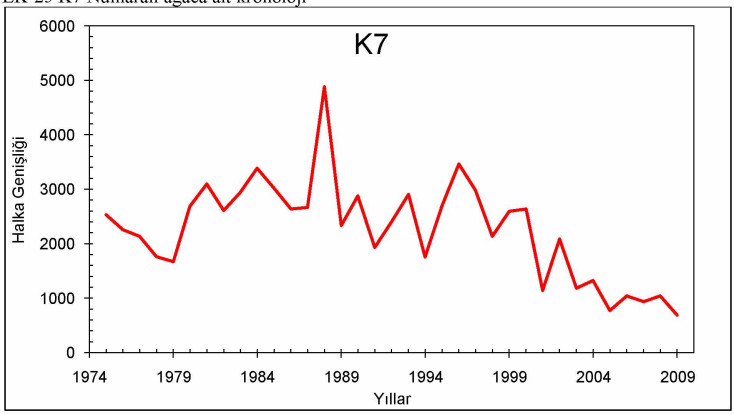

EK-23 K5 Numaralı ağaca ait kronoloji



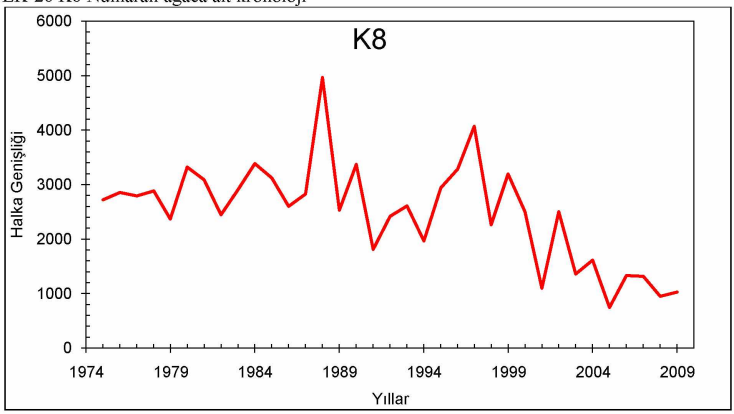
EK-24 K6 Numaralı ağaca ait kronoloji



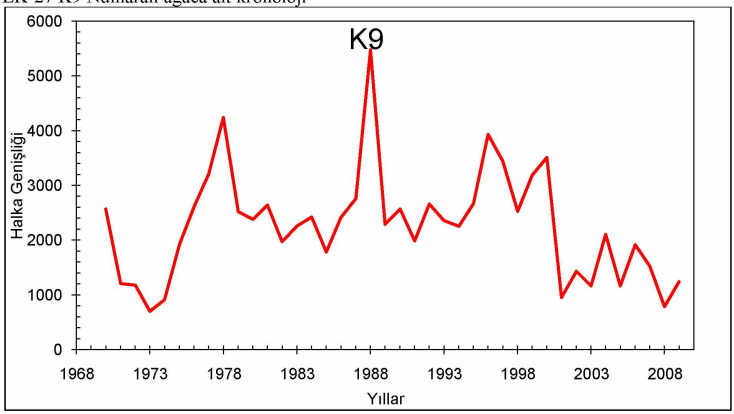

EK-25 K7 Numaralı ağaca ait kronoloji



EK-26 K8 Numaralı ağaca ait kronoloji




EK-27 K9 Numaralı ağaca ait kronoloji



EK-28 K15 Numaralı ağaca ait kronoloji

