ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOĞRULMUŞ (REMOLDE) ZEMİNLERİN DRENAJSIZ KESME DAYANIMININ KESME KUTUSU DENEYİ İLE SAPTANMASI

Kutsel Kübra ÇALIŞKAN

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Kutsel Kübra ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan **"Yoğrulmuş (Remolde) Zeminlerin Drenajsız Kesme Dayanımının Kesme Kutusu Deneyi İle Saptanması"** adlı tez çalışması 15/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Kamil KAYABALI
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Doç. Dr. Kıvanç ZORLU ARAS
Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Kamil KAYABALI
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Mustafa FENER
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

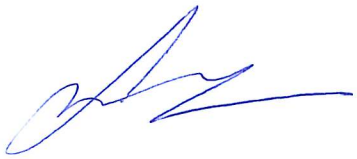
Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15.01.2018



Kutsel Kübra ÇALIŞKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOĞRULMUŞ (REMOLDE) ZEMİNLERİN DRENAJSIZ KESME DAYANIMININ KESME KUTUSU DENEYİ İLE SAPTANMASI

Kutsel Kübra ÇALIŞKAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Jeoteknik uygulamalarında killi zeminlerin örselenmemiş durumuna ait elde güvenilir veri mevcut olmadığı durumlarda mühendisler güvenli tarafta kalmak açısından yoğrulmuş dayanımı kullanmak zorunda kalabilir. Yoğrulmuş dayanımı tayin etmede yaygın olarak kullanılan yöntemler doğrudan kesme deneyi (DST) ve kanatlı kesme deneyidir (VST). DST'nin güvenilirliği zaman zaman tartışma konusu olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, plastikliği geniş aralıkta değişen yoğrulmuş zeminlerin doğrudan kesme deneyi ile elde edilen toplam gerilme dayanım parametrelerini ve aynı zeminlerden kanatlı kesme deneyi (VST) ile elde edilen drenajsız kesme dayanımını bir model şev ve model temel üzerinde uygulayarak birinci deneyden elde edilen sonuçların ne ölçüde tutarlı olduğuna dair bir değerlendirme yapmaktır. Çalışmada likit limiti 30 ile 150 arasında değişen 24 çeşit yoğrulmuş numune kullanılmıştır. Bu numuneler plastik limit su içeriğinde ıslatılmış, 50 kPa'lık yük altında 1 gün süreyle konsolide edilmiş ve 4 farklı normal yük altında doğrudan kesme deneyine tabi tutularak yenilme zarfları elde edilmiştir. Plastik limitte ıslatılarak karıştırılan numuneler kanatlı kesme deneyine ve tek eksenli basınç deneyine de tabi tutulmuş ve drenajsız kesme dayanımları elde edilmiştir. Aynı yöntemler plastik limitten daha yüksek su içeriklerinde ve ayrıca 4 doğal zemine de uygulanmıştır.

Çalışmada hipotez olarak doğrudan kesme deneyinden yüksek drenajsız kesme dayanımı ve düşük sürtünme açıları elde edileceği; drenajsız kesme dayanımının su içeriği artarken azalacağı ve plastiklik artarken de yükseleceği öne sürülmüşse de bu hipotezi destekler nitelikte sonuçlar elde edilememiştir. VST'den elde edilen sonuçların zemin plastikliği ve değişen su içeriği ile uyumlu olduğu görülmüştür. Tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçlarının değişen su içeriği ve zemin plastikliği ile uyumunun VST kadar iyi olmadığı görülmüştür.

Model şev ve model temel üzerinde yapılan uygulamalarda VST verileri ile daha tutarlı sonuçlar elde edildiği, aynı tutarlılığın DST verileri ile genellikle sağlanamadığı gözlenmiştir. İki deney tekniğinden elde edilen sonuçların model şev ve temele uygulanmasında karşılaşılan farklılıkların kesme hızı, makaslama şekli ve numune hazırlamadaki farklılıklar gibi nedenlerden ileri geldiği değerlendirilmiş ve jeoteknik uygulamalarında sıkça kullanılan DST drenajsız kesme dayanımı verilerinin spekülatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Ocak 2018, 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Drenajsız kesme dayanımı, doğrudan kesme deneyi, kanatlı kesme deneyi, yoğrulmuş zemin

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF UNDRAINED SHEAR STRENGTH OF REMOLDED SOILS USING DIRECT SHEAR TEST

Kutsel Kübra ÇALIŞKAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Kamil KAYABALI

Geotechnical engineers may be forced to use the remolded strength as a low-bound value when the reliable strength data on undisturbed soils are not available. The remolded strength is commonly determined by such laboratory techniques as the direct shear test (DST) and the vane shear test (VST). The reliability of the DST results is often a disputable issue.

The scope of this investigation is to apply the total strength parameters of soils of a wide range plastisity as well as the undrained shear strength determined for the very same soils to a model slope and to a simple model foundation and to evaluate how consistent the results are for the former one, i.e., DST. Twenty four remolded soils with liquid limit ranging from 30-150 were used for the investigation. The soil specimens were wetted at the plastic limit, consolidated for one day under the vertical load of 50 kPa, subjected to shearing under 4 different normal stresses and their failure envelopes were constructed. The specimens wetted at the plastic limit and mixed thereafter were subjected to VST and uniaxial compression test and their undrained shear strengths at plastic limit were determined. The same soil samples were also tested for DST, VST and uniaxial compression test at mixing water contents greater than their plastic limit. Additional 4 undisturded natural soil were also included in the study.

Although the main hypothesis of the study was set such that the remolded soils would have high cohesion intercept with a low friction angle and that the undrained shear strength increases as the water content decreases and it also increases with the increasing soil plasticity, the results obtained from DST have not proven the hypothesis. Nevertheless, the results obtained from VST is in good agreement with the soil plasticity as well as the varying water contents. Uniaxial compression test results are not in good aggrement with plasticity index and varying water contents as much as VST results. In conclusion it was observed that when the VST data were used along with the model slope and the simple model foundation more consistent results were obtained. The same conclusion cannot be asserted for the DST strength data. The major differences between the two testing methods can be attributed to the rate of shear, mode of shear as well as to the sample preparation procedures. In consclusion, the undrained shear strength obtained using the DST are considered to be speculative.

January 2018, 75 pages

Key Words : Undrained shear strength, direct shear test, vane shear test, remolded soil

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması kapsamında doğrudan kesme deneyi ile laboratuvar ortamında hazırlanan remolde zeminlerin drenajsız kesme dayanımları tespit edilmiş, aynı özellikteki numuneler ile vane deneyi ve doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen dayanımlar kullanılarak model şev ve model temel üzerinde hesaplanan şev emniyet katsayıları yardımı ile karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Zemin Mekaniği Laboratuvarı ve Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı ile ortak yürütülmüştür.

Bu süreçte numunelerin hazırlanması, deneysel çalışmalar sırasında karşılaşılan sorunlar doğrultusunda çalışmalar yönlendirilmiş ve sonuçlandırılmıştır.

Çalışmalarım süresince bilgi ve yönlendirmeleri ile destek olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Kamil KAYABALI'ya (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı), tecrübeleri ile çalışmalarımı destekleyen Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı'na, ayrıca Zemin Mekaniği Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Kutsel Kübra ÇALIŞKAN
Ankara, Ocak 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iv**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Genel **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
3. MATERYAL ve YÖNTEM **7**
3.1 Materyal **7**
3.2 Yöntem **7**
3.2.1 Plastik Limit Tayini (ASTM D4318 standardına göre) **8**
3.2.2 Likit Limit Tayini (Düşen koni penetrasyon deneyi ile BS 1377 standardına göre **10**
3.2.3 Doğrudan Kesme Deney Aşamaları **13**
3.2.4 Vane Deneyi **16**
3.2.5 Ters Ekstrüzyon Yöntemi **19**
3.2.6 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Tayini (TS 1900-2) **22**
3.2.7 Şev Stabilite Analizleri (Bishop Metodu) **23**
3.2.8 Taşıma Gücü Analizleri **24**
4. BULGULAR ve TARTIŞMA **26**
4.1 Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Kayma Dayanım Parametreleri **26**
4.2 Kanatlı Kesme Deneyi İle Elde Edilen Kayma Dayanım Parametreleri **30**
4.3 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi İle Elde Edilen Kayma Dayanım Parametreleri **38**
4.4 Doğrudan Kesme Deney Sonucunda Elde Edilen Parametreler Kullanılarak Hesaplanan Şev Emniyet Katsayıları **40**
4.5 Vane Deney Sonucunda Elde Edilen Parametreler Kullanılarak Hesaplanan Şev Emniyet Katsayıları **43**

4.6 Doğrudan Kesme ve Vane Deney Sonuçlarına Göre Hesaplanan Emniyet Katsayılarının Karşılaştırılması 45

4.7 Doğrudan Kesme Deney Sonuçları Kullanılarak Model Temel İçin Hesaplanan Taşıma Gücü Değerleri 51

4.8 Vane Deney Sonuçları Kullanılarak Model Temel İçin Hesaplanan Taşıma Gücü Değerleri 53

4.9 Vane Deneyi İle Doğrudan Kesme Deneyinin Taşıma Gücü Yönünden Karşılaştırılması 55

4.10 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi İle Kanatlı Kesme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 60

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME 62

KAYNAKLAR 65

EKLER 68

EK 1 Kanatlı Kesme Deney Sonuçları 69

EK 2 I_L=0,5 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar 72

EK 3 I_L=0,5 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar 73

EK 4 I_L=0,25 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar 74

ÖZGEÇMİŞ 75

SİMGELER DİZİNİ

s_u	Drenajsız kayma dayanımı
°C	Santigrat
I_L	Likidite indeksi

Kısaltmalar

kPa	Kilopaskal
VST	Vane Shear Test
DST	Direct Shear Test
LL	Likit Limit
PL	Plastik Limit
w	su içeriği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Plastik limit yuvarlama cihazı (ASTM D 4318-10'dan alınmıştır.) 9

Şekil 3.2 Plastik Limit Cihazı ve Deney Aşamaları 10

Şekil 3.3 Konik penetrometre (BS 1377:Part 1:1990'dan alınmıştır.) 11

Şekil 3.4 Konik penetrasyon ile likit limit tayini deney aşamaları 13

Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan doğrudan kesme deney cihazı 13

Şekil 3.6 Numunelerin doğrudan kesme deneyi için hazırlanması 14

Şekil 3.7 Doğrudan Kesme Deney Sonucu- Set1-Numune No:24 16

Şekil 3.8 Kanatlı kesici özellikleri (ASTM D4648/D4648M-10'dan alınmıştır.) 17

Şekil 3.9 Deneyde kullanılan vane cihazı ve deney aşamaları 17

Şekil 3.10 Vane Deney Sonucu- Numune No:18 19

Şekil 3.11 Ters ekstrüzyon sürecinin şematik ifadesi (Whyte, 1982'den değiştirilerek). 20

Şekil 3.12 Ters ekstrüzyonda yükleme ile piston hareketi arasındaki ilişki (Whyte 1982'den değiştirilerek alınmıştır) 21

Şekil 3.13 Ters ekstrüzyon deney aleti 21

Şekil 3.14 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Cihazı 23

Şekil 3.15 Model Şev 24

Şekil 3.16 Set 1 Numune 18 doğrudan kesme deney sonucu verileri ile şev stabilitesi analiz sonucu 24

Şekil 3.17 Model temel 25

Şekil 4.1 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere 50, 100, 150 ve 200 kPa normal gerilme altında doğrudan kesme deneyi uygulanması sonucu elde edilen normal gerilme-kesme dayanımı grafikleri 28

Şekil 4.2 17 numaralı zemin numunesinin beş farklı su içeriğinde vane deneyine tabi tutulması sonucu elde edilen su içeriği-kesme dayanımı grafiği 30

Şekil 4.3 Vane deney sonuçları 36

Şekil 4.4 No'lu numuneye ait tek eksenli sıkışma deney sonucu plastik limit su içeriğine karşılık gelen drenajsız kesme dayanımı 39

Şekil 4.5 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere doğrudan kesme deneyinin uygulanması sonucu elde edilen kesme dayanım parametreleri kullanılarak yapılan şev stabilite analizleri 41

Şekil 4.6.1 I_L=0,5 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 45

Şekil 4.7 I_L=1/6 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 46

Şekil 4.8 I_L=0,25 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 47

Şekil 4.9 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 48

Şekil 4.10 Doğal zemin numunelerine uygulanan doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 49

Şekil 4.11 I_L=0.5, I_L=1/6, I_L=0.25 olan zemin numunelerinin doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 50

Şekil 4.12 I_L=0.5, I_L=1/6, I_L=0.25 olan zemin numuneleri, plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler ve doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması 50

Şekil 4.13 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 56

Şekil 4.14 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 57

Şekil 4.15 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 58

Şekil 4.16 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 59

Şekil 4.17 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 60

Şekil 4.18 16 adet zemin numunesinin plastik limit su içeriğinde kanatlı kesme ve tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulması ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametrelerinin grafik üzerinde karşılaştırılması 61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yoğrulmuş zeminler için yayımlanmış dayanım-su içeriği korelasyonlarından seçme 5

Çizelge 3.1 Numunelerin doğrudan kesme deneyine tabi tutulduğu su içerikleri 8

Çizelge 3.2 Su içeriklerinin hesaplanması 14

Çizelge 4.1 Plastik limit su içeriğinde doğrudan kesme deneyine tabi tutulan numune listesi ve deney sonuçları 27

Çizelge 4.2 I_L=0,5 olan numune grubu için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri 27

Çizelge 4.3 I_L=1/6 ve I_L=0,25 olan numune grupları için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri 28

Çizelge 4.4 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numuneleri için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri 28

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan zemin numunelerinin kanatlı kesme deneyine tabi tutulduğu su içerikleri, deney sonucu elde edilen maksimum tork değerleri ve hesaplanan drenajsız kayma dayanımları 31

Çizelge 4.6 Vane deneyleri sonucunda oluşturulan grafiklerden elde edilen korelasyonlara ait a ve b katsayıları 34

Çizelge 4.7 Çalışmada kullanılan 16 adet numune için vane deneyi sonucunda su içeriği ile kesme dayanımı arasında elde edilen korelasyonlar yardımı ile hesaplanan plastik limit su içeriğindeki kesme dayanımları 37

Çizelge 4.8 Çalışmada kullanılan 8 adet numune için vane deneyi sonucunda su içeriği ile kesme dayanımı arasında elde edilen korelasyonlar yardımı ile hesaplanan I_L=0,5, I_L=1/6 ve I_L=0,25 olduğu durumdaki su içeriklerindeki kesme dayanımları 37

Çizelge 4.9 Afyon ve Burdurdan alınan doğal zemin numunelerine ait vane deney sonuçları 38

Çizelge 4.10 Çalışmada kullanılan 16 adet yoğrulmuş zeminin plastik limitte yeniden sıkıştırılmış örnekleri üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma deneyinden elde edilen drenajsız kesme dayanımları 39

Çizelge 4.11 Üç farklı su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere uygulanan doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen kesme dayanım parametreleri ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları 42

Çizelge 4.12 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere uygulanan doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen kesme dayanım parametreleri ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları 42

Çizelge 4.13 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numuneleri için elde edilen doğrudan kesme deney sonuçları ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları 43

Çizelge 4.14 I_L=0,5, I_L=1/6, I_L=0,25 olan numunelerin vane deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları) 43

Çizelge 4.15 Çalışmada kullanılan 16 adet zemin numunesinin vane deneyi ile plastik limit su içeriğinde elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları 44

Çizelge 4.16 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numunelerinin vane deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları 44

Çizelge 4.17 I_L=0,5 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deneyleri sonucunda bulunan drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması 45

Çizelge 4.18 I_L=1/6 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması 46

Çizelge 4.19 I_L=0,25 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması 47

Çizelge 4.20 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması 48

Çizelge 4.21 Doğal zemin numunelerine uygulanan doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması 49

Çizelge 4.22 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 51

Çizelge 4.23 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 52

Çizelge 4.24 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 52

Çizelge 4.25 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 52

Çizelge 4.26 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 53

Çizelge 4.27 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 53

Çizelge 4.28 I_L=0,5 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 54

Çizelge 4.29 I_L=1/6 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 54

Çizelge 4.30 I_L=0,25 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 54

Çizelge 4.31 Doğal zemin numunelerinin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri 55

Çizelge 4.32 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması 55

Çizelge 4.33 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması 56

Çizelge 4.34 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması 57

Çizelge 4.35 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması 58

Çizelge 4.36 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması 59

Çizelge 4.37 16 adet zemin numunesinin plastik limit su içeriğinde kanatlı kesme ve tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulması ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametrelerinin karşılaştırılması 60

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Zeminlerin kesme dayanımı, derin ve sığ temellerin taşıma gücü hesaplarında, dayanma yapılarının tasarımında ve şev duraylılığı gibi zemin duraylılık analizlerinde ihtiyaç duyulan önemli bir zemin parametresidir. Kesme dayanımının hesaplanmasında göz önüne alınacak en önemli unsur arazide geçerli olacak yükleme ve drenaj koşullarıdır. Yükleme hızına, zemin tipine (iri taneli veya ince taneli) ve jeolojik formasyona bağlı olarak drenajlı ve drenajsız koşulların, dolayısıyla drenajlı ve drenajsız kesme dayanımının varlığından söz edilir. Permeabilitenin yüksek, yükleme hızının düşük olduğu kısa süreli davranışın önemli olmadığı durumlarda drenajlı analiz yapmak uygun iken, permeabilitenin düşük, yükleme hızının yüksek olduğu kısa süreli davranışın değerlendirilmesinin önemli olduğu durumlarda drenajsız analiz yapmak uygundur.

Zeminlerin kesme dayanımını drenajlı ve drenajsız koşullarda tespit etmek için bugüne kadar pek çok arazi ve laboratuvar deney yöntemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerden biri olan laboratuvar kanatlı kesme deneyi hem yoğrulmuş zeminlerin hem de doğal zeminlerin drenajsız kesme dayanımını tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Ancak, bu yöntemin likit limite yakın su içeriklerinde sağlıklı sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Kayabalı ve Deneri (2011) ile Kayabalı ve Özdemir (2013) yoğrulmuş zeminlerin drenajsız kesme dayanımını tespit etmek için laboratuvar kanatlı kesme deneyine alternatif olarak ters ekstrüzyon deneyinin kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Drenajsız kesme dayanımını tespit etmek için uygulanan diğer bir yöntem kohezyonlu zeminler için uygun olan serbest basınç deneyidir. Bu yöntemde eksenel yüklemeden önce zemini konsolide etmek ve eksenel yükleme sırasında oluşan boşluk suyu basıncını ölçmek mümkün değildir. Bu deneyin en önemli dezavantajlarından biri, yükleme sırasında bazen zeminin fıçılanmasından dolayı belirgin bir yenilme yüzeyinin elde edilememesi ve dolayısıyla yenilme için hangi yükleme değerinin alınacağındaki belirsizliktir. Ayrıca yumuşak zeminlerde (c_u < 25 kPa) istisnasız bir sorundur (Şahin vd. 2010). Bunların dışında, arazi kanatlı kesme deneyine göre daha hızlı ve daha ucuz bir yöntem olan tam akışlı penetrometre (full flow penetrometer) deneyi yumuşak

killerde yoğrulmuş drenajsız dayanımı hesaplamak için alternatif olarak kullanılmaktadır.

Yoğrulmuş durum, numunenin en zayıf yapı ve minimum efektif gerilmeye sahip olduğu durumdur (Tanaka vd. 2012). Çoğu kil, büyük ölçüde aşırı konsolide olanlar hariç yoğrulmuş durumda dayanımlarının bir kısmını kaybeder (Skempton 1953). Killerin hassasiyet derecesi, örselenmemiş numune dayanımının yoğrulmuş dayanıma oranı olarak tanımlanmış olup, yoğrulmuş dayanımı bilmek killerin hassasiyet derecesini ve buna bağlı ortaya çıkabilecek problemleri anlamak açısından önemlidir.

Geoteknik mühendisliğinde yoğrulmuş zeminlerin drenajsız kesme dayanımının ön plana çıktığı uygulamalardan bazıları kıyı ötesi yapılar için sualtı zemin incelemeleri, buzul zeminlerinin incelenmesi ve kazık tasarımıdır. Bir örnek olarak, kazık çakma sırasında komşu zeminde meydana gelen örselenme, yoğrulma derecesine kadar varabilir. Kıyıötesi yapıların temel tasarımında yumuşak kil çökelleri için çoğu zaman yoğrulmuş haldeki dayanım profiline ihtiyaç duyulur (Yafrate ve DeJong 2005). Bozozuk (1972) kazık penetrasyonu sırasında göreceli hareket ve ilave boşluk suyu basıncı büyük olduğu zaman yüzey sürtünmesinin azalarak yoğrulma dayanımına gerilediğini ortaya koymuştur. Özellikle kütle hareketi çalışmalarında olmak üzere, buzul çökelleri ve akıcı killerde çoğu zaman yoğrulmuş dayanımın tayin edilmesine gerek duyulur (Kvalstad vd. 2005). Powell ve Lunne (2005) bir elektrikli CPT düzeneğinde çeper sürtünmesinin zeminin yoğrulmuş dayanımının bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

İnce taneli zeminlerde dayanımın artan su içeriği ile azaldığı uzun zamandır bilinmektedir. Zeminlerin kesme daynımını likit limit ile ilk olarak ilişkilendiren Casagrande'dir. Casagrande (1939) bir zeminin likit limitteki kesme dayanımı için 2,65 kPa değerini önermiştir. Bu konuyla ilgili olarak daha sonraları pek çok çalışma yapılmıştır. Wroth ve Wood (1978) ve Sharma ve Bora (2003)'nın literatürden özetlediği değerlere göre likit limtteki drenajsız kesme dayanımı 0,5-4,0 kPa arasında değişse de, çoğu araştırmacıların ittifak ettiği değer 1,6-1,7 kPa'dır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Wroth ve Wood (1978) likit limitteki yoğrulmuş zeminlerin drenajsız dayanımı için ortalama bir değer olarak 1,7 kN/m^2 değerini seçmiştir. Skempton ve Northey (1953)'in bulduğu sonuçlara göre Wroth ve Wood (1978) plastik limitteki kesme dayanımının likit limitteki kesme dayanımının 100 katı olarak alınabileceğini belirtmiştir.

Vardanega ve Haigh (2014) tarafından bildirildiğine göre Worth ve Wood (1978), likidite indeksi ile drenajsız kayma dayanımını bir yarı logaritmik bağıntı ile ilşkilendirmişlerdir. Regresyonlar tüm veriler için likidite indeksi karşısında drenajsız kesme dayanımının logaritması çizilerek yapılmıştır. Vardanega and Haigh (2014) düşen koni kesme dayanımının likidite indeksi ile değişimini çalışmak için 101 zemin numunesinin 641 düşen koni ölçümlerinden oluşan bir veritabanı oluşturarak sonuçları analiz etmişlerdir. Plastik limit ile likit limit arasında 100 kat dayanım artışı olduğu sonucunu veren yaygın bir şekilde kullanılan dayanım ve likidite indeksi arasındaki yarı logaritmik ilişkinin aşırı yüksek sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Wroth ve Wood (1978) ve Wood (1990) tarafından verilen eşitliğe dayalı olarak toplanılan veriye daha uygun olan modifiye edilmiş bir eşitlik yayınlamışlardır. Bu eşitlik;

$$c_u = c_L\, 35^{(1-IL)} \qquad (c_L=1{,}7\text{kpa}) \qquad 0{,}2 < I_L < 1{,}1 \text{ olarak belirtilmiştir.}$$

(c_u=drenajsız kayma dayanımı, c_L=likit limitteki drenajsız kayma dayanımı, I_L=likidite indeksi)

Feng (2000) tarafından bildirildiğine göre Wroth ve Wood (1978) ve Belviso vd. (1985), likit limit ile plastik limit arasındaki su içerikleri ile logaritmik penetrasyon derinliği arasındaki ilişkinin lineer olduğunu ve bu lineer bağıntının eğiminin plastisite indeksinin yarısına eşit olduğunu belirtmişlerdir. Feng (2000) pek çok araştırmacının tespit ettiği su içeriği-penetrasyon derinliği verilerinin log-log ölçekli grafikler üzerinde gösterildiğinde doğrusal bir eğri elde edildiğini tespit etmiş (örnek: Karlsson 1961, Wood 1985, Wasti ve Bezirci 1986, Harison 1988) ve plastik limit ile likit limit su

içeriklerindeki drenajsız kesme dayanımı oranının 100 olduğu kabulünü de dikkate alarak plastik limit için bir eşitlik geliştirmiştir.

Sharma ve Bora (2003), 55 inorganik zemin numunesinin drenajsız kesme dayanımını İsveç düşen koni penetrasyon deney yöntemi ile belirlemiş, her bir zemin numunesi için drenajsız kesme dayanımı ve su içeriği ilişkisinin log-log ölçekli bir grafik üzerinde lineer olduğunu göstermişlerdir. Yaptıkları deney sonuçları ile numunelerin plastik limitteki dayanımlarının 170 kN/m^2 civarında, likit limitteki dayanımlarının 1,7 kN/m^2 civarında olduğunu ve plastik limit su içeriğinin drenajsız kesme dayanımı 170 kN/m^2 olan bir zeminin su içeriği cinsinden yazılabileceğini teyid etmişlerdir. Logw ve logτ arasındaki lineer ilişkiyi kullanarak ve likit limitteki drenajsız dayanımı 1,7 kN/m^2, plastik limitteki dayanımı 170 kN/m^2 alarak, yoğrulmuş zeminlerin herhangi bir su içeriğindeki drenajsız kesme dayanımının zeminin yalnızca plastik ve likit limit su içeriklerini bilerek hesaplanabileceği bir bağıntı geliştirmişlerdir.

O'Kelly (2013), Atterberg limitteki su içerikleri yardımı ile zeminlerin dayanımını tespit eden pek çok yayını incelemiş ve logw : logs_{ur} korelasyonlarının regresyon analizinin 14 mineralli zemin ve dört organik sediment için yapıldığında plastik limit ve likit limit arasında dayanım değişiminin 100 olmadığını ve zeminden zemine dikkate değer bir farklılık olduğunu göstermiştir. O'Kelly (2013) Atterberg limitlerine dayanan ampirik s_{ur} değerleri veren formülasyonlardan farklı olarak doğrudan gerilme ve su içeriği ölçümlerine dayanan yeni bir yaklaşım denemiştir.

Nagaraj vd. 2012, likit limit su içeriği Casagrande metodu ve konik penetrasyon deneyi ile Wasti ve Bezirci (1978), Kayabalı ve Tüfenkçi (2010) tarafından tespit edilen numunelerin drenajsız kesme dayanımlarını bir grafik üzerinde birleştirmiş, likit limitteki drenajsız kayma dayanımının tek bir değer olmadığını, kesme dayanımları arasında dikkate değer bir farklılığın olduğunu ve likit limitteki artışla beraber dayanımın azaldığını göstermiştir. İlave olarak killi zeminlerin drenajsız dayanımının baskın kil mineraline ve uygulanan metoddaki mekanizmaya bağlı olduğunu belirtmiştir. Aynı araştırmacılara göre literatür verileri plastik limitteki drenajsız kesme dayanımının 20-320 kPa arasında değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte,

araştırmacıların çoğunluğunun önerdiği değer 110-170 kPa arasındadır (Skempton ve Northey 1953, Wroth ve Wood 1978, Arrowsmith 1982, Whyte 1982, Medhat ve Whyte 1986, Sharma ve Bora 2003).

Drenajsız kesme dayanımının su içeriği ile değişimi pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve drenajsız kesme dayanımının su içeriğinin bir fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir. Yoğrulmuş zeminlerin drenajsız kesme dayanımı ile su içeriği arasında birçok ampirik ilişki yayınlanmıştır [örnek: Yang vd. 2006, Wroth ve Wood 1978, Yılmaz 2000]. Bu ampirik ilişkilerde çoğunlukla drenajsız kesme dayanımı likidite indisi I_L ile ilişkilendirilmiş olup, I_L=0 olduğu durumda plastik limitteki dayanımı, I_L=1 olduğu durumda likit limitteki dayanımı vermektedir. Tablo 1'de literatürde yayınlanmış olan yoğrulmuş zeminlerin drenajsız dayanımı ile su içeriği korelasyonlarından bir kısmı verilmiştir.

Çizelge 2.1 Yoğrulmuş zeminler için yayımlanmış dayanım-su içeriği korelasyonlarından seçme.

Kaynak	Denklem (s_{ur}, kPa)	
Wroth and Wood (1978)	$s_{ur}=170\exp(-4{,}6I_L)$	(1*a*)
Leroueil et al. (1983)	$s_{ur}=1/(I_L-0{,}21)^2$	(1*b*)
Locat and Demers (1988)	$s_{ur}= (19{,}8/I_L)2{,}44$; $I_L>1{,}0$	(1*c*)
Hirata et al. (1990)	$s_{ur}= \exp(-3{,}361I_L+0{,}376)$	(1*d*)
Terzaghi et al. (1996)	$s_{ur}= 2(I_L)^{-2,8}$	(1*e*)
Yılmaz (2000)	$s_{ur}= \exp(0{,}026-1{,}21I_L)$	(1*f*)
Koumoto and Houlsby (2001)	$s_{urFC}= \exp[(1{,}070-I_{LN})/0{,}217]$	(1*g*)
NGI(2002)	$s_{ur}= 4{,}2(I_L)^{-1,6}$	(1*h*)
NGI(2002)	$s_{ur}= 3{,}9(I_L)^{-2,0}$	(1*i*)
Yang et al. (2006)	$s_{ur}= 159{,}6\exp(-3{,}97I_L)$	(1*j*)

Not: Denklem 1a sur(LL)=1,7kpa ve Rs=100'e dayalıdır. Denklem 1g, 60g ve 60o düşen koni için mobilize edilmiş dinamik sur(LL)=1,38kPa'ya dayalıdır. (O'Kelly 2013). Rs= sur(PL)/ sur(LL). sur=Yoğrulmuş drenajsız dayanım

Yılmaz (2000) tarafından bildirildiğine göre, Rominger ve Rutledge (1952) ve Means ve Parcher (1963) likidite indeksinin killi zeminlerin konsolidasyon derecesinin

güvenilir bir göstergesi olduğunu belirtmiştir. Means ve Parcher (1963) aşırı konsolide killer için I_L=0 olduğunu, yüksek derecede aşırı konsolide killer için likidite indeksinin negatif olduğunu belirtmiştir. Yılmaz (2000) aşırı konsolide killerin normal konsolide killerden daha yüksek kesme dayanımına sahip olduğu ve likidite indeksinin konsolidasyon derecesini yansıttığı gerçeğine dayalı olarak likidite indeksi ile kesme dayanımı arasında üç eksenli basınç deneyi yardımı ile ampirik bir ilişki geliştirmiştir.

Doğrudan kesme deneyi yoğrulmuş veya doğal zeminlerin drenajsız kesme dayanımını belirlemede başvurulan yaygın yöntemlerden biridir. Ancak, deneysel çalışmalarda bu test yönteminin ince taneli zeminlerde bazen yüksek derecede içsel sürtünme açısı verdiği gözlenmektedir. Bu yöntemden elde edilen sonuçların ne ölçüde tutarlı olduğunu ortaya koymak amacıyla kanatlı kesme deney sonuçlarıyla karşılaştırılması bu çalışmaların ana konusunu oluşturmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışma likit limit değerleri belirli bir aralıkta değişen zemin numuneleri üzerinde yapılmıştır. İstenilen plastisite aralığında zemin numunesini araziden temin etmek zor bir süreçtir. Bu nedenle plastisite özellikleri bilinen bir zemine laboratuvar ortamında belirli oranlarda ince kum ilave edilerek likit limiti giderek azalan numuneler, belirli oranlarda toz bentonit eklenerek de likit limiti artan numuneler elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan bentonit, Karakaya Bentonit Sanayi ve Ticaret A.Ş. Akyurt fabrikasından, ince kum ise Delice Irmağı alüvyonlarından alınmıştır.

Çalışma kapsamında araziden alınan ince kum numuneleri tepsilere konularak 110°C sabit sıcaklıkta 24 saat süresince etüvde kurutulmuştur. Daha sonra 40 no'lu elekten elenip, plastisite özellikleri bilinen bir zemin içerisine likit limit değerini azaltmak amacı ile farklı oranlarda ilave edilmiştir. Likit limiti artırmak için ise farklı oranlarda toz bentonit ilave edilmiştir. Bu şekilde likit limit değerleri 31,6 ile 158,0 arasında değişen 24 çeşit numune hazırlanmıştır.

3.2.Yöntem

Bu çalışma kapsamında hazırlanmış olan 24 çeşit numunenin ilk olarak plastik limit ve likit limit değerleri tespit edilmiştir. Numuneler 24 saat etüvde kurutulduktan sonra 16 tanesi plastik limit su içeriğinde, 9 tanesi çizelge 3.1'de gösterilen üç farklı su içeriğinde hazırlanmış ve her bir su içeriği için 50, 100, 150 ve 200 kPa normal gerilme altında drenajsız kesme dayanımları doğrudan kesme deney aleti ile tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada her bir numune beş farklı su içeriğinde vane deneyine tabi tutulmuştur. Aşağıdaki bölümlerde plastik limit, likit limit, doğrudan kesme ve vane deney yöntemleri ile ilgili ayrıntılar verilmiştir.

Çizelge 3.1 Numunelerin doğrudan kesme deneyine tabi tutulduğu su içerikleri

NUMUNE NO	1.su içeriği (%)	2.su içeriği (%)	3.su içeriği (%)
17	77,7	44,1	52,5
18	52,0	35,3	39,4
19	59,5	37,5	43,0
20	43,7	30,8	34,1
21	37,6	29,2	31,3
22	34,2	27,0	28,8
23	29,7	22,6	24,4
24	25,8	20,7	22,0

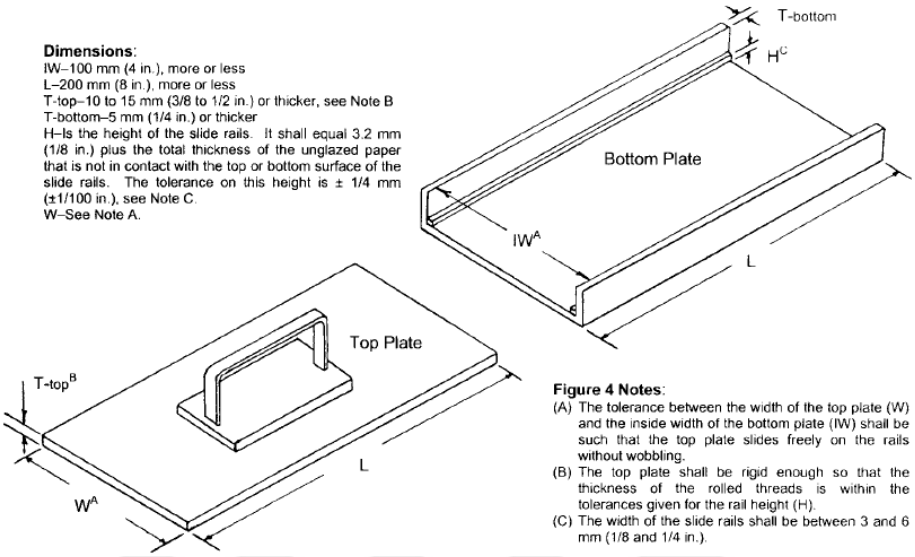
NUMUNE NO	PL su içeriği (%)
1	28,0
2	30,8
3	28,7
4	27,5
5	26,1
6	26,5
7	26,0
8	28,2
9	28,9
10	29,1
11	28,2
12	25,1
13	22,9
14	21,3
15	18,9
16	16,5

Bundan sonraki aşamalarda 1.su içeriğinde hazırlanan numuneler için set 1, 2. su içeriğinde hazırlanan numuneler için set 2, 3. su içeriğinde hazırlanan numuneler için set 3 tabiri kullanılacaktır.

3.2.1 Plastik Limit Tayini (ASTM D4318 standardına göre yapılmıştır)

Gerekli araç - gereçler: plastik limit numunelerini yuvarlamak için yeterli ölçüde buzlu cam tabak, akrilikten yapılmış plastik limit-yuvarlama makinesi (isteğe bağlı), yuvarlama makinasının üst ve alt plakasına konulacak olan ve yuvarlama süresince zemine yabancı madde (fiber, kağıt parçaları gibi) geçirmeyecek özellikte olan perdahsız kağıt, 2 cm genişliğinde 10-13cm uzunluğunda bıçağı olan spatula, en az 5cm kasnak yüksekliği olan 200mm çapında 425-µm (No:40) elek ve aynı özelliklere sahip 2.00 mm (No:10) elek, 110 ± 5 °C'de sabit sıcaklık sağlayabilen termostatlı etüv, su

ilave etmek amacı ile kullanılacak olan su şişesi ve en az 7,6 cm derinliğinde 20,3 cm çaplı elekten biraz daha büyük yıkama kabı deney için gerekli olan ekipmanlardır.



Şekil 3.1 Plastik limit yuvarlama cihazı (ASTM D 4318-10'dan alınmıştır) (Anonymous 2010)

Reaktif ve materyaller: Saf su-distile su veya minerallerinden arındırılmış su

Numuneler: No:40 elekten geçen numune kullanılır.

Numunelerin hazırlanması: Distile veya minerallerinden arındırılmış su ile cam tabak veya karıştırma kabı içinde spatula ile karıştırılarak hazırlanan numuneden 20 gr alınır. Ele yapışmadan yuvarlanacak kıvamda olacak şekilde su miktarı ayarlanmalıdır.

Hazırlanan numuneden 1,5-2,0 gramlık bir bölümü alınır ve elips şeklinde bir kütle haline getirilir.

Prosedür: Plastik limit yuvarlama cihazının üst ve alt plakasına düzgün ve perdahsız kağıt yerleştirilir. Numune alt plaka üzerine sürgülü rayların arasındaki orta noktaya yerleştirilir. Üst plaka yan raylarla 2 dakika temas edecek şekilde ileri geri hareket ettirilir. Yuvarlama sürecinde numunenin iki ucu yan taraflardaki raylara değerse daha

az numune ile deneye devam edilir. Numune çapı 3,2 mm olduğunda zemin numunesi parçalara ayrılır. Parçalar ezilir avuç içinde yoğrulur elips şekline getirilir ve tekrar yuvarlanır. Bu işleme numune yuvarlama için gereken basınç altında parçalanıp artık 3,2 mm çapına yuvarlanamayacak hale gelene kadar devam edilir. Bu aşama tamamlandıktan sonra hazırlanmış olan plastik limit numunesinden başka bir 1,5-2,0 gramlık numune alınır ve aynı aşamalar tekrar edilir.

Bu şekilde aynı numune için deney beş kere tekrar edilmiştir. Daha sonra su içeriğinin tespiti için 105 °C'de 24 saat etüvde bekletilmek üzere ayrı ayrı deney kaplarına konulup tartılmıştır.



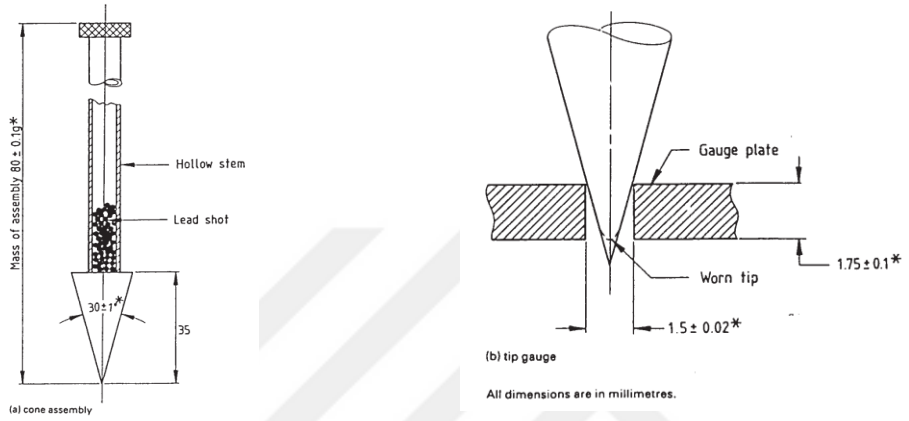
Şekil 3.2 Plastik limit cihazı ve deney aşamaları

Plastik limit değerleri bir numune için beş tekrar yapılıp elde edilen su içeriklerinin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

3.2.2 Likit Limit Tayini (Düşen koni penetrasyon deneyi ile BS 1377 standardına göre yapılmıştır)

Likit limit deneyleri BS 1377 standardına göre 80 g ağırlığında 30 derecelik konik ucun 5 saniye sürede kendi ağırlığı ile zemin içerisinde 20mm batma miktarını veren su içeriği tespit edilerek bulunmuştur. Her bir numune beş farklı su içeriğinde hazırlanmış olup her bir su içeriği için batma miktarı ölçülmüştür. Su içerikleri ile konik penetrasyon derinlikleri arasındaki ilişki lineer ölçekli bir grafiğe aktarılarak 20 mm penetrasyon derinliğine denk gelen su içerikleri belirlenmiştir.

Gerekli araç ve gereçler: 425 µm boyutunda test eleği, hava geçirmez kap, düz cam tabak, spatula, penetrometre, 80 gr ağırlığında, paslanmaz çelik, 35 mm uzunluğunda düzgün, cilalı yüzeyi olan konik uç, 55 mm çapında 40 mm derinliğinde düz tabanlı metal kap, desikatör, su içeriği tespiti için gerekli aparatlar, temiz su içeren yıkama şişesi, düz kenarlı metal, kronometre



Şekil 3.3 Konik penetrometre (BS 1377:Part 1:1990'dan alınmıştır) (Anonymous 1990)

Numunelerin deneye hazırlanması: 425 µm luk elekten geçen kısmı yaklaşık 400 gram olacak şekilde yeterli miktarda zemin numunesi alınır. Zemin numunesi cam bir tabağa aktarılır. Su ilave edilir ve zemin yoğun, homojen bir macun kıvamına gelene kadar karıştırılır. Suyun zemin içerisine sızmasına olanak vermek için macun kıvamındaki zemin numunesi 16-24 saat desikatörde bekletilir.

Prosedür: 400 gr zemin numunesi cam bir tabağa yerleştirilir. Yaklaşık 10 dakika macun kıvamındaki zemin numunesi spatula ile karıştırılır. İlk konik penetrometre okumasının yaklaşık 15 mm olması için eğer su ilave etmek gerekiyor ise numuneye biraz distile su ilave edilir. Karıştırılmış zemin numunesinden bir miktar metal kap içerisine spatula ile içerisinde hava kalmayacak şekilde yerleştirilir. Eğer gerekiyorsa zemin içerisindeki havanın çıkması için metal kap düz bir zemine hafifçe vurulur. Düz bir yüzey elde etmek için mastarla fazla olan zemin kesilip atılır. Zemin yüzeyine temas edecek şekilde konik uç alçaltılır. Konik uç doğru pozisyonda olduğunda metal kabın hafif bir hareketi zemin yüzeyinde sadece bir çizik bırakacaktır. Kadranlı gösterge konik ucun gövdesine temas edecek şekilde alçaltılır ve 0,1 mm hata payı ile ilk okuma

alınır. Konik uç 0,5±1 saniyelik bir süre için serbest bırakılır ve bu konumda sabitlenir, kadranlı gösterge konik ucun gövdesine temas edecek şekilde tekrar alçaltılır ve 0,1 mm hata payı ile ikinci okuma alınır. Okumalar arasındaki fark konik penetrasyon okuması olarak kaydedilir. Daha sonra konik uç kaldırılır ve dikkatli bir şekilde temizlenir.

Hazırlanan numuneden bir miktar daha alınarak yukarıda anlatılan prosedür tekrar edilir. Eğer birinci ve ikinci penetrasyon okumaları arasındaki fark 0,5 mm'den az ise iki okumanın ortalaması alınır. Eğer fark 0,5 mm'den çok 1mm'den az ise üçüncü bir test yapılmalıdır. Eğer tüm ölçümlerin arasındaki fark 1mm'den fazla değil ise üç penetrasyon okumasının ortalaması alınır. 1 mm'den fazla ise zemin numunesi tekrar karıştırılarak sabit sonuç elde edilinceye kadar deney tekrar edilir.

Konik penetrasyon miktarı tespit edilen numuneden su içeriğinin belirlenmesi için 20 gr alınır.

Aynı numuneye artan miktarda su ilave edilip karıştırılarak 15 mm ile 25 mm aralığında beş farklı penetrasyon değeri elde edebilmek için penetrasyon deneyi toplam beş kere yapılmıştır. Her seferinde numuneye bir miktar daha su ilave etmek için metal kaptan numune temizlenmiş ve su ilave edilip karıştırılan numune ile deneye devam edilmiştir.

Elde edilen konik penetrasyon miktarı ile su içeriği değerleri, yatay eksende su içeriği düşey eksende konik penetrasyon miktarı olan lineer ölçekli grafiğe aktarılıp 20 mm konik penetrasyon miktarına karşılık gelen su içeriği likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.4 Konik penetrasyon ile likit limit tayini deney aşamaları

3.2.3 Doğrudan Kesme Deney Aşamaları

Deneyde kullanılan cihazlar : Numuneler, 4,45 kN yatay ve düşey yükleme kapasitesi olan, +/-12,5 mm (+/-0,050 in.) yatay ve 25,45 mm (1,00 in) düşey harekete izin veren, kesme hızı dakikada 0,00003 ila 15 mm (dakikada 0,000001 ile 0,6 in.) arasında ayarlanabilen otomatik doğrudan kesme cihazları kullanılarak deneye tabi tutulmuştur. Deneylerde 60x60 mm, rijit yan duvarlı kesme kutusu, arka yüzü oluklu düşey yükleme başlığı, oluklu taban plakası, 2 adet poroz taş ve 2 adet delikli ve oluklu prinç plakadan oluşan kesme kutusu takımı kullanılmış olup numuneler kesme kutularına yerleştirildiğinde elde edilen numune yüksekliği 2 cm'dir.



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan doğrudan kesme deney cihazı

PI ve LL değerleri belirlenmiş olan numuneler için LL ve PL aralığında olacak şekilde üç farklı su içeriği tespit edilmiştir. 1.su içeriği I_L=0,5 olacak şekilde hesaplanmıştır. Diğer su içeriklerinin nasıl hesaplandığı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Su içeriklerinin hesaplanması

NUMUNE NO	LL	PL	PI=LL-PL	1.su içeriği (%) I_L=0,5	2.su içeriği (%) I_L=1/6	3.su içeriği (%) I_L=0,25
17	128,0	27,3	100,7	77,7	44,1	52,5
18	77,0	26,9	50,1	52,0	35,3	39,4
19	92,5	26,5	66,0	59,5	37,5	43,0
20	63,0	24,4	38,6	43,7	30,8	34,1
21	50,2	25,0	25,2	37,6	29,2	31,3
22	45,0	23,4	21,6	34,2	27,0	28,8
23	40,3	19,1	21,2	29,7	22,6	24,4
24	33,5	18,1	15,4	25,8	20,7	22,0

Tespit edilen bu üç değişik su içeriğinde her bir numune için 120 gram (kuru numune+su) örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler kesme kutularına yerleştirilmeden önce suyun numune içerisinde homojen dağılımının sağlanması amacı ile desikatörde 24 saat süre ile bekletilmiştir.



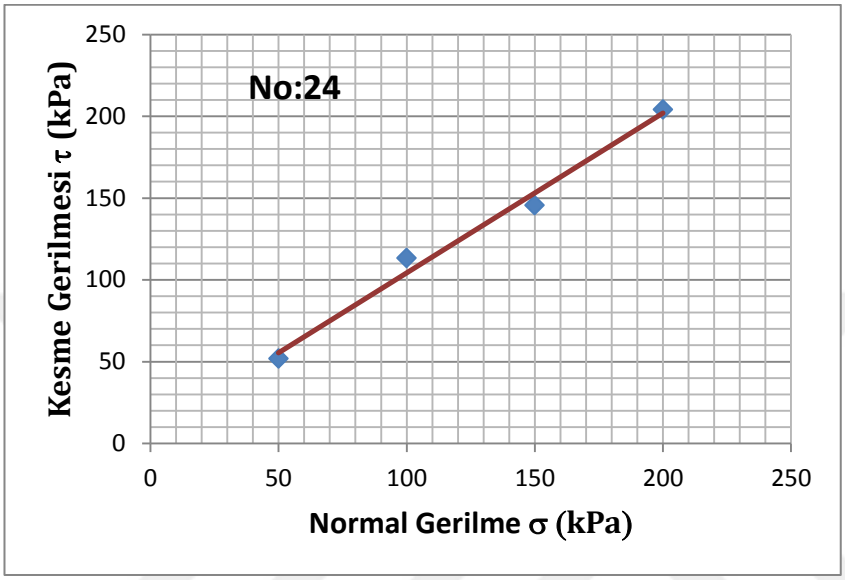
Şekil 3.6 Numunelerin doğrudan kesme deneyi için hazırlanması

Başlangıçta bu su içeriklerinde hazırlanacak olan numunelerin eşit şartlarda deneye alınması amacı ile kesme kutusu deneyi uygulanmadan önce 3,6 kg (10 kPa) yük altında konsolidasyonunu tamamlayıncaya kadar doğrudan kesme deney cihazında bekletilmesi uygun görülmüştür.

Bu amaçla yapılan deneylerde, 10 kPa yük altında konsolide edilen numunelerde oturma miktarının çok yüksek olduğu gözlenmiş ve kalan numune yüksekliğinin kesme aşamasında gerekli olan kesme düzlemi seviyesinden daha aşağıda olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu şartlarda numuneler kesmeye müsait olmadığı için konsolidasyon sonlandırılmak zorunda kalınmıştır. Aynı zamanda yüksek olan bu oturma miktarı cihazın düşey deplasman kapasitesini aştığı için, cihaz limitinden dolayı da problem yaşanmıştır. Bu sorunlar; 10 kPa lık gerilme altındaki konsolidasyon sırasında, numune yüksekliği kesme seviyesinin altına düştüğünde bir miktar daha numune ilave edilip konsolidasyona devam edilerek çözülmüştür ve kesme kutusu deney aşamasına geçilmiştir. Ayrıca, konsolidasyon sırasındaki yüksek oturma probleminin çözümüne destek olunması ve elde edilen sonuçlara göre deneylerin ileriki aşamada yönlendirilmesi amacıyla plastikliği en düşük numunelerden çalışılmasına karar verilmiştir.

Numuneler 50, 100, 150 ve 200 kPa'lık normal gerilmeler altında makaslama deneyine tabi tutulmak amacı ile doğrudan kesme makinalarına yerleştirilmiş ve deney aşamasına geçilmiştir. Ancak bu aşamada makaslama deneyi sırasında uygulanan 50 kPa normal gerilmenin sebep olduğu oturma çok hızlı gerçekleşmiştir. Kesme sırasında makinanın 50 kPa'lık normal gerilmeyi uygulayabilmek için gereken deplasman hızını sağlayamadığı görülmüştür. 50 kPa'lık normal gerilme uygulandığında kesmenin gerçekleştirilememesi, diğer normal gerilmeler (100, 150 ve 200 kPa) için de aynı problem ile karşılaşılacağını göstermektedir. Bu nedenle deneylere bu şekilde devam edilemeyeceği anlaşılmıştır. Bu durum numunelerin fazla yumuşak ve oturmaya müsait olmasından kaynaklanmıştır. Bu sebeple makaslama deneyi öncesi numunelerin 10 kPa' lık normal gerilme yerine 50 kPa'lık normal gerilme altında konsolide edilmesinin makaslama deneyi sırasında gözlenen bu yüksek oturma miktarını azaltacağı düşünülmüştür ve deneylere numuneler 50 kPa normal gerilme altında

konsolidasyonunu tamamladıktan sonra devam edilmesine karar verilmiştir. Numunelerin kesme kutusuna yerleştirilmesi sırasında eşit başlangıç şartlarını sağlamak amacı ile 9 kg'lık yük uygulanmıştır. Doğrudan kesme deney sonucuna ait bir örnek şekil 3.7'de verilmiştir.



Numune No: 24

w : % 25,8

PL: 18,1

LL: 33,5

c : 6,41

ø: 44,4

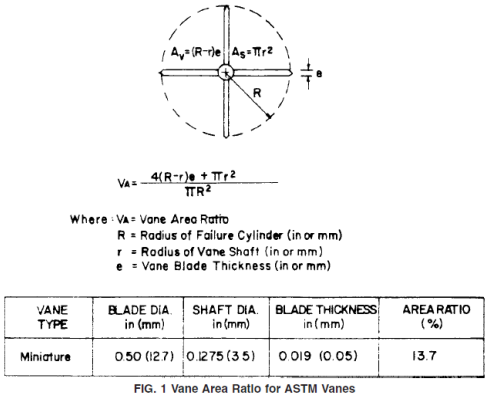
Şekil 3.7 Doğrudan Kesme Deney Sonucu- Set1-Numune No:24

3.2.4 Vane Deneyi (ASTM D 4648/D 4648M-10 standardına göre yapılmıştır.)

Drenajsız kesme dayanımının tespiti için ikinci bir yöntem olarak ASTM D 4648 standardına uygun olarak vane deneyi kullanılmıştır.

Gerekli araç ve gereçler:

Kanatlı bıçak– Kanatlar monte edilebilir dört dikdörtgen bıçaktan oluşur. Kanat yüksekliğinin çapın iki katı kadar olması tavsiye edilmekle beraber çapa eşit yükseklikte kanatlar da kullanılabilir. Bıçak çapı 12,7 ile 25,4 mm arasında olabilir.



VANE TYPE	BLADE DIA. in (mm)	SHAFT DIA. in (mm)	BLADE THICKNESS in (mm)	AREA RATIO (%)
Miniature	0.50 (12.7)	0.1275 (3.5)	0.019 (0.05)	13.7

FIG. 1 Vane Area Ratio for ASTM Vanes

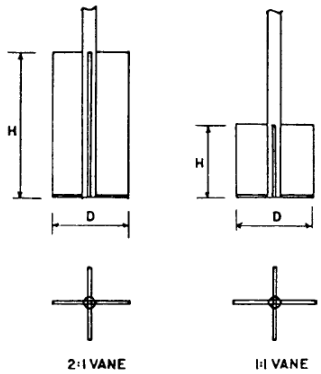


FIG. 2 Miniature Vane Blade Geometry

Şekil 3.8 Kanatlı kesici özellikleri (ASTM D4648/D4648M-10'dan alınmıştır.)

Deneyde kullanılan kanat yüksekliği çapın iki katı olup, bıçak çapı 12,7 mm'dir.

Cihaz– cihaz motorlu olmalı, döner yaylı (torque spring) olması durumunda döner yayı 60-90°/dakika sabit hız ile döndürebilir özellikte olmalıdır. Torku sert bir şaft vasıtası ile uygulayan ve tork ölçmek için elektrikli dönüştürücü kullanan cihazlar, kanatları 20-30°/dakika sabit hızda döndürebilir özellikte olmalıdır. Yaylı cihazın bir göstergesi olmalı veya kalibre edilen yayın veya elektrikli dönüştürücünün defleksiyonunu kaydeden bir sisteme sahip olmalıdır.

Tork ölçen cihaz torku en az 3 anlamlı hanede verebilir özellikte olmalıdır.



Şekil 3.9 Deneyde kullanılan vane cihazı ve deney aşamaları

Çalışmada kullanılan vane deney aleti elektronik dönüştürücü ile tork ölçer. 3 N.m'ye kadar olan torku ölçebilir özelliktedir. Ölçülebilir kesme gerilmesi aralığı 0,1-466 kPa dır. Dönme hızı dakikada 0,001-1200 derece aralığındadır. Kullanılan cihazın kanat yüksekliği çapın iki katı olup, bıçak çapı 12,7 mm'dir.

Deneyin yapılışı ve hesaplamalar:

Deney kesme hızı dakikada 60 derece olarak ayarlanmıştır. Her bir numune beş değişik su içeriğinde vane deneyine tabi tutulmuş, elde edilen maksimum tork değerleri kullanılarak denklem 3.1 ve denklem 3.2'de verilen eşitlikler yardımı ile drenajsız kesme dayanımları hesaplanmıştır.

$$T = \tau \text{ x } K \quad \text{..... (3.1)}$$

$$K = \frac{\pi D^2 H}{2 \times 10^6}\left[1 + \frac{D}{3H}\right] \quad \text{..... (3.2)}$$

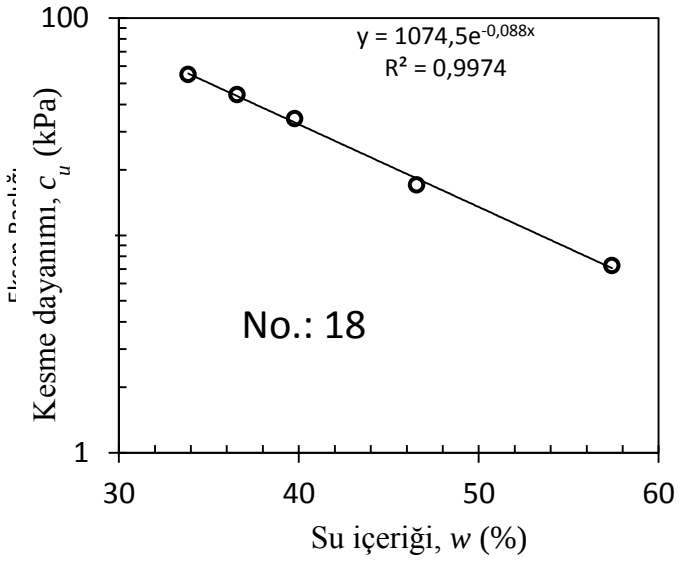
τ = drenajsız kayma dayanımı (N/m^2), T=Tork (N.m), K=vane bıçak sabiti (m^3), D=vane çapı (mm), H= vane yüksekliği (mm)

Her bir su içeriği için bu şekilde hesaplanan drenajsız kesme dayanımları yarı-logaritmik grafik üzerine aktarılarak denklem 3'de verilen formatta eşitlikler elde edilmiştir.

$$y = a \times e^{b \times w_{LL}} \quad \text{..... (3.3)}$$

y = drenajsız kayma dayanımı, a ve b sabit katsayılardır.

Elde edilen bu denklemler kullanılarak PL ve LL'deki kayma dayanımları her bir zemin için hesaplanmıştır. Bu konu ile ilgili bir örnek şekil 2.2.4.3'de verilmiştir.



No	PL	LL	T_{VST} (N.m)	w(%)	s_u
17	26,9	77,0	0,031	57	7
			0,073	47	17
			0,147	40	34
			0,19	37	44
			0,235	34	55

$y=1074,5e^{-0,088x}$

Şekil 3.10 Vane Deney Sonucu- Numune No:18

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi beş farklı su içeriği için vane deneyi sonucunda elde edilen kesme dayanımları yarı-logaritmik bir grafiğe aktarılmış ve elde edilen denklem kullanılarak PL, LL ve diğer su içeriklerindeki dayanımlar hesaplanmıştır.

3.2.5 Ters Ekstrüzyon Yöntemi

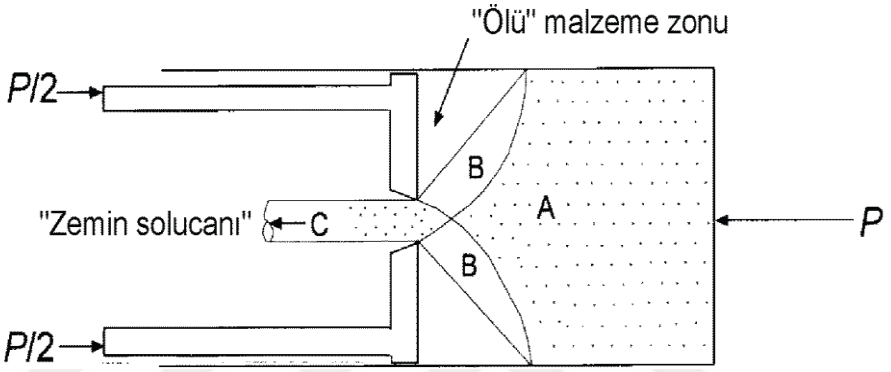
Ekstrüzyon, bir metal, plastik veya zemin blogunun yüksek basınç altında zorlanarak daha dar bir delikten geçirilmesi ile istenilen kesitin elde edilmesinde kullanılan mekanik bir süreçtir (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010a).

Ters ekstrüzyon gereci, bir tarafı kapalı silindirik bir hazne (iç çapı 3,8 cm) ile ortası delik bir malafadan (delik çapı 0,6 cm) oluşan son derece basit bir düzenektir. Değişik kıvamda hazneye yerleştirilen zemin malafa ile sıkıştırılmakta; sıkıştırma kuvveti belirli bir düzeye geldiğinde hazne içindeki zemin yenilerek delikten çıkmaktadır. Bu anda kaydedilen gerilmeye ekstrüzyon gerilmesi denilir. (Kayabalı vd. 2010)

Ters ekstrüzyon yönteminde bir tarafı bir plaka ile kapatılmış hazne içerisine yerleştirilen malzeme şekil 3.11'de görüldüğü gibi ortasında delik olan bir piston ile 3

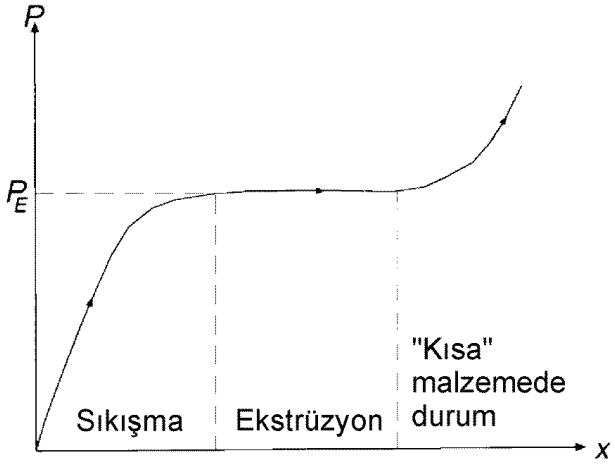
mm/dakika hızda sıkıştırılır ve zemin solucan şeklinde delikten çıkıncaya kadar bu işleme devam edilir.

Hazne içine rijit biçimde yerlestirilen malzeme (A), B zonuna eristiginde deforme olarak piston deliginden çıkar (C). Bu durumda malzemeye uygulanan gerilme sünme limiti düzeyinde olup delikten çıkan bu malzemeye daha fazla gerilme uygulanamaz (Whyte 1982).



Şekil 3.11 Ters ekstrüzyon sürecinin şematik ifadesi (Whyte 1982'den değiştirilerek)

Şekil 3.12'de ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi zemin pistonun ortasındaki delikten dışarı çıkıncaya kadar basınç artmaya devam eder. Ters ekstrüzyonda hazne ile malzeme arasında bir göreceli hareket olmadığından, pistonun ilerlemesi sırasında ekstrüzyon basıncı yaklaşık olarak sabit kalır ve delikten çıkan malzemeyi deforme etmek için gerekli gerilmeyi temsil eder (Dieter 1988).



Şekil 3.12 Ters ekstrüzyonda yükleme ile piston hareketi arasındaki ilişki (Whyte 1982'den değiştirilerek alınmıştır)

Deneyde kullanılan ekipmanlar iç çapı 38 mm, yüksekliği 150 mm olan paslanmaz çelik veya metalden yapılmış bir hazne ve ortasındaki deliğin çapı 6 mm olan bir pistondur. İlave olarak kuvvet degerlerinin izlenebilmesine olanak saglayan bir gösterge, 0,01 gr hassasiyetinde bir terazi, 110±5 ºC sıcaklık saglayabilen termostatlı bir etüv, haznenin ve pistonun yaglanmasında kullanılacak vazelin ve desikatör kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Ters ekstrüzyon deney aleti

Deneyin Yapılışı

Numuneler plastik limit su içeriğine yakın 3 farklı su içeriğinde karıştırılıp desikatörde bekletilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Numuneler hazne içerisine doldurulur ve piston ile beraber ekstrüzyon makinesine yerleştirilir. Makine hızı 3mm/dk olarak

ayarlanır ve belirli aralıklarla uygulanan kuvvet kaydedilir. Zemin solucanı gözlendikten sonra 2-3 okuma daha alınır ve deney sonlandırılır. Ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon kuvvetinin hazne kesit alanına bölünmesi ile elde edilir. Düşey eksende basınç yatay eksende piston ilerleme mesafesi olacak şekilde grafikler oluşturulur. Çizilen eğrinin yaklaşık yatay olan kısmı o numunenin yenilme anındaki ekstrüzyon basıncına karşılık gelir.

Deney sonucunda her bir numune için elde edilen ekstrüzyon kuvveti değerlerine kadar numuneler statik kompaksiyon cihazında sıkıştırılmış ve tek eksenli sıkışma dayanımı testine tabi tutulmak üzere silindirik numuneler hazırlanmıştır.

3.2.6 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Tayini (TS 1900-2)

Gerekli araç-gereçler Çelik numune alıcılar, doğal veya sıkıştırılmış zeminden numune alabilecek, iç çapı 50 mm dış çapı ise en fazla 56 mm olan (zeminde iri daneler varsa numune alıcı çapı en iri dane çapının 6 katından büyük olmalıdır), numuneyi tüpten çıkarmaya yarayan numune itici, kalıp, kumpas, kronometre, 0,01 g hassasiyette tartım yapabilen terzai, TS 1900-2 standardına uygun basma presi, 0,01 mm hassasiyetle ölçüm yapabilen komparatör saati, uygulanan yükü 5 kPa doğrulukla ölçebilen kuvvet halkası ve çelik kıl testere deney için gerekli ekipmanlardır.

Numunenin Deney İçin Hazırlanması Numuneler ters ekstrüzyon deney sonucunda elde edilen ekstrüzyon kuvvetine ulaşana kadar statik kompaksiyon cihazında 1 mm/dak hız ile yüklenmiş ve bu şekilde silindirik numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 50 mm çapında ve boyu çapının iki katı olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Deneyin Yapılışı



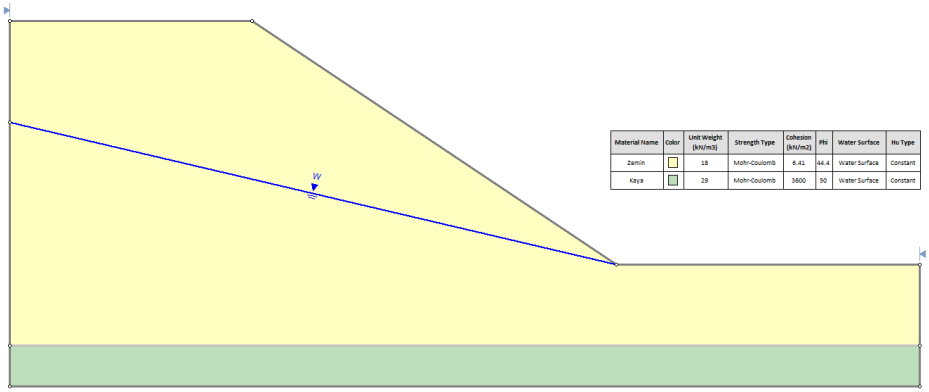
Şekil 3.14 Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı

Numune prese yerleştirildikten sonra yükleme dakikada %0,5-%2 arası birim boy kısalması oluşturacak şekilde deney süresi 10 dakikayı geçmeyecek şekilde yapılır. Deneye numunede kırılma gerçekleşinceye kadar devam edilir.

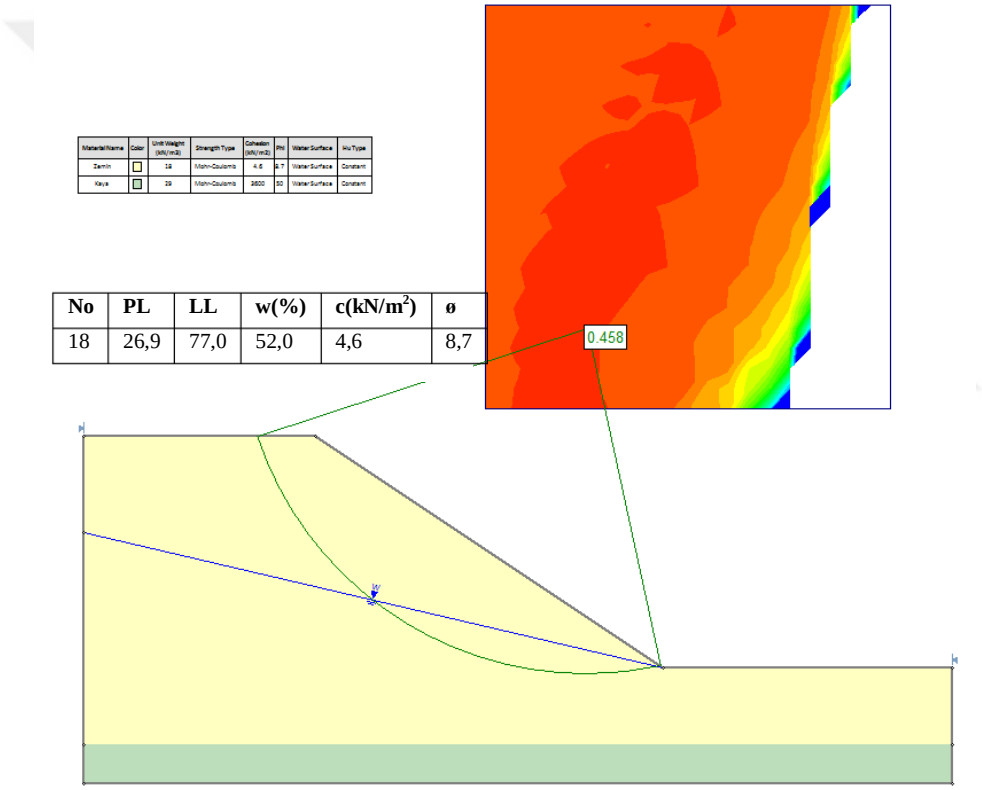
Plastik limit su içeriğinde doğrudan kesme deneyine tabi tutulan zemin numuneleri ile aynı özellikteki zeminler plastik limit su içeriğine yakın üç farklı su içeriğinde yukarıda bahsedildiği şekilde hazırlanarak tek eksenli sıkışma dayanımı testine tabi tutulmuştur.

3.2.7 Şev Stabilite Analizleri (Bishop Metodu)

Bir sonraki aşamada iki deney yöntemi arasında karşılaştırma yapmak amacı ile her iki deneyden elde edilen kesme dayanım parametrelerinin her biri aynı problemin çözülmesi için kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaç ile vane deneyi ve doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen veriler, slide 6.0 programı ile basitleştirilmiş Bishop metodu kullanılarak şev emniyet katsayılarının hesaplanması amacı ile şekil 3.15'de gösterilen model şev üzerinde zemin malzemesinin dayanım parametreleri olarak kullanılmıştır. Bu şekilde her bir zemin numunesi için bir emniyet katsayısı elde edilmiştir. Bu analizler ile ilgili bir örnek şekil 3.16'da verilmiştir.



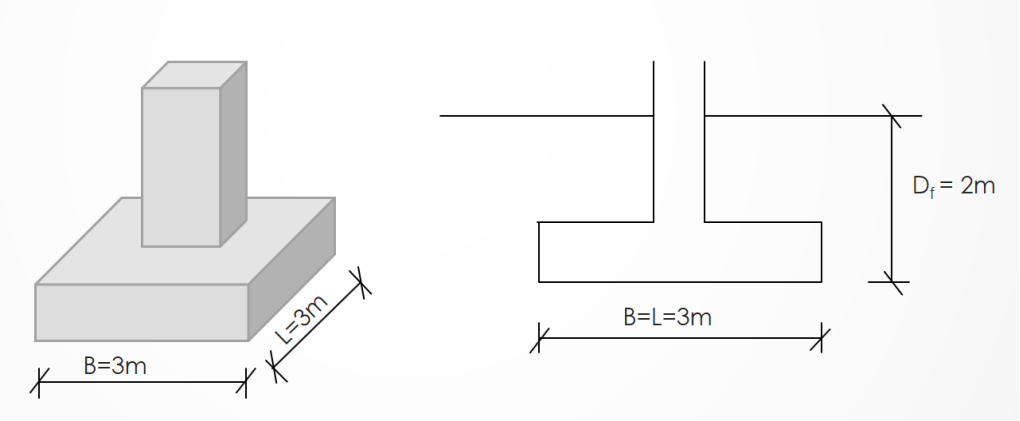
Şekil 3.15 Model Şev



Şekil 3.16 Set 1 Numune 18 doğrudan kesme deney sonucu verileri ile şev stabilitesi analiz sonucu

3.2.8 Taşıma Gücü Analizleri

Taşıma gücü analizleri şekil 3.17'de gösterilen kare temel için terzaghi taşıma gücü formulü kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.17 Model temel

Kare temel için $q_{ult} = 1.2\ c\ Nc + q\ Nq + 0.4\ \gamma\ B\ N\gamma$

Bu eşitlikte;

c : Kohezyon

γ : Birim hacim ağırlık

B : Temel genişliği

q : Örtü yükü (=γDf)

Nc, Nq, Nγ : Boyutsuz taşıma gücü faktörleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yukarıda bahsedilen deney yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar kullanılarak yapılan karşılaştırmalardan bahsedilmiştir. Doğrudan kesme deney yöntemi ile yapılan çalışmalar Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı Laboratuvarlarında, Vane deney yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar Ankara Üniversitesi Laboratuvarlarında standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1 Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Kayma Dayanım Parametreleri

Likit limit değeri 31,6 ile 158 arasında değişen 24 çeşit numuneden 9 tanesi PL ve LL aralığında önceden belirlenmiş olan 3 farklı su içeriğinde, 16 tanesi PL su içeriğinde hazırlanmıştır. Suyun eşit dağılımının sağlanması için hazırlanan karışımlar bir gün süre ile desikatörde bekletilmiştir. Desikatörden alınan karışımlar ilk olarak 50 kPa normal gerilme altında doğrudan kesme deney cihazında konsolide edilmiş olup daha sonra kesme aşamasına geçilmiştir. Her bir su içeriği için 50, 100, 150 ve 200 kPa normal yük altında drenajsız kesme dayanımları doğrudan kesme deney aleti ile aynı şekilde tespit edilmiştir.

Doğrudan kesme deneyi ile elde edilen sonuçlar çizelge 4.1- 4.3'te verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen numuneler laboratuvar ortamında hazırlanmış olup, araziden alınan doğal zemin numuneleri için elde edilen sonuçların da karşılaştırılması amacı ile Afyon ve Burdur'dan alınan 4 farklı numuneye doğrudan kesme ve vane deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 Plastik limit su içeriğinde doğrudan kesme deneyine tabi tutulan numune listesi ve deney sonuçları

NUMUNE NO	LL	PL	c (kPa)	ø (°)
1	158,0	28,0	49	3,5
2	134,0	30,8	8,7	17,8
3	113,0	28,7	9,21	17,3
4	101,0	27,5	19,5	7,2
5	84,5	26,1	14,8	32,8
6	65,0	26,5	-	-
7	55,9	26,0	2,69	20,9
8	142,0	28,2	21,6	3,6
9	117,0	28,9	12,06	15,1
10	105,0	29,1	20,25	2,4
11	93,0	28,2	18,58	4,4
12	49,6	25,1	11,04	16,6
13	45,9	22,9	5,32	23,1
14	42,2	21,3	19,03	18
15	36,8	18,9	11,87	20,5
16	31,6	16,5	6,2	26,4

Çizelge 4.2 I_L=0,5 olan numune grubu için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri

I_L=0,5 NUMUNE NO	LL	PL	Su içeriği (%)	c	ø
17	128,0	27,3	77,7	-	-
18	77,0	26,9	52,0	4,6	8,7
19	92,5	26,5	59,5	0	0,19
20	63,0	24,4	43,7	20,4	4,4
21	50,2	25,0	37,6	13,6	15,7
22	45,0	23,4	34,2	25,7	9,6
23	40,3	19,1	29,7	11,6	16,3
24	33,5	18,1	25,8	6,41	44,4

6 ve 17 No'lu numuneler için 50, 100, 150 ve 200 kPa normal gerilmeler altında elde edilen sonuçlar kendi içerisinde tutarsız olduğundan anlamlı bir c ve ø değeri elde edilememiş ve bu yüzden bu numune sonuçları iptal edilmiştir.

Çizelge 4.3 I_L=1/6 ve I_L=0,25 olan numune grupları için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri

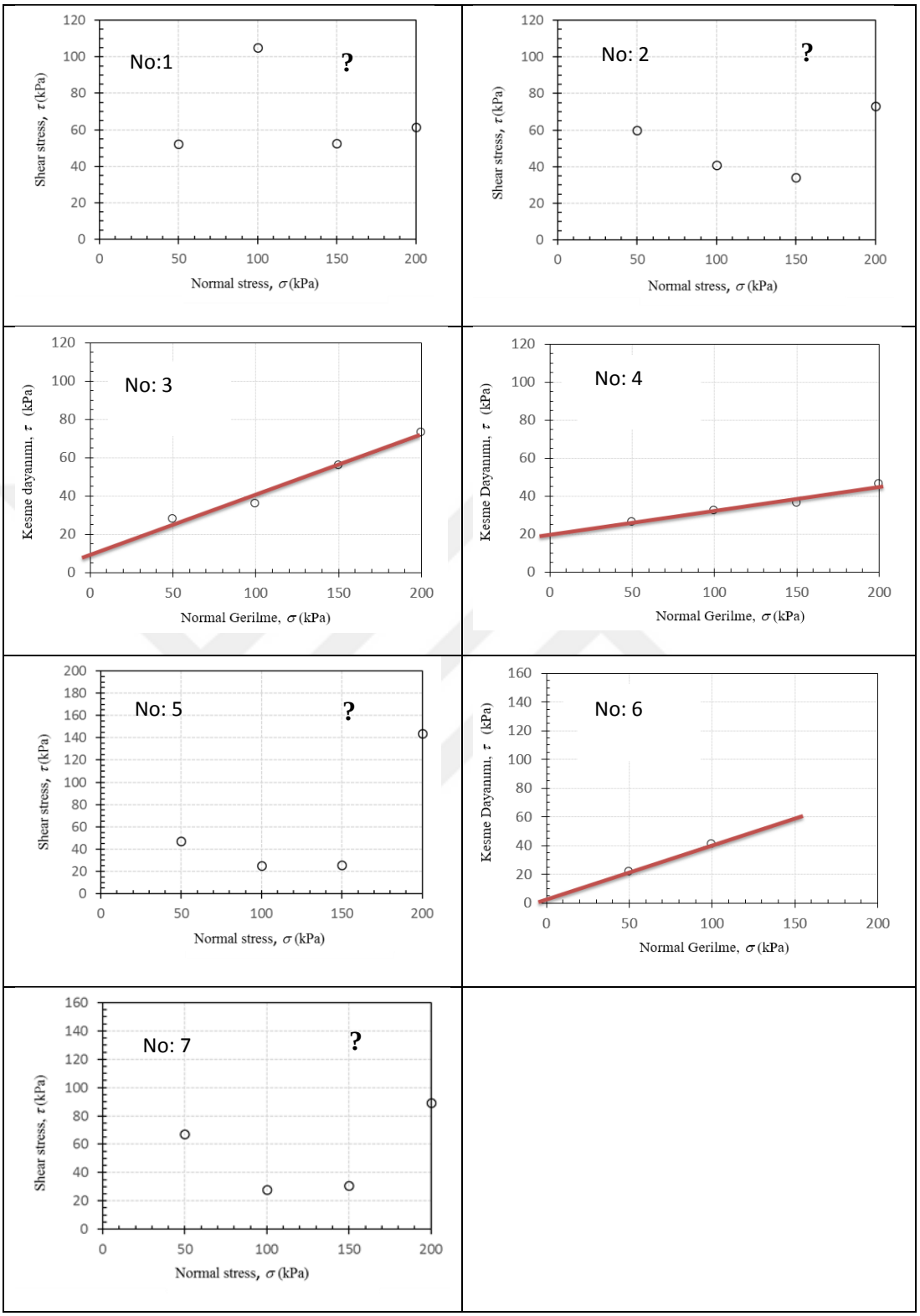
I_L=1/6 NUMUNE NO	**Su içeriği (%)**	**c(kPa)**	**ø (°)**
17	44,1	49,6	1,7
18	35,3	26,6	7,3
19	37,5	40,9	3,5
20	30,8	26,5	13,6
21	29,2	14,9	35,3
22	27,0	23,2	31,8
23	22,6	58,9	28,4
24	20,7	3,9	30,9

I_L=0,25 NUMUNE NO	**Su içeriği (%)**	**c(kPa)**	**ø (°)**
17	52,5	18,5	12,8
18	39,4	35	0
19	43,0	18,6	10,1
20	34,1	30,8	12,3
21	31,3	15,1	20,3
22	28,8	20,9	15,5
23	24,4	13,2	22,1
24	22,0	18	17,6

Çizelge 4.4 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numuneleri için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri

NUMUNE NO	**LL**	**PL**	**Su içeriği (%)**	**c(kPa)**	**ø (°)**
AFY-02	58,8	19,3	33,0	70	9,5
AFY-08	58,9	22,5	32,8	70	6,8
BUR-11	58,0	19,5	32,2	58	19,5
BUR-14	51,6	17,7	30,5	75	4,7

Plastik limit su içeriğindeki numunelerin her biri için 50, 100, 150 ve 200 kPa normal gerilme uygulanması ile elde edilen kesme dayanımları grafik üzerine aktarılarak kayma dayanım parametreleri elde edilmiştir. Hazırlanan normal gerilme-kesme gerilmesi grafikleri şekil 4.1'de gösterilmiştir. Diğer su içeriklerinde hazırlanan numuneler için elde edilen normal gerilme-kesme gerilmesi grafikleri ekler bölümünde verilmiştir.

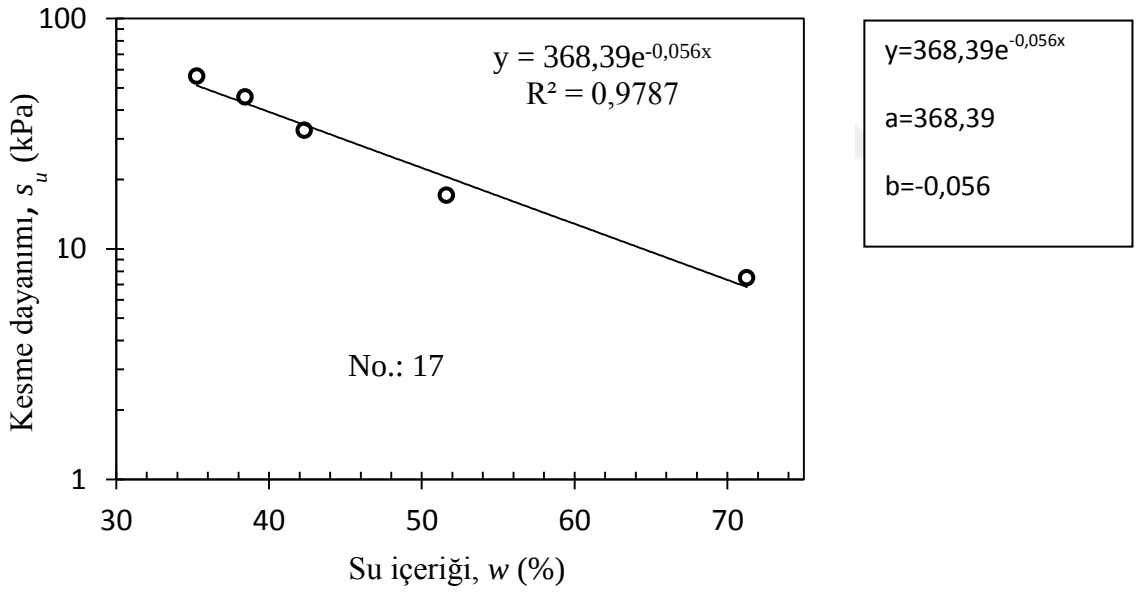


Şekil 4.1 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere 50, 100, 150 ve 200 kPa normal gerilme altında doğrudan kesme deneyi uygulanması sonucu elde edilen normal gerilme-kesme dayanımı grafikleri

4.2 Kanatlı Kesme Deneyi İle Elde Edilen Kayma Dayanım Parametreleri

Bir sonraki aşamada her bir numune beş farklı su içeriğinde vane deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen maksimum tork değerleri kullanılarak sayfa 17'de verilen denklem 1 ve 2 yardımı ile her bir su içeriği için drenajsız kesme dayanımları hesaplanmıştır. Bu şekilde elde edilen kesme dayanımlarının su içeriği ile değişimi şekil 4.2'de gösterildiği gibi yarı logaritmik bir grafik üzerine aktarılmıştır. Bu grafikler yardımı ile 24 numunenin her biri için denklem 3'te verilen formatta eşitlikler oluşturulmuştur. Bu eşitlikler kullanılarak numunelerin çizelge 3.1'de verilen su içeriklerindeki drenajsız kayma dayanımları hesaplanmıştır.

Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numuneleri de yukarıda bahsedildiği şekilde vane deneyine tabi tutulmuş olup, elde edilen sonuçlar çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.2 17 numaralı zemin numunesinin beş farklı su içeriğinde vane deneyine tabi tutulması sonucu elde edilen su içeriği-kesme dayanımı grafiği

Her bir numune için çizelge 4.5'te verilen su içeriklerinde vane deneyi yapılmış, bu su içeriklerine karşılık gelen drenajsız kayma dayanımları yukarıda bahsedildiği şekilde hesaplanmış ve şekil 4.2'de gösterildiği gibi yarı logaritmik bir grafik üzerine

aktarılmıştır. Elde edilen grafiklerin bir kısmı şekil 4.3'te verilmiş olup, diğer numunelere ait grafikler ekler bölümünde verilmiştir.

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan zemin numunelerinin kanatlı kesme deneyine tabi tutulduğu su içerikleri, deney sonucu elde edilen maksimum tork değerleri ve hesaplanan drenajsız kayma dayanımları

Zemin No	w (%)	T_{VST} (N.m)	s_u (kPa)
1	102,7	0,024	5,6
	49,5	0,083	19,4
	48,9	0,124	29,0
	40,4	0,175	40,9
	35,0	0,267	62,4
2	85,5	0,028	6,5
	53,2	0,09	21,0
	44,7	0,148	34,6
	39,1	0,191	44,6
	34,9	0,282	65,9
3	84,9	0,019	4,4
	50,2	0,093	21,7
	38,9	0,183	42,8
	35,6	0,24	56,1
	31,2	0,29	67,8
4	72,6	0,022	5,1
	50,6	0,084	19,6
	41,5	0,148	34,6
	36,6	0,208	48,6
	34,3	0,273	63,8
5	61,3	0,032	7,5
	45,3	0,098	22,9
	40,8	0,13	30,4
	37,3	0,192	44,9
	33,3	0,277	64,7
6	50,5	0,029	6,8
	39,1	0,109	25,5
	36,7	0,174	40,7
	33,8	0,202	47,2
	32,0	0,299	69,9
7	46,4	0,025	5,8
	39,4	0,09	21,0
	35,1	0,162	37,9
	31,4	0,242	56,5
	29,5	0,305	71,3
8	87,5	0,028	6,5
	59,5	0,066	15,4
	48,5	0,122	28,5
	42,7	0,163	38,1
	39,2	0,202	47,2

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan zemin numunelerinin vane deneyine tabi tutulduğu su içerikleri, deney sonucu elde edilen maksimum tork değerleri ve hesaplanan drenajsız kayma dayanımları (devam)

9	77,2	0,03	7,0
	52,1	0,089	20,8
	43,3	0,151	35,3
	40,0	0,172	40,2
	36,9	0,232	54,2
10	76,9	0,021	4,9
	48,6	0,092	21,5
	40,8	0,16	37,4
	36,8	0,201	47,0
	32,5	0,281	65,7
11	70,2	0,017	4,0
	51,5	0,071	16,6
	43,5	0,135	31,5
	37,5	0,191	44,6
	34,3	0,254	59,3
12	40,7	0,026	6,1
	35,0	0,089	20,8
	30,9	0,154	36,0
	29,4	0,234	54,7
13	37,1	0,034	7,9
	31,5	0,091	21,3
	30,2	0,141	32,9
	28,5	0,209	48,8
	25,8	0,319	74,5
14	33,9	0,027	6,3
	29,9	0,083	19,4
	28,0	0,149	34,8
	39,5	0,232	54,2
	24,9	0,306	71,5
15	31,4	0,025	5,8
	26,9	0,074	17,3
	25,2	0,129	30,1
	23,7	0,188	43,9
	22,7	0,261	61,0
16	18,8	0,388	90,7
	20,0	0,290	67,8
	21,1	0,180	42,0
	22,8	0,113	26,4
	24,7	0,057	13,4
17	71,3	0,032	7,5
	51,6	0,073	17,1
	42,3	0,14	32,7
	38,4	0,195	45,6
	35,3	0,24	56,1

Çizelge 4.5 Çalışmada kullanılan zemin numunelerinin vane deneyine tabi tutulduğu su içerikleri, deney sonucu elde edilen maksimum tork değerleri ve hesaplanan drenajsız kayma dayanımları (devam)

18	57,4	0,031	7,2
	46,6	0,073	17,1
	39,8	0,147	34,3
	36,6	0,19	44,4
	33,9	0,235	54,9
19	56,8	0,035	8,2
	46,4	0,073	17,1
	40,7	0,125	29,2
	34,8	0,208	48,6
	32,0	0,299	69,9
20	57,4	0,019	4,4
	41,4	0,09	21,0
	37,1	0,136	31,8
	33,9	0,201	47,0
	31,8	0,288	67,3
21	45,0	0,019	4,4
	35,1	0,104	24,3
	32,7	0,17	39,7
	30,0	0,235	54,9
	28,6	0,33	77,1
22	26,2	0,324	75,8
	27,8	0,250	58,5
	29,0	0,193	45,1
	31,2	0,125	29,2
	33,2	0,071	16,6
23	36,0	0,022	5,1
	27,3	0,099	23,1
	25,7	0,143	33,4
	23,9	0,193	45,1
	22,5	0,289	67,5
24	30,3	0,019	4,4
	24,8	0,09	21,0
	22,0	0,14	32,7
	22,1	0,201	47,0
	21,2	0,289	67,5

Çizelge 4.5 ‘de, çalışmada kullanılan her bir numune için beş farklı su içeriğinde vane deneyinin uygulanması sonucu şekil 4.2’de gösterildiği şekilde oluşturulan yarı logaritmik su içeriği drenajsız kayma dayanımı grafikleri yardımı ile $y=a\times e^{b}$ formatında oluşturulan denklemlere ait a ve b katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Vane deneyleri sonucunda oluşturulan grafiklerden elde edilen korelasyonlara ait a ve b katsayıları

No.	LL	PL	a	b
1	158,0	28,0	171	-0,034
2	134,0	30,8	254	-0,044
3	113,0	28,7	319	-0,051
4	101,0	27,5	519	-0,064
5	84,5	26,1	736	-0,076
6	65,0	26,5	3427	-0,123
7	55,9	26,0	5867	-0,147
8	142,0	28,2	208	-0,04
9	117,0	28,9	299	-0,049
10	105,0	29,1	393	-0,058
11	93,0	28,2	776,5	-0,075
12	49,6	25,1	13388	-0,188
13	45,9	22,9	14732	-0,204
14	42,2	21,3	61620	-0,27
15	36,8	18,9	27588	-0,271
16	31,6	16,5	41641	-0,324
17	128,0	27,3	368	-0,056
18	77,0	26,9	1075	-0,088
19	92,5	26,5	997	-0,086
20	63,0	24,4	1568	-0,103
21	50,2	25,0	10380	-0,172
22	45,0	23,4	23907	-0,217
23	40,3	19,1	4076	-0,187
24	33,5	18,1	34030	-0,296

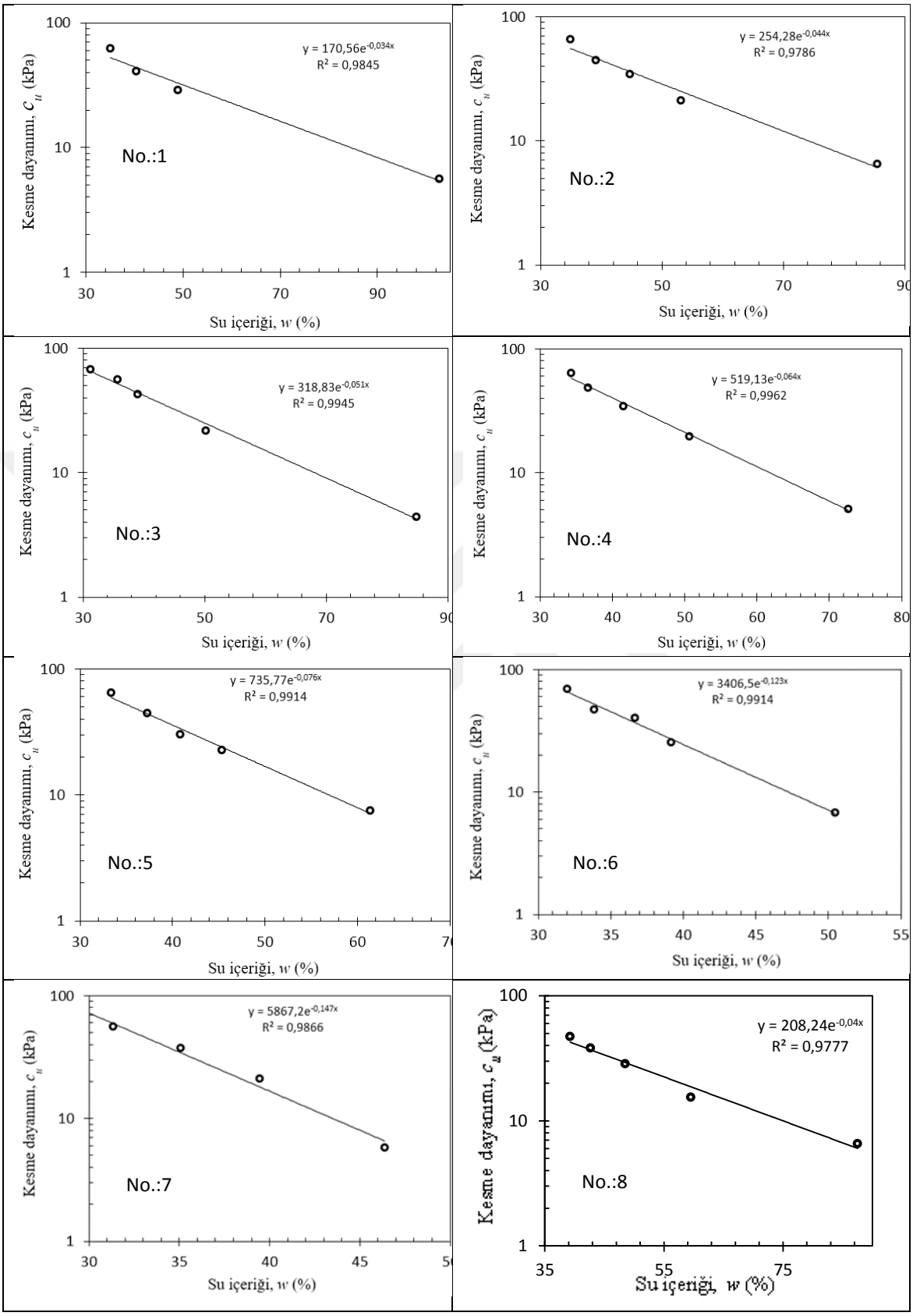
Elde edilen bu denklemler kullanılarak numunelerin çizelge 3.1'deki su içeriklerindeki drenajsız kayma dayanım parametreleri elde edilmiştir.

Bir örnek olarak; şekil 4.2'de gösterilen 17 numaralı numune için vane deneyinin çizelge 4.5'te gösterilen beş farklı su içeriğinde uygulanması ve sonuçların yarı logaritmik grafik üzerine şekil 4.2'de görüldüğü gibi aktarılması ile elde edilen denklem $y=368*e^{-0,056x}$ dir. Bu numunenin $I_L=0,5$ için hesaplanan su içeriğinde (w=%77,7) söz konusu denklem kullanılarak elde edilen drenajsız kayma dayanımı 5 kP'dır. Bu şekilde 16 zemin numunesinin plastik limit su içeriğinde drenajsız kayma dayanımları

hesaplanarak çizelge 4.7'da, 8 numunenin ise çizelge 3.1'de verilen su içeriklerinde drenajsız kayma dayanımları ise hesaplanarak çizelge 4.8'de verilmiştir.

Doğrudan kesme deneyi 16 zemin numunesi için plastik limit su içeriğinde, 8 numune için çizelge 3.1'de verilen su içeriklerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrudan kesme deney sonuçları ile vane deney sonuçları arasında karşılaştırma yapılabilmesi amacı ile yukarıdaki paragrafta belirtildiği gibi her bir numune için beş farklı su içeriğinde elde edilen vane deney sonuçlarına göre su içeriği ile drenajsız kesme dayanımı arasında korelasyonlar oluşturulmuş ve bu korelasyonlar sayesinde doğrudan kesme deneyinin uygulandığı su içeriklerindeki drenajsız kayma dayanımları vane deney sonuçları kullanılarak elde edilmiştir.

Ayrıca Burdur ve Afyon'dan alınan doğal zemin numunelerine vane deneyi uygulanmış, numunelerin su içerikleri ve elde edilen drenajsız kayma dayanımları çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.3 Vane deney sonuçları

Çizelge 4.7 Çalışmada kullanılan 16 adet numune için vane deneyi sonucunda su içeriği ile kesme dayanımı arasında elde edilen korelasyonlar yardımı ile hesaplanan plastik limit su içeriğindeki kesme dayanımları

No.	LL	PL	$s_{u(PL)}$ (kPa)
1	158,0	28,0	66
2	134,0	30,8	66
3	113,0	28,7	74
4	101,0	27,5	89
5	84,5	26,1	101
6	65,0	26,5	132
7	55,9	26,0	128
8	142,0	28,2	67
9	117,0	28,9	73
10	105,0	29,1	73
11	93,0	28,2	94
12	49,6	25,1	120
13	45,9	22,9	138
14	42,2	21,3	196
15	36,8	18,9	165
16	31,6	16,5	199

Çizelge 4.8 Çalışmada kullanılan 8 adet numune için vane deneyi sonucunda su içeriği ile kesme dayanımı arasında elde edilen korelasyonlar yardımı ile hesaplanan I_L=0,5, I_L=1/6 ve I_L=0,25 olduğu durumdaki su içeriklerindeki kesme dayanımları

I_L=0,5 Numune No	LL	PL	su içeriği (%)	s_u (kPa)	I_L=1/6 Numune No	su içeriği (%)	s_u (kPa)	I_L=0,25 Numune No	su içeriği (%)	s_u (kPa)
17	128	27,3	77,7	5	**17**	44,1	31	**17**	52,5	19
18	77,0	26,9	52,0	11	**18**	35,3	48	**18**	39,4	34
19	92,5	26,5	59,5	6	**19**	37,5	40	**19**	43,0	25
20	63,0	24,4	43,7	17	**20**	30,8	66	**20**	34,1	47
21	50,2	25,0	37,6	16	**21**	29,2	68	**21**	31,3	48
22	45,0	23,4	34,2	14	**22**	27,0	68	**22**	28,8	46
23	40,3	19,1	29,7	16	**23**	22,6	60	**23**	24,4	43
24	33,5	18,1	25,8	16	**24**	20,7	74	**24**	22,0	51

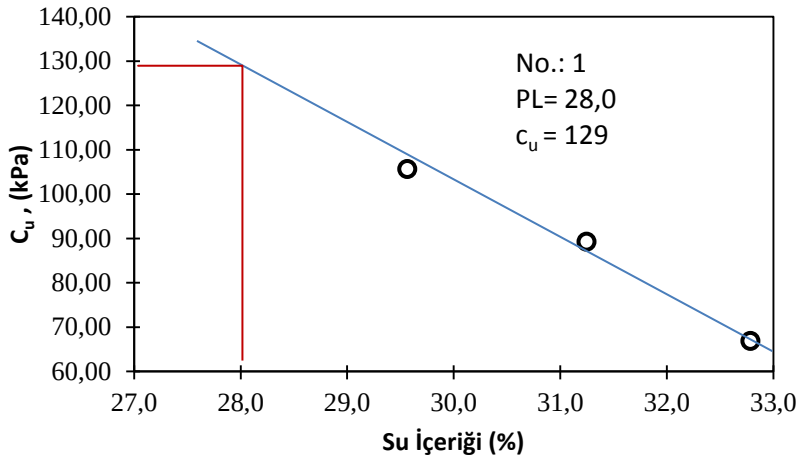
Doğrudan kesme deneyi ile vane deneyi arasında karşılaştırma yapabilmek için laboratuvar ortamında hazırlanan 24 adet numuneye ilave olarak Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numunelerine de deneyler yapılmıştır. Çizelge 4.9'da araziden alınan doğal zemin numunelerinin vane deneyine tabi tutulması sonucunda elde edilen kesme dayanımları ve zeminlerin sahip olduğu doğal su içerikleri görülmektedir.

Çizelge 4.9 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numunelerine ait vane deney sonuçları

NUMUNE NO	LL	PL	Su içeriği (%)	s_u (kPa)
AFY-02	58,8	19,3	33,0	112
AFY-08	58,9	22,5	32,8	100
BUR-11	58,0	19,5	32,2	100
BUR-14	51,6	17,7	30,5	95

4.3 Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile elde edilen kayma dayanım parametreleri

Plastik limit su içeriğinde doğrudan kesme deneyine tabi tutulan 16 adet zemin numunesi plastik limit su içeriğine yakın 3 su içeriğinde (biri PL, biri PL'nin biraz üstünde, diğeri de PL'nin biraz altında) karıştırılarak ters ekstrüzyon deneyine tabi tutulmuştur. Aynı özellikteki numuneler aynı su içeriklerinde karıştırılarak ters ekstrüzyon deneyinde yenilme sırasında elde edilen kuvvete ulaşana kadar statik kompaksiyonda 1mm/dak hız ile yüklenmiş ve bu şekilde silindirik numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numuneler tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen q_u değerlerinden $c_u = q_u/2$ hesaplanmıştır. 16 adet numunenin her biri için şekil 4.4'te gösterildiği gibi su içeriği ve drenajsız kayma dayanımları grafik üzerine aktarılmış ve plastik limite karşılık gelen drenajsız kayma dayanımları tespit edilmiştir. Diğer numunelere ait su içeriği-drenajsız kesme dayanımı grafikleri ekler bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.4 1 No'lu numuneye ait tek eksenli sıkışma deney sonucu plastik limit su içeriğine karşılık gelen drenajsız kesme dayanımı

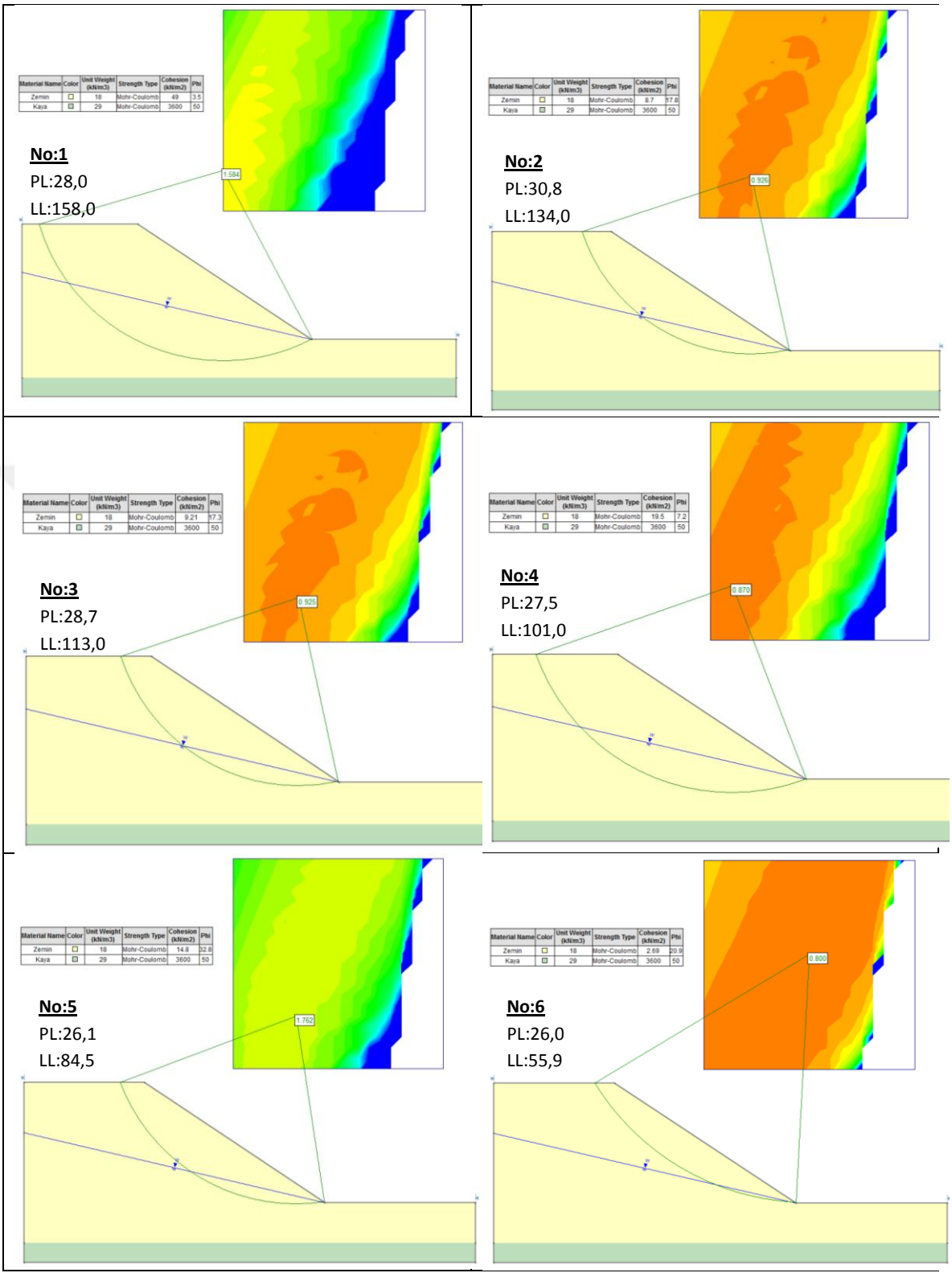
Çizelge 4.10 Çalışmada kullanılan 16 adet yoğrulmuş zeminin plastik limitte yeniden sıkıştırılmış örnekleri üzerinde yapılan tek eksenli sıkışma deneyinden elde edilen drenajsız kesme dayanımları

No	LL	PL-roll	su (kPa)
1	158,0	28,0	129
2	134,0	30,8	64
3	113,0	28,7	91
4	101,0	27,5	131
5	84,5	26,1	124
6	65,0	26,5	123
7	55,9	26,0	106
8	142,0	28,2	57
9	117,0	28,9	88
10	105,0	29,1	91
11	93,0	28,2	100
12	49,6	25,1	108
13	45,9	22,9	100
14	42,2	21,3	100
15	36,8	18,9	102
16	31,6	16,5	145

4.4 Doğrudan Kesme Deney Sonucunda Elde Edilen Parametreler Kullanılarak Hesaplanan Şev Emniyet Katsayıları

Doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen veriler kullanılarak slide 6.0 programı yardımı ile şekil 3.15'te verilen model şev üzerinde 25 numunenin her biri için emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Plastik limit su içeriğindeki numuneler için doğrudan kesme deneyi ile bulunan kesme dayanım parametreleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen grafiklerden bir kısmı şekil 4.5'te gösterilmiştir. Diğer analiz grafikleri ekler bölümünde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar çizelge 4.11- 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere doğrudan kesme deneyinin uygulanması sonucu elde edilen kesme dayanım parametreleri kullanılarak yapılan şev stabilite analizleri

Çizelge 4.11 Üç farklı su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere uygulanan doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen kesme dayanım parametreleri ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları

I_L=0,5 No	LL	PL	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı	I_L=1/6 No	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı	I_L=0,25 No	3.su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı
17	128,0	27,3	77,7	-	**17**	44,1	1,53	**17**	52,5	1,06
18	77,0	26,9	52,0	0,46	**18**	35,3	1,09	**18**	39,4	1,03
19	92,5	26,5	59,5	0,01	**19**	37,5	1,35	**19**	43,0	0,96
20	63,0	24,4	43,7	0,79	**20**	30,8	1,34	**20**	34,1	1,42
21	50,2	25,0	37,6	1,01	**21**	29,2	1,88	**21**	31,3	1,24
22	45,0	23,4	34,2	1,15	**22**	27,0	2,01	**22**	28,8	1,24
23	40,3	19,1	29,7	0,97	**23**	22,6	2,98	**23**	24,4	1,25
24	33,5	18,1	25,8	2,03	**24**	20,7	1,24	**24**	22,0	1,23

Çizelge 4.12 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan yoğrulmuş numunelere uygulanan doğrudan kesme deneyi sonucunda elde edilen kesme dayanım parametreleri ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları

NUMUNE NO	LL	PL	Şev Emniyet Katsayısı
1	158,0	28,0	1,58
2	134,0	30,8	0,93
3	113,0	28,7	0,93
4	101,0	27,5	0,87
5	84,5	26,1	1,76
6	65,0	26,5	-
7	55,9	26,0	0,80
8	142,0	28,2	0,79
9	117,0	28,9	0,94
10	105,0	29,1	0,70
11	93,0	28,2	0,73
12	49,6	25,1	0,96
13	45,9	22,9	0,10
14	42,2	21,3	1,28
15	36,8	18,9	1,14
16	31,6	16,5	1,16

Çizelge 4.13 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numuneleri için elde edilen doğrudan kesme deney sonuçları ile Slide 6.0 kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayıları

Numune No	LL	PL	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı
AFY-02	58,8	19,3	33,0	2,46
AFY-08	58,9	22,5	32,8	2,34
BUR-11	58,0	19,5	32,2	2,54
BUR-14	51,6	17,7	30,5	2,40

4.5 Vane Deney Sonucunda Elde Edilen Parametreler Kullanılarak Hesaplanan Şev Emniyet Katsayıları

Laboratuvar ortamında hazırlanan 24 çeşit numunenin beş farklı su içeriğinde vane deneyine tabi tutulması ile su içeriği ve drenajsız kesme dayanımı arasında elde edilen korelasyonlar kullanılarak numunelerin istenilen su içeriklerindeki drenajsız kesme dayanımları hesaplanmıştır. Ayrıca Afyon ve Burdur'dan alınan 4 farklı doğal zemin numunesi de vane deneyine tabi tutulmuş ve maksimum tork değerleri kullanılarak drenajsız kesme dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının her biri için, yukarıdaki bölümlerde bahsedilen model şev üzerinde slide 6.0 programı ile emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.14 I_L=0,5, I_L=1/6, I_L=0,25 olan numunelerin vane deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları

I_L=0,5 No	LL	PL	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı	I_L=1/6 No	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı	I_L=0,25 No	3.su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı
17	128	27,3	77,7	0,15	**17**	44,1	0,91	**17**	52,5	0,56
18	77,0	26,9	52,0	0,32	**18**	35,3	1,41	**18**	39,4	1,00
19	92,5	26,5	59,5	0,18	**19**	37,5	1,17	**19**	43,0	0,73
20	63,0	24,4	43,7	0,50	**20**	30,8	1,93	**20**	34,1	1,38
21	50,2	25,0	37,6	0,47	**21**	29,2	1,99	**21**	31,3	1,41
22	45,0	23,4	34,2	0,41	**22**	27,0	1,99	**22**	28,8	1,35
23	40,3	19,1	29,7	0,47	**23**	22,6	1,76	**23**	24,4	1,26
24	33,5	18,1	25,8	0,47	**24**	20,7	2,17	**24**	22,0	1,49

Çizelge 4.15 Çalışmada kullanılan 16 adet zemin numunesinin vane deneyi ile plastik limit su içeriğinde elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları

NUMUNE NO	LL	PL	Şev Emniyet Katsayısı
1	158,0	28,0	1,93
2	134,0	30,8	1,93
3	113,0	28,7	2,17
4	101,0	27,5	2,61
5	84,5	26,1	2,66
6	65,0	26,5	3,87
7	55,9	26,0	3,75
8	142,0	28,2	1,96
9	117,0	28,9	2,14
10	105,0	29,1	2,14
11	93,0	28,2	2,75
12	49,6	25,1	3,52
13	45,9	22,9	4,04
14	42,2	21,3	5,74
15	36,8	18,9	4,84
16	31,6	16,5	5,83

Çizelge 4.16 Afyon ve Burdur'dan alınan doğal zemin numunelerinin vane deneyi ile elde edilen drenajsız kesme dayanımlarının model şev üzerinde slide 6.0 programı kullanılarak uygulanması ile hesaplanan şev emniyet katsayıları

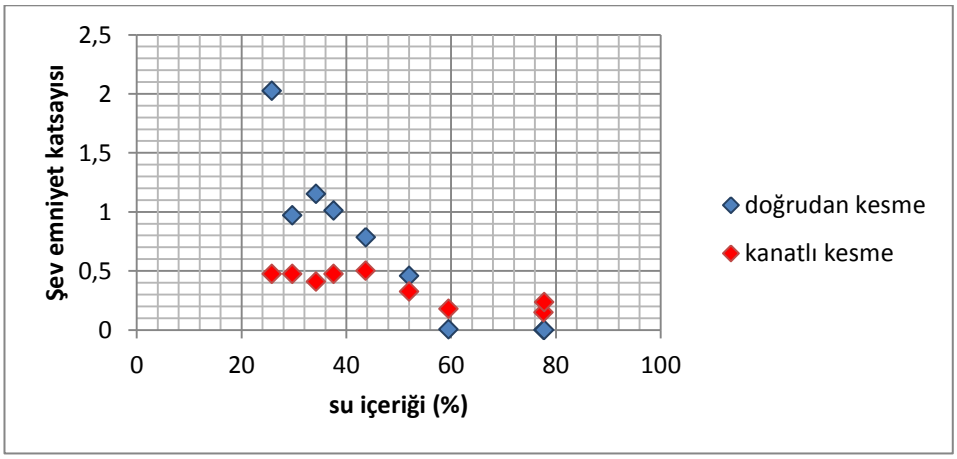
Numune No	LL	PL	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı
AFY-02	58,8	19,3	33,0	3,28
AFY-08	58,9	22,5	32,8	2,93
BUR-11	58,0	19,5	32,2	2,93
BUR-14	51,6	17,7	30,5	2,78

4.6 Doğrudan Kesme ve Vane Deney Sonuçlarına Göre Hesaplanan Emniyet Katsayılarının Karşılaştırılması

Doğrudan kesme ve vane deney sonuçları kullanılarak hesaplanmış olan şev emniyet katsayıları, iki deney yönteminin sonuçlarının değerlendirilmesi ve arasında uyum olup olmadığının anlaşılması amacı ile karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki çizelge ve grafiklerde bu karşılaştırmalar görülmektedir.

Çizelge 4.17 I_L=0,5 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deneyleri sonucunda bulunan drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması

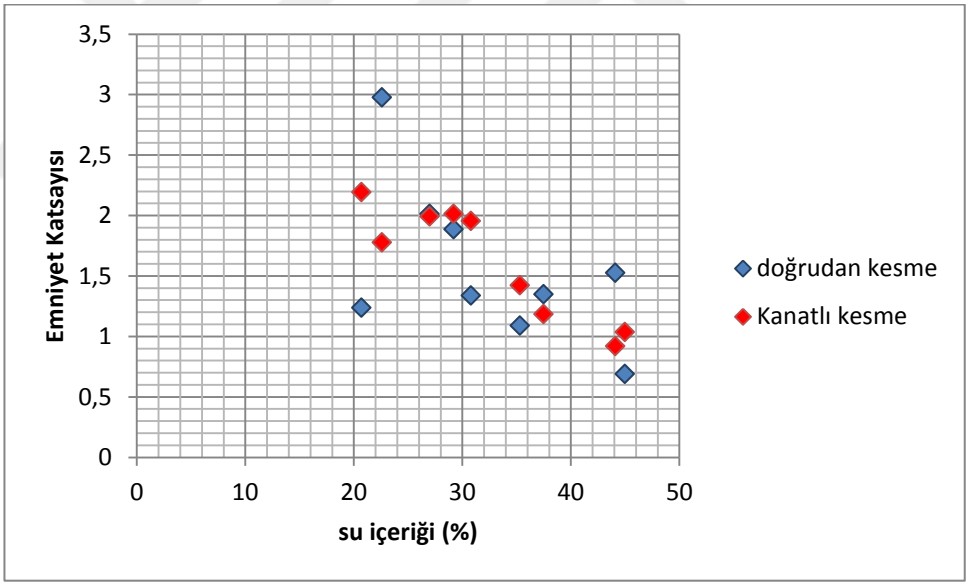
I_L=0,5 No	LL	PL	su içeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı(Doğrudan kesme deneyi)	Şev Emniyet Katsayısı (Vane deneyi)
17	128,0	27,3	77,7	-	0,15
18	77,0	26,9	52,0	0,46	0,32
19	92,5	26,5	59,5	0,01	0,18
20	63,0	24,4	43,7	0,79	0,50
21	50,2	25,0	37,6	1,01	0,47
22	45,0	23,4	34,2	1,15	0,41
23	40,3	19,1	29,7	0,97	0,47
24	33,5	18,1	25,8	2,03	0,47



Şekil 4.6 I_L=0,5 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.18 I_L=1/6 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması

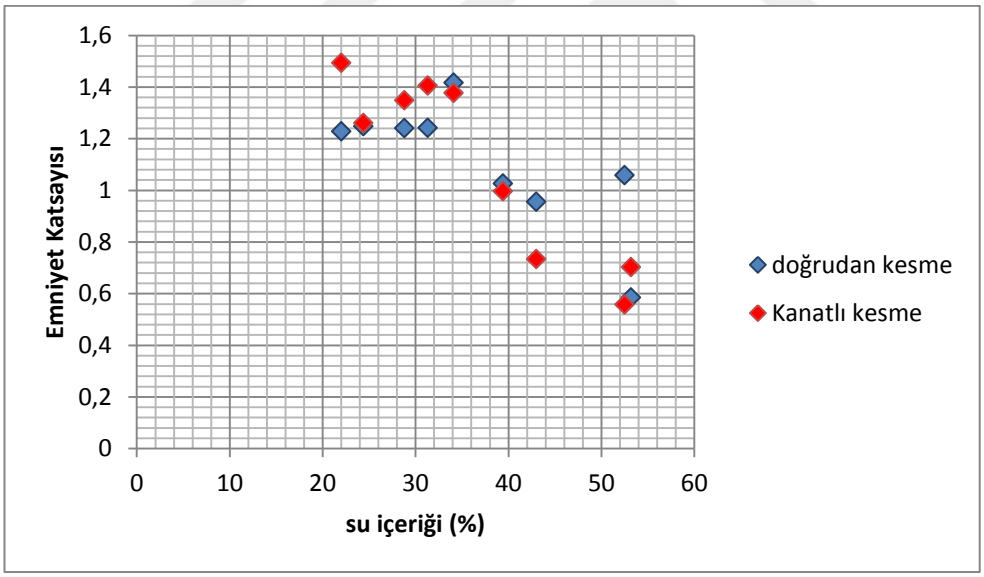
I_L=1/6 No	LL	PL	Su İçeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı (Doğrudan kesme deneyi)	Şev Emniyet Katsayısı (Vane deneyi)
17	128	27,3	44,1	1,525	0,908
18	77,0	26,9	35,3	1,087	1,406
19	92,5	26,5	37,5	1,347	1,172
20	63,0	24,4	30,8	1,337	1,934
21	50,2	25,0	29,2	1,884	1,992
22	45,0	23,4	27,0	2,011	1,992
23	40,3	19,1	22,6	2,977	1,758
24	33,5	18,1	20,7	1,237	2,168



Şekil 4.7 I_L=1/6 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.19 I_L=0,25 olan numune serisi için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev için Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması

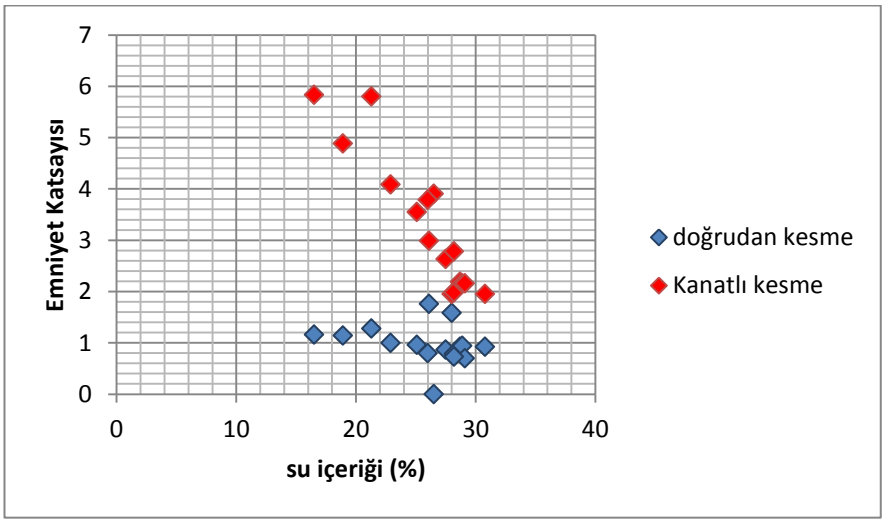
I_L=0,25 No	LL	PL	Su İçeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı (Doğrudan kesme deneyi)	Şev Emniyet Katsayısı (Vane deneyi)
17	128	27,3	52,5	1,058	0,557
18	77,0	26,9	39,4	1,026	0,996
19	92,5	26,5	43,0	0,956	0,733
20	63,0	24,4	34,1	1,416	1,377
21	50,2	25,0	31,3	1,242	1,406
22	45,0	23,4	28,8	1,240	1,348
23	40,3	19,1	24,4	1,248	1,260
24	33,5	18,1	22,0	1,228	1,494



Şekil 4.8 I_L=0,25 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev için hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.20 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler için doğrudan kesme ve vane deney sonuçları ile elde edilen drenajsız kesme dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde Slide 6.0 programı ile hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması

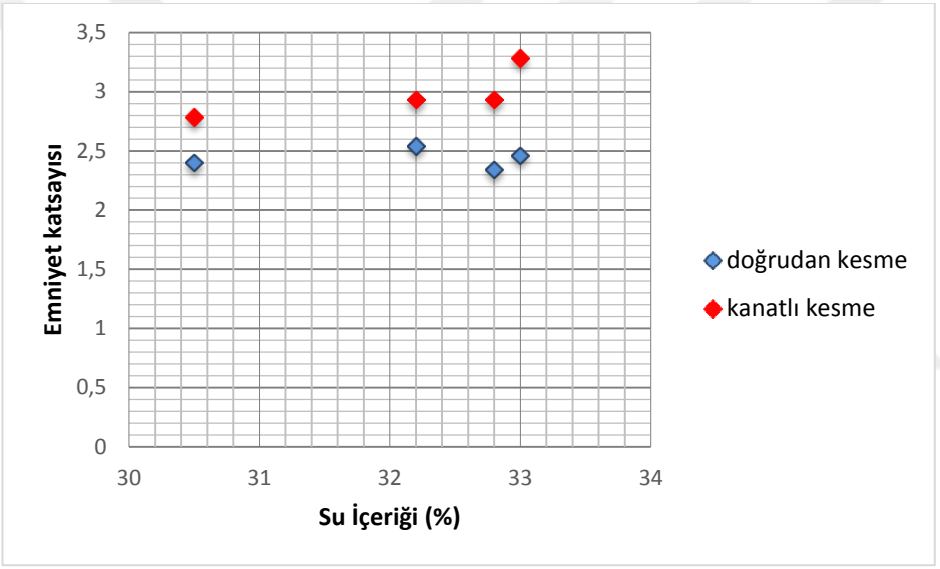
NUMUNE NO	LL	PL	Şev Emniyet Katsayısı (Doğrudan kesme deney sonuçları)	Şev Emniyet Katsayısı (Vane deney sonuçları)
1	158,0	28,0	1,584	1,934
2	134,0	30,8	0,926	1,934
3	113,0	28,7	0,925	2,168
4	101,0	27,5	0,870	2,608
5	84,5	26,1	1,762	2,659
6	65,0	26,5	-	3,868
7	55,9	26,0	0,800	3,750
8	142,0	28,2	0,787	1,963
9	117,0	28,9	0,940	2,139
10	105,0	29,1	0,696	2,139
11	93,0	28,2	0,731	2,754
12	49,6	25,1	0,964	3,516
13	45,9	22,9	0,996	4,043
14	42,2	21,3	1,277	5,743
15	36,8	18,9	1,139	4,835
16	31,6	16,5	1,158	5,831



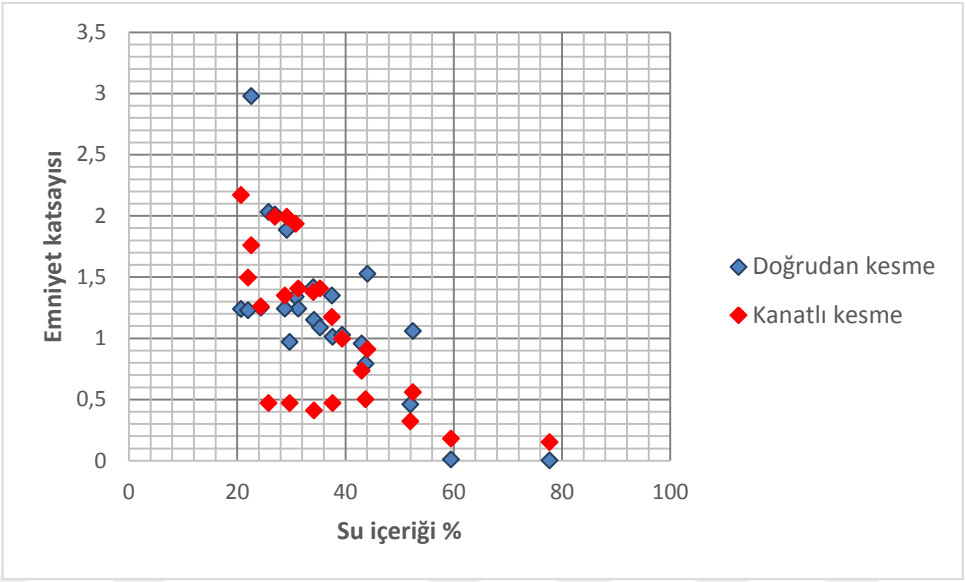
Şekil 4.9 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler için doğrudan kesme deneyi ve vane deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.21 Doğal zemin numunelerine uygulanan doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayılarının karşılaştırılması

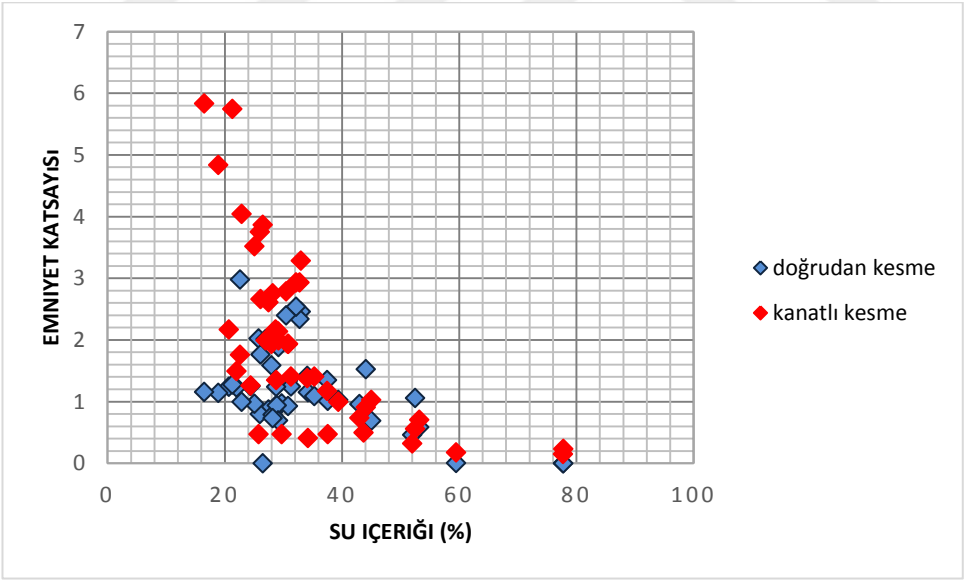
Numune No	LL	PL	Su İçeriği (%)	Şev Emniyet Katsayısı (Doğrudan kesme deneyi)	Şev Emniyet Katsayısı (Vane deneyi)
AFY-02	58,8	19,3	33,0	2,460	3,282
AFY-08	58,9	22,5	32,8	2,341	2,930
BUR-11	58,0	19,5	32,2	2,538	2,930
BUR-14	51,6	17,7	30,5	2,397	2,784



Şekil 4.10 Doğal zemin numunelerine uygulanan doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri kullanılarak hesaplanan şev emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması



Şekil 4.11 I_L=0.5, I_L=1/6, I_L=0.25 olan zemin numunelerinin doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması



Şekil 4.12 I_L=0.5, I_L=1/6, I_L=0.25 olan zemin numuneleri, plastik limit su içeriğinde hazırlanan numuneler ve doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan emniyet katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Numunelere uygulanan doğrudan kesme ve vane deney sonuçlarından elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri kullanılarak model şev üzerinde hesaplanan emniyet katsayılarının su içeriği arttıkça azalması beklenir. Ancak, yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, doğrudan kesme ve kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen parametreler ile hesaplanan emniyet katsayıları her iki deney için de kendi içerisinde tutarlı değildir. Ayrıca, aynı su içeriğindeki aynı özellikteki numunelerin doğrudan kesme ve kanatlı kesme deney sonuçları için hesaplanan emniyet katsayıları karşılaştırıldığında her iki deneyin birbiri ile de uyumlu sonuçlar vermediği yukarıdaki grafiklerden anlaşılmaktadır.

4.7 Doğrudan Kesme Deney Sonuçları Kullanılarak Model Temel İçin Hesaplanan Taşıma Gücü Değerleri

Her bir numune için doğrudan kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri kullanılarak model temel için taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

Çizelge 4.22 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	ø	c (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
1	3,5	49	6,79	1,42	0,27	456
2	17,8	8,7	15,32	5,92	3,22	443
3	17,3	9,21	14,84	5,62	3	431
4	7,2	19,5	8,24	2,04	0,64	280
5	32,8	14,8	47,24	31,45	32,14	2665
6	-	-	-	-	-	-
7	20,9	2,69	18,8	8,18	5,02	463
8	3,6	21,6	6,83	1,43	0,28	234
9	15,1	12,06	12,94	4,49	2,2	396
10	2,4	20,25	6,43	1,27	0,18	206
11	4,4	18,58	7,11	1,55	0,35	222
12	16,6	11,04	14,2	5,23	2,72	435
13	23,1	5,32	21,9	10,34	6,91	661
14	18	19,03	15,52	6,04	3,31	643
15	20,5	11,87	18,29	7,84	4,73	645
16	26,4	6,2	27,92	14,86	11,37	988

Çizelge 4.23 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	ø	c(kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	-	-	-	-	-	-
18	8,7	4,6	8,94	2,37	0,84	153
19	0,19	0	5,77	1,02	0,01	37
20	4,4	20,4	7,11	1,55	0,35	237
21	15,7	13,6	13,43	4,77	2,39	443
22	9,6	25,7	9,39	2,59	0,97	404
23	16,3	11,6	13,93	5,07	2,61	433
24	44,4	6,41	159,7	157,39	305,1	13484

Çizelge 4.24 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	ø	c (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	1,7	49,6	6,21	1,18	0,12	415
18	7,3	26,6	8,28	2,06	0,66	353
19	3,5	40,9	6,79	1,42	0,27	390
20	13,6	26,5	11,82	3,86	1,77	553
21	35,3	14,9	59,41	43,07	49,9	3690
22	31,8	23,2	43,28	27,83	27,12	2793
23	28,4	58,9	32,63	18,64	15,54	3313
24	30,9	3,9	40,07	24,98	23,33	1591

Çizelge 4.25 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	ø	c (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	12,8	18,5	11,28	3,56	1,58	413
18	0	35	5,7	1	0	275
19	10,1	18,6	9,66	2,72	1,05	336
20	12,3	30,8	10,95	3,39	1,47	558
21	20,3	15,1	18,05	7,68	4,6	703
22	15,5	20,9	13,26	4,68	2,33	551
23	22,1	13,2	20,41	9,29	5,97	787
24	17,6	18	15,12	5,8	3,13	603

Çizelge 4.26 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	ø	c (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
AFY-02	9,5	70	9,34	2,56	0,96	898
AFY-08	6,8	70	8,06	1,96	0,6	761
BUR-11	19,5	58	17,11	7,06	4,1	1534
BUR-14	4,7	75	7,22	1,59	0,38	716

4.8 Vane Deney Sonuçları Kullanılarak Model Temel İçin Hesaplanan Taşıma Gücü Değerleri

Çizelge 4.27 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	s_u (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
1	66	5,7	1	0	487
2	66	5,7	1	0	487
3	74	5,7	1	0	542
4	89	5,7	1	0	645
5	101	5,7	1	0	727
6	132	5,7	1	0	939
7	128	5,7	1	0	912
8	67	5,7	1	0	494
9	73	5,7	1	0	535
10	73	5,7	1	0	535
11	94	5,7	1	0	679
12	120	5,7	1	0	857
13	138	5,7	1	0	980
14	196	5,7	1	0	1377
15	165	5,7	1	0	1165
16	199	5,7	1	0	1397

Çizelge 4.28 I_L=0,5 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	s_u (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	5	5,7	1	0	70
18	11	5,7	1	0	111
19	6	5,7	1	0	77
20	17	5,7	1	0	152
21	16	5,7	1	0	145
22	14	5,7	1	0	132
23	16	5,7	1	0	145
24	16	5,7	1	0	145

Çizelge 4.29 I_L=1/6 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	s_u (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	31	5,7	1	0	248
18	48	5,7	1	0	364
19	40	5,7	1	0	310
20	66	5,7	1	0	487
21	68	5,7	1	0	501
22	68	5,7	1	0	501
23	60	5,7	1	0	446
24	74	5,7	1	0	542

Çizelge 4.30 I_L=0,25 olan numunelerin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	s_u (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
17	19	5,7	1	0	166
18	34	5,7	1	0	269
19	25	5,7	1	0	207
20	47	5,7	1	0	357
21	48	5,7	1	0	364
22	46	5,7	1	0	351
23	43	5,7	1	0	330
24	51	5,7	1	0	385

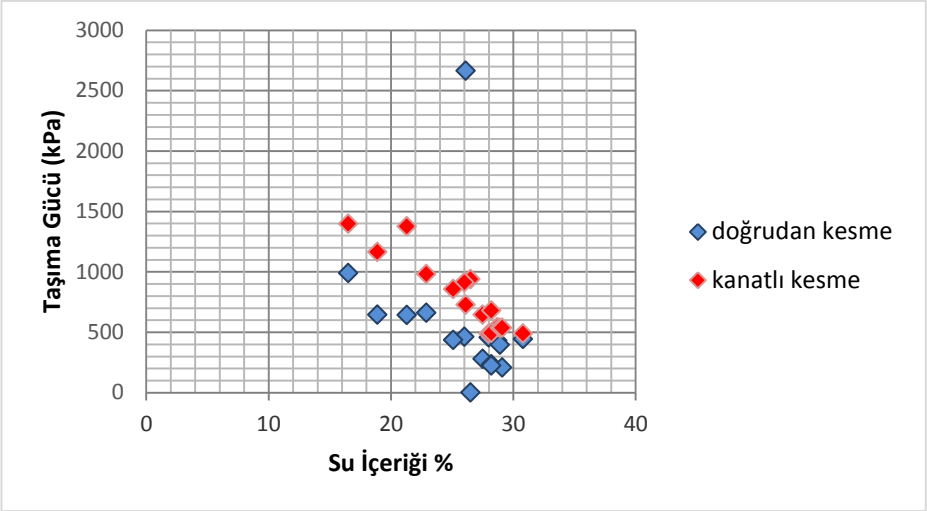
Çizelge 4.31 Doğal zemin numunelerinin kanatlı kesme deney sonuçları kullanılarak model temel için hesaplanan taşıma gücü değerleri

Numune No	c (kPa)	Nc	Nq	Nɣ	q_u(kPa)
AFY-02	33	5,7	1	0	262
AFY-08	32,8	5,7	1	0	260
BUR-11	32,2	5,7	1	0	256
BUR-14	30,5	5,7	1	0	245

4.9 Vane Deneyi ile Doğrudan Kesme Deneyinin Taşıma Gücü Yönünden Karşılaştırılması

Çizelge 4.32 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

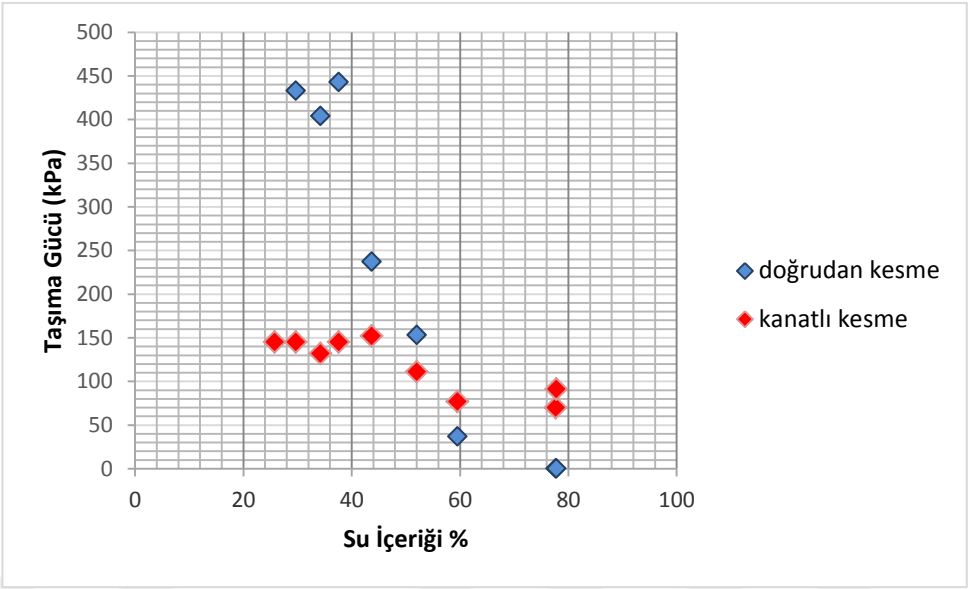
NUMUNE NO	LL	PL	Taşıma Gücü (Doğrudan kesme deney sonuçları)(kPa)	Taşıma Gücü (Vane deney sonuçları)(kPa)
1	158	28	456	487
2	134	30,8	443	487
3	113	28,7	431	542
4	101	27,5	280	645
5	84,5	26,1	2665	727
6	65	26,5	-	939
7	55,9	26	463	912
8	142	28,2	234	494
9	117	28,9	396	535
10	105	29,1	206	535
11	93	28,2	222	679
12	49,6	25,1	435	857
13	45,9	22,9	661	980
14	42,2	21,3	643	1377
15	36,8	18,9	645	1165
16	31,6	16,5	988	1397



Şekil 4.13 Plastik limit su içeriğinde hazırlanan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.33 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

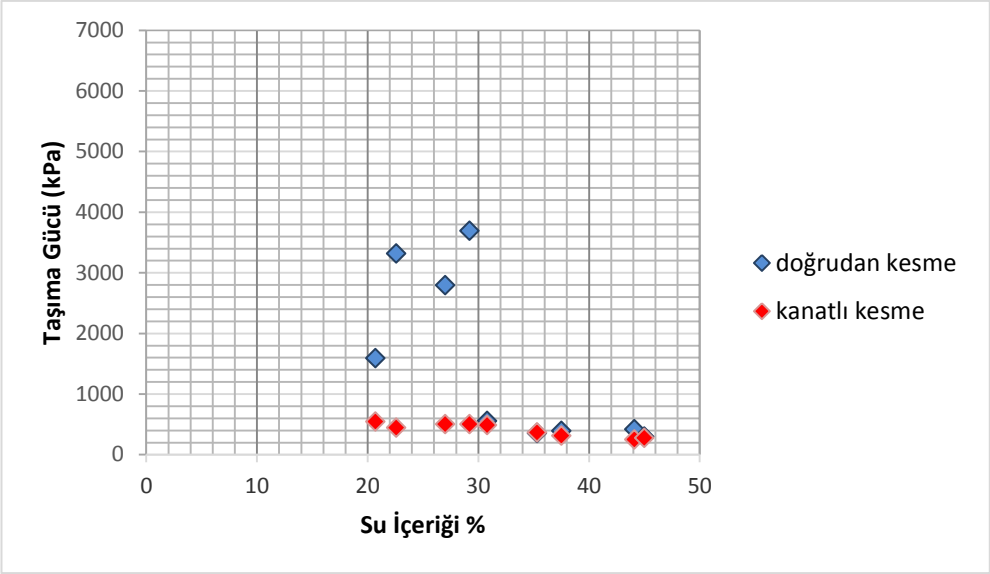
No	**LL**	**PL**	**su içeriği (%)**	**Taşıma Gücü(Doğrudan kesme deneyi) (kPa)**	**Taşıma Gücü (Vane deneyi) (kPa)**
17	128	27,3	77,7	-	70
18	77	26,9	52	153	111
19	92,5	26,5	59,5	37	77
20	63	24,4	43,7	237	152
21	50,2	25	37,6	443	145
22	45	23,4	34,2	404	132
23	40,3	19,1	29,7	433	145
24	33,5	18,1	25,8	13484	145



Şekil 4.14 I_L=0,5 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.34 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

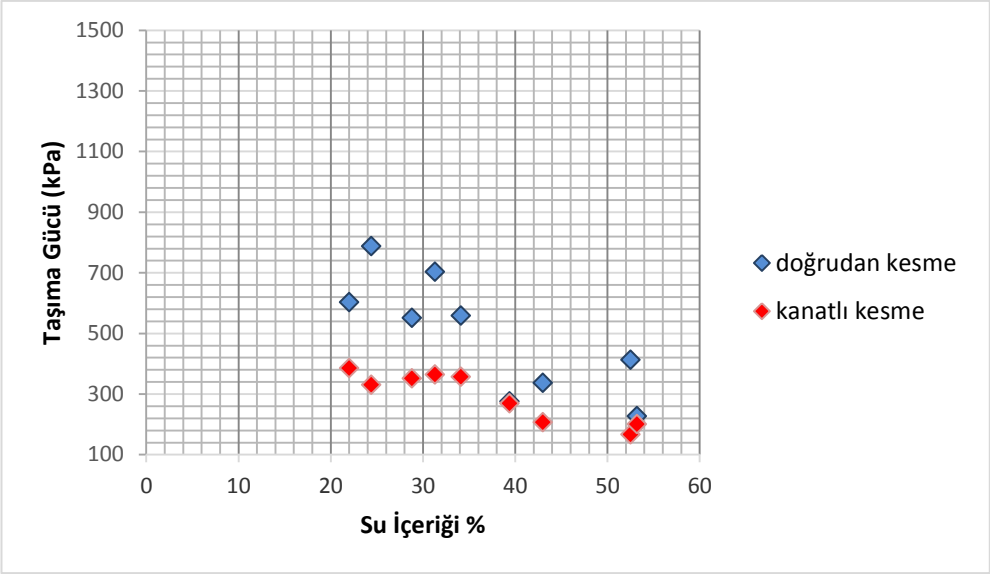
Numune No	**LL**	**PL**	**Su İçeriği (%)**	**Taşıma Gücü (Doğrudan kesme deneyi) (kPa)**	**Taşıma Gücü (Vane deneyi) (kPa)**
17	128	27,3	44,1	415	248
18	77	26,9	35,3	353	364
19	92,5	26,5	37,5	390	310
20	63	24,4	30,8	553	487
21	50,2	25	29,2	3690	501
22	45	23,4	27	2793	501
23	40,3	19,1	22,6	3313	446
24	33,5	18,1	20,7	1591	542



Şekil 4.15 I_L=1/6 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.35 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

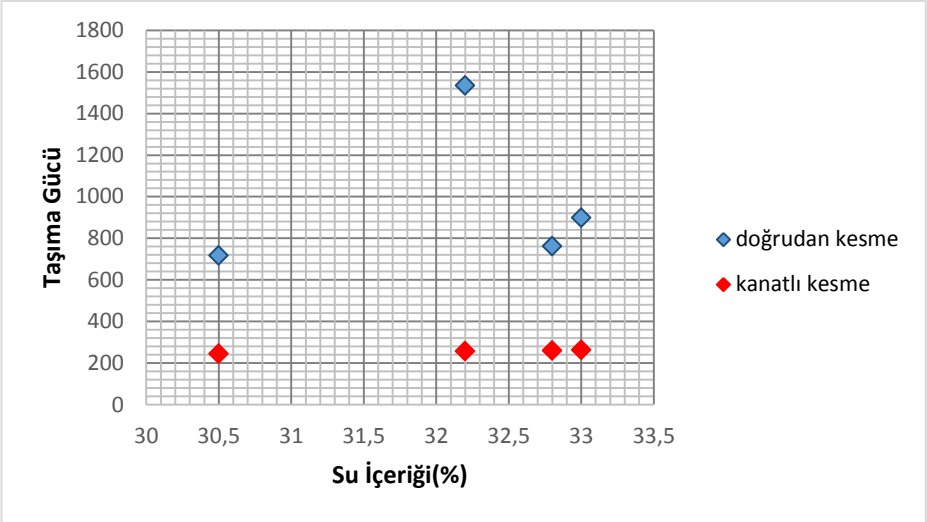
Numune No	**LL**	**PL**	**Su İçeriği (%)**	**Taşıma Gücü (Doğrudan kesme deneyi) (kPa)**	**Taşıma Gücü(Vane deneyi)(kPa)**
17	128	27,3	52,5	413	166
18	77	26,9	39,4	275	269
19	92,5	26,5	43	336	207
20	63	24,4	34,1	558	357
21	50,2	25	31,3	703	364
22	45	23,4	28,8	551	351
23	40,3	19,1	24,4	787	330
24	33,5	18,1	22	603	385



Şekil 4.16 I_L=0,25 olan numunelerin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

Çizelge 4.36 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Numune No	**LL**	**PL**	**Su İçeriği (%)**	**Taşıme Gücü (Doğrudan kesme deneyi) (kPa)**	**Taşıma Gücü (Vane deneyi)(kPa)**
AFY-02	58,8	19,3	33	898	262
AFY-08	58,9	22,5	32,8	761	260
BUR-11	58	19,5	32,2	1534	256
BUR-14	51,6	17,7	30,5	716	245

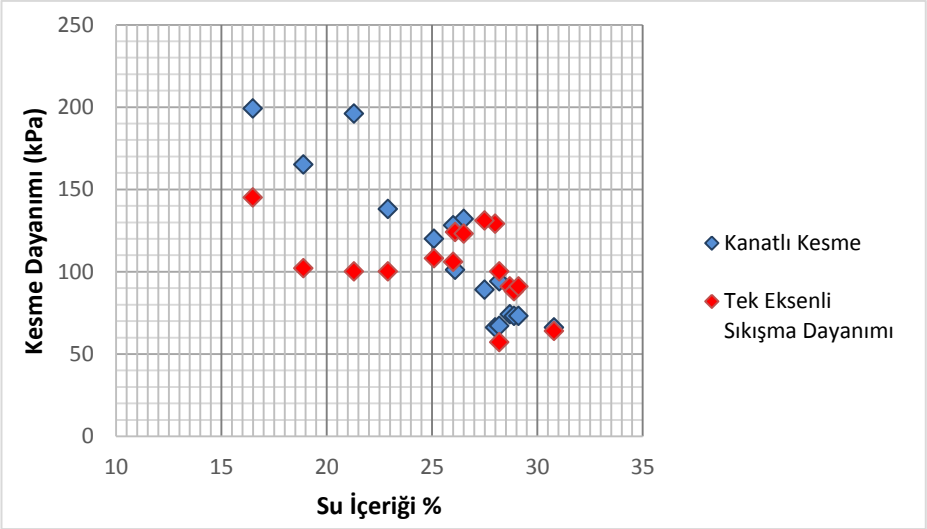


Şekil 4.17 Doğal zemin numunelerinin doğrudan kesme deney sonuçları ile model temel için elde edilen taşıma gücü değerleri ve vane deney sonuçları ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

4.10 Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi ile kanatlı kesme deney sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.37 16 adet zemin numunesinin plastik limit su içeriğinde kanatlı kesme ve tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulması ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametrelerinin karşılaştırılması

No	LL	PL-roll	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deney Sonuçları s_u (kPa)	Kanatlı Kesme Deney Sonuçları s_u (kPa)
1	158,0	28,0	129	66
2	134,0	30,8	64	66
3	113,0	28,7	91	74
4	101,0	27,5	131	89
5	84,5	26,1	124	101
6	65,0	26,5	123	132
7	55,9	26,0	106	128
8	142,0	28,2	57	67
9	117,0	28,9	88	73
10	105,0	29,1	91	73
11	93,0	28,2	100	94
12	49,6	25,1	108	120
13	45,9	22,9	100	138
14	42,2	21,3	100	196
15	36,8	18,9	102	165
16	31,6	16,5	145	199



Şekil 4.18 16 adet zemin numunesinin plastik limit su içeriğinde kanatlı kesme ve tek eksenli sıkışma deneyine tabi tutulması ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametrelerinin grafik üzerinde karşılaştırılması

Kanatlı kesme deneyleri sonucunda elde edilen kayma dayanım parametreleri incelendiğinde numunelerin su içeriği arttıkça emniyet katsayılarının genel olarak düştüğü ancak tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçlarının kendi içerisinde tutarlı sonuçlar vermediği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada elde edilen sonuçlar;

1-Çalışma kapsamında laboratuvar ortamında hazırlanan 16 adet yoğrulmuş zemin numunesinin plastik limit su içeriğindeki örnekleri üzerinde uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları ile beş farklı su içeriğinde numunelere kanatlı kesme deneyi uygulanması ile elde edilen korelasyonlar kullanılarak plastik limit su içeriği için hesaplanan drenajsız kayma dayanım parametreleri karşılaştırılmıştır. Beklenen durum, artan su içeriği ile birlikte numunelerin drenajsız kayma dayanımlarının azalmasıdır. Ancak tek eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçları incelendiğinde deneyin kendi içerisinde tutarsız olduğu görülmüştür. Kanatlı kesme deneyinin daha makul sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca iki deney metodu ile yüksek su içeriklerinde birbiri ile daha uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

2-Çalışmada kullanılan 24 adet zemin numunesinin 16'sı plastik limit su içeriğinde, 8'i ise I_L=0.5, I_L=1/6 ve I_L=0.25 olduğu su içeriklerinde doğrudan kesme deneyine tabi tutulmuş, aynı özellikteki numune örneklerinin doğrudan kesme deneyine tabi tutulan su içerikleri için kanatlı kesme deney sonucunda elde edilen eşitlikler yardımı ile drenajsız kayma dayanım parametreleri elde edilmiş ve hesaplanan drenajsız kayma dayanım parametreleri ile doğrudan kesme deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için her iki deney metodu ile elde edilen drenajsız kayma dayanım parametreleri model şev üzerinde kullanılarak emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca model temel kullanılarak taşıma gücü hesabı yapılmış ve her iki deney yöntemi taşıma gücü yönünden de karşılaştırılmıştır.

2.1 Şev stabilite analizlerinde doğrudan kesme deney sonuçları mantıklı bir dağılım göstermemektedir. Kanatlı kesme deney sonuçları ile elde edilen emniyet katsayıları artan su içeriği ile birlikte azalmıştır. Her iki deney sonuçları ile elde edilen emniyet katsayıları arasında ise bir uyum gözlenmemiştir.

2.2 Taşıma gücü analizlerinde ise doğrudan kesme deneyi ile kanatlı kesme deneyi birbirine yakın sonuçlar vermiş ve her iki deneyden elde edilen sonuçlarla hesaplanan taşıma gücü değerleri artan su içeriği ile birlikte azalmıştır.

3-Aşırı yüksek plastisite özelliği gösteren zeminlerin, doygun/drenajsız koşullarda içsel sürtünme açısının olması beklenen bir durum değildir. Ancak doğrudan kesme deneyi sonucu elde edilen kayma dayanım parametrelerinin çoğunda içsel sürtünme açısının olduğu görülmüştür. Doğrudan kesme deneyinde artan normal gerilme altında numune belirli bir düzlem boyunca kesilmeye zorlanmaktadır. Numuneye uygulanan normal gerilmenin artması numunenin içsel sürtünme açısının artmasına sebep olmakta ve bu da kayma gerilmesini artırmaktadır.

4- Zeminler ön yüklemeyle kendilerine uygulanan gerilmenin tamamını hafızalarına ön konsolidasyon basıncı olarak belirli bir sürede kaydetmektedirler (Fener 2006). Permeabilite katsayısı yüksek olan kumlu zeminlerde ön yüklemeyle zemine uygulanan toplam gerilmenin zeminin hafızasına ÖKB olarak kaydedilme süresi permeabilite katsayısı düşük olan killi zeminlere göre daha kısa sürede gerçekleşir (Fener 2006). Ön yükleme süresi zeminin hafızasına aldığı maksimum efektif gerilme değerini etkilemektedir. Numunelerin doğrudan kesme deneyinde 24 saat süre ile 50 kPa'lık yük altında konsolidasyona tabi tutulmasının, bu süreçte numunelerin uygulanan yükten dolayı içsel bir doku kazanmasına sebep olmuş olabileceği ve bu durumun doğrudan kesme deney sonuçlarını etkilemiş olabileceği düşünülmektedir.

Doğrudan kesme ve kanatlı kesme deney yönteminden elde edilen kayma dayanım parametreleri ile hesaplanan şev emniyet katsayıları arasındaki farklılıkların olası sebeplerinin;

- İki deney tekniğinin mekanizmalarının birbirinden farklı olması,
- Doğrudan kesme deneyinde konsolidasyon sürecinde numunenin bir miktar konsolide olması, bunun sonucunda az da olsa bir içsel doku kazanması, kanatlı kesme deneyinde ise yük altında bekletme gibi bir durumun söz konusu olmaması,

- Numunelerin makaslama mekanizmalarının birbirinden farklı olması,
- Kanatlı kesme deneyinde kullanılan numunelerin kısmen doygun olması buna karşılık doğrudan kesme deneyinde numunelerin doygunluk derecesinin biraz daha yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

5- Doğal zemin numunelerine uygulanan kanatlı kesme ve doğrudan kesme deneylerinin birbirine paralel sonuçlar verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Anonymous. 2010. ASTM D4318-10: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Annual Book of ASTM Standarts, 1-16.

Anonymous. 2016. ASTM D 4648/D 4648M : Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil. Annual Book of ASTM Standarts, 1-7.

Arrowsmith, E.J. 1978. Roadwork fills – a material engineer's viewpoint, In Proceedings of the Clay Fills Conference, 14–15 November 1978, Institution of Civil Engineers, ICE, 25–36, London.

Belviso, R., Ciampoli, S., Cotecchia, V. and Federico, A. 1985. Use of the cone penetrometer to determine consistency limits. Ground Eng. 18(5), 21-22 .

Bozozuk, M. 1972. Downdrag measurements on a 160-ft floating pipe test pile in marine clay. Canadian Geotechnical Journal, 9(2), 127-136.

Dieter, G. E. 1988. Ekstrusion. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 616-618.

Fener, M. 2006. Zemin Granülometrisinin Ön Konsolidasyon Basıncı ve Zemin Hafızası Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 274, Adana.

Feng, T. 2000. Fall-cone penetration and water content relationship of clays. Géotechnique, 50(2), 181-187.

Harison, J.A. 1988. Using the BS Cone Penetrometer for the Determination of the Plastic Limits of Soils. Geotechnique, 38(3), 433-438.

Hirata, S., Yao, S. and Nishida, K. 1990. Multiple Regression Analysis between the Mechanical and Physical Properties of Cohesive Soils. Soils and Foundations, 30(3), 91-108.

Karlsson, R. 1961. Suggested improvements in the liquid limit test-with reference to flow properties of remoulded clays, Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 1961, 171-184, Paris, France.

Kayabalı, K., Mollamahmutoğlu, M., Tüfenkçi, O. O., Topcu, M., Özaydın, S. ve Beşparmak, Ö., 2010. Atterberg limitlerinin tek ve basit bir gereçle tayini, 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 173-174.

Kayabalı, K., Deneri, A. H. 2011. Yoğrulmuş zeminlerin plastik ve likit limitteki drenajsız kesme dayanımının tayini, 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 237-238.

Kayabalı, K. and Özdemir, A. 2013. Use of reverse extrusion method to determine undrained shear strength of Clayey Soils, Geotechnical end Geological Engineering, DOI: 10.1007/s10706-013-9621-y

Kayabalı, K., Tüfenkçi, O. O. 2010. Undrained shear strength of remolded soils at consistency limits. Canadian Geotechnical Journal, 47(3), 259-266.

Kayabalı, K. and Tüfenkçi, O. O. 2010a. Determination of plastic and liquid limits using the reverse extrusion technique. Geotechnical Testing Journal, 33 No.1, 14-22.

Koumoto, T., Houlsby, G. T. 2001. Theory and Practice of the Fall Cone Test. Géotechnique, 51(8), 701-712.

Kvalstad, T. J., Farrokh, N., Kaynia, A. M., Mokkelbost, K. H. and Byrn, P. 2005. Soil conditions and slope stability in the Ormen Large area. Marine and Petroleum Geology, 22(1-2), 299-310.

Leroueil, S., Tavenas, F., Lebihan, J. P. 1983. Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada. Canadian Geotech. Journal, 20(4), 681-705.

Locat, J., Demers, D. 1988. Viskosity, Yield Stress, Remolded Strength and Liquidity Index Relationships for Sensitive Clays. Canadian Geotech. Journal, 25(4), 799-806.

Means, R. E., Parcher, J. W. 1963. Physical Properties of Soils. Charles. E. Merrill Publishing Comp., 476, Columbus, Ohio.

Medhat, F., Whyte, I. L. 1986. An appraisal of soil index tests. Geological Society, Engineering Geology Special Publication , 2, 317-323.

Nagaraj, H.B., Sridharan, A., Mallikarjuna, H.M. 2012. Re-examination of undrained strength at Atterberg limits water contents. Geotechnical and Geological Engineering, 30 (4), 727-736.

NGI, 2002. Early Soil Investigations for 'Fast Track Projects'. Report 521553, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Norway.

O'Kelly, B. 2013. Atterberg Limits and Remolded Shear Strength-Water Content Relationships. Geotechnical Testing Journal, 36(6), 1-9.

Powell, J. J. M. and Lunne, T. 2005. Use of CPTU data in clays/fine grained soils. Studia Geotechnica et Mechanica, 27(3-4), 29-66.

Rominger, J.F., Rutledge, P.C. 1952. Use of soil mechanics data in correlation and interpretation of Lake Agassiz sediments. Journal of Geology, 60(2), 160-180.

Sharma, B., Bora, P. K. 2003. Plastic limit, liquid limit and undrained shear strength of soil – reappraisal. J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 129(8), 774-777.

Skempton, A.W., Northey, R.D. 1953. The Sensitivity of Clays. Geotechnique, 3, 30-53.

Tanaka, H., Hirabayashi, H., Matsuoka, T., Kaneko, H. 2012. Use of fall cone test as measurement of shear strength for soft clay materials. Soils and Foundations. 52(4), 590-599

Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley, 549, NY.

Wasti, Y., Bezirci, M. H. 1986. Determination of the consistency limits of soils by the fall cone test. Canadian Geotechnical Journal, 23(2), 241-246.

Whyte, I. L. 1982. Soil plasticity and strength – a new approach for using extrusion. Ground Engineering, 15(1), 16-24.

Wood, D.M. 1985. Some Fall Cone Tests. Geotechnique, 35(1), 64-68.

Wood, D. M. (1990) Soil behaviour and critical state soil mechanics, Cambridge University Press, 459, United Kingdom.

Wroth, C. P. and Wood, D. M. 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. Can. Geotech. J., 15(2), 137-145.

Vardanega, P. J., Haigh,S.K. 2014. The undrained strength-liquidity index relationship. Canadian Geotechnical Journal, 51(9), 1073-1086.

Yafrate, N. J., DeJong, J. T. 2005. Considerations in evaluating the remolded undrained shear strength from full flow penetrometer cycling, ISFOG 2005, Gourvenec & Cassidy (eds). Taylor & Francis Group, 991-997, London.

Yang, S. L., Kvalstad, T., Solheim, A., Forsberg, C. F. 2006. Parameter Studies of Sediments in the Storegga Slide Region. Geomarine Letters, 26(4), 213-224.

Yılmaz, I. 2000. Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59(3), 227-229.

EKLER

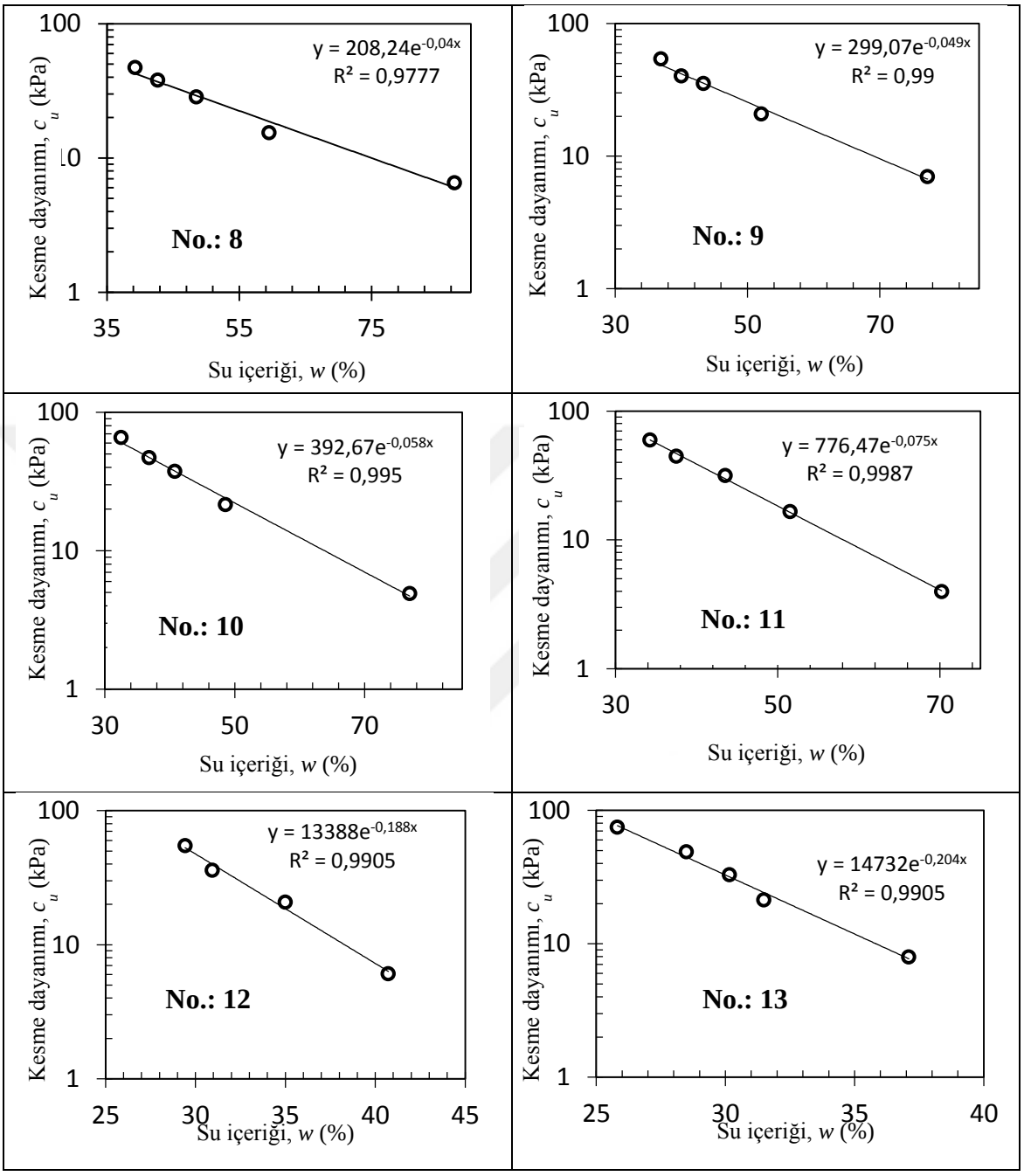
EK 1 Kanatlı kesme deney sonuçları

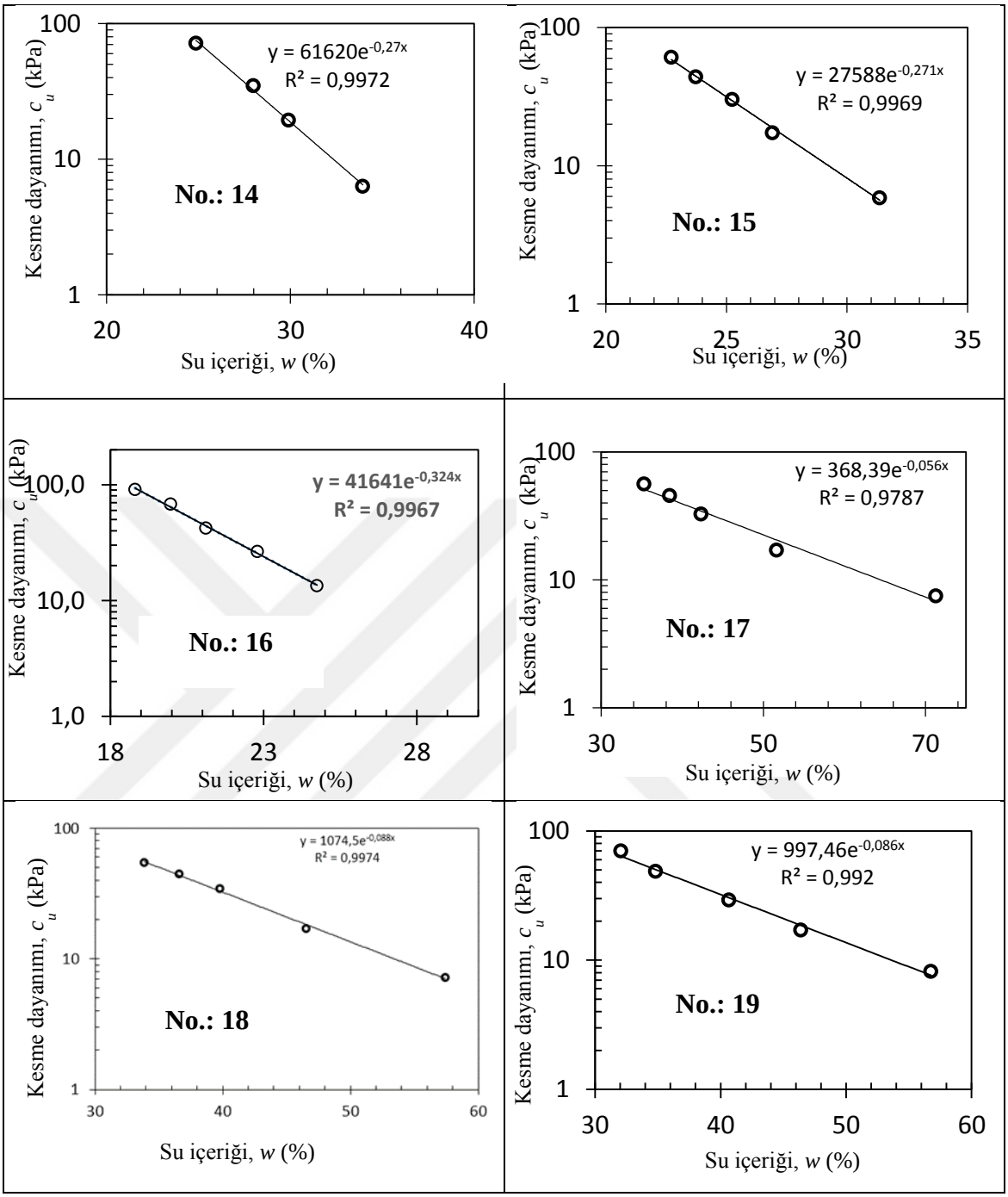
EK 2 I_L=0,5 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen sonuçlar

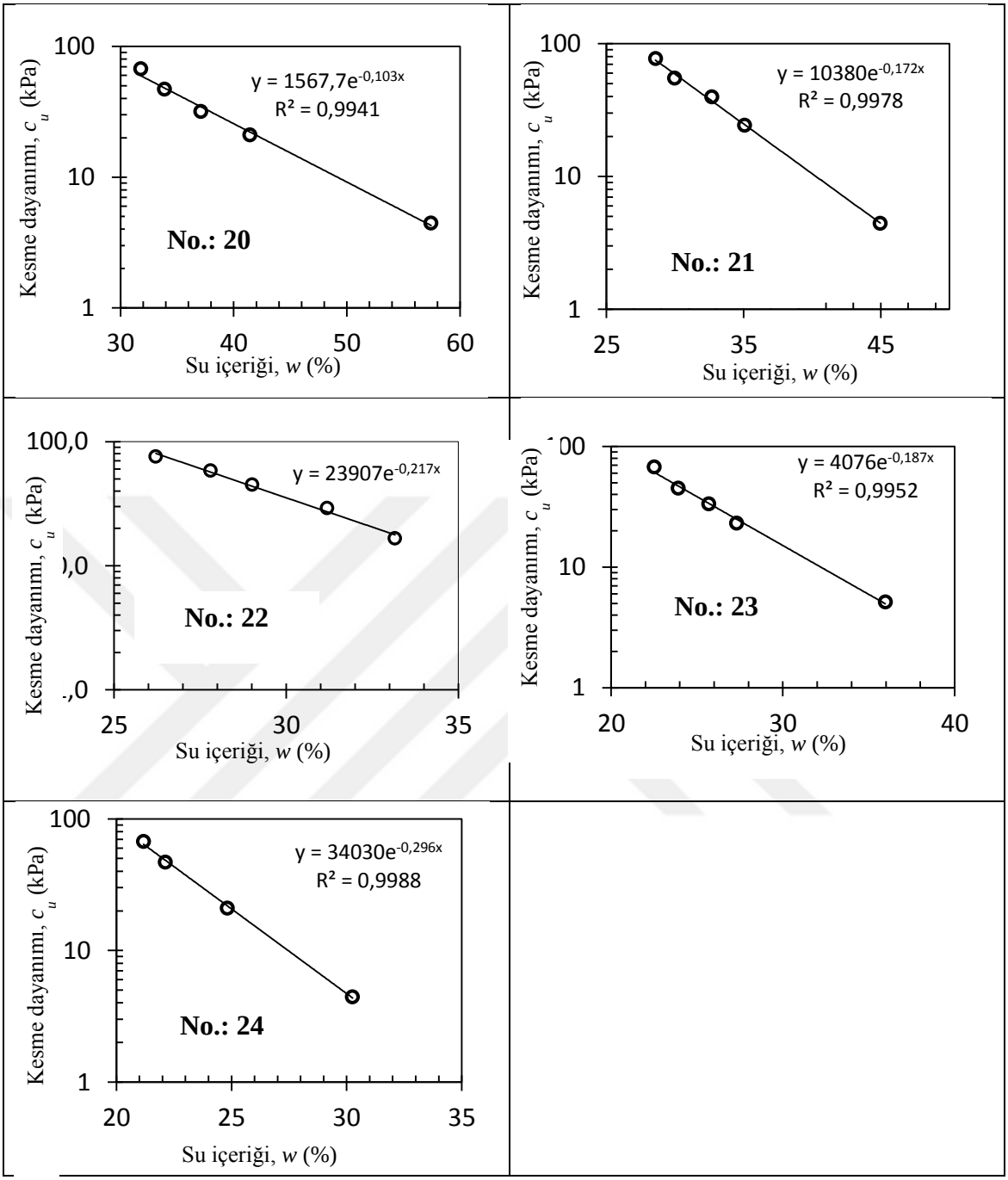
EK 3 I_L=1/6 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen sonuçlar

EK 4 I_L=0,25 numune serisi için doğrudan kesme deneyi ile elde edilen sonuçlar

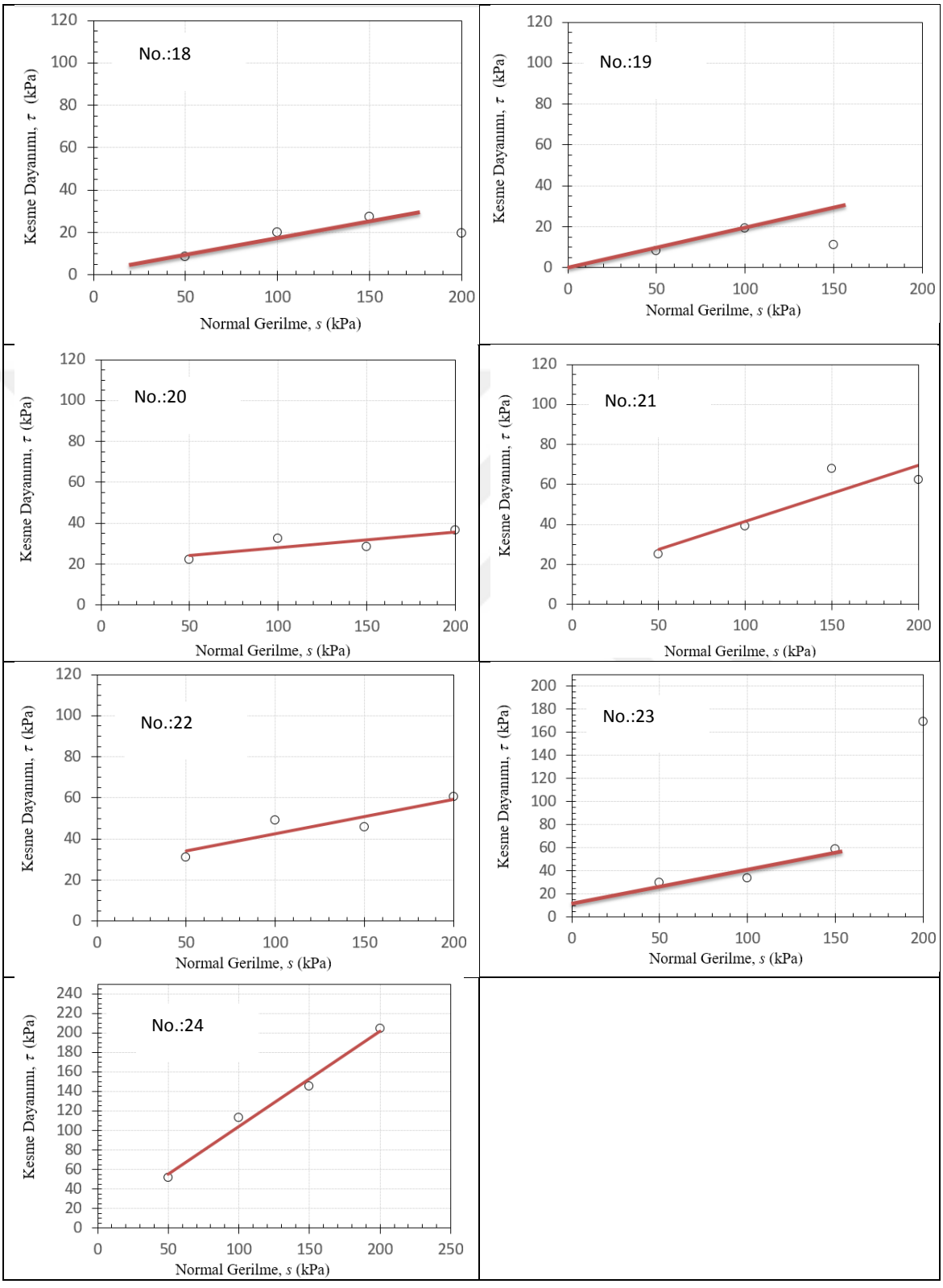
EK 1 Kanatlı Kesme Deney Sonuçları



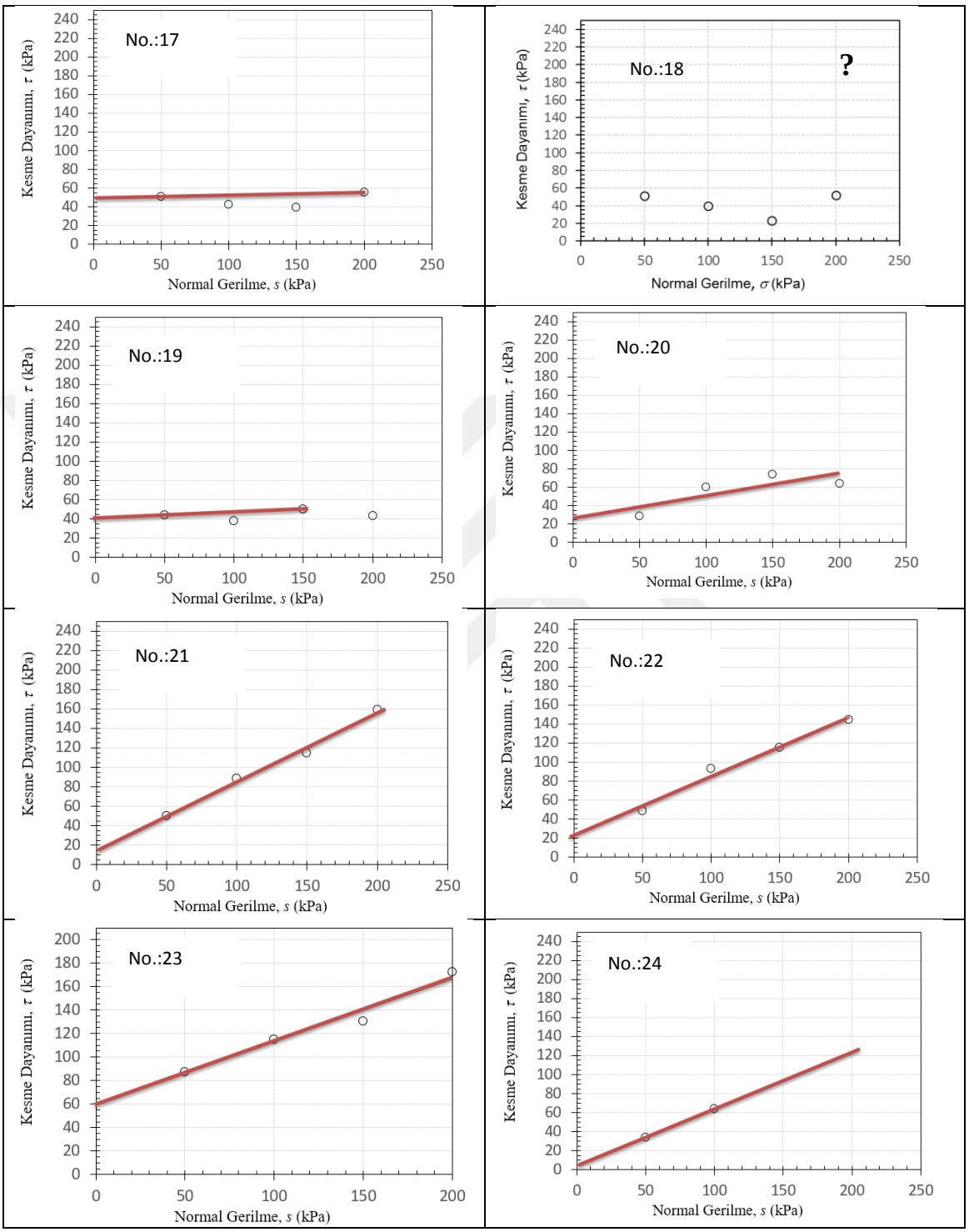

y = 61620e-0,27x
R² = 0,9972
No.: 14
Kesme dayanımı, cu (kPa)
Su içeriği, w (%)
y = 27588e-0,271x
R² = 0,9969
No.: 15
y = 41641e-0,324x
R² = 0,9967
No.: 16
y = 368,39e-0,056x
R² = 0,9787
No.: 17
y = 1074,5e-0,088x
R² = 0,9974
No.: 18
y = 997,46e-0,086x
R² = 0,992
No.: 19


y = 1567,7e-0,103x
R² = 0,9941
No.: 20
Kesme dayanımı, c_u (kPa)
Su içeriği, w (%)
y = 10380e-0,172x
R² = 0,9978
No.: 21
y = 23907e-0,217x
No.: 22
y = 4076e-0,187x
R² = 0,9952
No.: 23
y = 34030e-0,296x
R² = 0,9988
No.: 24

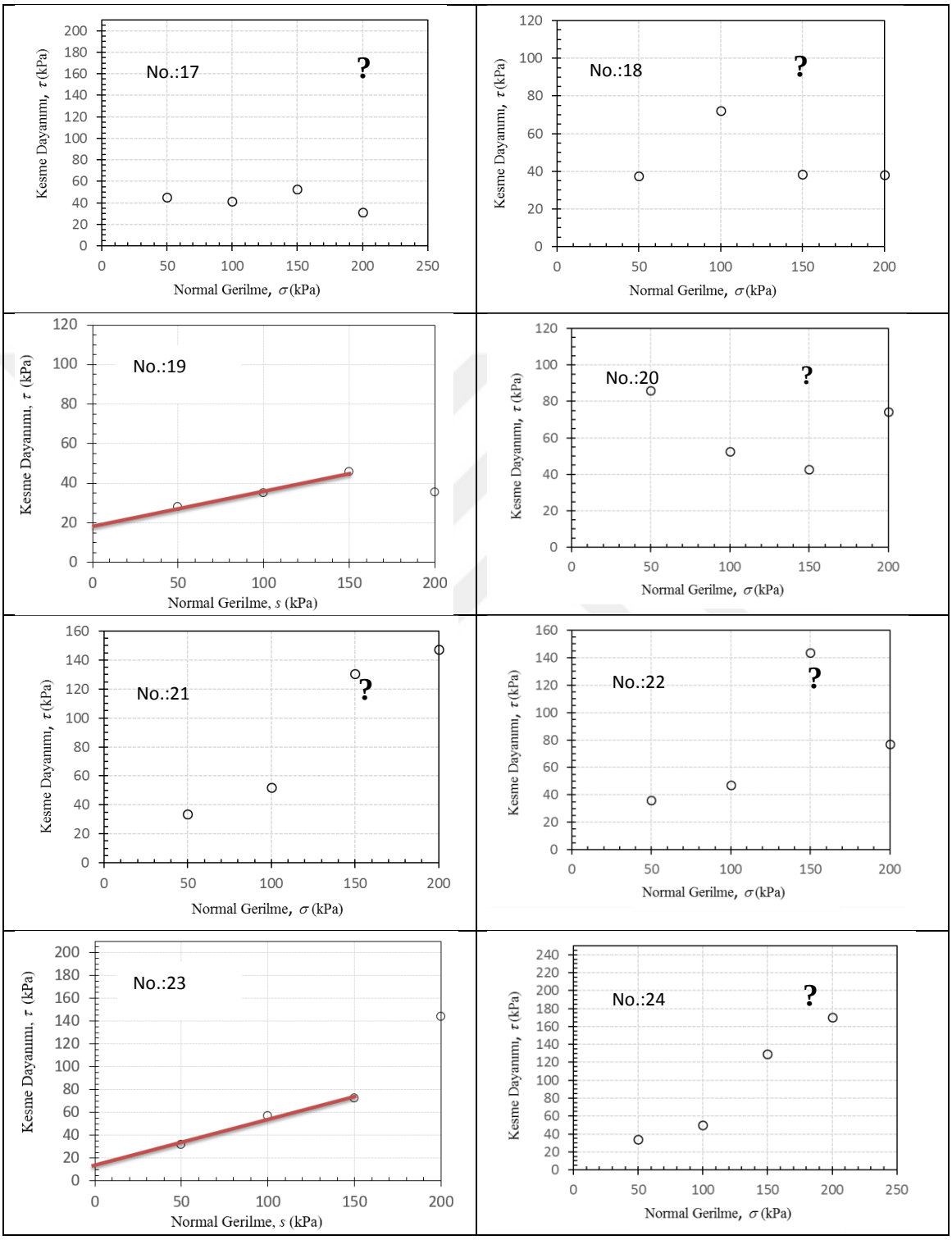
EK 2 I_L=0,5 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar



EK 3 I_L=1/6 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar



EK 4 I_L=0,25 Numune Serisi İçin Doğrudan Kesme Deneyi İle Elde Edilen Sonuçlar



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kutsel Kübra ÇALIŞKAN

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 26.12.1981

Medeni Hali : Bekar

Yabacı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çankaya YDAL Lisesi (1999)

Lisans: Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği B. (2003)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği ABD (Nisan 2011 – Ocak 2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Karayolları Genel Müdürlüğü 2006-Devam

Ulusal Kongre Sunum

Çalışkan, K.K., Kayabalı, K. 2017. Killi Zeminlerde Toplam Gerilme Dayanım Parametrelerinin İki Deney Tekniğiyle Karşılaştırılması. 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.