

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE DANELİ ZEMİNLERDE DRENALJİ KAYMA  
DİRENCİ PARAMETRELERİNİN TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve İSPİROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ertan BOL**

**Kasım 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNCE DANELİ ZEMİNLERDE DRENAJLI KAYMA  
DİRENCİ PARAMETRELERİNİN TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve İSPIROĞLU**

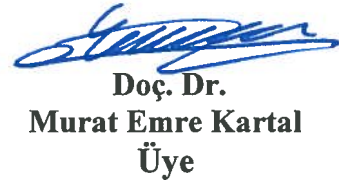
**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**

**Bu tez 10.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

  
**Doç. Dr.  
Ertan BOL  
Jüri Başkanı**

  
**Doç. Dr.  
Aşkın Özocak  
Üye**

  
**Doç. Dr.  
Murat Emre Kartal  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Merve İSPİROĞLU

10.11.2016

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, tüm çalışmalarımız süresince kendisinden her türlü desteği gördüğüm ve öğrencisi olmakla her zaman gurur duyduğum sayın danışman hocam Doç. Dr. Ertan BOL'a, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Aşkın ÖZOCAK'a ve Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Laboratuvar Görevlisi Recep EYÜPLER'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR .....                                                       | i   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                     | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                                | v   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                               | vi  |
| TABLolar LİSTESİ .....                                               | x   |
| ÖZET .....                                                           | xi  |
| SUMMARY .....                                                        | xii |
| BÖLÜM 1.                                                             |     |
| GİRİŞ .....                                                          | 1   |
| 1.1. Amaç .....                                                      | 2   |
| 1.2. Kapsam .....                                                    | 3   |
| BÖLÜM 2.                                                             |     |
| KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                                             | 5   |
| 2.1. Zeminlerin Kayma Direnci .....                                  | 5   |
| 2.2. Mohr- Coulomb Göçme Hipotezi .....                              | 6   |
| 2.3. Efektif Gerilmeler ve Kayma Mukavemeti .....                    | 8   |
| 2.4. Kum Zeminlerin Kayma Direnci .....                              | 9   |
| 2.5. Kil Zeminlerin Kayma Direnci .....                              | 11  |
| 2.6. Drenajlı ve Drenajsız Kayma Direncinin Tanımı .....             | 15  |
| 2.7. Drenajlı ve Drenajsız Koşullar İçin Analiz .....                | 17  |
| 2.8. Geoteknik Mühendisliğinde Drenajlı Kayma Direncinin Önemi ..... | 18  |
| 2.9. Zeminlerin Kayma Direncinin Belirlenmesi .....                  | 19  |
| 2.9.1. Kesme kutusu deneyi .....                                     | 19  |
| 2.9.2. Serbest basınç deneyi .....                                   | 21  |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9.3. Üç eksenli basınç deneyi .....                                   | 22 |
| 2.9.4. Arazi deneyleri .....                                            | 26 |
| <br>BÖLÜM 3.                                                            |    |
| MATERYAL VE YÖNTEM .....                                                | 27 |
| 3.1. Materyal.....                                                      | 27 |
| 3.2. Yöntem.....                                                        | 27 |
| 3.2.1. Zeminlerin drenajlı kayma direncinin belirlenmesi .....          | 27 |
| 3.3. Drenajlı Kayma Direncinin Deneysel Yöntemler İle Belirlenmesi .... | 28 |
| 3.3.1. Kesme kutusu deney prosedürü .....                               | 29 |
| 3.3.2. Konsolidasyon deneyleri .....                                    | 31 |
| 3.3.3. Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi .....         | 33 |
| <br>BÖLÜM 4.                                                            |    |
| ARAŞTIRMA BULGULARI .....                                               | 35 |
| 4.1. Kullanılan Numunelerin Geoteknik Özellikleri .....                 | 36 |
| 4.1.1. Likit limit deneyi .....                                         | 36 |
| 4.1.2. Plastik limit deneyi .....                                       | 39 |
| 4.1.3. Hidrometre deneyi .....                                          | 39 |
| 4.1.4. Piknometre deneyi .....                                          | 41 |
| 4.2. Numune Hazırlama Tekniği .....                                     | 46 |
| 4.3. Kesme Hızının Belirlenmesi .....                                   | 48 |
| 4.4. Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi .....    | 50 |
| 4.4.1. Üç eksenli deney numunelerinin hazırlanması ve deney .....       | 51 |
| 4.4.2. Hesaplamalar .....                                               | 54 |
| 4.5. Kesme Kutusu Deneyi .....                                          | 56 |
| 4.5.1. Kesme kutusu deney numunelerinin hazırlanması ve deney ...       | 57 |
| 4.5.2. Hesaplamalar .....                                               | 61 |
| <br>BÖLÜM 5.                                                            |    |
| TARTIŞMA VE SONUÇ .....                                                 | 67 |

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Deney Sonuçları .....                                                      | 68  |
| 5.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçları .....                                                                              | 69  |
| 5.3. Kesme Kutusu ve Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli<br>Basınç Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması ..... | 69  |
| KAYNAKLAR .....                                                                                                      | 70  |
| EKLER .....                                                                                                          | 72  |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                                       | 113 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                 |                                            |
|-----------------|--------------------------------------------|
| ASTM            | : Amerikan standartları                    |
| B               | : Doygunluk oranı                          |
| c               | : Kohezyon                                 |
| c'              | : Efektif kohezyon                         |
| CD              | : Konsolidasyonlu-drenajlı deney           |
| CI              | : Orta plastisiteli kil                    |
| CL              | : Düşük plastisiteli kil                   |
| CPT             | : Koni penetrasyon deneyi                  |
| c <sub>u</sub>  | : Drenajsız kayma direnci                  |
| c <sub>v</sub>  | : Konsolidasyon katsayısı                  |
| CU              | : Konsolidasyonlu-drenajsız deney          |
| d <sub>f</sub>  | : Yenilme için tahmin edilen yatay hareket |
| ΔH              | : Düşey hareket                            |
| Δu              | : Boşluk suyu basıncı değişimi             |
| ΔV              | : Hacim değişimi                           |
| Δσ              | : Gerilme değişimi                         |
| Δσ <sub>c</sub> | : Hidrostatik basınç değişimi              |
| φ               | : Kayma direnci açıcı                      |
| φ'              | : Efektif kayma direnci açıcı              |
| G <sub>s</sub>  | : Özgül ağırlık                            |
| ε               | : Eksenel deformasyon                      |
| h               | : Numune boyu                              |
| İDO             | : İnce dane oranı                          |
| k               | : Permeabilite veya hidrolik iletkenlik    |
| K <sub>0</sub>  | : Sükunetteki toprak basıncı               |

|    |                            |
|----|----------------------------|
| KY | : Kıl yüzdesi              |
| LL | : Likit limit (%)          |
| MH | : Yüksek plastisiteli silt |
| MI | : Orta plastisiteli silt   |
| ML | : Düşük plastisiteli silt  |
| NL | : Normal yüklenmiş kıl     |

|             |                                                                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OCR         | : Aşırı konsolidasyon oranı                                                                       |
| PI          | : Plastisiteindisi                                                                                |
| PL          | : Plastik limit (%)                                                                               |
| $q_u$       | : Serbest basınç dayanımı                                                                         |
| Rd          | : Kesme hızı                                                                                      |
| $\sigma'$   | : Efektif gerilme                                                                                 |
| $\sigma'_c$ | : Ön konsolidasyon basıncı                                                                        |
| SPT         | : Standart penetrasyon deneyi                                                                     |
| Sr          | : Doygunluk derecesi                                                                              |
| t           | : Birincil konsolidasyonun başlangıcından itibaren ikincil konsolidasyonun sonuna kadar olan süre |
| $t_f$       | : Yenilme için tahmin edilen toplam zaman                                                         |
| $t_{50}$    | : %50 oturmanın olduğu zaman dilimi                                                               |
| $t_{90}$    | : %90 oturmanın olduğu zaman dilimi                                                               |
| $t_{100}$   | : %100 oturmanın olduğu zaman dilimi                                                              |
| $\tau$      | : Kayma direnci                                                                                   |
| $\delta$    | : Yatay hareket                                                                                   |
| $w_L$       | : Likit limit                                                                                     |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Coulomb sürtünme teorisi .....                                                                                                                             | 6  |
| Şekil 2.2. Mohr-Coulomb hipotezine göre kırılma durumu .....                                                                                                          | 7  |
| Şekil 2.3. Toplam ve efektif gerilme mohr daireleri .....                                                                                                             | 9  |
| Şekil 2.4. Kesme kutusu deneyinde normal gerilme ve kayma direnci bağıntısı ...                                                                                       | 11 |
| Şekil 2.5. Normal ve aşırı konsolide zeminler için kayma gerilmesi - kayma<br>deformasyonu ilişkisi .....                                                             | 13 |
| Şekil 2.6. Dolguda güvenlik .....                                                                                                                                     | 14 |
| Şekil 2.7. Yarmada güvenlik .....                                                                                                                                     | 15 |
| Şekil 2.8. Drenajlı ve drenajsız gerilme izleri ile kesme dayanımları .....                                                                                           | 17 |
| Şekil 2.9. Doygun kil için drenajlı ve drenajsız dayanım zarfları .....                                                                                               | 18 |
| Şekil 2.10. Kesme kutusu deney düzeneği .....                                                                                                                         | 21 |
| Şekil 2.11. Serbest basınç dayanımına göre kıvamı .....                                                                                                               | 22 |
| Şekil 2.12. Laboratuvar ortamında üç eksenli hücre kesme deney düzeneği .....                                                                                         | 25 |
| Şekil 3.1. Direkt kesme kutusu deney düzeneği .....                                                                                                                   | 29 |
| Şekil 3.2. Kesme kutusunda sonuçların yorumlanması .....                                                                                                              | 31 |
| Şekil 3.3. Konsolidasyon katsayısının logaritma yöntemiyle bulunuşu .....                                                                                             | 32 |
| Şekil 3.4. Konsolidasyon katsayısının karekök yöntemiyle bulunuşu .....                                                                                               | 32 |
| Şekil 3.5. CU deneyde normal ve aşırı konsolide killeri için $\sigma$ - $\epsilon$ , $\Delta u$ ve $\sigma_1'$ ve $\sigma_3'$<br>eğrileri $\sigma_1'/\sigma_3'$ ..... | 34 |
| Şekil 4.1. Numunenin tas içine yerleştirilmesi .....                                                                                                                  | 37 |
| Şekil 4.2. Numunede oyuk açma bıçağıyla yarık açılması ve vuruşlar yapılması ..                                                                                       | 37 |
| Şekil 4.3. Numunede oyuk açma bıçağıyla yarık açılması ve vuruşlar yapılması ..                                                                                       | 38 |
| Şekil 4.4. Bir miktar numunenin etüvde kurutulmak üzere metal kaba alınması ...                                                                                       | 38 |
| Şekil 4.5. Buzlu cam üzerinde plastik limit için numunelerin bekletilmesi ve<br>deneyin yapılması .....                                                               | 39 |
| Şekil 4.6. 50 gr numunenin perhidrol ile yakılması .....                                                                                                              | 40 |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.7. Deney için numunenin hazırlanması .....                                                                                  | 40 |
| Şekil 4.8. Numunenin düzeneğe yerleştirilmesi ve hidrometre okumalarının alınması .....                                             | 41 |
| Şekil 4.9. Suyun vakum aleti yardımıyla damıtılması .....                                                                           | 42 |
| Şekil 4.10. Piknometrenin ağırlığının ölçülmesi ve numunenin dövülmesi .....                                                        | 42 |
| Şekil 4.17. Adapazarı silt için zaman - sıkıştırma eğrileri ( $r = 100-200$ kPa) .....                                              | 41 |
| Şekil 4.11. Numunenin piknometreye koyulması ve tartılması .....                                                                    | 43 |
| Şekil 4.12. Vakum öncesi numuneye su koyulması ve vakumlama aşaması .....                                                           | 43 |
| Şekil 4.13. Piknometre, numune ve su .....                                                                                          | 44 |
| Şekil 4.14. Piknometre, numune ve su .....                                                                                          | 44 |
| Şekil 4.15. Piknometre deneyinin şematik gösterimi .....                                                                            | 45 |
| Şekil 4.16. Numunelerin plastisite kartındaki yerleri .....                                                                         | 46 |
| Şekil 4.17. Siltli kil deney numunesinin bulamaç haline getirilmesi .....                                                           | 47 |
| Şekil 4.18. Deney numunesinin hücreye yerleştirilmesi .....                                                                         | 48 |
| Şekil 4.19. Deney numunesinin askıya yerleştirilmesi .....                                                                          | 48 |
| Şekil 4.20. Üç eksenli basınç deney sistemi .....                                                                                   | 50 |
| Şekil 4.21. Üç eksenli deney hücresi şematik kesiti .....                                                                           | 51 |
| Şekil 4.22. Üç eksenli deney için numunenin hazırlanması işlemi .....                                                               | 52 |
| Şekil 4.23. Doyurma aşamasının bilgisayar arayüzünden takip edilmesi .....                                                          | 53 |
| Şekil 4.24. Deney sonucu kesilen siltli kil numunesi örneği .....                                                                   | 54 |
| Şekil 4.25. Siltli kil numunesine ait 100 kPa, 200 kPa ve 300kPa çevre basıncı altında deney sırasında alınan okuma değerleri ..... | 55 |
| Şekil 4.26. Siltli kil numunesinin deviyör gerilme-eksenel deformasyon grafiği ....                                                 | 55 |
| Şekil 4.27. Siltli kil numunesinin boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon grafiği .....                                            | 56 |
| Şekil 4.28. Siltli kil numunesinin kesme gerilmesi-normal gerilme grafiği .....                                                     | 56 |
| Şekil 4.29. Kesme kutusu şematik kesiti .....                                                                                       | 57 |
| Şekil 4.30. Kesme kutusu deneyi için numune alımı .....                                                                             | 58 |
| Şekil 4.31. Kesme kutusu deneyi için numunenin düzeneğe yerleştirilme işlemi ...                                                    | 58 |
| Şekil 4.32. Numunenin konsolidasyona bırakılma işlemi .....                                                                         | 59 |
| Şekil 4.33. Konsolidasyon sonucu ortaya çıkan verilerin örneği .....                                                                | 60 |
| Şekil 4.34. 1 Nolu numunenin (Siltli Kil) kesme hızlarının hesaplanması .....                                                       | 62 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.35. 1 Nolu numunenin (Siltli Kil) konsolidasyonlu-drenajsız (CU) ve kesme kutusu deney sonucu ..... | 64 |
| Şekil 4.36. Kesme kutusu ve konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deney sonuçlarının karşılaştırılması .....       | 64 |
| Şekil 4.37. CU deneyinden elde edilen sürtünme açıları ve kil yüzdeleri arasındaki ilişki .....             | 65 |
| Şekil 4.38. Kesme kutusu deneyinden elde edilen sürtünme açıları ile kil yüzdeleri arasındaki ilişki .....  | 66 |
| Şekil 4.39. Kesme hızları ile kil oranları arasındaki ilişki .....                                          | 66 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Kırılma-yenilme kriterleri .....                                     | 8  |
| Tablo 4.1. Numunelerin geoteknik özellikleri .....                              | 46 |
| Tablo 4.2. Numuneleri kesme hızları değerler .....                              | 62 |
| Tablo 4.3. Kesme kutusu deneyi sonuçları .....                                  | 63 |
| Tablo 4.4. Konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli hücre kesme deneyleri .... | 63 |

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Direkt Kesme Deneyi, kesme hızı, drenajlı şartlar, siltli zeminler

Kayma direnci parametreleri toplam (drenajsız) ve efektif (drenajlı) parametreler olmak üzere ikiye ayrılır. Yükleme sonrası suyun sistemden hemen çıkabileceği (drene olabileceği) iri daneli zeminlerde gerçekleştirilen analizlerde drenajlı parametrelerin kullanılması uygundur. Drenajsız kayma direnci parametreleri; ince daneli (killi-siltli) zeminlerin yükleme sonrası kısa sürede drene olamayacağı durum için geçerlidir. Bununla birlikte ince daneli zeminlerinde uzun süreli stabilite analizlerinde, suyun sistemden bu uzun süre zarfında çıkabileceği varsayımı yapılarak, drenajlı parametrelerin kullanılması gerekmektedir.

Zeminlerin kayma mukavemetini laboratuvarında ölçmek için kullanılan ekipmanların başında Kesme Kutusu deneyi gelir. Kesme Kutusu deneyi iki rijit plaka arasına yerleştirilen numunenin üzerine normal gerilme uygulandıktan ve bu yük altında sıkışması (konsolidasyonu) tamamlandıktan sonra önceden belirlenmiş bir düzlem boyunca yanal olarak kesilmesi için gerekli maksimum kesme gerilmesinin bulunması şeklinde gerçekleştirilir.

Mevcut kesme kutusu düzeneklerinde suyun numune içinden çıkmasına (drenaja) engel olmak imkânsız olduğundan bu deney yöntemi ile bulunan parametrelerin drenajlı olduğu kabul edilir. Bu sebepten dolayı kesme kutusunda kesme hızının numune içinde boşluk suyu basıncı oluşmasına müsaade etmeyecek bir hızda kesilmesi gerekmektedir. Dolayısı ile iri daneli zeminlerin yüksek permeabilitesi (geçirgenliği) nedeni ile kesme hızı yüksek iken, ince daneli zeminlerde düşük permeabiliteden dolayı kesme hızı oldukça yavaş olmaktadır. Literatürde kesme kutusu ile yapılan deneylerde kesme hızının tahmini için geliştirilmiş konsolidasyon hızına bağlı birtakım ampirik formülasyonlar mevcuttur. Bu durum kesme kutusu deneyine başlamadan önce numunenin konsolidasyon hızının tayinine yönelik, zaman ve işgücü kaybına yol açan, ön işlemlerin yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu çalışmanın amacı siltli numunelerin drenajlı ve drenajsız kayma direnci parametrelerinin kesme kutusu deney aleti ile ölçmeye yönelik olacaktır. Literatürde kabul gören kesme hızı yaklaşımlarının bir karşılaştırılması yapılacaktır.

# **DETERMINATION OF DRAINED SHEAR STRENGTH PARAMETERS IN FINE GRAINED SOILS**

## **SUMMARY**

Keywords: Direct shear test, shearing rate, drained condition, silty soil

Shear strength parameters of soils can be divided as drained and undrained conditions. Drained parameters are proper to be used for the conditions, where pore water can drain out of the soil easily, under external loading. There is no change in pore water pressure due to external loading. Drained parameters are valid for coarse grained soils and fine grained soils if the rate of the load is slow enough not to generate excess pore pressure in the system. On the other hand, undrained condition occurs when the pore water cannot drain out of the soil. The rate of the load is much quicker in undrained loading than the rate at which pore water can drain out. In undrained conditions, a large part of the load is carried by the pore water, as a result pore pressures increase. For long term stability analysis in fine grained soils, drained parameters can be used accepting the pore water can drain out of the soil. For dynamic conditions, if the rate of the loading is fast enough as in the earthquakes, even coarse grained soils can experience undrained loading.

Direct shear test is one of the most commonly used laboratory tests to determine the shear strength of soils. In direct shear test, the test sample is placed in a rigid box which is divided horizontally into two halves. After the sample is consolidated by a constant vertical compressive force, a horizontal force is applied to the upper half of the box. The maximum shear stress can be obtained by plotting shear stress values versus horizontal displacements. The tests are run several times for various vertical stresses and shear strength parameters are determined by using related plots.

It is not possible to prevent completely the drainage of the water out of the sample in available shear box test systems. To ensure the drained condition, the rate of the shearing should be selected as slow as not to allow the occurrence of excess pore water pressure. This results a faster rate for coarse grained soils and much slower rate for fine grained soils with low permeability. Some empirical correlations, which use consolidation characteristics of the soils, are available in the literature, regarding the rate of the shearing.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde yapım teknikleri ve yapısal analiz yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak büyük yapılar inşa edilmeye başlanılmıştır. Bu yapıların proje aşamasındaki analizlerinin daha gerçekçi ve doğru yapılabilmesi için, yapım aşamasındaki koşullar iyi belirlenmeli ve modellemeler buna göre yapılmalıdır. Yapısal modelleme yaparken yapının alacağı yükler, bölgenin deprem koşulları, yapının kullanım amacı gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Bu koşulların en önemlilerinden birisi yerel zemin koşulları içerisinde zeminlerin aldığı yükler altındaki gösterdiği davranışdır. Yerel zemin koşullarının ve yapı zemin etkileşiminin iyi belirlenmesi ve analizlerin doğru şekilde yapılabilmesi için zeminin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi için arazi ve laboratuvarlarda birçok deney yapılmaktadır. Yerel zemin koşullarının belirlenmesinde zeminin iyi şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı zeminde sondaj işlemleri yapılmaktadır. Sondaj esnasında arazi deneylerinin bazıları uygulanabilmekte fakat bu deneyler zemin parametrelerinin tümünün belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Zemin parametrelerinin belirlenmesi için, araziden alınan zemin numuneleri üzerinde bir takım laboratuvar deneyleri uygulanmaktadır. Yapısal analizlerde gerçeğe yakın modelleme yapabilmek, zemin özelliklerini gerçeğe yakın şekilde belirlemesi ile mümkündür. Zemin özellikleri parametrelerinin doğru belirlenmesi için, mevcut zemin koşullarının laboratuvar ortamına doğru şekilde yansıtılması gerekmektedir.

Temel taşıma gücü, istinat duvarı ve heyelan analizi gibi plastik denge problemlerinin çözümünde zeminlerin kayma direnci parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Zemin türü ve yükleme hızına bağlı olarak, bu denge problemlerinin çözümünde kullanılacak kayma direnci parametreleri toplam gerilme veya efektif gerilme parametreleri cinsinden olabilmektedir. Drenajlı ve drenajsız parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi, kayma direnci

parametrelerinin kullanılacak olduğu stabilite problemlerinin çözümünde büyük önem taşımaktadır. Şev stabilitesi ve stabilite analizleri geoteknik mühendisliğinin ve zemin mekaniğinin önemli konularından biri olmuştur. Ülkemizde bulunan şevlerde belirli bir süreden sonra stabilite problemleriyle karşılaşmaktadır. Bu da kayma direnci parametrelerinin önemini göstermektedir. İnşaat yapımı esnasında ya da inşaat bitiminde meydana gelen şev stabilite problemleri zeminin geçirgenliği ile ilgili olarak drenajlı dayanım veya drenajsız dayanım kullanılarak yapılabilir. İnşaat sırasında ince daneli zeminlerin çoğunun geçirgenliği (permeabilitesi) az miktarda drenaj meydana gelecek kadar düşüktür. Bu sebepten dolayı ince daneli zeminler için drenajsız kayma dayanımı parametreleri kullanılarak çözüme gidilir. İri daneli zeminlerde ise drenaj mümkün olduğundan dolayı drenajlı kayma dayanımı parametreleri kullanılır.

Bu çalışmada drenajlı kayma direnci parametrelerini belirlemek için farklı geoteknik özelliklere sahip numuneler üzerinde, farklı konsolidasyon basınçları altında konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. CU (konsolidasyonlu-drenajsız) deneyde, boşluk suyu basıncı ölçülebildiğinden zeminin hem drenajlı hem de drenajsız kayma direnci parametreleri elde edilebilirken, kesme kutusu deneyinde numunenin kesmeye karşı davranışına bakılmış ve boşluk suyu basıncı ölçülemediğinden doygunluk kazanmış numune, drenaja müsaade edilecek hızda kesilmiştir. Deneylerin sonucu irdelenerek, elde edilen parametreler arasında farklar incelenmiştir.

### **1.1. Amaç**

Direkt kesme kutusu deney aletinde ve konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli basınç deney düzeneğinde zeminlerin kayma direnci parametrelerini drenajlı ve drenajsız koşullar altında tayin etmek ve her iki deney düzeneği ile bulunan parametrelerin karşılaştırılmasını yapmak bu tezin amacını oluşturmaktadır.

Bu amaca yönelik olarak farklı özelliklere sahip numuneler üzerinde konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli hücre kesme deneyleri gerçekleştirilmesi

hedeflenmiştir. Bunun yanında kesme kutusu deneyi ile drenajsız kayma direncini belirleyebilmek için drenaja mücadele edecek kesme hızının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için literatürde kesme hızının tayinine yönelik araştırmalar yapılmış ve yaygın kabul gören yöntemlere göre hız belirlenmesi yapılmıştır.

## 1.2. Kapsam

İlk kısımda çalışmanın genel olarak neleri içerdiği ve bu çalışmanın yapılma nedeninden bahsedilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yapılarak zeminlerin drenajlı kayma direnci parametreleri belirlenmiş olup bu iki deney sonucu elde edilen drenajlı kayma direnci parametreleri karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci kısmında, kum ve kil zeminlerin kayma direncinden ve zeminlerde göçmeyi tanımlayan kırılma hipotezlerinden Mohr-Coulomb göçme hipotezinden, kayma direncini etkileyen faktörlerden, arazide ve laboratuvarda yapılan deneylerden söz edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmında, zeminlerin drenajlı kayma direnci ile genel bilgileri, analizleri ve tanımları, geoteknik mühendisliğinde drenajlı ve drenajsız kayma direncinin yeri ve önemi, laboratuvar ortamında yapılan deney yöntemleri, zeminlerin drenajlı kayma direnci parametreleri ile geoteknik özellikleri arasındaki ilişkileri incelenmiştir.

Dördüncü kısımda, deneyde yapılan çalışmalardan, kullanılan numunelerin geoteknik özelliklerinden, numunelerin fiziksel özelliklerini belirleyen sınıflandırma deneylerinin yapıları ve deneylerde kullanılacak olan numuneleri hazırlama yöntemlerinden, drenajlı kayma direnci parametrelerini belirlemek için yapılan laboratuvar deney yöntemlerinden ve bu yöntemlerin hesaplanma aşamaları ve örnekleri verilmiştir.

Çalışmanın beşinci yani son kısmında ise yapılan kesme kutusu deneyi ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneylerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen drenajlı kayma direnci açısı ile zeminlerin geoteknik özellikleri arasında ilişkiler kurulmuştur. Bu çalışmalar sonucu elde edilen genel sonuçlar bu bölümde verilmektedir.



## BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Zeminlerin Kayma Direnci

Zeminlerin kayma direnci (kayma mukavemeti) zemin mekaniğinin en önemli konularından biri olarak nitelendirilebilir. Zeminlerde göçme, kırılma, yenilme veya kayma, ortamın uygulanan gerilmelere dayanma yeteneğinin kaybolması olarak tarif edilebilir. Zeminler üzerine uygulanan yüklerin yol açtığı gerilmeler belirli sınır değerleri aştığı zaman, diğer malzemelerde olduğu gibi, göçme veya farklı oranlarda şekil değişimleri meydana gelir. Bir zemin kütlesi içindeki her nokta göçme durumuna ulaşmak üzere olduğu anda o zemin kütlesinin plastik dengeye (geri dönüşü olmayan deformasyonlara) ulaştığı kabul edilir. Zeminin kayma mukavemeti; uygulanan yüklere karşı göçme oluşmadan karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesidir [1]. Başka bir ifade ile göçme düzlemi boyunca kaymaya karşı gösterilen dirençtir. Zeminlerin kayma direnci ( $\tau$ ) basit olarak içsel sürtünme açısı (kayma direnci açısı)  $\phi$ , ve kohezyon  $c$  gibi parametrelerle ifade edilebilir. Zeminin en önemli kayma mukavemeti parametresi  $\phi$  dir.

Kayma direncinin ilk incelemesi Coulomb tarafından yapılmıştır. Zeminlerin kayma direnci basitçe, boşluk oranı ( $e$ ), zeminin türü, etkisinde kaldığı gerilmeler ( $\sigma$ ) ve yapı dokusuna bağlıdır [2].

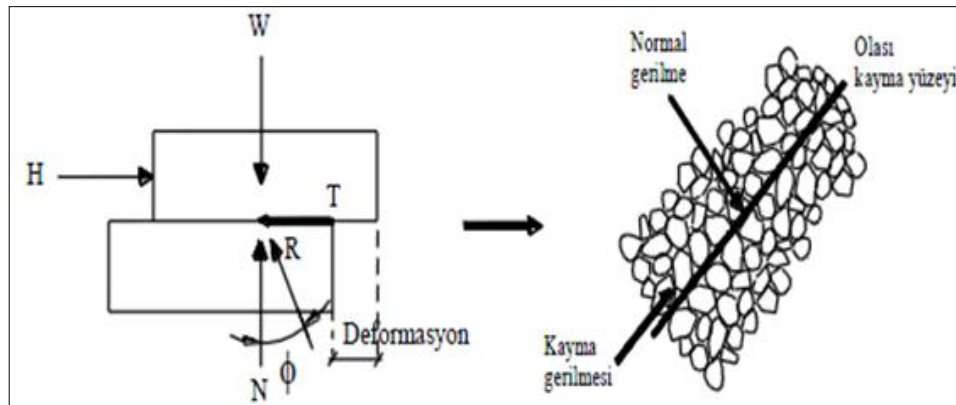
Coulomb (1776) tarafından kayma direncinin ilk incelemesi killi zeminler üzerinde yapılmış ve killi zeminin kayma direncinin “kohezyon” adı verilen tek parametre ile ( $c$ ) temsil edilmesi ilkesini getirilmiştir. Gerçekte kohezyon moleküler bağ içeren malzemelerin mekanik/fiziksel bir özelliğidir. Jeolojik malzemelerde “gerçek kohezyon” kaya minerallerinin kor kayaçlarda olduğu gibi ısı bir kaynaqla bağlanması veya bir çimentolayıcı maddenin matrise girmesi ile belirlenebilir [2] .

Bunun dışında tek istisna aşırı konsolide killerde kısıtlı bir değer taşıyan kohezyon değeridir. Buna karşın “*görünür kohezyon*”, zemin tanelerinin birbirlerine bağlanma özelliği olarak ifade edilmektedir. Söz konusu bağlanmanın; su tablası üzerindeki zeminlerde oluşabilen negatif boşluk suyu basınçlarından (*kılcallık*), kesme sırasında oluşabilen hacimsel genleşmeye bağlı gelişen negatif aşırı boşluk suyu basınçlarından veya partikül kenetlenmesinden ileri geldiği söylenebilir [3].

Zeminlerin kayma direncinin matematisel bir ifade ile gösterimi Coulomb (1776) ve Tresca ile başlanmıştır.

## 2.2. Mohr- Coulomb Göçme Hipotezi

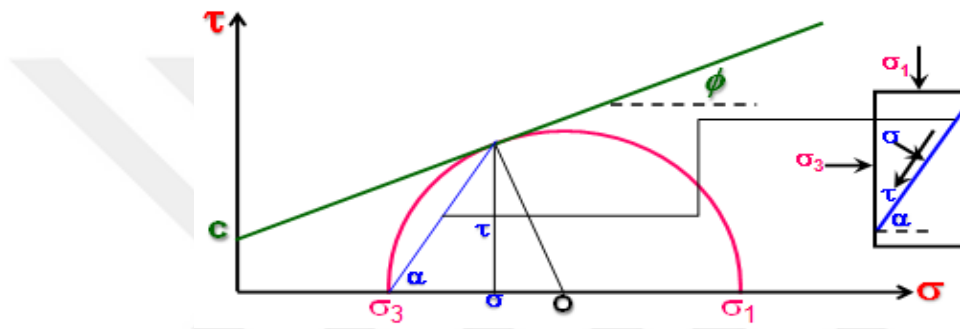
Zeminler için göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan ilk hipotez Mohr-Coulomb tarafından geliştirilmiştir. Bu hipoteze göre zeminlerin kayma mukavemeti, Coulomb sürtünme yasasına dayanmaktadır. Şekil 2.1.’de birbirleri üzerinde kaydırılmaya çalışılan iki blok yer almaktadır. Hareketin gerçekleşmesi için uygulanan H kuvvetinin bloklar arasındaki sürtünme kuvvetini yenmesi gerekir [4].



Şekil 2.1. Coulomb sürtünme teorisi [4]

Coulomb (1776)’ un çalışmasından sonra bir matematikçi olan Mohr (1900) zeminler için geçerli olan kırılma/kayma hipotezini geliştirmiştir. Araştırmacı çalışmasında Coulomb’ un yaklaşımından farklı bir formülasyon getirmiştir. Mohr Kırılma Hipotezi zeminin kayma direncinin ( $s$ ) tarifini “*belirli bir düzlemde normal gerilme*

$\sigma'$  ya bağlı olarak beliren kesme gerilmesi  $\tau'$  nun zeminin taşıyabileceği bir maksimum değer  $\tau_f$  ye erişmesi" olarak yapmıştır. Mohr hipotezinin zaman içinde Coulomb' un yatay bağıntısı ile birleştirilerek  $\tau$  ekseninde "kohezyon" olarak nitelendirilen bir ordinat değeri ile (c), daneler arasında normal gerilme düzeyine bağlı olarak uyanan  $\phi$  eğimli bir doğrudan oluşmuş özel bir bağıntıya dönüştüğü görülmektedir (Şekil 2.2.). Bu durumda doğrunun düşey eksen ile birleştiği nokta c (kohezyon), yatayla yaptığı açı  $\phi$  (kayma direnci açıcısı) ise (kayma direnci) ile ifade edilirse, kayma direnci;



Şekil 2.2. Mohr-Coulomb hipotezine göre kırılma durumu

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

olarak gösterilebilir.

Her iki teoremin göz önüne almadığı efektif gerilme ilkesi Terzaghi tarafından geliştirilince konu esasta bu üç araştırmacının çalışmalarının bileşimi olarak geoteknikte uygulama bulmuştur [2]. Böylelikle zeminlerin kayma direnci günümüzde toplam (*drenajsız*) ve efektif (*drenajlı*) gerilmeler cinsinden ifade edilmektedir. Yumuşak kilde kısa süreli problemlerin çözümünde drenajsız kayma direncinin ( $c_u$ ) elde edilmesi yeterli olurken aynı kilde uzun süreli bir yarmada su zemin içinden sızmaya yeteri kadar vakit bulabileceğinden efektif (*drenajlı*) parametrelerin ( $c'$  ve  $\phi'$ ) kullanılması uygun olmaktadır. İnce dane (*kil ve silt*) oranı az olan iri daneli (*kum ve çakıl*) malzemelerde ise yükleme esnasında oluşan aşırı boşluk suyu basınçları hızla sönmüneceği için bu tip zeminlerin bulunduğu geoteknik problemlerde genellikle drenajlı kayma direnci parametreleri

kullanılmaktadır. Mohr-Coulomb hipotezi dışında zaman içinde başka hipotezler de yapılmıştır. Zeminlerin sünek olduğu kabulü ile çözüme giden bu teorilerden bazıları Tablo 2.1.'de gösterilmektedir. Tablodaki  $\sigma_t$  malzemenin çekme dayanımı,  $k$  ise denklem değişmezini ifade etmektedir.

Tablo 2.1.Kırılma-yenilme kriterleri [2]

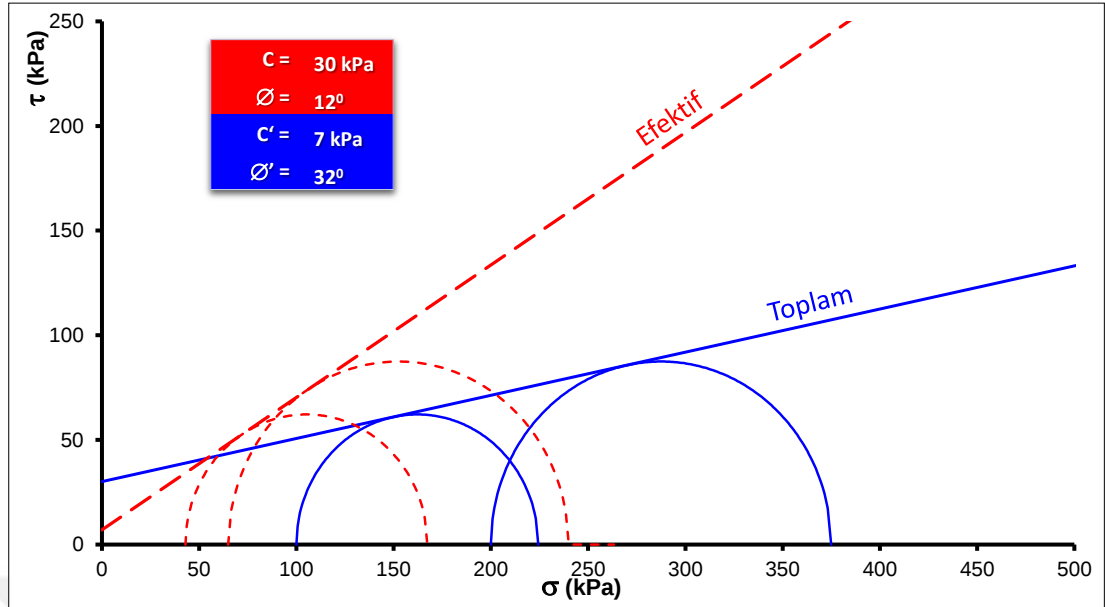
| Teori                   | Bağıntı                                                                                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tresca-Coulomb          | $\sigma_1 - \sigma_3 = 2k$                                                                                                |
| Geliştirilmiş Tresca    | $(\sigma_1 - \sigma_3) = k_2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$                                                             |
| Von Mises               | $(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 = 2k_3^2$                                    |
| Geliştirilmiş Von Mises | $(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 = 2k_4^2 (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2$ |
| Mohr – Coulomb          | $(\sigma_1 - \sigma_3) = k_5^2(\sigma_1 + \sigma_3)$                                                                      |
| Griffith (gevrek)       | $\sigma_1 = \sigma_t(\sigma_1 + 3\sigma_3 < 0)$<br>$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 8k_6(\sigma_1 + 3\sigma_3 > 0)$             |

### 2.3. Efektif Gerilmeler ve Kayma Mukavemeti

Şev stabilitesi ve stabilite analizleri geoteknik mühendisliğinin önemli problemlerinden biridir. Bu analizler zeminin türü, yüklemenin hızı ve drenajlı veya drenajsız duruma göre belirlenir. Boşluk suyu basınçları zeminlerin kayma direnci için önemli bir parametredir. Zeminin toplam ve efektif gerilme türünden belirlenen kayma direnci değerleri farklılıklar gösterebilmektedir. Mohr-Coulomb göçme hipotezine göre kayma direnci bağıntısı efektif gerilmeler cinsinden yazılırsa;

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir. Burada  $c'$  ve  $\phi'$  efektif gerilme cinsinden sırası ile kohezyonu ve kayma direnci açısını, göçme düzlemine etki eden  $(\sigma - u)$  efektif gerilmeyi göstermektedir. Efektif ve toplam gerilmeleri için çizilmiş mohr daireleri ve kırılma zarfları Şekil 2.3.'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Toplam ve efektif gerilme mohr daireleri

## 2.4. Kum Zeminlerin Kayma Direnci

Silt ve kil gibi ince daneli zeminlerde danenin yapısı ve daneleri çevreleyen su moleküllerinin tutunması ve daneler arasında bir ara yüzey meydana getirerek daneleri birbirine yapıştırması sebebiyle meydana gelen bir kayma direnci parametresi vardır. Bu parametre de zemin mekaniğinde kohezyon olarak isimlendirilir. Normal gerilme etkisi sıfır olsa bile silt ve kil gibi ince daneli zeminlerde bir miktar kayma mukavemeti kohezyon sebebiyle bulunur.  $c$  ile gösterilen kohezyonun değeri temiz kum ve çakıllarda sıfırdır. Silt ve killerde su muhtevası ve plastisiteye bağlı olarak değişir. İri daneli olarak nitelendirilen temiz kum zeminlerde sürtünme birinci derecede etkili olmaktadır ve bu zeminlerde kohezyon parametresi sıfır olarak alınmaktadır.

Çakıl, kum gibi iri daneli zeminlerde meydana gelen geçirgenlik değeri fazla olduğundan yükleme esnasında boşluk suyu zemin içerisinden kolaylıkla çıkabilmektedir. Bunun sonucu olarak boşluk suyu basıncında da herhangi bir artış ortaya çıkmadığından dolayı kumların, arazi yüklemeleri esnasındaki durumları ve davranışları belirlenirken drenajlı kayma direnci açısının bulunması yeterlidir. Bu

nedenle kum zeminler için kayma direnci bağıntısı denklem (3.1)'deki gibi ifade edilir.

$$\tau = \sigma' \times \tan \phi' \quad (2.3)$$

Kum zeminlerin kayma mukavemeti açısını ( $\phi$ ) etkileyen faktörler;

Dane biçimi: Yuvarlak daneler ile köşeli daneler arasında aynı sürtünme ve kilitleme etkisi görülmemektedir. Köşeli daneler arasında bu etki önemli boyutlara ulaşmaktadır.

Dane boyutu: Üiform veya düzgün dane dağılımlı kumların sahip olduğu kayma direnci açısıyı derecelenmiş zeminlerinkinden daha düşüktür.

Doygunluk derecesi: Kum doygunluğunu yitirdiğinde efektif çapa da bağlı olarak ortaya çıkan kılcallık etkisi kumda görünür kohezyon etkisi oluşturmaktadır.

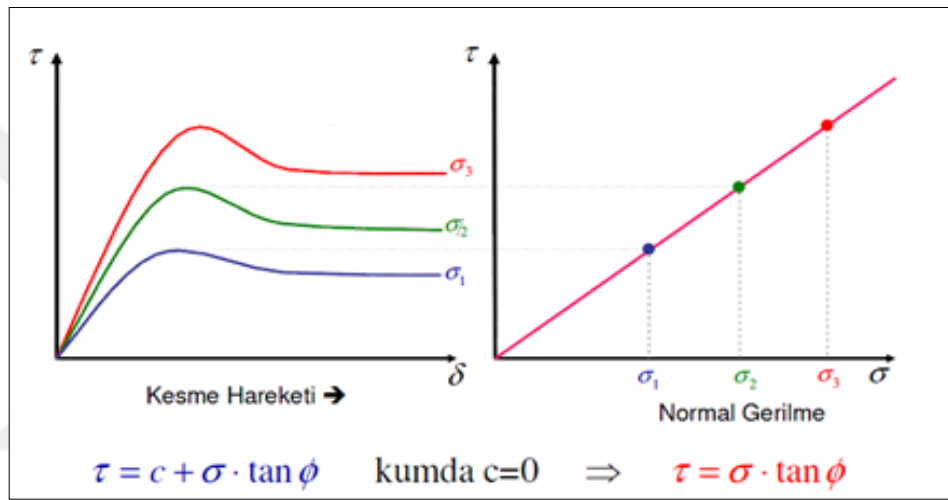
Birim hacim ağırlık ve boşluk oranı: Birim hacim ağırlık azaldıkça ve boşluk oranı arttıkça kumun kayma direnci de azalmaktadır.

Çimentolanma: Organik ve anorganik etkenlerle çimentolanma meydana gelebilir. Bu etki kumda kayma direncini arttırmaktadır. Özellikle deniz ortamlarında görülebilir.

Efektif gerilmeler: Aşırı konsolidasyon olayı killerde etkili olduğu kadar kumlarda da etkilidir ve bu olay kumların kayma direncini yükseltir.

Kumun kayma direnci en kolay şekilde laboratuvar da kayma direnci parametrelerinin ölçümünde kullanılan ilk yöntem olan kesme kutusu deneyi ile belirlenebilir. Bütün belirtilen bu unsurlar göz önüne alınarak, laboratuvarda yapılacak olan deneyler sonucunda elde edilecek kayma mukavemeti açısının doğru olabilmesi için deney numunesi ile arazi sıkılığının aynı olması gerekmektedir.

Bunun nedeni, sıklık derecesine bağlı olarak kayma mukavemeti açısı geniş bir aralıkta değişmesidir [5]. Kesme kutusu deneyinin yapılabilmesi için eşit birim ağırlıklardaki en az iki ya da üç numune farklı gerilmeler altında konsolide edilir ve her bir numune bu farklı gerilmeler altında belirli kesme hızı ile kesilirken, yatay ve düşey deformasyon değerleri ile kesme kuvveti ölçülüp kaydedilir. Şekil 2.4.'te normal gerilme ( $\sigma$ ) ye karşı en büyük kayma gerilmesine ( $\tau$ ) grafiği çizildiğinde, numuneye ait kırılma zarfı elde edilmiştir. Orijinden geçen bu doğru kayma direncinin normal gerilmeyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.4. Kesme kutusu deneyinde normal gerilme ve kayma direnci bağıntısı

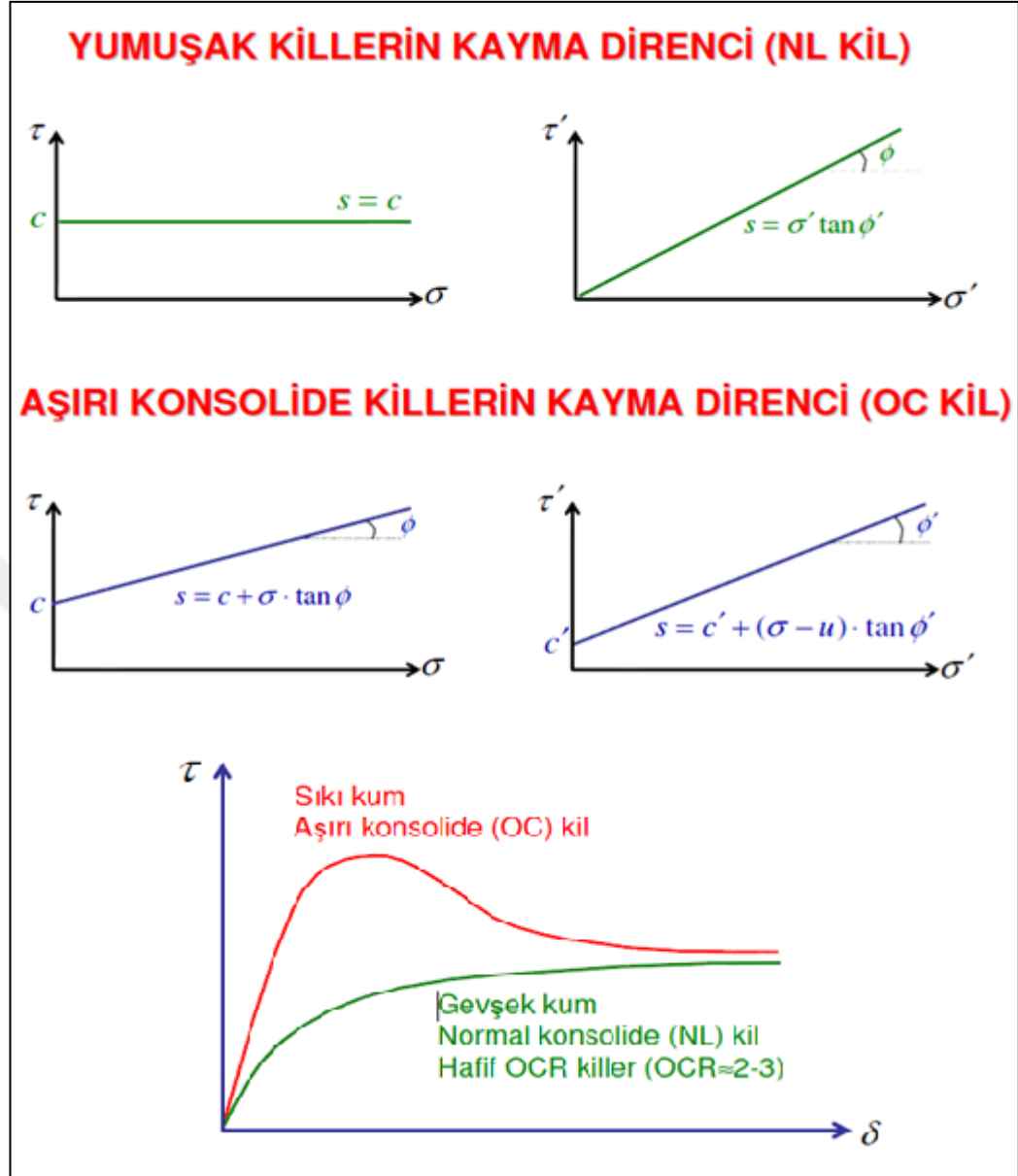
## 2.5. Kıl Zeminlerin Kayma Direnci

Kayma direnci konusunda kumlarla killeri ayıran en belirgin özelliklerin kumların yüksek geçirimsizliği ve killerde de jeolojik geçmişin daha etkili olması olarak söylenebilir. Kıl zeminlerin davranışları çakıl kum ve plastik olmayan siltlerden çok daha karmaşıktır. Killerin kayma direnci, içerdiği danelerin mikroskobik boyutları nedeniyle daneler arası yüzey kuvvetlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Gevşek kumlarla normal yüklenmiş killer, sıkı kumlarla da aşırı konsolide killerin gerilme-deformasyon( $\sigma$ - $\epsilon$ ), boşluk suyu basıncı-hacim değişimi ( $u$ - $\Delta V$ ) bağıntılarında paralellik ve kritik durumlarında tam benzerlik, bulunmaktadır [2].

Kil zeminlerin kayma direncini etkileyen faktörler;

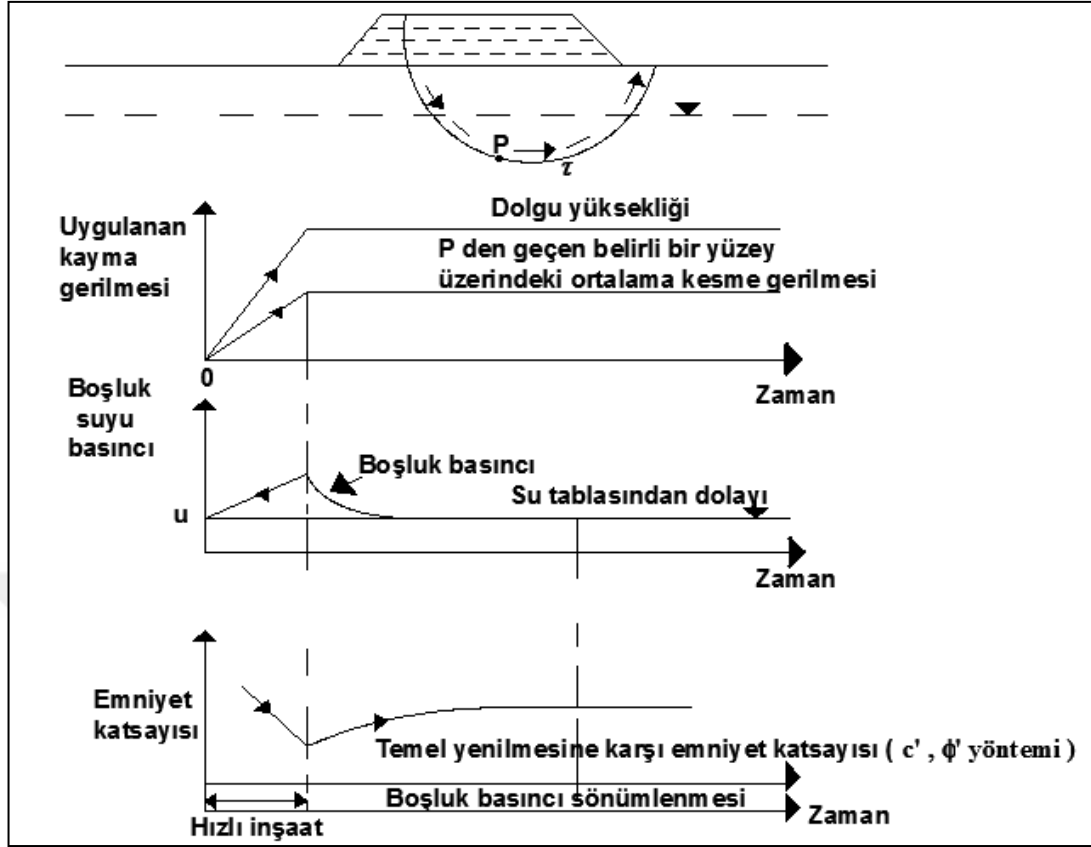
1. Geçerli yükleme ve drenaj koşulları,
2. Kesilme hızı,
3. Çimentolanma,
4. Kilin kıvam limiti,
5. Su muhtevası,
6. Kil mineralinin cinsi, dane boyutu ve şekli,
7. Daneler arası çekme veya itme kuvvetleri,
8. Kullanılan ölçüm teknikleri,
9. Kullanılan numunenin kalitesidir.

Araştırmalar sonucunda edinilen verilere göre killer normal yüklenmiş yani tamamen konsolide olmuş (*NL*), aşırı konsolide olmuş yani önceden yüklenmiş (*OCR*) ve fisürlü aşırı konsolide killer olarak gruplara ayrılmıştır. Şekil 2.5.'te normal ve aşırı konsolide zeminler için kayma gerilmesi-kayma deformasyonu ilişkisi görülmektedir.



Şekil 2.5. Normal ve aşırı konsolide zeminler için kayma gerilmesi-kayma deformasyonu ilişkisi

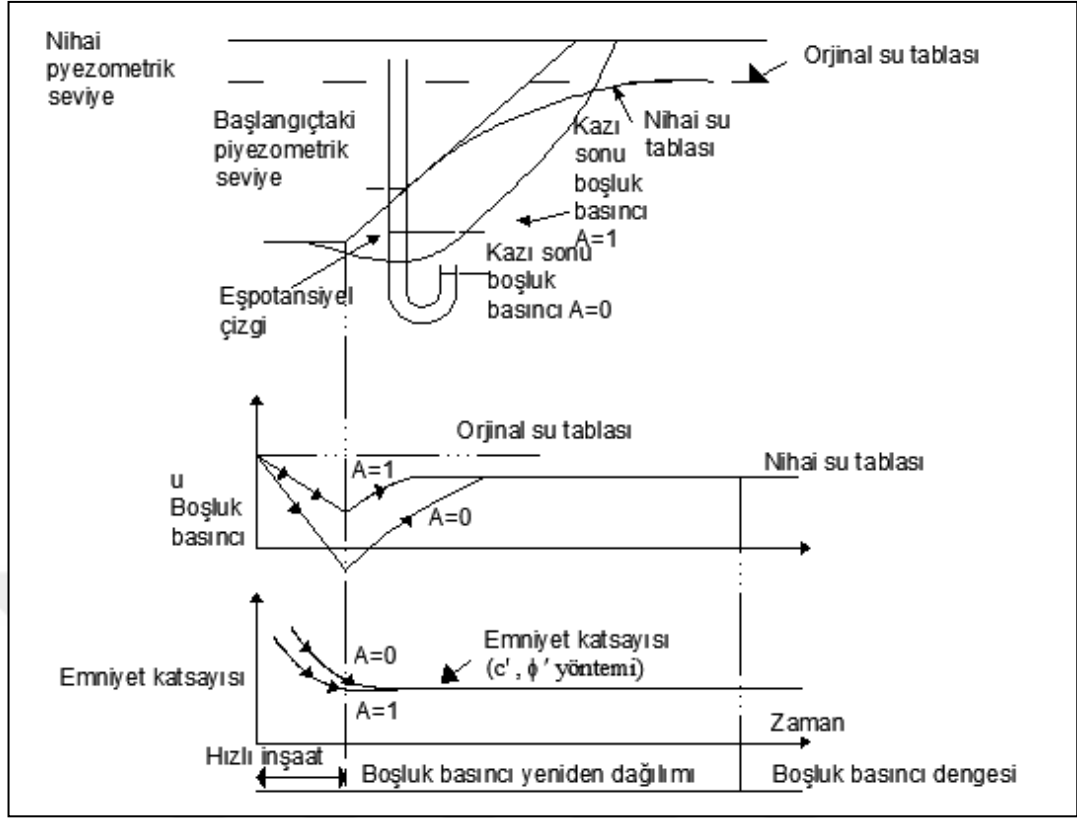
Killerde en önemli durumlardan biri dolgu ve kazı esnasında meydana gelen kritik durumlardır. Şekil 2.6.'da doymun kil üzerindeki dolguda kesme gerilmesi, boşluk suyu basıncı ve güvenlik sayısının zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 2.6. Dolguda güvenlik [6]

Uygulanan kayma gerilmesi miktarı yani dolgu yüksekliğinin yapımı arttıkça boşluk suyu basıncının arttığı ve daha sonra aynı yer altı su seviyesine geri döndüğü, emniyet gerilmesinin ise kayma gerilmesi arttıkça azaldığı, kayma gerilmesi maksimum olduğu andan sonra arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 2.7.'de kildeki kazı esnasında ve sonrasında kesme gerilmesi, boşluk suyu basıncı ve güvenlik sayısının zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 2.7. Yarmada güvenlik [6]

Uygulanan kayma gerilmesi miktarı yani yarma miktarı arttıkça boşluk suyu basıncının azaldığı ve daha sonra aynı yer altı su seviyesine geri döndüğü, emniyet gerilmesinin ise yarma miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

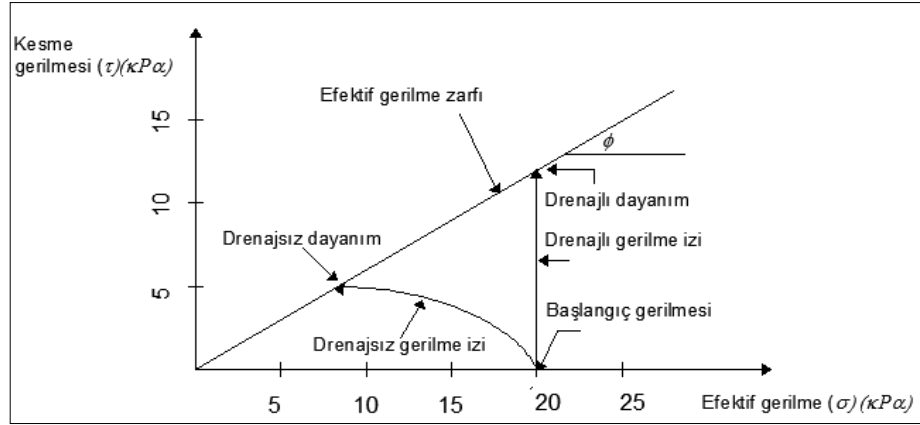
## 2.6. Drenajlı ve Drenajsız Kayma Direncinin Tanımı

Drenajlı ve drenajsız koşul kavramları zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından önemli bir yere sahiptir. Bu kavramlar zeminin yükleme sırasında bazı değişimlere uğradığı zamanın uzunluğuna kıyasla, suyun zeminde içeri ya da dışarı akma kolaylığı ve hızı ile ilgilidir. Yükte ortaya çıkan değişimlerin boşluk suyu basıncında değişime sebep olması en önemli noktadır.

Drenajlı durum, zemine uygulanan yük altında zeminde değişim meydana gelmesi esnasında suyun zemin içerisine girebildiği ya da çıkabildiği durumdur. Zemine yük geldiğinde zeminde bazı değişimler oluşur. Oluşan bu değişimlere tepki olarak

boşluk hacmi azaldığı ya da yükseldiği zaman su zemine serbest bir şekilde girip çıkabildiğinden dolayı, drenajlı koşullar altında zeminin altında kaldığı yükteki değişimler zeminin boşluklarındaki su basıncında herhangi bir değişime neden olmaz. Zeminin aldığı yükler ile aşırı boşluk suyu basıncı oluşmayacak şekilde zeminin yavaş yüklendiği durum ise drenajlı dayanım durumudur. Arazideki drenajlı koşullar, yükler zemin üzerinde zemin drene olabilecek kadar uzun kalması sonucu ya da yüklerin zemin kütlelerine yavaş yavaş uygulanması sonucu meydana gelir. Laboratuvarındaki drenajlı koşullarda ise, zemin yüklenirken boşluk suyu basınçları oluşmayacak şekilde deney numunelerinin yavaş yavaş yüklenmesi sonucu oluşur.

Drenajsız durum ise, zemine uygulanan yük altında zeminde değişim meydana gelmesi esnasında suyun zemin içerisine giremediği ya da çıkamadığı durumdur. Su zemin içine giremediğinde ya da çıkamadığında, zeminin altında kaldığı yükteki değişim zeminin boşluklarındaki su basıncında değişime sebep olur. Drenajsız dayanım, zeminin drenajsız koşullardaki yükler altında yenildiği zamanki dayanımıdır. Arazide drenajsız koşullar, zemin kütlesi üzerine yapılan yüklemeler zeminin drenaj hızından daha hızlı şekilde uygulanırsa drenajsız koşullar olur. Laboratuvarındaki drenajsız dayanım ise, numunenin koruyucu kılıf (membran) içine yerleştirilerek, numunenin drene olamayacak kadar hızlı yüklenmesiyle elde edilir, bu sırada drenaj vanaları kapalıdır. Şekil 2.8.'de kesme kutusu deney numunesinin gerilme izleri ile drenajlı ve drenajsız yenilme durumu için kesme dayanımları görülmektedir. Drenajlı gerilme izi kesme gerilmesinde artışta ve yatay düzlem üzerinde sabit efektif gerilmeye karşılık gelecek şekilde düşeydir. Kesme gerilmesindeki artışa boşluk suyu basıncındaki artıştan dolayı azalan efektif gerilme eşlik ettiğinden, drenajsız gerilme izi sola doğru eğilir.



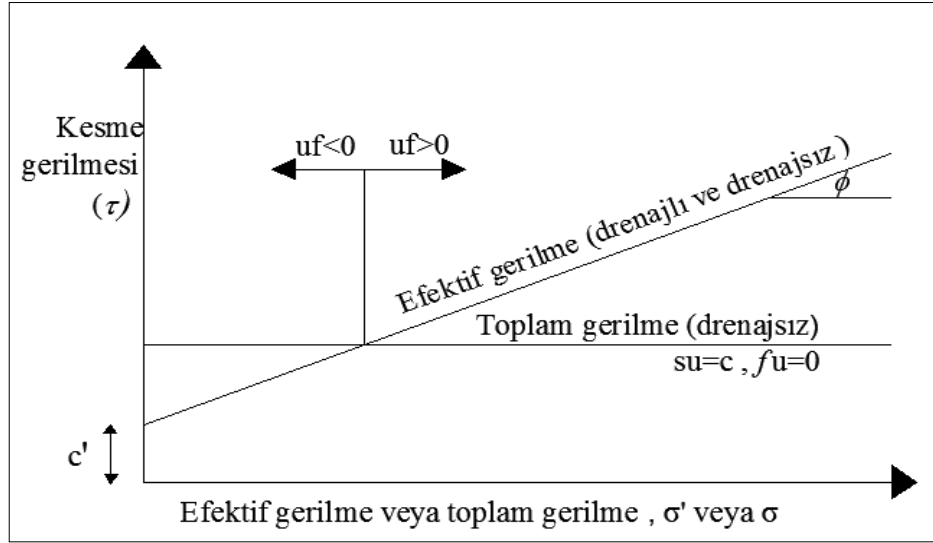
Şekil 2.8. Drenajlı ve drenajsız gerilme izleri ile kesme dayanımları

Drenajlı ve drenajsız koşulun farkı zamandır. Drenajsız koşuldan drenajlı koşula geçmek, zamanın belirlenmesi ve zemin kütlesinin özelliklerine bağlıdır.

## 2.7. Drenajlı ve Drenajsız Koşullar İçin Analiz

Drenajlı koşullar tüm zeminler denge durumuna gelecek biçimde ve yüklerden kaynaklı hiçbir aşırı boşluk suyu basıncı olmayacak şekilde, yükteki değişimlerin yeteri kadar düşük olduğu durumlardır. Zemin içindeki su durağan olabilir ya da zemin içindeki su miktarını etkilemeyecek şekilde yani herhangi bir artış veya azalış olmayacak şekilde zeminde sızıntı gözlemlenebilir. Bu koşullar altında drenajlı analiz yapılması uygundur. Drenajlı analiz için toplam birim ağırlık, efektif kesme dayanımı parametreleri ve boşluk suyu basınçlarının bilinmesi gereklidir.

Drenajsız koşullar için, yüklerdeki değişimler suyun zemine girme ya da çıkma hızından fazla ise bu koşul drenajsız koşuldur. Boşluk suyu basınçları, zeminin davranışından dış yüklerde oluşan farklılıklara tepki olarak belirlenir. Bu şartların sağlanması durumunda drenajsız analizler uygundur. Drenajsız analiz için toplam birim ağırlıklar ve kesme dayanımı parametreleri gereklidir. ( $c$ = toplam gerilme kohezyonu,  $s_u$ =drenajsız kesme dayanımı ve  $\phi_u$ = toplam gerilme sürtünme açısı ). Şekil 2.9.'da doymuş kil için drenajlı ve drenajsız dayanım zarfları görülmektedir.



Şekil 2.9. Doymun kil için drenajlı ve drenajsız dayanım zarfları

## 2.8. Geoteknik Mühendisliğinde Drenajlı Kayma Direncinin Önemi

Yapıların üzerine inşa edildiği ortamların statik ve dinamik yükleri taşıyabilmeleri açısından çeşitli mühendislik parametreleri, zemin koşullarının, yapı zemin etkileşiminin, fiziksel-mekanik özelliklerinin ve zemin parametrelerinin iyi belirlenmesi ve analiz yapılması gerekmektedir.

Geoteknik mühendisliğinin önemli konularından biri şev stabilitesi ve stabilite analizleridir. Ülkemizde bulunan şevlerin belirli bir süreden sonra önemli stabilite problemleriyle karşılaşılması kayma direnci parametrelerinin önemini göstermektedir.

Bu problemlerin çözümünde ise, zeminin geçirgenliğine bağlı olarak drenajlı ya da drenajsız dayanım kullanılarak inşaat aşamasındaki ya da bitimindeki şev duraylılığının analizi yapılabilir. İnce daneli zeminlerin çoğunun geçirgenliği inşaat esnasında çok azdır. Bu yüzden ince daneli zeminler için, toplam gerilme analizi ile beraber karakterize edilen drenajsız kesme dayanımları kullanılır. Serbestçe drene olan zeminler için ise drenajlı dayanımlar kullanılır [7].

## 2.9. Zeminlerin Kayma Direncinin Belirlenmesi

Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışının ve kayma mukavemetinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için, deney koşulları ile doğal koşulların olabildiğince benzer olması gerekmektedir. Kayma mukavemeti zeminin arazide yüklenmeden önce yerindeki başlangıç durumunu yansıtan konsolidasyon basıncı, boşluk oranı, su muhtevası, suya doygunluk derecesi gibi faktörlerden, arazi yükleme türü ve hızından ve drenaj koşullarından etkilenmektedir [5].

Zeminlerin kayma mukavemetini belirlemek için kullanılan birçok laboratuvar ve arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir. Kumlu ve yumuşak killi zeminler gibi numune alımının zor olduğu zeminlerde arazi deney sonuçlarından yararlanılmaktadır. Killi zeminlerin drenajsız kayma dirençleri ile arazi deneylerinde yapılan deneylerde bulunan kayma dirençleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Kayma direnci parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan SPT, CPT ve kanatlı kesici veyn deneyi arazi deneylerinin başlıcalarıdır. Zeminlerin kayma direnci parametrelerini bulabilmek için kullanılan laboratuvar deney yöntemlerinden kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi ve üç eksenli basınç en yaygın olan deneylerdir.

### 2.9.1. Kesme kutusu deneyi

Kesme deneyleri kayma direnci parametrelerinin ölçümünde kullanılmış ilk metottur. Kesme kutusunun ilk denemesi 1776' da Coulomb tarafından yapılmış [8] ve laboratuvar deney yöntemleri ile zeminlerin kayma direncinin ölçümü ilk olarak 1846'da Fransız mühendis Alexandre Collin tarafından yapılmıştır [9]. Collin'in kullandığı deney aleti, günümüzde kullanılan kesme kutusu deney aletine benzemektedir. Günümüzde kullanılan kesme kutusu deney aleti yirminci yüzyılın ilk yarısında son şeklini almıştır [10].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kesme kutusu 1932 yılında Harvard (ABD) Casagrande tarafından tasarlanmıştır. Dört yıl sonra Gilboy sabit devirli motor kullanarak deplasman (deformasyon) kontrollü deneylerin yapılmasına olanak

sağlamıştır. Bishop (1946) bu deney sisteminin tasarımındaki gelişmeleri ve prensiplerini tanıtmıştır. Çoğu kesme kutusu makineleri halihazırda deplasman kontrolü prensibine dayanmaktadır. Bu makine deplasman hızları açısından geniş bir yelpaze sunar [11].

Kesme kutusu deneyi uzun zamandan beri kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Kesme kutusu deneyinin amacı özellikleri farklı olan kohezyonlu veya kohezyonsuz zemin numunesine kesme etkisi uygulayarak zemin numunesinin kayma direnci parametrelerini bulmaktır. Bu deney kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için uygundur fakat kum zeminler için en uygun yöntemdir. Kesme kutusu deneyinde zemin numunesi dikdörtgen kesitli iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit kalmak şartıyla alt parçası yatay bir düzlem boyunca hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme uygulayarak, böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması sağlanmaktadır.

Kesme kutusu deneyinde numuneyi kesme hızı, zeminin arazideki drenaj şartlarına göre seçilir. Yüksek geçirimsizliğe sahip olan kum ve çakıl gibi (iri daneli) zeminler, özel durumlar (deprem yükleri gibi) haricinde uygulamalarda, drenajın sağlanması ile boşluk suyu basınçlarının oluşmayacağı kabul edilmektedir. Düşük permeabiliteye sahip olan kil ve silt gibi zeminlerde kısa zamanlı stabilite analizlerinde toplam gerilmelere göre, drenajın sağlanacağı kabul edilerek uzun süreli stabilite analizlerinde ise efektif gerilmelere göre çalışılmalıdır [12].

Kesme kutusu deneyi en çok kumların kayma direnci parametrelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Şev ve yamaç stabilitesi gibi problemlerde kullanmak için kesme kutusundan elde edilen verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, kesme kutusu deneylerinde kayma direnci parametrelerinin farklı zemin türleri için bulmak zor olmaktadır. Bu da kesme kutusu deney aletinde boşluk suyu basınçlarının

ölçülememesinden kaynaklanmaktadır. Buna karşın kesme kutusu deneyi yaygın olarak kullanılan laboratuvar deney yöntemlerinden biridir.



Şekil 2.10. Kesme kutusu deney düzeneği

Deneyin en sakıncalı yanı ise, kesilmeye zorlanan yüzeyin zeminin en zayıf kayma yüzeyi olmayabileceğidir. Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncının ölçülememesi, göçmeye ulaşmadan önceki gerilme seviyelerinde asal gerilme doğrultularının belirsiz olması ve kırılma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmaması bu deneyin kısıtlayıcı yönlerini oluşturmaktadır. Ayrıca, kalıcı kayma mukavemetinin belirlenebildiği deformasyona ulaşmak için deneyin durdurularak geriye alınması ve çevrimler halinde yapılması da birtakım sorunlar yaratabilmektedir [2].

### 2.9.2. Serbest basınç deneyi

Bu deneyde silindirik bir zemin numunesine sadece eksenel doğrultuda yükleme verilmektedir. Eksenel yük artışları altında gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Aynı zamanda ortaya çıkan numunenin boy kısalması ölçülmektedir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri zeminin serbest basınç mukavemet değerini göstermektedir. Yanal destek olmaksızın bu deney, kendisini dik tutabilecek özelliklere sahip numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Bundan dolayı bu deney kum

zeminlerde uygulanamaz. Deney esnasında zeminin drenaj koşulları kontrol edilemediğinden dolayı yükleme hızlı yapılarak zeminin drenajsız kayma direnci parametreleri elde edilir. Yüklemeden önce zemini konsolide edememek ve boşluk suyu basıncının ölçülememesi deneyin kısıtlayıcı yanlarıdır. Bu özelliklere rağmen bu deney killerin drenajsız kayma direncini bulmak için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu deney ile zeminin göçme anındaki yenilme durumunu gösteren Mohr daireleri ve drenajsız kayma direnci zarfı çizilebilir. Tablo 2.2.'de killerin kıvamı ve serbest basınç dayanımları arasındaki ilişki verilmiştir.

Şekil 2.11. Serbest basınç dayanımına göre kıvamı [13]

| Kıvam       | $q_u(kPa)$ |
|-------------|------------|
| Çok yumuşak | <25        |
| Yumuşak     | 25-50      |
| Orta katı   | 50-100     |
| Katı        | 100-200    |
| Çok katı    | 200-400    |
| Sert        | >400       |

### 2.9.3. Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyi, genellikle kendini tutabilen, kohezyonlu zeminler için uygulanan bir yöntemdir fakat deney yönteminde yapılacak bazı değişiklikler sayesinde kohezyonsuz zeminlerde de uygulanabilir.

Üç eksenli basınç deney düzeni ile zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma direncini gerçeğe en yakın olarak belirlemek mümkündür. Deney aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

**Aşama 1:** Zemin, arazi koşullarında belirli jeolojik yüklerin etkisi altında kalmaktadır. Böyle bir ortamdan alınan numuneye, deneye başlamadan önce arazi koşullarına yaklaşmak için her üç doğrultuda da hidrostatik gerilme uygulanır.

Aşama 2: Zemin numunesine tek doğrultuda eksenel basınç uygulanarak, gerilme deformasyon değişimleri belirlenir. Kırılmanın gerçekleştiği gerilme değeri kaydedilir. Zeminin permeabilitesiyle orantılı olarak (buna bağlı olarak) yükleme hızı belirlenir. Drenaja müsaade edilmediğinde, boşluk suyu basıncında meydana gelen değişim; drenajlı durumda ise numunenin hacminde oluşan değişiklik belirlenmektedir. Deney, farklı konsolidasyon ve drenaj durumları için uygulanabilir.

Üç eksenli basınç deney yöntemi, en gelişmiş yöntem olarak da bilinmektedir. Bunun sebebi arazi koşullarını laboratuvar ortamında gerçeğe yakın şekilde modelleyebilmesidir. Bunun sonucu olarak kayma direnci parametreleri gerçeğe yakın olarak saptanabilir. Üç eksenli basınç deneyinde, bir hücre içerisine silindirik biçimdeki zemin numunesi yerleştirilir ve daha sonra deneyde, hücreye hava veya su basıncı yardımıyla zemin numunesine hidrostatik bir basınç uygulanır. Numune etrafında bulunan koruyucu membran sayesinde hücre içerisinde bulunan zemin numunesinin sudan etkilenmesini ve suyla temasını önler ve zemin numunesinin içine ve dışına ayrı ayrı basınçlar uygulanmasını sağlar. Eksenel gerilme, numune üzerinde olan başlığa temas eden bir piston yardımıyla numuneye etkir. Eğer drenaj istenirse, numune alt ve üst başlıklara bağlı bulunan kanallar yardımıyla kontrol edilebilmektedir.

Deneyde, zemin numunesine birbirine dik üç doğrultuda asal gerilmeler uygulanmaktadır. En büyük gerilme  $\sigma_1$ , en küçük gerilme  $\sigma_3$ , orta eksenel gerilme ise  $\sigma_2$  olmak üzere; Deney başında;

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \quad (2.4)$$

denkleminde eşittir. Deney süresince;  $\sigma_2 = \sigma_3$  olacaktır.  $\sigma_1$  ise kırılma gerçekleşinceye kadar arttırılacaktır. Deney esnasında en büyük gerilme olan  $\sigma_1$  uygulanan eksenel gerilme ile hücre basıncının toplamına eşittir.

Konsolidasyonsuz - Drenajsız Deneyler (UU): Konsolidasyonsuz - drenajsız deneylerde, zemin suyunun hem hücre basıncı uygulanmasında hem de eksenel yükleme esnasında numuneden dışarı çıkmasına müsaade edilmemektedir.

Konsolidasyonlu - Drenajsız Deneyler (CU): Numune deneye başlamadan önce, arazi şartlarında bulunduğu çevre gerilmesine eşdeğer bir basınç altında konsolide edilir. Daha sonra eksenel yükleme uygulanması esnasında numune içindeki suyun dışarı çıkmasına yani drene olmasına izin verilmezken, konsolidasyonlu -drenajsız deneylerde kesme işlemi sırasında boşluk suyu basıncı ölçülebilmektedir. Böylelikle efektif gerilmelere göre de kayma direnci parametreleri elde edilebilir.

Konsolidasyonlu - Drenajlı Deneyler (CD): Hidrostatik hücre basıncı uygulanması ve eksenel yükleme aşamasında drenaja izin verilebilen deneylerdir. Konsolidasyonlu–drenajsız üç eksenli deneyde olduğu gibi numune kesme işleminden önce belirlenen basınç altında konsolide işlemini gerçekleştirir ve konsolide tamamlandıktan sonra drenaj koşulları tümüyle sağlanarak, uygulanan kesme gerilmelerinin boşluk suyu basıncında herhangi bir artış gerçekleştirmemesi için numune çok düşük hızda kesilmektedir. Böylece ortaya çıkan kayma direnci parametreleri sadece efektif gerilme türünden elde edilecektir.

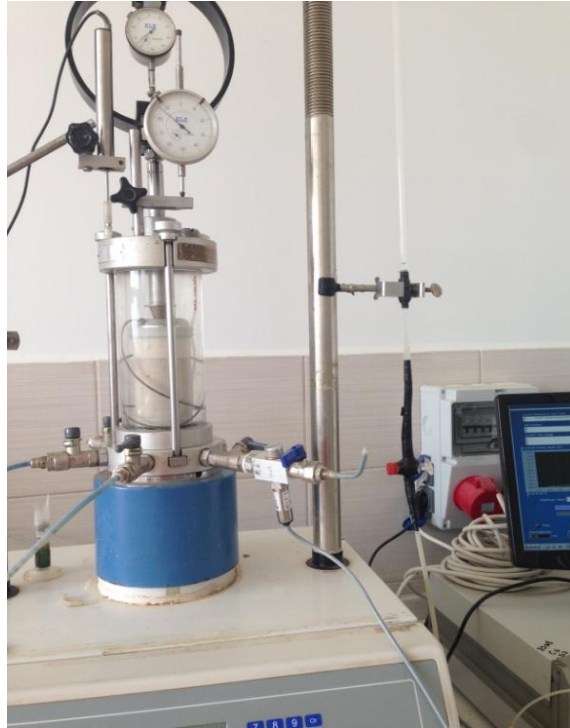
Farklı türlerde üç eksenli basınç deneyleri uygulayarak, arazideki zemin tabakalarının farklı yükleme ve drenaj koşulları altında gösterecekleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerini belirlemek mümkündür.

Drenajlı koşullarda uygulanan basınç altında, zeminde hacim değişimleri oluşurken, drenajsız koşullarda boşluk suyu basıncında artışlar meydana gelmektedir. Zemin, başlangıçta suya doygunluk derecesine bağlı olarak davranışlarında farklılıklar gösterebilmektedir. Suya doygun zeminin hacim değiştirme davranış eğrileri ile ödometre deneyinde ortaya çıkan konsolidasyon davranış eğrileri birbirine büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Kısmen suya doygun zeminde ise ilk olarak ani bir hacim azalması (boşluklardaki havanın sıkışması sonucu) oluşurken, daha sonra suya doygun zemininkine benzeyen bir davranış ortaya çıkmaktadır. Tamamı suya doygun

zeminde ise, hacim sabit kalırken, boşluk suyu basıncında oluşan hidrostatik basınca eşit bir artış meydana gelmektedir. Doygun olmayan zeminde önce bir miktar hacim değişikliği (sıkışma) ve boşluk suyu basıncında küçük artışlar meydana gelmekte daha yüksek basınçlar altında ise zemin içindeki hava hacmi iyice küçüldüğü için, hacim sabit kalmakta ve hidrostatik basınç artışları oranında boşluk suyu basıncı artışı meydana gelmeye başlamaktadır. Drenajsız durumda hidrostatik basınç altında oluşan boşluk suyu basıncı artışlarını zeminin doygunluk derecesini belirlemek için kullanmak mümkündür. Meydana gelen boşluk suyu basıncı artışının uygulanan hidrostatik basınca oranı,

$$B = \frac{\Delta u(\text{boşluk suyu basıncı değişimi})}{\Delta \sigma_c(\text{hidrostatik basınç artışı})} \quad (2.2)$$

Suya doygunluk derecesi  $S = \% 100$  olan zeminlerde  $B = 1.0$  değerini alırken, kısmen suya doygun zeminlerde ( $B < 1.0$ ) olmaktadır. Şekil 2.12.'de üç eksenli hücre kesme deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.12. Laboratuvar ortamında üç eksenli hücre kesme deney düzeneği (SAÜ)

#### 2.9.4. Arazi deneyleri

Bazen dayanımın arazide ölçülmesi laboratuvar deneylerinde meydana gelen bazı sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Yumuşak killer için yaygın olarak kullanılan yöntemler konik penetrasyon deneyi ve kanatlı kesme deneyidir. Standart penetrasyon deneyi daha çok daneli zeminler için uygundur. Zeminden örnek alınırken karşılaşılan örselenme problemleri çoğu zaman arazi deneyi sayesinde ortadan kalkmaktadır.



## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **3.1. Materyal**

Araştırmada, geoteknik açıdan farklı özelliklere sahip numuneler üzerinde farklı konsolidasyon yükleri altında direkt kesme kutusu deneyi ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basıç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla likit limit, plastiklimit, piknometre ve hidrometre deneyleri gibi sınıflandırma deneyleri yapılmıştır.

### **3.2. Yöntem**

#### **3.2.1. Zeminlerin drenajlı kayma direncinin belirlenmesi**

Drenajlı durum, zeminin maruz kaldığı yükte değişim oluşturabilecek bir zaman aralığında suyun zemine girebildiği ya da çıkabildiği durumdur. Yükte meydana gelen değişimlere tepki olarak boşluk hacmi azaldığı veya arttığı zaman su serbest bir şekilde zemine girip çıkabildiği için, drenajlı koşullar altında zemin üzerine gelen yükteki değişimler zeminin boşluklarındaki su basıncında değişime neden olmaz.

Drenajlı dayanım, altında kaldığı yükler altında zeminde aşırı boşluk suyu basıncı oluşmayacak şekilde zeminin yavaş yüklendiği andaki dayanımdır. Arazideki drenajlı koşullar, zeminin üzerindeki yüklerin zemin drene olana kadar kalması sonucu ve yüklerin zemine yavaş yavaş uygulanması sonucunda ortaya çıkar. Laboratuvardaki drenajlı koşullar ise, zemin yük aldığı anda aşırı boşluk suyu basınçları oluşmayacak şekilde zeminin oldukça yavaş yüklenmesi sonucunda meydana gelir.

Zemin içindeki su durağan ya da zaman içinde sızmada değişiklik olmayacak şekilde ve zemin içindeki su miktarında yükselme veya azalma meydana gelmeyecek şekilde

düzenli sızma gösterebilir. Bu durumda bu şartların sağlanması halinde drenajlı analiz yapılması uygundur. Drenajlı analiz için şunlar gereklidir:

1. Toplam birim ağırlıklar
2. Efektif gerilme kesme dayanımı parametreleri
3. Hidrostatik su seviyelerinden veya dengeli sızma analizlerinden belirlenen boşluk basınçları.

### 3.3. Drenajlı Kayma Direncinin Deneysel Yöntemler İle Belirlenmesi

Bir zeminin kayma direncini ölçümünün en eski çalışması Fransız mühendis Alexandre Collin (1846)'e aittir ve Alexandre Collin tarafından belirgin özellikleri açıklanmıştır.

İngiltere'de günümüzde gelişmiş halde bulunan kesme kutusu aletinin ilkel hali Bell (1915) tarafından yapılmış ve en eski ölçümler yine Bell tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Bell, ilk kez değişik zemin tipleri üzerinde kesme kutusu deneyi yapmış ve bu deneylerin sonucunu yayımlamış bir bilim adamıdır [14]. Kesme kutusu günümüzdeki modern halini 1932 yılında A. Casagrande Harvard (USA)'da vermiştir. Günümüzde, kesme kutusu deney aleti çok geniş aralıkta yerdeğiştirme hızına sahiptir. Hız, dakikada birkaç milimetreden 10000 kat daha yavaş olacak şekle kadar değişebilmektedir.

Zeminlerin drenajlı parametreleri laboratuvarında daha çok üç eksenli hücre kesme deneyleri ile kesme kutusu deneylerinden bulunmaktadır. Boşluk suyu basıncının değişimi açısından yapılacak üç eksenli deneyler üç grupta toplanabilir:

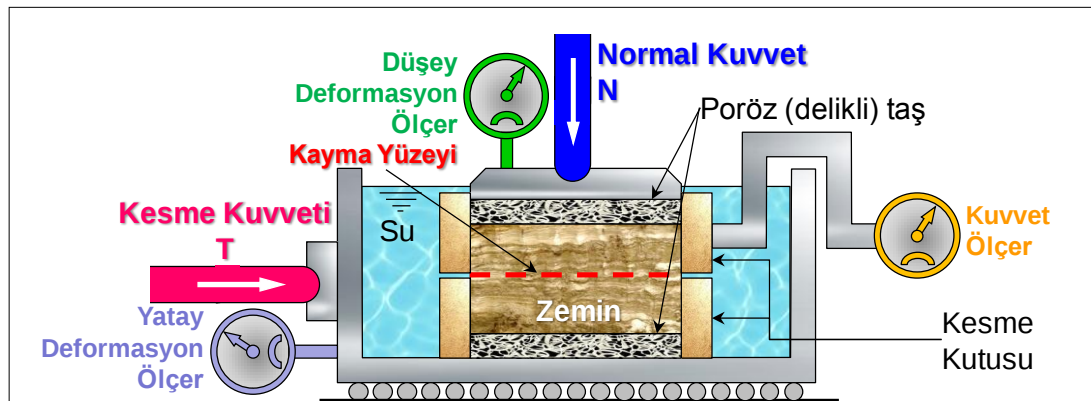
- a- Konsolidasyonsuz - Drenajsız Deneyler (UU)
- b- Konsolidasyonlu - Drenajsız Deneyler (CU)
- c- Konsolidasyonlu - Drenajlı Deneyler (CD)

Yukarıdaki üç eksenli hücre kesme deneylerinden efektif parametreleri bulmaya yönelik olarak CU ve CD deneyleri kullanılmaktadır.

Üç eksenli hücre kesme deneyinde boşluk suyu basınçları ölçülebilir ve kontrol edilebilir olduğundan hem drenajlı hem de drenajsız parametrelerin bu deney ile tayininde bir problem yoktur. Ancak özellikle şev ve yamaç stabilitesi gibi problemlerde kesme kutusundan gelen verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, kesme kutusu deneylerinde söz konusu parametrelerinin farklı zemin türleri için elde edilmesinde birtakım zorluklar bulunmaktadır.

### 3.3.1. Kesme kutusu deney prosedürü

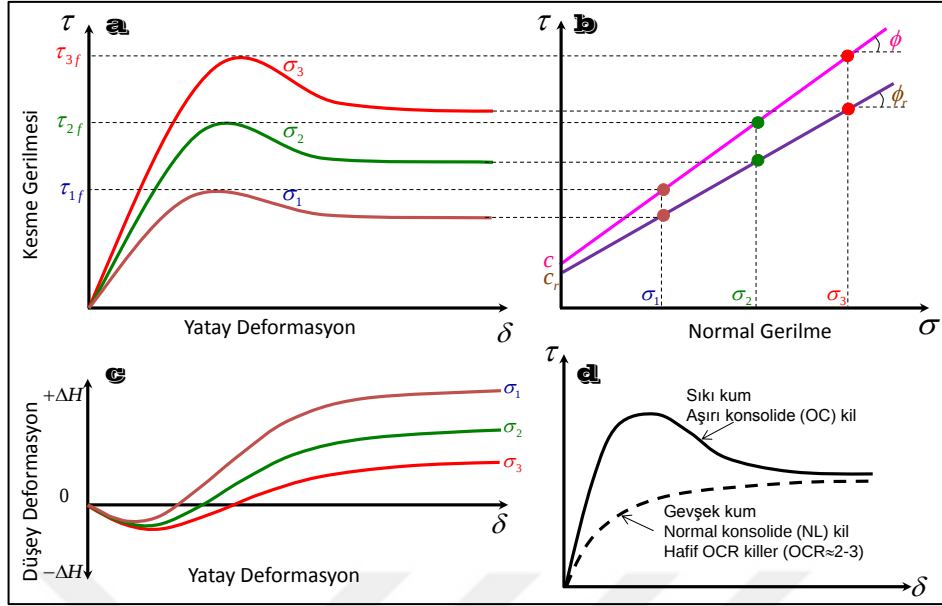
Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay bir düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme uygulayarak, kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır ve belirli bir normal gerilme altında uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yerdeğiştirmeler ölçülmektedir.



Şekil 3.1. Direkt kesme kutusu deney düzeneği

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi, kare veya daire kesitli A alanına sahip örnek üstteki kapaktan metal kesme kutusunun içine yerleştirildikten sonra su ile doldurulur ve zeminin arazide almakta olduğu gerilmeler dolayında bir normal gerilmeye ( $\sigma=N/A$ ) tabi tutulur. Bu yük altında konsolidasyon tamamlandıktan sonra uygulanan kesme kuvveti ( $\tau$ ) ile gereken hızda kesilir. Bu sırada alınan ölçümler yatay hareket ( $\delta$ ), düşey hareket ( $\Delta H$ ) ve kesme kuvvetidir ( $\tau$ ). Kesme sırasında beliren ancak bu düzenek ile ölçülemeyen fazla boşluk suyu basınçlarının ( $u$ ) sönümü kesme hızına bağlıdır. Bu deney drenajlı kabul edildiğinden kesme sırasında numune içinde aşırı boşluk suyu basıncı oluşmayacak bir hızda kesilmelidir. Numune içinde gelişen aşırı boşluk suyu basınçları numunenin altında ve üstünde bulunan delikli (poröz/porous) taşlar vasıtası ile sönümlenir. Bununla birlikte, bu deneyde numune ne denli hızlı kesilirse kesilsin drenaj tümüyle önlenemeyeceğinden, gerçek Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) deneyin gerçekleşmeyeceği kabul edilmektedir.

Kesme Kutusu deneyi üç veya dört numune üzerinde gerçekleştirilir [4]. Şekil 3.2.'de bir kesme kutusu deneyinde sonuçların gösterilmesi sunulmaktadır. Kesme kutusunda farklı normal gerilmeler için yatay deformasyona ( $\delta$ ) karşılık kesme gerilmesi ( $\tau$ ) diyagramları çizilir (Şekil 3.2.a). Üç veya dört deney için de tekrarlanan bu işlem sonucunda her bir normal gerilmeye karşılık gelen kesme gerilmeleri Normal gerilme ( $\sigma$ ) - kesme gerilmesi ( $\tau$ ) diyagramına taşınır (Şekil 3.2.b). Tüm noktalardan geçen ortalama doğru zeminin kırılma (yenilme) doğrusunu verir. Doğrunun eğiminin ark tanjantı kayma direnci açısını ( $\phi$ ),  $\tau$  eksenini kestiği nokta ise kohezyon ( $c$ ) parametrelerini verir. Bu parametrelere kayma direnci parametreleri adı verilir. Ayrıca yine yatay deformasyona ( $\delta$ ) karşılık düşey deformasyon ( $\Delta H$ ) diyagramları da gösterilir (Şekil 3.2.c). Sıkı kum ve aşırı konsolide killerde kesme sırasında oluşan kayma gerilmeleri bir maksimum değere ( $\tau_f$ ) (*peak/maximum shear stress*) ulaşır, yatay hareketin devam eden aşamalarında ise kayma gerilmeleri genelde düşer ve sonunda sabit bir değere ulaşır. Ancak normal ve hafif aşırı konsolide killer ile gevşek kumlarda kesme aşamasında bir tepe (*peak*) noktasına ulaşamayabilir ve bu durumda %20 deformasyona karşılık gelen gerilme son kesme gerilmesi olarak hesaba katılır (Şekil 3.2.d).



Şekil 3.2. Kesme kutusunda sonuçların yorumlanması

### 3.3.2. Konsolidasyon deneyleri

Zemin daneleri arasında, boşluklarda yer alan su (boşluk suyu) ince daneli zeminlerde yükleme sonucu hemen dışarı çıkamaz. Bu durumdan dolayı boşluk suyu basıncında artmalar meydana gelir. Artan boşluk suyu basınçları ile zeminde su akımı meydana gelir ve boşluk suyu zamanla dışarı çıkar. Zaman ( $t$ ) faktörünü de içinde barındıran ve boşluklardaki suyun bir yük altında dışarı atılması olayına konsolidasyon adı verilmektedir.

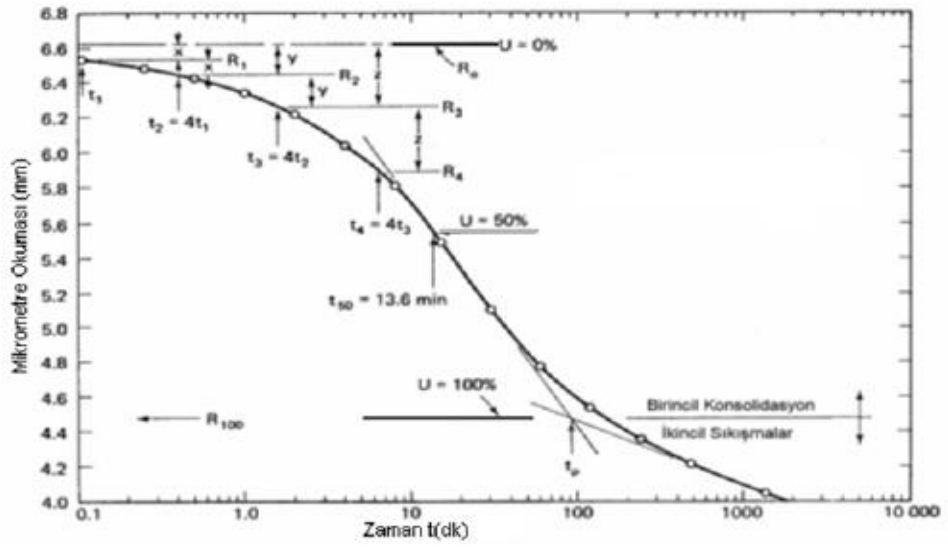
Konsolidasyon zaman bağlı olarak gelişen bir süreçtir, bazı zeminlerde 100 yıla varan uzun bir süreci alabilmektedir. Yükleme nedeniyle zemin hacminde değişimler meydana gelir ve özellikle ince daneli zeminlerde oturma miktarını belirlemek amacıyla konsolidasyon deneyi uygulanır. Zeminin permabilite (geçirimsizlik)  $k$  değeri biliniyorsa Casagrande ve Taylor karekök yöntemine göre zeminin sıkışma katsayısı bulunarak konsolidasyon hızı elde edilir.

Casagrande logaritma yönteminde %50 konsolidasyonun tamamlandığı süre olan  $t_{50}$  elde edilirken (3.1), Taylor karekök yönteminde konsolidasyonun %90 seviyesine ulaştığı  $t_{90}$  değeri elde edilir (3.2).

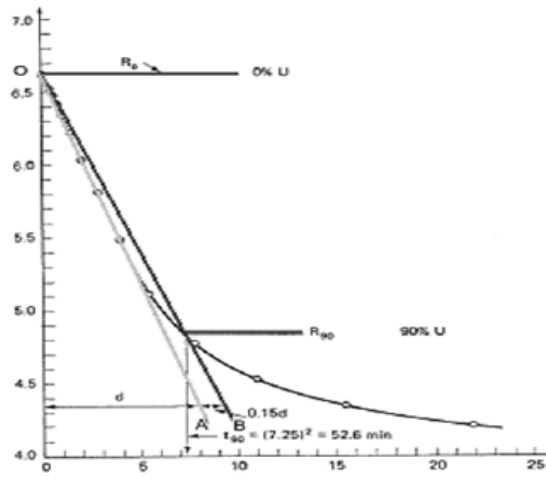
$$c_v = 0,197 \frac{(2H/2)^2}{t_{50}} \quad (3.1)$$

$$c_v = 0,848 \frac{(2H/2)^2}{t_{90}} \quad (3.2)$$

Şekil 3.3.'te Casagrande logaritma ve Taylor karekök yöntemlerine bağlı olarak konsolidasyon katsayılarının elde edildiği grafikler görülmektedir.



Şekil 3.3. Konsolidasyon katsayısının logaritma yöntemiyle bulunuşu



Şekil 3.4. Konsolidasyon katsayısının karekök yöntemiyle bulunuşu

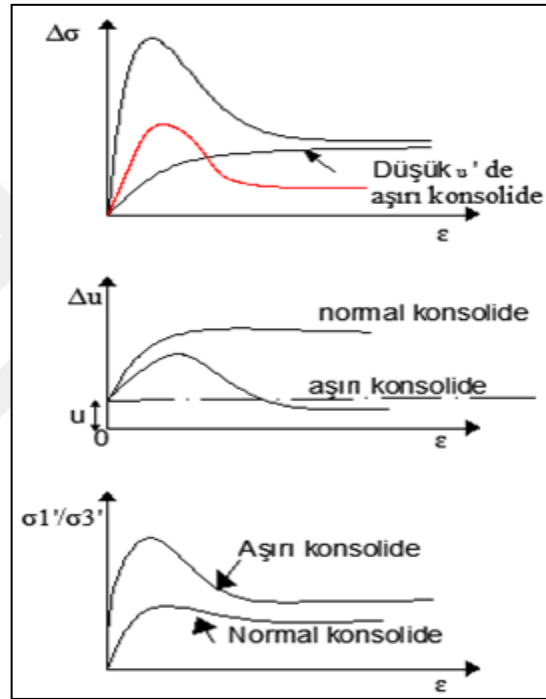
### 3.3.3. Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi

Numune deneye başlanmadan arazide bulunduğu çevre basıncına eşdeğer bir basınca tabi tutularak konsolide edilir. Bu iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Basit uygulamada numune çevre basıncına her yönden eşit olarak tabi tutulmakta ve oluşan fazla boşluk suyu basıncının sönümlenmesine izin verilmektedir. Daha gerçekçi ancak zahmetli deney uygulamasında ise zeminin yerinde sükûnet durumunda ( $K_0$ ) bulunduğu göz önüne alınmalıdır. Yanal basınç artırılırken düşey basınç sadece  $\sigma_1 = \sigma_3 / K_0$  oranında yükseltilmektedir. Konsolidasyon tamamlandıktan sonra kesme aşaması drenaja izin verilmeden gerçekleştirilmekte ve boşluk suyu basıncı bu sırada ölçüldüğünden deney sonuçlarını toplam ve efektif gerilmelere göre değerlendirme olanağı belirmektedir. [2].

Bu deneyde belirlenen konsolidasyon gerilmeleri altında numune konsolide edilir. Bu yükler hidrostatik ya da hidrostatik olmayan gerilmeler olabilir. Konsolidasyon işlemi tamamlandıktan sonra drenaj vanaları kapatılır ve numune drenajsız kesmede yenilme anına kadar yüklenir. Kesme işlemi esnasında meydana gelen boşluk suyu basınçları sürekli olarak ölçülür. Aynı zamanda toplam ve efektif gerilmelerin ikisi de kesme ve yenilme esnasında hesaplanabilir.

Eksenel gerilme dereceli olarak ya da sabit şekilde arttırılabilir. Kesme işlemi esnasında meydana gelen boşluk suyu basıncı pozitif ya da negatif olabilir. Bu durum numunenin kesme esnasında büzülme ya da genişlemesinden kaynaklı olabilir. Konsolidasyonlu-drenajsız deneyde hacim değişikliğine izin verilmez. Bu sebepten dolayı numune içine su akışı gerçekleşmez. Hacim değişimi olmadığından hacim değişimindeki eğilim boşluk suyunda basınç oluşmasına neden olur. Kesme işlemi esnasında numune büzülmeye ya da konsolide olmaya çalışırsa meydana gelecek boşluk suyu basıncı pozitif olur. Fakat numune büzülme ister ve suyu gözeneklerinden atmaya çalışır fakat başaramazsa, normal konsolide killerde pozitif boşluk suyu basıncı meydana gelir. Kesme esnasında numune genişlemek ya da şişmek isterse oluşacak olan boşluk suyu basıncı negatif olur. Numune genişlemek ister ve suyu gözeneklerine çekmeye çalışır fakat başaramaz. Aşırı konsolide killerde

negatif boşluk suyu basıncı meydana gelebilir. Şekil 3.5.'te CU deneyi için normal ve aşırı konsolide killeri için gerilme-birim deformasyon eğrileri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi birim deformasyon artarken gerilme en yüksek değerine ulaşmış ve daha sonra azalmıştır. Boşluk suyu basıncı-birim deformasyon grafiğinde ise normal konsolide killerde pozitif boşluk suyu basıncı artarken, aşırı konsolide killerde boşluk suyu basıncı negatife dönüşmektedir. Diğer bir grafik ise efektif gerilme oranı-deformasyon grafiğidir. Bu grafikte aşırı konsolide kilde efektif gerilme oranı erken zaman aralığında maksimum değere ulaşmaktadır.



Şekil 3.5. CU deneyde normal ve aşırı konsolide killeri için  $\sigma$ - $\epsilon$ ,  $\Delta u$  ve  $\sigma_1'$  ve  $\sigma_3'$  eğrileri  $\sigma_1'/\sigma_3'$  [15]

## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Drenajlı kayma direnci parametrelerini elde etmek amacıyla direkt kesme kutusu ve konsolidasyonlu - drenajsız üç eksenli basınç deneyi yöntemleri uygulanmıştır ve yapılan deneyler sonucu elde edilen kayma direnci parametreleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucu drenajlı kayma direnci açısı, zeminlerin likit limit, plastik limit, plastisite indisi elde edilmiştir. Sınıflandırma deneylerine (TS 1500) bağlı olarak ise kil yüzdesi ve ince dane oranları belirlenmiştir. Daha sonra kayma direnci parametrelerini ( $c$  ve  $\phi$ ) elde edebilmek için numuneler üzerinde, farklı konsolidasyon basınçları altında (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi (CU) ve direkt kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan numunelerin geoteknik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında gerekli deneyler yapılmıştır. Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyinde; Siltli kil, Adapazarı kili ve Düzce kili olarak belirlenen numunelere üç farklı hücre basıncı altında (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) kesilen üç numunelik, Yalova kili ve Tüvasaş kili için ise 100 kPa ve 200 kPa'lık normal gerilme altında kesilen iki numunelik bir deney seti oluşturmuştur. Kesme kutusu deneyinde ise Siltli kil, Adapazarı kili, Düzce kili ve Tüvasaş kili için 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa'lık normal gerilme altında kesilen üç numunelik bir deney seti, Yalova kilinde ise 100 kPa ve 200 kPa'lık normal gerilme altında kesilen iki numunelik bir deney seti oluşturmuştur.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen drenajlı kayma direnci açıları ile zeminlerin geoteknik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca iki farklı deney yöntemi ile belirlenen drenajlı kayma direnci açıları karşılaştırılmıştır.

#### 4.1. Kullanılan Numunelerin Geoteknik Özellikleri

Bu çalışmada zeminlerin kayma direnci parametrelerini belirlemek için 5 farklı geoteknik özelliklere sahip numuneler üzerinde, farklı konsolidasyon basınçları altında (100kPa, 200 kPa ve 300kPa), konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (CU) ve kesme kutusu deneyleri yapılarak sonucu elde edilen kayma direnci parametrelerinin zeminin geoteknik özellikleri ile ilişkilerinin incelenmesi, ayrıca kesme kutusu ve konsolidasyonlu–drenajsız üç eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen kayma direnci parametrelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda ilk olarak farklı geoteknik özelliklere sahip Siltli kil numunesi (Sakarya Üniversitesi zemin mekaniği laboratuvarı örselenmiş numune), Adapazarı kili, Düzce kili, Yalova kili ve Tüvasaş kili olmak üzere 5 farklı numune elde edilmiştir. Beş farklı numune üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen, likit limitleri ( $w_L$ ), plastik limitleri ( $w_P$ ), plastisite indisleri ( $I_P$ ), özgül birim hacim ağırlıkları ( $G_s$ ), ince dane oranları ( $I_{DO}$ ) ve kil yüzdeleri ( $KY$ ) incelenmiştir.

##### 4.1.1. Likit limit deneyi

Zeminin plastik katı halden sıvı hale geçtiği noktadaki su içeriğini likit limiti ifade eder. Casagrande aletinin çanak kısmına koyulan zemin numunesinde oluşturulan yarığın, çanağın 25 defa düşürülmesiyle kapanmasına karşılık gelen su muhtevası olarak hesaplanır. Yarığın 25 düşüşte belirtildiği kadar kapanmasını sağlayacak su muhtevasını elde etmek zor olduğundan, yarığın farklı düşüş sayılarında kapanmasını sağlayan su içerikleri ve vuruş sayıları grafiğe aktarılır; 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevası LL olarak ifade edilir.

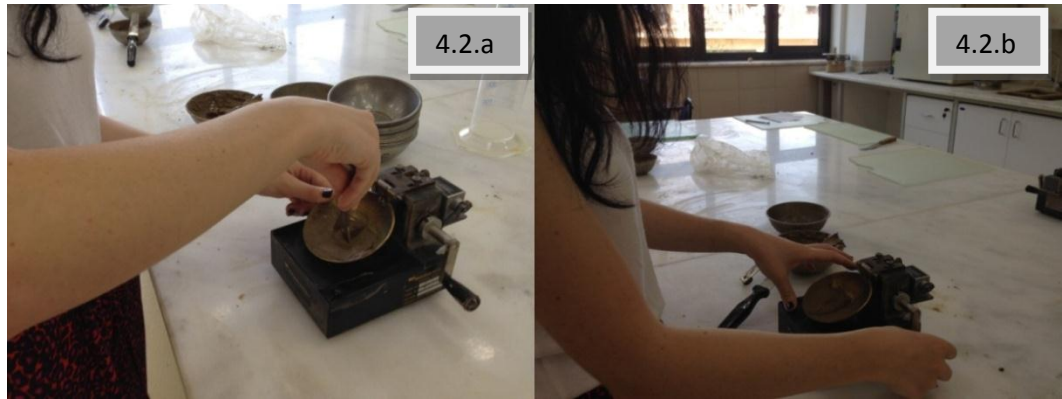
Deneye başlamadan önce numuneler kurutulmuş, havanda dövülmüş ve zemin 40 numaralı (0,425) elekten elenmiştir. Numune bir kap içerisine konularak çok az miktarlarda damıtık su kademeli olarak numuneye ilave edilmiş ve her defasında numune iyice karıştırılmıştır. Deneye başlamadan önce casagrande aleti iyice temizlenmiştir. Casagrande aletinin içine hazır durumdaki numuneden spatula yardımı ile bir miktar alınarak tasın içerisine yerleştirilmiştir. Tas içerisine

yerleştirilen numunenin yüzeyi yatay olacak şekilde düzeltilmiştir. Tas içine yerleştirilen numunenin düz zemine paralel olmasına özen gösterilmiştir. Şekil 4.1.'de numunenin casagrande aletine yerleştirilme işlemi görülmektedir.



Şekil 4.1. Numunenin tas içine yerleştirilmesi

Tas içerisine yerleştirilen numunenin ortasından standart yarık açma bıçağı ile bir yarık açılmıştır. Aletin kolu saniyede 2 düşüş yapacak şekilde çevrilmiştir ve vuruşlar sayılmıştır. Bu sırada numunenin ortasında açılmış olan yarıktaki kapanma yaklaşık 1,3 cm olduğunda çevirme işlemi durdurulmuştur. Şekil 4.2.'de ve Şekil 4.3.'te numunede yarık açılma işlemi ve vuruşların yapılması görülmektedir.



Şekil 4.2. Numunede oyuk açma bıçağıyla yarık açılması ve vuruşlar yapılması



Şekil 4.3. Numunede oyuk açma bıçağıyla yarık açılması ve vuruşlar yapılması

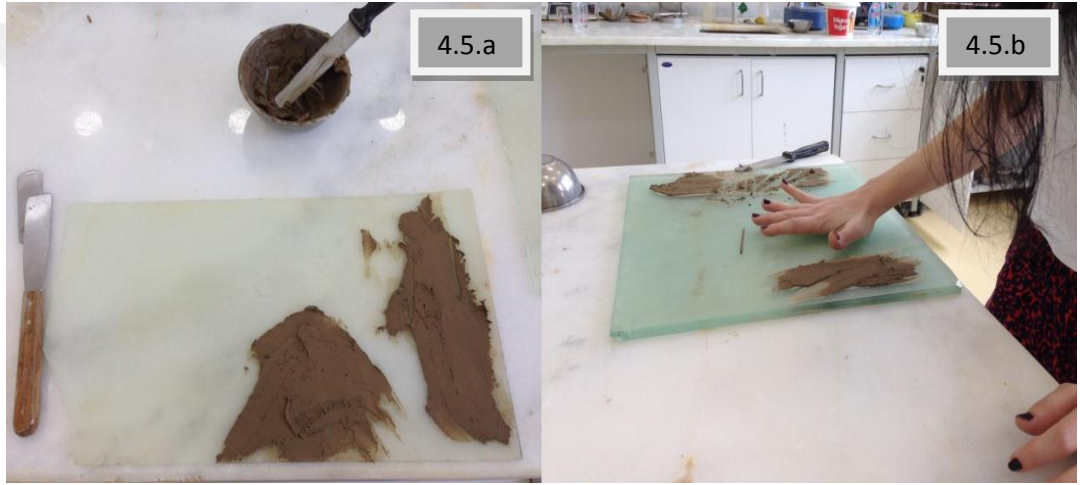
Şekil 4.4.'te alet durdurulduktan sonra ıspatula yardımıyla 1,3 cm'lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune alınarak metal bir kaba koyulması işlemi görülmektedir. Numunenin ağırlığı hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra numunenin içeriğinin belirlenmesi için numune etüve konulmuştur. Aletin tasında kalan numune tamamen alınarak önceki kabına konulmuştur. Tas tamamen temizlenip kurulandıktan sonra yeni deney için hazır hale getirilmiştir. Kapta bulunan numuneye bir miktar daha damıtık su ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. İşlemler deney bitene kadar aynı şekilde tekrarlanmıştır.



Şekil 4.4. Bir miktar numunenin etüve kurutulmak üzere metal kaba alınması

#### 4.1.2. Plastik limit deneyi

Likit limit deneyi için hazırlanan numuneden bir miktar alınarak numune cam levha üzerine konulup bir miktar kuruması beklenmiştir. Daha sonra avuç içi ile yuvarlanarak zemin çubukları haline getirilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.5.'te plastik limit deneyi için numunenin bekletilmesi ve deneyin yapılışı görülmektedir. Zemin çubukları 3 mm çubuklar haline geldiğinde, çatlama ve kopmaların başlama anı gözlemlenerek zeminler, metal bir kap içerisinde koyulup tartılarak kütlesi kaydedilip etüve koyulmuştur.



Şekil 4.5. Buzlu cam üzerinde plastik limit için numunelerin bekletilmesi ve deneyin yapılması

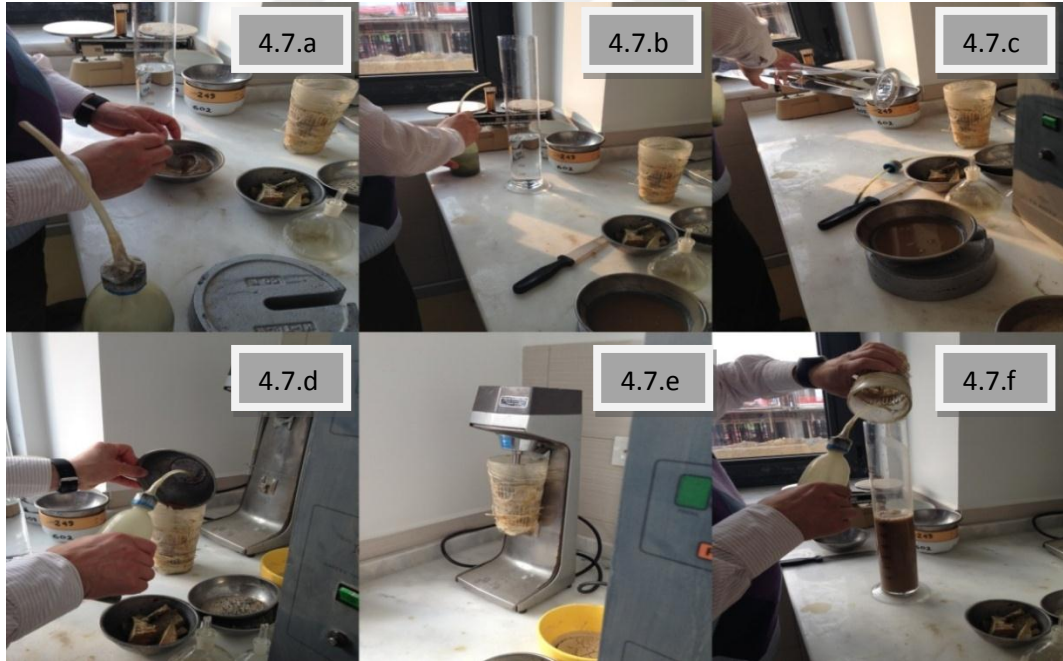
#### 4.1.3. Hidrometre deneyi

Deneyde 1000 ml ölçekli mezür (ölçme silindiri), termometre, terazi, etüv, kronometre ve su banyosu kullanılmıştır. 200 nolu elekten elenen ince malzemeden 50 gr alınıp, etüvde 24 saat bekletilmiştir. Etüvden alınan numune 50 gr a karşılık 75 ml perhidrol ile yakılarak tekrar etüve koyulmuştur ve yine 24 saat bekletilmiştir. Kurutulan numunenin ağırlığı tekrar ölçülerek organik madde miktarı tayin edilmiştir. Yakılan numune etüvden çıkarıldığında üzerine ayrıştırıcı madde (sodyum heksametafosfat) eklenerek iyice karıştırılmıştır. Ayrıştırma aygıtına (mikser) konan bu malzeme üzerine saf su eklenerek malzeme ve ayrıştırıcı maddenin iyice karıştırılması sağlanmıştır. Şekil 4.6.'da deneye başlamadan numunenin yakılma işlemi görülmektedir.



Şekil 4.6. 50 gr numunenin perhidrol ile yakılması

Ayrıştırma aygıtından (mikser) alınan numune daha sonra numune mezur içerisine koyulmuş ve 1000 ml yi tamamlayacak şekilde üzerine su eklenmiştir. Okumalara başlamadan önce, süspansiyonun bulunduğu bu mezürün açık ağzı bir elin avuç içine yapıştırılıp, birkaç kez baş aşağı getirilerek karışımın homojen duruma gelmesi için bu işlem yapılmıştır ve kronometre çalıştırılarak deneye başlanmıştır. Şekil 4.7.'de hidrometre deneyi için numunenin hazırlanma aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.7. Deney için numunenin hazırlanması

Hidrometre ince boyunlu üst kesimden tutularak yavaşça süspansiyona batırılmıştır. 0,50, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 1440 dakikalarda hidrometre okumaları menüsküsün tepesinden okunup ve yazılmıştır. Şekil 4.8.'de numunenin

hazırlanması ve hidrometre okumalarının alımı gösterilmektedir. Son hidrometre okuması da alındıktan sonra, süspansiyon yıkamalı elek analizinden geçirilmiştir. Elek üstü kalan numune metal bir kaba koyularak kuru ağırlığının alınması için etüve koyulmuştur.



Şekil 4.8. Numunenin düzeneğe yerleştirilmesi ve hidrometre okumalarının alınması

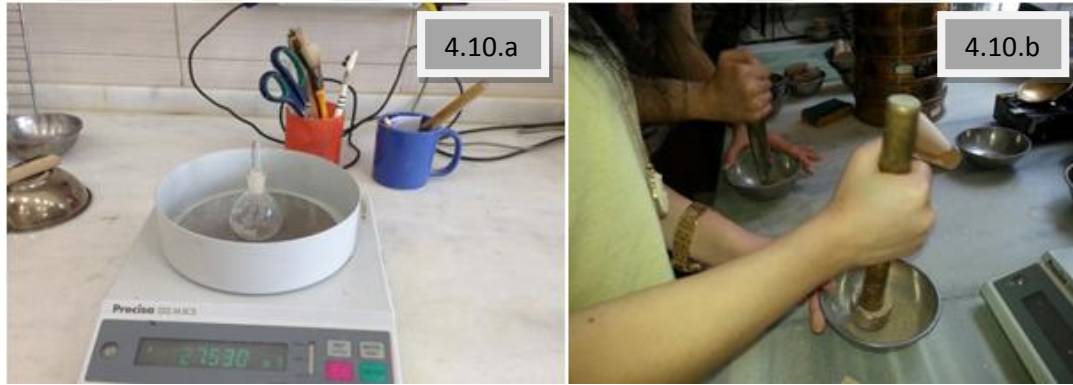
#### 4.1.4. Piknometre deneyi

Numunenin özgül ağırlığını tayin etmek için piknometre deneyi yapılmıştır. Bu deneyde hassas terazi, damıtık su, vakum aleti, piknometre, huni, etüv kullanılmıştır. Piknometre iyice yıkanıp, belirli oranlara sahip olan numuneler ve piknometre etüve konularak kuruması sağlanmıştır. İlk olarak deneyde kullanılacak damıtılmış suyun içerisindeki havanın dışarı çıkması vakum makinasıyla sağlanmıştır. Şekil 4.9.'da suyun vakumlama işlemi görülmektedir.



Şekil 4.9. Suyun vakum aleti yardımıyla damıtılması

Kuru numuneler ve piknometre etüvden alınmıştır. Piknometreler hassas terazide tartılarak piknometre ağırlığı değeri elde edilmiştir. Şekil 4.10.'da piknometre ağırlıklarının ölçülme ve numunenin ezilerek deney için hazır hale getirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Piknometrenin ağırlığının ölçülmesi ve numunenin dövülmesi

Belli oranlardaki numuneler iyice ezilerek toz haline getirilmiştir. Numuneler, numaralandırılmış piknometrelere huni yardımıyla yerleştirilmiştir. Şekil 4.11.'de numunenin piknometrelere doldurulması ve tartılması işlemleri görülmektedir. Hassas terazide piknometre içindeki numune ile tartılarak (piknometre+numune) ağırlığı elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Numunenin piknometreye koyulması ve tartılması

Daha sonra numunenin üzerine bir miktar su eklenerek içi su dolu piknometre vakuma yerleştirilmiştir. Şekil 4.12.'de vakumlama aşamasındaki numuneler gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Vakum öncesi numuneye su koyulması ve vakumlama aşaması

Böylece piknometre içindeki hava vakum ile boşaltılmıştır. Vakumda boşaltım esnasında piknometrelerin içindeki numunelerde hava kabarcıkları gözlenmiştir. Hava çıkışı tamamlandıktan sonra piknometre vakumdan alınmıştır. Vakumdan alınan piknometreler pipet yardımıyla ağızlarına kadar damıtık su ile doldurulmuştur. Şekil 4.13.'te vakumdan çıkan numuneler üzerine damıtık su doldurularak işlemi görülmektedir.



Şekil 4.13. Piknometre, numune ve su

Altta çökel, üstte damıtık suya yakın derişimde numunenin suyu birikmiş olup (vakum+piknometre+su+numune) ağırlığı tartılarak değerler kaydedilmiştir. Daha sonra piknometreler iyice yıkayıp temizlendikten sonra piknometrelerin içine hava baloncuğu kalmayacak ve tamamı dolacak şekilde damıtık su doldurup kurulanıp hassas terazi ile (piknometre+su) ağırlığı tartılmıştır. Şekil 4.14.'te son aşama olarak piknometrelere damıtık su doldurularak ağırlıklarının alınması işlemi gösterilmektedir. Hesaplar yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir.



Şekil 4.14. Piknometre, numune ve su

Veriler ve Hesaplama işlemleri ise Şekil 4.15.'te şematik olarak gösterilmektedir;

$W_1$ = Piknometre Ağırlığı

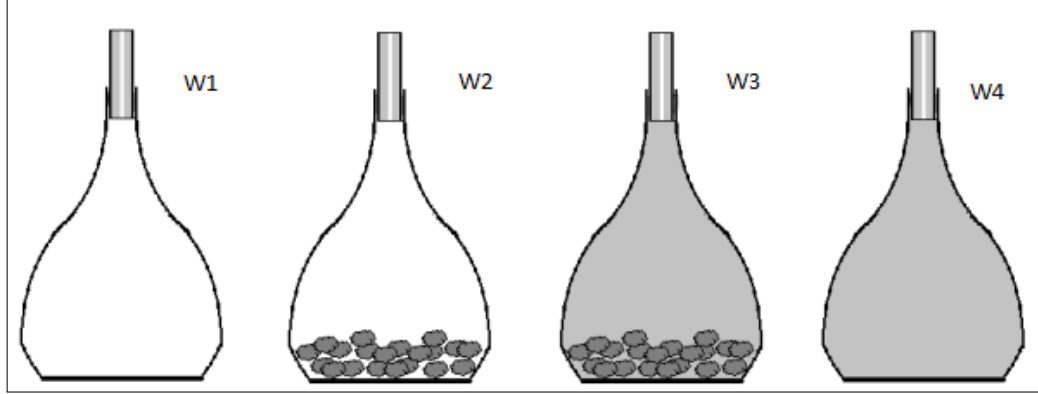
$W_2$ =(Piknometre + Numune) Ağırlığı

$W_3$ = (Vakum+Piknometre+Su+Numune) Ağırlığı

$W_4$ =(Piknometre+Su) Ağırlığı

$G_s = \text{Zeminin özgül ağırlığı}$

$$G_s = (W_2 - W_1) / [(W_2 + W_4) - (W_1 + W_3)] \quad (4.1)$$



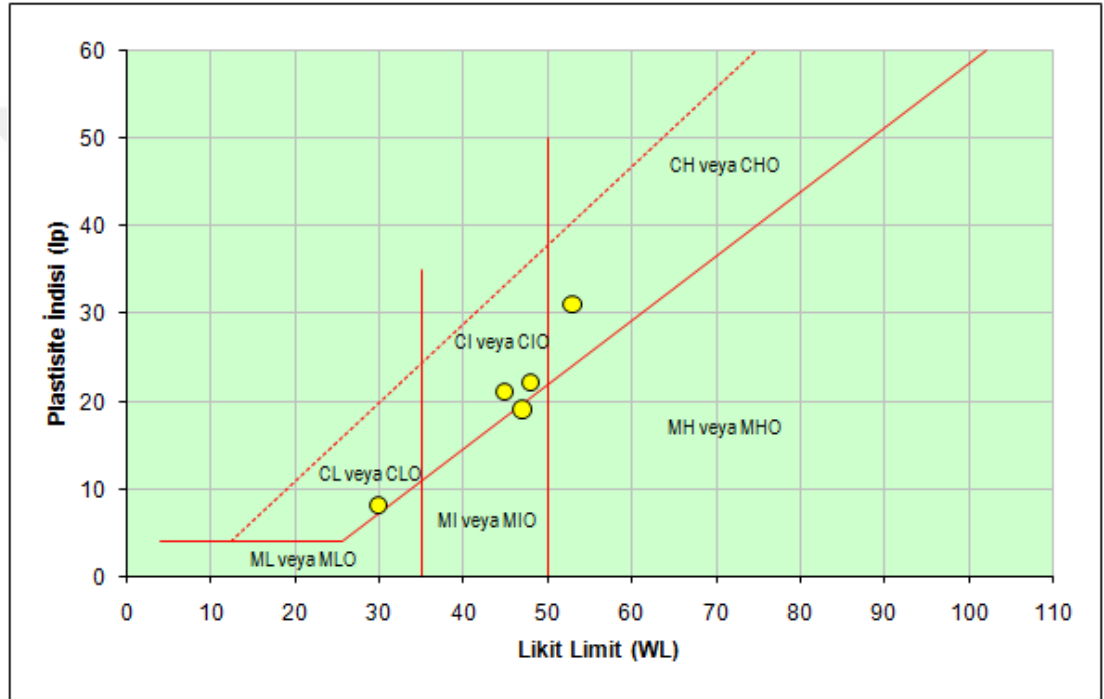
Şekil 4.15. Piknometre deneyinin şematik gösterimi

Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyinde ve kesme kutusu deneyinde kullanılan numuneler zemin mekaniği laboratuvarında hazır olarak bulunan örselenmiş Siltli kil, Adapazarı kent meydanından elde edilen Adapazarı kili, Düzce ilinden getirilen numune Düzce kili, Yalova ilinden getirilen numune Yalova kili ve Tüvasaş'dan getirilen numune Tüvasaş kili olarak isimlendirilmiştir. Yapılan kıvam limit deney sonuçlarına göre numunelerin likit limitlerinin %30 ile %53 arasında, plastik limitlerinin %21 ile %29 arasında, plastisite indislerinin ise %8 ile %31 arasında değiştiği belirlenmiştir. Numunelerin içerisindeki kil yüzdeleri %11 ile %43 arasında, silt yüzdeleri ise %57 ile %89 arasında değişmektedir. Yapılan piknometre deneyi sonucu numunelerin özgül ağırlıkları 2,6 ile 2,77 arasında değiştiği bulunmuştur.

Sınıflandırma deneyleri sonucu, numuneler TS1500/2000'e göre sınıflandırılmıştır. Siltli kil düşük plastisiteli kil (CL), Adapazarı kili orta plastisiteli kil (CI), Düzce kili yağlı kil (CH), Yalova kili orta plastisiteli kil (CI), Tüvasaş kili orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Numunelerin özellikleri ve plastisite kartındaki yerleri Tablo 4.1.'de ve Şekil 4.1.'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Numunelerin geoteknik özellikleri

| No | Numune<br>Adı  | $w_L$ | $w_p$ | PI | % Kil | % Silt | % Kum | GS   | Sınıf<br>(TS1500/2000) |
|----|----------------|-------|-------|----|-------|--------|-------|------|------------------------|
| 1  | Siltli Kil     | 31    | 8     | 23 | 11    | 89     | 0     | 2.63 | CL                     |
| 2  | Adapazarı Kili | 45    | 24    | 21 | 22    | 78     | 0     | 2.71 | CI                     |
| 3  | Düzce Kili     | 53    | 21    | 31 | 43    | 57     | 0     | 2.77 | CH                     |
| 4  | Yalova Kili    | 47    | 29    | 19 | 18    | 82     | 0     | 2.6  | CI                     |
| 5  | Tüvasaş Kili   | 48    | 26    | 22 | 17    | 81     | 2     | 2.76 | CI                     |



Şekil 4.16. Numunelerin plastisite kartındaki yerleri

## 4.2. Numune Hazırlama Tekniği

Numuneler ilk olarak havanda dövülerek ezilmiş daha sonra 40 nolu elekten elenmiş ve altında kalan numuneler ile direkt kesme kutusu için yaklaşık 2 kg numuneye 1000 ml su katılarak karışım oluşturulmuştur. Şekil 4.17.' de elenen siltli kil numunesinin su ile bulamaç haline getirilip deneye hazırlanması işlemi görülmektedir.

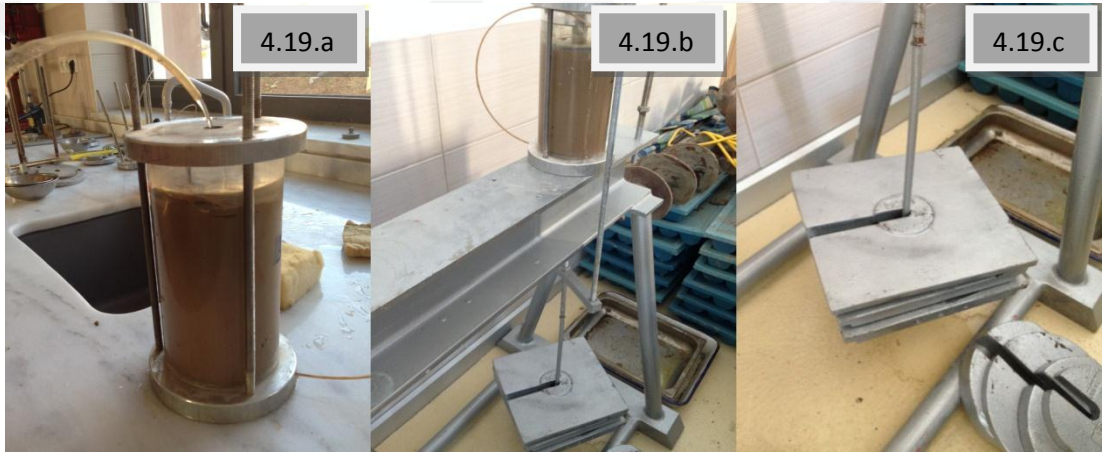


Şekil 4.17. Siltli kil deney numunesinin bulamaç haline getirilmesi

Bu karışım daha sonra konsolidasyonlu-drenajsız deney için 10 cm çapındaki hücrelere, kesme kutusu deneyi için 20 cm çapındaki hücrelere doldurmuştur. Doldurma esnasında numunenin içinde hava kalmaması için spatula yardımıyla hücre içerisindeki numune karıştırılmıştır. Numunenin içerisindeki suyun dışarı çıkması ve konsolide olması için laboratuvarındaki yükleme askılarına asılmıştır. Askıdaki numuneye 20 cm çapındaki hücrelerde bulunan numuneler için 80 kg'lık yükleme yapılarak numunenin 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa altında konsolide olması sağlanırken, 10 cm çapındaki hücrelerde bulunan numuneler için 20 kg'lık yükleme yapılarak numunenin yine 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa gerilme altında konsolide olması sağlanmıştır. Böylece numune içerisindeki su dışarı çıkartılarak numunenin konsolide olması sağlanmıştır. Şekil 4.18.'de ve Şekil 4.19.'da kesme kutusu ve konsolidasyonlu-drenajsız deney için hazırlanan bulamacın hücrelere yerleştirilmesi ve hazırlanan hücrelerin askıya yerleştirilip konsolide olması işlemi görülmektedir.



Şekil 4.18. Deney numunesinin hücreye yerleştirilmesi



Şekil 4.19. Deney numunesinin askıya yerleştirilmesi

### 4.3. Kesme Hızının Belirlenmesi

Konsolide olan numune askıdan alınarak kesme kutusu deneyi için hücreden çıkarılıp deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyinde boşluk suyu basıncı ölçülemediğinden dolayı numuneler drene olacak olan suyun çıkış hızından daha küçük bir hızla kesilmek durumundadır. Numuneleri kesme işlemine başlamadan önce, numuneler kesme kutusu deney düzeneğinde konsolide edilmesi sağlanmıştır. Pratik uygulamalarda, üzerinde deney yapılan zeminin genellikle konsolidasyon özellikleri dikkate alınarak uygun bir kesme hızı seçilmiştir. Bu hız yapılan konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen değerler vasıtası ile elde edilmiştir. Kesme hızları logaritma yöntemi, karekök yöntemi, ASTM (D3080/D3080M-11)'ye

ve BS' nin öngördüğü formüllere göre hesaplanmıştır ve numuneler hesaplanan hız değerlerine göre kesilmiştir.

ASTM (*D3080/D3080M-11*)' ye göre yenilme için tahmin edilen toplam zaman ( $t_f$ ), dakika cinsinden ;

$$t_f = 50 \cdot t_{50} \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanması önerilmiştir. Burada  $t_{50}$  = Deney için gerekli normal gerilme altında % 50 konsolidasyona ulaşmak için gerekli zamandır (*dakika*). Eğer konsolidasyon deneyinde deformasyona karşılık karekök zaman grafiği kullanılacak olursa toplam yenilme zamanı yine dakika cinsinden;

$$t_f = 11.6 \cdot t_{90} \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada  $t_{90}$  = Deney için gerekli normal gerilme altında %90 konsolidasyona ulaşmak için gerekli zamandır (*dakika*). Tüm bunlar hesaplandıktan sonra kesme hızı ( $R_d$ , *mm/dak*) aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$R_d = \frac{d_f}{t_f} \quad (4.4)$$

Burada  $d_f$ = yenilme için tahmin edilen yatay hareket (*mm*) ve  $t_f$ = yenilme için tahmin edilen toplam zaman (*dak*)'dır. Gibsonve Henkel (1954) kesme kutusunda drenajlı deney için yenilmeiçin tahmin gerekli minimum zamanın;

$$t_f = \frac{h^2}{2 \cdot c_v \cdot (1 - U_c)} \quad (4.5)$$

formülü ile elde edilebileceğini ifade etmektedirler. Burada  $h$  : numune yüksekliğinin yarısı,  $c_v$  : konsolidasyon katsayısı ve  $U_c$  : orta düzlem sönümlenme oranıdır.

Sönümlenme oranı normalde minimum 0.95 (%95 boşluk suyu basıncı sönümlenmesi) olarak kullanılır. Yenilme için tahmin edilen deformasyon miktarı tahmin edilerek kesme hızı hesaplanır. Eğer kesme için gerekli zaman hesaplanan minimum zamandan önce yenilme meydana gelirse sonuçlar geçersiz olur. BS 1377-7:1990’ da ise yenilme için gerekli zamanın %100 konsolidasyon için gerekli zamana bağlı ( $t_{100}$ ) olarak

$$t_f = 12.7 \cdot t_{100} \quad (4.6)$$

formülü ile bulunabileceğini ifade etmektedir.

#### 4.4. Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi

Drenajlı kayma direnci parametrelerini elde edebilmek için kullanılan deney yöntemlerinden biri de konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deney yöntemidir. Üç eksenli deney sisteminde yükleme kolu, üç eksenli hücre, alt başlık ve üst başlık, yük ölçüm saati, deformasyon ölçüm saati, basınç hücreleri, boşluk suyu basıncı ölçüm sistemi, koruyucu membran, filtre kâğıdı ve poroz taş deney düzeneğinin temel parçalarıdır. Şekil 4.20’de üç eksenli basınç deneyi sistemi görülmektedir.



Şekil 4.20. Üç eksenli basınç deney sistemi

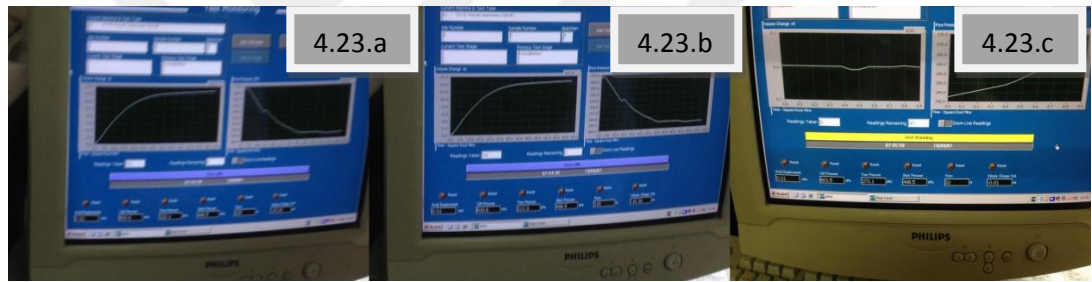


hücre kapatılarak çevre basıncı verilmeye hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.22.'de konsolidasyonlu-drenajsız deney için numunenin düzeneğe yerleştirilmesi işlemleri sırasıyla görülmektedir.



Şekil 4.22. Üç eksenli deney için numunenin hazırlanması işlemi

Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli hücre kesme deneyi; doyurma, konsolidasyon ve kesme olmak üzere üç aşamadan meydana gelir. Doyurma aşamasında numunenin boşluklarının tamamının su ile dolu olması sağlanmaktadır. Bu işlem numune çevresine ve numune içine verilen basınçların farkının 10 kPa civarında olması ile sağlanmaktadır. Numune çevre basıncı 50 kPa iken geri basınç 40 kPa civarında tutulmakta ve bu suretle suyun zemin boşluklarına hareket etmesi sağlanmaktadır. Daha sonra basınçlar kademe kademe arttırılarak numune içine giren su miktarı ile her çevre basıncı artışında da boşluk suyu basıncı oranı hesaplanmaktadır. Herhangi bir kademede  $B = 0.95$ ' in üzerine çıktığında numune doymun kabul edilmekte ve uygun konsolidasyon basınçları ayarlanmaktadır. Şekil 4.23.'te doyurma aşamasının değerleri görülmektedir. Değerler bilgisayardaki programın ara yüzünden okunmuştur.

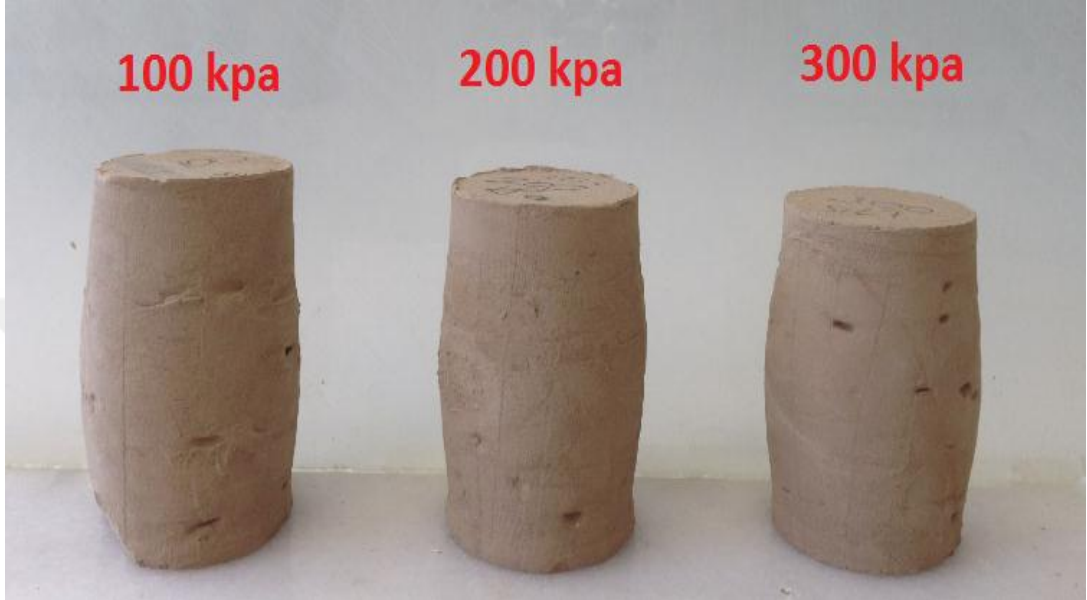


Şekil 4.23. Doyurma aşamasının bilgisayar arayüzünden takip edilmesi

Üç ayrı numune için her numuneye sırasıyla 600 kPa, 700 kPa ve 800 kPa'lık hücre basıncı ve 500 kPa'lık geri basınç verilerek numuneler üzerine hidrostatik bir basınç uygulanmıştır. Numunelerin bu basınçlar altında konsolide olması beklenmektedir. Konsolidasyon süresi zemin cinsine ve tabiki permeabiliteye bağlı olarak 3 gün ve 1 hafta arasında değişmiştir.

Konsolidasyonda numunelerin suya doymun olması gerektiğinden havanın tamamının dışarı çıkması beklenmiş olup 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa ile numuneler konsolide edilmiştir. Hücre basıncı geri basınca eşit olduğu an numuneler konsolidasyonunu tamamlamış olup, konsolide tamamlandığında su çıkma işlemi gerçekleşmiştir.

Bu aşamadan sonra konsolidasyonunu tamamlamış numune kesilme aşamasına geçmek için hazırdır. Kesme işlemine numunede %20 deformasyon meydana gelene kadar devam edilmiştir. Şekil 4.24.'te konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile kesilen siltli kil numunesini örneği verilmiştir.



Şekil 4.24. Deney sonucu kesilen siltli kil numunesi örneği

#### 4.4.2. Hesaplamalar

Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli deneyinde, düşey deformasyona karşılık gelen, düşey yük değerleri ( $P$ ) ve boşluk suyu basıncı değerleri alınmıştır ( $u$ ). Şekil 4.25.'te Siltli kil numunesine ait 100, 200 ve 300 kPa'lık çevre basıncı altında deney esnasında alınan okumalar görülmektedir ve deney sırasında alınan veriler yardımı ile numuneye ait eksenel deformasyon ( $\epsilon$ ) – deviator gerilme ( $\Delta\sigma$ ), eksenel deformasyon ( $\epsilon$ ) - boşluk suyu basıncı ( $u$ ) ve normal gerilmeye ( $\sigma$ ) – kesme gerilmesi ( $\tau$ ) eğrileri çizilmiştir. Siltli kil numunesine ait bu eğriler Şekil 4.26.'da, Şekil 4.27.'de ve Şekil 4.28'de görülmektedir.



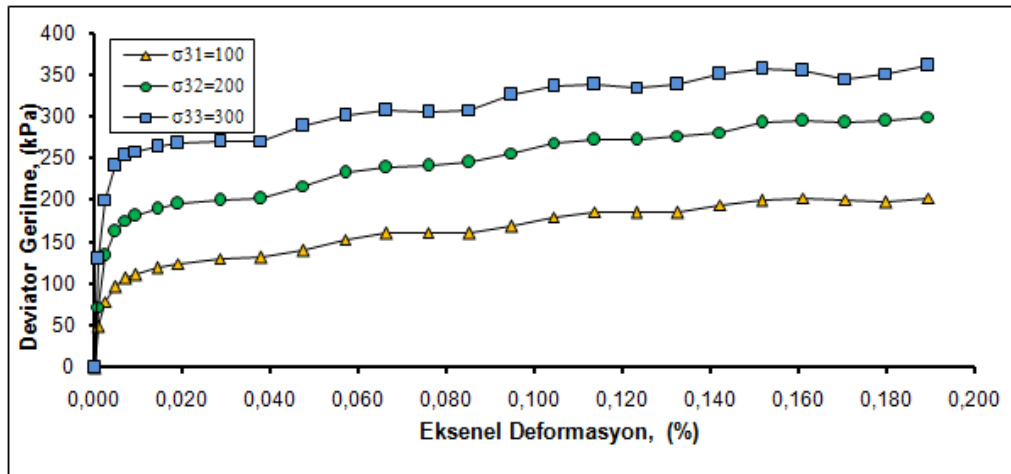
**ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)**

|                                             |            |                      |        |
|---------------------------------------------|------------|----------------------|--------|
| Proje :                                     | NİSSAN     |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer :                      |            | Deneyi Yapan :       | M.İ    |
| Örneğin Tanım :                             | Kahverengi | Kesme Hız, mm/dk :   | 0,5    |
| Sondaj No :                                 |            | Kuvvet Halk. No :    | 13362  |
| Derinlik :                                  | Lab        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                                     | 16.11.2015 | Gs :                 | 2,63   |
| DENEY NO :                                  | 1          | 2                    | 3      |
| Çevre Basıncı (kPa) :                       | 100        | 200                  | 300    |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,00       | 5,00                 | 5,00   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 10,75      | 10,50                | 10,44  |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 404,83     | 396,24               | 390,24 |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 392,19     | 382,39               | 371,70 |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 311,285    | 305,50               | 303,38 |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,63      | 19,63                | 19,63  |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 211,08     | 206,17               | 204,99 |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 93,545     | 90,74                | 86,86  |
| Su Muhtevası (%) :                          | 30,05      | 29,70                | 28,63  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 18,81      | 18,85                | 18,68  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 18,23      | 18,20                | 17,79  |
| Kuru Birim Hac. Ağ. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 14,47      | 14,54                | 14,52  |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 118,36     | 116,16               | 115,35 |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 92,72      | 90,01                | 89,64  |
| Porozite (%) :                              | 43,93      | 43,66                | 43,73  |
| Boşluk Oranı :                              | 0,78       | 0,77                 | 0,78   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00     | 100,00               | 96,90  |
| Drenajsız Elastisite Mod. (MPa) :           | 8,39       | 13,37                | 18,55  |

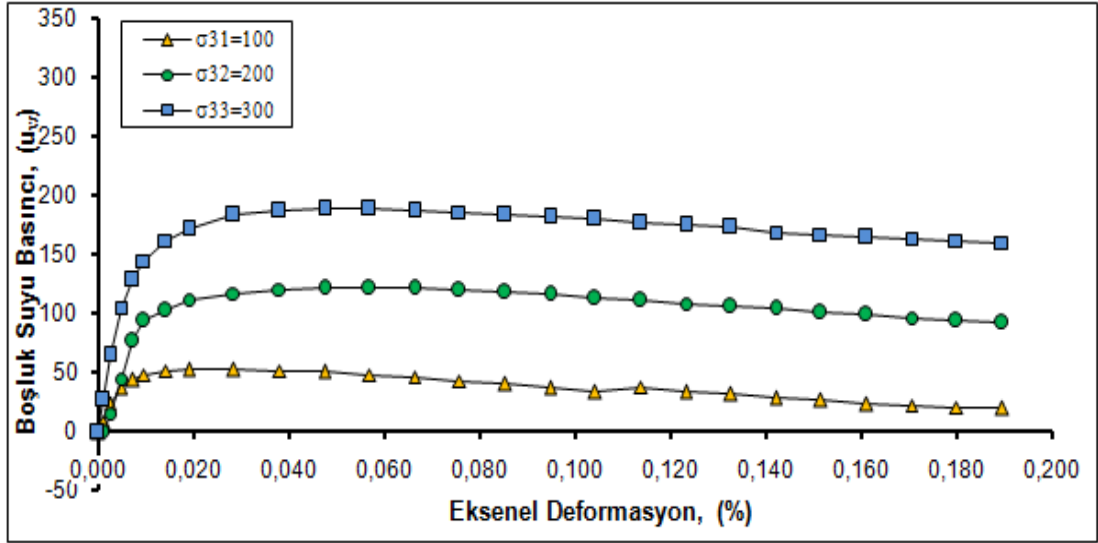
Şekil 4.25. Siltli kil numunesine ait 100 kPa, 200 kPa ve 300kPa çevre basıncı altında deney sırasında alınan okuma değerleri

Numune üzerine uygulanan büyük asal gerilme; hücre basıncı ve deviator gerilmenin toplamına eşittir.

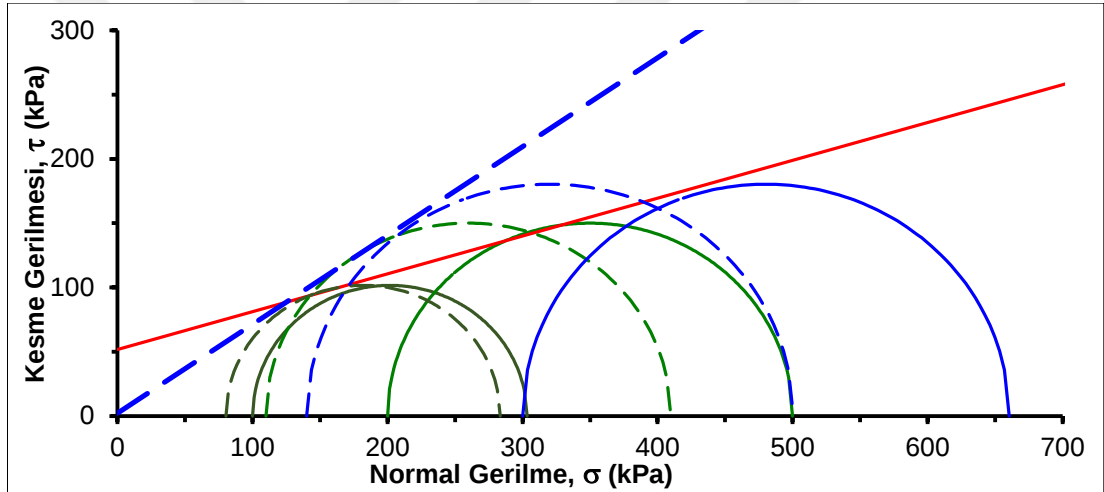
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma \quad (4.7)$$



Şekil 4.26. Siltli kil numunesinin deviator gerilme-eksenel deformasyon grafiği



Şekil 4.27. Siltli kil numunesinin boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon grafiği

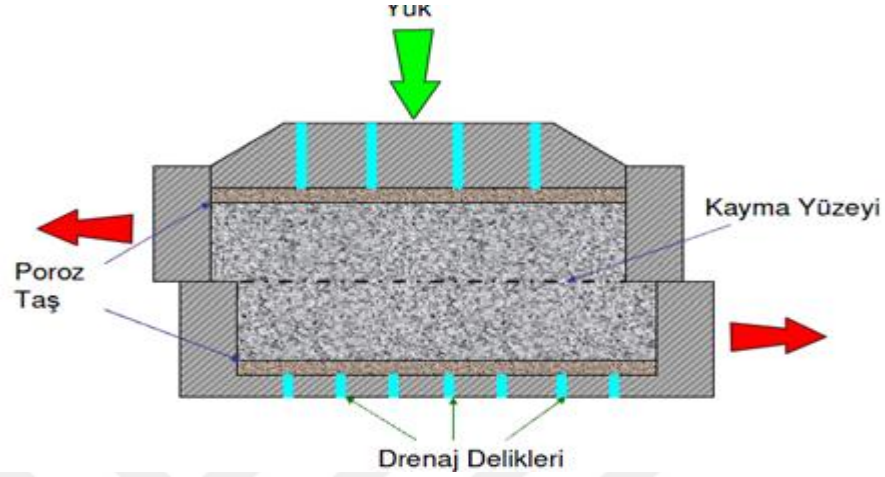


Şekil 4.28. Siltli kil numunesinin kesme gerilmesi-normal gerilme grafiği

#### 4.5. Kesme Kutusu Deneyi

Kayma direnci parametrelerini belirlemek için kullanılan bir diğer yöntem kesme kutusu deneyidir. Yapılan kesme kutusu deneyi ile bulunan kayma direnci parametrelerini konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyinden bulunan parametrelerle karşılaştırılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda hazırlanan numuneler üzerinde kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Kesme kutusu deneyi zeminlerin kayma direncinin belirlenmesinde özellikle kumlar için en yaygın olarak kullanılanlaboratuvar deney yöntemidir. Şekil 4.29.'de kesme şematik kesiti verilmiştir.



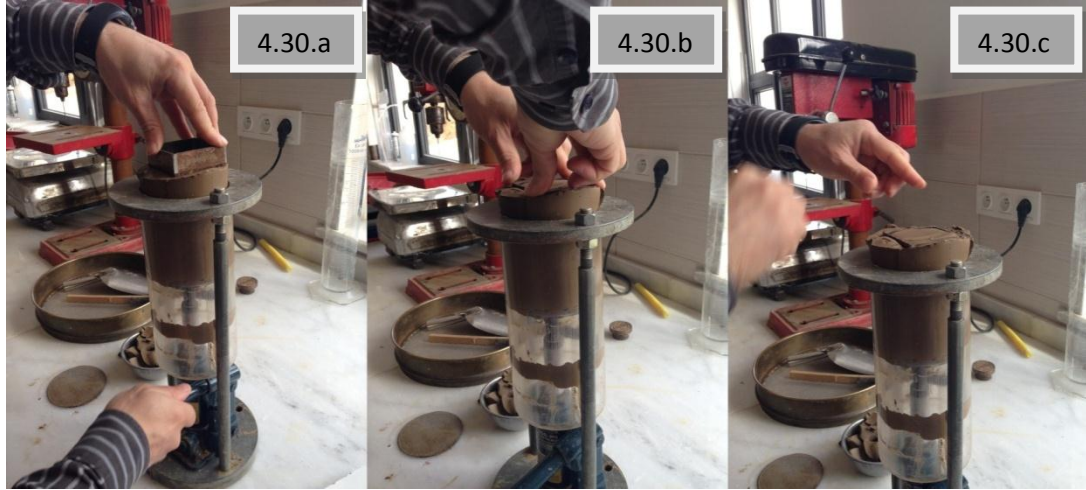
Şekil 4.29. Kesme kutusu şematik kesiti

Kesme kutusu deney aleti motor, kutuyu iten bir kısım, hareket eden alt parça, sabit üst parça, numunenin düzgün yerleştirilmesini sağlayan vidalar, kuvvet halkasından okuma alabilmek için yükü kuvvet halkasına iletmeye yarayan kol ve kuvvet halkasından oluşmaktadır.

Yapılan deneyler, 6 cm x 6 cm en kesitli kesme kutusu deney aletleri ile yapılmıştır. Üç ayrı numune kesileceği 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa normal gerilmeler altında konsolide edilmiştir. Elde edilen konsolidasyon sonuçlarından ASTM [10]'nin öngördüğü formüllere göre hızlar hesaplanmış olup numunelerin kesme hızları elde edilmiştir. Kesme işlemine 12 mm yerdeğiştirme deformasyonuna kadar devam edilmiştir.

#### 4.5.1. Kesme kutusu deney numunelerinin hazırlanması

Deneyde ilk olarak numuneler hücreden çıkarılmıştır. Şekil 4.30.'da kesme kutusu deney düzeneğine yerleştirmek için silindirik hücre içerisinde numune alımı görülmektedir.



Şekil 4.30. Kesme kutusu deneyi için numune alımı

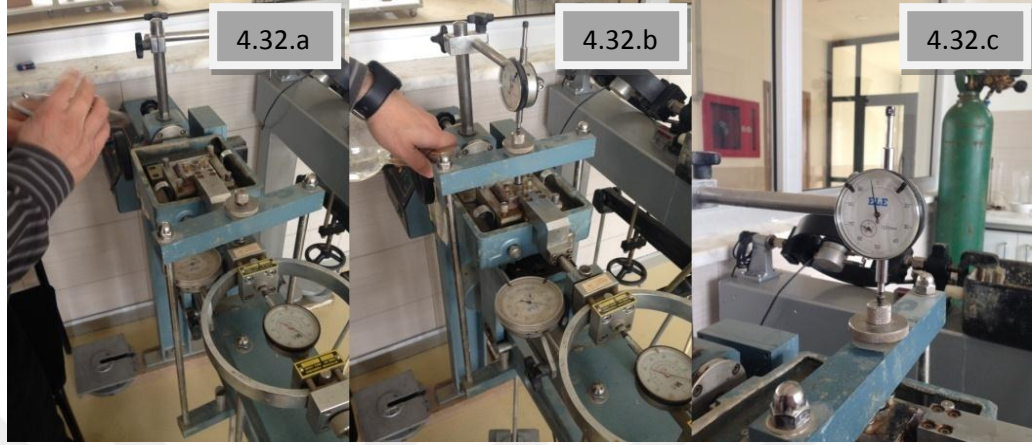
Doldurulan numune tokmak yardımıyla düzeltilmiştir. Numunenin toplam ağırlığı belirlenip ve kaydedilmiştir. Daha sonra numune kesme kutusu deney düzeneğinin içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 4.31.'de kesme kutusu deneyi için alınan numunenin hazırlanarak düzeneğe yerleştirme işlemleri görülmektedir.



Şekil 4.31. Kesme kutusu deneyi için numunenin düzeneğe yerleştirilme işlemi

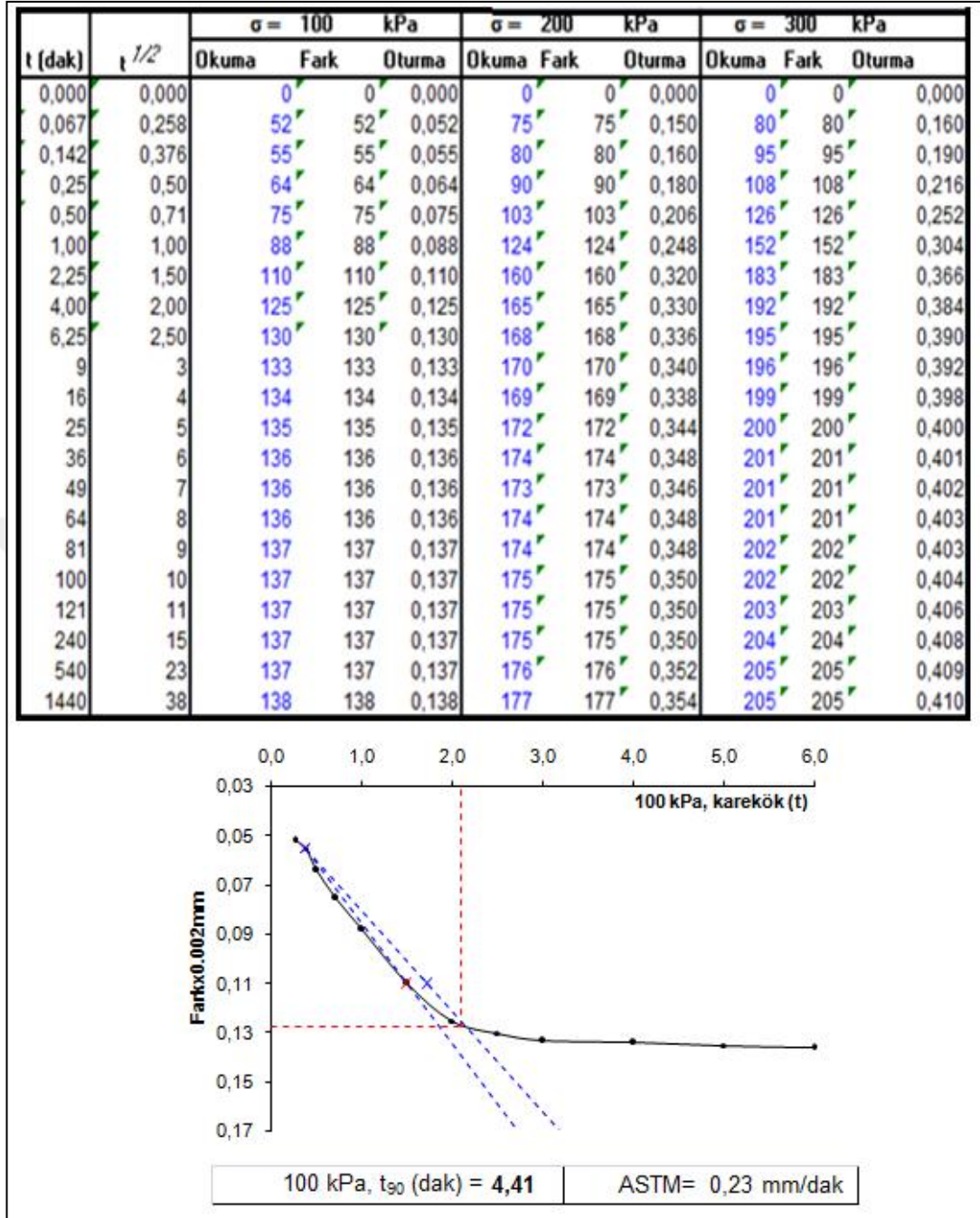
Numune kesme kutusuna yerleştirildikten sonra, konsol kol üzerine yük konularak istenilen normal gerilme altında (100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa) konsolidasyon aşamasına bırakılmıştır. Numunenin suya doymun olabilmesi için kesme kutusu içerisine su doldurulmuş ve kesme hızlarının belirlenebilmesi için konsolidasyona

bırakılmıştır. Şekil 4.32.'de kesme kutusu deney düzeneğine yerleştirilen numunenin konsolidasyon aşaması ve bu aşamada alınan okuma değerleri görülmektedir.



Şekil 4.32. Numunenin konsolidasyona bırakılma işlemi

Kesme hızını hesaplayabilmek için konsolidasyon değerleri okunmuştur. Bulunan değerler vasıtası ile kesme hızları logaritma yöntemi, karekök yöntemi, ASTM [10]'ye ve BS' nin öngördüğü formüllere göre hesaplanmıştır. Şekil 4.33.'de Konsolidasyon sonucu ortaya çıkan verilerin örneği görülmektedir.



Şekil 4.33. Konsolidasyon sonucu ortaya çıkan verilerin örneği

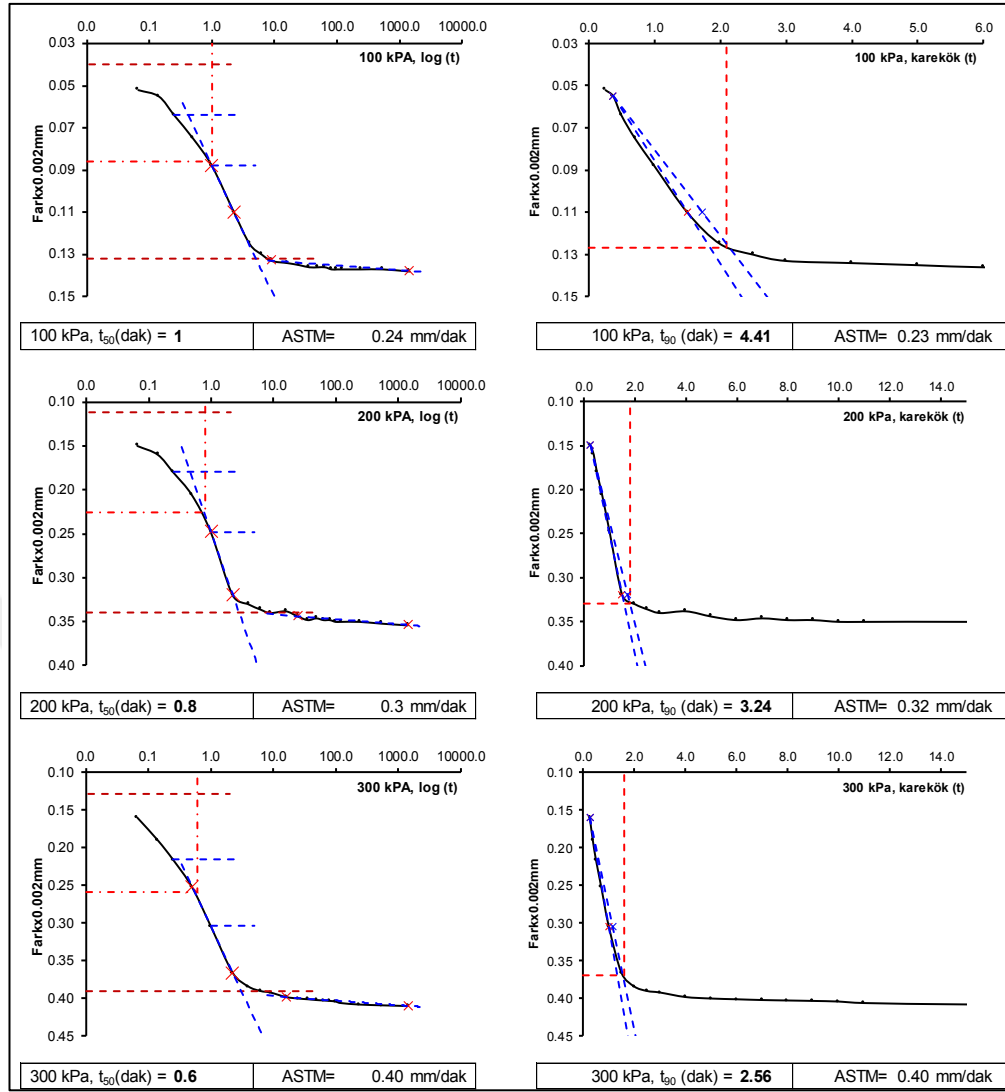
Numune 0.024 mm/dak. kesme hızında kesilmek için hazırlanmıştır. Okumaların doğru ve düzenli olarak alınması için deneye başlamadan saatlerin göstergeleri sıfıra ayarlanmıştır.

Numunenin kesme işlemi, 12 mm yerdeğiştirme miktarına (%20 deformasyon ) izin verilecek kadar 0.24 mm/dak. hız değeri ile kesilmiştir. Kesme işlemi esnasında

yatay deformasyonlar, düşey deformasyonlar ve kesme kuvvetleri takip edilerek, belirli aralıklarla yatay deformasyona karşılık gelen kuvvet halkasından okuma değerleri alınmıştır. Deney numunesini düzenekten çıkarabilmek için ilk olarak kesme kutusu hücreesindeki su ve konsol yük üzerindeki ağırlıklar alınmıştır. Kesme kutusunun düzenekten çıkabilmesi için vidalar alınarak, numune üst ve alt parçayla birlikte deney düzeneğinden çıkarılmıştır.

#### 4.5.2. Hesaplamalar

Kesme kutusu deneyinde kesme hızının belirlenmesine yönelik olarak kesme hücresine yerleştirilen numune üzerine uygulanan normal yük altındaki deformasyonları 24 saat boyunca devamlı okuma alınarak izlenmiştir. Logaritma ve karekök yöntemi ile hesaplanan sırası ile konsolidasyonun %50 ve %90' ının tamamlanması için gerekli  $t_{50}$  ve  $t_{90}$  zamanları bulunmuştur. Örnek olarak 1 nolu numune (Siltli Kil) üzerinde ASTM' nin her iki yöntemine göre bulunmuş  $t_{50}$  ve  $t_{90}$  zamanları ile hesaplanmış kesme hızları Şekil 4.32.'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa normal gerilme altında kesilecek numuneler için kesme hızları sırası ile 0.23, 0.3 ve 0.40 olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen kesme hızlarında tüm numuneler üzerinde uygulanmış olan drenajlı kesme kutusu deneylerinin sonuçları Tablo 4.2.'de verilmektedir. Yine örnek olarak 1 nolu numune üzerinde uygulanmış olan drenajlı kesme kutusu deneyinin sonucu Şekil 4.34.'te verilmektedir. Buna göre Siltli Kilin efektif kohezyonu ( $c'$ ) 13 kPa ve efektif sürtünme açısı ( $\phi'$ )  $26^\circ$  olarak bulunmuştur. Ayrıca tüm zeminlerin tümünde drenajlı kesme kutusu deneyleri ile üç eksenli konsolidasyonlu drenajsız (CU) deneyler yürütülmüştür. CU deney sonuçları Tablo 4.3.'te verilmiştir. CU deney sonucuna örnek olarak yine 1 Nolu numunenin (Siltli Kil) Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) ve kesme kutusu deney sonucu Şekil 4.35.'de verilmektedir. Kesme kutusu ve CU deney sonuçlarına göre elde edilen efektif kohezyon ve sürtünme açıları arasındaki ilişkilere bakıldığında; efektif kohezyonun her iki deney türünde farklılıklar gösterdiği, efektif sürtünme sonuçlarının ise doğrusal bir ilişki sunduğu anlaşılmıştır. Tablo 4.2.'de numunelerin hesaplanan kesme hızları görülmektedir.



Şekil 4.34.1 Nolu numunenin (Siltli Kil) kesme hızlarının hesaplanması

Tablo 4.2. Numuneleri kesme hızları değerleri

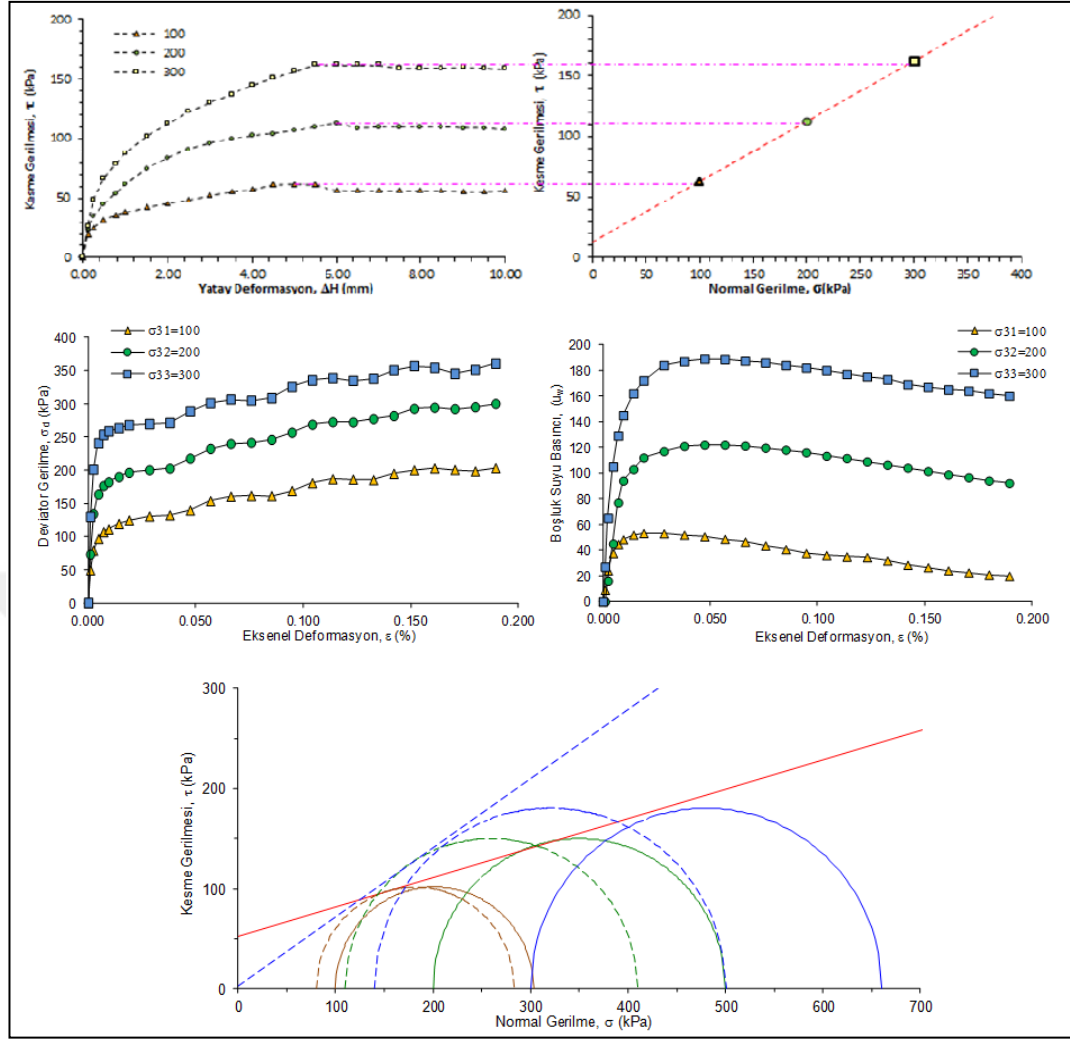
| Numune Adı     | Hız $t_{50-100}$ kPa | Hız $t_{90-100}$ kPa | Hız $t_{50-200}$ kPa | Hız $t_{90-200}$ kPa | Hız $t_{50-300}$ kPa | Hız $t_{90-300}$ kPa | Hız ort-100 kPa | Hız ort-200 kPa | Hız ort-300 kPa |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Siltli Kil     | 0,240                | 0,230                | 0,300                | 0,320                | 0,400                | 0,400                | 0,235           | 0,310           | 0,400           |
| Adapazarı Kili | 0,040                | 0,040                | 0,040                | 0,040                | 0,080                | 0,080                | 0,040           | 0,040           | 0,080           |
| Düzce Kili     | 0,027                | 0,026                | 0,034                | 0,030                | 0,030                | 0,020                | 0,027           | 0,032           | 0,025           |
| Yalova Kili    | 0,039                | 0,060                | 0,032                | 0,050                | ...                  | ...                  | 0,050           | 0,041           | ...             |
| Tüvasaş Kili   | 0,690                | 0,610                | 0,400                | 0,260                | 0,340                | 0,270                | 0,650           | 0,330           | 0,305           |

Tablo 4.3.Kesme kutusu deneyi sonuçları

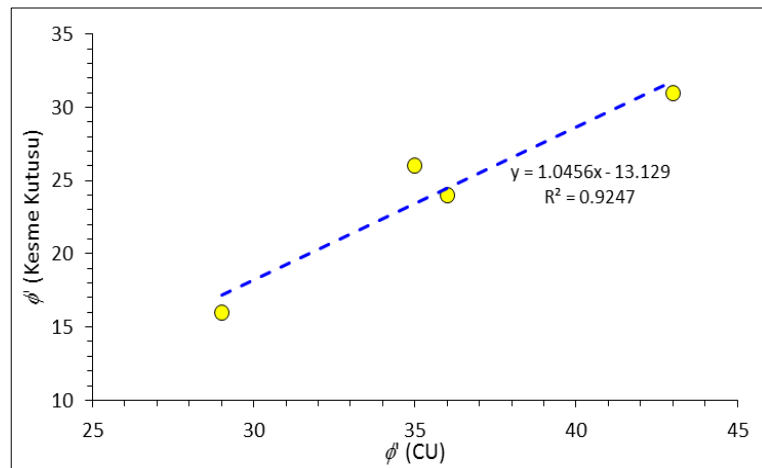
| <i>No</i> | <i>Numune Adı</i> | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | <i>e</i> | <i>c'</i> (kPa) | $\phi'$ (derece) |
|-----------|-------------------|-----------------------------|----------|-----------------|------------------|
| 1         | Siltli Kil        | 19.74                       | 0.83     | 13              | 26               |
| 2         | Adapazarı Kili    | 17.45                       | 1.14     | 33              | 16               |
| 3         | Düzce Kili        | 18.29                       | 1.01     | 15              | 22               |
| 4         | Yalova Kili       | 20.34                       | 0.56     | 10              | 24               |
| 5         | Tüvasaş Kili      | 18.33                       | 1.09     | 0               | 31               |

Tablo 4.4.Konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli Hücre kesme deneyleri

| <i>No</i> | <i>Numune Adı</i> | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | <i>e</i> | <i>c</i> (kPa) | $\phi$ (derece) | <i>c'</i> (kPa) | $\phi'$ (derece) |
|-----------|-------------------|-----------------------------|----------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1         | Siltli Kil        | 18.78                       | 0.78     | 52             | 16              | 2               | 35               |
| 2         | Adapazarı Kili    | 18.01                       | 1.05     | 34             | 16              | 35              | 29               |
| 3         | Düzce Kili        | 18.42                       | 1.01     | 1              | 15              | 0               | 33               |
| 4         | Yalova Kili       | 20.5                        | 0.56     | 34             | 19              | 0               | 36               |
| 5         | Tüvasaş Kili      | 18.62                       | 0.95     | 2              | 33              | 0               | 43               |

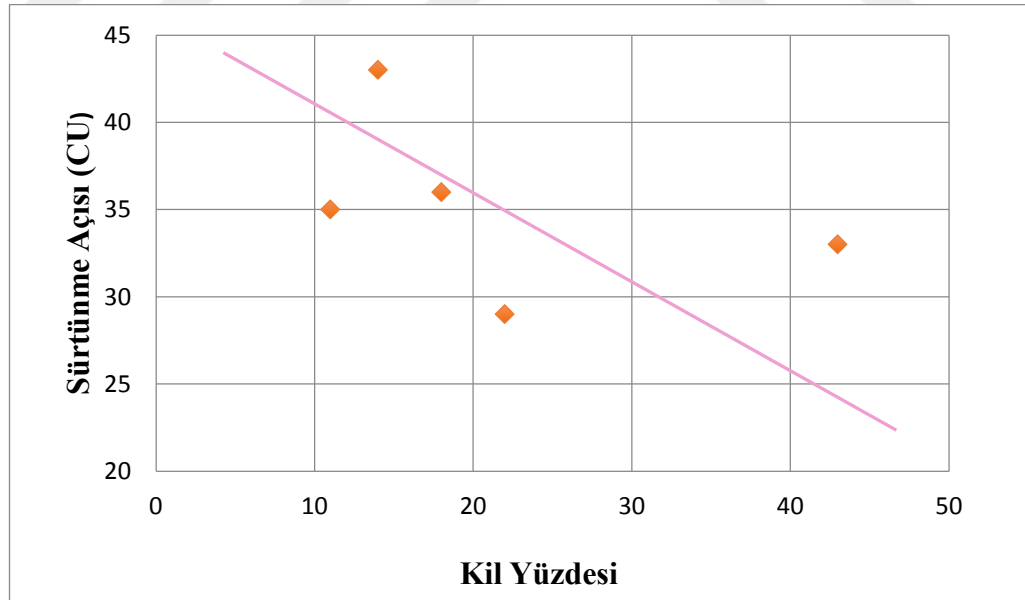


Şekil 4.35. 1 Nolu numunenin (Siltli Kil) konsolidasyonlu-drenajsız (CU) ve kesme kutusu deney sonucu

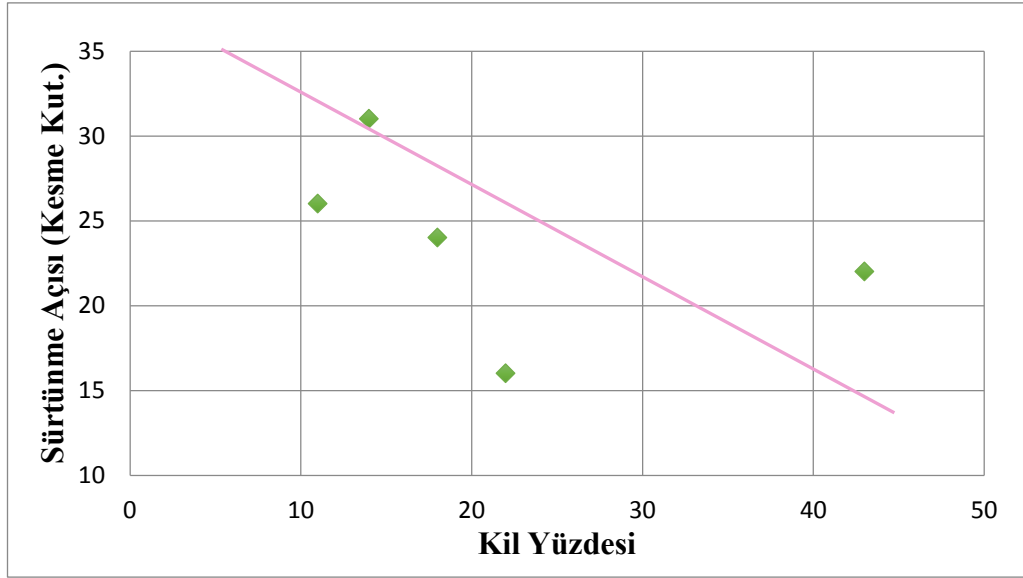


Şekil 4.36. Kesme kutusu ve konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deney sonuçlarının karşılaştırılması

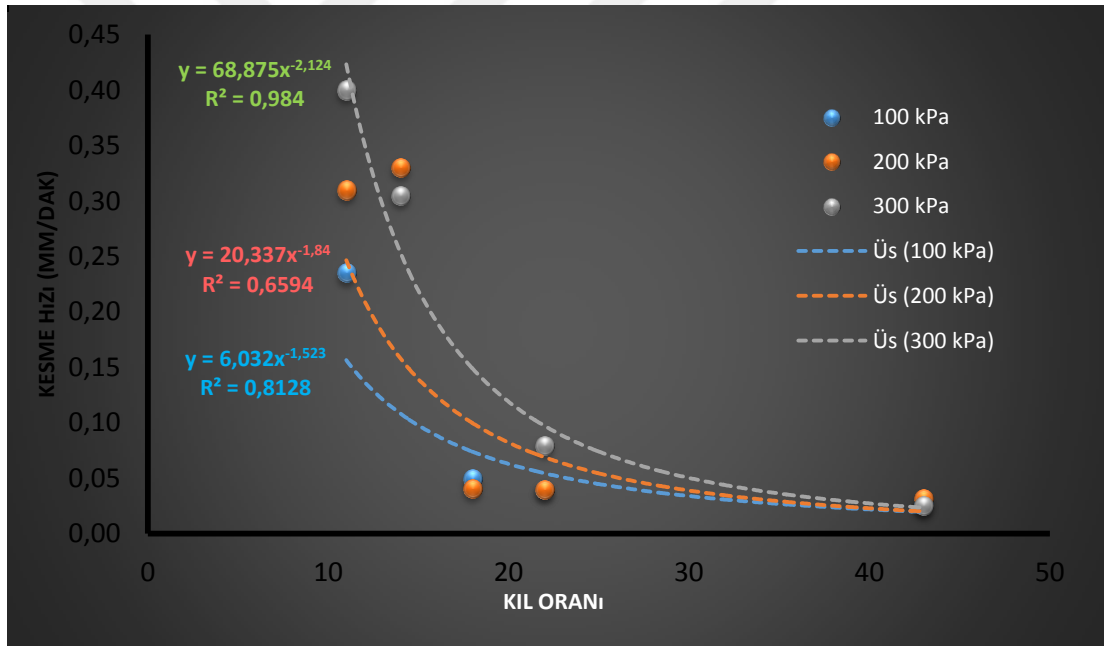
Şekil 4.36.'da her iki deney sonucu elde edilen deney sonuçlarının ilişkisi gösterilmiştir. Bu ilişkiye göre; CU deneyden bulunan efektif sürtünme açısı kesme kutusundan bulunan efektif sürtünme açısından yaklaşık  $13^{\circ}$  daha yüksek çıkmaktadır. Ayrıca direkt kesmekutusu deney sonucuna göre siltli kil numunesi için drenajlı kayma direnci açısı  $26^{\circ}$ , kohezyon değeri ise 13 olarak elde edilmiştir. Ayrıca normal gerilmelere karşılık kayma gerilmelerinin belirli bir doğru üzerinde olması deneysel çalışmalarının doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir. Şekil 4.37.'de CU deneyinden elde edilen sürtünme açıları ile numunelerin içerisindeki kil yüzdeleri ile ilişkisi görülmektedir. Numunelerin içerisindeki kil yüzdeleri arttıkça sürtünme açılarının azaldığı görülmektedir. Şekil 4.38.'de ise kesme kutusu deneyinden elde edilen sürtünme açısı değerleri ve numuneler içerisindeki kil yüzdeleri arasındaki ilişki görülmektedir. Burada da numuneler içerisindeki kil yüzdeleri arttıkça sürtünme açısı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 4.39.'da kesme hızları ile kil yüzdeleri arasındaki ilişki görülmektedir. Kil yüzdeleri arttıkça kesme hızlarının azaldığı elde edilmiştir. Diğer numuneler üzerindeki deneysel çalışmalarda da buna benzer sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.37. CU deneyinden elde edilen sürtünme açıları ve kil yüzdeleri arasındaki ilişki



Şekil 4.38. Kesme kutusu deneyinden elde edilen sürtünme açıları ile kil yüzdeleri arasındaki ilişki



Şekil 4.39. Kesme hızları ile kil oranları arasındaki ilişki

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada TS1500/2000 sınıflandırma sitemine göre kil simgesi (C) almış olan ancak farklı oranlarda silt (M) yüzdelere sahip 5 farklı numune üzerinde drenajlı kayma direnci parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri ile numunelerin drenajlı kayma direnci parametreleri standartlarda (BS ve ASTM) yazan prosedürlere uygun olarak elde edilmiştir. Kesme kutusu ve CU deney sonuçlarına göre elde edilen efektif kohezyon ve sürtünme açıları arasındaki ilişkilere bakıldığında; efektif kohezyonun her iki deney türünde farklılıklar gösterdiği, efektif sürtünme sonuçlarının ise doğrusal bir ilişki sunduğu anlaşılmıştır.

Direkt kesme kutusu deneyinde %20 deformasyona izin verilecek şekilde kayma direnci parametreleri belirlenmiş, konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyinde ise %20 eksenel deformasyona karşılık gelen kayma direnci parametreleri elde edilmiştir. Her iki deney sonucu elde edilen kayma direnci parametreleri ayrı ayrı incelenmiş ve bu deneyler sonucu elde edilen kayma direnci parametreleri karşılaştırılmıştır. Bulunan ilişkiye göre; CU deneyden bulunan efektif sürtünme açısının kesme kutusundan bulunan efektif sürtünme açısından yaklaşık  $13^{\circ}$  daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli deney sonucu elde edilen kayma direnci parametrelerinden kayma direnci açısının ( $\phi$ ) kesme kutusu deney sonucu elde edilen kayma direnci parametrelerinden daha büyük olduğu bulunmuştur. Ayrıca numuneler içerisindeki kil yüzdeleri arttıkça CU ve kesme kutusu deneyinden elde edilen sürtünme açılarının ve kesme kutusu için elde edilen kesme hızlarının azaldığı görülmüştür.

### 5.1. Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Deney Sonuçları

Geoteknik özellikleri belirlenmiş 3 tanesi 3 lü, 2 tanesi 2 li setten oluşan toplamda toplamda 13 adetten oluşan 5 farklı geoteknik özelliklere göre numune üzerinde 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa'lık basınç gerilmeleri altında konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır.

Bu deneyde numunelerde artan birim eksenel kısalma ile birlikte deviatör gerilmenin öncelikle artış gösterdiği, belirli bir pik değere ulaşıldıktan sonra deviatör gerilmenin artan deformasyonla azalmaya başladığı ve sonunda artık deformasyonla da değişmeyen sabit bir değer aldığı görülmektedir. Yaklaşık %17 birim eksenel kısalmadan sonra deviatör gerilmenin çok fazla değişmediği görülmektedir. 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa altında Siltli kil numunesinin drenajlı kayma direnci parametrelerini belirlemek için Mohr dairesi çizilmiştir. CU deneyi sonucuna göre Siltli kil numunesi için drenajlı kayma direnci açısı  $35^\circ$  ve kohezyon 2 kPa olarak bulunmuştur. Drenajsız kayma parametreleri ise mohr daireleri sonucu Siltli kil numunesi için  $16^\circ$  kayma direnci açısı ve 52 kPa kohezyon değeri elde edilmiştir.

Konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deneydedrenajsız kayma direnci parametreleri de belirlenebilmektedir. Ek de siltli kil numunesinin drenajsız kayma direnci parametrelerini elde etmek için çizilmiş mohr daireleri de görülmektedir. Çizilen Mohr daireleri sonucu Siltli kil numunesi için  $16^\circ$  drenajsız kayma direnci açısı ve 52 kPa kohezyon değeri elde edilmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde gerçekleştirilen üç eksenli deney sonuçlarından elde edilen drenajlı kayma direnci açıları  $35^\circ$ - $49^\circ$  arasında, drenajsız kayma direnci açıları  $16^\circ$ - $33^\circ$  arasında değişmektedir. Drenajlı deneyden elde edilen kohezyon ise 0-2 kPa arasında, drenajsız deneyde ise (-12)-(52) arasında kPa değişmektedir. Numunelerin konsolidasyonlu-drenajsız deney sonuçları Ek1 kısmında bulunmaktadır.

## 5.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçları

Geoteknik özellikleri belirlenmiş 4 tanesi 3 lü, 1 tanesi 2 li setten oluşan toplamda toplamda 14 adetten oluşan 5 farklı geoteknik numune üzerinde 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa'lık basınç gerilmeleri altında direkt kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Siltli kil için yapılan kesme kutusu deney sonucu Siltli kil numunesi için  $26^\circ$  drenajlı kayma direnci açısı ve 13 kPa kohezyon değeri elde edilmiştir. Ayrıca numuneler üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deney sonuçlarından elde edilen drenajlı kayma direnci açıları  $12^\circ$ - $31^\circ$  arasında değişmektedir. Drenajlı deneyden elde edilen kohezyon ise 0-33 kPa arasında değişmektedir. Numunelerin direkt kesme kutusu deney ayrıntıları Ek1 kısmında bulunmaktadır.

## 5.3. Kesme Kutusu ve Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada drenajlı kayma direnci parametrelerini incelemek için seçilen likit limiti %30 ile %53 arasında, plastisite indisi %21 ile %29 arasında bulunan 5 adet zemin numunesi üzerinde konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi ve direkt kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile direkt kesme kutusu deney sonuçları arasında ilişki kurulmuş ve drenajlı kayma direnci açısı ile numunelerin kıvam limitleri ve diğer geoteknik özellikleri birlikte incelenmiştir. Özellikle zeminlerin kayma direnci açısının likit limit ( $w_L$ ), plastik limit ( $w_p$ ), plastisite indisi (IP) ve kayma direnci ile değişimi incelenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Das, B.M. Principles of Geotechnical Engineering. Cengage Learning, 8. Education PWS – KENT Publishing Company, Boston, 2010.
- [2] Önalp, A. Geoteknik Bilgisi 1 Zeminler ve Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.
- [3] Coduto, D.P. Geoteknik Mühendisliği - İlkeler ve Uygulamalar. Prentice Hall, 1998.
- [4] Bardet, J.P. Experimental Soil Mechanics. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey, 1997.
- [5] Özaydın, K. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010.
- [6] Bishop, A.W. and Bjerrum, L. The Relevance Of The Triaxial Test To The Solution Of Stability Problems. Proceedings Of The ASCE Research Conference On The Shear Strenght Of Cohesive Soils, Boulder, CO, 1960
- [7] Duncan, J.M., Wright, S.G. Zemin Şevlerin Duraylılığı. Gazi Kitabevi, Ankara, 2005.
- [8] Lambe, T.W., Whitman, R.V. Soil Mechanics. John Wiley, New York, 1969.
- [9] Head, K.H. Manual Of Soil Laboratory Testing. Volume 2. Pentech London, 1982.
- [10] ASTM D3080/D3080M-11 Standard Test Method For Direct Shear Test Of Soils Under Consolidated Drained Condisitons.
- [11] Asmirza, M.S. Direct Shear Testing. Lecture Papers. USU Institutional Repository, 2004.
- [12] Mitchell, J.K. Fundamentals Of Soil Behaviour. Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1993.
- [13] Özaydın, K. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [14] Skempton, A.W. Zemin Mekaniği. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1958.

- [15] Holtz, R.D., Kovacs, W.D. An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nj, 1981.

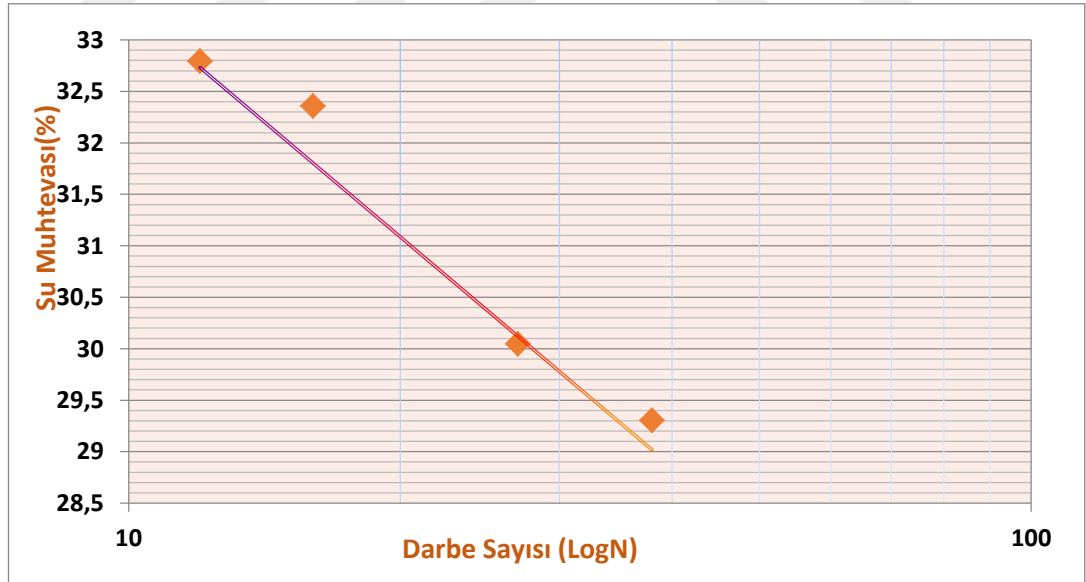


## EKLER

### EK 1: Numunelerin Fiziksel Özellikleri

#### a.) Silt

| LİKİT LİMİT TAYİNİ |             |             |             |             | PLASTİK LİMİT  |             |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| Deney No           | 1           | 2           | 3           | 4           | Deney No       | 1           |
| Kap No             | 349         | 340         | 335         | 306         | Kap No         | 382         |
| Kap+Örnek          | 36,461      | 26,614      | 28,165      | 31,03       | Kap+Örnek      | 23,216      |
| Kap+Kuru Örnek     | 34,011      | 25,072      | 26,45       | 29,205      | Kap+Kuru Örnek | 22,847      |
| Kap Ağırlığı       | 25,65       | 19,94       | 21,15       | 23,64       | Kap Ağırlığı   | 21,21       |
| Kuru Örnek         | 8,361       | 5,132       | 5,3         | 5,565       | Kuru Örnek     | 1,637       |
| Su Ağırlığı        | 2,45        | 1,542       | 1,715       | 1,825       | Su Ağırlığı    | 0,369       |
| Vuruş              | 38          | 27          | 16          | 12          | Su Muhtevası   | 22,54123396 |
| Su Muhtevası       | 29,30271499 | 30,04676539 | 32,35849057 | 32,79424978 | Plastik Limit  | 22,54123396 |



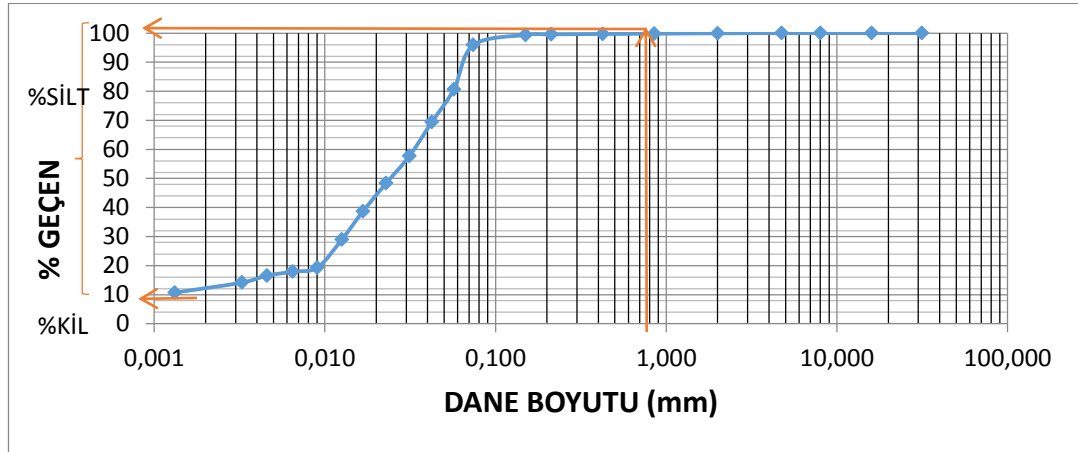
|                            | 1.Numune |
|----------------------------|----------|
| piknometre ağırlığı        | 26,429   |
| piknometre+numune          | 36,429   |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,919   |
| piknometre+su              | 79,687   |

|                            | 2.Numune |
|----------------------------|----------|
| piknometre ağırlığı        | 28,119   |
| piknometre+numune          | 38,119   |
| vakum+piknometre+su+numune | 86,324   |
| piknometre+su              | 80,175   |

|                            | 3.Numune |
|----------------------------|----------|
| piknometre ağırlığı        | 21,137   |
| piknometre+numune          | 31,137   |
| vakum+piknometre+su+numune | 77,482   |
| piknometre+su              | 71,284   |

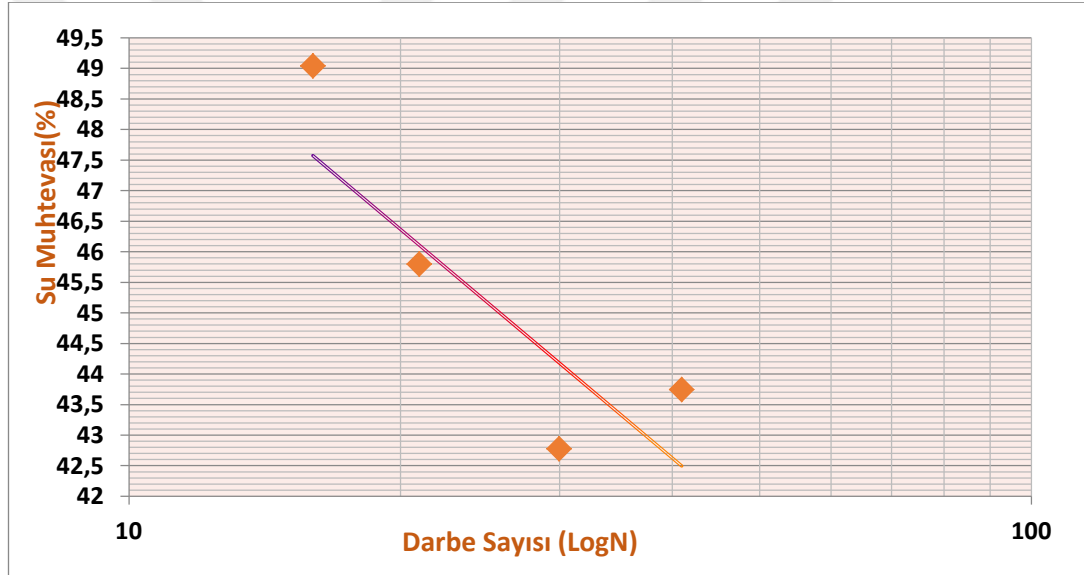
|                            | 4.Numune |
|----------------------------|----------|
| piknometre ağırlığı        | 25,956   |
| piknometre+numune          | 35,956   |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,47    |
| piknometre+su              | 79,256   |

|        |            |
|--------|------------|
| GS 1   | 2,65392781 |
| GS 2   | 2,59672812 |
| GS 3   | 2,63019463 |
| GS 4   | 2,64131009 |
| ORT GS | 2,63       |



## b.)Adapazarı Kili

|                |             | LİKİT LİMİT TAYİNİ |             |            | PLASTİK LİMİT  |             |
|----------------|-------------|--------------------|-------------|------------|----------------|-------------|
| Deney No       | 1           | 2                  | 3           | 4          | Deney No       | 1           |
| Kap No         | 7           | 6                  | 157         | 8          | Kap No         | 154         |
| Kap+Örnek      | 23,415      | 24,053             | 25,997      | 25,617     | Kap+Örnek      | 16,029      |
| Kap+Kuru Örnek | 19,635      | 20,093             | 21,128      | 20,695     | Kap+Kuru Örnek | 15,088      |
| Kap Ağırlığı   | 10,994      | 10,836             | 10,497      | 10,659     | Kap Ağırlığı   | 11,187      |
| Kuru Örnek     | 8,641       | 9,257              | 10,631      | 10,036     | Kuru Örnek     | 3,901       |
| Su Ağırlığı    | 3,78        | 3,96               | 4,869       | 4,922      | Su Ağırlığı    | 0,941       |
| Vuruş          | 41          | 30                 | 21          | 16         | Su Muhtevası   | 24,12201999 |
| Su Muhtevası   | 43,74493693 | 42,77843794        | 45,80001881 | 49,0434436 | Plastik Limit  | 24,12201999 |



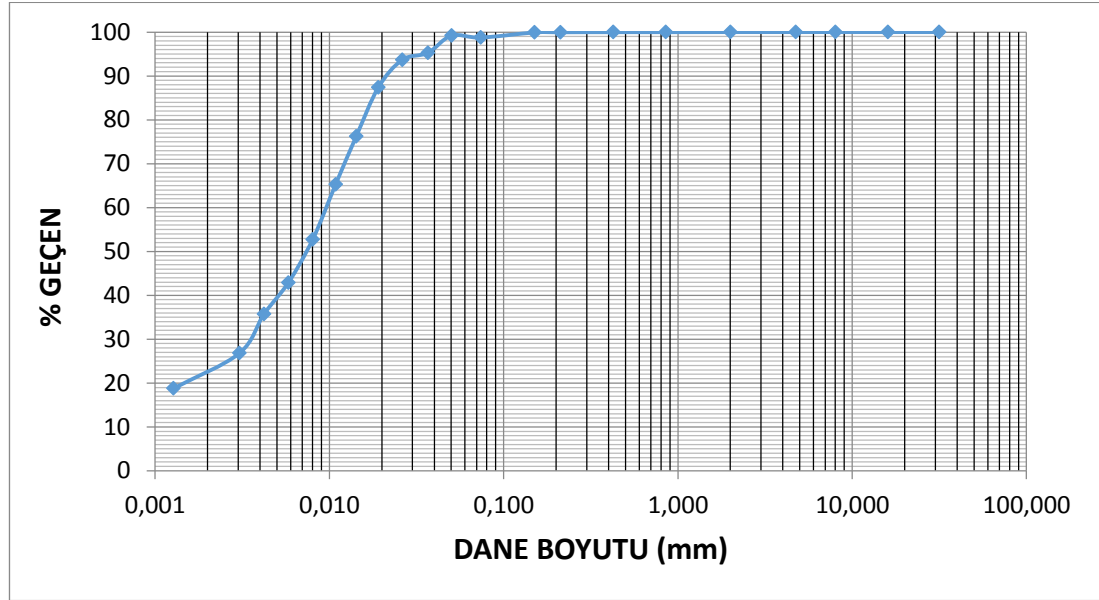
| 1.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,535 |
| piknometre+numune          | 36,537 |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,376 |
| piknometre+su              | 79,14  |

| 2.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,208 |
| piknometre+numune          | 37,208 |
| vakum+piknometre+su+numune | 86,332 |
| piknometre+su              | 79,955 |

| 3.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 25,957 |
| piknometre+numune          | 35,951 |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,636 |
| piknometre+su              | 79,292 |

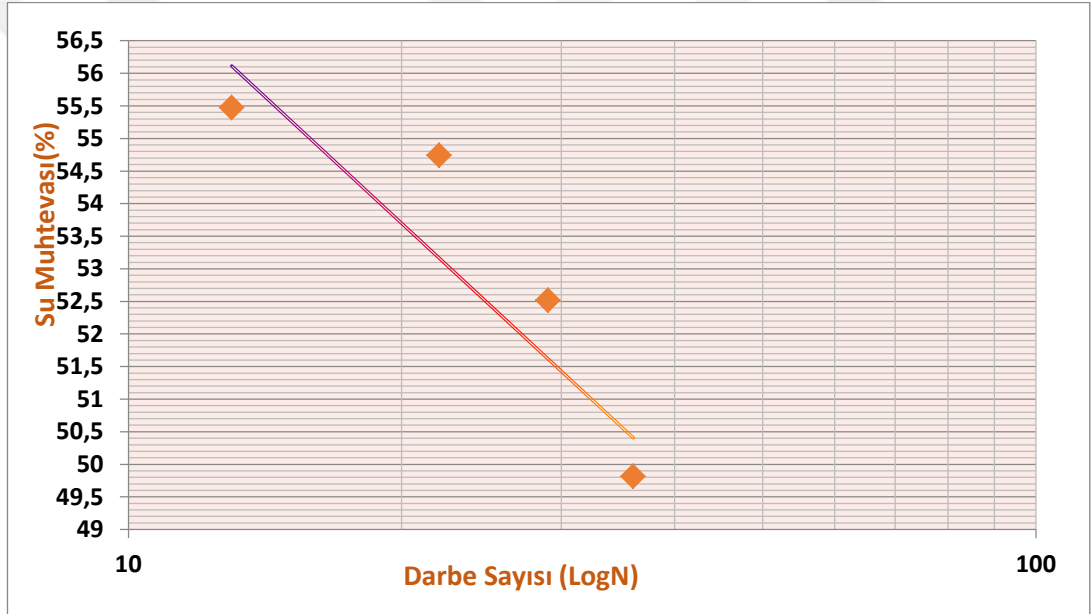
| 4.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,561 |
| piknometre+numune          | 36,559 |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,554 |
| piknometre+su              | 79,253 |

|        |            |
|--------|------------|
| GS 1   | 2,6558683  |
| GS 2   | 2,76014353 |
| GS 3   | 2,73808219 |
| GS 4   | 2,70435488 |
| ORT GS | 2,71461222 |



c.)Düzce Kili

|                |             | LİKİT LİMİT TAYİNİ |             | PLASTİK LİMİT |                |             |
|----------------|-------------|--------------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| Deney No       | 1           | 2                  | 3           | 4             | Deney No       | 1           |
| Kap No         | 308         | 356                | 312         | 340           | Kap No         | 369         |
| Kap+Örnek      | 35,436      | 33,646             | 35,906      | 33,95         | Kap+Örnek      | 23,58       |
| Kap+Kuru Örnek | 31,341      | 29,333             | 31,114      | 28,737        | Kap+Kuru Örnek | 23,274      |
| Kap Ağırlığı   | 23,12       | 21,12              | 22,36       | 19,34         | Kap Ağırlığı   | 21,84       |
| Kuru Örnek     | 8,221       | 8,213              | 8,754       | 9,397         | Kuru Örnek     | 1,434       |
| Su Ağırlığı    | 4,095       | 4,313              | 4,792       | 5,213         | Su Ağırlığı    | 0,306       |
| Vuruş          | 36          | 29                 | 22          | 13            | Su Muhtevası   | 21,33891213 |
| Su Muhtevası   | 49,81145846 | 52,51430659        | 54,74068997 | 55,47515164   | Plastik Limit  | 21,33891213 |



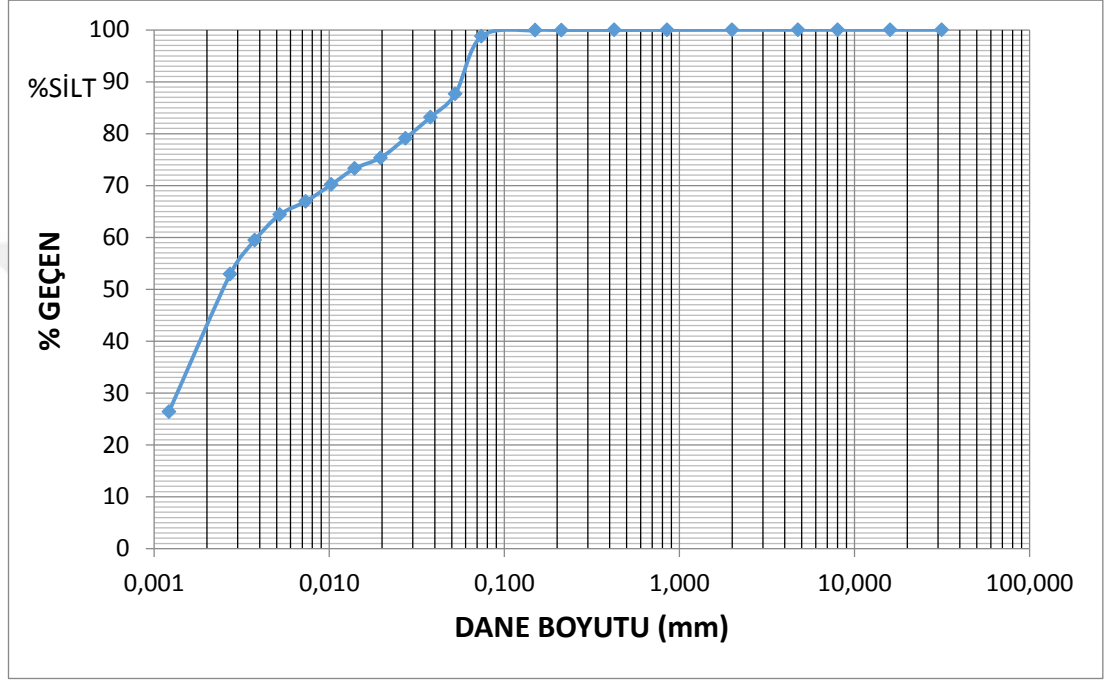
| 1.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,537 |
| piknometre+numune          | 34,558 |
| vakum+piknometre+su+numune | 84,232 |
| piknometre+su              | 79,094 |

| 2.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,532 |
| piknometre+numune          | 35,122 |
| vakum+piknometre+su+numune | 84,689 |
| piknometre+su              | 79,846 |

| 3.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,813 |
| piknometre+numune          | 34,828 |
| vakum+piknometre+su+numune | 85,705 |
| piknometre+su              | 80,599 |

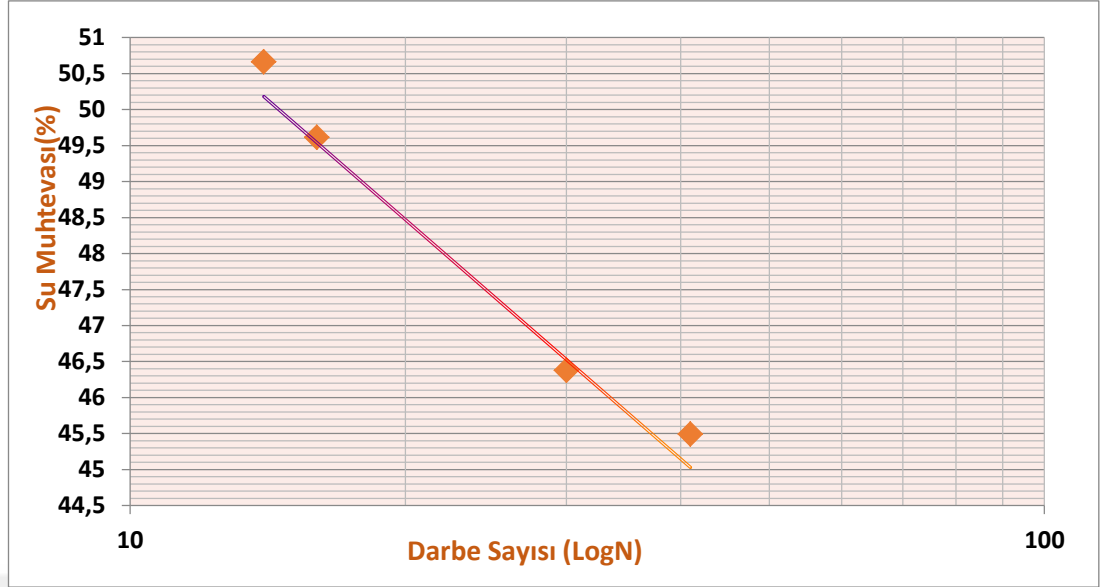
| 4.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,559 |
| piknometre+numune          | 34,176 |
| vakum+piknometre+su+numune | 84,145 |
| piknometre+su              | 79,244 |

|        |            |
|--------|------------|
| GS 1   | 2,78217135 |
| GS 2   | 2,7630142  |
| GS 3   | 2,75524235 |
| GS 4   | 2,8044919  |
| ORT GS | 2,77622995 |



d.)Yalova Kili

| LİKİT LİMİT TAYİNİ |             |            |             |             | PLASTİK LİMİT  |             |
|--------------------|-------------|------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| Deney No           | 1           | 2          | 3           | 4           | Deney No       | 1           |
| Kap No             | 349         | 344        | 380         | 332         | Kap No         | 308         |
| Kap+Örnek          | 38,792      | 29,867     | 32,358      | 29,383      | Kap+Örnek      | 26,937      |
| Kap+Kuru Örnek     | 34,683      | 26,592     | 28,658      | 26,386      | Kap+Kuru Örnek | 26,08       |
| Kap Ağırlığı       | 25,65       | 19,53      | 21,2        | 20,47       | Kap Ağırlığı   | 23,106      |
| Kuru Örnek         | 9,033       | 7,062      | 7,458       | 36,061      | Kuru Örnek     | 2,974       |
| Su Ağırlığı        | 4,109       | 3,275      | 3,7         | 2,997       | Su Ağırlığı    | 0,857       |
| Vuruş              | 41          | 30         | 16          | 14          | Su Muhtevası   | 28,81640888 |
| Su Muhtevası       | 45,48876342 | 46,3749646 | 49,61115581 | 50,65922921 | Plastik Limit  | 28,81640888 |



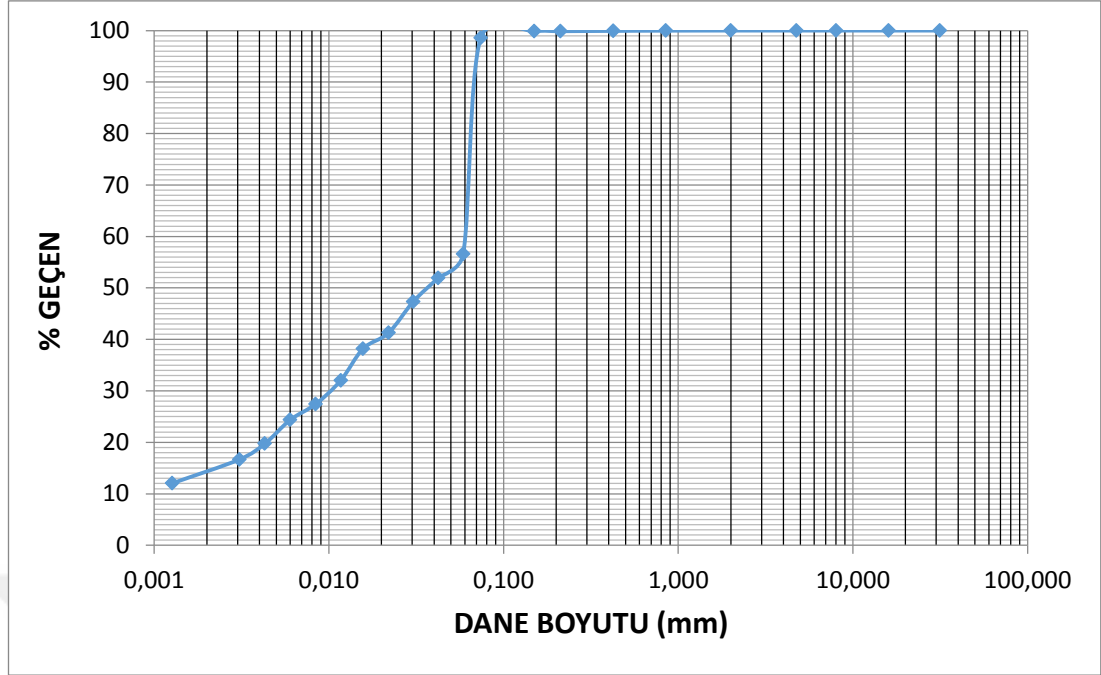
| 1.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,207 |
| piknometre+numune          | 32,214 |
| vakum+piknometre+su+numune | 83,149 |
| piknometre+su              | 80,005 |

| 2.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,071 |
| piknometre+numune          | 31,112 |
| vakum+piknometre+su+numune | 82,673 |
| piknometre+su              | 79,613 |

| 3.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,531 |
| piknometre+numune          | 31,434 |
| vakum+piknometre+su+numune | 82,235 |
| piknometre+su              | 79,83  |

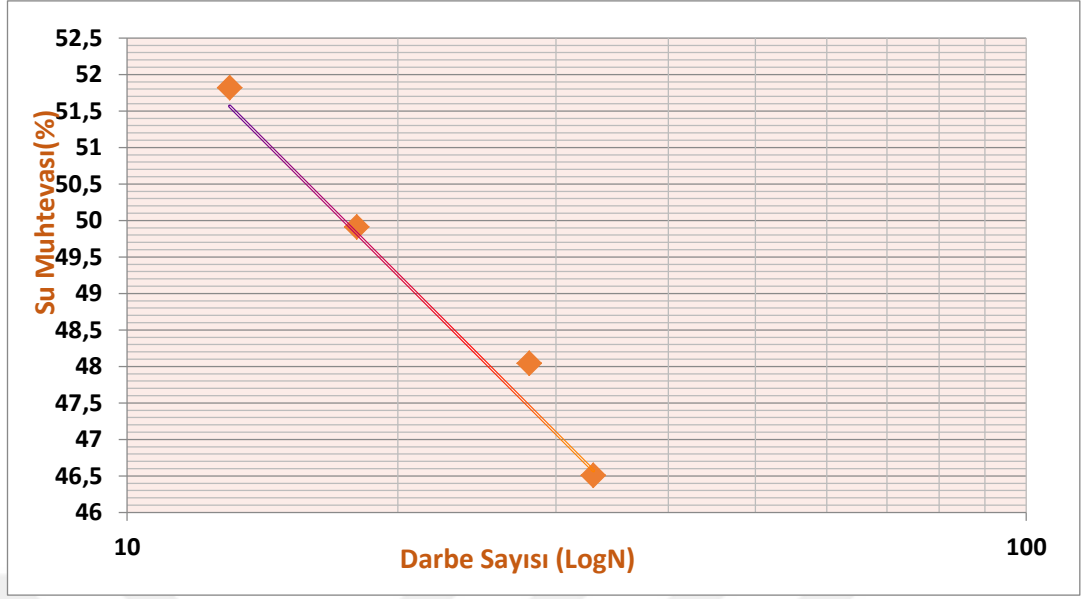
| 4.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 25,954 |
| piknometre+numune          | 30,061 |
| vakum+piknometre+su+numune | 81,771 |
| piknometre+su              | 79,261 |

|        |            |
|--------|------------|
| GS 1   | 2,68760064 |
| GS 2   | 2,54467441 |
| GS 3   | 2,60547397 |
| GS 4   | 2,57169693 |
| ORT GS | 2,60236149 |



d.)Tüvasaş Kili

| LİKİT LİMİT TAYİNİ |             |             |             |             | PLASTİK LİMİT  |             |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| Deney No           | 1           | 2           | 3           | 4           | Deney No       | 1           |
| Kap No             | 367         | 381         | 314         | 333         | Kap No         | 337         |
| Kap+Örnek          | 25,694      | 31,926      | 35,1        | 34,403      | Kap+Örnek      | 28,074      |
| Kap+Kuru Örnek     | 23,585      | 29,35       | 31,806      | 29,896      | Kap+Kuru Örnek | 26,68       |
| Kap Ağırlığı       | 19,05       | 23,988      | 25,206      | 21,198      | Kap Ağırlığı   | 21,413      |
| Kuru Örnek         | 4,535       | 5,362       | 6,6         | 36,061      | Kuru Örnek     | 5,267       |
| Su Ağırlığı        | 2,109       | 2,576       | 3,294       | 4,507       | Su Ağırlığı    | 1,394       |
| Vuruş              | 33          | 28          | 18          | 13          | Su Muhtevası   | 26,46667932 |
| Su Muhtevası       | 46,50496141 | 48,04177546 | 49,90909091 | 51,81650954 | Plastik Limit  | 26,46667932 |



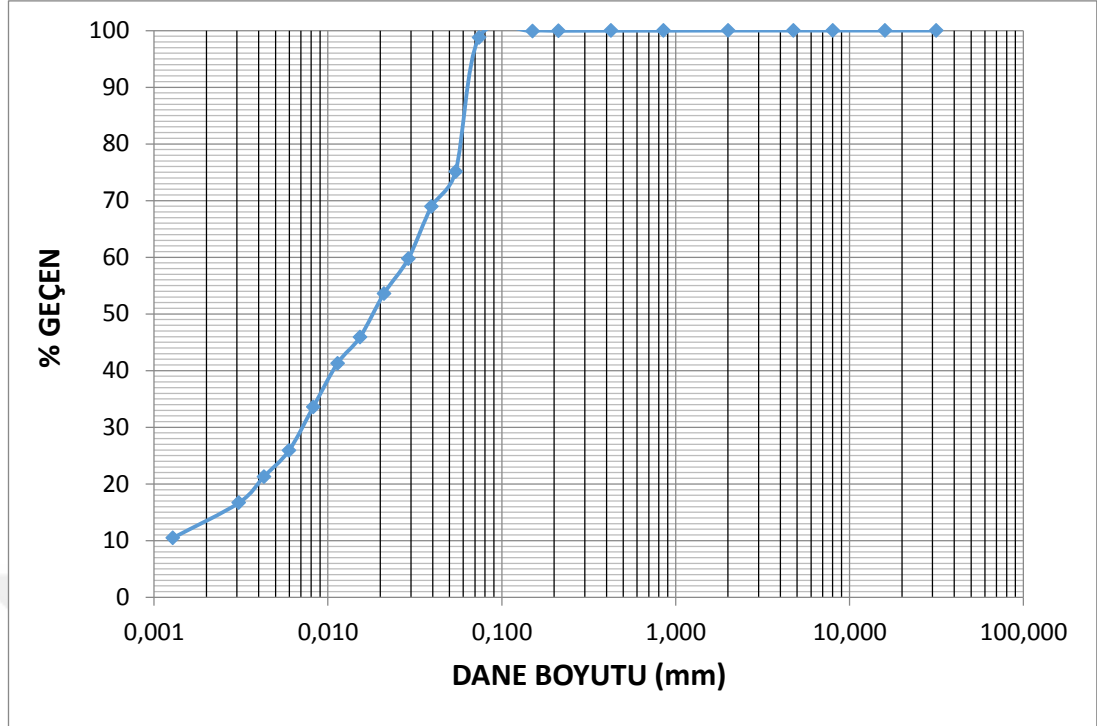
| 1.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,207 |
| piknometre+numune          | 34,829 |
| vakum+piknometre+su+numune | 84,733 |
| piknometre+su              | 79,967 |

| 2.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 27,531 |
| piknometre+numune          | 32,457 |
| vakum+piknometre+su+numune | 82,846 |
| piknometre+su              | 79,65  |

| 3.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 26,071 |
| piknometre+numune          | 31,357 |
| vakum+piknometre+su+numune | 82,985 |
| piknometre+su              | 79,58  |

| 4.Numune                   |        |
|----------------------------|--------|
| piknometre ağırlığı        | 25,954 |
| piknometre+numune          | 31,314 |
| vakum+piknometre+su+numune | 82,558 |
| piknometre+su              | 79,167 |

|        |            |
|--------|------------|
| GS 1   | 2,66876751 |
| GS 2   | 2,84739884 |
| GS 3   | 2,81020734 |
| GS 4   | 2,72219401 |
| ORT GS | 2,76214192 |



## EK2: Cu Grafikleri



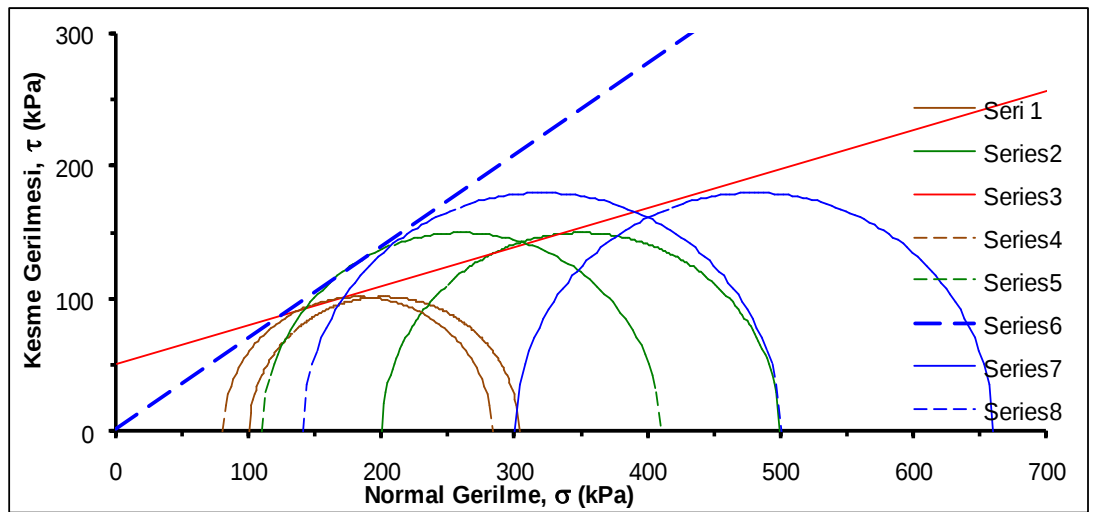
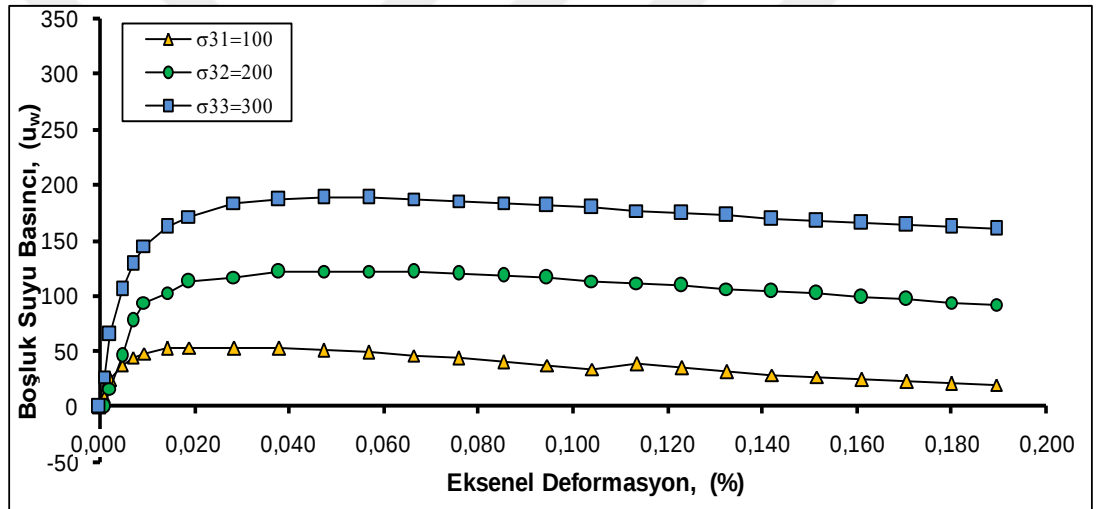
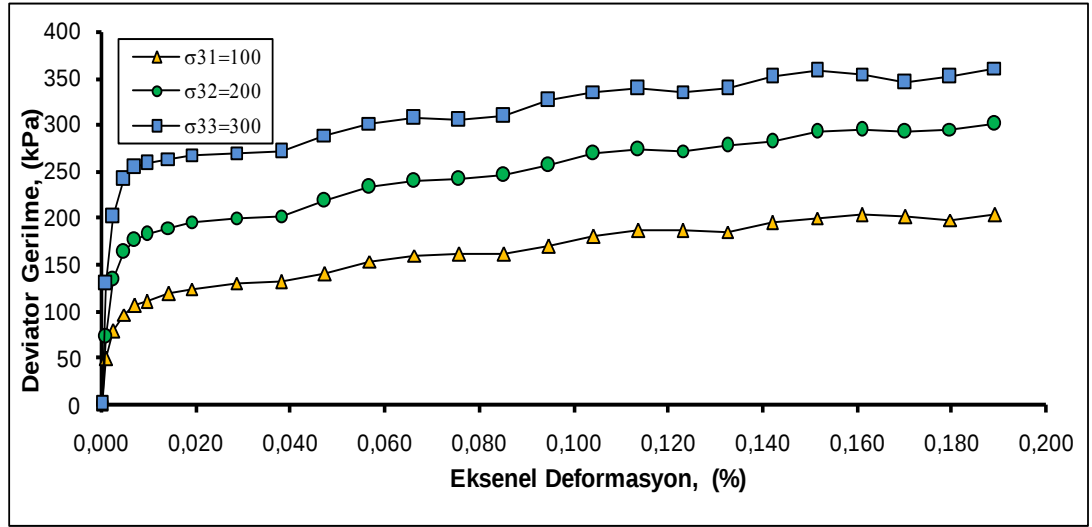
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

## ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)

|                        |            |                      |        |
|------------------------|------------|----------------------|--------|
| Proje :                | SİLT       |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : |            | Deneyi Yapan :       | M.İ    |
| Örneğin Tanım :        | Kahverengi | Kesme Hız, mm/dk :   | 0,5    |
| Sondaj No :            |            | Kuvvet Halk. No :    | 13362  |
| Derinlik :             | Lab        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 16.11.2015 | Gs :                 | 2,63   |

| DENEY NO :                                  | 1       | 2      | 3      |
|---------------------------------------------|---------|--------|--------|
| Çevre Basıncı (kpa) :                       | 100     | 200    | 300    |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,00    | 5,00   | 5,00   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 10,75   | 10,50  | 10,44  |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 404,83  | 396,24 | 390,24 |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 392,19  | 382,39 | 371,70 |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 311,285 | 305,50 | 303,38 |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,63   | 19,63  | 19,63  |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 211,08  | 206,17 | 204,99 |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 93,545  | 90,74  | 86,86  |
| Su Muhtevası (%) :                          | 30,05   | 29,70  | 28,63  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 18,81   | 18,85  | 18,68  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 18,23   | 18,20  | 17,79  |
| Kuru Birim Hac. Ağ. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 14,47   | 14,54  | 14,52  |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 118,36  | 116,16 | 115,35 |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 92,72   | 90,01  | 89,64  |
| Porozite (%) :                              | 43,93   | 43,66  | 43,73  |
| Boşluk Oranı :                              | 0,78    | 0,77   | 0,78   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00  | 100,00 | 96,90  |
| Drenajsız Elastisite Mod.(MPa) :            | 8,39    | 13,37  | 18,55  |



| SU BASINCI    |     | TOPLAM GERİLME |     | EFEKTİF GERİLME |     | SONUÇLAR |    |
|---------------|-----|----------------|-----|-----------------|-----|----------|----|
| $\sigma_{d1}$ | 203 | $\sigma_{31}$  | 100 | $\sigma'_{31}$  | 80  | C        | 52 |
| $\sigma_{d2}$ | 300 | $\sigma_{11}$  | 303 | $\sigma'_{11}$  | 283 | $\phi$   | 16 |
| $\sigma_{d3}$ | 361 | $\sigma_{32}$  | 200 | $\sigma'_{32}$  | 110 | C'       | 2  |
| $U_{wf1}$     | 20  | $\sigma_{12}$  | 500 | $\sigma'_{12}$  | 410 | $\phi'$  | 35 |
| $U_{wf2}$     | 90  | $\sigma_{33}$  | 300 | $\sigma'_{33}$  | 140 |          |    |
| $U_{wf3}$     | 160 | $\sigma_{13}$  | 661 | $\sigma'_{13}$  | 501 |          |    |

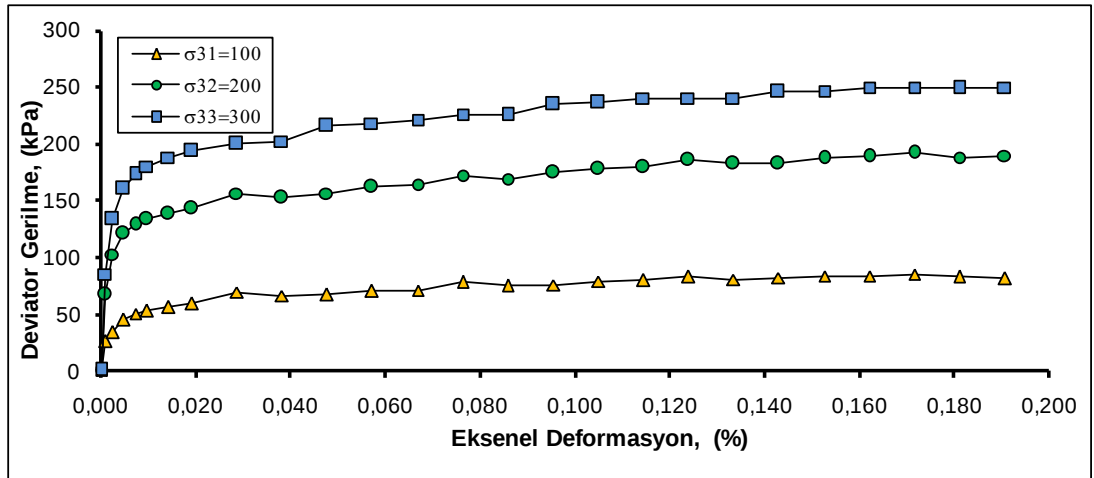


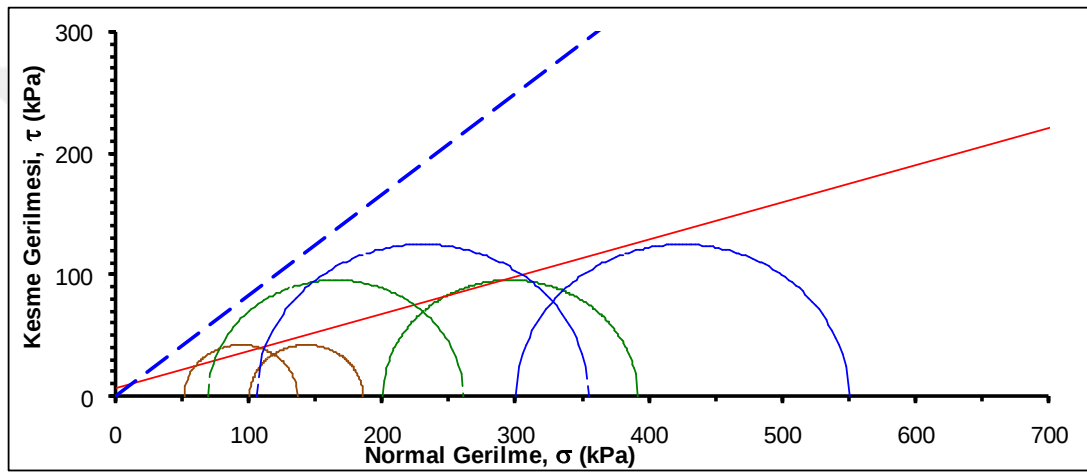
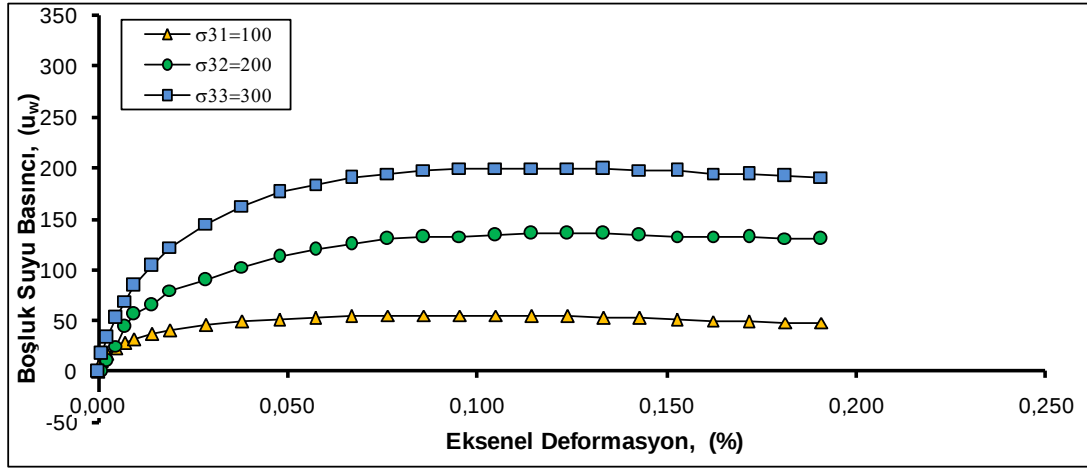
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

### ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)

|                        |                |                      |        |
|------------------------|----------------|----------------------|--------|
| Proje :                | Adapazarı Kili |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : | Laboratuvar    | Deneyi Yapan :       | M.İ    |
| Örneğin Tanım :        | Kahverengi     | Kesme Hız, mm/dk :   | 0,5    |
| Sondaj No :            |                | Kuvvet Halk. No :    | 13362  |
| Derinlik :             | Lab            | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 26.04.2016     | Gs :                 | 2,71   |

| DENEY NO :                                  | 1       | 2      | 3      |
|---------------------------------------------|---------|--------|--------|
| Çevre Basıncı (kPa) :                       | 100     | 200    | 300    |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,00    | 5,00   | 5,00   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 10,2    | 10,91  | 10,35  |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 371,464 | 391,98 | 374,29 |
| Deney Sonu Zemin Ağı. (gr) :                | 361,33  | 373,65 | 350,96 |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 269,492 | 281,76 | 270,38 |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,63   | 19,63  | 19,63  |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 200,28  | 214,22 | 203,22 |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 101,972 | 110,23 | 103,91 |
| Su Muhtevası (%) :                          | 37,84   | 39,12  | 38,43  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 18,20   | 17,95  | 18,07  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 17,70   | 17,11  | 16,94  |
| Kuru Birim Hac. Ağı. (kn/m <sup>3</sup> ) : | 13,20   | 12,90  | 13,05  |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 99,44   | 103,97 | 99,77  |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 100,83  | 110,25 | 103,45 |
| Porozite (%) :                              | 50,35   | 51,47  | 50,91  |
| Boşluk Oranı :                              | 1,01    | 1,06   | 1,04   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00  | 99,98  | 100,00 |
| Drenajsız Elastisite Mod.(MPa) :            | 3,91    | 9,67   | 13,16  |



**SU BASINCI**

|               |     |
|---------------|-----|
| $\sigma_{d1}$ | 85  |
| $\sigma_{d2}$ | 192 |
| $\sigma_{d3}$ | 250 |
| $u_{wf1}$     | 49  |
| $u_{wf2}$     | 131 |
| $u_{wf3}$     | 195 |

**TOPLAM GERİLME**

|               |     |
|---------------|-----|
| $\sigma_{31}$ | 100 |
| $\sigma_{11}$ | 185 |
| $\sigma_{32}$ | 200 |
| $\sigma_{12}$ | 392 |
| $\sigma_{33}$ | 300 |
| $\sigma_{13}$ | 550 |

**EFEKTİF GERİLME**

|                |     |
|----------------|-----|
| $\sigma'_{31}$ | 51  |
| $\sigma'_{11}$ | 136 |
| $\sigma'_{32}$ | 69  |
| $\sigma'_{12}$ | 261 |
| $\sigma'_{33}$ | 105 |
| $\sigma'_{13}$ | 355 |

**SONUÇLAR**

|           |    |
|-----------|----|
| <b>C</b>  | 8  |
| $\phi$    | 17 |
| <b>C'</b> | 0  |
| $\phi'$   | 40 |



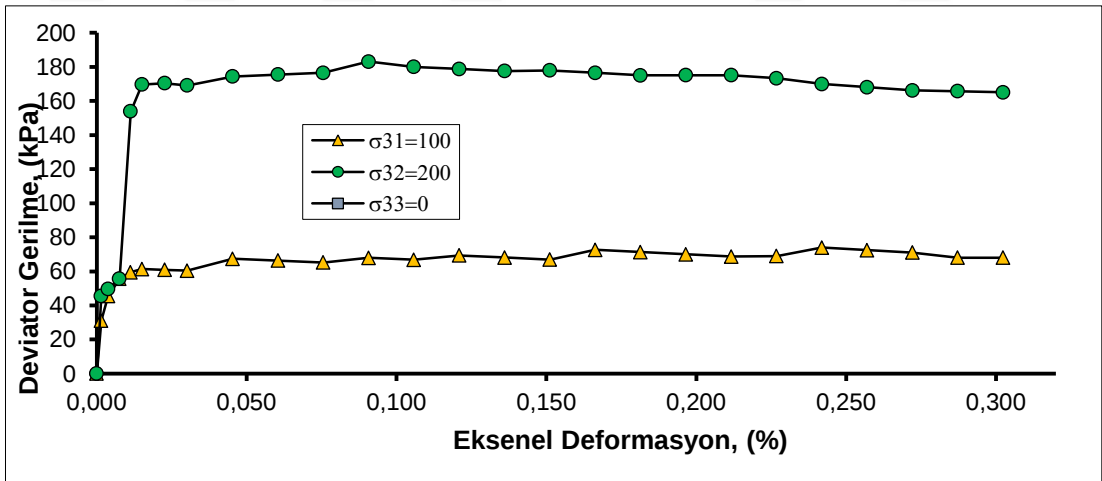
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

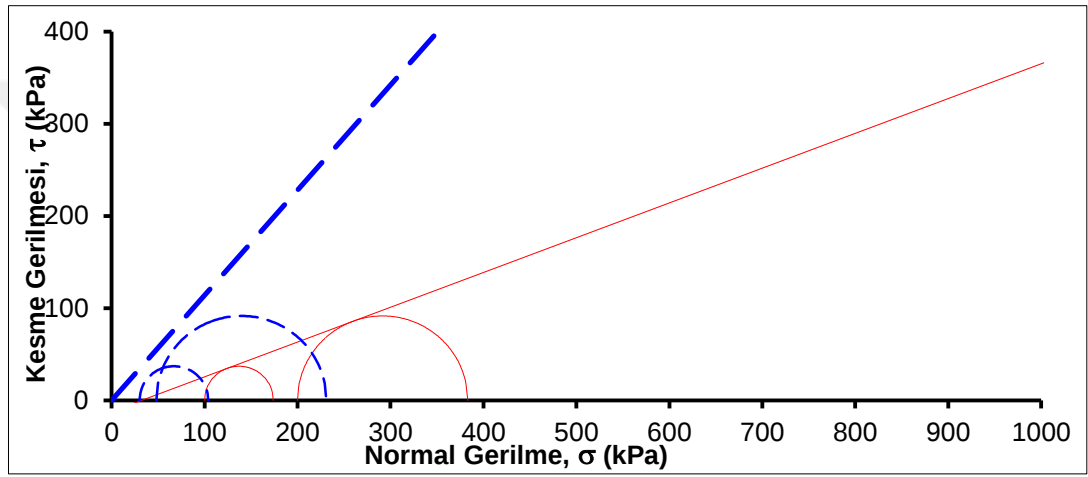
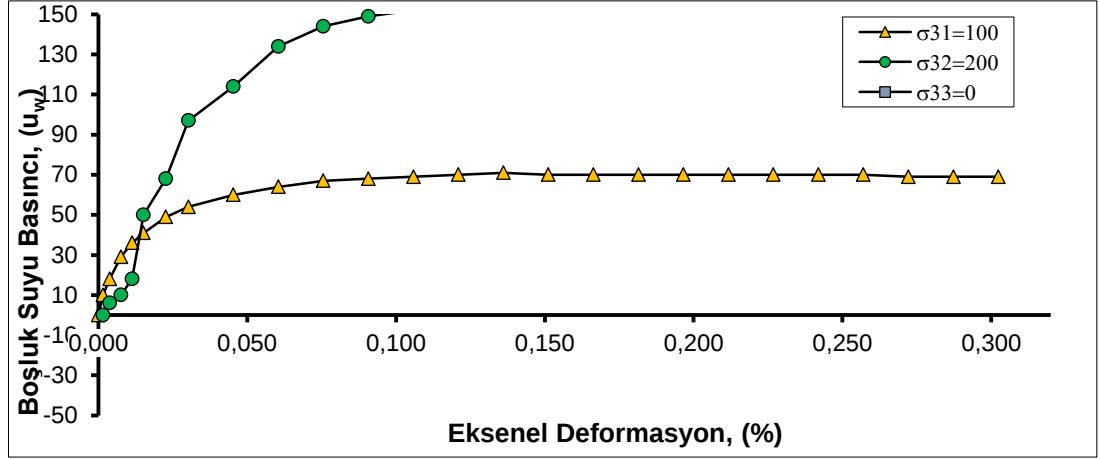
## ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)

|                        |            |                      |        |
|------------------------|------------|----------------------|--------|
| Proje :                | Düzce Kili |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : | Düzce Kili | Deneyi Yapan :       | M.İ.   |
| Örneğin Tanım :        | Kızıl      | Kesme Hız,mm/dk :    | 0,2    |
| Sondaj No :            | Lab. Num.  | Kuvvet Halk. No :    | 13352  |
| Derinlik :             | ---        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 08.06.2016 | Gs :                 | 2,77   |

|                                             |        |        |   |
|---------------------------------------------|--------|--------|---|
| DENEY NO :                                  | 1      | 2      | 3 |
| Çevre Basıncı (kpa) :                       | 100    | 200    |   |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,00   | 5,00   |   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 9,99   | 9,85   |   |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 364,49 | 366,78 |   |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 357,11 | 351,79 |   |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 269,51 | 269,00 |   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,63  | 19,63  |   |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 196,15 | 193,40 |   |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 94,98  | 97,78  |   |
| Su Muhtevası (%) :                          | 35,24  | 36,35  |   |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 18,23  | 18,60  |   |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) : | 17,86  | 17,84  |   |
| Kuru Birim Hac. Ağ. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 13,48  | 13,64  |   |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 97,30  | 97,11  |   |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 98,86  | 96,29  |   |
| Porozite (%) :                              | 50,40  | 49,79  |   |
| Boşluk Oranı :                              | 1,02   | 0,99   |   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 96,08  | 100,00 |   |
| Drenajsız Elastisite Mod.(MPa) :            | 2,68   | 7,51   |   |





| SU BASINCI    |     |  |
|---------------|-----|--|
| $\sigma_{d1}$ | 74  |  |
| $\sigma_{d2}$ | 183 |  |
| $u_{wf1}$     | 70  |  |
| $u_{wf2}$     | 152 |  |

| TOPLAM GERİLME |     |  |
|----------------|-----|--|
| $\sigma_{31}$  | 100 |  |
| $\sigma_{11}$  | 174 |  |
| $\sigma_{32}$  | 200 |  |
| $\sigma_{12}$  | 383 |  |

| EFEKTİF GERİLME |     |  |
|-----------------|-----|--|
| $\sigma'_{31}$  | 30  |  |
| $\sigma'_{11}$  | 104 |  |
| $\sigma'_{32}$  | 48  |  |
| $\sigma'_{12}$  | 231 |  |

| SONUÇLAR |     |  |
|----------|-----|--|
| C        | -12 |  |
| $\phi$   | 21  |  |
| C'       | 0   |  |
| $\phi'$  | 49  |  |



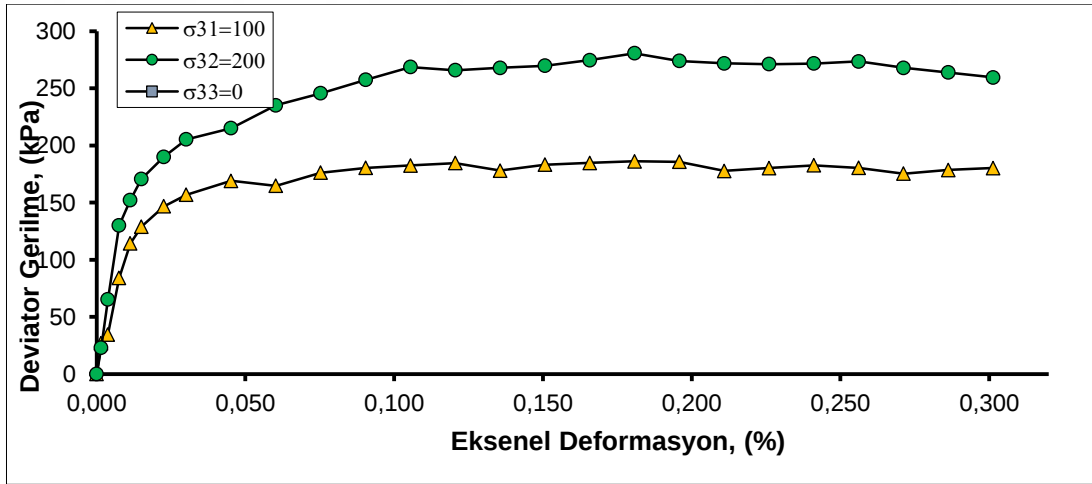
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

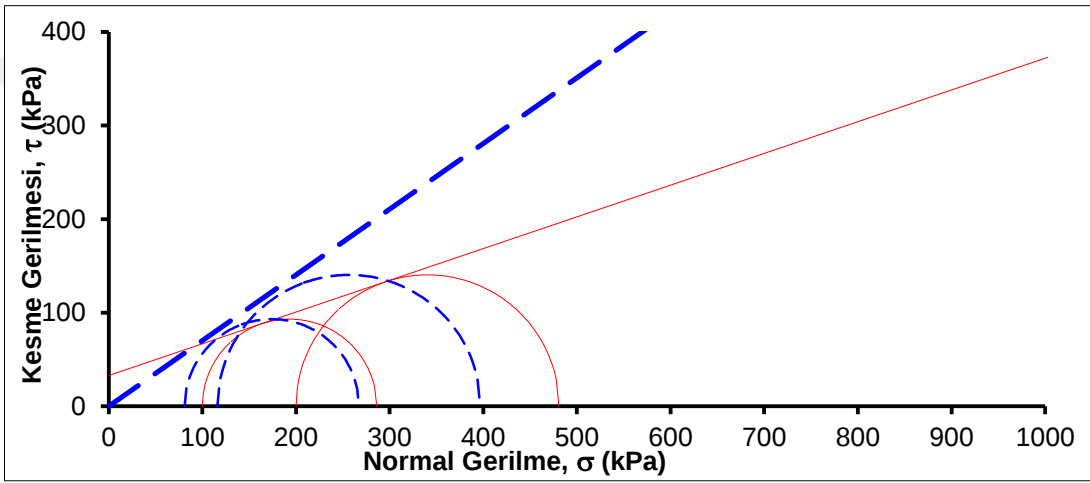
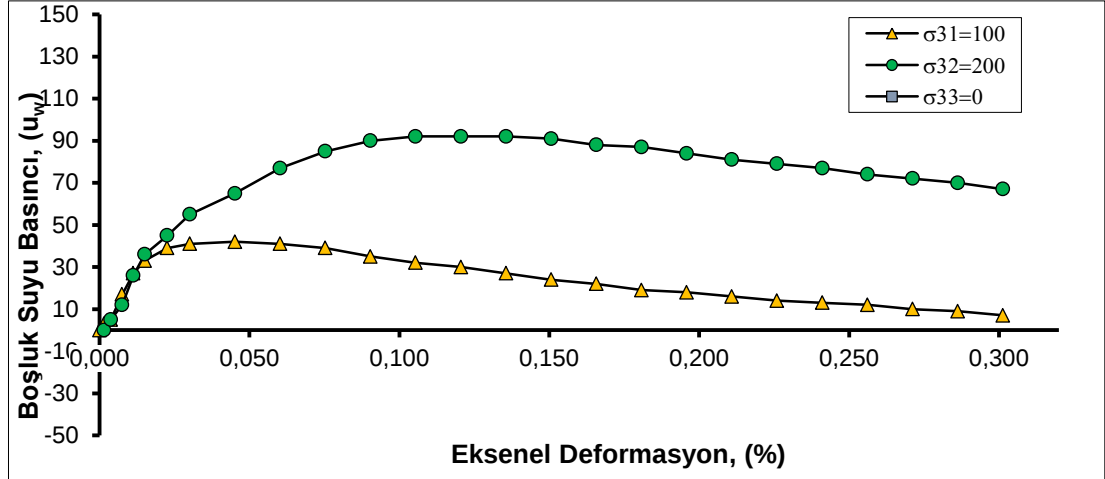
### ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)

|                        |                   |                      |        |
|------------------------|-------------------|----------------------|--------|
| Proje :                | YALOVA            |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : | Altınova - Subaşı | Deneyi Yapan :       | M.İ.   |
| Örneğin Tanım :        | Kahve-Yeşil       | Kesme Hız, mm/dk :   | 0,2    |
| Sondaj No :            | SK-2              | Kuvvet Halk. No :    | 13352  |
| Derinlik :             | 06.01.1900        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 17.05.2016        | Gs :                 | 2,6    |

| DENEY NO :                                  | 1      | 2      | 3 |
|---------------------------------------------|--------|--------|---|
| Çevre Basıncı (kpa) :                       | 100    | 200    |   |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,01   | 5,05   |   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 9,96   | 9,95   |   |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 407,36 | 419,28 |   |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 418,31 | 435,26 |   |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 339,28 | 358,54 |   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,71  | 20,03  |   |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 196,35 | 199,29 |   |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 68,08  | 60,74  |   |
| Su Muhtevası (%) :                          | 20,07  | 16,94  |   |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 20,35  | 20,64  |   |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) : | 20,90  | 21,43  |   |
| Kuru Birim Hac. Ağ. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 16,95  | 17,65  |   |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 130,49 | 137,90 |   |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 65,85  | 61,39  |   |
| Porozite (%) :                              | 33,54  | 30,81  |   |
| Boşluk Oranı :                              | 0,50   | 0,45   |   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00 | 98,93  |   |
| Drenajsız Elastisite Mod. (MPa) :           | 6,49   | 8,41   |   |





| SU BASINCI    |     |  |
|---------------|-----|--|
| $\sigma_{d1}$ | 186 |  |
| $\sigma_{d2}$ | 281 |  |
| $u_{wf1}$     | 19  |  |
| $u_{wf2}$     | 84  |  |

| TOPLAM GERİLME |     |  |
|----------------|-----|--|
| $\sigma_{31}$  | 100 |  |
| $\sigma_{11}$  | 286 |  |
| $\sigma_{32}$  | 200 |  |
| $\sigma_{12}$  | 481 |  |

| EFEKTİF GERİLME |     |  |
|-----------------|-----|--|
| $\sigma'_{31}$  | 81  |  |
| $\sigma'_{11}$  | 267 |  |
| $\sigma'_{32}$  | 116 |  |
| $\sigma'_{12}$  | 397 |  |

| SONUÇLAR |    |  |
|----------|----|--|
| C        | 33 |  |
| $\phi$   | 19 |  |
| C'       | 0  |  |
| $\phi'$  | 35 |  |



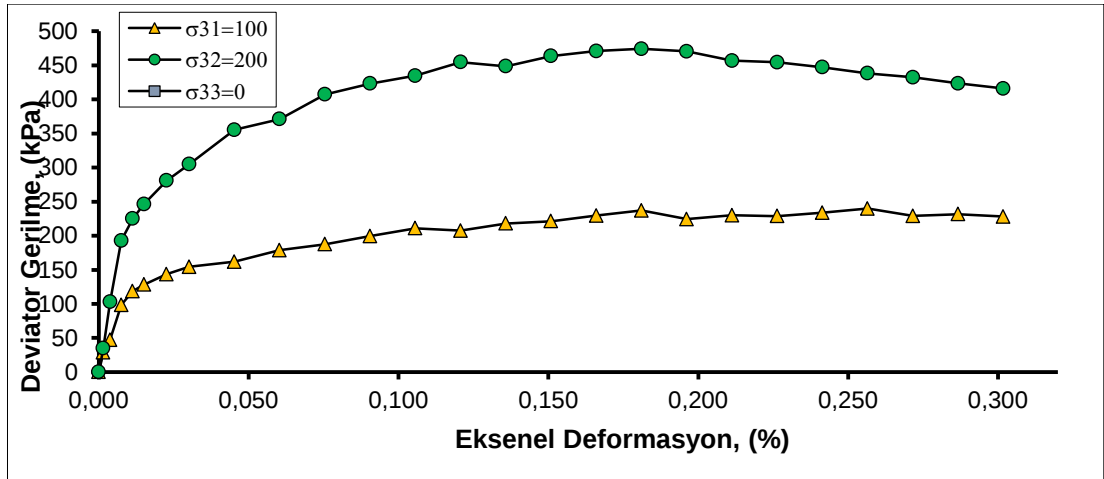
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

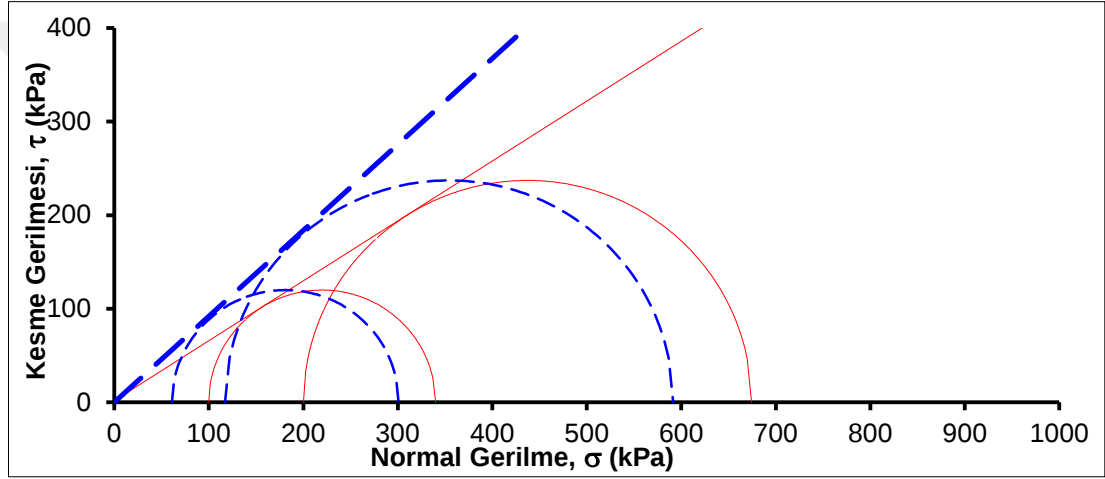
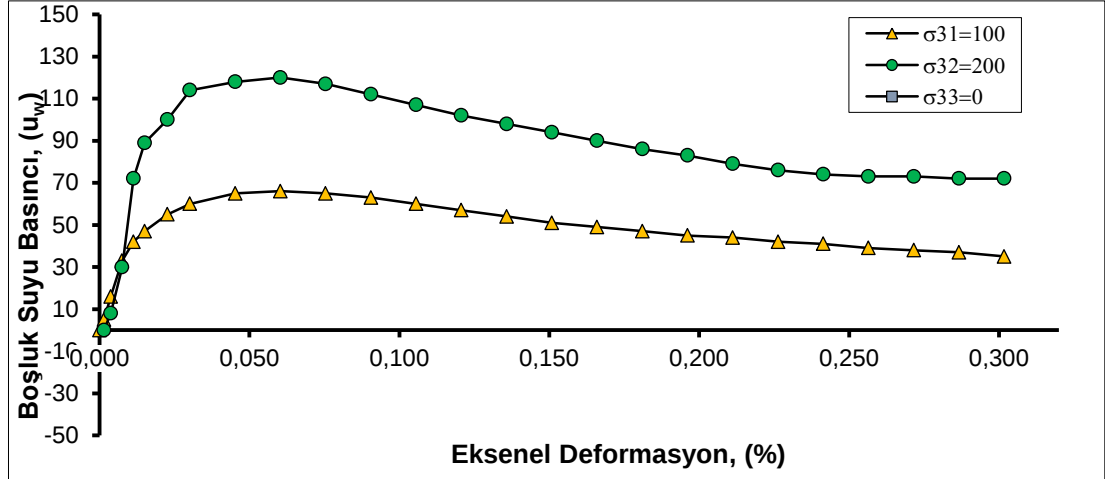
## ÜÇ EKSENLİ HÜCRE KESME DENEYİ (CU)

|                        |                                  |                      |        |
|------------------------|----------------------------------|----------------------|--------|
| Proje :                | TUVASAŞ                          |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : | Mithatpaşa / Adapazarı / SAKARYA | Deneyi Yapan :       | R.E.   |
| Örneğin Tanım :        | Kahve-Yeşil                      | Kesme Hız,mm/dk :    | 0,2    |
| Sondaj No :            | AÇ-1                             | Kuvvet Halk. No :    | 13352  |
| Derinlik :             | 1.60-2.00                        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 19.04.2016                       | Gs :                 | 2,76   |

| DENEY NO :                                  | 1      | 2      | 3 |
|---------------------------------------------|--------|--------|---|
| Çevre Basıncı (kpa) :                       | 100    | 200    |   |
| Örnek Çapı (cm) :                           | 5,00   | 5,00   |   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 10,21  | 9,67   |   |
| Yaş Numune Ağırlığı (gr) :                  | 372,83 | 367,81 |   |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 357,42 | 359,97 |   |
| Kuru Numune Ağırlığı (gr) :                 | 270,84 | 281,40 |   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 19,63  | 19,63  |   |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 200,47 | 189,87 |   |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 101,99 | 86,41  |   |
| Su Muhtevası (%) :                          | 37,66  | 30,71  |   |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 18,24  | 19,00  |   |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>3</sup> ) : | 17,49  | 18,60  |   |
| Kuru Birim Hac. Ağ. (kn/m <sup>3</sup> ) :  | 13,25  | 14,54  |   |
| Dane Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :             | 98,13  | 101,96 |   |
| Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :           | 102,34 | 87,91  |   |
| Porozite (%) :                              | 51,05  | 46,30  |   |
| Boşluk Oranı :                              | 1,04   | 0,86   |   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 99,66  | 98,29  |   |
| Drenajsız Elastisite Mod.(MPa) :            | 6,34   | 12,41  |   |





| SU BASINCI    |     |  |
|---------------|-----|--|
| $\sigma_{d1}$ | 240 |  |
| $\sigma_{d2}$ | 474 |  |
| $u_{wf1}$     | 39  |  |
| $u_{wf2}$     | 83  |  |

| TOPLAM GERİLME |     |  |
|----------------|-----|--|
| $\sigma_{31}$  | 100 |  |
| $\sigma_{11}$  | 340 |  |
| $\sigma_{32}$  | 200 |  |
| $\sigma_{12}$  | 674 |  |

| EFEKTİF GERİLME |     |  |
|-----------------|-----|--|
| $\sigma'_{31}$  | 61  |  |
| $\sigma'_{11}$  | 301 |  |
| $\sigma'_{32}$  | 117 |  |
| $\sigma'_{12}$  | 591 |  |

| SONUÇLAR |    |  |
|----------|----|--|
| C        | 2  |  |
| $\phi$   | 33 |  |
| C'       | 0  |  |
| $\phi'$  | 43 |  |

## EK 3: Kesme Kutusu Grafikleri



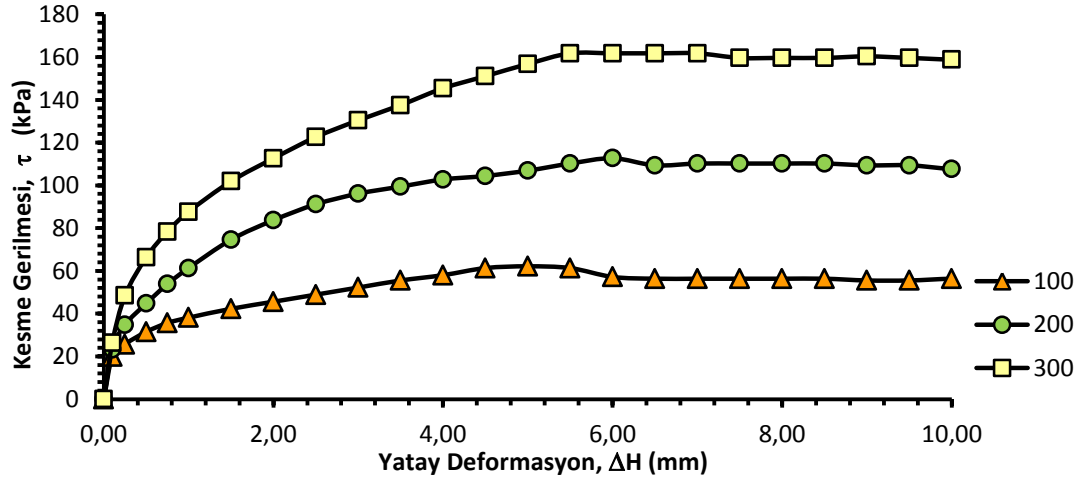
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

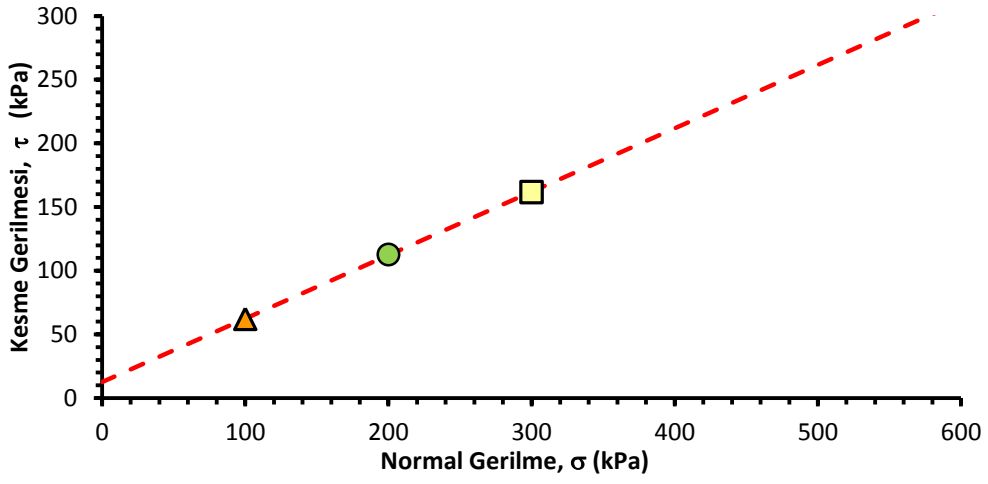
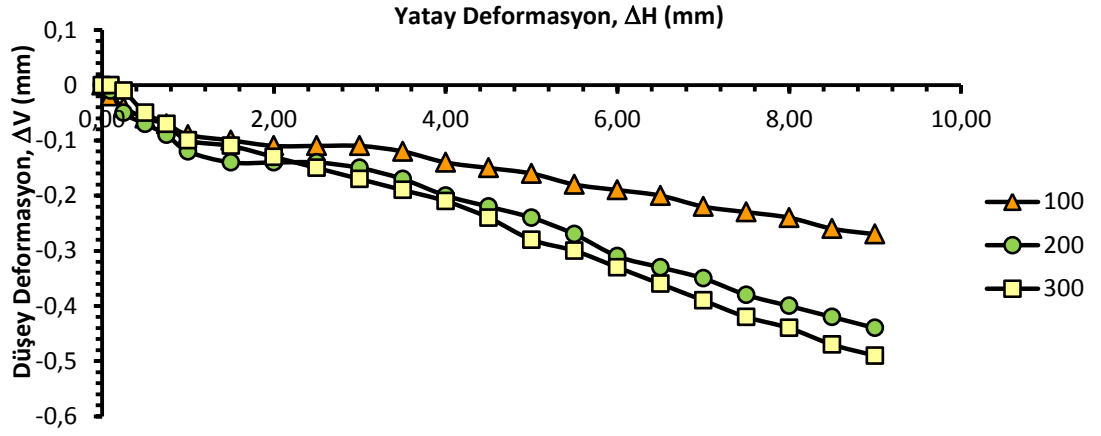
### KESME KUTUSU DENEYİ

|                        |                 |                      |                |
|------------------------|-----------------|----------------------|----------------|
| Proje :                | MERVE İSPIROĞLU |                      |                |
| Örneğin Alındığı Yer : | SILT            |                      |                |
| Örneğin Tanım :        | Kahverengi      |                      |                |
| Deney No :             | 2               | Kesme Hız, mm/dk :   | 0.24-0.24-0.40 |
| Derinlik :             | Yüzey           | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9832         |
| Tarih :                | 15.01.2016      | Düşey Saat Kats. :   | 0,01           |
| Deneyi Yapan :         | M.I.            | Gs :                 | 2,63           |

| DENEY NO :                                  | 1      | 2      | 3      |
|---------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Gerilme (kPa) :                             | 100    | 200    | 300    |
| Örnek Boyutu (cm) :                         | 6x6    | 6x6    | 6x6    |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 2,00   | 2,00   | 2,00   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 36,00  | 36,00  | 36,00  |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 72,00  | 72,00  | 72,00  |
| Halka+Zemin Ağırlığı (gr) :                 | 305,91 | 304,46 | 303,84 |
| Halka Ağırlığı (gr) :                       | 159,84 | 159,84 | 159,84 |
| Zemin Ağırlığı (gr) :                       | 146,07 | 144,62 | 144,00 |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 138,44 | 135,97 | 135,17 |
| Kuru Zemin Ağırlığı (gr) :                  | 110,84 | 100,00 | 100,00 |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 35,23  | 44,62  | 44,00  |
| Su Muhtevası (%) :                          | 31,78  | 44,62  | 44,00  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 19,90  | 19,70  | 19,62  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 20,26  | 20,32  | 20,52  |
| Düşey Saat İlk Okuma (mm) :                 | 2000   | 2000   | 2000   |
| Düşey Saat Son Okuma (mm) :                 | 1862   | 1823   | 1795   |
| Sıkışma (mm) :                              | 1,38   | 1,77   | 2,05   |
| Boşluk Oranı :                              | 0,71   | 0,89   | 0,89   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00 | 100,00 | 100,00 |





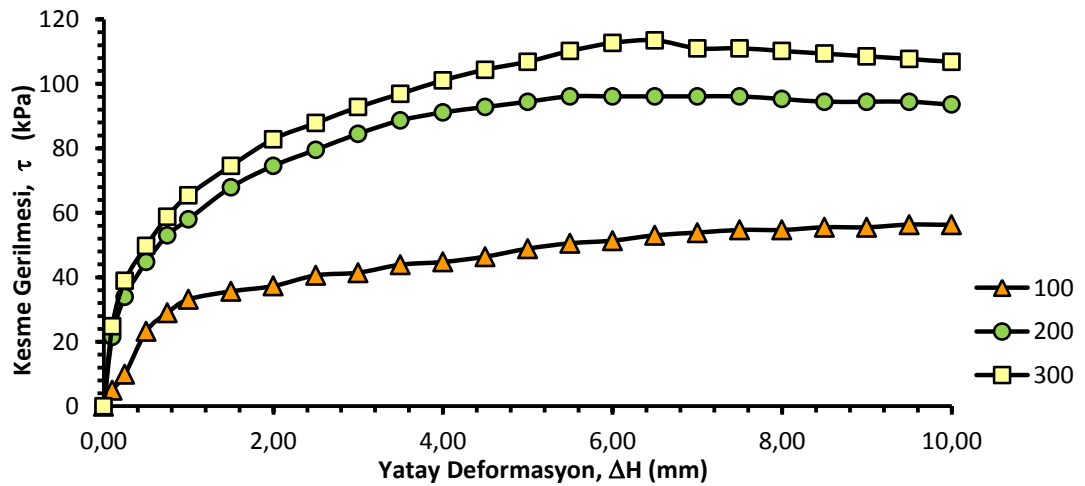
| SONUÇLAR             |          |    |
|----------------------|----------|----|
| Kohezyon,            | $c =$    | 13 |
| Kayma Direnci Açısı, | $\phi =$ | 26 |

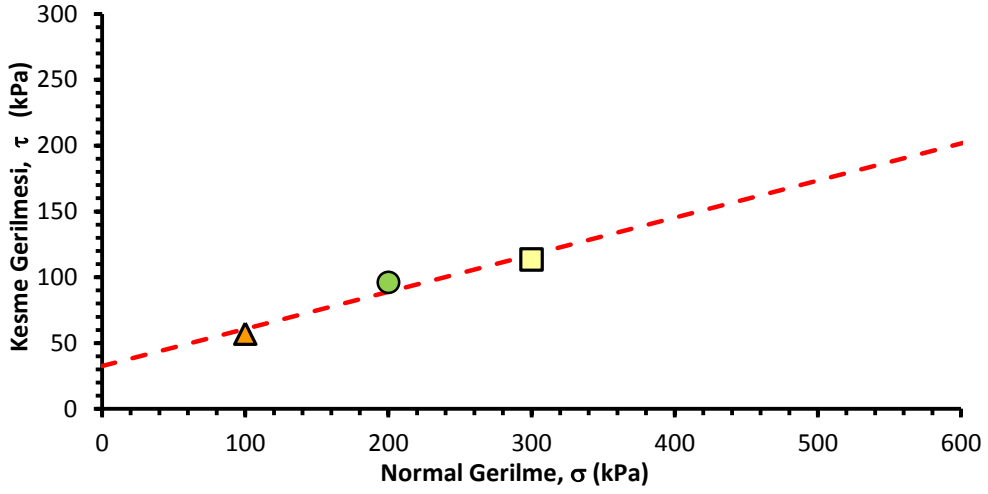
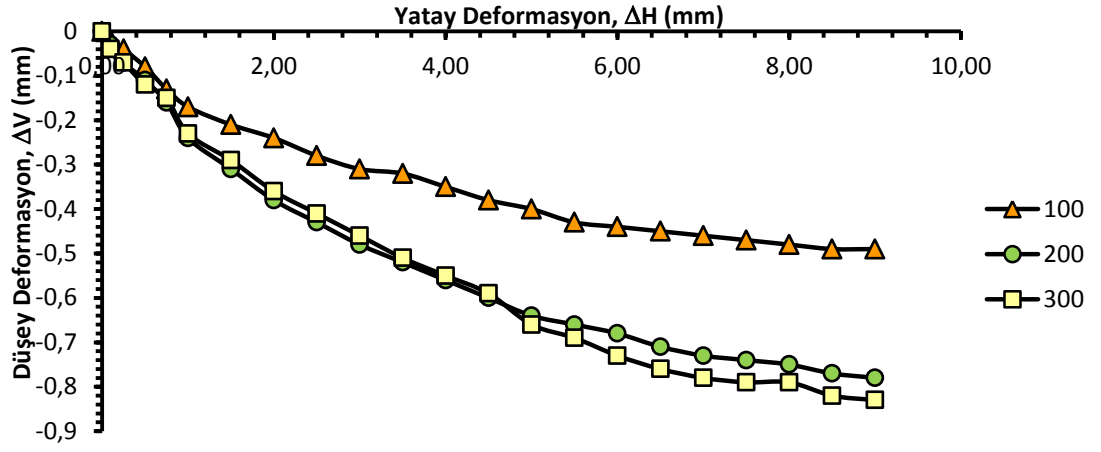


**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

## KESME KUTUSU DENEYİ

|                                             |                              |                      |        |
|---------------------------------------------|------------------------------|----------------------|--------|
| Proje :                                     | MERVE İSPIROĞLU              |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer :                      | Laboratuvar - ADAPAZARI KILI |                      |        |
| Örneğin Tanım :                             | Kahverengi                   |                      |        |
| Numune No :                                 | 2                            | Kesme Hız, mm/dk :   |        |
| Derinlik :                                  | Yüzey                        | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9832 |
| Tarih :                                     | 22.02.2016                   | Düşey Saat Kats. :   | 0,01   |
| Deneyi Yapan :                              | R.E.                         | Gs :                 | 2,71   |
| HIZ:                                        | 0,04                         | 0,05                 | 0,08   |
| Gerilme (kPa) :                             | 100                          | 200                  | 300    |
| Örnek Boyutu (cm) :                         | 6x6                          | 6x6                  | 6x6    |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 2,50                         | 2,50                 | 2,50   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 36,00                        | 36,00                | 36,00  |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 90,00                        | 90,00                | 90,00  |
| Halka+Zemin Ağırlığı (gr) :                 | 298,43                       | 296,93               | 300,25 |
| Halka Ağırlığı (gr) :                       | 137,07                       | 137,07               | 141,07 |
| Zemin Ağırlığı (gr) :                       | 161,36                       | 159,86               | 159,18 |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 152,27                       | 150,04               | 150,87 |
| Kuru Zemin Ağırlığı (gr) :                  | 112,91                       | 113,92               | 114,73 |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 48,45                        | 45,94                | 44,45  |
| Su Muhtevası (%) :                          | 42,91                        | 40,33                | 38,75  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 17,59                        | 17,42                | 17,35  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 17,72                        | 18,13                | 18,49  |
| Düşey Saat İlk Okuma (mm) :                 | 2000                         | 2000                 | 2000   |
| Düşey Saat Son Okuma (mm) :                 | 1841                         | 1755                 | 1724   |
| Sıkışma (mm) :                              | 1,59                         | 2,45                 | 2,76   |
| Boşluk Oranı :                              | 1,16                         | 1,14                 | 1,13   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00                       | 95,78                | 93,26  |





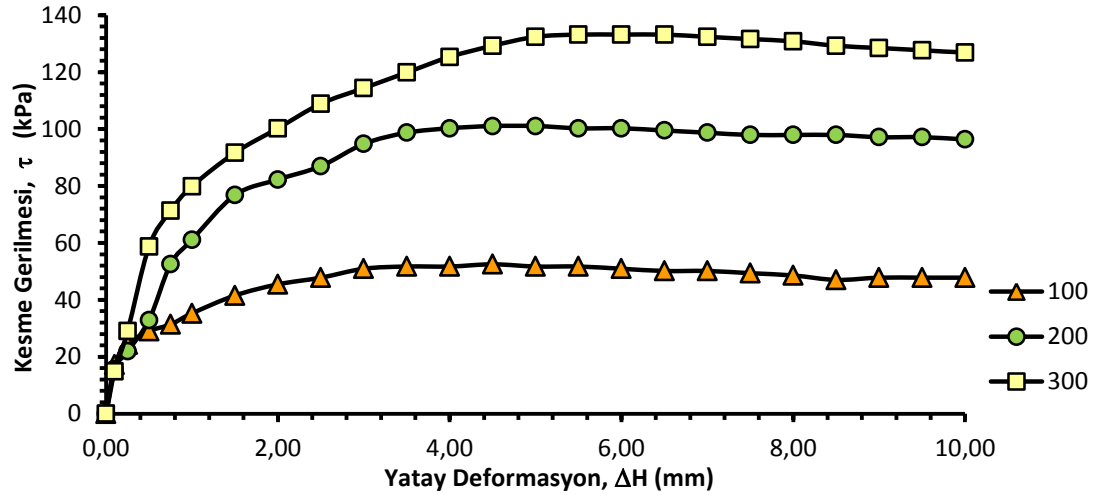
| SONUÇLAR             |          |    |
|----------------------|----------|----|
| Kohezyon,            | $c =$    | 33 |
| Kayma Direnci Açısı, | $\phi =$ | 16 |

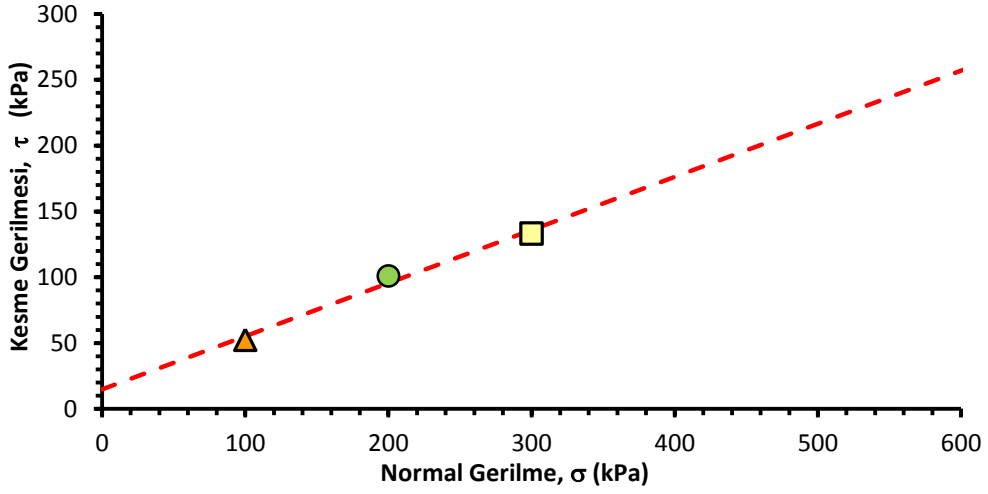
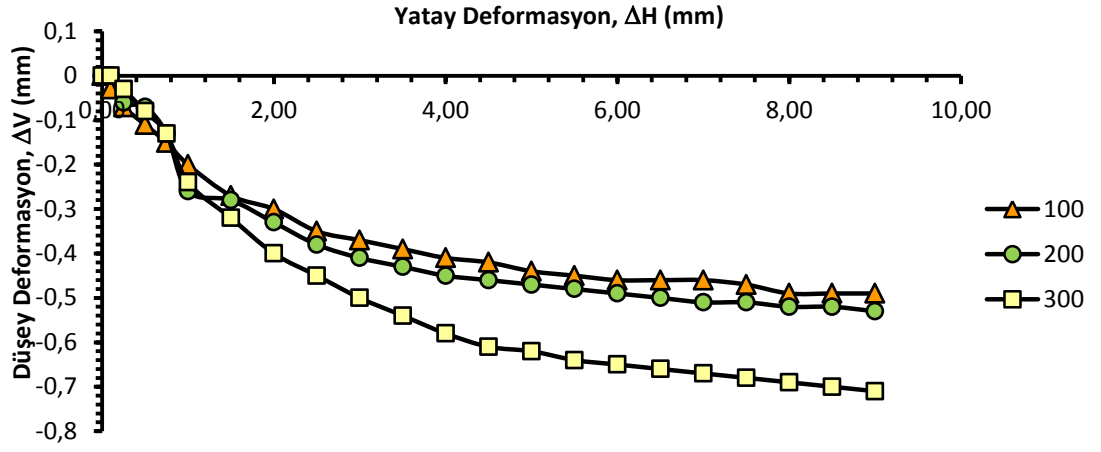


**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

## KESME KUTUSU DENEYİ

|                                             |                 |                      |                   |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Proje :                                     | MERVE İSPİROĞLU |                      |                   |
| Örneğin Alındığı Yer :                      | Kil             |                      |                   |
| Örneğin Tanım :                             | Kızıl           |                      |                   |
| Deney No :                                  | 1               | Kesme Hız, mm/dk :   | 0.027-0.032-0.025 |
| Derinlik :                                  | Yüzey           | Kuvvet Halk. Kats. : | 2.82              |
| Tarih :                                     | 10.05.2016      | Düşey Saat Kats. :   | 0.01              |
| Deneyi Yapan :                              | M.I.            | Gs :                 | 2.77              |
| DENEY NO :                                  | 1               | 2                    | 3                 |
| Gerilme (kpa) :                             | 100             | 200                  | 300               |
| Örnek Boyutu (cm) :                         | 6x6             | 6x6                  | 6x6               |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 2.50            | 2.50                 | 2.50              |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 36.00           | 36.00                | 36.00             |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 90.00           | 90.00                | 90.00             |
| Halka+Zemin Ağırlığı (gr) :                 | 304.35          | 304.27               | 305.71            |
| Halka Ağırlığı (gr) :                       | 136.93          | 136.93               | 136.93            |
| Zemin Ağırlığı (gr) :                       | 167.42          | 167.34               | 168.78            |
| Deney Sonu Zemin Ağı. (gr) :                | 161.02          | 157.93               | 157.36            |
| Kuru Zemin Ağırlığı (gr) :                  | 123.91          | 123.29               | 124.87            |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 43.51           | 44.05                | 43.91             |
| Su Muhtevası (%) :                          | 35.11           | 35.73                | 35.16             |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) :  | 18.25           | 18.24                | 18.40             |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m <sup>2</sup> ) : | 18.58           | 18.53                | 18.68             |
| Düşey Saat İlk Okuma (mm) :                 | 2000            | 2000                 | 2000              |
| Düşey Saat Son Okuma (mm) :                 | 1862            | 1823                 | 1795              |
| Sıkışma (mm) :                              | 1.38            | 1.77                 | 2.05              |
| Boşluk Oranı :                              | 1.01            | 1.02                 | 1.00              |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 96.12           | 96.83                | 97.75             |





| SONUÇLAR             |          |    |
|----------------------|----------|----|
| Kohezyon,            | $c =$    | 15 |
| Kayma Direnci Açısı, | $\phi =$ | 22 |

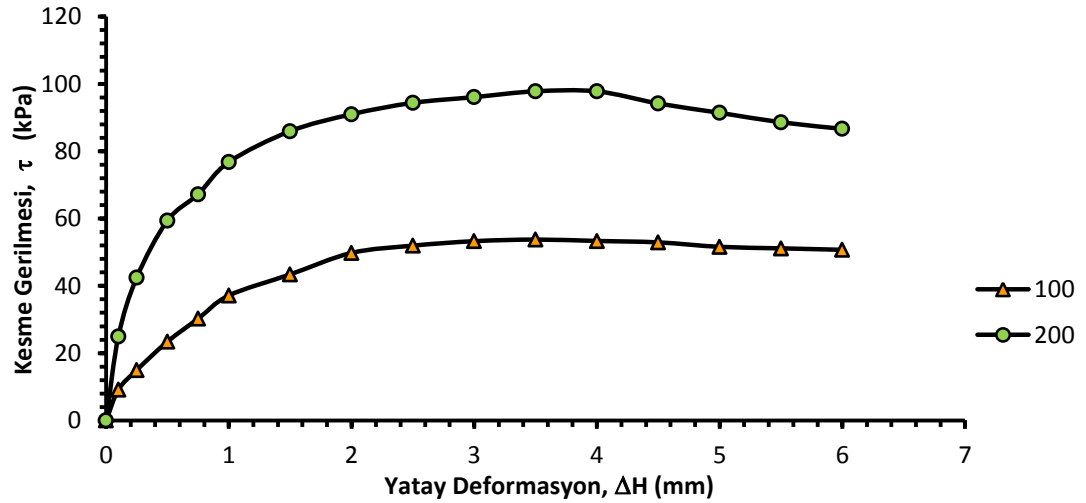


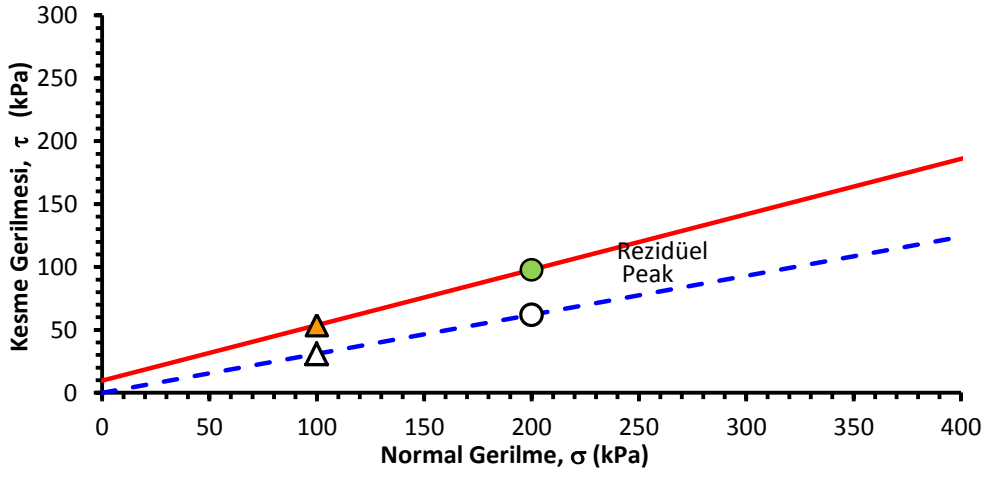
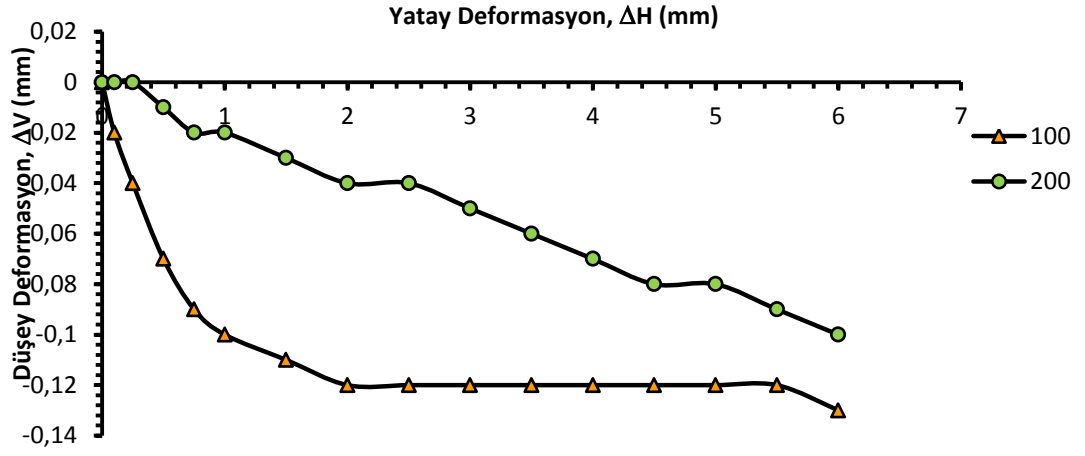
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

## KESME KUTUSU DENEYİ

|                        |                        |                      |        |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| Proje :                | ALTINOVA HEYELAN ALANI |                      |        |
| Örneğin Alındığı Yer : | Altınova / YALOVA      |                      |        |
| Örneğin Tanımı :       | Kahve - Yeşil          |                      |        |
| Sondaj No :            | SK-2                   | Kesme Hız, mm/dk :   | 0,038  |
| Derinlik :             | 6                      | Kuvvet Halk. Kats. : | 2,9873 |
| Tarih :                | 25.03.2016             | Düşey Saat Kats. :   | 0,01   |
| Deneyi Yapan :         | R.E.                   | Gs :                 | 2,6    |

|                                             |        |        |   |
|---------------------------------------------|--------|--------|---|
| DENEY NO :                                  | 1      | 2      | 3 |
| Gerilme (kPa) :                             | 100    | 200    |   |
| Örnek Boyutu (cm) :                         | 6x6    | 6x6    |   |
| Örnek Yüksekliği (cm) :                     | 2,00   | 2,00   |   |
| Örnek Alanı (cm <sup>2</sup> ) :            | 36,00  | 36,00  |   |
| Örnek Hacmi (cm <sup>3</sup> ) :            | 72,00  | 72,00  |   |
| Halka+Zemin Ağırlığı (gr) :                 | 309,37 | 309,08 |   |
| Halka Ağırlığı (gr) :                       | 159,97 | 159,97 |   |
| Zemin Ağırlığı (gr) :                       | 149,40 | 149,11 |   |
| Deney Sonu Zemin Ağ. (gr) :                 | 149,67 | 148,35 |   |
| Kuru Zemin Ağırlığı (gr) :                  | 121,13 | 120,27 |   |
| Su Ağırlığı (gr) :                          | 28,27  | 28,84  |   |
| Su Muhtevası (%) :                          | 23,34  | 23,98  |   |
| Deney Öncesi B.H.A. (kN/m <sup>2</sup> ) :  | 20,36  | 20,32  |   |
| Deney Sonrası B.H.A. (kN/m <sup>2</sup> ) : | 20,77  | 21,50  |   |
| Düşey Saat İlk Okuma (mm) :                 | 2000   | 2000   |   |
| Düşey Saat Son Okuma (mm) :                 | 1964   | 1880   |   |
| Sıkışma (mm) :                              | 0,36   | 1,20   |   |
| Boşluk Oranı :                              | 0,55   | 0,56   |   |
| Doygunluk Derecesi (%) :                    | 100,00 | 100,00 |   |





| SONUÇLAR             |          | Peak | Reziduel |
|----------------------|----------|------|----------|
| Kohezyon,            | $c =$    | 10   | 0        |
| Kayma Direnci Açısı, | $\phi =$ | 24   | 17       |



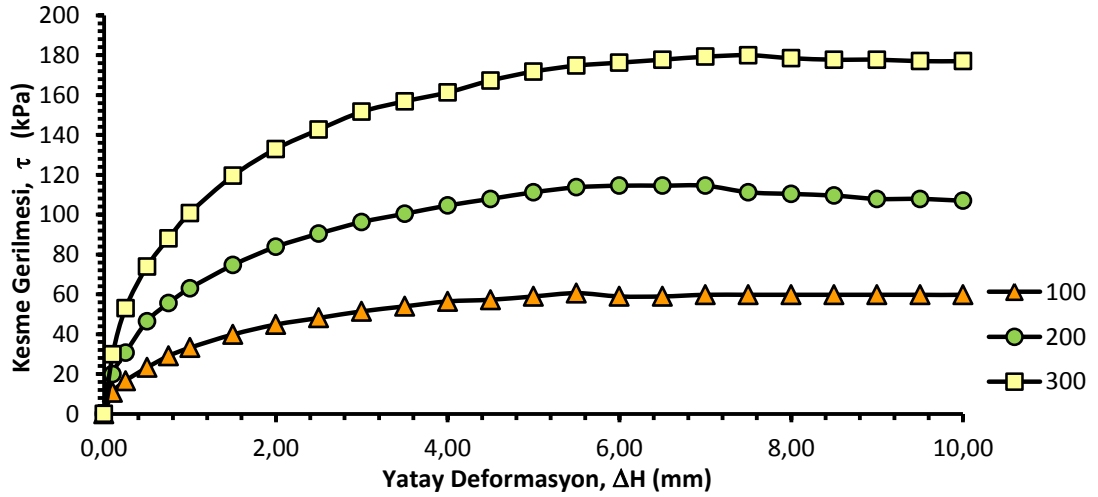
**SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Geoteknik Laboratuvarı

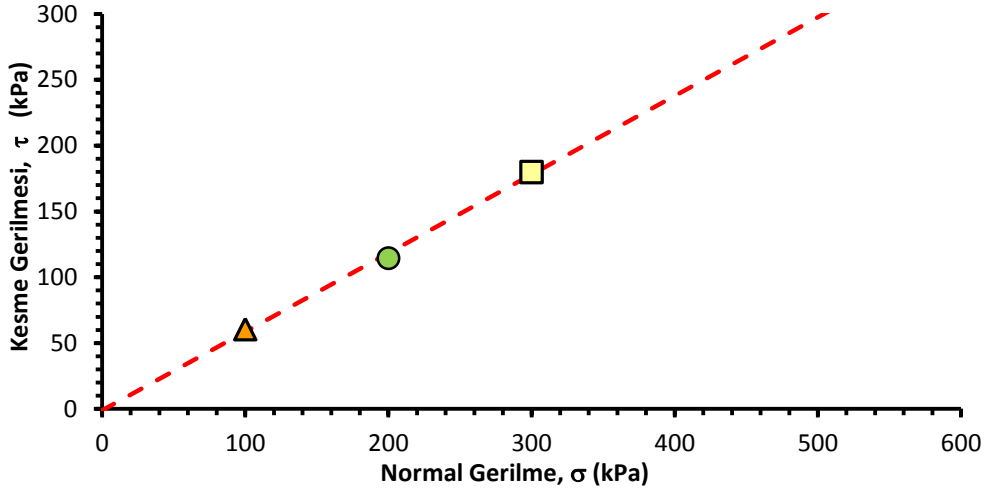
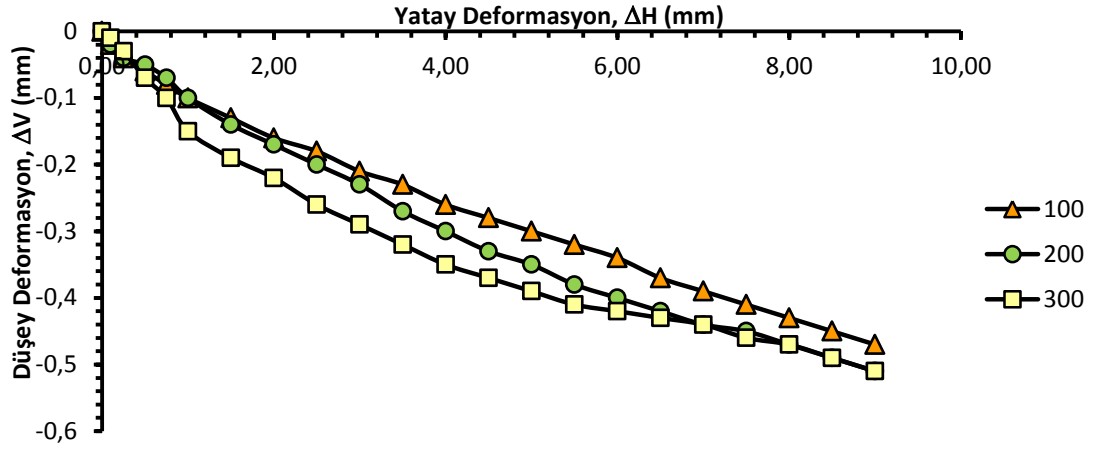
## KESME KUTUSU DENEYİ

|                        |                 |                      |              |
|------------------------|-----------------|----------------------|--------------|
| Proje :                | MERVE İSPİROĞLU |                      |              |
| Örneğin Alındığı Yer : | TUVASAŞ         |                      |              |
| Örneğin Tanım :        | Kahve           |                      |              |
| Deney No :             | AC-1            | Kesme Hız, mm/dk :   | 0.6-0.3-0.27 |
| Derinlik :             | 1.60-2.00       | Kuvvet Halk. Kats. : | 2.9873       |
| Tarih :                | 25.04.2016      | Düşey Saat Kats. :   | 0.01         |
| Deneyi Yapan :         | M.I.            | Gs :                 | 2.76         |

| DENEY NO :                     | 1      | 2      | 3      |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| Gerilme (kpa) :                | 100    | 200    | 300    |
| Örnek Boyutu (cm) :            | 6x6    | 6x6    | 6x6    |
| Örnek Yüksekliği (cm) :        | 2,00   | 2,00   | 2,00   |
| Örnek Alanı (cm²) :            | 36,00  | 36,00  | 36,00  |
| Örnek Hacmi (cm³) :            | 72,00  | 72,00  | 72,00  |
| Halka+Zemin Ağırlığı (gr) :    | 244,34 | 245,40 | 297,55 |
| Halka Ağırlığı (gr) :          | 111,80 | 111,19 | 160,69 |
| Zemin Ağırlığı (gr) :          | 132,54 | 134,21 | 136,86 |
| Deney Sonu Zemin Ağı. (gr) :   | 181,79 | 124,37 | 182,53 |
| Kuru Zemin Ağırlığı (gr) :     | 94,43  | 94,24  | 97,07  |
| Su Ağırlığı (gr) :             | 38,11  | 39,97  | 39,79  |
| Su Muhtevası (%) :             | 40,36  | 42,41  | 40,99  |
| Deney Öncesi B.H.A. (kn/m²) :  | 18,06  | 18,29  | 18,65  |
| Deney Sonrası B.H.A. (kn/m²) : | 26,18  | 19,10  | 27,39  |
| Düşey Saat İlk Okuma (mm) :    | 2000   | 2000   | 2000   |
| Düşey Saat Son Okuma (mm) :    | 1892   | 1774   | 1816   |
| Sıkışma (mm) :                 | 1,08   | 2,26   | 1,84   |
| Boşluk Oranı :                 | 1,10   | 1,11   | 1,05   |
| Doygunluk Derecesi (%) :       | 100,00 | 100,00 | 100,00 |



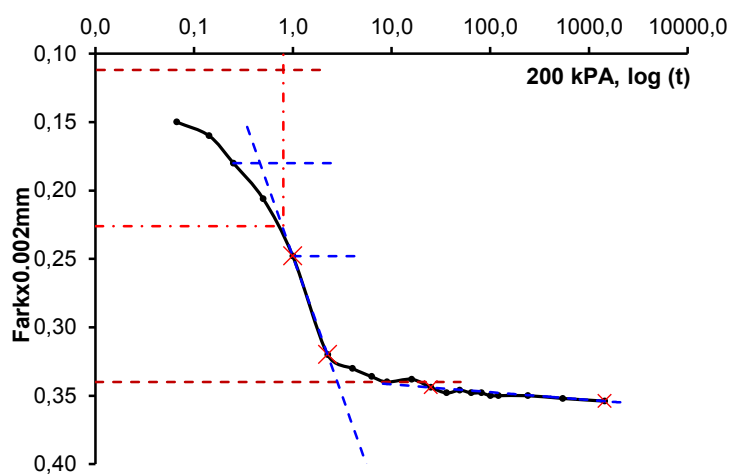
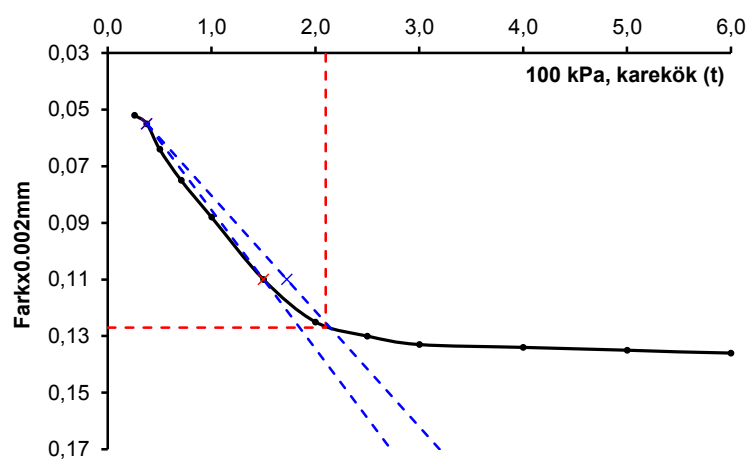
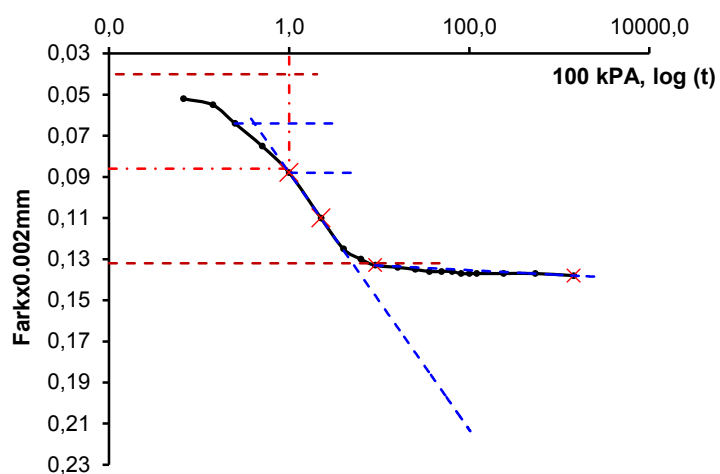


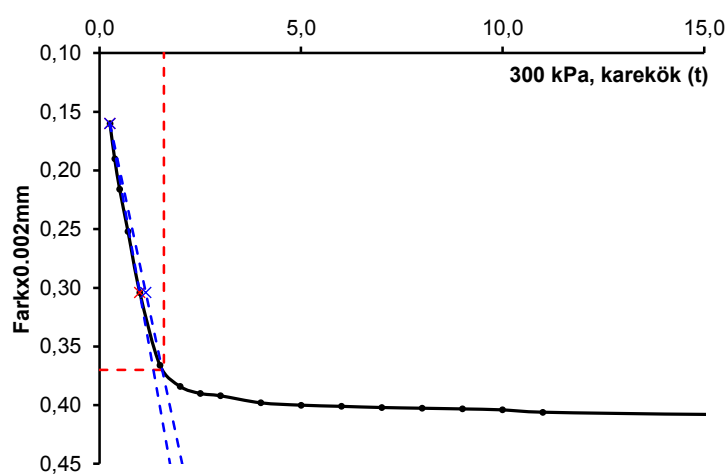
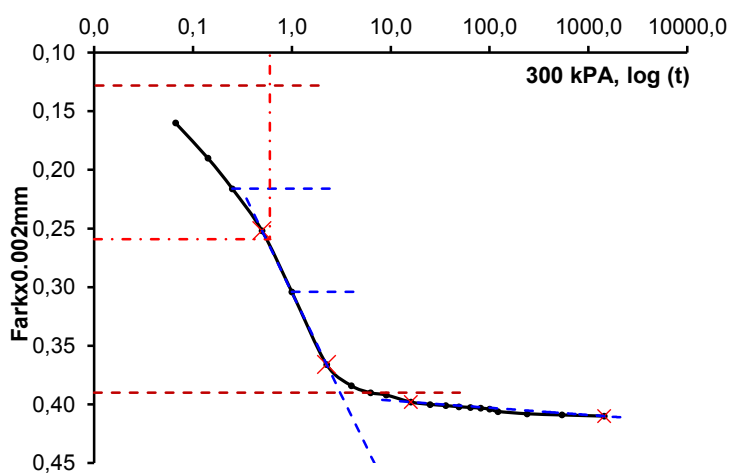
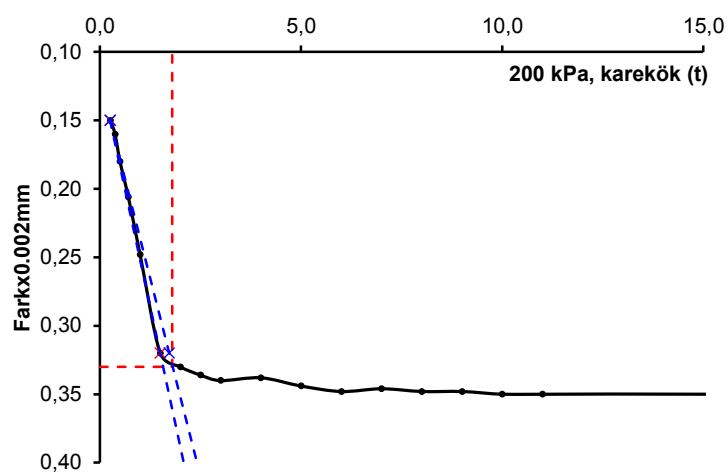
| SONUÇLAR             |          |    |
|----------------------|----------|----|
| Kohezyon,            | $c =$    | 0  |
| Kayma Direnci Açısı, | $\phi =$ | 31 |

**EK 4:** Konsolidasyon Hız Grafikleri

a.) Silt

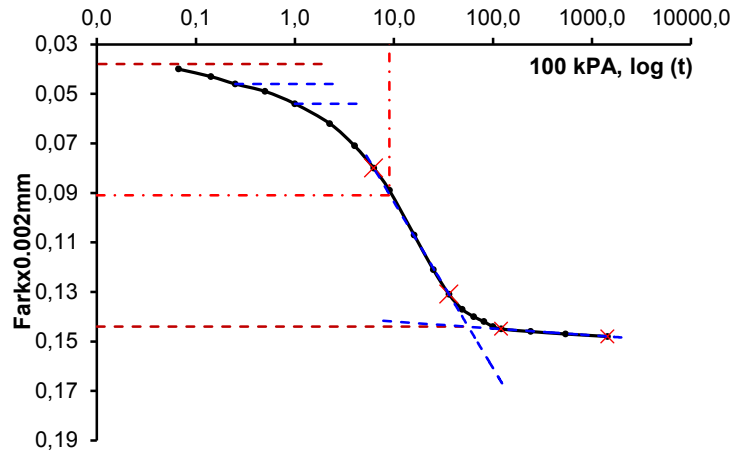
| t (dak) | t <sup>1/2</sup> | σ = 100 kPa |      |        | σ = 200 kPa |      |        | σ = 300 kPa |      |        |
|---------|------------------|-------------|------|--------|-------------|------|--------|-------------|------|--------|
|         |                  | Okuma       | Fark | Oturma | Okuma       | Fark | Oturma | Okuma       | Fark | Oturma |
| 0,000   | 0,000            | 0           | 0    | 0,000  | 0           | 0    | 0,000  | 0           | 0    | 0,000  |
| 0,067   | 0,258            | 52          | 52   | 0,052  | 75          | 75   | 0,150  | 80          | 80   | 0,160  |
| 0,142   | 0,376            | 55          | 55   | 0,055  | 80          | 80   | 0,160  | 95          | 95   | 0,190  |
| 0,25    | 0,50             | 64          | 64   | 0,064  | 90          | 90   | 0,180  | 108         | 108  | 0,216  |
| 0,50    | 0,71             | 75          | 75   | 0,075  | 103         | 103  | 0,206  | 126         | 126  | 0,252  |
| 1,00    | 1,00             | 88          | 88   | 0,088  | 124         | 124  | 0,248  | 152         | 152  | 0,304  |
| 2,25    | 1,50             | 110         | 110  | 0,110  | 160         | 160  | 0,320  | 183         | 183  | 0,366  |
| 4,00    | 2,00             | 125         | 125  | 0,125  | 165         | 165  | 0,330  | 192         | 192  | 0,384  |
| 6,25    | 2,50             | 130         | 130  | 0,130  | 168         | 168  | 0,336  | 195         | 195  | 0,390  |
| 9       | 3                | 133         | 133  | 0,133  | 170         | 170  | 0,340  | 196         | 196  | 0,392  |
| 16      | 4                | 134         | 134  | 0,134  | 169         | 169  | 0,338  | 199         | 199  | 0,398  |
| 25      | 5                | 135         | 135  | 0,135  | 172         | 172  | 0,344  | 200         | 200  | 0,400  |
| 36      | 6                | 136         | 136  | 0,136  | 174         | 174  | 0,348  | 201         | 201  | 0,401  |
| 49      | 7                | 136         | 136  | 0,136  | 173         | 173  | 0,346  | 201         | 201  | 0,402  |
| 64      | 8                | 136         | 136  | 0,136  | 174         | 174  | 0,348  | 201         | 201  | 0,403  |
| 81      | 9                | 137         | 137  | 0,137  | 174         | 174  | 0,348  | 202         | 202  | 0,403  |
| 100     | 10               | 137         | 137  | 0,137  | 175         | 175  | 0,350  | 202         | 202  | 0,404  |
| 121     | 11               | 137         | 137  | 0,137  | 175         | 175  | 0,350  | 203         | 203  | 0,406  |
| 240     | 15               | 137         | 137  | 0,137  | 175         | 175  | 0,350  | 204         | 204  | 0,408  |
| 540     | 23               | 137         | 137  | 0,137  | 176         | 176  | 0,352  | 205         | 205  | 0,409  |
| 1440    | 38               | 138         | 138  | 0,138  | 177         | 177  | 0,354  | 205         | 205  | 0,410  |

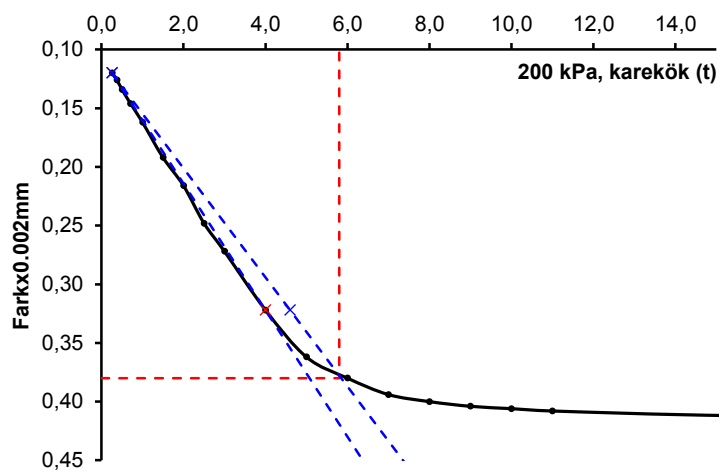
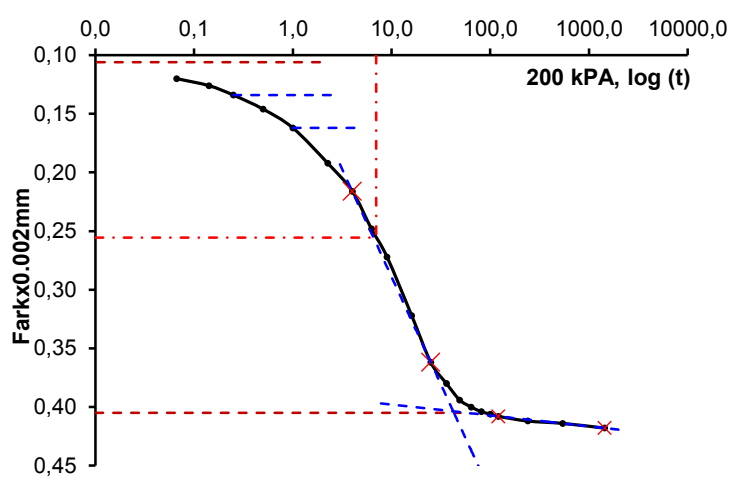
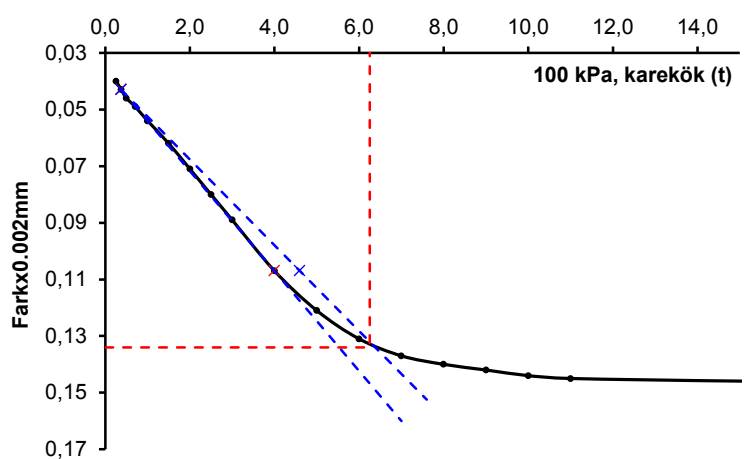


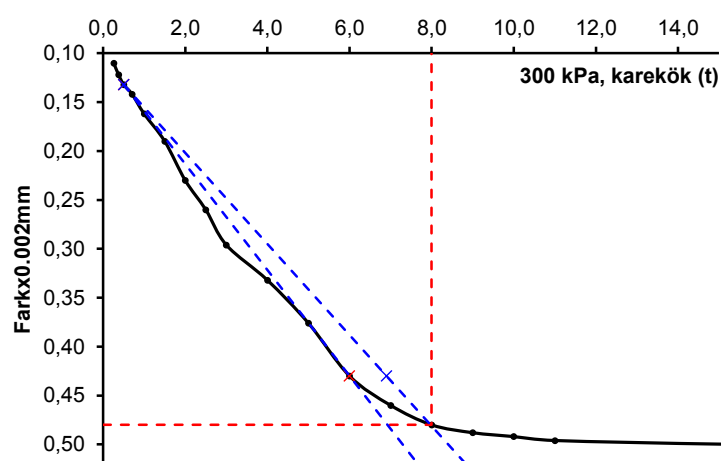
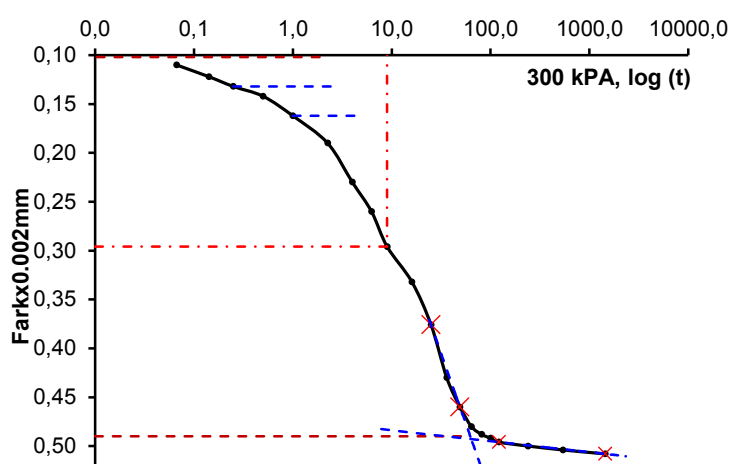


b.) Düzce Kili

| t (dak) | t <sup>1/2</sup> | σ = 100 kPa |      |        | σ = 200 kPa |      |        | σ = 300 kPa |      |        |
|---------|------------------|-------------|------|--------|-------------|------|--------|-------------|------|--------|
|         |                  | Okuma       | Fark | Oturma | Okuma       | Fark | Oturma | Okuma       | Fark | Oturma |
| 0,000   | 0,000            | 0           | 0    | 0,000  | 0           | 0    | 0,000  | 0           | 0    | 0,000  |
| 0,067   | 0,258            | 40          | 40   | 0,040  | 60          | 60   | 0,120  | 55          | 55   | 0,110  |
| 0,142   | 0,376            | 43          | 43   | 0,043  | 63          | 63   | 0,126  | 61          | 61   | 0,122  |
| 0,25    | 0,50             | 46          | 46   | 0,046  | 67          | 67   | 0,134  | 66          | 66   | 0,132  |
| 0,50    | 0,71             | 49          | 49   | 0,049  | 73          | 73   | 0,146  | 71          | 71   | 0,142  |
| 1,00    | 1,00             | 54          | 54   | 0,054  | 81          | 81   | 0,162  | 81          | 81   | 0,162  |
| 2,25    | 1,50             | 62          | 62   | 0,062  | 96          | 96   | 0,192  | 95          | 95   | 0,190  |
| 4,00    | 2,00             | 71          | 71   | 0,071  | 108         | 108  | 0,216  | 115         | 115  | 0,230  |
| 6,25    | 2,50             | 80          | 80   | 0,080  | 124         | 124  | 0,248  | 130         | 130  | 0,260  |
| 9       | 3                | 89          | 89   | 0,089  | 136         | 136  | 0,272  | 148         | 148  | 0,296  |
| 16      | 4                | 107         | 107  | 0,107  | 161         | 161  | 0,322  | 166         | 166  | 0,332  |
| 25      | 5                | 121         | 121  | 0,121  | 181         | 181  | 0,362  | 188         | 188  | 0,376  |
| 36      | 6                | 131         | 131  | 0,131  | 190         | 190  | 0,380  | 215         | 215  | 0,430  |
| 49      | 7                | 137         | 137  | 0,137  | 197         | 197  | 0,394  | 230         | 230  | 0,460  |
| 64      | 8                | 140         | 140  | 0,140  | 200         | 200  | 0,400  | 240         | 240  | 0,480  |
| 81      | 9                | 142         | 142  | 0,142  | 202         | 202  | 0,404  | 244         | 244  | 0,488  |
| 100     | 10               | 144         | 144  | 0,144  | 203         | 203  | 0,406  | 246         | 246  | 0,492  |
| 121     | 11               | 145         | 145  | 0,145  | 204         | 204  | 0,408  | 248         | 248  | 0,496  |
| 240     | 15               | 146         | 146  | 0,146  | 206         | 206  | 0,412  | 250         | 250  | 0,500  |
| 540     | 23               | 147         | 147  | 0,147  | 207         | 207  | 0,414  | 252         | 252  | 0,504  |
| 1440    | 38               | 148         | 148  | 0,148  | 209         | 209  | 0,418  | 254         | 254  | 0,508  |

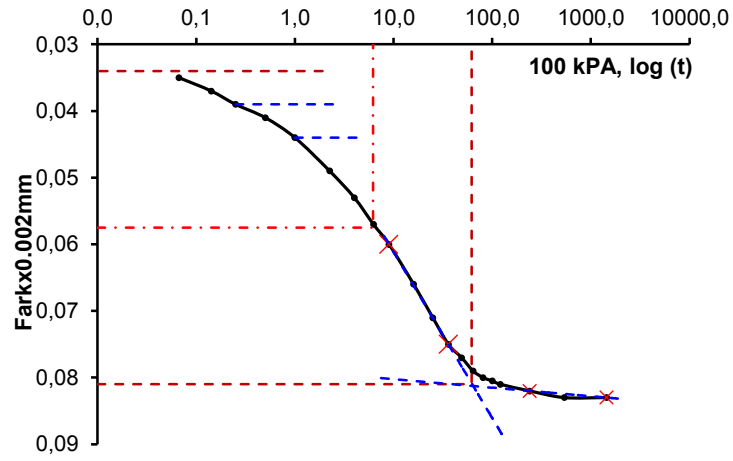


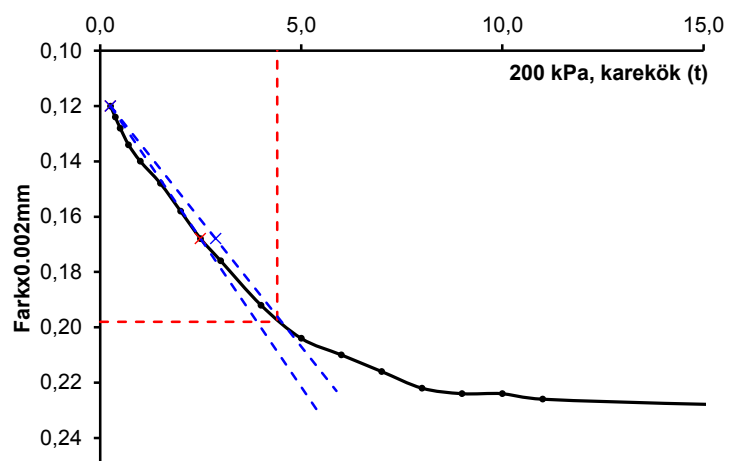
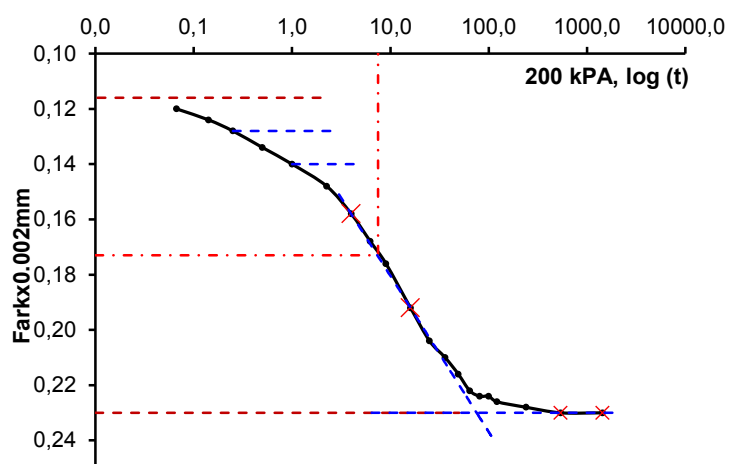
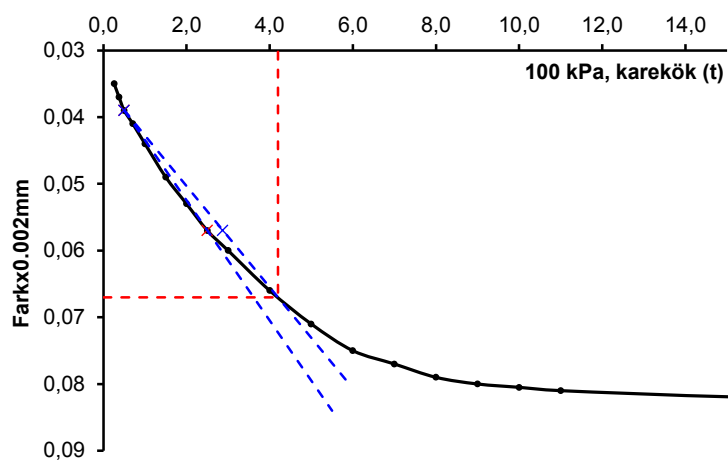


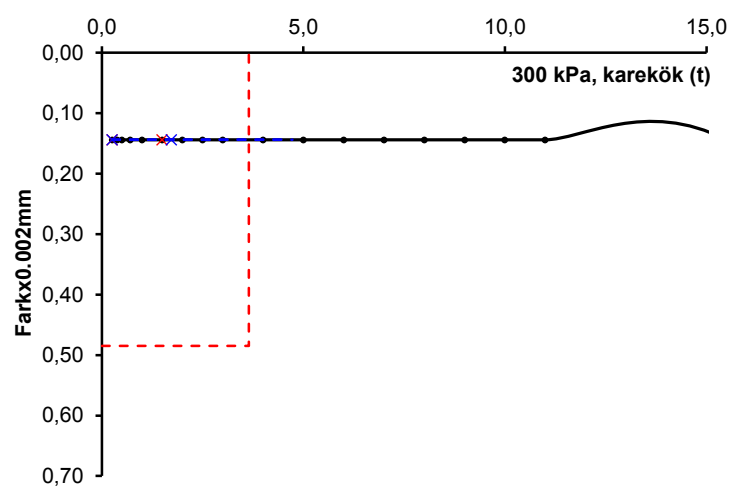
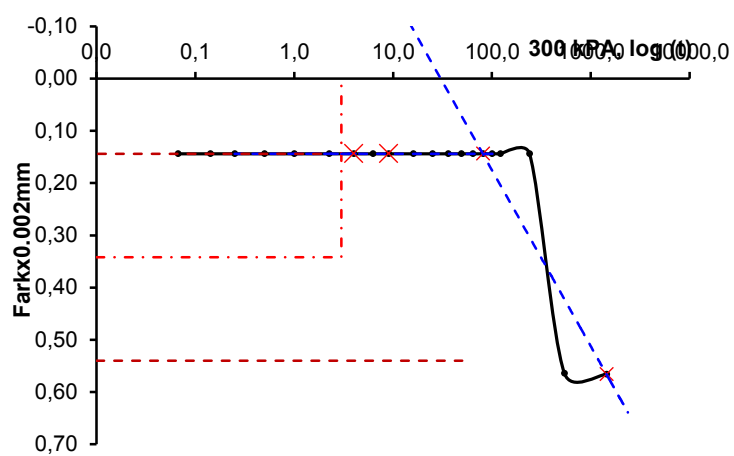


c.) Yalova Kili

| t (dak) | $t^{1/2}$ | $\sigma = 100 \text{ kPa}$ |      |        | $\sigma = 200 \text{ kPa}$ |      |        | $\sigma = 300 \text{ kPa}$ |      |        |
|---------|-----------|----------------------------|------|--------|----------------------------|------|--------|----------------------------|------|--------|
|         |           | Okuma                      | Fark | Oturma | Okuma                      | Fark | Oturma | Okuma                      | Fark | Oturma |
| 0,000   | 0,000     | 0                          | 0    | 0,000  | 0                          | 0    | 0,000  | 0                          | 0    | 0,000  |
| 0,067   | 0,258     | 35                         | 35   | 0,035  | 60                         | 60   | 0,120  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 0,142   | 0,376     | 37                         | 37   | 0,037  | 62                         | 62   | 0,124  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 0,25    | 0,50      | 39                         | 39   | 0,039  | 64                         | 64   | 0,128  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 0,50    | 0,71      | 41                         | 41   | 0,041  | 67                         | 67   | 0,134  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 1,00    | 1,00      | 44                         | 44   | 0,044  | 70                         | 70   | 0,140  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 2,25    | 1,50      | 49                         | 49   | 0,049  | 74                         | 74   | 0,148  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 4,00    | 2,00      | 53                         | 53   | 0,053  | 79                         | 79   | 0,158  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 6,25    | 2,50      | 57                         | 57   | 0,057  | 84                         | 84   | 0,168  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 9       | 3         | 60                         | 60   | 0,060  | 88                         | 88   | 0,176  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 16      | 4         | 66                         | 66   | 0,066  | 96                         | 96   | 0,192  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 25      | 5         | 71                         | 71   | 0,071  | 102                        | 102  | 0,204  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 36      | 6         | 75                         | 75   | 0,075  | 105                        | 105  | 0,210  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 49      | 7         | 77                         | 77   | 0,077  | 108                        | 108  | 0,216  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 64      | 8         | 79                         | 79   | 0,079  | 111                        | 111  | 0,222  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 81      | 9         | 80                         | 80   | 0,080  | 112                        | 112  | 0,224  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 100     | 10        | 81                         | 81   | 0,081  | 112                        | 112  | 0,224  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 121     | 11        | 81                         | 81   | 0,081  | 113                        | 113  | 0,226  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 240     | 15        | 82                         | 82   | 0,082  | 114                        | 114  | 0,228  | 72                         | 72   | 0,144  |
| 540     | 23        | 83                         | 83   | 0,083  | 115                        | 115  | 0,230  | 282                        | 282  | 0,564  |
| 1440    | 38        | 83                         | 83   | 0,083  | 115                        | 115  | 0,230  | 283                        | 283  | 0,566  |

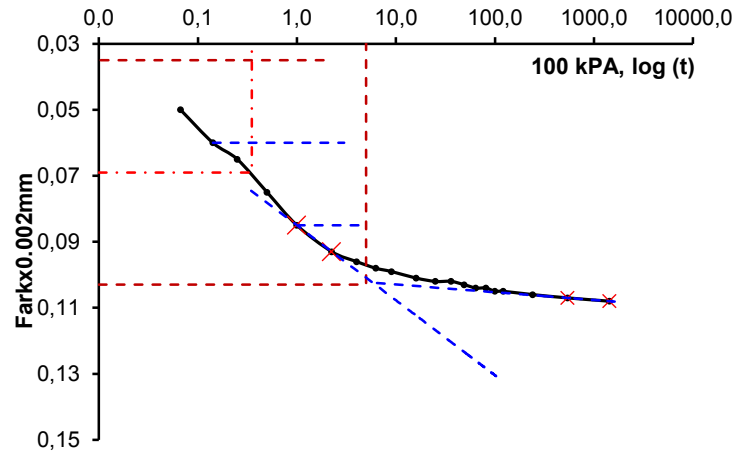


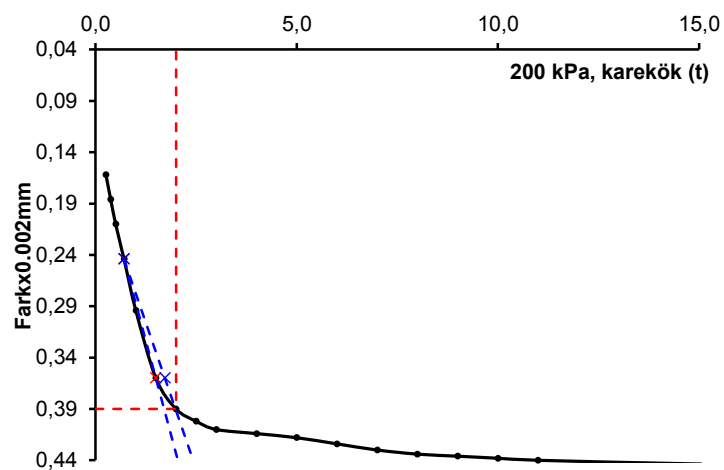
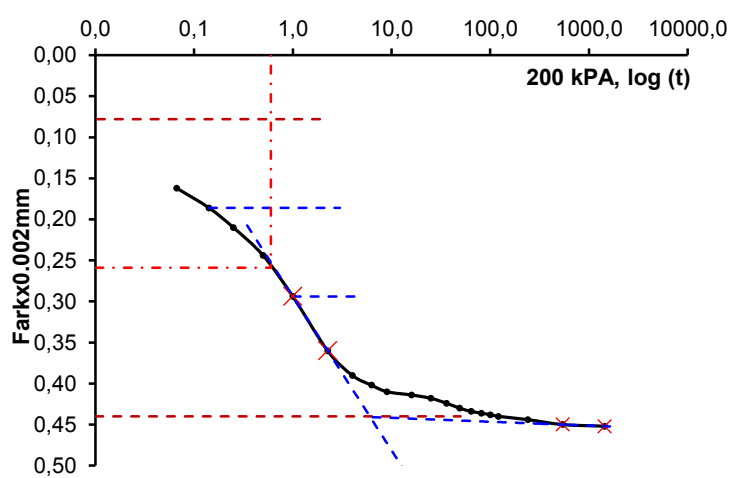
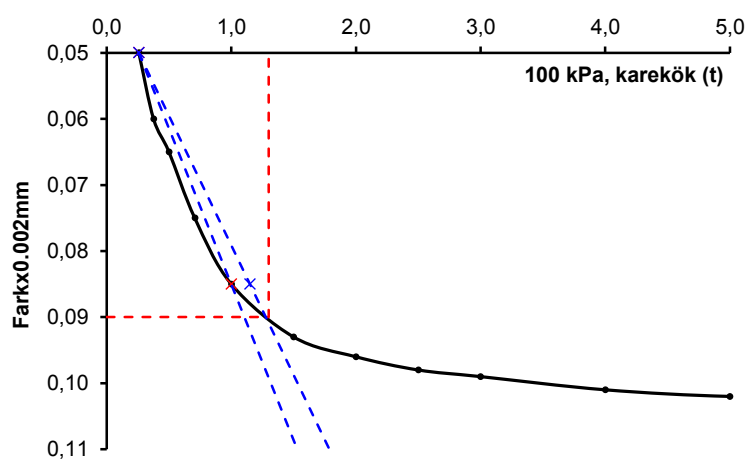


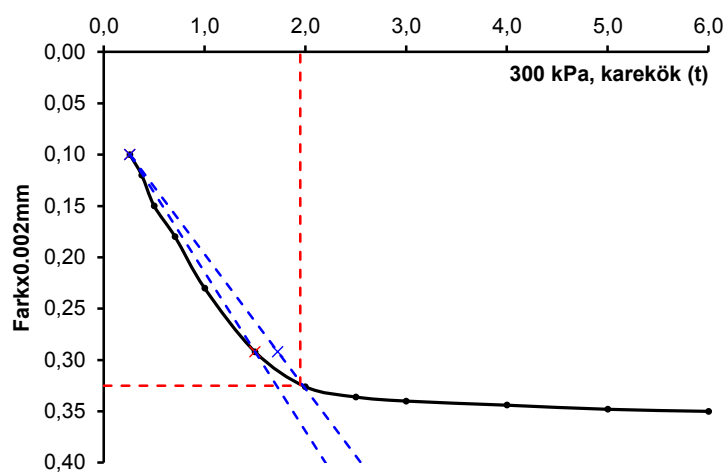


## d.) Tüvasaş Kili

| t (dak) | $t^{1/2}$ | $\sigma = 150$ kPa |      |        | $\sigma = 300$ kPa |      |        | $\sigma = 300$ kPa |      |        |
|---------|-----------|--------------------|------|--------|--------------------|------|--------|--------------------|------|--------|
|         |           | Okuma              | Fark | Oturma | Okuma              | Fark | Oturma | Okuma              | Fark | Oturma |
| 0,000   | 0,000     | 0                  | 0    | 0,000  | 0                  | 0    | 0,000  | 0                  | 0    | 0,000  |
| 0,067   | 0,258     | 50                 | 50   | 0,050  | 81                 | 81   | 0,162  | 50                 | 50   | 0,100  |
| 0,142   | 0,376     | 60                 | 60   | 0,060  | 93                 | 93   | 0,186  | 60                 | 60   | 0,120  |
| 0,25    | 0,50      | 65                 | 65   | 0,065  | 105                | 105  | 0,210  | 75                 | 75   | 0,150  |
| 0,50    | 0,71      | 75                 | 75   | 0,075  | 122                | 122  | 0,244  | 90                 | 90   | 0,180  |
| 1,00    | 1,00      | 85                 | 85   | 0,085  | 147                | 147  | 0,294  | 115                | 115  | 0,230  |
| 2,25    | 1,50      | 93                 | 93   | 0,093  | 180                | 180  | 0,360  | 146                | 146  | 0,292  |
| 4,00    | 2,00      | 96                 | 96   | 0,096  | 195                | 195  | 0,390  | 163                | 163  | 0,326  |
| 6,25    | 2,50      | 98                 | 98   | 0,098  | 201                | 201  | 0,402  | 168                | 168  | 0,336  |
| 9       | 3         | 99                 | 99   | 0,099  | 205                | 205  | 0,410  | 170                | 170  | 0,340  |
| 16      | 4         | 101                | 101  | 0,101  | 207                | 207  | 0,414  | 172                | 172  | 0,344  |
| 25      | 5         | 102                | 102  | 0,102  | 209                | 209  | 0,418  | 174                | 174  | 0,348  |
| 36      | 6         | 102                | 102  | 0,102  | 212                | 212  | 0,424  | 175                | 175  | 0,350  |
| 49      | 7         | 103                | 103  | 0,103  | 215                | 215  | 0,430  | 176                | 176  | 0,352  |
| 64      | 8         | 104                | 104  | 0,104  | 217                | 217  | 0,434  | 177                | 177  | 0,354  |
| 81      | 9         | 104                | 104  | 0,104  | 218                | 218  | 0,436  | 178                | 178  | 0,356  |
| 100     | 10        | 105                | 105  | 0,105  | 219                | 219  | 0,438  | 178                | 178  | 0,356  |
| 121     | 11        | 105                | 105  | 0,105  | 220                | 220  | 0,440  | 179                | 179  | 0,358  |
| 240     | 15        | 106                | 106  | 0,106  | 222                | 222  | 0,444  | 181                | 181  | 0,362  |
| 540     | 23        | 107                | 107  | 0,107  | 225                | 225  | 0,450  | 182                | 182  | 0,364  |
| 1440    | 38        | 108                | 108  | 0,108  | 226                | 226  | 0,452  | 184                | 184  | 0,368  |







## ÖZGEÇMİŞ

Merve Ispiroğlu, 27.04.1992’da Sakarya’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 2008 yılında Atatürk Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Karasu Belediyesi’nde İnşaat Mühendisliği olarak çalışmaya başladı devamında yüksek lisans eğitimine devam etti.