



**KOHEZYONLU ZEMİNLERİN DRENAJSIZ KAYMA DAYANIMLARININ
ÇEŞİTLİ LABORATUVAR DENEYLERİ İLE KIYASLANMASI**

Tahsin Ömür BUDAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Tahsin Ömür BUDAK tarafından hazırlanan “KOHEZYONLU ZEMİNLERİN DRENAJSIZ KAYMA DAYANIMLARININ ÇEŞİTLİ LABORATUVAR DENEYLERİ İLE KIYASLANMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Mustafa Kerem KOÇKAR

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Nail ÜNSAL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tahsin Ömür BUDAK

09/07/2020

KOHEZYONLU ZEMİNLERİN DRENAJSIZ KAYMA DAYANIMLARININ ÇEŞİTLİ LABORATUVAR DENEYLERİ İLE KIYASLANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Tahsin Ömür BUDAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Kohezyonlu zeminlerin davranışını belirleyen önemli zemin parametrelerinden biri olan drenajsız kayma dayanımını (S_u); laboratuvar Vane (LV), düşen koni (FC), cep penetrometresi (PP), serbest basınç (UC) ve üç eksenli basınç (UU) deneyleri kullanılarak hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu deneylerden elde edilen kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımları arasındaki korelasyonlar, literatürdeki eksikliğini halen korumaktadır. Bu çalışma kapsamında; farklı su muhtevalarında (w) hazırlanan örselenmiş kil numunelerinin drenajsız kayma dayanımları LV , PP , FC , UC ve UU deneyleri kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar arasındaki korelasyonlar, likitite indisine bağlı olarak ortaya koyulmuştur. Kullanılan bu laboratuvar deneyleri arasında en yüksek drenajsız kayma dayanımı FC deneyinden ve en düşük kayma dayanımları ise UC deneyinden elde edilmiştir. LV ve PP deneyleri ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zemin numunelerinin drenajsız kayma dayanımı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede yaygın olarak kullanılmayan cep penetrometresi ile diğer laboratuvar deneyleri arasındaki dönüşümler de bu çalışmada kapsamında ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte cep penetrometresi kullanımının oldukça güvenilir olduğu belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Drenajsız kayma dayanımı, Laboratuvar deneyleri, Düşen koni deneyi (FC), Laboratuvar Vane deneyi (LV), Cep penetrometresi deneyi (PP), Serbest basınç deneyi (UC), Üç eksenli basınç deneyi (UU)

Sayfa Adedi : 187

Danışman : Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

COMPARISON OF UNDRAINED SHEAR STRENGTH OF COHESIVE SOILS FROM LABORATORY TESTS

(M. Sc. Thesis)

Tahsin Ömür BUDAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

Undrained shear strength (S_u), an important soil parameter for determination of the behavior of cohesive soils, can be quickly determined via laboratory tests of the vane (*LV*), unconfined compressive (*UC*), pocket penetrometer (*PP*), fall cone (*FC*) and unconsolidated-undrained (*UU*). However, the literature still lacks the correlations between undrained shear strength values obtained from these tests. In this study, correlations between undrained shear strength results obtained from *LV*, *UC*, *PP*, *FC*, and *UU* laboratory tests on clay samples prepared at different water content (w) were determined as a function of the liquidity index. The highest values of undrained shear strength were obtained from the *FC* tests while the lowest values were acquired from the *UC* tests. On the other hand, the shear strength values of cohesive soils that were obtained from *LV* and *PP* tests were approximately the same. The determination of the undrained shear strength of cohesive soils and the correlations between the *PP* and other laboratory experiments are also examined in this study. It has been determined that the use of *PP* is very reliable.

Science Code : 91105

Key Words : Undrained shear strength, Laboratory tests, Fall cone (*FC*), Laboratory Vane (*LV*), Pocket penetrometer (*PP*), Unconfined compression test (*UC*), Triaxial compression test (*UU*)

Page Number : 187

Supervisor : Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ

TEŞEKKÜR

Hem tez çalışmamda hem de sosyal hayatta birikim ve tecrübeleri ile bana yol göstericim olan; ilgi, alaka ve desteğini asla esirgemeyen hocam Sn. Prof. Dr. Ayhan GÜRBÜZ'e, çalışmalarım boyunca her zaman desteğini hissettiğim kıymetli dostum Arş. Gör. Kaan YÜNKÜL'e, laboratuvar çalışmalarımda sürekli kapısını çaldığım ve hiçbir zaman beni geri çevirmeyen Öğr. Gör. Aydın GÖKÇE'ye sevgi, saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Tez yazımında yardımlarından istifade bulunduğum arkadaşlarım İnşaat Yük. Mühendisi Ali EMİROSMANOĞLU, İnşaat Mühendisi Şule Nihal ÖZER, Öğr. Gör. Hüseyin KALKAN ve Arş. Gör. Fatih KARAÇOR'a teşekkürlerimi sunarım.

Sevgi ve fedakârlıkla hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen, bu yaşa gelmemi sağlayan annem Çidem BUDAK ve babam Vedat BUDAK'a; kardeşlerim Onur ve Ferit BUDAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1. Kıvam limitlerinin belirlenmesi	20
3.1.2. Zemin sınıflarının belirlenmesi	27
3.2. Drenajsız Kayma Dayanımını Belirlemede Kullanılan Deneysel Yöntemler	29
3.2.1. Düşen koni deneyi	32
3.2.2. Laboratuvar Vane deneyi	35
3.2.3. Cep penetrometresi deneyi	38
3.2.4. Serbest basınç deneyi.....	40
3.2.5. Üç eksenli basınç deneyi	42
4. DENEYSEL BULGULAR	47
4.1. Düşen Koni Deneyi Bulguları	48
4.2. Laboratuvar Vane Deneyi Bulguları	51

	Sayfa
4.3. Serbest Basınç Deneyi Bulguları.....	53
4.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi Bulguları.....	56
4.4. Cep Penetrometresi Deneyi Bulguları.....	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	65
EKLER.....	71
EK-1. Kıvam limitleri belirleme föyü.....	72
EK-2. FC deneyi sonuçları.....	82
EK-3. LV deneyi sonuçları	84
EK-4. PP deneyi sonuçları	86
EK-5. UC deneyi sonuçları	88
EK-6. UU deneyi sonuçları.....	155
ÖZGEÇMİŞ	187

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları	5
Çizelge 3.1. Zemin numuneleri kıvam limitleri.....	28
Çizelge 3.2. Serbest basınç dayanımı ve kıvam arasındaki genel ilişki.....	33
Çizelge 3.3. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen koni faktörleri (K)	34
Çizelge 4.1. Örselenmiş kohezyonlu zemin numunelerinin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılan deneyler ve gerçekleştirilen deney sayıları	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. PP ve FC deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki	10
Şekil 2.2. PP ve LV deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki	11
Şekil 2.3. Farklı deneylerden (FC, PP, UC, UU) elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkileri	12
Şekil 2.4. UC ve PP deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı- kıvam limitleri ilişkisi; a): likitite indisi, b): likit limit	13
Şekil 2.5. FC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkisi	14
Şekil 2.6. PP ve UC deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki	15
Şekil 2.7. LV deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkisi	16
Şekil 2.8. Farklı deneylerden (PP, FC, LV) elde edilen drenajsız kayma dayanımı – su muhtevası ilişkisi	17
Şekil 2.9. PP ve UC deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - su muhtevası ilişkisi	18
Şekil 3.1. Kullanılan zemin türlerinin temin edildiği lokasyonlar	19
Şekil 3.2. Kurutulmuş, öğütülmüş, elenmiş zemin numuneleri	20
Şekil 3.3. Atterberg limitleri	21
Şekil 3.4. Likit limit deneyi; a) Cassagrande likit limit aleti, b) oluk açma bıçağı, c) test öncesi zemin numunesi, d) test sonrası zemin numunesi,	22
Şekil 3.5. Casagrande likit limit belirleme aleti.....	24
Şekil 3.6. Likit limit belirleme grafiği örneği	24
Şekil 3.7. Plastik limit deneyi yapılan numuneye ait örnek uygulama	25
Şekil 3.8. Plastisite cetveli	26

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Zemin numunelerinin Casagrande plastisite kartında yerleşimi.....	28
Şekil 3.10. Zemin numuneleri Atterberg limitleri ve deney yapılan su muhtevası aralıkları	29
Şekil 3.11. Zemin numuneleri üzerinde yapılan Proktor deney sonuçları.....	30
Şekil 3.12. Mukavemet deneyleri uygulama biçimi; a) deney başlangıcı, b) düşen koni deneyi, c) laboratuvar Vane deneyi, d) cep penetrometresi deneyi	31
Şekil 3.13. UU deneyi için numune hazırlama aparatı	32
Şekil 3.14. Düşen koni deneyi	34
Şekil 3.15. Laboratuvar vane deneyi test ekipmanı	35
Şekil 3.16. LV deneyi yay kalibrasyonları.....	37
Şekil 3.17. Cep penetrometresi deneyi ekipmanları	38
Şekil 3.18. Cep penetrometresi ile drenajsız kayma dayanımı bulunması örneği	39
Şekil 3.19. Serbest basınç deneyi Mohr çemberi	40
Şekil 3.20. Serbest basınç testi numunesi	41
Şekil 3.21. Üç eksenli basınç (UU) deneyi Mohr çemberi	42
Şekil 3.22. UU deney numunesi hazırlanması	43
Şekil 3.23. Membran kılıf içine alınmış UU deneyi numunesi.....	45
Şekil 3.24. Üç eksenli basınç (UU) deneyi ekipmanları	45
Şekil 4.1. FC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi.....	48
Şekil 4.2. FC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi	50
Şekil 4.3. LV deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi.....	51
Şekil 4.4. LV deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi	53
Şekil 4.5. UC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. UC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi	56
Şekil 4.7. UU deneyi, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi.....	57
Şekil 4.8. UU deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi	59
Şekil 4.9. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi.....	60
Şekil 4.10. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi	61
Şekil 4.11. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının diğer laboratuvar deneyleri ile kıyaslanması.....	62
Şekil 4.12. Laboratuvar deneyleri, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A_0	Serbest basınç numunesi deney öncesi kesit alanı
ΔL	Serbest basınç numunesi boy değişimi
ϕ	İçsel sürtünme açısı
β	Kalibrasyon faktörü
σ'_{v0}	Efektif örtü yükü basıncı
γ_{max}	Optimum birim hacim ağırlık
μ	Bjerrum düzeltme katsayısı
μm	Mikrometre
d	Düşen koni penetrasyon derinliği
D	Laboratuvar Vane bıçak çapı
H	Laboratuvar Vane bıçak yüksekliği
K	Koni sabiti
kPa	Kilopaskal
kg	Kilogram
L_0	Serbest basınç numunesi deney öncesi boyu
mm	Milimetre
W	Düşen koni ağırlığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
CD	Konsolidasyonlu – Drenajlı üç eksenli deney
CH	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
CU	Konsolidasyonlu – Drenajsız üç eksenli deney
FC	Düşen koni deneyi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

IC	Kıvam indisi
LL	Likit limit
LI	Likitite indisi
LV	Laboratuvar Vane deneyi
MH	Yüksek plastisiteli silt
NA	Belirlenememiş veri
NCC	Normal konsolide kil
OH	Yüksek plastisiteli organik kil
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi
PP	Cep penetrometresi deneyi
q_c	Serbest basınç dayanımı
RS	Örselenmiş numune
SL	Büzülme limiti
S_t	Hassasiyet oranı
S_u	Drenajsız kayma dayanımı
S_{u-FC}	Düşen koni deneyi drenajsız kayma dayanımı
S_{u-LV}	Laboratuvar Vane deneyi drenajsız kayma dayanımı
S_{u-PP}	Cep penetrometresi deneyi drenajsız kayma dayanımı
S_{u-UC}	Serbest basınç deneyi drenajsız kayma dayanımı
S_{u-UU}	Üç eksenli basınç deneyi drenajsız kayma dayanımı
UC	Serbest basınç deneyi
US	Örselenmemiş numune
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
UU	Konsolidasyonsuz – Drenajsız üç eksenli deney
w	Su muhteva

1. GİRİŞ

Ekonomik ve güvenilir yapılar (bina, tünel, iksa yapısı, köprü vb.) yapabilmek için, bu yapıların oturacağı alanlardaki zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemli bir konudur. Günümüzde birçok projede, zemin özelliklerinin doğru belirlenememiş olması sebebiyle mühendislik problemleriyle karşılaşmaktadır. Kohezyonlu zeminlerin davranışını belirleyen önemli zemin parametrelerinden biri drenajsız kayma dayanımıdır (Gürbüz ve Dinçergök, 2009; DeGroot, Lunne, Andersen ve Boscardin, 2012; Tanaka, Hirabayashi, Matsuoka ve Kaneko, 2012; Das, Sarma, Singh ve Sutradhar, 2013; Farias ve Serna, 2016; Kuriakose, Abraham, Sridharan ve Jose, 2017; Lemos ve Pires, 2017; Chacko ve Jacob, 2018). Drenajsız kayma dayanımı, zeminde drenajın mümkün olmadığı yükleme durumlarındaki kayma dayanımını ifade etmektedir. Derin kazı, istinat yapısı, sığ ve derin temel tasarımlarının kısa dönem analizlerinde kullanılmaktadır. Bu sebeple drenajsız kayma dayanımını (S_u) değerlerinin doğru belirlenebilmesi oldukça önemlidir.

Zeminlerin mühendislik özellikleri, arazi deneyleri ile belirlenebildiği gibi laboratuvar ortamında yapılabilen deneyler vasıtasıyla da belirlenebilmektedir. Bu deneylerde zemin yapısını daha iyi örnekleyebilmesi açısından örselenmemiş numuneler kullanılabilir. Ancak örnek alma yöntemi, yer altı su seviyesi ve çalışma koşullarına bağlı olarak örselenmemiş numune almak her zaman mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte zeminin heterojen yapısı göz önüne alındığında, örselenmemiş numunelerin veri hassasiyetleri bazı durumlarda düşüktür ve doğal şartları daha iyi örnekleyebildiği söylenemez. Bu sebeplere bağlı olarak, yoğrulma ile daha homojen özelliklere sahip örselenmiş zeminler de drenajsız kayma dayanımını belirlemekte kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin beş farklı coğrafi bölgesinden (Karadeniz, Doğu Anadolu, Marmara, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleri) on farklı örselenmiş kil zemin numunesi temin edilmiştir. Her zemin numunesi doğa şartlarında kurutulup öğütülerek likit limit, plastik limit gibi kıvam indisleri belirlenmiştir. Kıvam indisleri belirlenen numuneler, yaygın olarak kullanılan zemin sınıflandırma sistemlerinden biri olan USCS'ye (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) göre sınıflandırılmıştır.

Arazi deneyleri, laboratuvar deneylerine göre genellikle daha hızlı ölçüm vermelerine rağmen veri hassasiyetleri bazı durumlarda düşük olmakta ve sonuçları ampirik korelasyonlardan elde edilmektedir (Lemos ve Pires, 2017). Arazi deneyleri genellikle pahalı ve zaman alıcı olduğundan, killerin drenajsız kayma dayanımlarını belirlemek için laboratuvar deneyleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında örselenmiş kil zeminlerin drenajsız kayma dayanımları; düşen koni (*FC*), laboratuvar Vane (*LV*), serbest basınç (*UC*), üç eksenli basınç (*UU*) ve cep penetrometresi (*PP*) deneyleri ile belirlenmiştir. *LV*, *UC* ve *UU* deneyleri kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılan geleneksel yöntemlerdendir. Ancak *PP* ve *FC* deneyleri drenajsız kayma dayanımını belirlemede yaygın olarak kullanılmamaktadır. *FC*, *LV*, *UC*, *UU* ve *PP* deneylerinin ortak özelliği ise etkili, pratik, hızlı ve ekonomik olmalarıdır.

Deney yapılacak zemin sınıfı ve ilgili deneye ait sınırlamalar, killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılacak deney yönteminin seçiminde belirleyici faktörlerdir. Bununla birlikte deneyin gerçekleşme süresi de önemli bir etkidir. *UU* deneyi on-yirmi dakika gibi bir sürede tamamlanmaktayken, *PP* deneyi birkaç saniye içinde sonuçlanmaktadır. Ancak *PP* deneyi gibi basit ve hızlı deneylere olan güven oldukça düşüktür. Bu tarz deneysel yöntemlerin daha gelişmiş laboratuvar deneyleri ile doğrulanması (*UC*, *UU*, *CD*, *CU* deneyleri gibi) beklenmektedir (Bradford ve diğerleri, 1992). Gelişmiş deneyler daha doğru sonuçlar vermekle beraber basit deneylere nazaran daha pahalı ve gerçekleştirme süresi daha uzundur. Bu tez çalışması ile *FC*, *PP* gibi hızlı, pratik ve ekonomik deney metotları; *UU*, *UC*, *LV* deneyleri gibi drenajsız kayma dayanımını belirlemede yaygın olarak kullanılan geleneksel deney yöntemleri ile doğrulanmıştır. Böylelikle basit ve hızlı deney yöntemleri kullanılarak kohezyonlu örselenmiş zemin numunelerinin drenajsız kayma dayanımları hakkında bir ön değerlendirme yapmak mümkün kılınmıştır.

İnce daneli zeminlerin yapılarında barındırdıkları su muhtevası (*w*), bu tür zeminlerin davranışını etkileyen önemli bir etkidir. Dolayısıyla su muhtevası, drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde belirleyici bir parametreyi teşkil etmektedir. Likitite indisi (*LI*) ise zeminin yapısına aldığı su muhtevasına bağlı olarak plastisite cetvelindeki yerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışma ile örselenmiş killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımları; *FC*, *LV*, *PP*, *UC* ve *UU* deneyleri belirlenmiş ve likitite indisi (*LI*) ile ilişkisi

incelenmiştir. Çalışma neticesinde farklı laboratuvar deneyleri ile elde edilen drenajsız kayma dayanımları ve LI arasında bağıntılar geliştirilmiştir.

Literatürde drenajsız kayma dayanımının plastisite indisi (PI), su muhtevası (w) ve likitite indisi (LI) gibi zemin özellikleri ile ilişkilendirildiği birçok çalışma mevcuttur. Ancak drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde kullanılan dayanım deneyleri arasındaki ilişkiler literatürdeki eksikliğini sürdürmektedir. Bu çalışma kapsamında aynı su muhtevası değerlerine sahip örselenmiş killi zemin numuneleri üzerinde beş farklı (FC , LV , UC , UU ve PP) mukavemet deneyi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle farklı laboratuvar deneyleri ile elde edilen dayanımlar arasında geçişleri sağlayacak bağıntılar ortaya konulmuştur. Özel olarak drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmayan ancak oldukça pratik ve basit olan cep penetrometreleri ile diğer laboratuvar deneyleri arasında dönüşümleri sağlayacak bağıntılar bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

Farklı özelliklere sahip on farklı kil numunesinin drenajsız kayma dayanımlarının belirlendiği bu tez çalışması, toplamda 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümde tezin amaç, önem ve ilerleme aşamalarından bahsedilmektedir. 2. Bölümde daha önceki dönemlerde, ince daneli zeminlerin drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde farklı deney metotlarının incelendiği çalışmalar hakkında bir literatür özeti hazırlanmıştır. 3. bölümde öncelikle deney çalışmasında kullanılan malzemeler ve özellikleri tanıtılmış ardından deney metotları incelenmiştir. 4. bölümde bu çalışma neticesinde elde edilen bulgular irdelenmiş ve daha önceki çalışmalar ile kıyaslanmıştır. 5. Bölümde ise bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışma kapsamında, örselenmiş kohezyonlu zemin numunelerinin kayma dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Drenajsız kayma dayanımı belirlenirken; hızlı, pratik ve ekonomik beş farklı deney türü kullanılmıştır. Kullanılan laboratuvar deneyleri aşağıda sıralanmıştır.

- a. Düşen koni (*FC*),
- b. Laboratuvar Vane (*LV*),
- c. Serbest basınç (*UC*),
- d. Üç eksenli (*UU*),
- e. Cep penetrometresi (*PP*).

Birçok araştırmacı tarafından; serbest basınç (*UC*), üç eksenli (*UU*), laboratuvar Vane (*LV*), düşen koni (*FC*) ve cep penetrometresi (*PP*) gibi laboratuvar deneyleri kullanılarak kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımları belirlenmiş ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar tarafından *UC*, *UU*, *LV*, *FC* ve *PP* deneyleri kullanılarak yapılan bazı çalışmalar ve geliştirilen ilişkiler Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları

Test tipi	Referans	Zemin Tipi	İlişki	Not
FC	Leroueil ve diğerleri, (1983)	NA	$S_u = \frac{1}{(LI - 0.21)^2} \text{ (kPa)}$ $0.5 < LI < 2.5$	NA
	Wasti ve Bezirci, (1985)	CH, CL	NA	RS
	Bradford ve diğerleri, (1992)	Kil, siltli kil ve silica kum	$S_{u-FC} = 0.53 S_{u-PP} + 2.80 \text{ (kPa)}$	RS
	Feng, (2000)	Kaolin bentonit ve	NA	RS
	Koumoto ve Houlsby, (2001)	Kil	$S_u = e^{\frac{1.070 - LI(\log)}{0.217}} \text{ (kPa)}$ $LI(\log) = \frac{\ln w - \ln PL}{\ln LL - \ln PL}$	RS

Çizelge 2.1. (devam) Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları

Test tipi	Referans	Zemin Tipi	İlişki	Not
FC	Sharma ve Bora, (2003)	Kil	$\log S_u = \log S_{u-LL} + \left[\frac{1}{(\log LL / \log PL)} \times \log \left(\frac{LL}{w} \right) \right]$	RS
	Yang ve diğerleri, (2006)	CL, CH, MH	$S_u = 159.6e^{-3.97LI}$ (kPa) (RS) $S_u = 231.9e^{-2.96LI}$ (kPa) (US)	RS ve US
	Tanaka ve diğerleri, (2012)	NA	NA	US ve RS
	DeGroot ve diğerleri, (2012)	İnce daneli zemin	NA	RS
	Das ve diğerleri, (2013)	CH, CL	NA	RS
	Vardanega ve Haigh, (2014)	Literatür araştırması	$S_u = 1.7 \times 35^{(1-LI)}$ (kPa)	RS
	Shi ve Herle, (2015)	MH, CL kil karışımı	$S_u = \frac{1}{(0.79-IC)^2} \times p_0$ (kPa) $IC = \frac{LL - w}{LL - PL}$ $p_0 = 1$ kPa	RS
	Kim ve diğerleri, (2016)	Kaolinite kil	NA	RS
	Farias ve Serna, (2016)	MH	$w = 32 \frac{S_u^{-0.144}}{P_a}$	RS
	Gruchot ve Zydron, (2016)	Uçucu Kül	NA	RS
	Lemos ve Pires, (2017)	Yumuşak kil	$S_{u-UU} = 1.33 S_{u-FC}$ $S_{u-LV} = 0.98 S_{u-FC}$ $S_{u-UC} = 1.14 S_{u-FC}$	US
	Karakan ve Demir, (2018)	Kaolinite ve Bentonite kil	$S_{u-Kaolinite} = 25.82d^{-0.5}$ (kPa) $S_{u-Bentonite} = 667.08d^{-2}$ (kPa)	RS
	Sharma ve Sridharan, (2018)	CH, CL	$\log \frac{S_u}{1.7} = -4.9 \log \frac{w}{LL}$ (kPa)	NA
	Nagaraj ve diğerleri, (2018)	Kum-kil karışımı	NA	RS
	Canelas ve diğerleri, (2018)	CH, CL	NA	RS
	Shimobe ve Spagnoli, (2019)	İnce daneli zemin	$S_u = 98S_t e^{\frac{\ln(\frac{0.4755}{LL+0.5012(1-LI)})}{0.19}}$ (kPa) $S_u = 157.35d^{-1.226}$ (kPa) (US) $S_u = 189.74d^{-1.521}$ (kPa) (RS)	US ve RS

Çizelge 2.1. (devam) Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları

Test tipi	Referans	Zemin Tipi	İlişki	Not
LV	Wasti ve Bezirci, (1985)	CH, CL	NA	RS
	Zimbone ve diğerleri, (1996)	Siltli Kil, Kil	NA	RS
	Wichmann ve Riehl (1997)	Örselenmiş zeminler	NA	RS
	Winters, (2000)	Sediment, Kil	NA	US ve RS
	Bauer ve diğerleri, (2007)	Mortar	NA	RS
	Berilgen ve diğerleri, (2007)	CH, MH	$S_u = 28e^{-1.33LI}$ (kPa) $S_u = 145e^{-2.86\frac{w}{LL}}$ (kPa)	US ve RS
	Schlue ve diğerleri, (2007)	Çok yumuşak organik zemin	$S_u = 90.11e^{-4.13w}$ (kPa)	NA
	Tanaka ve diğerleri, (2012)	NA	NA	RS
	DeGroot ve diğerleri, (2012)	İnce daneli zemin	NA	RS
	Das ve diğerleri, (2013)	CH, CL	NA	RS
	Vinod ve diğerleri, (2013)	CH, CL, MH, ML	$S_u = 161.311e^{-3.333LI}$ (kPa) ($1 < LI < 0$) $S_u = 184.45e^{-1.087LI}$ (kPa) ($LI < 0$)	RS
	Raheem ve diğerleri, (2013)	Çok yumuşak kil	$S_u = 14.369e^{-0.004w} + \frac{1}{e^{w-LL}}$ (kPa) $w < 300, LL < 500$; $S_u = -6 \ln(w) + 15$ (kPa) $w > 300; LL > 500$	NA
	Kayabalı ve diğerleri, (2015)	İnce daneli zemin	$S_u = 96 \times 0.187^{LI}$ (kPa)	RS
	Gruchot ve Zydron, (2016)	Uçucu kül	NA	RS
	Levacher ve diğerleri, (2016)	Kaolin kil ve sediment	NA	RS
	Spagnoli ve Feinendegen, (2017)	Kil	$S_u = 597.82e^{5.131\frac{w}{LL}}$ (kPa)	US ve RS
	Kuriakose ve diğerleri, (2017)	Kil	$\log S_u = 0.644 - 2.55\frac{w}{LL}$ (kPa) $\log S_u = 1.618 - 1.486LI$ (kPa)	RS

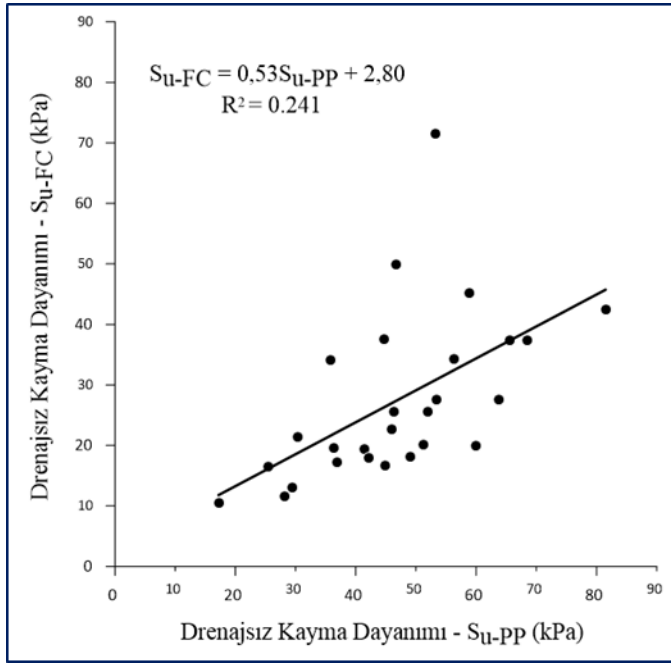
Çizelge 2.1. (devam) Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları

Test tipi	Referans	Zemin Tipi	İlişki	Not
LV	Lemos ve Pires, (2017)	Yumuşak kil	$S_{u-LV} = 0.98 S_{u-FC}$	US
	Ullah ve diğerleri (2017)	NA	$S_u = 47.93e^{-2.408LI} \text{ (kPa)}$	RS
	Canelas ve diğerleri, (2018)	CH, CL	NA	RS
	Chacko ve Jacob, (2018)	CH	$S_u = -127.19LI + 117.4 \text{ (kPa)}$	RS
PP	Bradford ve diğerleri, (1992)	Kil, siltli kil ve silika kum	$S_{u-FC} = 1.17 S_{u-PP} + 2.02 \text{ (kPa)}$	NA
	Zimbone ve diğerleri, (1996)	Siltli kil, kil	NA	RS
	Wichmann ve Riehl (1997)	Örselenmiş zeminler	NA	RS
	Winters, (2000)	Sediment, kil	NA	US ve RS
	Yang ve diğerleri, (2006)	CL, CH, MH	$S_u = 250.05e^{-3.294LI} \text{ (kPa)}$ $S_{u-FC} = 0.842 S_{u-PP} + 14.28 \text{ (kPa)}$	US
	Edil ve Benson, (2009)	CL, ML, SM	NA	US
	Howard ve Badran, (2011)	CH, CL, MH, OH	NA	RS
	DeGroot ve diğerleri, (2012)	İnce daneli zemin	NA	RS
	Vahedifard ve diğerleri, (2016)	CH, CL, MH, OH	NA	RS
	Gruchot ve Zydron, (2016)	Uçucu kül	NA	RS
UU	Yang ve diğerleri, (2006)	CL, CH, MH	NA	US
	Yılmaz, (2000)	İnce daneli alüvyon zeminler	$S_u = e^{(0.026-1.21LI)} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	US
	Watabe ve Tsuchida, (2001)	Kil	NA	US
	Brandon ve diğerleri, (2006)	Kohezyonlu silt	$S_u = K \times \sigma_v$ $0.43 < K < 0.65$	RS
	DeGroot ve diğerleri, (2012)	İnce daneli zemin	NA	RS

Çizelge 2.1. (devam) Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemek üzere yapılmış laboratuvar çalışmaları

Test tipi	Referans	Zemin Tipi	İlişki	Not
UU	Ratananikom ve diğerleri, (2015)	Çok yumuşak ve orta katı kil	$S_{u-UU} = 0.673 S_{u-CU}$ $(S_{u-\Sigma\sigma_v})_{CU} = 0.045PI^{0.5}$	US ve RS
	Cangir ve Dipova, (2017)	Siltli kil	$S_u = -41 \ln(LI) + 19,41$ (kPa)	US
	Lemos ve Pires, (2017)	Yumuşak kil	$S_{u-UU} = 1.33 S_{u-FC}$	US
UC	Watabe ve Tsuchida, (2001)	NA	NA	US
	Yang ve diğerleri, (2006)	CL, CH, MH	$S_u = 818.3e^{-4.17LI}$ (kPa)	US
	Narendra ve diğerleri, (2006)	CL, CH	NA	RS
	Edil ve Benson, (2009)	CL, ML, SM	$S_u = 144.9e^{-1.72LI}$ (kPa) $S_u = 191.4e^{-0.03LL}$ (kPa)	US
	Howard ve Badran, (2011)	CH, CL, MH, OH	NA	RS
	Vahedifard ve diğerleri, (2016)	CH, CL, MH, OH	NA	RS
	Lemos ve Pires, (2017)	Yumuşak kil	$S_{u-UC} = 1.14 S_{u-FC}$	US
	Yasun, (2018)	CL	$S_u = 92.31e^{-1.88LI}$ (kPa)	RS
	Yılmaz ve diğerleri, (2019)	CL	$S_u = 188.561e^{-5.26LI}$ (kPa)	RS
<i>LI: Likitite İndisi, IC: Kıvam İndisi, PI: Plastisite İndisi, S_{u-FC}: Düşen koni deneyinden elde edilmiş drenajsız kayma dayanımı, S_{u-LV}: Laboratuvar Vane deneyinden elde edilmiş drenajsız kayma dayanımı, S_{u-PP}: Cep penetrometresi deneyinden elde edilmiş drenajsız kayma dayanımı, S_{u-UC}: Serbest basınç deneyinden elde edilmiş drenajsız kayma dayanımı, S_{u-UU}: Üç eksenli basınç (UU) deneyinden elde edilmiş drenajsız kayma dayanımı, S_c: Hassasiyet oranı, P_a: Atmosferik basınç σ'_{v0}: Efektif örtü yükü basıncı, NCC: Normal konsolide kil, K: Drenajsız dayanım oranı, RS: Örselenmiş numune, US: Örselenmemiş numune, NA: Belirlenememiş veri, CL: Düşük plastisiteli kil, CH: Yüksek plastisiteli kil, MH: Yüksek plastisiteli silt, OH: Yüksek plastisiteli organik silt, SM: Siltli kum</i>				

Bradford, Truman ve Huang (1992) maksimum dane çapı 2 mm'den küçük olan örselenmiş zeminlerin drenajsız kayma dayanımlarını; *PP* ve *FC* deneyleri ile belirlemişlerdir. Araştırmacılar *PP* deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanımı değerlerinin, *FC* deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanımı değerlerine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacıların, *FC* ve *PP* deneylerinden elde ettikleri sonuçlar Şekil 2.1'de görselleştirilmiştir.



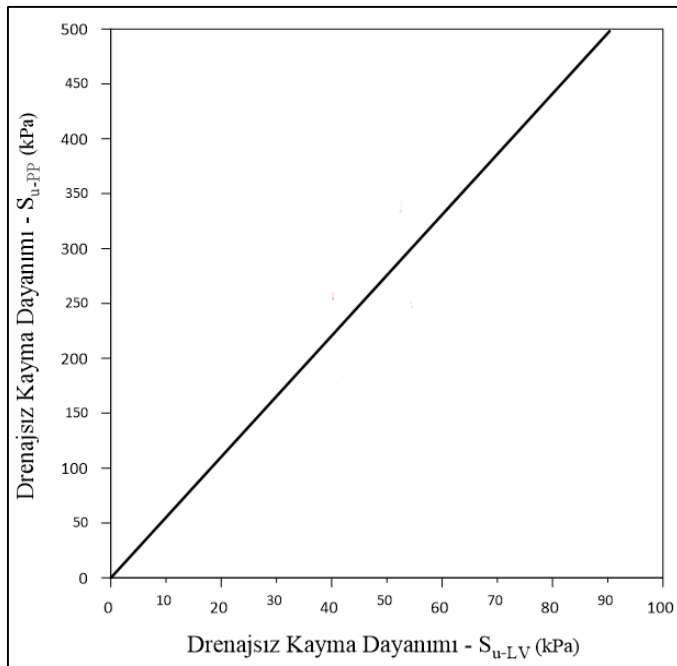
Şekil 2.1. *PP* ve *FC* deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki (Bradford ve diğerleri, 1992)

Tanaka (1994) plastisite indisi 20 ile 120 arasında değişen örselenmiş yedi kil numunesi üzerinde yürüttüğü çalışmada; *LV*, *FV* ve *UC* deneyinden elde etmiş olduğu drenajsız kayma dayanımlarını değerlendirmiştir. Araştırmacı, *FV* ve *LV* test sonuçlarını kıyaslamış ve *LV* testinin numune kalitesinden etkilenmediğini belirlemiştir. *UC* testinin negatif boşluk suyu basınçları nedeniyle plastisite indisinden etkilendiğini bildirmiştir.

Zimbone, Vickers, Morgan ve Vella (1996) çalışmalarında; siltli kil, kumlu kil ve kil olmak üzere üç farklı örselenmiş zemin numunesi kullanmışlardır. Su muhtevasının drenajsız kayma dayanımına etkisinin incelendiği bu çalışmada, drenajsız kayma dayanımları *LV* ve *PP* deneyleri ile belirlenmiştir. Araştırmacılar, *PP* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı değerlerinin, *LV* deneyinden elde edilen değerlerden 2-4 kat fazla olduğunu

belirtmiş ve artan su muhtevasına bağlı olarak drenajsız kayma dayanımı değerlerinde düşüşler gözlemlemişlerdir.

Wichmann ve Riehl (1997) örselenmiş zeminler ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında drenajsız kayma dayanımını *LV* ve *PP* deneyleri ile belirlemişlerdir. Araştırmacılar *LV* ve *PP* deneylerinin oldukça kullanışlı olduğunu bildirmişlerdir. Ancak çok düşük dayanımlı ve fissürlü zeminlerde, *PP* deneyinin uygulanmasının uygun olmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacıların *LV* ve *PP* deneyleri arasında geliştirdikleri ilişki Şekil 2.2’de verilmiştir.

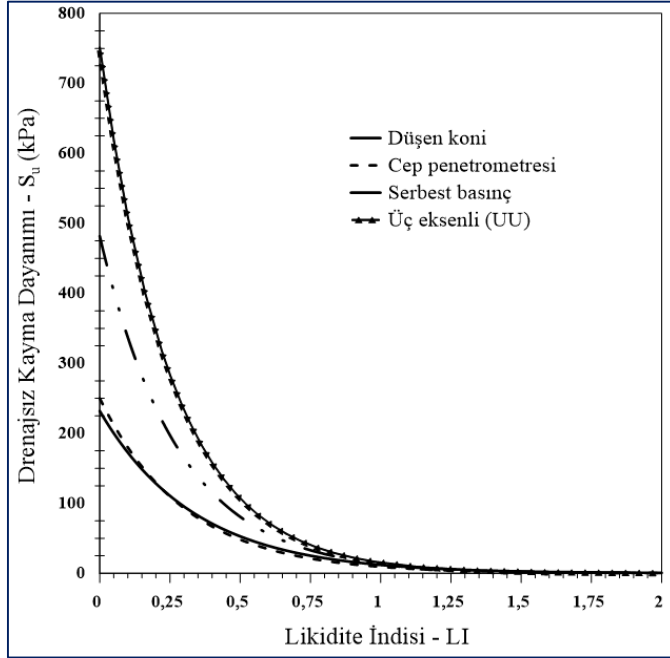


Şekil 2.2. PP ve LV deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki (Wichmann ve Riehl, 1997)

Winters (2000) örselenmiş ince daneli zeminlerin drenajsız kayma dayanımlarını belirlediği çalışmasında, *LV* ve *PP* deney sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğunu ifade etmişlerdir.

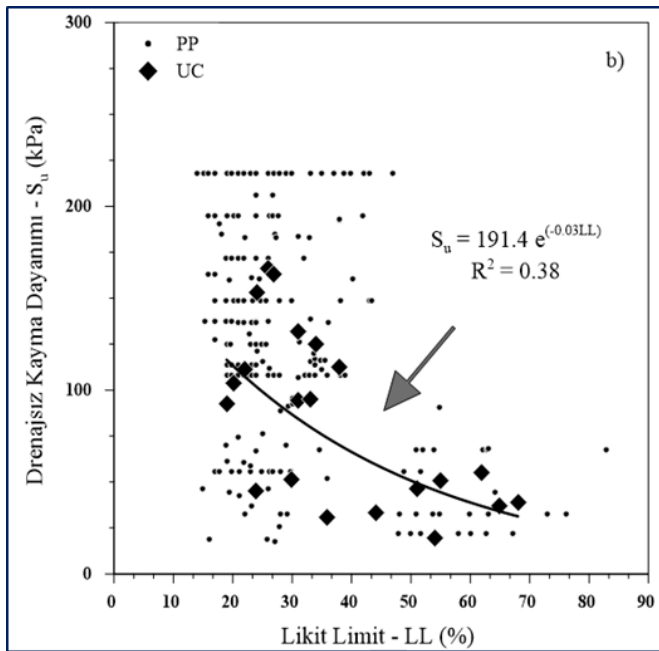
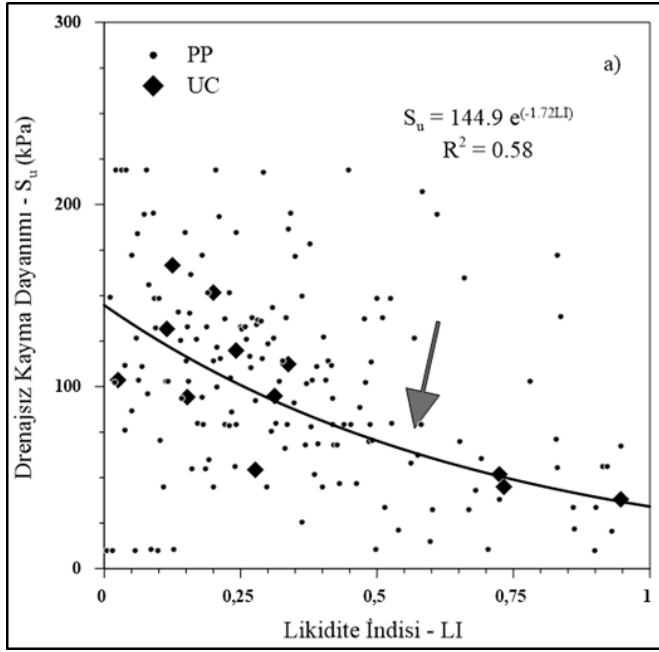
Yang, Kvalstad, Solheim ve Forsberg (2006) heyelan bölgesinden aldıkları örselenmiş ve örselenmemiş kil zemin numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini analiz ettikleri çalışmalarında, kilin drenajsız kayma dayanımı ile likitite indisi arasında bir bağlantı olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar; *FC*, *PP* ve *UU* deneyleri ile elde ettikleri drenajsız kayma dayanımlarının likitite indisi ile ilişkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, *FC* ve *PP* deneyleri ile belirlenen kayma dayanımlarının birbirleriyle büyük bir uyum içinde

olduğunu belirleyen araştırmacılar, en yüksek kayma dayanımını *UU* deneyi ile elde etmişlerdir. Araştırmacılar tarafından drenajsız kayma dayanımı ve likitite indisi arasında geliştirilen ilişki Şekil 2.3’de sunulmuştur.



Şekil 2.3. Farklı deneylerden (FC, PP, UC, UU) elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkileri (Yang ve diğerleri, 2006)

Edil ve Benson (2009) örselenmemiş kil numunelerinin drenajsız kayma dayanımlarını *UC* ve *PP* deneyleri ile belirlemişlerdir. Bu çalışma ile drenajsız kayma dayanımı, likitite indisi ve likit limite bağlı olarak formülize edilmiştir (Şekil 2.4). Araştırmacılar drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi arasındaki bağıntının drenajsız kayma dayanımı – likit limit bağıntısına kıyasla daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir.

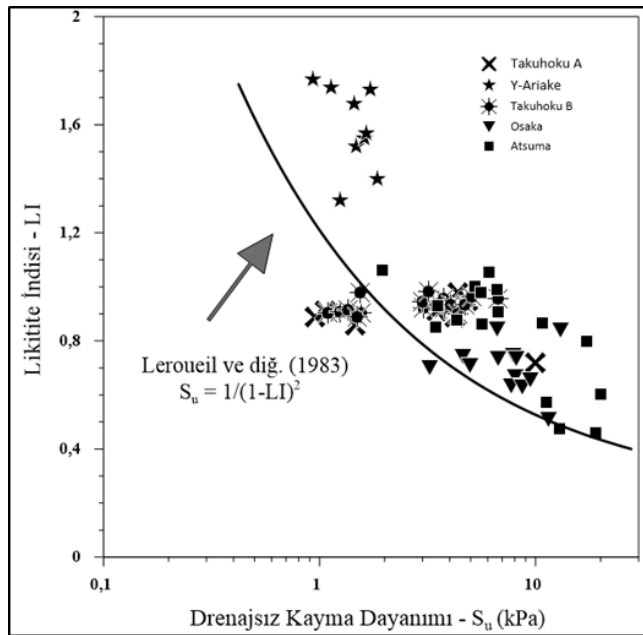


Şekil 2.4. UC ve PP deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı- kıvam limitleri ilişkisi ; (a) likidite indisi, b) likit limit (Edil ve Benson, 2009)

Howard ve Badran (2011) düşük dayanımlı ve yüksek su muhtevallı örselenmiş ince daneli zeminlere, farklı oranlarda çimentolu malzemeler ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Hazırlamış oldukları bu numunelerin drenajsız kayma dayanımlarını, *PP* ve *UC* deneyleri ile belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, *PP* deneyinin *UC* deneyinden daha düşük sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte *PP* deneyinin *UC* deneyine göre daha pratik olduğunu ifade etmişlerdir.

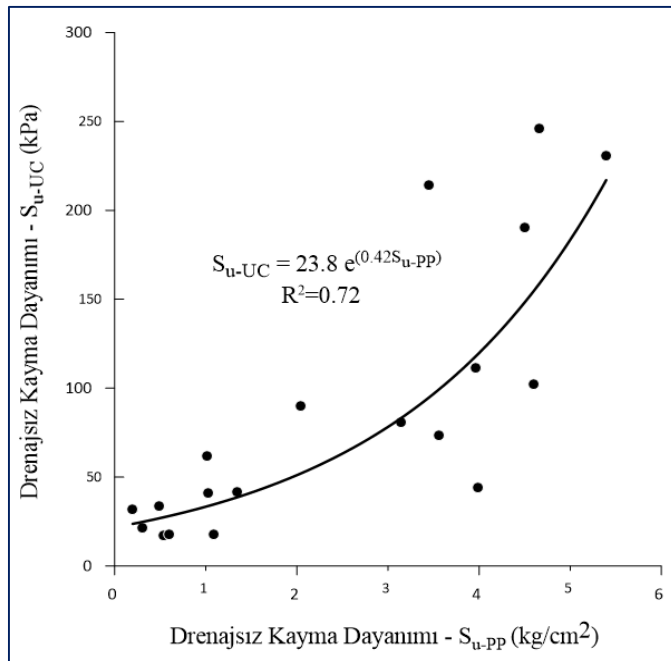
DeGroot ve diğerleri (2012) örselenmiş ince daneli zeminlerin kayma dayanımını belirlemede test yönteminin etkisini inceledikleri çalışmalarında; drenajsız kayma dayanımını belirlemede oldukça yaygın yöntemlerden olan *FC*, *LV* ve *UU* deneyleri ile kayma dayanımını belirlemede yaygın kullanımı olmayan *PP* deneyini kullanmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada, kayma mukavemetleri 15 kPa'dan düşük, ince daneli zemin numunelerini incelemişlerdir. Deney çeşitleri arasında genel olarak en yüksek dayanımlar *FC* deneyi ile elde edilmiştir. Hem motorla hem de el ile döndürülen *LV* deney aparatı kullanılan bu çalışmada, motorlu *LV* aparatının kullanımının daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Araştırmacılar *UU* deneyinin sert zeminlerde kullanımının daha doğru olacağını ifade etmişlerdir.

Tanaka ve diğerleri (2012) Japonya'nın Atsuma, Takuhoku, Y-Ariake ve H-Osaka bölgelerinden aldıkları hem örselenmiş hem de örselenmemiş killi zeminler üzerinde *FC*, *LV*, arazi Vane (*FV*) ve *UC* deneyi yapmıştır. Bu deneyler neticesinde laboratuvar ve arazi Vane deneylerinin birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ancak *FC* ve *UC* deneyleri arasında iyi bir ilişki kurulamamıştır. Örselenmiş zemin numuneleri ile yapılan *FC* deneyi sonuçları, Leroueil ve diğerleri (1983) tarafından önerilen bağıntı ile kıyaslanmışlardır (Şekil 2.5). Araştırmacılar gerçekleştirdikleri çalışmanın Leroueil ve diğerleri (1983) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 2.5. FC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkisi (Tanaka ve diğerleri, 2012)

Dermatas, Dadachov, Mirabito ve Meng (2003) çeşitli kimyasal materyaller ile güçlendirilmiş örselenmiş zemin numunelerinin kayma dayanımlarını değerlendirildikleri çalışmalarında; *PP* ve *UC* testlerini kullanmışlardır. Araştırma neticesinde *PP* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının *UC* deneyi ile korelasyonuna dair grafik Şekil 2.6'da sunulmuştur. *PP* ve *UC* deneyleri arasında üstel bir ilişki geliştirilmiştir. Düşük drenajsız kayma dayanımı değerlerinde *PP* ve *UC* deneylerinin birbiri ile daha uyumlu olduğu görülebilmektedir. *PP* deney aleti üzerindeki ölçekler genel itibarıyla kg/cm^2 birimi ile oluşturulmuştur.

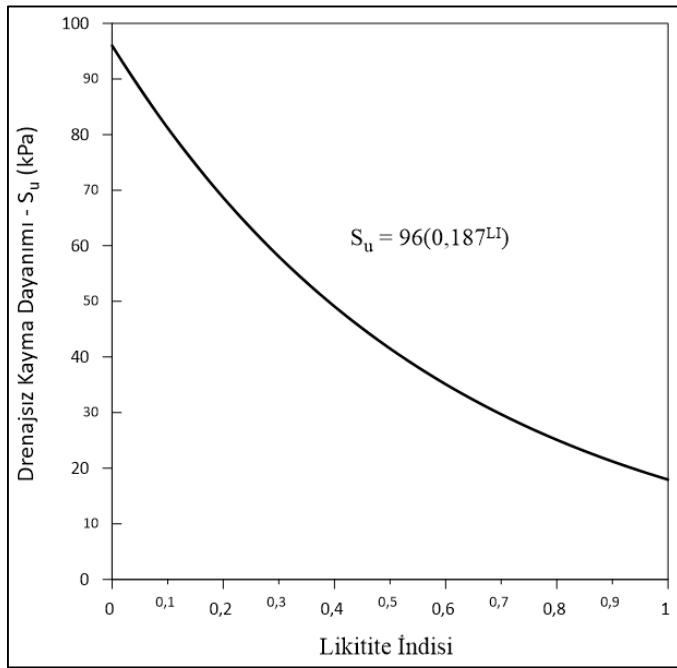


Şekil 2.6. *PP* ve *UC* deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları arasındaki ilişki (Dermatas ve diğerleri, 2003)

Das ve diğerleri (2013) yüksek ve düşük plastisiteli örselenmiş kil numuneleri üzerinde *FC* ve *LV* deneyi yapmıştır. Bu çalışmada on altı farklı zemin numunesi kullanılmıştır. Araştırmacılar artan su muhtevasıyla beraber drenajsız kayma dayanımlarında düşüşler gözlemlemişlerdir. Düşük likit limit değerine sahip zeminlerdeki drenajsız kayma dayanımı değişiminin, yüksek likit limit değerlerine sahip zeminlerdeki değişimden fazla olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, *FC* ve *LV* deneyleri arasındaki uyum gözlemlenebilmiştir.

Kayabalı, Aktürk, Fener ve Dikmen (2015) yaptıkları çalışmalarda, yaygın olarak kullanılmayan ekstrüzyon yöntemi ile Bjerrum düzeltme faktörünü yeniden değerlendirmişlerdir. *LV* ve ekstrüzyon testleri ile drenajsız kayma dayanımının elde edildiği

bu çalışmada; likit limiti 46 ile 91, plastite indisi 19 ile 57 arasında değişen farklı su muhtevalarında yüz yirmi örselenmiş zemin numunesi kullanılmıştır. Araştırmacılar; drenajsız kayma dayanımı ile su muhtevası, plastite indisi ve likitite indisi arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan, likitite indisi ve drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişki Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Artan likitite indisi ile drenajsız kayma dayanımında üssel bir düşüş gözlemlenmiştir.

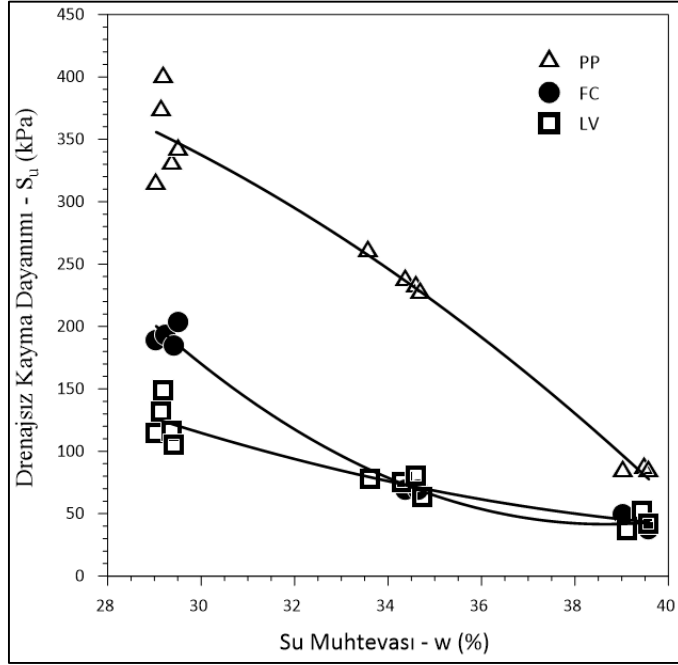


Şekil 2.7. LV deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı – likitite indisi ilişkisi (Kayabalı ve diğerleri, 2015)

D’Ignazio, Phoon, Tan ve Lansivaara (2016), örselenmemiş yumuşak killerin drenajsız kayma dayanımlarını saha ve laboratuvar deneyleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada yirmi dört farklı bölgeden elde edilen killi zeminler üzerinde *FV* deneyi yapılmıştır. Drenajsız kayma dayanımı verileri literatürdeki *FC* ve *LV* deneyi ile elde edilen ampirik formüllerle doğrulanmıştır. Drenajsız kayma dayanımının likit limit, likitite indisi ve plastisite indisi ile ilişkisi incelenmiştir. Bu çalışma neticesinde killerin drenajsız kayma dayanımlarının konsolidasyon oranına bağlı olduğu ve kıvam indekslerinden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir.

Gruchot ve Zydron (2016) uçucu küllerin drenajsız kayma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında; *FC*, *PP* ve *LV* test cihazlarını kullanmışlardır. Deneyler iki farklı sıkıştırma oranındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, en yüksek drenajsız

kayma dayanımı *PP* deneyinde ölçmü (Şekil 2.8) ve *PP* ölçümlerinin su muhtevası değişiminden büyük oranda etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Drenajsız kayma dayanımının, ölçüm yönteminden etkilendiği gibi su muhtevasından da etkilendiğini belirlemişlerdir.

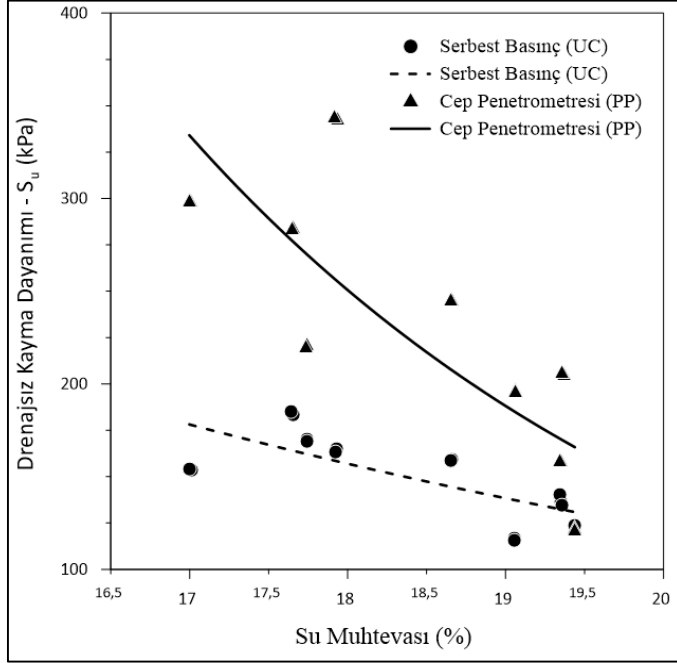


Şekil 2.8. Farklı deneylerden (PP, FC, LV) elde edilen drenajsız kayma dayanımı – su muhtevası ilişkisi (Gruchot ve Zydron, 2016)

Lemos ve Pires (2017) örselenmemiş yumuşak kil zeminler ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında; *LV*, *UC* ve *UU* deneyleri ile elde ettikleri drenajsız kayma dayanımlarını *FC* deneyi ile elde ettikleri drenajsız kayma dayanımlarıyla kıyaslamışlardır. Araştırmacılar, *FC* deneyi ve *LV* deneyi arasında oldukça iyi bir ilişki ($R^2=0.84$ ve $S_{u-LV} / S_{u-FC} = 0.98$) olduğunu ortaya koymuşlardır. *UC* deneyi ile *FC* deneyi arasındaki ilişkinin ise makul bir uyum ($R^2=0.62$ ve $S_{u-UC} / S_{u-FC} = 1.14$) içinde olduğu ifade edilmiştir. *LV* ve *FC* deneyi sonuçları birbirine oldukça yakinken, *UC* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları *FC* deneyinden %15 mertebesinde yüksek çıkmaktadır. Araştırmacılar *FC* deneyi ile *LV* ve *UC* deneyleri arasında makul ilişkiler belirlemişlerdir ancak *UU* deneyi ile makul bir ilişki kuramamışlardır.

Yasun (2018) laboratuvar ortamında tek tip ince daneli zeminden otuz bir zemin numunesi hazırlamıştır. Numuneler, farklı su muhtevalarında (%14,73-%27,26 aralığında) *PP* ve *UC* deneylerine tabi tutulmuştur. Araştırmacı su muhtevası %18 ile %25 arasında değişen numunelerde *PP* ve *UC* deneylerinin birbiriyle oldukça yakın sonuçlar verdiğini

gözlemlemiştir. Ancak su muhtevası %25'ten yüksek zeminlerde *PP* deneyi yapılamamıştır. Bu çalışmaya ait deney sonuçları Şekil 2.9'da sunulmuştur.



Şekil 2.9. PP ve UC deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - su muhtevası ilişkisi (Yasun, 2018)

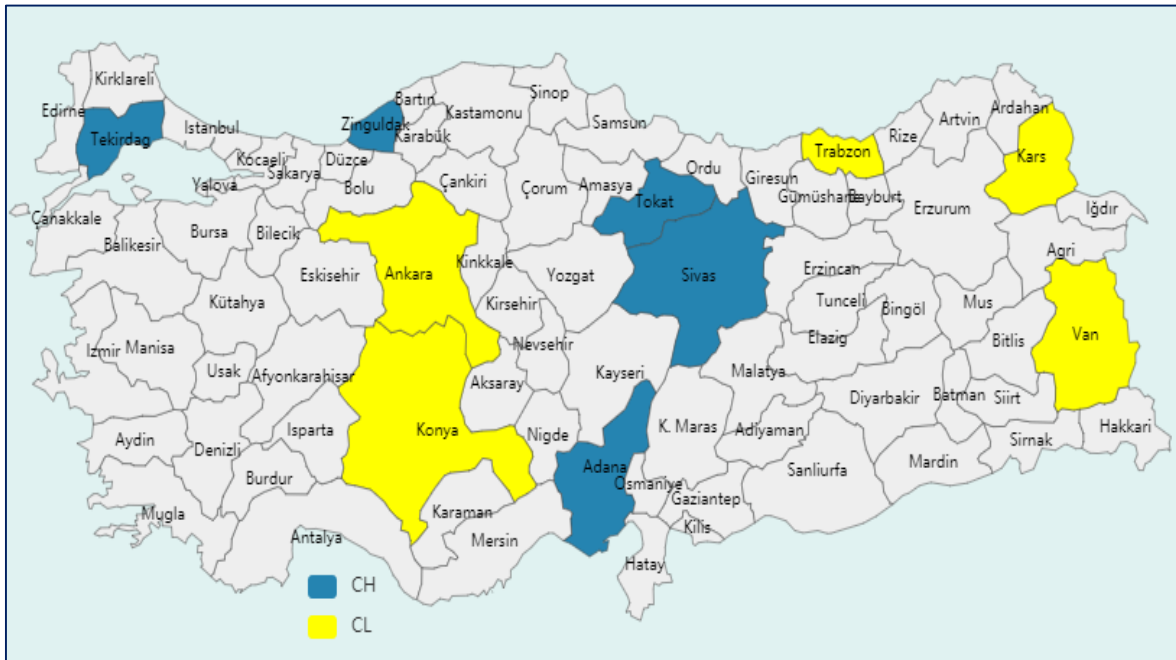
Literatürde mevcut olan bilimsel çalışmalar incelendiğinde; drenajsız kayma dayanımının zemin türüne, dayanımın tespit edildiği deney türüne, deney numunesinin su muhtevası ve kıvamına bağlı olarak farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda deney türleri arasında geliştirilen ilişkilerin zeminlerin mühendislik davranışını belirlemede önem teşkil ettiği belirlenmiştir. Bu çalışmada su muhtevası ve deney türünün drenajsız kayma dayanımı üzerindeki etkisini inceleyen deneysel bir program yürütülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma çerçevesinde farklı su muhtevalarında ve aynı enerji seviyesinde hazırlanan örselenmiş numunelerin drenajsız kayma dayanımı; *FC*, *LV*, *UC*, *UU* ve *PP* deneyleri kullanılarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar ve bu deneylerde kullanılan malzeme özellikleri bu başlık altında incelenmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan kohezyonlu zemin türleri, Türkiye'nin 10 farklı şehrinden (Adana, Ankara, Kars, Konya, Sivas, Tekirdağ, Tokat, Trabzon, Van, Zonguldak) temin edilerek (Şekil 3.1), deneylerde kullanılmak üzere Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik laboratuvarına getirilmiştir. Örselenmiş olarak elde edilen kohezyonlu zemin türleri, doğa şartlarında kurutularak öğütülmüştür. Öğütülen kil numuneleri, Atterberg kıvam limitlerinin belirlenmesi için 40 No.lu (425 µm) elek ile elenmiştir (Şekil 3.2).



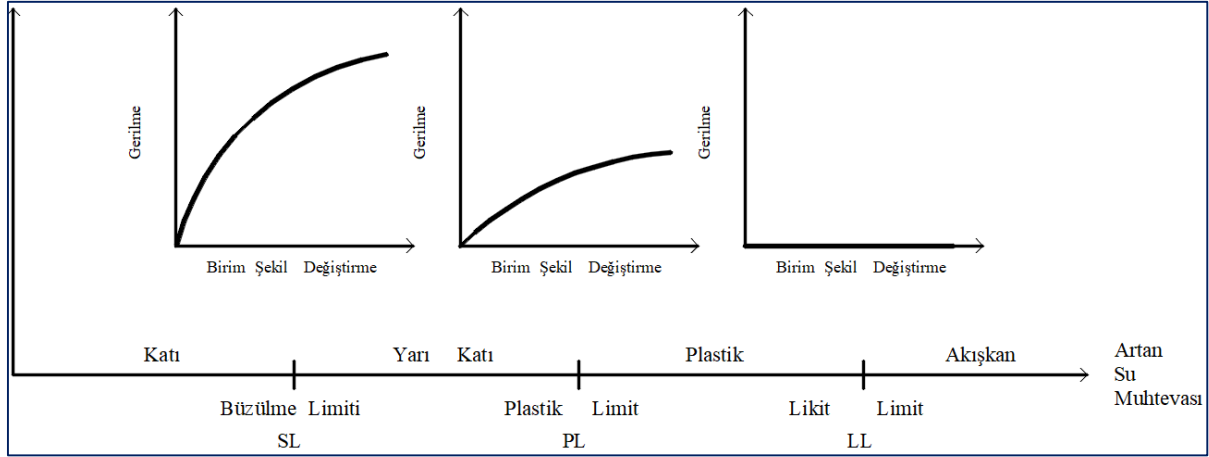
Şekil 3.1. Kullanılan zemin türlerinin temin edildiği lokasyonlar



Şekil 3.2. Kurutulmuş, öğütülmüş, elenmiş zemin numuneleri

3.1.1. Kıvam limitlerinin belirlenmesi

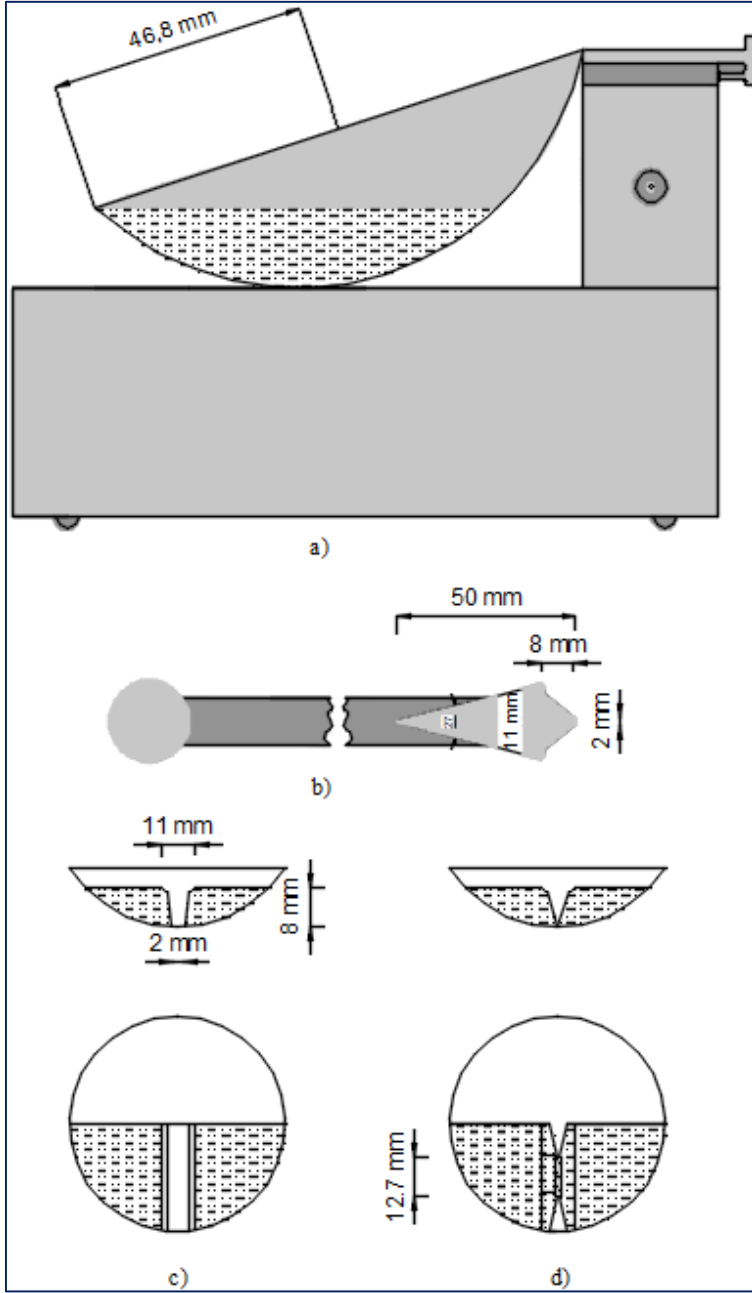
Killi zeminlerin davranışını belirleyen en önemli parametrelerden birisi plastisitedir (Casagrande, 1932). Bu sebeple killi zeminlerin kıvam limitlerinin belirlenmesi ve plastisite cetvelindeki yerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Zeminler, yapısındaki su miktarına bağlı olarak katı, yarı katı, plastik veya sıvı formunda davranış sergileyebilmektedir (Şekil 3.3). Kıvam limitleri ilk kez 1900'lerin başlarında İsveçli mühendis Albert Atterberg tarafından geliştirilmiştir. Atterberg limitleri killi zeminlerin davranışını belirlemede kullanılan referans su muhtevalarıdır. Atterberg, killi zeminlerin davranışını belirlemede kullanılan bir çok kıvam limiti belirlemiş olsa da inşaat mühendisleri tarafından en çok kullanılan kıvam limitleri likit limit ve plastik limittir. Atterberg limitleri kullanılarak zemin numunesinin plastisite cetvelindeki yeri belirlenmekte ve mühendislik davranışı yorumlanabilmektedir.



Şekil 3.3. Atterberg limitleri (Das, 2010: 73)

Likit Limit

Likit limit (LL) yarı sıvı ve plastik kıvamlar arasındaki sınır su muhtevasıdır. LL deneyleri, öğütülmüş ve 40 No.lu (425 μm) elek ile elenmiş kil numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. LL değeri, ilk kez Cassagrande tarafından geliştirilen, mekanik bir alet yardımıyla tespit edilmektedir. Cassagrande likit limit aletine ait şematik çizim Şekil 3.4’te verilmiştir.



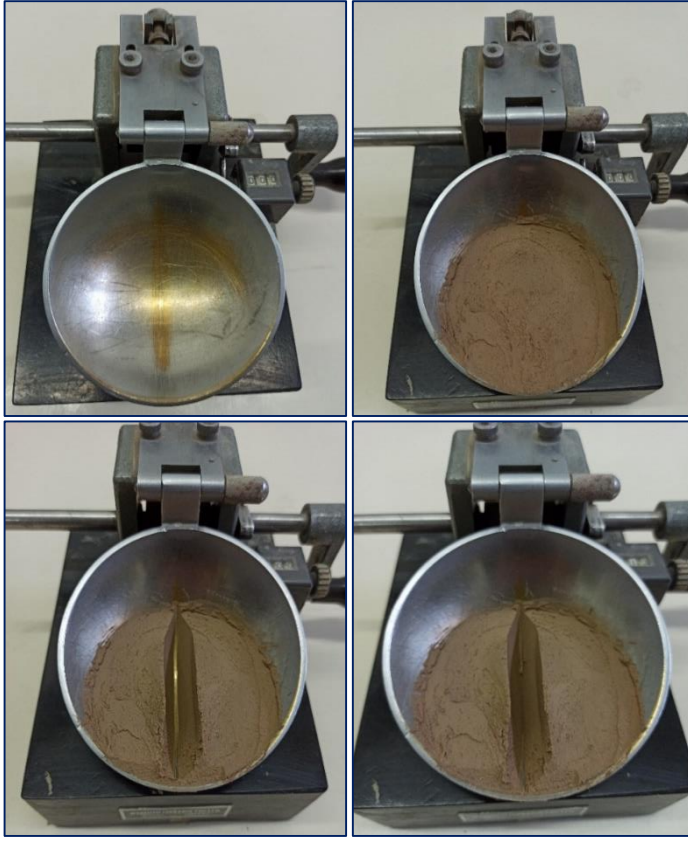
Şekil 3.4. Likit limit deneyi; a) Cassagrande likit limit aleti, b) oluk açma bıçağı, c) test öncesi zemin numunesi, d) test sonrası zemin numunesi, (Das, 2010: 74)

Bu çalışmada, likit limit belirlenirken kullanıcı hatasını minimize etmek için ASTM tarafından önerilen “Çok Noktalı Yöntem” uygulanmıştır. LL belirlenirken aşağıda sunulan aşamalar sırasıyla uygulanmıştır.

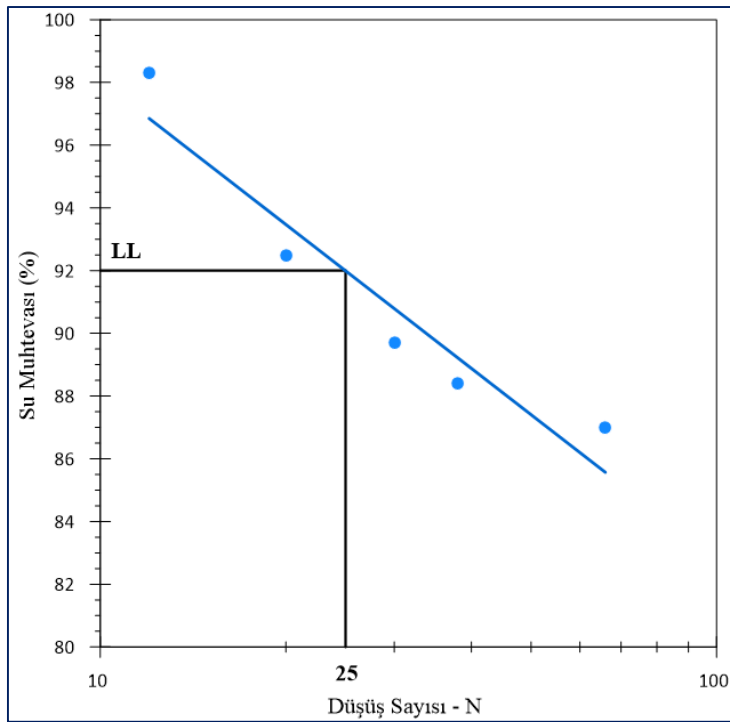
- LL deneyi için 40 no.lu (425 μ m) eleğin altında kalan zemin, saf su ile yoğrulduktan sonra bir gün süreyle hava geçirmeyen nem kabında bekletilmektedir. Böylece, suyun zemin daneleri ile homojen temas kurması sağlanmaktadır.

- Nem kabında 24 saat bekletilen numune karıştırma kabına alınarak bir süre karıştırıldıktan sonra plastik limit deneyi yapılmak üzere yaklaşık 20 gramlık numune alınarak farklı bir kapta bekletilmektedir.
- Geriye kalan zemin numunesi Cassagrande likit limit aletinin pirinç kabına spatula yardımıyla parça parça yerleştirilmektedir. Yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra zemin numunesinin üst yüzeyi, spatula yardımıyla tabana paralel olacak şekilde düzlenir.
- Düzlenen zemin yüzeyi özel bir oluk açma bıçağı yardımı ile iki parçaya ayrılmaktadır. Bıçağın hareketi boyunca kap yüzeyine dik konumlanmasına dikkat etmek gerekmektedir.
- Cassagrande likit limit aletinin döndürme kolu saniyede 2 düşüş yapacak hızda çevrilerek pirinç kabın 10 mm yükseklikten düşmesi sağlanmaktadır. Döndürme kolu zemin numunesinin iki yakası yaklaşık 13 mm boyunca birbirine temas edinceye dek çevrilmektedir (Şekil 3.5).
- 13 mm'lik yarığın kapanması için gereken düşüş sayısı deney föyüne not alınır. Pirinç kap içerisindeki zeminden numune alınarak, elde edilen darbe sayısına karşılık gelen su muhtevası belirlenir.
- Su muhtevası için örnek alındıktan sonra pirinç kap içinde kalan numune karıştırma kabına alınır ve tekrar su eklenerek karıştırılır. Cassagrande aleti temizlenir ve prosedür tekrar edilir.

Yukarıda sayılan bu işlemler, numunenin su muhtevası dört defa arttırılarak, toplamda 5 kez tekrar edilir. Su muhtevası ve kabın düşme sayısının logaritması arasında semilogaritmik bir grafik oluşturularak, oluğun 25 düşüşte kapanması için gereken su muhtevası değeri (LL) tespit edilir (ASTM D4318). CH-1 No.lu deney numunesine ait LL belirleme grafiği Şekil 3.6 ile görülebilmektedir. Diğer zemin numunelerine ait kıvam limitleri belirleme föyleri EK-1'de sunulmuştur.



Şekil 3.5. Casagrande likit limit belirleme aleti



Şekil 3.6. Likit limit belirleme grafiği örneği

Plastik Limit

Plastik limit (PL), zeminin plastik kıvamda olduğu en düşük su muhtevasıdır. LL deneyi için hazırlanmış zemin numunesinden alınıp beklemeye alınan numune ile PL deneyi yapılmaktadır. PL su muhtevası değeri, LL su muhtevası değerinden düşük olmaktadır. Bu nedenle LL deneyi yapılırken alınan numune bir süre doğal koşullarda kurumaya bırakılır. Numunenin PL kıvama yaklaştığına kanaat getirildiğinde avuç içinde yoğrularak iki eşit parçaya ayrılır. Parçalardan biri top haline getirilir ve cam yüzey üzerinde el ayası ile yuvarlanıp silindirik bir çubuk şekline getirilir. Numune 3 mm çapa ulaştığında üzerinde kılcal çatlakların oluşmaya başladığı andaki su muhtevası değeri PL olarak belirlenir. (Şekil 3.7). Numune çapının 3 mm'ye ulaştığında çatlaklar görünmeye başlamamış ise su muhtevası plastik limitten daha yüksektir. Bu durumda numune tekrar küre şeklinde yoğrulur ve avuç içinde yuvarlanarak su muhtevasının düşürülmesi sağlanır. Plastik limit deneyi operatörün tecrübesine büyük oranda bağlı bir deneydir. Tutarlı sonuçlar elde edebilmek için en az iki kez tekrarlanması gerekmektedir (ASTM D4318).



Şekil 3.7. Plastik limit deneyi yapılan numuneye ait örnek uygulama

Bu tez çalışmasında kullanılan zemin numunelerine ait kıvam indisleri belirlenirken kullanılan deney föyleri EK-1'de sunulmuştur.

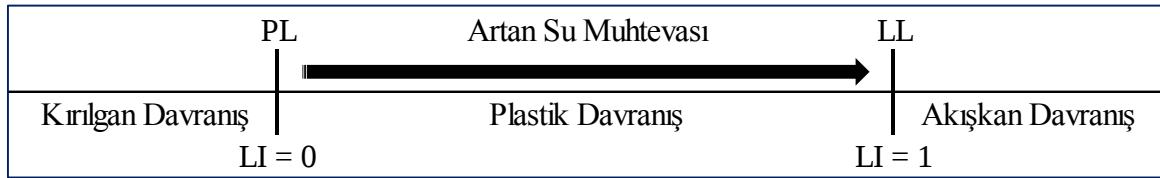
Plastisite İndisi

PL ve LL değerleri arasındaki fark Plastisite İndisi (PI) olarak adlandırılmaktadır. PI ince daneli zeminlerin sınıflandırılmasındaki en önemli parametrelerden biridir. Literatürde PI ile ilişkilendirilmiş birçok zemin davranışı mevcuttur. PI, Eş. 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$PI = PL - LL \quad (3.1)$$

Likitite İndisi

Likitite indisi (LI) ince daneli zeminlerin kıvam durumunu belirlemede kullanılan oldukça önemli bir parametredir. Zeminin yapısına aldığı su muhtevasına bağlı olarak plastisite cetvelindeki yerini ifade etmek için kullanılmaktadır. LI değerinin 1'den büyük olması zeminin akışkan olacağını, 0 ile 1 arasında olması durumunda zeminin plastik davranış sergileyeceğini, 0'dan küçük olması ise zeminin kırılğan bir davranış sergileyeceğini ifade etmektedir (Önalp, 2002: 88) (Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Plastisite cetveli

LI değeri Eş. 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$LI = \frac{(w - PL)}{(LL - PL)} \quad (3.2)$$

Burada w zemin numunesini su muhtevasını, PL plastik limiti, LL likit limiti temsil etmektedir.

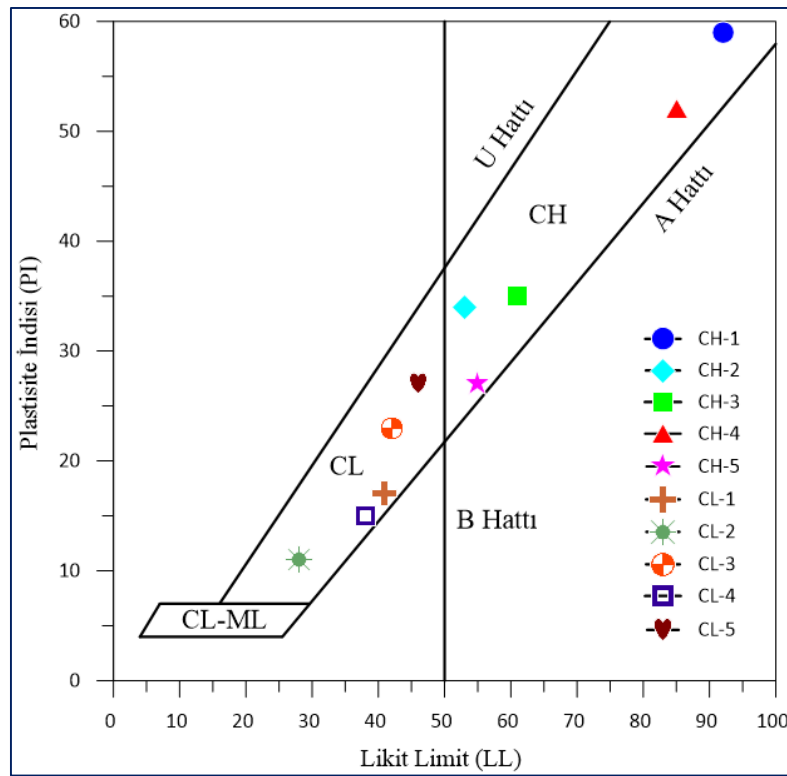
3.1.2. Zemin sınıflarının belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında kullanılan zemin numuneleri Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) tarafından tanımlanan Birleşmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sistemine göre %50'sinden fazlası 200 No.lu (75 μ m) elekten geçen zeminler ince daneli zeminler (kil, silt) olarak adlandırılmaktadır. İnce daneli zeminler ise Cassagrende plastisite kartındaki yerleşimine bağlı olarak isimlendirilmektedir. Cassagrende plastisite kartında sınırlar; A,B ve U hattı olarak adlandırılmaktadır. Likit limit değeri B hattının sağ tarafında kalan zeminler yüksek plastisiteli olup “H” harfi ile simgelenmekteyken B hattının sol tarafında kalan zeminler; düşük plastisiteli olup “L” harfi ile simgelenmektedir. Plastisite kartındaki A hattı, kil ve silt zeminler arasındaki sınır olup killi zeminler “C”, siltli zeminler ise “M” harfi ile simgelenmektedir. U hattı ise plastisite kartındaki üst sınırdır. U hattının üstünde herhangi bir zeminin yer alması mümkün değildir (ASTM D2487).

Bu çalışma kapsamında kullanılan 10 farklı zemin öncelikli olarak 200 no.lu (75 μ m) elekten elenmiştir. Numunelerin %50'sinden fazlasının elek altında kaldığı görülmüş, böylece zeminlerin ince daneli oldukları belirlenmiştir. İnce daneli oldukları belirlenen zeminler 40 No.lu (425 μ m) elekten geçirilmişlerdir. 40 No.lu (425 μ m) elekten geçen zemin numuneleri üzerinde öncelikle LL ve PL deneyleri ASTM D4318'ye uygun olarak yapılmıştır. 10 farklı ince daneli zemine ait LL, PL ve PI değeri Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Zemin numunelerinin Cassagrende plastisite kartındaki yerleşim yerleri ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Zemin numunelerinin beş tanesi yüksek plastisiteli (CH), 5 tanesi ise düşük plastisiteli kil (CL) olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.1. Zemin numuneleri kıvam limitleri

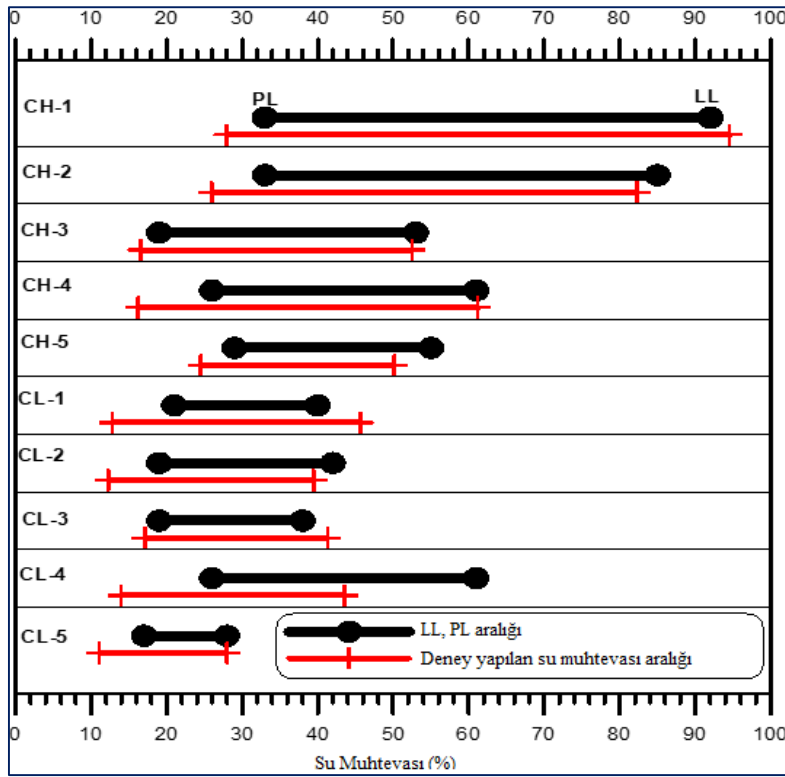
Numune No	Temin Edildiği Lokasyon	Zemin Sınıfı	Sembol	LL	PL	PI
1	Zonguldak	CH	CH-1	92	33	59
2	Tokat		CH-2	53	19	34
3	Tekirdağ		CH-3	61	26	35
4	Sivas		CH-4	85	33	52
5	Adana		CH-5	55	29	26
6	Ankara	CL	CL-1	40	21	19
7	Trabzon		CL-2	28	17	11
8	Kars		CL-3	42	19	23
9	Van		CL-4	38	23	15
10	Konya		CL-5	46	19	27



Şekil 3.9. Zemin numunelerinin Casagrande plastisite kartında yerleşimi

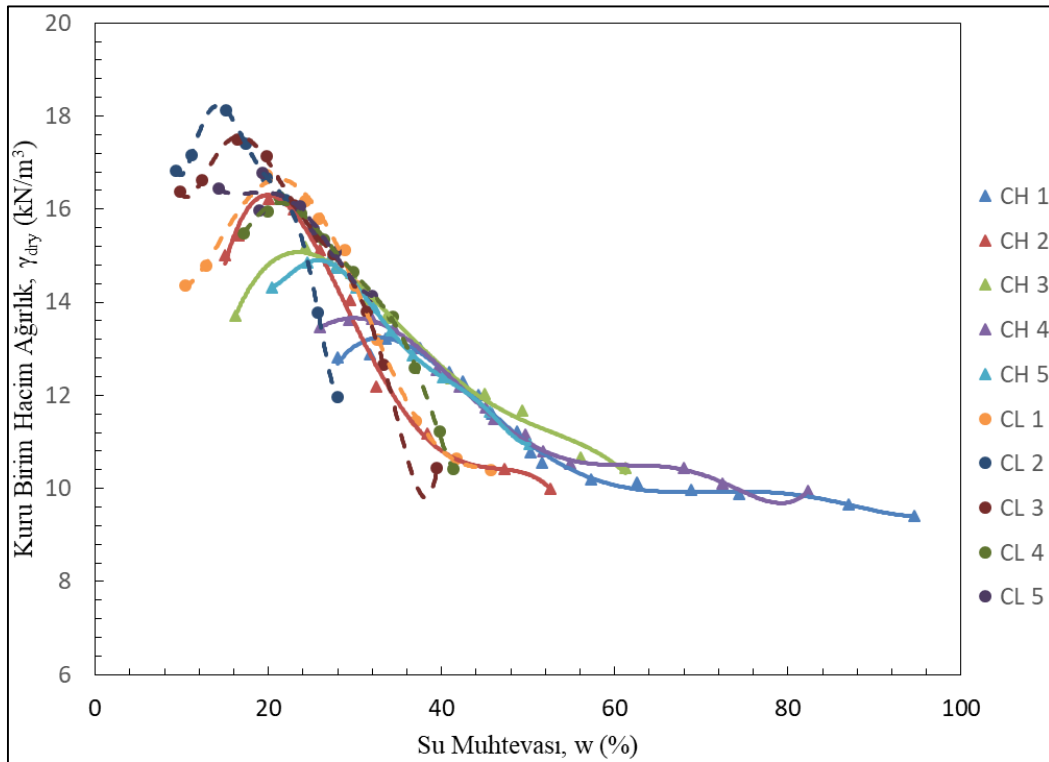
3.2. Drenajsız Kayma Dayanımını Belirlemede Kullanılan Deneysel Yöntemler

İnce taneli zeminlerin kayma dayanımının belirlenmesi, genel olarak laboratuvar ortamında yapılabilen deneylerle mümkün olmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde, sahadaki şartların olabildiğince sağlanması beklenmektedir. Zeminlerin konsolidasyon ve drenaj koşulları, geoteknik tasarımlarda belirleyici unsurları oluşturmaktadırlar. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirleyen deneyler arasında, saha şartlarını en iyi yansıtan laboratuvar testlerinden biri konsolidasyonsuz ve drenajsız üç eksenli (*UU*) deneyidir. Bununla birlikte serbest basınç (*UC*), laboratuvar Vane (*LV*), düşen koni (*FC*), cep penetrometresi (*PP*) deneyleri de drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde oldukça pratik ve etkili deneysel yöntemlerindendir. Bu çalışma kapsamında; *FC*, *LV*, *PP*, *UC* ve *UU* deneyleri kullanılarak örselenmiş killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Su muhtevasının, drenajsız kayma dayanımına etkisinin incelenmesi sebebiyle, çeşitli su muhtevası aralıklarında kil numuneleri hazırlanmıştır. Deney yapılan su muhtevası aralıkları Şekil 3.10'da sunulmuştur.



Şekil 3.10. Zemin numuneleri Atterberg limitleri ve deney yapılan su muhtevası aralıkları

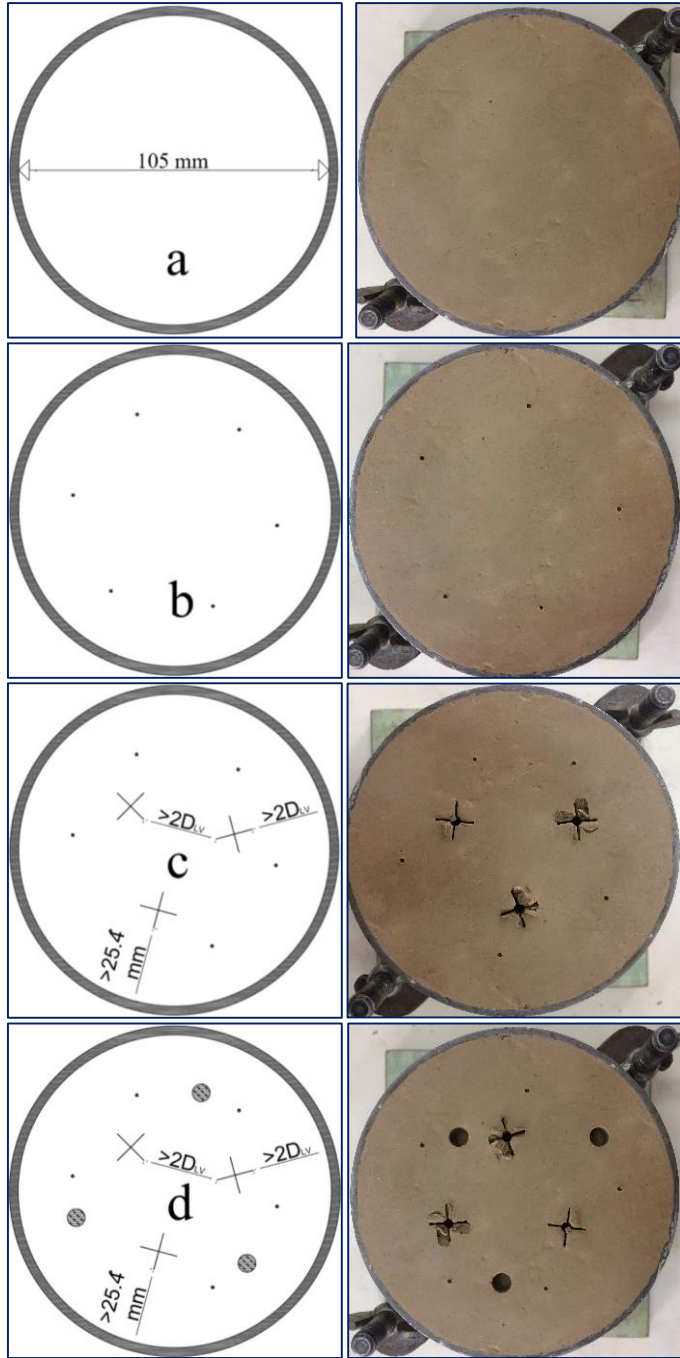
Yapılan laboratuvar çalışmasında, hazırlanan kil numuneleri bir gün nem kabında bekletilerek su muhtevasının numune içerisinde homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Tüm mukavemet deneylerinin eş değer sıkıştırma enerjisi ile yapılabilmesi için, nem kabından alınan kil numunelerine standart Proctor deneyi uygulanmıştır (ASTM D698). Bu deneyde kullanılan Proctor kabının çapı 105 mm ve yüksekliği 117 mm'dir. Kil numunesi Proktor kabına 3 eşit tabaka şeklinde yerleştirilmiş olup, her bir tabaka 2.5 kg ağırlığındaki tokmak yardımıyla 25 darbede sıkıştırılmıştır. Yapılan Proctor deneylerinden elde edilen optimum birim hacim ağırlık değerleri (γ_{max}) Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Zemin numuneleri üzerinde yapılan Proctor deney sonuçları

Proktor kabının yakası çıkarıldıktan sonra, zemin yüzeyi düzlenerek mukavemet deneylerine hazır hale getirilmiştir. Numune yüzeyi üzerinde sırasıyla *FC*, *LV* ve *PP* deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.12). *FC* deneyi 5 farklı noktada, *LV* ve *PP* deneyleri ise 3 farklı noktadan ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Zemin yüzeyinde gerçekleştirilen deneyler sonlandığında, Proktor kabının deney yapılmamış yüzeyinden 36 mm çapında ve 72 mm yüksekliğinde silindirik numune alınarak *UC* deneyi gerçekleştirilmiştir. *UU* deneyi ise proktor deneyi ile belirlenen sıklıkta hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çapı 50 mm ve boyu 105 mm boyutlarındaki zemin numunesi, yoğunluğun homojen olması

ve boşluk kalmaması için 3 tabaka halinde hazırlanmıştır. Kil numunesi her tabaka 35 mm ve toplam numune boyu 105 mm olacak şekilde sıkıştırma aparatına yerleştirilmiştir (Şekil 3.13). Numune yoğunluğunun kontrol altında tutulması amacı ile her katmanda hesaplanan miktarda malzeme kalıp içine koyulmuş ve çekiç üzerindeki işaret çizgilerine kadar sıkıştırılmıştır.



Şekil 3.12. Mukavemet deneyleri uygulama biçimi; a) deney başlangıcı, b) düşen koni deneyi, c) laboratuvar Vane deneyi, d) cep penetrometresi deneyi



Şekil 3.13. UU deneyi için numune hazırlama aparatı

3.2.1. Düşen koni deneyi (FC)

Düşen koni deneyi 1914 yılında killi zeminlerin likit limit değerini belirlemek için İsveç'te geliştirilen bir deney türüdür. İngiliz, İsveç, Kanada ve Japon standartlarında, bu deneyin likit limit değerini belirlemede kullanılması tavsiye edilmektedir (Feng, 2000; Tanaka ve diğerleri, 2012). Ancak pek yaygın bir kullanımı olamasa da kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede de kullanılabilir.

Düşen koni deneyi yapılmadan önce zemin numunesi içine uygun miktarda dinlendirilmiş saf su eklenerek nem kabında bir gün bekletilmektedir. Zemin numunesi, çapı 105 mm ve yüksekliği 115,5 mm olan Proktor kabına 3 tabaka halinde tokmakla sıkıştırılarak yerleştirilir ve numune yüzeyi çelik cetvelle düzelir (ASTM D698). Düşen koni deney aleti tepe açısı 30° , yüksekliği 35 mm, ağırlığı 80 ± 1 gr olan bir koni, şaft çubuğu, deplasman ölçer ve zaman ölçüm cihazından oluşmaktadır. Deney başlamadan önce koninin zemine 90° açı ile saplanması için tabandaki ayaklar yardımıyla cihaz teraziye getirilmelidir. Cihaz teraziye alındıktan sonra 80 gr ağırlığındaki sivri uçlu koni zemin yüzeyini belirgin olmayan bir şekilde çizcek seviyeye kadar indirilir. Penetrasyon ölçümünü yapacak dijital

deplasman ölçer bu aşamada sıfırlanır. Zemin üzerine yerleştirilen koninin şaft kilidi açılarak serbest bırakılır. Konik ucun zemin yüzeyine 5 saniye boyunca penetre olması beklenir (Şekil 3.14). 5 saniye sonra deplasman ölçerden koninin penetrasyon miktarı okunarak kayıt edilir. Koni ucu, nemli ve temiz bir bez yardımıyla temizlenir. Bu prosedür birkaç kez tekrar edilir. Penetrasyon okumaları arasında büyük değişiklikler olmamasına özen gösterilmelidir.

Bu çalışmada yapılan *FC* deneylerinde her bir su muhtevası değeri için hazırlanan numuneler üzerinde 5 farklı penetrasyon okuması yapılmıştır. Çeper etkisinin önüne geçmek için deney noktaları arasında 120°'lik boşluk bırakılmıştır (Şekil 3.12b). Yapılan 5 penetresyon okumasının ortalaması drenajsız kayma dayanımı hesaplarında kullanılmıştır. Eş. 3.3 yardımı ile kil numunelerin drenajsız kayma dayanımları penetrasyon derinliğine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.). Killer serbest basınç dayanımına bağlı olarak yumuşak, katı, sert, çok sert vb. olarak adlandırılabilir. Serbest basınç dayanımı (q_c) ile kıvam arasındaki genel ilişki Çizelge 3.2'de sunulmuştur (Das, 2010: 398). Çok sert killerde penetrasyon ölçümü yapılamadığından, bu su muhtevalarında drenajsız kayma dayanımı ölçülememiştir. *FC* deneyinin yapılabildiği su muhtevası değerleri EK-2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Serbest basınç dayanımı ve kıvam arasındaki genel ilişki

Kıvam	Serbest Basınç Mukavemeti q_c (kPa)
Çok Yumuşak	0-25
Yumuşak	25-50
Orta	50-100
Katı	100-200
Çok Katı	200-400
Sert	>400



Şekil 3.14. Düşen koni deneyi

$$S_u(kPa) = (K \times W) / d^2 \quad (3.3)$$

Burada W koni ağırlığını (g), d koninin penetrasyon değerini (mm) ve K koni sabitini simgelemektedir. K sabiti için farklı araştırmacılar tarafından önerilen değerler Çizelge 3.3’de sunulmuştur. Bu çalışmada koni sabiti (K) olarak, Zreik, Ladd ve Germaine (1995) tarafından belirlenen 0.83 değeri kullanılmıştır. FC deneyi ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zeminlere ait drenajsız kayma dayanımı değerleri EK-2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen koni faktörleri (K)

Araştırmacı	K (Koni Faktörü)
Hansbo (1957)	1
Karlsson (1961)	0.79
Houlsby (1982)	2.89
Wood (1985)	0.85
Zreik ve diğ. (1995)	0.83

3.2.2. Laboratuvar Vane deneyi (LV)

Laboratuvar Vane testi İngiliz ordusu tarafından ince daneli zeminlerin kayma dayanımını tespit etmek için geliştirilen bir laboratuvar deneyidir (Skempton, 1949). Vane bıçağı, deney aletinin düşey yönde hareketini sağlayan kol çevrilerek bıçak çapı kadar numune içine batırılmaktadır. Vane testlerinde yükseklik-çap oranı 1 veya 2 olan bıçaklar kullanılabilir. Bu çalışmada çapı 12.7 mm, yükseklik-çap oranı 1 olan Vane bıçağı ve motorlu Vane cihazı kullanılmıştır. Bıçağın numune içerisine batırılması ile elektrikli motor çalıştırılarak bıçağın numune içinde döndürülmesi sağlanmaktadır. Bıçak dakikada 60-90° dönüş yapacak şekilde hareket ettirilmelidir. Dört kanatlı kesici bıçağın zemin içinde döndürülmesi ile oluşan silindirik kayma yüzeyi üzerinde zeminin kayma direnci yenilerek kesme işlemi gerçekleştirilir. Bıçak tarafından kesmeye karşı oluşan moment, cihaz üzerindeki ölçekten okunarak örselenmiş kohezyonlu zemin numunelerinin drenajsız kayma dayanımları hesaplanabilmektedir. Vane deneyinde kullanılan test düzeneği Şekil 3.15'te sunulmuştur.



Şekil 3.15. Laboratuvar Vane deneyi test ekipmanı

Vane deneyi düşen koni deneyinin tamamlanmasından sonra gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan zemin numunesinde her bir su muhtevası değeri için 3 farklı noktada Vane deneyi gerçekleştirilmiştir. Drenajsız kayma dayanımı hesabında bu üç noktada yapılan okumaların ortalaması dikkate alınmıştır. Elde edilen ortalama değer, Eş. 3.6 ve Eş. 3.7 kullanılarak drenajsız kayma dayanımına dönüştürülmüştür.

$$S_u = \frac{T}{P} \times \beta \quad (3.6)$$

$$P = \frac{\pi D^2 H}{2 \times 10^9} \times \left[1 + \frac{D}{H} \right] \quad (3.7)$$

Burada H bıçak yüksekliğini (mm), D bıçak çapını (mm), T deney aletinden okunan momenti (N × m), β ise kalibrasyon faktörünü(derece / N × m) simgelemektedir. LV deneyinde iki farklı yay kullanılmıştır. LV deneyinde kullanılan yaylar deney öncesi ağırlıklar ile yüklenerek kalibre edilmiştir. Sert killerde 1 numaralı yay kullanırken, yumuşak killerde 2 numaralı yay kullanılmıştır. Bu yaylara ait kalibrasyon eğrileri ve kalibrasyon faktörleri (β) Şekil 3.16'da görülebilmektedir. LV deneyi ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zeminlere ait drenajsız kayma dayanımı değerleri EK-3'de sunulmuştur.

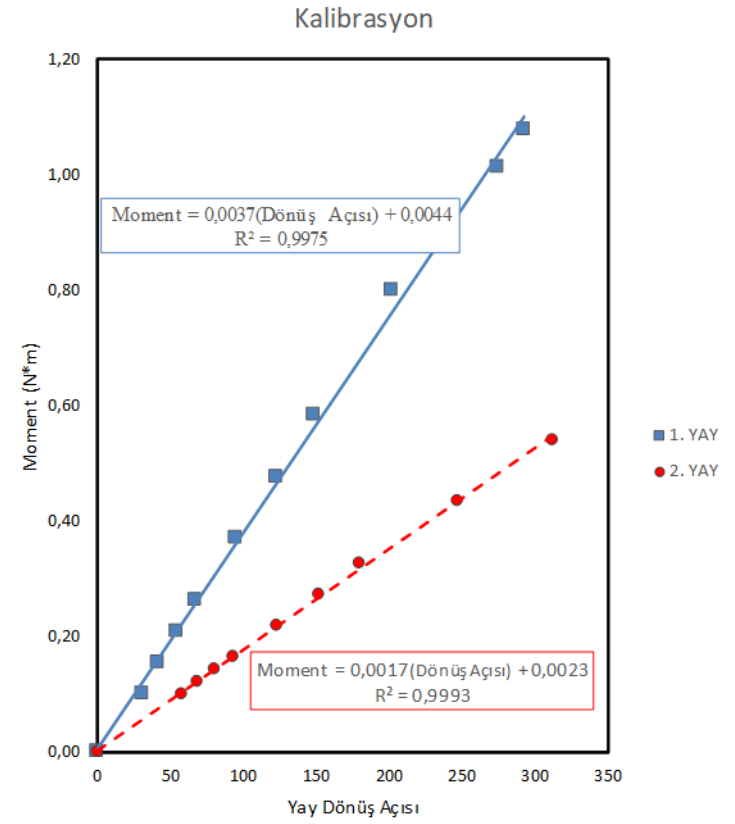
Şekil 3.16. LV deneyi yay kalibrasyonları

1103-71083 KN LVT YAY KALİBRASYONU - 12.04.19

Moment Kolu (cm) = 10,97

1103-71083 KN 1. YAY						
Yükleme (gf)	Yükleme (kgf)	Moment (kgf*cm)		Okumalar $\emptyset$	Okuma Farkı $\emptyset$	Net Okuma $\emptyset$
0	0,00	0,00	0,00	17	0	0
93,21	0,09	1,02	0,10	49	32	32
50,12	0,14	1,57	0,15	59	10	42
49,87	0,19	2,12	0,21	72	13	55
49,95	0,24	2,67	0,26	85	13	68
100,16	0,34	3,77	0,37	113	28	96
100,01	0,44	4,86	0,48	140	27	123
99,89	0,54	5,96	0,58	166	26	149
199,9	0,74	8,15	0,80	220	54	203
199,93	0,94	10,35	1,01	292	72	275
60,05	1,00	11,00	1,08	310	18	293

1103-71083 KN 2. YAY						
Yükleme (gf)	Yükleme (kgf)	Moment (kgf*cm)		Okumalar $\emptyset$	Okuma Farkı $\emptyset$	Net Okuma $\emptyset$
0	0,00	0,00	0,00	50	0	0
93,21	0,09	1,02	0,10	108	58	58
19,9	0,11	1,24	0,12	119	11	69
19,84	0,13	1,46	0,14	131	12	81
20,32	0,15	1,68	0,16	143	12	93
50,12	0,20	2,23	0,22	173	30	123
49,87	0,25	2,78	0,27	202	29	152
49,95	0,30	3,33	0,33	230	28	180
100,16	0,40	4,42	0,43	297	67	247
100,01	0,50	5,52	0,54	362	65	312



3.2.3. Cep penetrometresi deneyi (PP)

Cep penetrometresi; hem laboratuvarda hem de arazide kullanılabilecek bir deney türüdür. Piston içine yerleştirilmiş bir yay ve bu yayın ucundaki silindir başlıktan oluşmaktadır (Şekil 3.17). Silindir başlığın zemin numunesine yaklaşık 6 mm batırılması ile serbest basınç dayanımı (q_c) piston üzerinde okunabilmektedir (Şekil 3.18). Piston üzerinde okunan değer yarı, zemin numunesine ait drenajsız kayma dayanımı (S_u) olarak kullanılmaktadır (Eş. 3.8).

$$q_c = 2S_u \quad (3.8)$$



Şekil 3.17. Cep penetrometresi deneyi ekipmanları

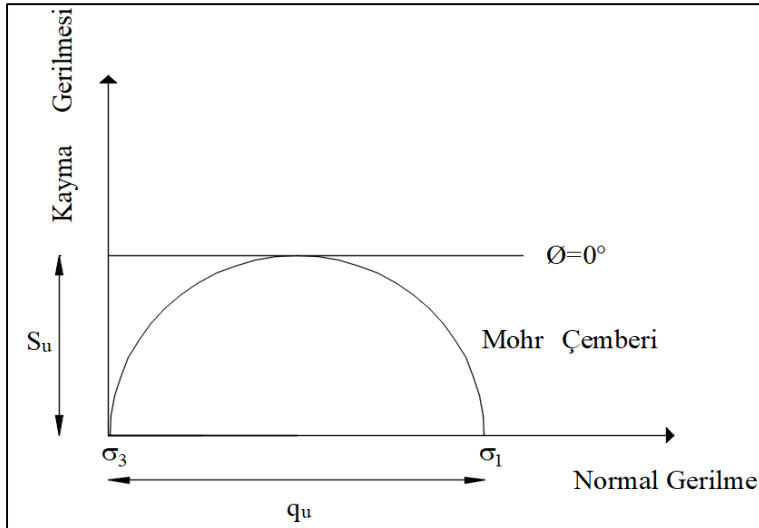


Şekil 3.18. Cep penetrometresi ile drenajsız kayma dayanımı bulunması örneği

LV deneyinin tamamlanmasına müteakip cep penetrometresi deneyleri gerçekleştirilmiştir. *PP* deneyi örselenmiş zemin numunesinin yüzeyinde, 3 farklı noktada gerçekleştirilmiş ve kayma dayanımı hesaplarında bu üç değer ortalaması kullanılmıştır. Deney aleti üzerinde okunan penetrometre direncinin drenajsız kayma dayanımına dönüştürülebilmesi için Eş. 3.8 kullanılmıştır. Yumuşak zeminlerde, 6.35 mm'lik uç, yay üzerinde gerilme oluşturmadığından, çapı 25.4 mm olan büyük başlık kullanılmıştır (Şekil 3.17). Ölçüm yapılan cep penetrometresi cihazında, maksimum 225 kPa değerindeki drenajsız kayma dayanımı ölçülebilmektedir. Bu nedenle çok sert killerde ölçüm yapılamamıştır. *PP* deneyi ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zeminlere ait drenajsız kayma dayanımı değerleri EK-4'de sunulmuştur.

3.2.4. Serbest basınç deneyi (UC)

Serbest basınç deneyi, kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımı değerinin tespitinde kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Çevresel hücre basıncın uygulanmadığı bu deney düzeneğinde düşey bir yükleme söz konusudur. Serbest basınç deneyinde boşluk suyu basınçlarının belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Çevresel basıncın uygulanamaması, numunenin örselenmesi, doğru doygunluk değerinin sağlanamaması ve boşluk suyu basıncının belirlenememesi gibi nedenler serbest basınç deneyi için dezavantaj oluştururken, hızlı ve pratik bir deney olması avantaj sağlamaktadır. Bu deneyde oluşan Mohr çemberi Şekil 3.19 ile görülebilmektedir.



Şekil 3.19. Serbest basınç deneyi Mohr çemberi

Yükleme süresince numunenin kesit alanında Eş. 3.9’da belirtildiği gibi, bir artış meydana gelmektedir (ASTM-D2166).

$$A = A_0 / (1 - \epsilon_z) \quad (3.9)$$

$$\epsilon_z = \Delta L / L_0 \quad (3.10)$$

$$q_c = P_{max} / A = 2S_u \quad (3.11)$$

Burada ΔL yüklemeye maruz kalan zemin numunesinin boyundaki değişimi, L_0 numunenin yükleme öncesi boyunu, ϵ_z numunenin eksenel birim şekil değişimini, A_0 deney

başlangıcında numunenin kesit alanını, P_{max} ise yükleme sırasında oluşan en büyük eksenel kuvveti temsil etmektedir. Numunenin taşıyabildiği maksimum gerilme, serbest basınç dayanımı; maksimum gerilmenin yarısı ise drenajsız kayma dayanımı olarak tanımlanabilmektedir (Eş. 3.11).

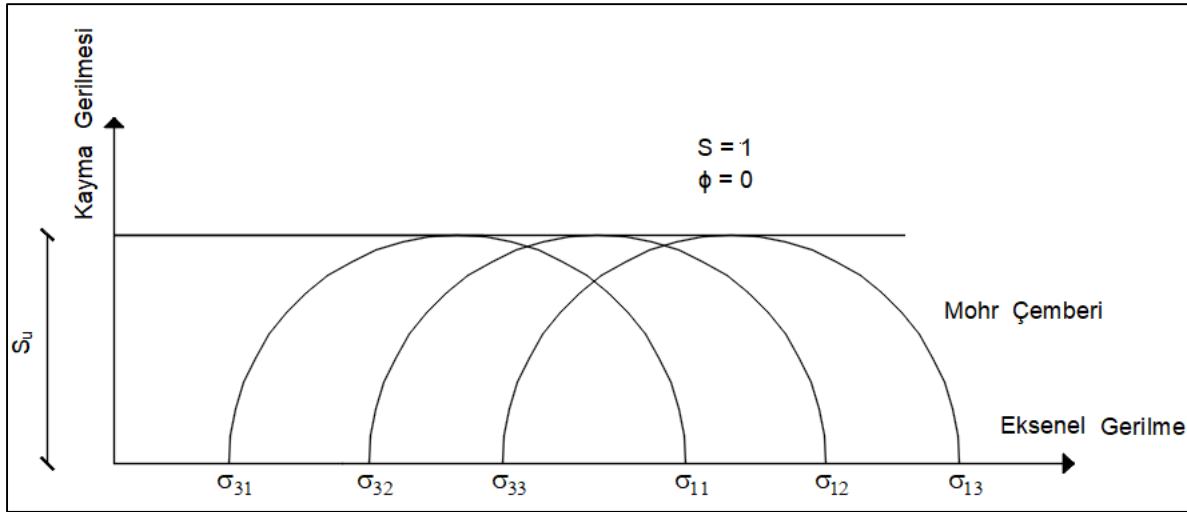
Sırasıyla *FC*, *LV* ve *PP* deneylerinin gerçekleştirilmesinin ardından proktor kabındaki numunenin penetrasyon deneylerinin yapılmadığı yüzeyinden serbest basınç deneyi için numune alınmıştır (Şekil 3.20). Numune alıcıdan çıkarılan numune, yükleme hücresine yerleştirilerek *UC* deneyleri gerçekleştirilmiştir. *UC* cihazındaki kuvvet ve deformasyon saatleri sıfırlanarak yüklemeye başlanmıştır. Her 0,2 mm'lik eksenel deformasyonda düşey gerilme not edilerek, gerilme – birim şekil değiştirme eğrisi elde edilmektedir. Düşey gerilmenin maksimum değeri aşması veya gerilmenin sabitlenmesi gerçekleşene kadar yükleme devam ettirilir. Düşey gerilme sabitlense dahi en az 5 okuma daha alınmalıdır. Numunenin yenildiği belirlendikten sonra su muhtevasını belirlemek için örnek alınarak, deney tamamlanmaktadır. *UC* deneyinde hücresel basınç veya hava ile teması engelleyen bir izolator olmadığı için deney süresince numunenin su muhtevasında azalmalar olmaktadır. Deney sonuçlarının doğru belirlenmesi için numunenin hızlı yüklenmesi gerekmektedir. Bu sebeple numuneler 0.8 mm/dk hız ile yüklenerek, *UC* deneyleri gerçekleştirilmiştir. *UC* deneyi ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zeminlere ait drenajsız kayma dayanımı değerleri EK-5'te sunulmuştur.



Şekil 3.20. Serbest basınç testi numunesi

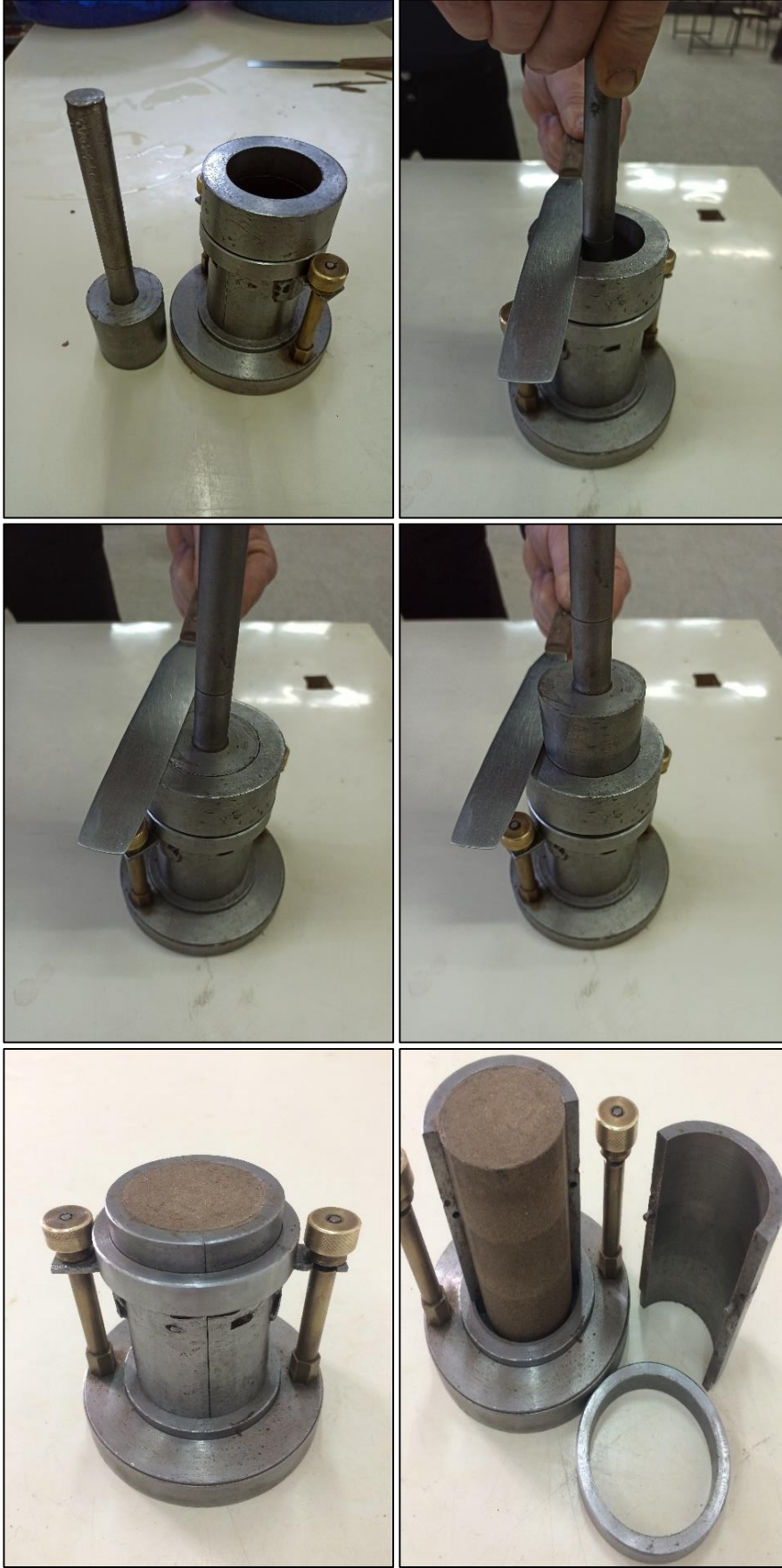
3.2.5. Üç eksenli basınç (UU) deneyi

Zeminler arazide üç eksenli gerilme etkisi altında oldukları için gerçeğe en yakın dayanımlar üç eksenli deneyler ile elde edilebilmektedir. Üç eksenli deneyler; drenaj ve yükleme durumuna göre farklı şekillerde olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında zemin numunelerinin kayma dayanımı, konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi (UU) ile belirlenmiştir. Bu deneyde, düşey gerilmenin hızlı bir şekilde uygulanması sebebiyle drenaja izin verilmemektedir. UU deneyi tam doymuş kil numunesi ($S=1$) üzerinde yapılması durumunda zeminin içsel sürtünme açısı sıfır olmaktadır. Doymuşluk derecesinin 1 olması durumunda UU deneyinde elde edilmesi beklenen Mohr çemberi Şekil 3.21 ile görülebilmektedir.



Şekil 3.21. Üç eksenli basınç (UU) deneyi Mohr çemberi

Bu çalışmaya konu olan UU deneylerinde; zemin numuneleri çapı 5 cm, boyu 10 cm (çap/boy oranı $\frac{1}{2}$) olacak şekilde hazırlanmıştır. Zemin, Proktor deneyi ile belirlenen birim hacim ağırlıkta ve 3 katman halinde numune hazırlama aparatının içerisine yerleştirilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. UU deney numunesi hazırlanması

UU deneyleri aşağıda belirtilen sıra ile gerçekleştirilmiştir.

- Hazırlanan silindirik numune basınç hücresi içerisindeki başlığa yerleştirilmiştir. Numunenin hem alt yüzeyine hem de üst yüzeyine başlıklar yerleştirilerek yüklemenin numuneye aktarılması sağlanmıştır. Üst başlık üzerinde pistondan gelen yükün aktarılması için bir bilye yatağı ve bilye olması gerekmektedir.
- Membran kılıf gerdirme aparatı ile gerdirilerek numune üzerine geçirilmiştir. Membran üzerine, başlık seviyesinde, lastik contalar geçirilerek numunenin deney süresince su ile temas etmesi engellenmiştir (Şekil 3.23).
- Numunenin basınç hücresine yerleştirilmesi akabinde hücre kapatılarak saf su ile doldurulmuştur. Basınç sistemi ayarlanarak numune çevresine hücresel basınç uygulanmıştır. Hücresel basıncın sabitlenmesi ile birlikte düşey yükleme pistonu numune üzerine tam yerleşecek şekilde ayarlanmıştır.
- Kuvvet ve deplasman ölçerler sıfırlanarak numune üzerine deviatör gerilme uygulanmıştır. Numune boyundaki her 0,2 mm’lik değişimde eksenel yük okunarak gerilme – birim şekil değiştirme eğrileri belirlenmiştir.
- Maksimum yükleme değeri aşılan veya eksenel deformasyon %20 seviyesine ulaşana kadar eksenel yükleme devam ettirilmiştir.
- Numunenin yenildiği belirlendikten sonra hücresel basınç sıfırlanarak, basınç hücresi boşaltılmıştır. Lastik contalar ve membran kılıf çıkarıldıktan sonra numunenin su muhtevası belirlenmiştir.

Yukarıda sıralanan deney prosedürü aynı özelliklere sahip zemin numunesi için 3 farklı hücresel basınçta tekrarlanmıştır. Bu çalışmada zemin numuneleri sırasıyla 50, 100, 200 kPa’lık hücresel basınç altında test edilmiştir.

Diğer üç eksenli deneylerden farklı olarak *UU* deneyinde numune hızla yüklenmekte ve numune içerisindeki suyun drene olmasına izin verilmemektedir. Bu tez çalışmasında numuneler 0.8 mm/dk hız ile düşey yönde yüklenmiş ve yenilmeye maruz bırakılmıştır (Şekil 3.24). *UU* deneyi ile elde edilen, örselenmiş kohezyonlu zeminlere ait drenajsız kayma dayanımı değerleri EK-6’te sunulmuştur.



Şekil 3.23. Membran kılıf içine alınmış UU deneyi numunesi



Şekil 3.24. Üç eksenli basınç (UU) deneyi ekipmanları

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada; örselenmiş kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımının su muhtevasına bağlı değişimi serbest basınç (*UC*), üç eksenli (*UU*), laboratuvar Vane (*LV*), düşen koni (*FC*) ve cep penetrometresi (*PP*) deneyleri kullanılarak araştırılmıştır.

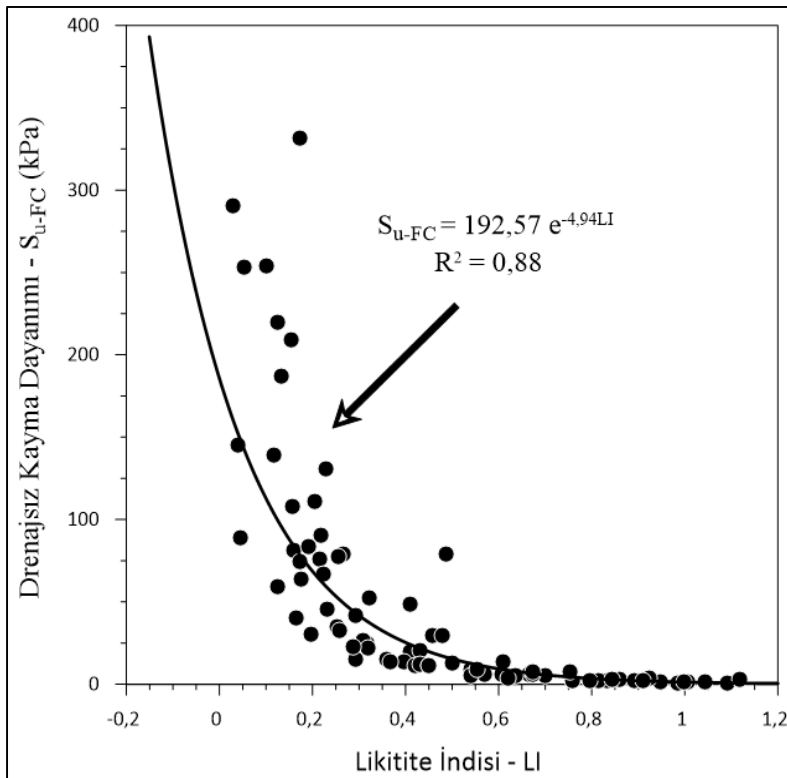
Kıvam limitleri, killi zeminlerin davranışı belirleyen en önemli parametrelerden birini teşkil etmektedir (Casagrande, 1932). Likitite indisi (*LI*), ince daneli zeminlerin kıvam durumunu belirlemede kullanılan oldukça önemli bir indistir. Ayrıca, likitite indisi ve drenajsız kayma dayanımı arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur (Leroueil, Tavenas ve Bihan, 1983; Koumoto ve Houlsby, 2001; Yang ve diğerleri, 2006; Berilgen, Kılıc ve Ozaydin, 2007; Edil ve Benson, 2009; Vino Sridharan, Deepa, Haigh ve Verdanega, 2013; Raheem, Vipulanandan ve Ayoub, 2013; Vardanega ve Haigh, 2014; Shi ve Herle, 2015; Kayabalı ve diğerleri, 2015; Kuriakose ve diğerleri, 2017; Ullah, Rahman ve Ahammad, 2017; Chacko ve Jacob, 2018; Shimobe ve Spagnoli, 2019). Bu çalışma kapsamında, tüm mukavemet deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının likitite indisi ile ilişkisi irdelenmiştir. On farklı kil zemin ile otuz adet *UU*, altmış beş adet *UC*, seksen beş adet *FC*, yüz dört adet *LV* ve doksan dokuz adet *PP* deneyi yapılmıştır (Çizelge 4.1). Artan su muhtevası ile birlikte zemin davranışının akışkan kıvama yöneliyor olması sebebiyle yüksek su muhtevası değerlerinde *UU* ve *UC* deneyleri gerçekleştirilememiştir. Benzer şekilde düşük su muhtevalarında zemin davranışının plastik kıvama yöneliyor olması sebebiyle penetrasyon deneyleri (*FC*, *LV*, *PP*) yapılamamıştır.

Çizelge 4.1. Örselenmiş kohezyonlu zemin numunelerinin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılan deneyler ve gerçekleştirilen deney sayıları

Test İsmi	Sembol	Gerçekleştirilen Deney Sayısı
Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Deney	UU	30
Serbest Basınç Deneyi	UC	65
Düşen Koni Deneyi	FC	85
Laboratuvar Vane Deneyi	LV	104
Cep Penetrometresi Deneyi	PP	99

4.1. Düşen Koni Deneyi Bulguları

Düşen koni deneyi (*FC*) yaygın bir kullanımı olmamasına rağmen kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılabilir. Tepe açısı otuz derece, yüksekliği otuz milimetre ve ağırlığı seksen gram olan yüzeyi pürüzsüz bir koni zemin üzerine serbest düşürülerek kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımı tespit edilmektedir. *FC* deneyinin yumuşak killerde yapılması tavsiye edilmektedir (Holtz ve diğerleri, 2015: 586). Bu sebeple su muhtevası düşük olan, sert killerde *FC* deneyi gerçekleştirilememiştir. Toplamda on farklı killi örselenmiş zemin numunesi üzerinde seksen beş farklı su muhtevasında, *FC* deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, *FC* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı (S_{u-FC}) likitite indisi ilişkisi Şekil 4.1’de görselleştirilmiş ve deney sonuçları EK-2’de verilmiştir. Artan su muhtevası ile birlikte drenajsız kayma dayanımlarında azalmalar görülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. *FC* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

Deney sonuçlarını temsil etmesi için yerleştirilen eğriler incelediğinde üstel bir eğrinin ($R^2 = 0,88$), drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisini daha doğru temsil ettiği görülmüştür.

FC deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisini temsil eden ampirik formülasyon (Eş. 4.1) aşağıda sunulmuştur.

$$S_{u-FC} = 192,57 e^{-4,94LI} \quad (4.1)$$

FC deney sonuçları incelendiğinde çoklu regresyon katsayısının drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinde, drenajsız kayma dayanımı - su muhtevası ilişkisine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Kıvam durumunun killi zeminlerin davranışına etkisi düşünüldüğünde bu durum beklenen bir sonuç olarak görünmektedir. Bu sebeple drenajsız kayma dayanımının likitite indisi ile ilişkilendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Birçok araştırmacı *FC* deneyi ile elde ettikleri drenajsız kayma dayanımları ile likitite indisi arasında ilişkiler geliştirmişlerdir (Koumoto ve Houlsby, 2001; Yang ve diğerleri, 2006; Shi ve Herle, 2015). Bu çalışma ile elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi davranışının literatürdeki diğer çalışmalarla ilişkisi görselleştirilmiştir (Şekil 4.2).

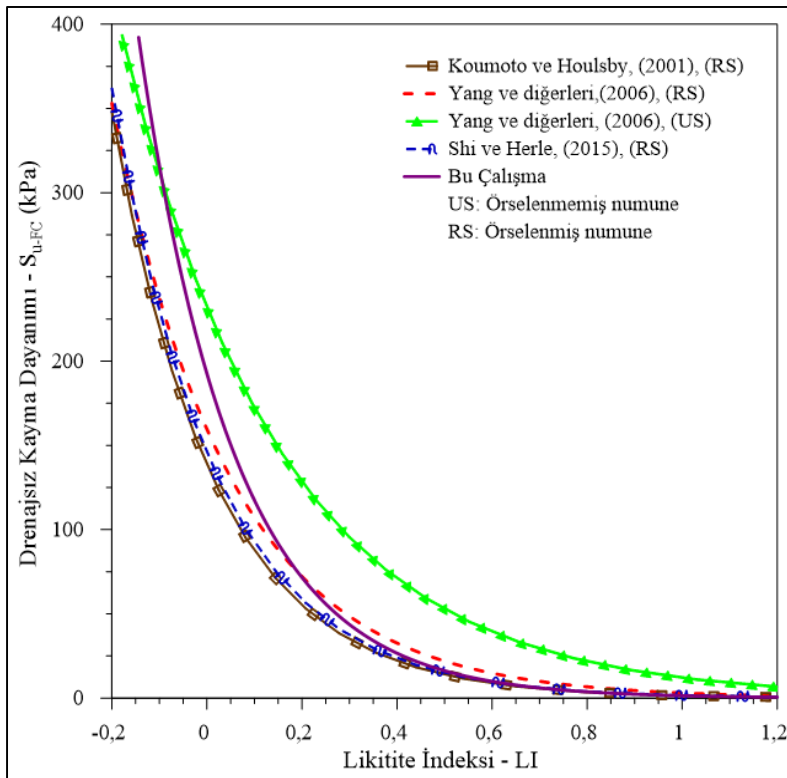
Düşen koni deneyinin, plastik kıvamdaki zeminlere uygulaması uygun değildir (Wood ve Wroth, 1978; Wasti ve Bezirci, 1986). Plastik kıvamdaki zeminlerin deney sonuçları literatürle örtüşmemektedir. Ancak bu çalışma kapsamında geliştirilen ilişkinin, artan likitite indisi değerleriyle birlikte literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 4.3). Aynı zamanda örselenmemiş zeminlerde gerçekleştirilen *FC* deneyleri, çalışma kapsamında gerçekleştirilen *FC* deneylerine göre farklılık gösterirken, örselenmiş zeminlerde yapılan *FC* deneylerinin bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerle örtüştüğü Şekil 4.2’de görülmektedir.

Koumoto ve Houlsby (2001) yapmış oldukları *FC* deneyleri sonucunda, drenajsız kayma dayanımını likitite indisine bağlı olarak formüle etmişlerdir. Araştırmacıların ortaya koydukları bağıntı, bu çalışma sonucunda elde edilen bağıntıyla büyük oranda uyumludur. Hem araştırmacıların gerçekleştirdiği çalışmada, hem de bu tez çalışmasında benzer zemin numuneleri kullanıldığı için deney sonuçları arasında büyük farklılıklar görülmemiştir.

Yang ve diğerleri (2006) hem örselenmiş hem de örselenmemiş kil zemin numuneleri üzerinde *FC* deneyini uygulamışlardır. Araştırmacıların örselenmemiş numuneler üzerinden elde ettikleri deney sonuçlarının, bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçlarına göre oldukça yüksek değerler aldığı görülmüştür. Örselenmiş numunelerde deney sonuçları, yüksek likitite

indislerinde bu çalışma ile birebir uyum gösterirken, düşük likitite indisi değerlerinde ise bu çalışmadan maksimum % 10 daha yüksek sonuçlar ile karşılaşılmıştır. Örselenmemiş zemin numunelerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının, örselenmiş zemin numunelerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarından yüksek değerler alması beklenen bir davranıştır. Bununla birlikte araştırmacılar çalışmalarında kil ve silt zeminler kullanırken bu tez çalışması kapsamında sadece kil zeminler kullanılmıştır. Buna bağlı olarak deney sonuçları arasında farklılıklar meydana gelmiştir.

Shi ve Herle (2015) yüksek ve düşük plastisiteli, örselenmiş, ince daneli zeminlerde yapmış oldukları *FC* deneylerinden elde ettikleri ilişkiler, bu tez çalışması kapsamında elde edilen ilişkilerle oldukça benzerdir. Kullanılan numunelerinin zemin sınıfları ve örselenme durumlarının benzer olması sebebiyle araştırmacıların yürüttükleri çalışma ile bu tez çalışmasının sonuçları arasında oldukça yüksek bir uyum söz konusudur.



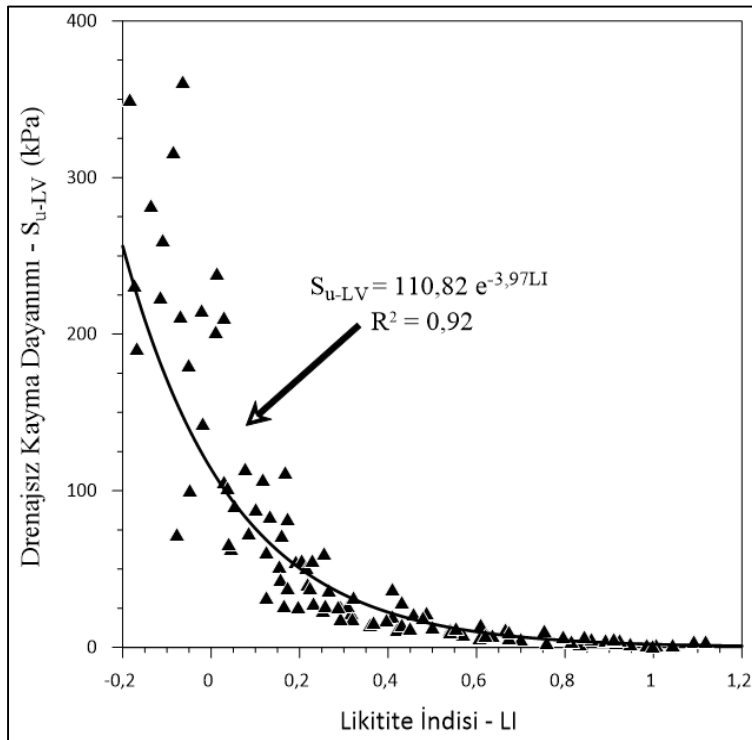
Şekil 4.2. FC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi

4.2. Laboratuvar Vane Deneyi Bulguları

Laboratuvar Vane deneyi ilk kez İngiliz ordusu tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Skempton, 1949). Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kayma dayanımını belirlemede kullanılan en uygun deney yöntemlerinden biridir (Sridharan ve Prakash, 1999). *LV* deneyi ile drenajsız kayma dayanımı hesaplanırken plastisite indisine (PI) bağlı düzeltme katsayıları kullanılabilmektedir (Bjerrum, 1973). Bu çalışmada, *LV* deneyi ASTM D4648'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. *LV* deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanımları Eş. 4.2'ye göre düzeltilmiştir (Bjerrum, 1973).

$$\mu = 1,7 - 0,54 \times \log[PI(\%)] \quad (4.2)$$

LV deney sonuçları EK-3' te verilmiştir. Bu deneye ait drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi Eş. 4.3'te sunulmuştur. Üstel regresyon eğrisi, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisini en iyi temsil eden seçenek olmuştur ($R^2 = 0.92$). Oluşturulan regresyon eğrisinin *LV* deneyi ile yapılan diğer çalışmalarla (Vinod ve diğerleri, 2013; Kayabalı ve diğerleri, 2015; Kuriakose ve diğerleri, 2017; Ullah ve diğerleri, 2017) ilişkisi Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.3. *LV* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

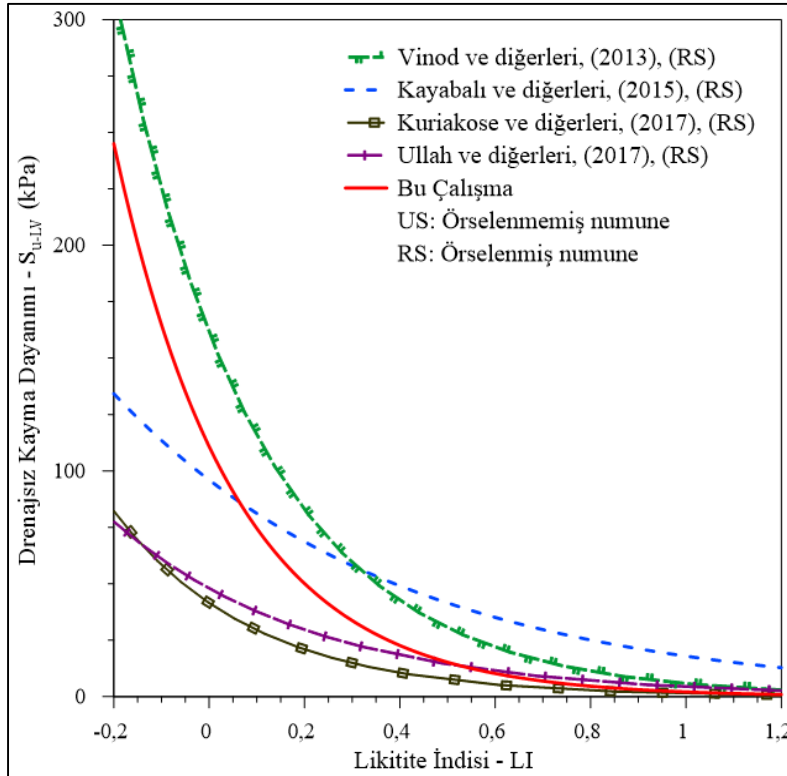
$$S_{u-LV} = 110,82 e^{-3,97LI} \quad (4.3)$$

Bu tez çalışması kapsamında yapılan *LV* deneylerinden elde edilen değerler, Kayabalı ve diğerleri (2015) tarafından elde edilen değerlerden daha düşüktür (Şekil 4.4). Araştırmacılar gerçekleştirmiş oldukları deneysel çalışmada, sadece yüksek plastisiteli zemin numuneleri kullanırken, bu tez çalışması kapsamında hem yüksek plastisiteli hem de düşük plastisiteli zemin numuneleri kullanılmıştır. Kullanılan zemin türündeki farklılıklar deney sonuçları arasında farklılıkları makul kılmaktadır.

Vinod ve diğerleri (2013) *LV* deneyi ile drenajsız kayma dayanımını belirledikleri çalışmada siltli ve killi zemin numuneleri kullanmışlardır. Gerek deney çalışmasında kullanılan zemin türlerindeki farklılıklar gerekse de *LV* deneyinin operatör kullanımından fazlaca etkileniyor olması sebebiyle araştırmacılar tarafından önerilen eşitlik ile bu çalışma kapsamında önerilen eşitlik arasında farklılıklar oluşmuştur (Şekil 4.4).

Kuriakose ve diğerleri (2017) *LV* deneyi kullanarak likitite indisi ve drenajsız kayma dayanımını arasında geliştirdikleri ilişki, bu tez çalışmasından daha düşük sonuçlar vermiştir (Şekil 4.4). Bu farklılıklar araştırmacıların çalışmalarında *PI* değeri 387 gibi yüksek değerlere sahip bentonit kil kullanmış olmalarından kaynaklanmaktadır. Deney yapılan zeminlerin kıvam indislerindeki farklılıklar, sonuçlar arasındaki farklılıkları makul kılmaktadır.

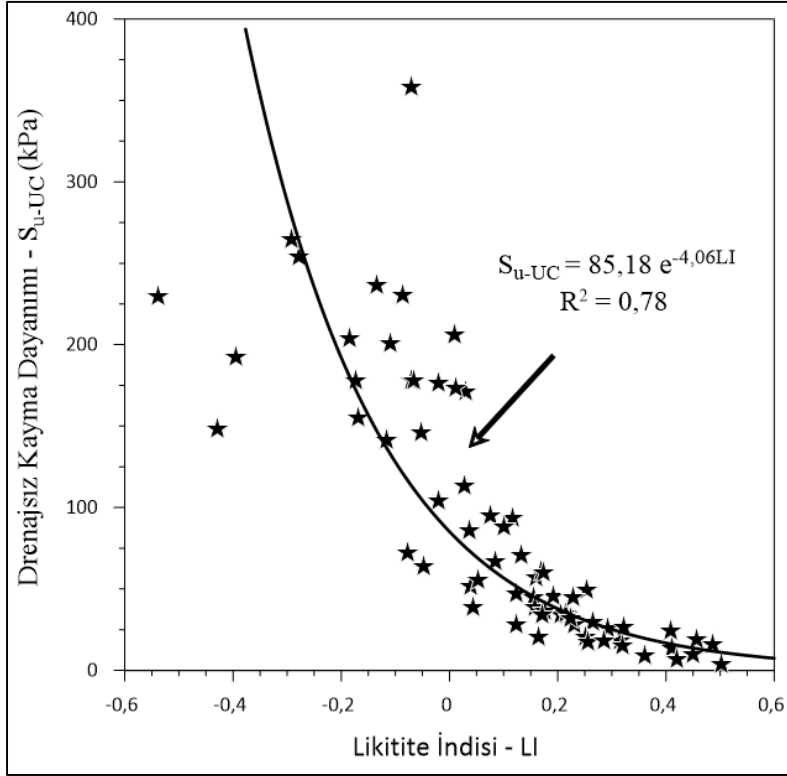
Ullah ve diğerleri (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya ait deney sonuçları bu tez çalışması kapsamında yürütülen deney sonuçlarına nazaran daha düşük sonuçlar sergilemiştir (Şekil 4.4). Araştırmacılar çalışmalarında sadece düşük plastisiteli kohezyonlu zeminler kullanırken bu çalışma kapsamında hem yüksek plastisiteli hem de düşük plastisiteli kohezyonlu örselenmiş zeminler kullanılmıştır. Çalışmalar arasındaki farklılıkların zemin sınıflarındaki farklılıklara bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4. LV deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi

4.4. Serbest Basınç Deneyi Bulguları

Serbest basınç deneyi (*UC*) gerek deneyin pratik bir şekilde gerçekleştirilme özelliği gerekse hesaplarının kolaylığı sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir laboratuvar deneyidir. *UC* deneyi gerilme ve deformasyon kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Numunenin taşıyabileceği gerilme ve numune boyutlarındaki deformasyon gözlemlenerek, eksenel gerilme – birim şekil değiştirme grafiği oluşturulmaktadır. Gerçekleştirilen tüm *UC* deneylerinin eksenel gerilme – birim şekil değiştirme grafikleri, Mohr çemberleri ve dayanım değerleri EK-5’de sunulmuştur. *UC* deneyine ait drenajsız kayma dayanımı (S_{u-UC})- likitite indisi ilişkisi ise Şekil 4.5’de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.5. UC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

Doğal ortamda zeminler çevresel basınç altındadır ancak *UC* deneyinde çevresel basınç yansıtılamamaktadır. Artan su muhtevasıyla birlikte, ince daneli zeminlerin davranışı plastik kıvamdan likit kıvama doğru değişmektedir. Likit limite yakın su muhtevelarında *UC* deneyini gerçekleştirmek zorlaşmaktadır. Bu sebeple toplamda altmış beş farklı su muhtevasında *UC* deneyi yapılabilmektedir. Yüksek plastisiteli killerde maksimum % 62,57, düşük plastisiteli killerde ise maksimum % 30,23 su muhtevası değerlerinde *UC* deneyi yapılabilmektedir. Bu değerlere dayanan sonuçlar, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinde regresyon katsayısı 0.78 olan üstel bir eğilim sergilemiştir (Şekil 4.5). *UC* deneyine ait drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi Eş. 4.4’de gösterilmektedir.

$$S_{u-UC} = 85,18 e^{-4,06LI} \quad (4.4)$$

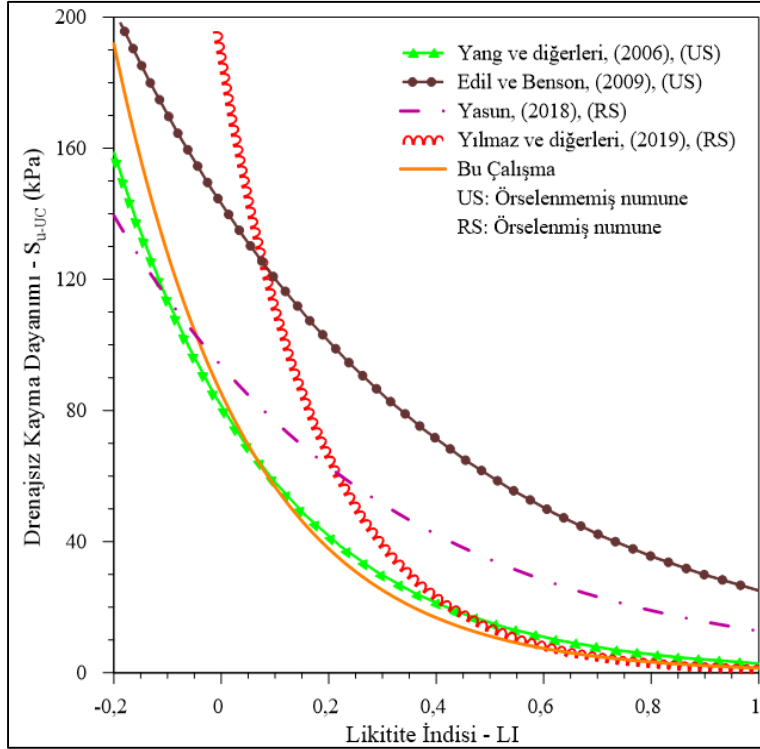
Bu çalışma kapsamında yapılan *UC* deneyleri ile geliştirilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürdeki benzer çalışmalar (Yang ve diğerleri, 2006; Edil ve Benson, 2009; Yasun, 2018; Yılmaz, Eun, Panahi ve Mousavi, 2019) ile uyumu Şekil 4.6’da görülebilmektedir.

Yang ve diğ erleri (2006)  rselenmemiş kil zemin numuneleri üzerinde *UC* deneyini uygulamışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri deney sonuçlarının, bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçlarına göre oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür. Araştırmacılarının *UC* deneylerinde kullandığı zemin numunelerinin, bu tez çalışması kapsamında kullanılan zemin numuneleri ile benzer özellikler göstermiş olması sebebiyle sonuçlar arasında uyum gözlemlenebilmiştir.

Edil ve Benson (2009) yürütmüş oldukları çalışmada oldukça çeşitli zemin numuneleri kullanmışlardır. Araştırmacılar  alışmalarında CL, ML, OL, OH, ML-CL gibi birçok zemin sınıfı kullanırken bu tez çalışması kapsamında sadece CL ve CH zemin sınıfından numuneler kullanılmıştır, buna bağlı olarak geliştirilen bağıntılar arasında farklılıklar oluşmuştur (şekil 4.6).

Yasun (2018) tek tip ince daneli zeminden, otuz bir zemin numunesi hazırlamıştır. Hazırlanan otuz bir numuneye bağlı olarak ortaya koyulan sonuçlar ile bu çalışma kapsamında ortaya çıkan sonuçlar, düşük LI değerlerinde benzer davranış sergilerken artan LI değerlerine bağlı olarak sonuçlarda farklılıklar görülmüştür (şekil 4.6). Araştırmacı  alışmasında LL değeri 31, PI değeri 11 olan tek tip düşük plastisiteli zemin numunesi kullanırken, bu tez çalışması kapsamında *UC* deneyine tabi tutulan zemin numuneleri arasında yüksek plastisiteli zeminler de bulunmaktadır. Plastisite  zelliklerinin drenajsız kayma dayanımı üzerindeki belirleyici etkisi düşünüldüğünde çalışmalar arasındaki farklılıklar makul kabul edilmiştir.

Yılmaz ve diğ erleri (2019) numune boyutunun drenajsız kayma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmada su muhtevası değeri %6 ile %38 arasında değişen 232 adet zemin numunesi üzerinde *UC* deneyi gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar *UC* deneylerini gerçekleştirmiş oldukları zemin numunesini USCS'ye bağlı olarak sınıflandırmış ve zemin sınıfını düşük plastisiteli olarak belirlemişlerdir. Oysaki bu tez çalışması kapsamında hem yüksek plastisiteli hem de düşük plastisiteli zeminler kullanılmıştır. Buna bağlı olarak gerçekleştirilen çalışmalar arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır (şekil 4.6).



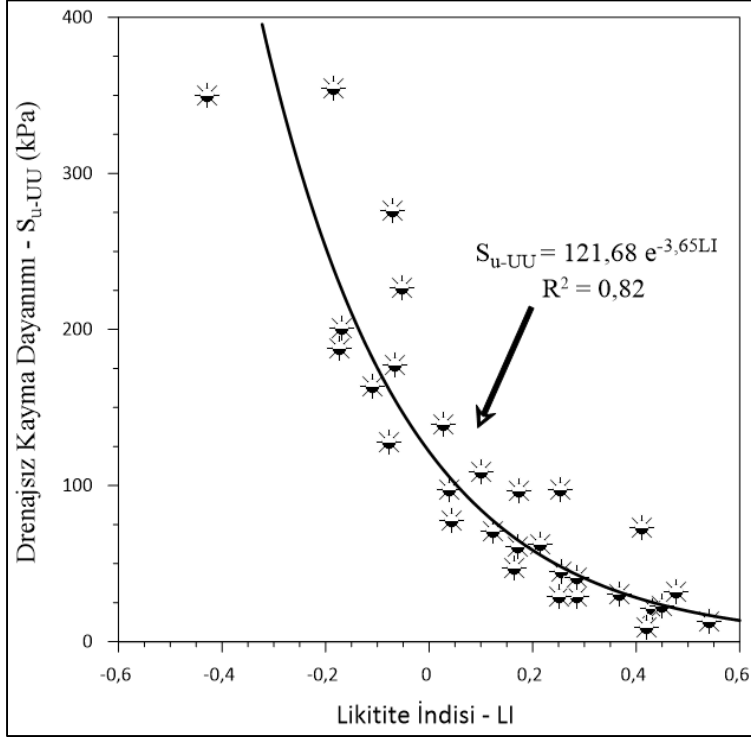
Şekil 4.6. UC deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi

4.5. Üç Eksenli Basınç (UU) Deneyi Bulguları

Üç eksenli basınç (UU) deneyi killi zeminlerin drenajsız kayma dayanımını arazi şartlarına en yakın şekilde belirleyen deney yöntemlerinden biridir. UC deneyinden farklı olarak kil zemin numunesine çevresel basınç uygulanmaktadır. Zemin numunesinin konsolidasyona ve drenaja izin verilmeden yenilmesi sağlanmaktadır. UU deneyi diğer üç eksenli deneylere göre oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

UU deneyi tam doymuş numuneler üzerinde gerçekleştirildiğinde, artan hücresel basınca rağmen yenilme gerilmesinde değişiklik olmaması beklenir. Bu çalışmada silindirik zemin numunesi 50, 100 ve 200 kPa olmak üzere üç farklı hücresel basınç altında yüklenmiştir. Drenajsız kayma dayanımı belirlenirken, bu üç farklı çevresel basınca bağlı ortalama değer kullanılmıştır. UU deneyine ait drenajsız kayma dayanımı (S_{u-UU}) likitite indisi ilişkisi Şekil 4.7’de görselleştirilmiştir. Her bir kil numunesi için 3 farklı su muhtevası değerinde UU deneyi yapılmıştır. Toplamda otuz farklı su muhtevasında UU yapılabilmektedir. Bu 30 değere dayanan sonuçlar, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinde çoklu regresyon katsayısı 0.82

olan üstel bir eğilim sergilemiştir (Şekil 4.7). *UU* deneyine ait drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi ise Eş. 4.5’de sunulmuştur. Bu deneye ait sonuçları EK-6’da verilmiştir.



Şekil 4.7. *UU* deneyi, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

$$S_{u-UU} = 121,68 e^{-3,65LI} \quad (4.5)$$

UU deneyi ile yapılan benzer çalışmalar (Yılmaz, 2000; Yang ve diğerleri, 2006; Cangir ve Dipova, 2017), bu tez çalışması kapsamında yapılan *UU* deneyleri ile kıyaslanmıştır (Şekil 4.8). Bu çalışmada elde edilen *UU* deney sonuçları, diğer çalışmalara oranla daha düşük değerler sergilemiştir. Yılmaz (2000), Yang ve diğerleri (2006), Cangir ve Dipova (2017) gerçekleştirmiş oldukları *UU* deneylerinde örselenmemiş zemin numuneleri kullanılırken bu çalışmada örselenmiş zemin numuneleri kullanılmıştır. Örselenmiş numunelerden elde edilen kayma dayanımlarının, örselenmemiş numunelere oranla daha düşük değerler alması beklenen bir davranıştır.

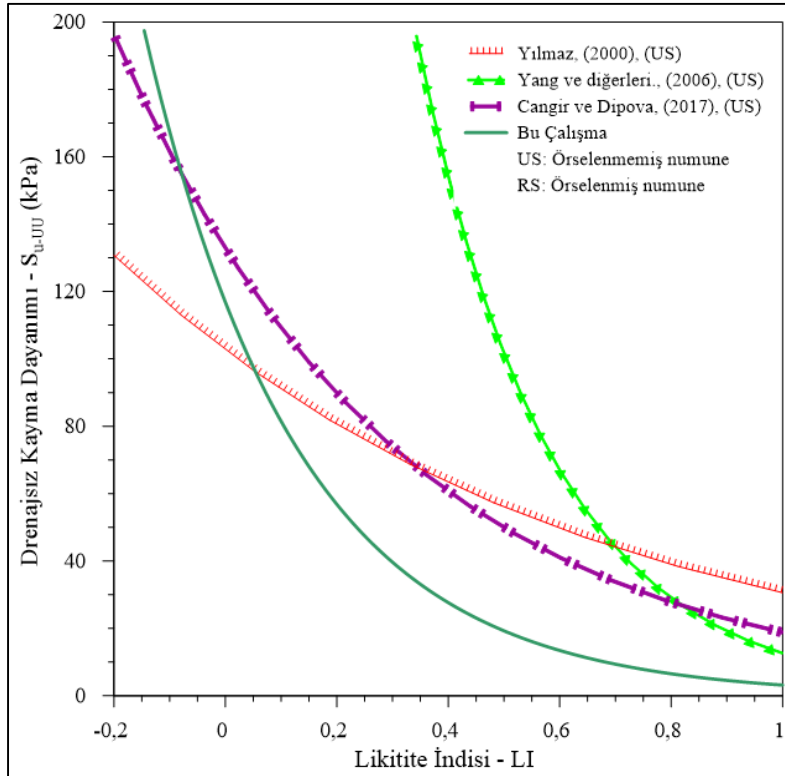
Sridharan, Narasimha ve Venkatappa (1971) drenajsız kayma dayanımının; zeminin mineralojik yapısı, su muhtevası, gerilme geçmişi ve deformasyon hızı gibi birçok faktöre bağlı

olduğunu ifade etmiştir. Bu sebeple bu çalışma neticesinde elde edilen *UU* deney sonuçları ile literatürdeki benzer çalışmalar arasında farklılıklar makul görülmektedir.

Yılmaz (2000) Türkiye'nin çeşitli şehirlerinden (Sivas, Tokat, Bursa, Zonguldak vb.) 1-4 m derinlikten temin ettiği, örselenmemiş killi ve siltli 30 farklı zemin numunesi üzerinde *UU* deneyi yapmıştır. *LI*'nin -0,2 ile 0,1 arasındaki değerlerinde, araştırmacının elde ettiği drenajsız kayma dayanımları, bu çalışmadan düşük değerler almıştır. *LI*'nin 0,1'den büyük olduğu değerlerde ise araştırmacının elde ettiği drenajsız kayma dayanımları, bu çalışmadan daha düşük değerler almıştır. Gerek her iki çalışmada kullanılan zeminlerin aynı olmamasından gerekse de zemin numunelerinin örselenme durumundaki değişikliklerden kaynaklı olarak sonuçlar arasında farklılıklar gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).

Yang ve diğerleri (2006) örselenmemiş kil zemin numuneleri üzerinde *UU* deneyi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların örselenmemiş numuneler üzerinden elde ettikleri deney sonuçlarının, bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçlarına göre oldukça yüksek değerler aldığı görülmüştür. Örselenmemiş zemin numunelerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının, örselenmiş zemin numunelerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarından yüksek değerler alması beklenen bir davranıştır. Bununla birlikte araştırmacılar çalışmalarında kil ve silt zeminler kullanırken bu tez çalışması kapsamında sadece kil zeminler kullanılmıştır. Buna bağlı olarak deney sonuçları arasında farklılıklar meydana gelmiştir (Şekil 4.8).

Cangir ve Dipova (2017) *UU* deneyi ile drenajsız kayma dayanımını belirledikleri çalışmalarında örselenmemiş zemin numuneleri kullanmışlardır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan *UU* deneylerinde ise örselenmiş zemin numuneleri kullanılmıştır. Buna bağlı olarak iki çalışma neticesinde elde edilen *UU* deneyi sonuçları arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır (Şekil 4.8).

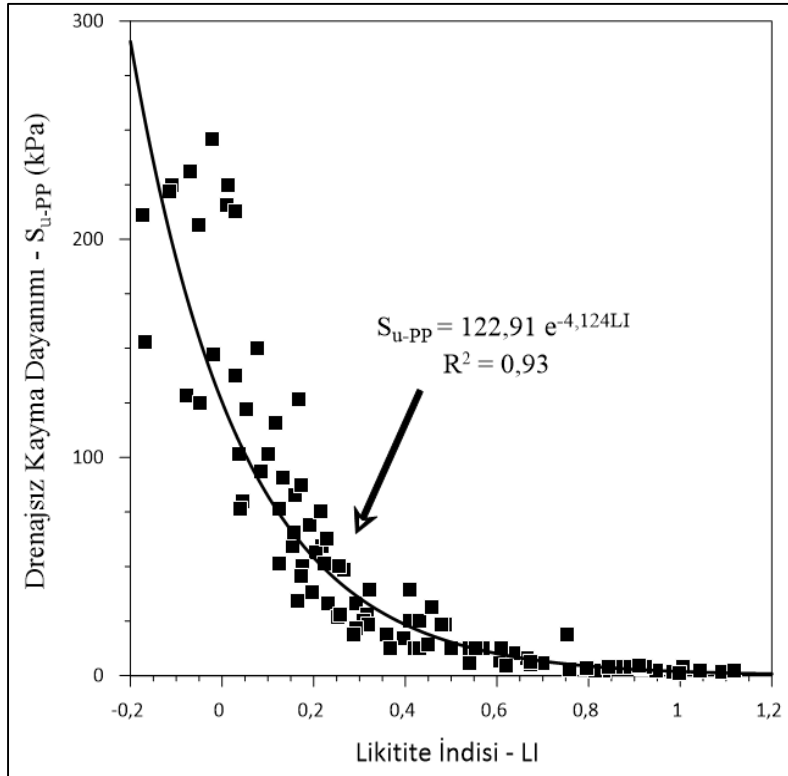


Şekil 4.8. UU deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi

4.6. Cep Penetrometresi Deneyi Bulguları

Cep penetrometresi, kohezyonlu, ince daneli zeminlerin mühendislik özelliklerini tahmin etmekte kullanılan, elle çalıştırılan, kalibre edilmiş bir yay penetrometresidir. *PP* deneyine ait drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi Şekil 4.9’da sunulmuştur. Deney sonuçları EK-4’da verilmiştir. Deney sonuçlarını temsil eden eğriler incelediğinde drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisini üstel bir eğri ($R^2 = 0,93$) daha doğru bir şekilde temsil etmektedir. *PP* deneyi ile elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisini temsil eden ampirik formülasyon aşağıda sunulmuştur (Eş. 4.6).

$$S_{u-PP} = 122,91 e^{-4,124LI} \quad (4.6)$$



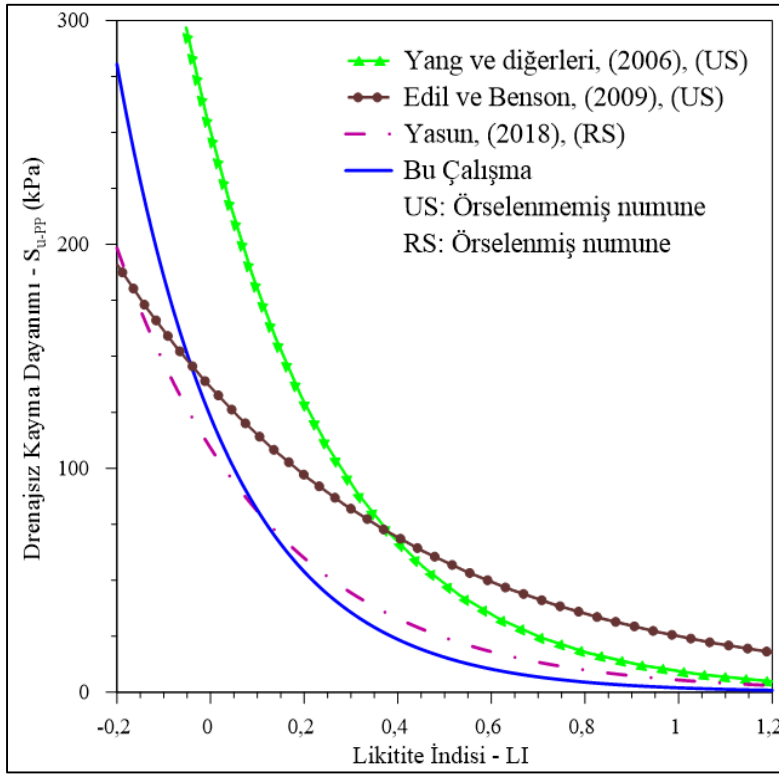
Şekil 4.9. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

PP deneyi için oluşturulan regresyon eğrisinin literatürdeki diğer çalışmalarla (Yang ve diğerleri, 2006; Edil ve Benson, 2009; Yasun, 2018) uyumu Şekil 4.10'de görülmektedir.

Edil ve Benson (2009) örselenmemiş kil numunelerinin drenajsız kayma dayanımlarını *PP* deneyi ile belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarını örselenmemiş zemin numuneleri ile gerçekleştirirken bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen *PP* deneylerinde örselenmiş zemin numuneleri kullanılmıştır. Buna bağlı olarak çalışmalar arasında makul kabul edilebilecek farklılıklar oluşmuştur (Şekil 4.10).

Yang ve diğerleri (2006) drenajsız kayma dayanımını *PP* deneyi ile belirledikleri çalışmalarında örselenmemiş kil zemin numuneleri kullanmışlardır. Örselenmemiş numunelerle yapılan *PP* deneylerinin bu tez çalışması kapsamında örselenmiş numunelerle yapılan *PP* deneylerine göre 2-3 kat daha yüksek değerler aldığı görülmüştür (Şekil 4.10). Araştırmacılar çalışmalarında kil ve silt zeminler kullanırken bu tez çalışması kapsamında sadece kil zeminler kullanılmıştır. Buna bağlı olarak deney sonuçları arasında farklılıklar meydana gelmiştir.

Yasun (2018) çalışmasını örselenmiş zemin numuneleri ile tamamlamıştır. Çalışmamızda örselenmiş numuneler üzerinde yapılan *PP* deneyleri sonucunda geliştirilen eğrinin Yasun (2018) geliştirdiği eğriyle yüksek uyumu dikkat çekmektedir (Şekil 4.10).

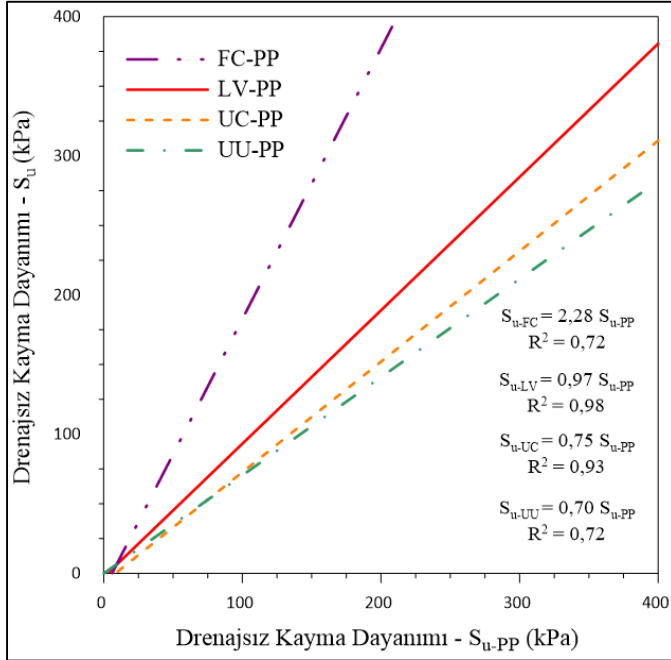


Şekil 4.10. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisinin literatürde önerilen eşitlikler ile incelenmesi

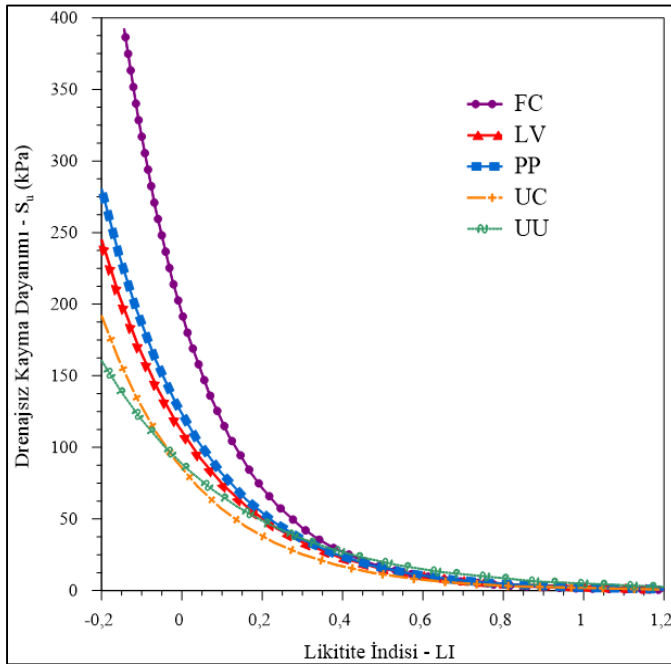
PP deneyi tamamlayıcı bir test olup, genellikle daha kesin saha veya laboratuvar deneyi ihtiyacını ortadan kaldırmamaktadır (Bradford ve diğerleri, 1992). Bu sebeple *PP* deneyinin diğer laboratuvar deneyleri ile doğrulanması bu çalışma kapsamında incelenmiştir. *PP* deneyinin diğer laboratuvar deneyleri ile ilişkisi Şekil 4.11’de görülebilmektedir.

UC, *UU*, *LV*, deneyleri geoteknik mühendisliğinde oldukça yaygın deneyler olmasına rağmen *PP* ve *FC* deneyi yaygın bir kullanım alanına sahip değildir (Lemos ve Pires, 2017). Bu tez çalışması ile drenajsız kayma dayanımı tespitinde kullanılan laboratuvar deneyleri arasında dönüşüm incelenmiştir (Şekil 4.11). Bu grafik yardımıyla laboratuvar deneyleri arasında dönüşüm mümkün kılınmaktadır. Tüm mukavemet deneyleri arasında en yüksek drenajsız kayma dayanımı *FC* deneyi ile belirlenmiştir. En düşük drenajsız kayma dayanımı ise *UC* deneyi ile elde edilmiştir. *PP* ve *LV* deneyleri ile elde edilen drenajsız kayma dayanımları

arasında yüksek doğrulukta bir uyum söz konusudur. Düşük likitite indisi değerlerinde *UC* ve *UU* deneyleri arasında benzerlik gözlemlenirken artan likitite indisi ile birlikte deneyler arasında farklılıklar söz konusudur (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. PP deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının diğer laboratuvar deneyleri ile kıyaslanması



Şekil 4.12. Laboratuvar deneyleri, drenajsız kayma dayanımı - likitite indisi ilişkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

FC, *LV*, *UC*, *UU* ve *PP* testleri ile drenajsız kayma dayanımlarının ölçüldüğü bu deney programında; beş adet yüksek plastisiteli ve beş adet düşük plastisiteli kil numunesi kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada toplamda 109 farklı su muhtevası değerinde (%11 ile %95 arasında değişen) örselenmiş zeminlerin drenajsız kayma dayanımı ölçümleri yapılmıştır. On farklı zemin numunesi üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler ile likitite indisi (*LI*) ve drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen veriler, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Zemin problemlerinin çözümünde, olabildiğince hızlı ve güvenilir veriler elde edilerek, raporlama ve projelendirme çalışmalarının tamamlanması gerekmektedir. Bu sebeple zemin mekaniği laboratuvar deneyleri geoteknik problemlerin çözümünde önemli bir paya sahiptir. Ancak bazı deneyler hem numune hazırlama işleminin zor olması hem de deneyin gerçekleştirilme süresinin uzun olması sebebiyle pratik değildir. Bu tez çalışması neticesinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilecek hızlı ve etkili deneyler yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tüm dayanım deneylerinde (*FC*, *LV*, *PP*, *UC*, *UU*), artan su muhtevasına bağlı olarak drenajsız kayma dayanımlarında azalmalar görülmüştür.
- Likitite indisi ve drenajsız kayma dayanımı arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında likitite indisi ve drenajsız kayma dayanımı arasındaki ilişki incelenmiş ve bu parametreler arasında deney yöntemine bağlı olarak bağıntılar geliştirilmiştir.
- Likitite indisinin 0,5 ve üzeri olduğu değerlerde yapılan *UC* ve *UU* deneylerinde drenajsız kayma dayanımı ölçümleri yapılamamıştır. Bu yüzden *LI* değerinin 0,5 ve üzeri olduğu değerlerde drenajsız kayma dayanımı belirlenirken, *UU* ve *UC* deneyleri yerine *LV*, *PP* ve *FC* deneyleri gerçekleştirilmiştir. Nitekim bu çalışma kapsamında geliştirilen korelasyonlar

kullanılarak *LV*, *PP* ve *FC* deneyleri ile *UU* ve *UC* deneyleri arasında drenajsız kayma dayanımı dönüşümü gerçekleştirmek mümkün kılınmıştır. Çalışmamız neticesinde olgunlaşan bağıntılar zeminlerin dayanım özellikleri açısından ön değerlendirme yapılmasını kolaylaştırmayı amaçlamıştır.

- *LI* değerinin 0,5-1 olduğu aralıkta *FC*, *LV* ve *PP* deneylerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımı değerleri arasındaki farkın oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat *LI* değerinin 0,5'ten büyük olduğu değerlerde ise *FC* deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının diğer deneylere (*LV*, *PP*, *UC*, *UU*) göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Likitite indisi değişiminden en çok etkilenen deney türünün *FC* deneyi olduğu ve *FC* deneyinin yumuşak killerde yapılmasının daha doğru olacağı bu çalışma neticesinde görülebilmektedir.
- *PP* deneyinin gerek kullanımı, gerekse de sonuçlarının hesaplanması açısından oldukça kullanışlı ve hızlı bir test yöntemi olduğu bu çalışmayla belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında *PP* deney sonuçları diğer laboratuvar testleriyle doğrulanmış böylece güvenilir ve tercih edilebilir bir test yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Gerçekleştirilen tüm *FC* ve *PP* deneyleri neticesinde *FC* deneyi ile ölçülen kayma dayanımları *PP* ile ölçülen dayanımlardan 2-3 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Elde edilen gözlemler sonucunda *UC* deneyi ile ölçülen drenajsız kayma dayanımlarının *PP* ile ölçülen dayanımlardan %25 daha küçük olduğu belirlenmiştir.
- Drenajsız kayma dayanımı tespitinde oldukça etkili bir deney yöntemi olan *UU* deneyi ile *PP* deneyleri arasındaki ilişki bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Elde edilen veriler neticesinde *UU* deneyi ile ölçülen drenajsız kayma dayanımlarının *PP* ile ölçülen dayanımlardan %30 daha küçük olduğu belirlenmiştir.
- *LV* deneyi drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde oldukça etkili ve yaygın bir yöntemdir. *PP* deneyi ise drenajsız kayma dayanımının belirlenmesinde etkin bir kullanımı olmamasına rağmen oldukça basit ve hızlı bir kullanım sunmaktadır. Bu etkenler göz önüne alınarak *PP* ve *LV* deneyleri arasındaki ilişki bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. *PP* deneyi ile ölçülen kayma dayanımlarının *LV* deneyi testi ile birebir uyum içinde olduğu bu çalışma kapsamında ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2018). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM D 4318-17.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2017). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes*. ASTM D 2487-17.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2016). *Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil*. ASTM D 4648-16.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2016). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. ASTM D 2166 -16.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2015). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effor*. ASTM D 698 - 12.
- Bauer, E., de Sousa, J. G. G., Guimarães, E. A., and Silva, F. G. S. (2007). Study of the laboratory Vane test on mortars. *Building and Environment*, 42, 86–92.
- Berilgen, S.A., Kılıç, H., and Ozaydın, K. (2007). *Determination of undrained shear strength for dredged golden horn marine clay with laboratory tests*. Paper presented at the Proceedings of the Sri Lankan geotechnical society's first international conference on soil & rock engineering, Colombo, Sri Lanka.
- Bradford, J.M., Truman, C. C., and Huang, C. (1992). Comparison of Three Measures of Resistance of Soil Surface Seals to Raindrop Splash, *Soil Technology*, 5, 47-56.
- Brandon, T.L., Rose, A. T., and Duncan, J. M. (2006). Drained and undrained strength interpretation for low plasticity silt. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132, 250–257.
- Bjerrum, L. (1972). *Embankment on soft ground*. Proceedings of the Speciallalty Conference, Illinois.
- Canelas, D., Fernandes, I., and Lopes, M. G. (2018). *Use of Fall Cone Test for the determination of undrained shear strength of cohesive soils*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences, Portugal.
- Cangir, B. and Dipova, N. (2017). Estimation of Undrained Shear Strength of Konyaaltı Silty Clays. *Indian Journal of GeoMarine Sciences*. 46, 513-520.
- Casagrande , A. (1932). Research on the Atterberg Limits of Soils, *Public Roads*, 13, 121-136.

- Chacko, J. and Jacob, D. S. (2018). Study on Strength Characteristics of Kuttanad Clay Based on its Water Content and Consistency Limits. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5, 3221-3225.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. (7. Baskı). Stamford: Cengage Learning, 73-74.
- Das, N., Sarma, B., Singh, S., and Sutradhar, B. (2013). Comparison in Undrained Shear Strength between Low and High Liquid Limit Soils. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2, 1-6.
- DeGroot, D.J., Lunne, T., Andersen, K.H., and Boscardin, A.G. (2012). *Laboratory measurement of the remoulded shear strength of clays with application to design of offshore infrastructure*. Paper presented at the 7th International Conference Offshore on Site Investigation and Geotechnics, London, UK.
- Dermatas, D., Dadachov, M., Mirabito and M., Meng, X., (2003). Strength development of solidified/stabilized organic waste and optimum treatment design. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 53, 1363-1372.
- Edil, T. B. and Benson, C. H. (2009). Comparison of basic laboratory test results with more sophisticated laboratory and in situ tests methods on soils in southeastern Wisconsin. *Final report of Wisconsin highway research program*, 11-12.
- Farias, M. M. and Llano-Serna, M. A. (2016). Simple methodology to obtain critical state parameters of remoulded clays under normally consolidated conditions using the fall cone test. *Geotechnical Testing Journal*, 39, 855-864.
- Feng, T. W. (2000). Fall cone penetration and water content relationship of clays. *Géotechnique*, 50, 181-187.
- Gruchot A. and Zydron T. (2016), Impact of A Test Method on the Undrained Shear Strength of a Chosen Fly Ash. *Journal of Ecological Engineering*, 17, 41-49.
- Gurbuz, A. and Dincergok, T. (2009). *Long Term Behavior of Staged Construction of a Dam on Soft Clay*. Paper presented at the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Egypt.
- Hansbo, S. (1957). A New Approach to the Determination of the Shear Strength of Clay by the Fall Cone Test. *Royal Swedish Geotechnical Institute*, 14, 7-48.
- Holtz, R. D., Kovacs, W.D., and Sheahan, T. C. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (Second Edition). London: Pearson Education Inc., 586.
- Howard, I. L. and Badran, W.H. (2011). Comparison of Hand Held Gage and Unconfined Compression Results in Low Strength Cementitious Stabilized Materials. *American Society of Civil Engineers*, 2574-2583.
- Houlsby, G. T. (1982). Theoretical Analysis of the Fall Cone Test. *Geotechnique*, 32, 111-118.

- Karakan, E. and Demir, S. (2018). Relationship between undrained shear strength with Atterberg limits of kaolinite/bentonite – quartz mixtures. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10, 92–102.
- Karlsson, R. (1961). *Suggested Improvements in the Liquid Limit Test, with Reference to Flow Properties of Remoulded Clays*. Paper presented at the Fifth International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris.
- Kayabali K., Akturk O., Fener M., Dikmen O., and Harputlugil F.H. (2015). Revisiting the Bjerrum's correction factor: Use of the liquidity index for assessing the effect of soil plasticity on undrained shear strength. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7, 716-721.
- Kim, H., Lee, J., Park, T., Moon, S., and Tanvir, M. T. (2016). *Correlation between strength and index properties of mixed kaolinite soils by cone penetration and fall cone tests*. Paper presented at the World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Researchs, Jesu Island, Korea.
- Koumoto, T. and Houlsby, G. T., (2001). Theory and practice of the fall cone test. *Geotechnique*, 51, 701–712.
- Kuriakose B., Abraham B.M., Sridharan A., and Jose B.T. (2017). Water content ratio: An effective substitute for liquidity index for prediction of shear strength of clays. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35, 1577–1586.
- Lemos, S. G. F. P. and Pires, P. J. M. (2017). The Undrained Strength of Soft Clays Determined from Unconventional and Conventional Tests. *Soils and Rocks*, 40, 291–301.
- Leroueil, S., Tavenas, F., and Le Bihan, J.P. (1983). Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 20, 681-705.
- Levacher, D., Razakamanantsoa, A., Gupta, R., and Katsumi, T. (2016). Comparative S_u measurements with vane shear and T-bar testing on soft soils in laboratory. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2, 465–468.
- Narendra, B.S., Shivapullaiah, P.V., Suresh, S., and Omkar, S.N. (2006). Prediction on unconfined compressive strength of soft grounds using computational intelligence techniques: a comparative study. *Computer and Geotechniques*, 33, 196.
- Nagaraj, H. B., Sravan, M. V., and Deepa, B. S. (2018). Factors influencing undrained strength of fine-grained soils at high water contents. *Geomechanics and Geoengineering*, 13, 276– 287.
- Önalp, A. (2002). *Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği*. İstanbul; Birsen Yayınevi, 88.
- Raheem, A.M., Vipulanandan, C., and Ayoub, A. (2013, March). *Shear strength relationship for very soft clayey soils*. Paper presented at the CIGMAT-2013 Conf. Exhibition, Houston, TX.

- Ratananikom, W., Yimsiri, S., and Likitlersuang, S. (2015). Undrained shear strength of very soft to medium stiff Bangkok clay from various laboratory tests. *Geotechnical Engineering: Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 46, 64-74.
- Schlue, B. F., Moerz, T., and Kreiter, S. (2007). Effect of rod friction on vane shear tests in very soft organic harbour mud. *Acta Geotechnica*, 24, 281–289.
- Sharma B. and Sridharan A., (2018). Liquid and plastic limits of clays by cone method. *Int J Geo-Eng*, 9, 22–31.
- Sharma, B. and Bora P. K. (2003). Plastic Limit, Liquid Limit and Undrained Shear Strength of Soil-Reappraisal. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129, 774–777.
- Shi X. S. and Herle I. (2015). Compression and undrained shear strength of remolded clay mixtures. *Geotechnique Letters*, 5, 62–67.
- Shimobe, S. and Spagnoli, G. (2019). Some relations among fall cone penetration, liquidity index and undrained shear strength of clays considering the sensitivity ratio. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78, 5029-5038.
- Skempton, A.W. (1949). Vane tests in the alluvial plain of the River Forth near Grangemouth. *Géotechnique*, 1, 111-124.
- Spagnoli, G. and Feinendegen, M. (2017). Relationship between measured plastic limit and plastic limit estimated from undrained shear strength, water content ratio and liquidity index. *Clay Minerals*, 52, 509–519.
- Sridharan A. and Prakash K. (1999). Mechanisms controlling the undrained shear strength behaviour of clays. *Canadian Geotech Journal*, 36, 1030–1038.
- Sridharan, A., Narasimha R. S., and Venkatappa R. G. (1971). Shear strength characteristics of saturated montmorillonite and kaolinite clays. *Soils and Foundations*, 11, 1-22.
- Tanaka, H., Hirabayashi, H., Matsuoka, T., and Kaneko, H. (2012). Use of fall cone test as measurement of shear strength for soft clay materials. *Soils and Foundations*, 52, 590–599.
- Ullah, A., Rahman, M.S., and Ahammad, F. (2017). Application of vane shear tools to assess the shear strength of remolded clay soil. *Research Journal of Engineering Sciences*, 6, 1-4.
- Vahedifard, F., Howard, I. L., Badran, W. H., Carruth, W. D., Hamlehdari, M., and Jordan, B. D. (2016). Strength indices of high-moisture soils using handheld gauges. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*, 169, 167–181.
- Vardanega, P.J. and Haigh, S.K. (2014). The undrained strength– liquidity index relationship. *Canadian Geotechnical Journal*, 51, 1073–1086.

- Vinod, P., Sridharan, A., Deepa, K. A., Haigh, S., and Vardanega, P. J. (2013). Discussion on Remoulded Shear Strength at Plastic and Semi-solid States. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 166, 515–517.
- Wasti, Y. and Bezirci, M. H. (1985). Determination of the consistency limits of soils by the fall cone test. *Canadian Geotech Journal*, 23, 241-246.
- Watabe, Y. and Tsuchida, T. (2001). Comparative study on undrained shear strength of Osaka Bay Pleistocene clay determined by several kinds of Laboratory test. *Soils Found.*, 41, 47–59.
- Wichmann, K. and Riehl, A. (1997). Mechanical properties of waterwork sludges - shear strength. *Water Science and Technology*, 36, 43-50.
- Winters, W.J. (2000). *Stress history and geotechnical properties of sediment from the Cape Fear Diapir, Blake Ridge Diapir, and Blake Ridge*. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Texas.
- Wood, D. M. and Wroth, C. P. (1978). The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15, 137-145.
- Wood, D. M. (1985). Some Fall Cone Tests. *Geotechnique*, 35, 64-68.
- Yang, S. L., Kvalstad, T., Solheim, A., and Forsberg, C. F. (2006). Parameter studies of sediments in the Storegga Slide region. *Geo-Marine Letters*, 26, 213–224.
- Yasun, A S. (2018). Capability of Pocket Penetrometer to Evaluate Unconfined Compressive Strength of Baghdad Clayey Soil. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 21, 66-73.
- Yilmaz, Y., Eun, J., Salehi Panahi, S., and Mousavi, M. S. (2019). Effects of height-to-diameter ratio (H/D) for specimens with various water contents on unconfined compressive strength of a clayey soil. *Engineering Geology*, 257, 1-7.
- Yilmaz, I. (2000). Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 59, 227–229.
- Zimbone, S.M., Vickers, A., Morgan, R.P.C., and Vella, P. (1996). Field investigations of different techniques for measuring surface soil shear strength. *Soil Technology*, 9, 101-111.
- Zreik, D.A., Ladd, C.C., and Germaine J. T. (1995). A New Fall Cone Device for Measuring the Undrained Strength of Very Weak Cohesive Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 18, 472-482.

EKLER

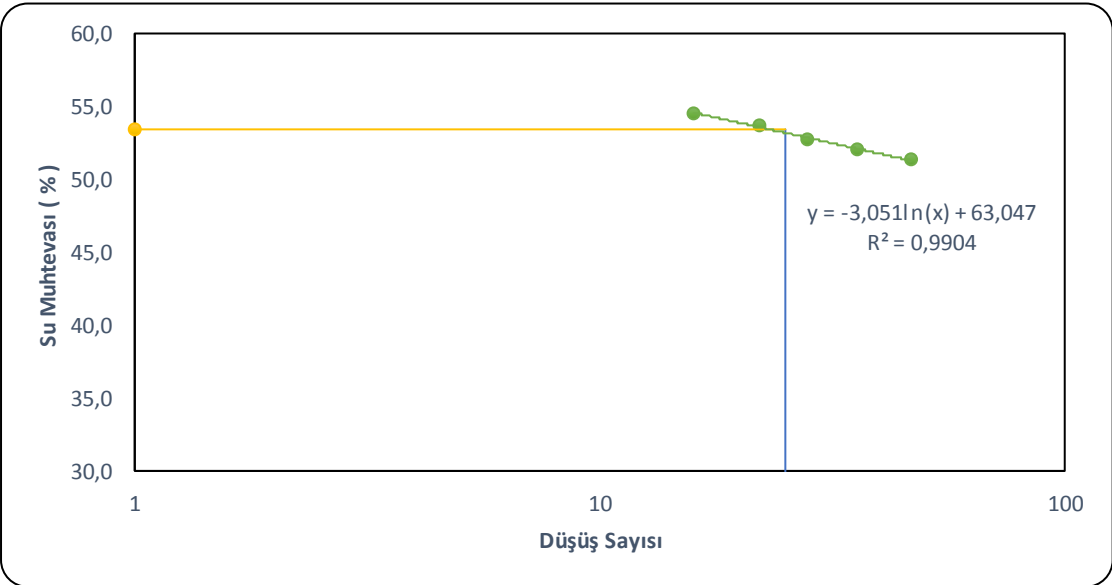
EK-1. Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.1. CH-1 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 1	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 16.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	15	21	47	62	70	B194	B132
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	40,16	36,90	36,67	43,95	43,96	65,19	64,30
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	33,73	31,52	31,99	35,82	35,08	64,18	63,46
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,29	25,41	26,76	27,02	26,02	61,05	60,91
Su Muhtevası, w (%)	86,4	88,1	89,5	92,4	98,0	32,3	32,9
Düşü Sayısı, N	66	38	30	20	12		
Likit Limit	: LL=	92	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	33	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	59	Sembol		CH		

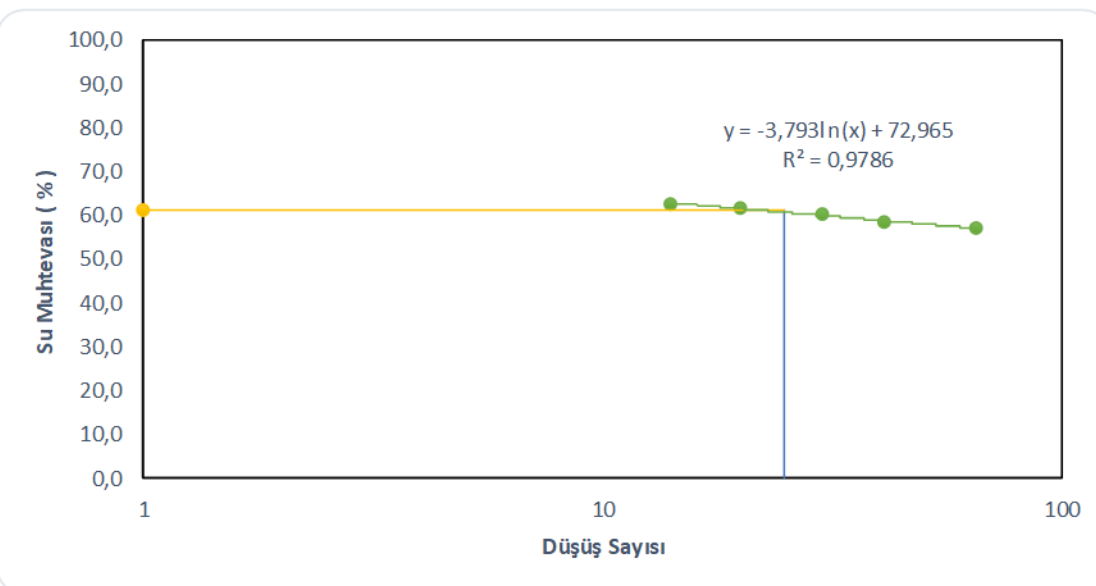
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.2. CH-2 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 2	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 24.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	55	62	65	43	96	B104	B193
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	54,27	46,60	57,80	39,38	39,92	63,07	65,85
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	44,74	39,89	47,07	34,98	35,01	62,23	65,19
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,19	27,00	26,72	26,80	26,01	57,91	61,70
Su Muhtevası, w (%)	51,4	52,1	52,7	53,8	54,6	19,4	18,9
Düşü Sayısı, N	47	36	28	22	16		
							
Likit Limit	: LL=	53	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	19	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	34	Sembol		CH		

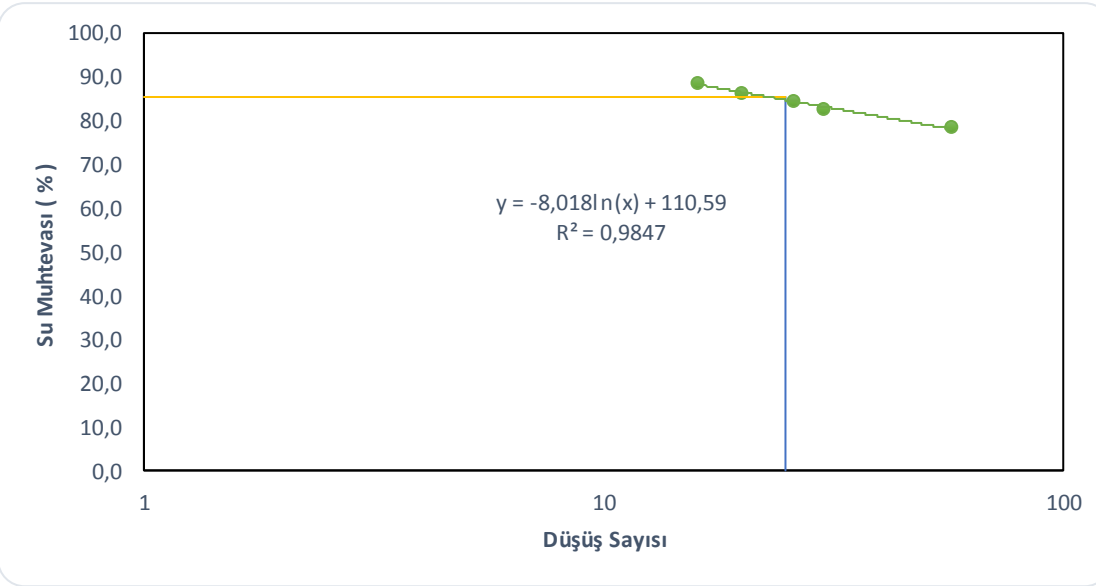
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.3. CH-3 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

<u>Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü</u>							
Açıklama	: Numune 3	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 25.02.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	62	55	70	96	15	65	10
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	40,95	40,28	50,35	46,25	48,40	31,28	30,70
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	35,87	35,09	41,18	38,53	39,86	30,34	29,83
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	27,00	26,20	26,02	26,00	26,28	26,71	26,52
Su Muhtevası, w (%)	57,3	58,4	60,5	61,6	62,9	25,9	26,3
Düşüş Sayısı, N	65	41	30	20	14		
							
Likit Limit	: LL=	61	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	26					
Plastite İndisi	: PI=	35	Sembol		CH		

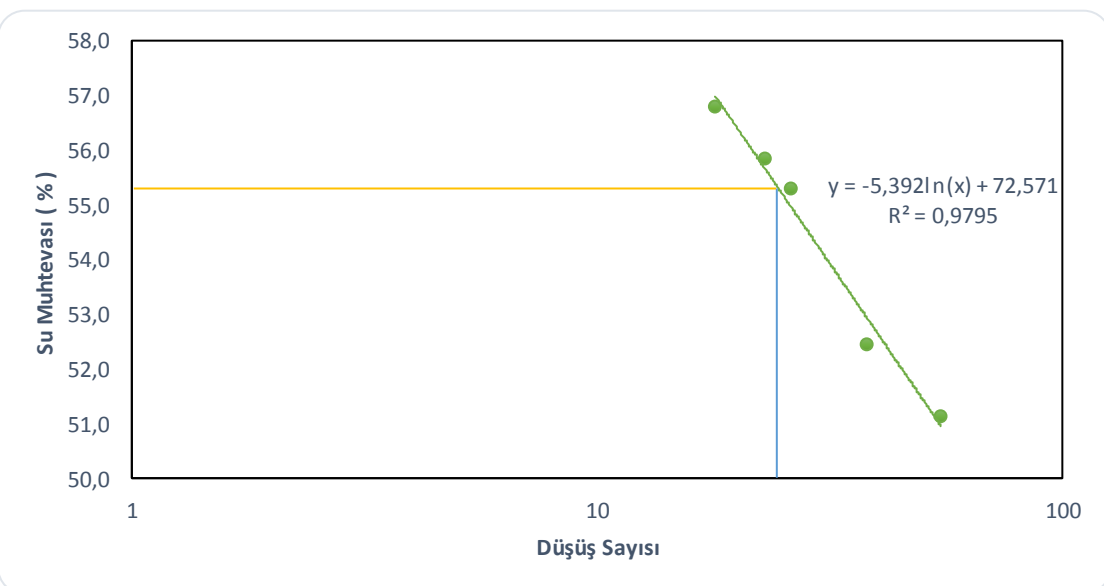
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.4. CH-4 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 4	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek					
Operatör	: TOB	Tarih	: 16.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	35	43	44	62	65	B101	B150
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	41,04	42,01	44,54	48,93	47,57	62,58	66,24
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	34,84	35,12	36,56	38,76	37,76	61,08	64,95
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,95	26,78	27,10	27,00	26,72	56,46	61,07
Su Muhtevası, w (%)	78,6	82,6	84,4	86,5	88,9	32,5	33,2
Düşüş Sayısı, N	57	30	26	20	16		
 $y = -8,018\ln(x) + 110,59$ $R^2 = 0,9847$							
Likit Limit	: LL=	85	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	33	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	52	Sembol		CH		

EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.5. CH-5 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 5	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 24.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	10	55	44	21	47	B119	B123
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	46,71	57,38	55,66	50,30	55,93	62,95	64,78
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	39,88	46,65	45,49	41,38	45,36	61,71	62,63
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,53	26,19	27,09	25,41	26,75	57,21	55,13
Su Muhtevası, w (%)	51,2	52,4	55,3	55,9	56,8	27,6	28,7
Düşü Sayısı, N	55	38	26	23	18		
							
Likit Limit	: LL=	55	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	29					
Plastite İndisi	: PI=	26	Sembol		CH		

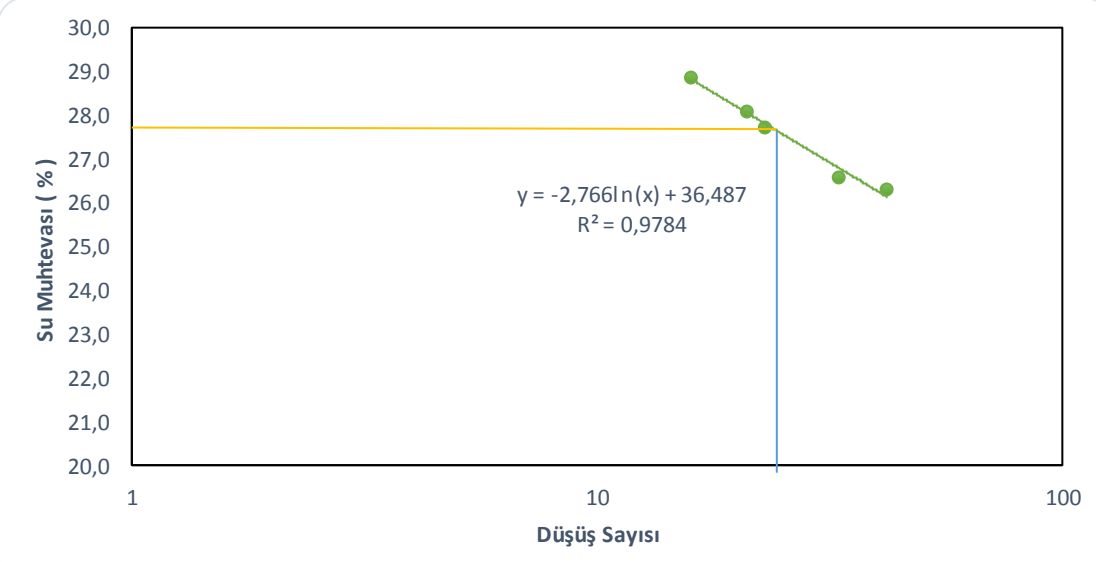
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.6. CL-1 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

<u>Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü</u>							
Açıklama	: Numune 6	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 22.02.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	43	111	193	48	70	151	110
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	82,25	83,06	83,84	52,41	44,84	24,29	23,55
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	76,97	76,72	77,05	44,98	39,20	22,96	22,13
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	61,74	60,68	60,15	26,32	26,02	16,76	15,32
Su Muhtevası, w (%)	34,7	39,6	40,1	39,8	42,79	21,5	20,9
Düşüş Sayısı, N	55	39	26	24	19	15	
$y = -6,398\ln(x) + 61,22$ $R^2 = 0,8443$							
Likit Limit	: LL=	40	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	21	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	19	Sembol		CH		

EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.7. CL-2 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

<u>Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü</u>							
Açıklama	: Numune 7	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 23.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	B101	B163	B150	B130	B103	K10	K3
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	96,19	101,5	105,0	92,61	93,70	53,50	44,11
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	87,91	93,03	95,45	85,51	86,42	50,33	42,24
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	56,47	61,06	61,07	60,25	61,22	31,31	31,23
Su Muhtevası, w (%)	26,3	26,6	27,7	28,1	28,9	16,7	17,0
Düşüş Sayısı, N	42	33	23	21	16		
							
Likit Limit	: LL=	28	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	17	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	11	Sembol		CL		

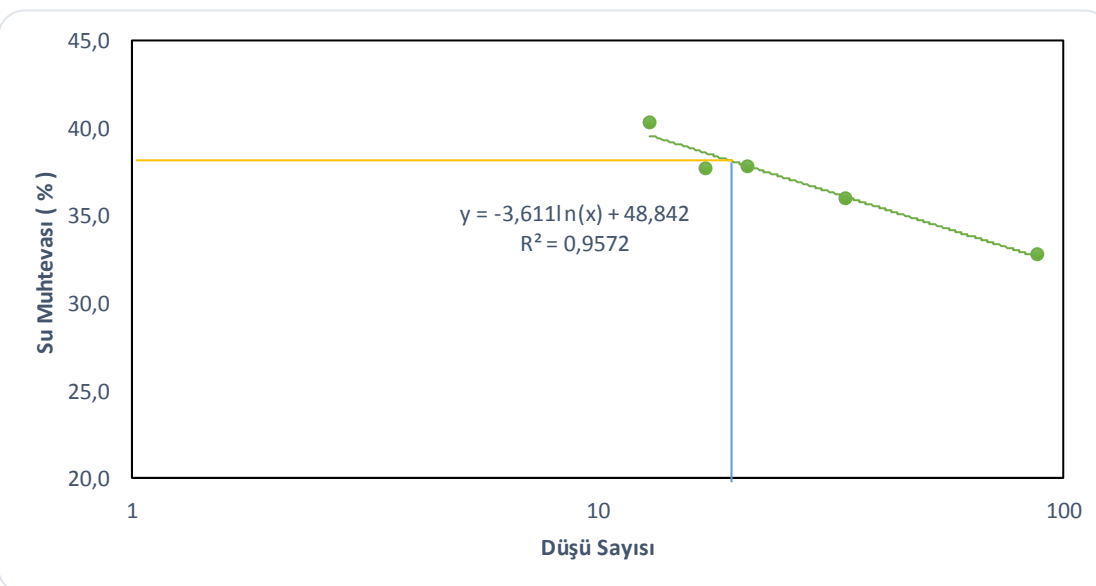
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.8. CL-3 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 8	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 26.02.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	44	48	24	21	47	B150	B132
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	37,47	39,48	39,37	39,08	47,84	65,36	63,10
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	34,79	35,95	35,64	34,80	41,11	64,69	62,75
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	27,11	26,33	26,07	25,42	26,75	61,06	60,91
Su Muhtevası, w (%)	34,9	36,7	39,0	45,6	46,9	18,5	19,0
Düşü Sayısı, N	66	43	27	14	10		
Likit Limit	: LL=	42	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	19	Zemin Sınıfı				
Plastite İndisi	: PI=	23	Sembol		CL		

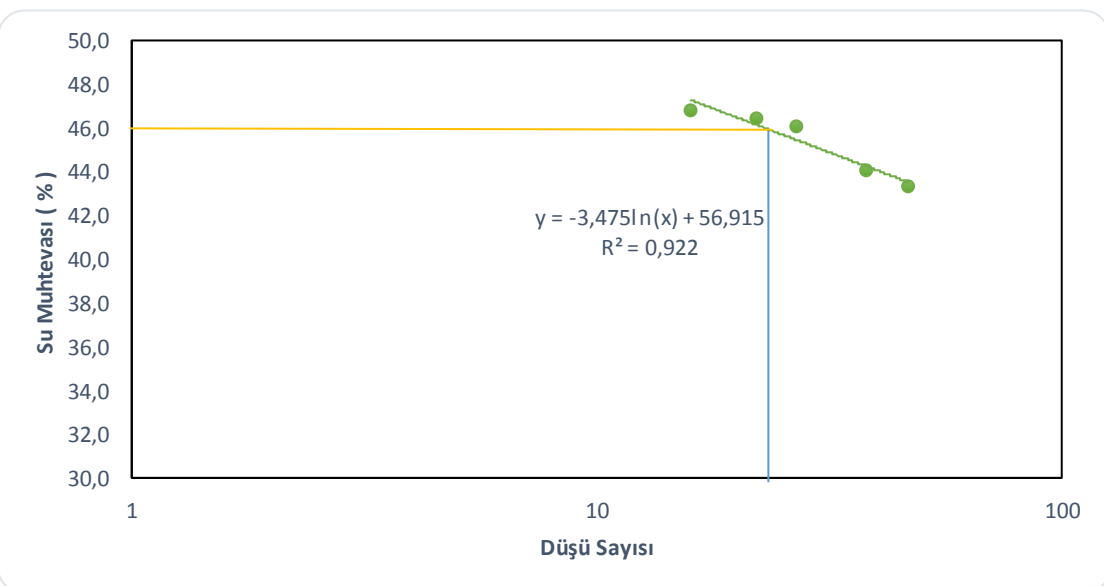
EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.9. CL-4 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 9	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 09.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	35	44	43	B128	B112	48	10
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	52,57	52,77	55,33	83,54	93,36	31,57	32,07
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	46,24	45,97	47,48	77,06	84,06	30,61	31,04
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,96	27,09	26,76	59,90	61,00	26,34	26,54
Su Muhtevası, w (%)	32,8	36,0	37,9	37,8	40,3	22,5	22,9
Düşü Sayısı, N	88	34	21	17	13		
							
Likit Limit	: LL=	38	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	23					
Plastite İndisi	: PI=	15	Sembol		CL		

EK-1. (devam) Kıvam limitleri belirleme föyü

Çizelge 1.10. CL-5 numunesi kıvam limitleri belirleme föyü

Atterberg Kıvam Limitleri Belirleme Testleri Deney Föyü							
Açıklama	: Numune 10	Deney	: LL / PL				
Laboratuvar	: Gazi Üni. Müh. Fak. Zemin Mekaniği Lab.	Örnek	:				
Operatör	: TOB	Tarih	: 24.03.2019				
Test	Likit Limit					Plastik Limit	
Test Nu.	1	2	3	4	5	1	2
Kap Nu	43	48	44	62	70	15	B193
Kap Ağırlığı + Islak zemin, W_1 (g)	51,78	51,73	60,95	48,41	43,96	32,80	70,63
Kap Ağırlığı + Kuru zemin, W_2 (g)	44,23	43,96	50,28	41,62	38,24	31,75	69,23
Kap Ağırlığı, W_3 (g)	26,81	26,32	27,11	27,01	26,02	26,28	61,70
Su Muhtevası, w (%)	43,3	44,0	46,1	46,5	46,81	19,2	18,6
Düşü Sayısı, N	47	38	27	22	16		
							
Likit Limit	: LL=	46	Sınıflandırma-USCS				
Plastik Limit	: PL=	19					
Plastite İndisi	: PI=	27	Sembol		CL		

EK-2. FC deneyi sonuçları

Çizelge 2.1. Yüksek plastisiteli killerde FC deneyi sonuçları

Düşen Koni Deneyi Sonuçları													
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi (LI)	Koni Penetrasyonu (mm)						Drenajsız Kayma Dayanımı S_u - (kPa)
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	4. Okuma (kPa)	5. Okuma (kPa)	Ortalama (kPa)	
CH - 1	92	33	59	1	27,96	-0,09	0,30	0,25	0,25	0,26	0,23	0,26	-
				2	31,73	-0,02	0,54	0,41	0,26	0,42	0,40	0,41	-
				3	33,53	0,01	0,81	0,89	0,74	0,89	0,67	0,80	-
				4	37,49	0,08	0,79	0,92	0,95	0,97	0,72	0,87	-
				5	40,85	0,13	1,73	2,07	1,63	1,83	2,16	1,88	187,29
				6	42,46	0,16	2,09	3,01	3,41	2,88	2,86	2,85	81,71
				7	44,29	0,19	4,23	2,55	1,83	2,72	2,80	2,82	83,24
				8	45,83	0,22	2,93	2,68	2,63	2,71	2,60	2,71	90,30
				9	48,69	0,27	2,85	2,49	2,52	4,11	2,53	2,90	78,95
				10	50,26	0,29	4,28	3,98	3,92	4,00	3,82	4,00	41,51
				11	51,63	0,32	5,27	5,18	4,90	5,27	5,15	5,15	24,99
				12	57,24	0,41	6,14	5,86	5,20	5,65	6,27	5,82	19,58
				13	62,57	0,50	6,96	6,62	7,41	8,16	6,47	7,12	13,09
				14	68,80	0,61	10,40	10,11	10,09	10,73	9,67	10,20	6,38
				15	74,35	0,70	12,94	11,88	10,63	11,42	11,23	11,62	4,92
				16	86,98	0,91	13,69	11,88	16,21	16,67	17,55	15,20	2,87
				17	94,55	1,04	23,49	22,47	21,43	24,94	19,98	22,46	1,32
CH - 2	53	19	34	18	16,59	-0,07	0,36	0,30	0,36	0,41	0,38	0,36	-
				19	20,02	0,03	1,14	0,66	1,15	1,00	0,38	0,87	-
				20	22,95	0,12	2,45	2,24	2,09	2,19	1,96	2,19	138,86
				21	25,96	0,20	2,68	2,40	2,04	2,43	2,67	2,45	111,04
				22	29,46	0,31	4,89	5,51	5,07	4,46	4,99	4,98	26,73
				23	32,45	0,40	7,62	7,18	6,06	7,40	6,44	6,94	13,80
				24	38,33	0,57	10,48	13,46	11,97	9,07	8,67	10,73	5,77
				25	47,30	0,83	18,75	16,69	18,62	18,58	17,45	18,02	2,05
				26	52,51	0,99	25,69	25,33	28,46	24,96	23,11	25,51	1,02
CH - 3	61	26	35	27	16,23	-0,28	0,15	0,15	0,10	0,15	0,19	0,15	-
				28	24,19	-0,05	0,82	0,74	0,46	0,16	0,38	0,51	-
				29	29,49	0,10	1,93	1,68	1,37	1,62	1,50	1,62	253,92
				30	31,42	0,15	1,71	1,96	1,84	1,82	1,58	1,78	208,85
				31	33,51	0,21	3,80	2,75	2,68	3,00	2,57	2,96	75,77
				32	41,12	0,43	6,48	5,35	4,99	5,11	6,32	5,65	20,80
				33	44,93	0,54	7,04	7,18	10,34	9,49	8,56	8,52	9,15
				34	49,31	0,67	9,79	10,60	11,95	10,68	10,58	10,72	5,78
				35	56,11	0,86	13,97	14,43	14,45	15,53	15,69	14,82	3,02
CH - 4	85	33	52	36	61,20	1,01	20,11	20,08	19,95	18,97	21,12	20,05	1,65
				37	25,98	-0,13	0,38	0,30	0,25	0,31	0,30	0,31	-
				38	29,37	-0,07	0,41	0,46	0,38	0,40	0,36	0,40	-
				39	31,95	-0,02	0,56	0,54	0,54	0,47	0,63	0,55	-
				40	34,47	0,03	1,56	1,25	1,14	1,48	2,12	1,51	290,85
				41	37,39	0,08	1,25	1,23	1,14	1,46	0,87	1,19	467,61
				42	39,46	0,12	1,53	1,78	1,40	2,17	1,81	1,74	219,80
				43	41,15	0,16	3,93	1,78	2,02	2,11	2,57	2,48	107,79
				44	42,11	0,18	3,39	3,04	2,91	3,71	3,09	3,23	63,59
				45	45,06	0,23	3,90	3,64	3,62	3,75	4,20	3,82	45,46
				46	46,09	0,25	4,48	4,41	4,23	4,19	4,56	4,37	34,73
				47	49,66	0,32	6,27	6,21	5,48	4,77	4,81	5,51	21,89
				48	51,74	0,36	7,59	6,53	5,99	6,53	6,32	6,59	15,27
				49	54,89	0,42	8,25	8,13	7,24	7,21	7,44	7,65	11,34
				50	67,99	0,67	11,80	10,62	9,69	11,18	10,23	10,70	5,80
				51	72,47	0,76	19,44	18,25	14,42	14,93	13,41	16,09	2,56
				52	82,28	0,95	19,32	18,96	19,09	19,30	18,95	19,13	1,82
CH - 5	55	29	26	53	24,52	-0,17	1,46	0,71	0,69	0,91	0,77	0,91	-
				54	27,00	-0,08	1,19	0,79	0,97	0,96	1,00	0,98	-
				55	27,77	-0,05	1,04	1,05	0,95	1,00	0,94	1,00	-
				56	30,15	0,04	3,54	3,56	1,84	2,57	2,12	2,73	89,31
				57	32,23	0,12	3,87	3,83	2,86	3,35	2,81	3,35	59,33
				58	33,29	0,17	4,51	4,23	4,02	3,82	3,82	4,08	39,91
				59	34,10	0,20	4,43	4,41	4,92	5,06	4,44	4,65	30,68
				60	36,63	0,29	6,93	7,34	7,01	5,96	5,96	6,64	15,06
				61	40,18	0,43	7,47	7,62	7,23	7,45	7,21	7,39	12,14
				62	45,51	0,64	12,34	11,37	11,90	7,69	12,39	11,14	5,35
				63	50,14	0,81	17,83	17,53	18,78	17,45	18,32	17,98	2,05

- : Deney yapılamamıştır.

EK-2. (devam) FC deneyi sonuçları

Çizelge 2.2. Düşük plastisiteli killerde FC deneyi sonuçları

Düşen Koni Deneyi Sonuçları													
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likite İndisi (LI)	Koni Penetrasyonu (mm)						Drenajsız Kayma Dayanımı S _v - (kPa)
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	4. Okuma (kPa)	5. Okuma (kPa)	Ortalama (kPa)	
CL - 1	40	21	19	64	12,84	-0,43	0,89	0,89	0,51	0,70	0,83	0,76	-
				65	19,76	-0,07	0,91	0,83	0,83	0,84	0,78	0,84	-
				66	24,20	0,17	1,42	1,24	0,92	1,10	0,91	1,12	-
				67	25,83	0,25	3,23	2,84	2,72	2,86	3,00	2,93	77,40
				68	28,79	0,41	4,35	3,57	3,43	3,68	3,39	3,68	48,94
				69	28,79	0,41	4,35	3,57	3,43	3,68	3,39	3,68	48,94
				70	30,23	0,49	8,43	7,28	5,95	7,97	7,81	7,49	79,23
				71	32,59	0,61	7,63	7,24	6,59	6,88	6,60	6,99	13,60
				72	37,04	0,84	13,93	13,93	15,76	12,99	15,76	14,48	3,17
				73	41,76	1,09	26,96	27,39	26,50	26,89	26,57	26,86	0,92
CL - 2	28	17	11	74	45,66	1,30	40,86	37,93	41,15	39,20	36,85	39,20	0,43
				75	11,09	-0,54	0,43	0,41	0,39	0,37	0,27	0,37	-
				76	15,15	-0,17	1,46	1,28	1,07	0,91	1,01	1,14	508,10
				77	17,42	0,04	2,66	2,09	1,93	2,05	1,95	2,14	145,13
				78	19,82	0,26	5,06	4,15	4,40	4,51	4,44	4,51	32,60
				79	21,95	0,45	8,41	8,02	7,30	7,49	7,37	7,72	11,15
				80	21,95	0,45	8,41	8,02	7,30	7,49	7,37	7,72	11,15
				81	25,75	0,80	18,60	15,69	15,57	14,96	15,11	15,99	2,60
				82	27,98	1,00	21,02	20,24	21,62	20,66	19,77	20,66	1,56
				CL - 3	42	19	23	83	12,27	-0,29	0,32	0,27	0,36
84	16,47	-0,11	0,78					0,73	0,36	0,53	0,50	0,58	-
85	19,85	0,04	1,53					1,24	1,01	1,18	0,92	1,18	480,12
86	22,95	0,17	3,27					3,05	3,02	2,79	2,82	2,99	74,31
87	25,58	0,29	5,75					5,29	5,59	4,99	5,57	5,44	22,45
88	27,45	0,37	8,18					7,42	7,28	6,11	6,12	7,02	13,47
89	31,40	0,54	11,08					11,66	11,22	12,25	11,59	11,56	4,97
90	33,27	0,62	14,20					14,09	12,62	13,04	12,64	13,32	3,74
91	39,48	0,89	18,32					18,12	18,62	18,51	18,96	18,51	1,94
CL - 4	38	23	15					92	17,09	-0,39	0,57	0,50	0,43
				93	21,27	-0,12	0,53	0,62	0,50	0,55	0,57	0,55	-
				94	23,78	0,05	1,86	1,74	1,49	1,77	1,22	1,62	253,54
				95	26,37	0,22	3,27	3,21	3,18	2,91	3,16	3,15	67,11
				96	29,85	0,46	5,13	4,88	4,67	4,40	4,63	4,74	29,52
				97	34,32	0,75	10,31	9,59	9,37	8,34	8,47	9,22	7,82
				98	36,85	0,92	14,80	13,15	14,91	13,78	12,25	13,78	3,50
				99	39,75	1,12	16,38	16,12	15,02	16,70	14,98	15,84	2,65
				100	41,31	1,22	21,90	18,09	19,12	18,25	19,63	19,40	1,76
				CL - 5	46	19	27	101	14,00	-0,19	0,50	0,46	0,43
102	19,34	0,01	0,50					0,46	0,51	0,50	0,53	0,50	-
103	23,68	0,17	1,63					1,47	1,31	1,42	1,24	1,42	331,33
104	25,17	0,23	2,72					2,22	2,13	2,09	2,11	2,25	130,65
105	27,71	0,32	4,17					3,50	3,34	3,57	3,27	3,57	52,16
106	31,91	0,48	5,34					5,13	4,74	4,10	4,26	4,71	29,87
107	33,94	0,55	9,53					9,37	7,05	7,44	8,66	8,41	9,39
108	37,16	0,67	10,33					9,50	9,20	9,37	9,71	9,62	7,17
109	43,60	0,91	17,56					18,12	18,32	17,99	17,96	17,99	2,05

- : Deney yapılamamıştır.

EK-3. LV deneyi sonuçları

Çizelge 3.1. Yüksek plastisiteli killerde LV deneyi sonuçları

Laboratuvar Vane Deneyi Sonuçları										
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi (LI)	Drenajsız Kayma Dayanımı - S_u			
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	Bjerrum Düzeltmesi Yapılmış (kPa)
CH - 1	92	33	59	1	27,96	-0,09	421,90	415,00	438,29	425,06
				2	31,73	-0,02	295,12	268,38	304,61	289,37
				3	33,53	0,01	260,62	270,97	279,60	270,40
				4	37,49	0,08	159,72	147,64	153,68	153,68
				5	40,85	0,13	113,14	105,38	117,46	111,99
				6	42,46	0,16	82,96	113,14	90,72	95,61
				7	44,29	0,19	76,06	70,88	72,61	73,18
				8	45,83	0,22	53,63	51,05	57,95	54,21
				9	48,69	0,27	46,74	52,77	48,46	49,32
				10	50,26	0,29	35,52	33,80	35,52	34,95
				11	51,63	0,32	29,49	31,21	28,62	29,77
				12	57,24	0,41	23,52	27,48	29,86	26,95
				13	62,57	0,50	17,58	14,41	19,16	17,05
				14	68,80	0,61	8,46	8,46	8,46	8,46
				15	74,35	0,70	6,20	7,06	7,06	6,78
				16	86,98	0,91	4,50	3,31	3,31	3,71
				17	94,55	1,04	1,33	1,72	1,33	1,46
CH - 2	53	19	34	18	16,59	-0,07	-	-	-	-
				19	20,02	0,03	233,89	239,92	237,34	237,05
				20	22,95	0,12	122,63	118,32	121,77	120,91
				21	25,96	0,20	57,95	63,12	64,85	61,97
				22	29,46	0,31	27,76	29,49	32,07	29,77
				23	32,45	0,40	17,58	20,35	20,75	19,56
				24	38,33	0,57	12,03	7,27	9,65	9,65
				25	47,30	0,83	2,52	2,12	2,91	2,52
				26	52,51	0,99	1,33	2,52	1,72	1,86
CH - 3	61	26	35	27	16,23	-0,28	-	-	-	-
				28	24,19	-0,05	198,53	212,32	202,84	204,56
				29	29,49	0,10	95,03	106,24	97,62	99,63
				30	31,42	0,15	57,08	63,12	56,22	58,81
				31	33,51	0,21	63,12	61,40	49,32	57,95
				32	41,12	0,43	32,24	33,03	32,24	32,50
				33	44,93	0,54	14,41	11,63	11,63	12,56
				34	49,31	0,67	14,41	11,63	11,63	12,56
				35	56,11	0,86	4,89	6,08	5,69	5,56
CH - 4	85	33	52	36	61,20	1,01	2,12	1,72	2,12	1,99
				37	25,98	-0,13	363,25	371,01	353,77	362,68
				38	29,37	-0,07	271,83	286,50	257,17	271,83
				39	31,95	-0,02	177,83	195,94	176,96	183,58
				40	34,47	0,03	140,74	134,70	130,39	135,28
				41	37,39	0,08	99,34	88,13	92,44	93,31
				42	39,46	0,12	77,78	82,10	75,20	78,36
				43	41,15	0,16	51,91	53,63	60,53	55,36
				44	42,11	0,18	44,15	49,32	50,19	47,89
				45	45,06	0,23	36,39	38,11	33,80	36,10
				46	46,09	0,25	32,94	29,49	28,62	30,35
				47	49,66	0,32	22,59	23,45	25,17	23,74
				48	51,74	0,36	16,39	18,37	21,93	18,90
				49	54,89	0,42	13,22	16,78	14,41	14,80
				50	67,99	0,67	6,08	8,07	8,86	7,67
				51	72,47	0,76	2,75	4,48	3,61	3,61
				52	82,28	0,95	2,52	2,12	2,91	2,52
CH - 5	55	29	26	53	24,52	-0,17	256,31	240,79	236,47	244,52
				54	27,00	-0,08	88,13	74,33	66,57	76,35
				55	27,77	-0,05	102,79	95,03	120,91	106,24
				56	30,15	0,04	71,75	63,12	65,71	66,86
				57	32,23	0,12	26,90	38,97	35,52	33,80
				58	33,29	0,17	25,50	25,90	32,24	27,88
				59	34,10	0,20	25,27	29,37	26,81	27,15
				60	36,63	0,29	17,18	19,56	21,54	19,42
				61	40,18	0,43	14,80	15,20	15,99	15,33
				62	45,51	0,64	8,07	8,86	7,67	8,20
				63	50,14	0,81	2,52	4,50	4,10	3,71

- : Deney yapılamamıştır.

EK-3. (devam) LV deneyi sonuçları

Çizelge 3.2. Düşük plastisiteli killerde LV deneyi sonuçları

Laboratuvar Vane Deneyi Sonuçları										
Numune	Likit Limit LL	Plastik Limit PL	Plastisite İndisi PI	Deney N	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi LI	Drenajsız Kayma Dayanımı - S_u			
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	Bjerrum Düzeltmesi Yapılmış (kPa)
CL - 1	40	21	19	64	12,84	-0,43	-	-	-	-
				65	19,76	-0,07	367,57	367,57	367,57	361,53
				66	24,20	0,17	107,97	107,97	107,97	111,99
				67	25,83	0,25	53,63	53,63	53,63	60,25
				68	28,79	0,41	34,66	34,66	34,66	37,54
				69	28,79	0,41	34,66	34,66	34,66	37,54
				70	30,23	0,49	19,95	19,95	19,95	21,67
				71	32,59	0,61	14,01	14,01	14,01	14,54
				72	37,04	0,84	8,07	8,07	8,07	7,01
				73	41,76	1,09	3,71	3,71	3,71	4,10
CL - 2	28	17	11	74	45,66	1,30	0,54	0,54	0,54	0,80
				75	11,09	-0,54	-	-	-	-
				76	15,15	-0,17	168,34	183,00	184,73	178,69
				77	17,42	0,04	59,67	65,71	60,53	61,97
				78	19,82	0,26	21,72	26,04	26,04	24,60
				79	21,95	0,45	7,27	12,82	13,22	11,10
				80	21,95	0,45	7,27	12,82	13,22	11,10
				81	25,75	0,80	5,69	6,88	6,88	6,48
CL - 3	42	19	23	82	27,98	1,00	0,54	0,93	0,54	0,67
				83	12,27	-0,29	-	-	-	-
				84	16,47	-0,11	274,42	265,80	264,93	268,38
				85	19,85	0,04	95,03	111,42	109,69	105,38
				86	22,95	0,17	36,39	40,70	39,84	38,97
				87	25,58	0,29	24,71	27,48	26,69	26,29
				88	27,45	0,37	15,20	16,39	17,18	16,25
				89	31,40	0,54	9,25	11,24	9,65	10,05
				90	33,27	0,62	7,67	8,07	7,27	7,67
				91	39,48	0,89	4,10	4,89	5,69	4,89
CL - 4	38	23	15	92	17,09	-0,39	380,50	380,50	380,50	380,50
				93	21,27	-0,12	213,19	214,91	222,67	216,92
				94	23,78	0,05	88,13	91,58	83,82	87,85
				95	26,37	0,22	27,76	43,29	39,84	36,96
				96	29,85	0,46	19,95	22,73	19,95	20,88
				97	34,32	0,75	9,25	9,65	11,24	10,05
				98	36,85	0,92	4,50	4,50	4,50	4,50
				99	39,75	1,12	3,31	3,31	3,31	3,31
				100	41,31	1,22	2,52	1,72	0,93	1,72
				101	14,00	-0,19	371,88	371,88	371,88	371,88
CL - 5	46	19	27	102	19,34	0,01	258,90	251,13	252,86	254,30
				103	23,68	0,17	81,23	93,31	88,13	87,56
				104	25,17	0,23	54,50	57,08	64,85	58,81
				105	27,71	0,32	41,56	26,90	32,94	33,80
				106	31,91	0,48	20,35	18,37	22,33	20,35
				107	33,94	0,55	12,42	12,42	12,82	12,56
				108	37,16	0,67	10,44	10,44	11,24	10,71
				109	43,60	0,91	5,69	5,29	4,89	5,29
										4,97

- : Deney yapılamamıştır.

EK-4. PP deneyi sonuçları

Çizelge 4.1. Yüksek plastisiteli killerde PP deneyi sonuçları

Cep Penetrometresi Deneyi Sonuçları										
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi (LI)	Drenajsız Kayma Dayanımı - S _u			
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	Ortalama (kPa)
CH - 1	92	33	59	1	27,96	-0,09	-	-	-	-
				2	31,73	-0,02	-	-	-	-
				3	33,53	0,01	212,50	212,50	225,00	216,67
				4	37,49	0,08	150,00	150,00	150,00	150,00
				5	40,85	0,13	100,00	75,00	100,00	91,67
				6	42,46	0,16	87,50	81,25	81,25	83,33
				7	44,29	0,19	62,50	62,50	75,00	66,67
				8	45,83	0,22	62,50	62,50	56,25	60,42
				9	48,69	0,27	50,00	50,00	50,00	50,00
				10	50,26	0,29	31,25	31,25	31,25	31,25
				11	51,63	0,32	31,25	31,25	25,00	29,17
				12	57,24	0,41	25,00	25,00	25,00	25,00
				13	62,57	0,50	12,50	12,50	12,50	12,50
				14	68,80	0,61	7,03	-	-	7,03
				15	74,35	0,70	5,47	-	-	5,47
				16	86,98	0,91	3,13	-	-	3,13
				CH - 2	53	19	34	17	94,55	1,04
18	16,59	-0,07	-					-	-	-
19	20,02	0,03	212,50					212,50	212,50	212,50
20	22,95	0,12	125,00					112,50	112,50	116,67
21	25,96	0,20	62,50					50,00	50,00	54,17
22	29,46	0,31	25,00					25,00	25,00	25,00
23	32,45	0,40	12,50					18,75	18,75	16,67
24	38,33	0,57	12,50					12,50	12,50	12,50
25	47,30	0,83	2,34					-	-	2,34
26	52,51	0,99	1,56	-	-	1,56				
CH - 3	61	26	35	27	16,23	-0,28	-	-	-	-
				28	24,19	-0,05	212,50	212,50	200,00	208,33
				29	29,49	0,10	100,00	100,00	112,50	104,17
				30	31,42	0,15	50,00	62,50	62,50	58,33
				31	33,51	0,21	75,00	75,00	75,00	75,00
				32	41,12	0,43	25,00	25,00	25,00	25,00
				33	44,93	0,54	12,50	12,50	12,50	12,50
				34	49,31	0,67	10,00	7,50	5,00	7,50
				35	56,11	0,86	3,91	-	-	3,91
CH - 4	85	33	52	36	61,20	1,01	3,91	-	-	3,91
				37	25,98	-0,13	-	-	-	-
				38	29,37	-0,07	-	-	-	-
				39	31,95	-0,02	137,50	150,00	137,50	141,67
				40	34,47	0,03	137,50	137,50	137,50	137,50
				41	37,39	0,08	100,00	87,50	100,00	95,83
				42	39,46	0,12	75,00	81,25	75,00	77,08
				43	41,15	0,16	62,50	62,50	62,50	62,50
				44	42,11	0,18	50,00	50,00	50,00	50,00
				45	45,06	0,23	31,25	31,25	31,25	31,25
				46	46,09	0,25	31,25	25,00	25,00	27,08
				47	49,66	0,32	25,00	25,00	25,00	25,00
				48	51,74	0,36	18,75	18,75	18,75	18,75
				49	54,89	0,42	12,50	12,50	12,50	12,50
				50	67,99	0,67	5,08	-	-	5,08
				51	72,47	0,76	2,73	-	-	2,73
				52	82,28	0,95	1,95	-	-	1,95
CH - 5	55	29	26	53	24,52	-0,17	206,25	206,25	206,25	206,25
				54	27,00	-0,08	125,00	125,00	125,00	125,00
				55	27,77	-0,05	125,00	125,00	125,00	125,00
				56	30,15	0,04	75,00	81,25	81,25	79,17
				57	32,23	0,12	50,00	50,00	50,00	50,00
				58	33,29	0,17	37,50	25,00	31,25	31,25
				59	34,10	0,20	40,00	37,50	37,50	38,33
				60	36,63	0,29	25,00	18,75	18,75	20,83
				61	40,18	0,43	12,50	12,50	12,50	12,50
				62	45,51	0,64	10,00	10,00	10,00	10,00
				63	50,14	0,81	2,34	-	-	2,34

- : Deney yapılamamıştır.

EK-4. (devam) PP deneyi sonuçları

Çizelge 4.2. Düşük plastisiteli killerde PP deneyi sonuçları

Cep Penetrometresi Deneyi Sonuçları										
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likite İndisi (LI)	Drenajsız Kayma Dayanımı - S_u			
							1. Okuma (kPa)	2. Okuma (kPa)	3. Okuma (kPa)	Ortalama (kPa)
CL - 1	40	21	19	64	12,84	-0,43	-	-	-	-
				65	19,76	-0,07	-	-	-	-
				66	24,20	0,17	131,25	125,00	125,00	127,08
				67	25,83	0,25	50,00	50,00	50,00	50,00
				68	28,79	0,41	43,75	37,50	37,50	39,58
				69	28,79	0,41	43,75	37,50	37,50	39,58
				70	30,23	0,49	25,00	25,00	25,00	25,00
				71	32,59	0,61	12,50	12,50	12,50	12,50
				72	37,04	0,84	3,91	-	-	3,91
				73	41,76	1,09	1,56	-	-	1,56
CL - 2	28	17	11	74	45,66	1,30	0,78	-	-	0,78
				75	11,09	-0,54	0,00	-	-	-
				76	15,15	-0,17	175,00	150,00	137,50	154,17
				77	17,42	0,04	81,25	75,00	75,00	77,08
				78	19,82	0,26	31,25	31,25	25,00	29,17
				79	21,95	0,45	18,75	12,50	12,50	14,58
				80	21,95	0,45	18,75	12,50	12,50	14,58
				81	25,75	0,80	3,13	-	-	3,13
				82	27,98	1,00	1,17	-	-	1,17
				83	12,27	-0,29	-	-	-	-
CL - 3	42	19	23	84	16,47	-0,11	225,00	225,00	225,00	225,00
				85	19,85	0,04	112,50	106,25	100,00	106,25
				86	22,95	0,17	43,75	43,75	43,75	43,75
				87	25,58	0,29	18,75	18,75	18,75	18,75
				88	27,45	0,37	12,50	12,50	12,50	12,50
				89	31,40	0,54	5,47	-	-	5,47
				90	33,27	0,62	4,30	-	-	4,30
				91	39,48	0,89	3,91	-	-	3,91
				92	17,09	-0,39	-	-	-	-
				93	21,27	-0,12	225,00	225,00	225,00	225,00
CL - 4	38	23	15	94	23,78	0,05	131,25	118,75	125,00	125,00
				95	26,37	0,22	50,00	56,25	50,00	52,08
				96	29,85	0,46	37,50	31,25	31,25	33,33
				97	34,32	0,75	18,75	-	-	18,75
				98	36,85	0,92	3,91	-	-	3,91
				99	39,75	1,12	2,34	-	-	2,34
				100	41,31	1,22	1,56	-	-	1,56
				101	14,00	-0,19	-	-	-	-
CL - 5	46	19	27	102	19,34	0,01	225,00	225,00	225,00	225,00
				103	23,68	0,17	87,50	87,50	87,50	87,50
				104	25,17	0,23	75,00	62,50	62,50	66,67
				105	27,71	0,32	37,50	31,25	37,50	35,42
				106	31,91	0,48	25,00	31,25	18,75	25,00
				107	33,94	0,55	12,50	12,50	12,50	12,50
				108	37,16	0,67	6,25	-	-	6,25
				109	43,60	0,91	4,69	-	-	4,69

- : Deney yapılamamıştır.

EK-5. UC deneyi sonuçları

Çizelge 5.1. Yüksek plastisiteli killerde UC deneyi sonuçları

Serbest Basınç Deneyi Sonuçları							
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likite İndisi (LI)	Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)
CH - 1	92	33	59	1	27,96	-0,09	230,34
				2	31,73	-0,02	176,55
				3	33,53	0,01	205,87
				4	37,49	0,08	94,91
				5	40,85	0,13	70,95
				6	42,46	0,16	57,17
				7	44,29	0,19	45,89
				8	45,83	0,22	33,96
				9	48,69	0,27	29,53
				10	50,26	0,29	26,14
				11	51,63	0,32	18,40
				12	57,24	0,41	13,60
				13	62,57	0,50	4,02
				14	68,80	0,61	-
				15	74,35	0,70	-
				16	86,98	0,91	-
				17	94,55	1,04	-
CH - 2	53	19	34	18	16,59	-0,07	357,88
				19	20,02	0,03	171,04
				20	22,95	0,12	93,29
				21	25,96	0,20	34,46
				22	29,46	0,31	-
				23	32,45	0,40	-
				24	38,33	0,57	-
				25	47,30	0,83	-
				26	52,51	0,99	-
				27	16,23	-0,28	253,66
CH - 3	61	26	35	28	24,19	-0,05	145,86
				29	29,49	0,10	88,38
				30	31,42	0,15	44,56
				31	33,51	0,21	35,07
				32	41,12	0,43	-
				33	44,93	0,54	-
				34	49,31	0,67	-
				35	56,11	0,86	-
				36	61,20	1,01	-
				37	25,98	-0,13	236,59
CH - 4	85	33	52	38	29,37	-0,07	177,80
				39	31,95	-0,02	104,36
				40	34,47	0,03	113,38
				41	37,39	0,08	66,52
				42	39,46	0,12	46,93
				43	41,15	0,16	38,63
				44	42,11	0,18	36,25
				45	45,06	0,23	27,82
				46	46,09	0,25	20,70
				47	49,66	0,32	15,49
				48	51,74	0,36	8,79
				49	54,89	0,42	6,50
				50	67,99	0,67	-
				51	72,47	0,76	-
				52	82,28	0,95	-
				53	24,52	-0,17	178,20
CH - 5	55	29	26	54	27,00	-0,08	72,49
				55	27,77	-0,05	63,58
				56	30,15	0,04	38,46
				57	32,23	0,12	27,71
				58	33,29	0,17	20,59
				59	34,10	0,20	-
				60	36,63	0,29	-
				61	40,18	0,43	-
				62	45,51	0,64	-
				63	50,14	0,81	-

- : Deney yapılamamıştır.

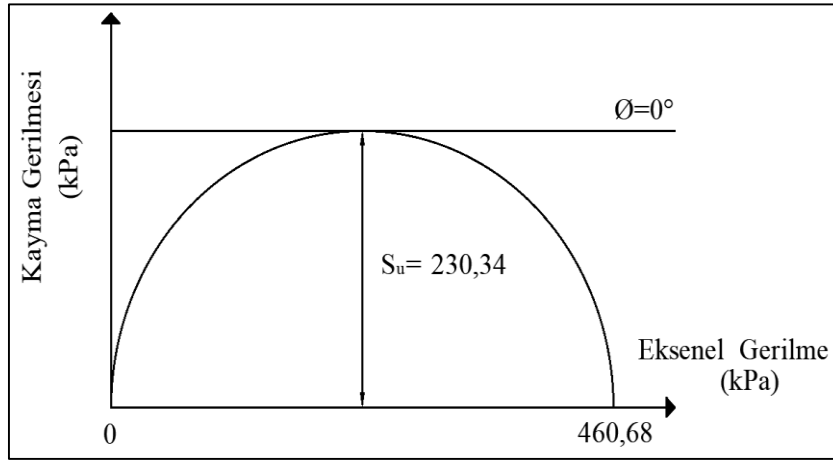
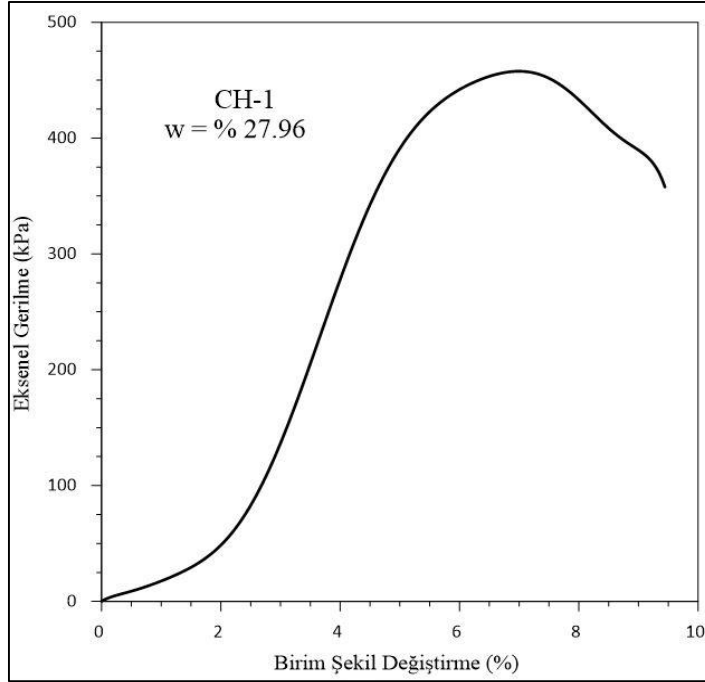
EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları

Çizelge 5.2. Düşük plastisiteli killerde UC deneyi sonuçları

Serbest Basınç Deneyi Sonuçları							
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likite İndisi (LI)	Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)
CL - 1	40	21	19	64	12,84	-0,43	148,33
				65	19,76	-0,07	178,30
				66	24,20	0,17	61,05
				67	25,83	0,25	49,05
				68	28,79	0,41	24,20
				69	28,79	0,41	24,20
				70	30,23	0,49	15,92
				71	32,59	0,61	-
				72	37,04	0,84	-
				73	41,76	1,09	-
				74	45,66	1,30	-
CL - 2	28	17	11	75	11,09	-0,54	229,34
				76	15,15	-0,17	154,96
				77	17,42	0,04	51,34
				78	19,82	0,26	17,61
				79	21,95	0,45	9,94
				80	21,95	0,45	9,94
				81	25,75	0,80	-
				82	27,98	1,00	-
CL - 3	42	19	23	83	12,27	-0,29	264,46
				84	16,47	-0,11	200,75
				85	19,85	0,04	86,07
				86	22,95	0,17	34,10
				87	25,58	0,29	18,20
				88	27,45	0,37	-
				89	31,40	0,54	-
				90	33,27	0,62	-
				91	39,48	0,89	-
CL - 4	38	23	15	92	17,09	-0,39	192,29
				93	21,27	-0,12	141,21
				94	23,78	0,05	55,12
				95	26,37	0,22	31,56
				96	29,85	0,46	18,79
				97	34,32	0,75	-
				98	36,85	0,92	-
				99	39,75	1,12	-
				100	41,31	1,22	-
				101	14,00	-0,19	204,00
CL - 5	46	19	27	102	19,34	0,01	173,08
				103	23,68	0,17	59,82
				104	25,17	0,23	44,82
				105	27,71	0,32	26,54
				106	31,91	0,48	-
				107	33,94	0,55	-
				108	37,16	0,67	-
				109	43,60	0,91	-

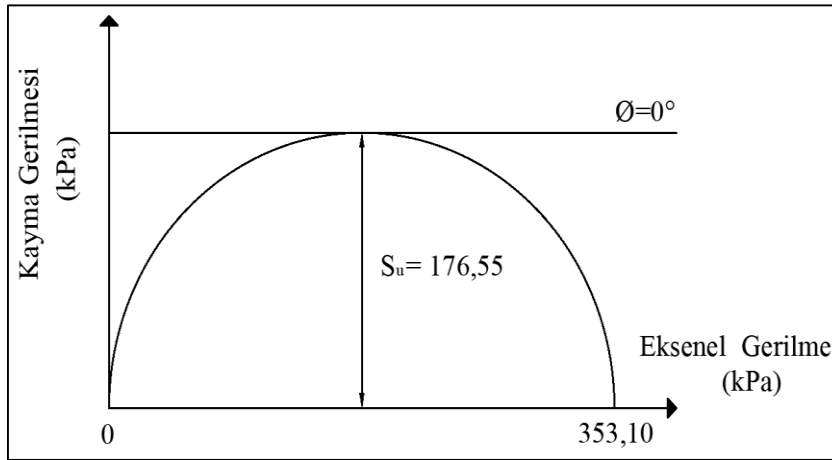
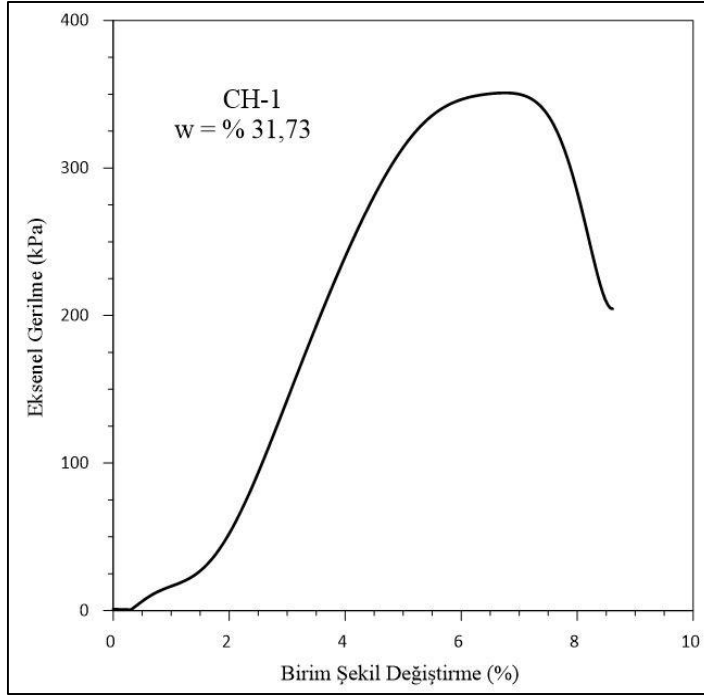
- : Deney yapılamamıştır.

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



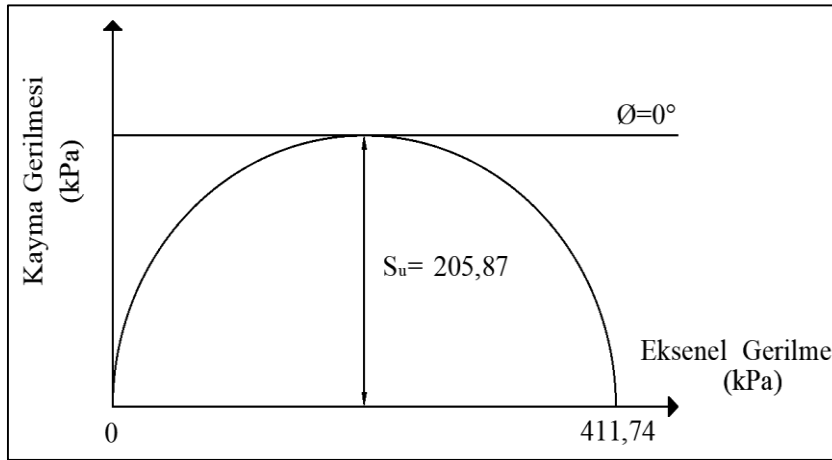
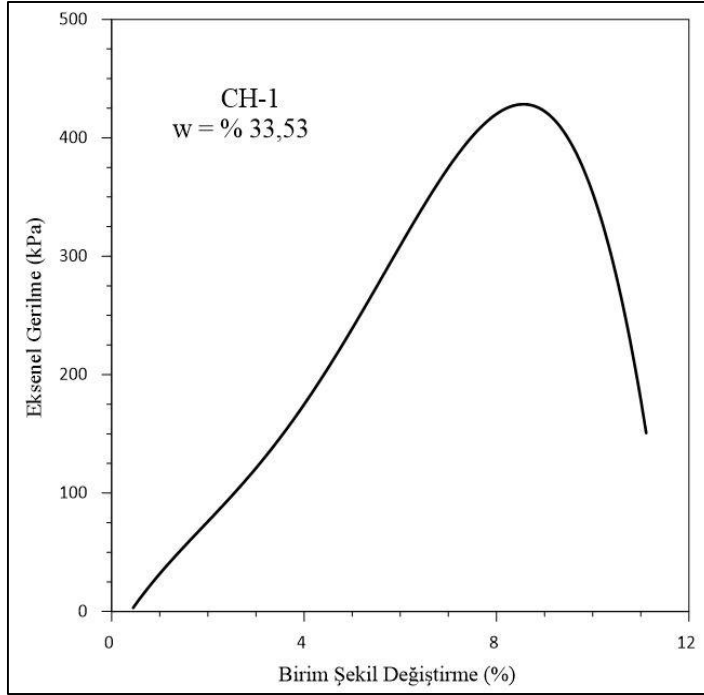
Şekil 5.1. CH-1 numunesi % 27,96 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



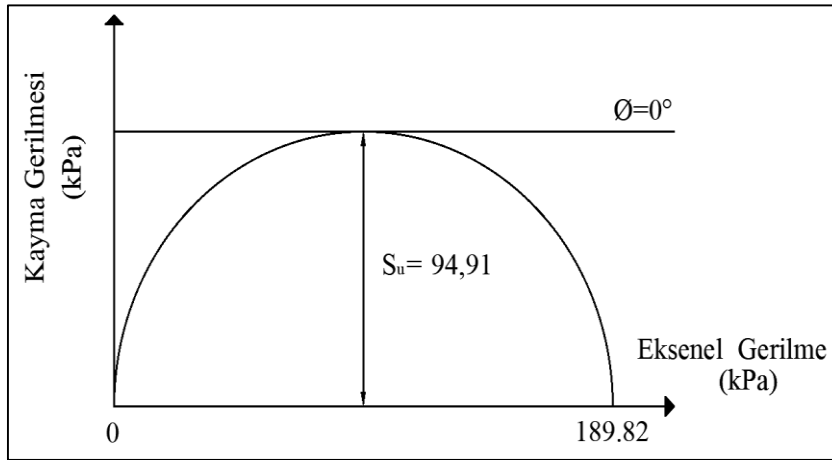
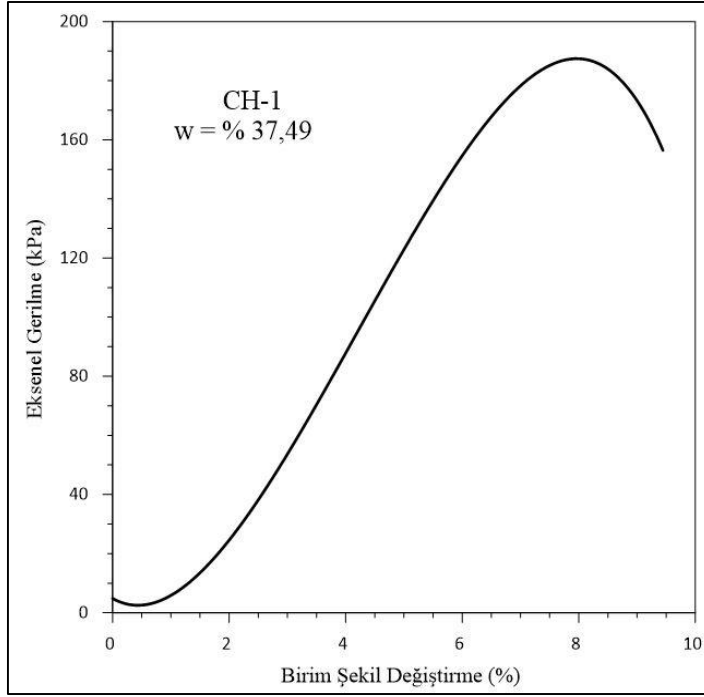
Şekil 5.2. CH-1 numunesi % 31,73 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



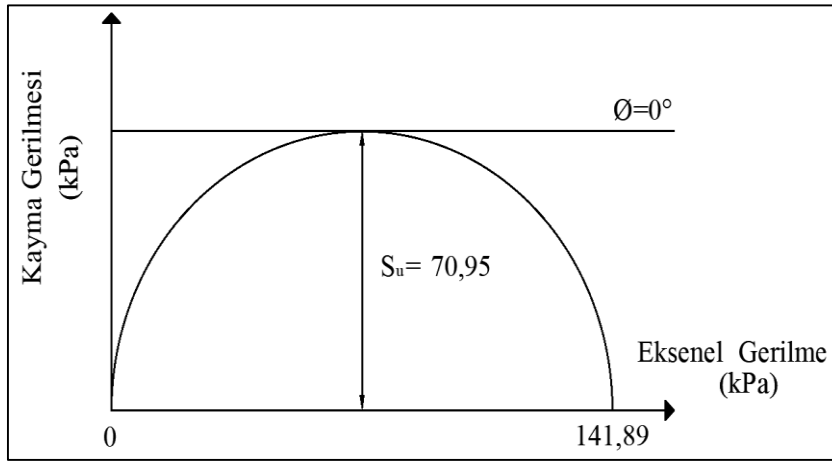
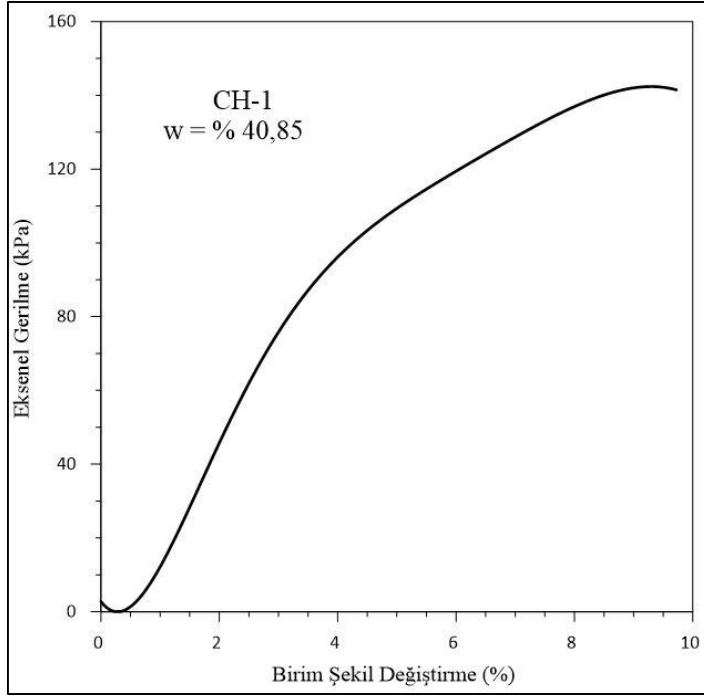
Şekil 5.3. CH-1 numunesi % 33,53 su muhtevası, gerilme -birim şekil değiştirme grafiği ve Mohr çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



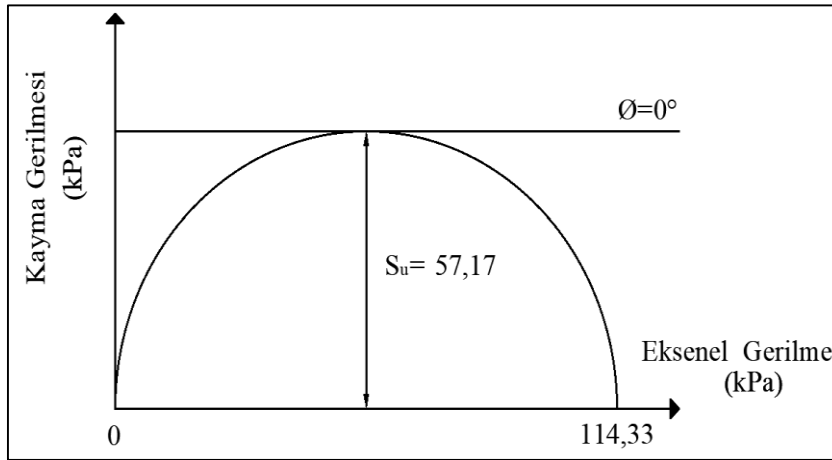
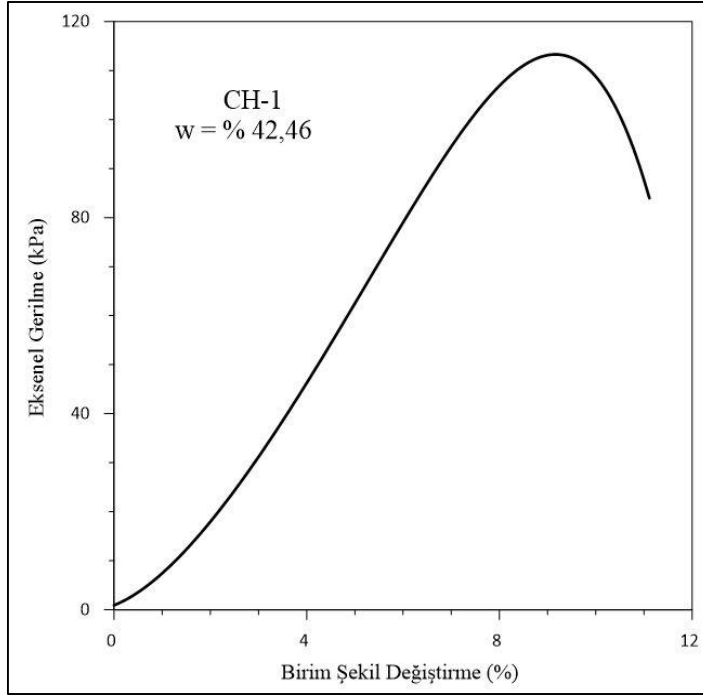
Şekil 5.4. CH-1 numunesi % 37,49 su muhtevası, birim şekil gerilme -değişirme grafiği ve Mohr çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



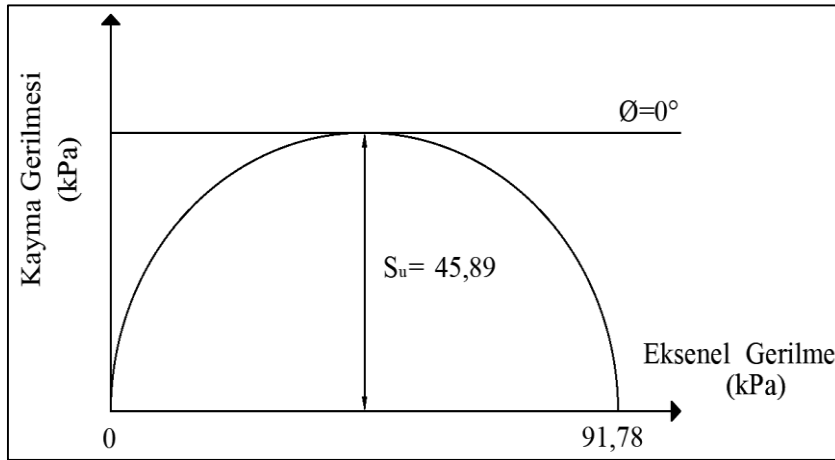
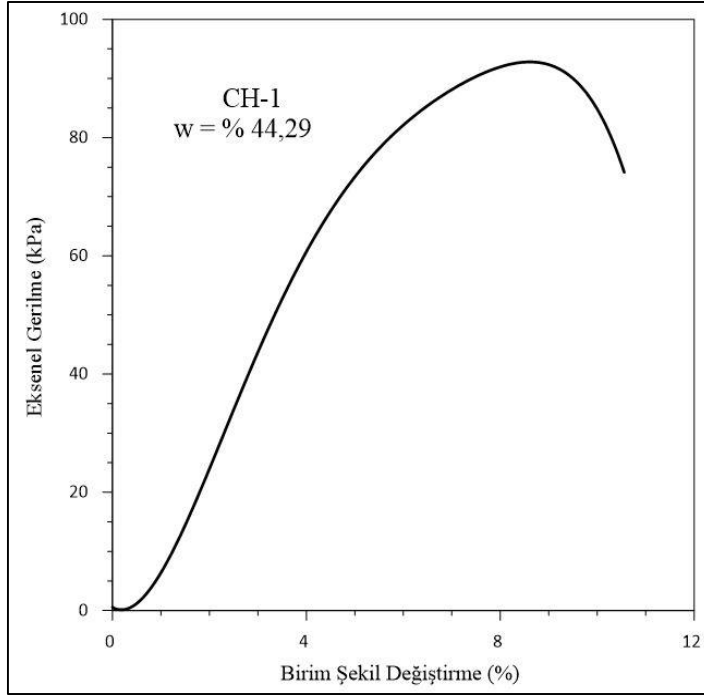
Şekil 5.5. CH-1 numunesi % 40,85 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



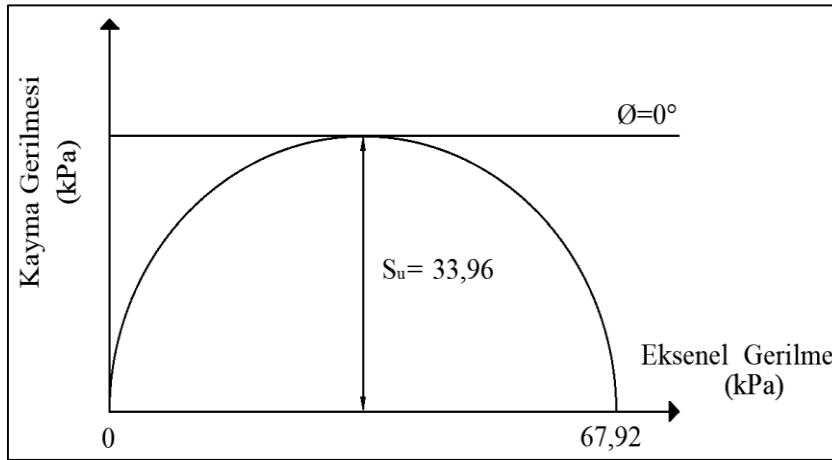
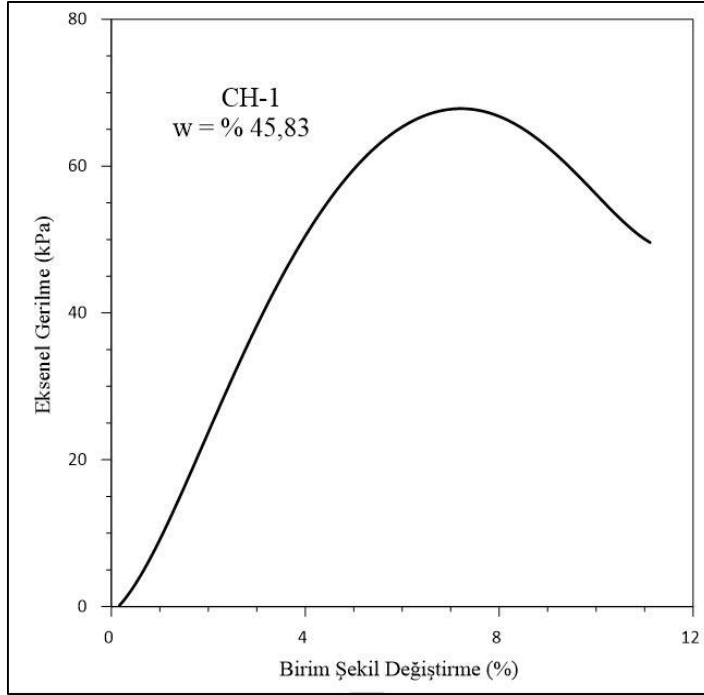
Şekil 5.6. CH-1 numunesi % 42,46 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



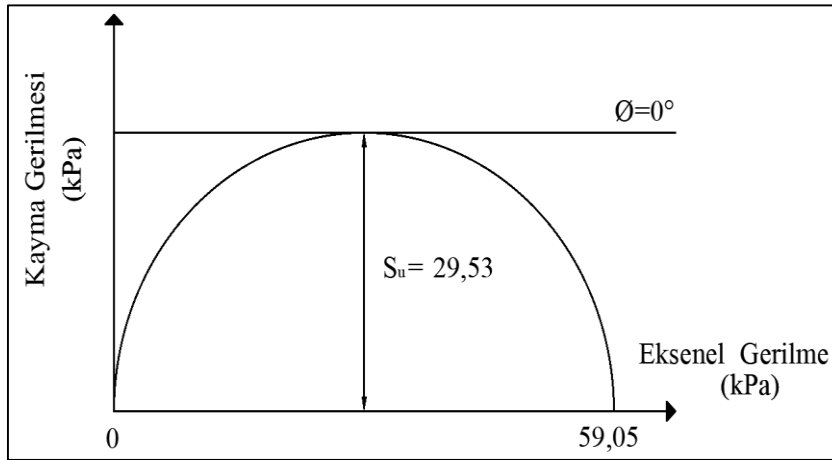
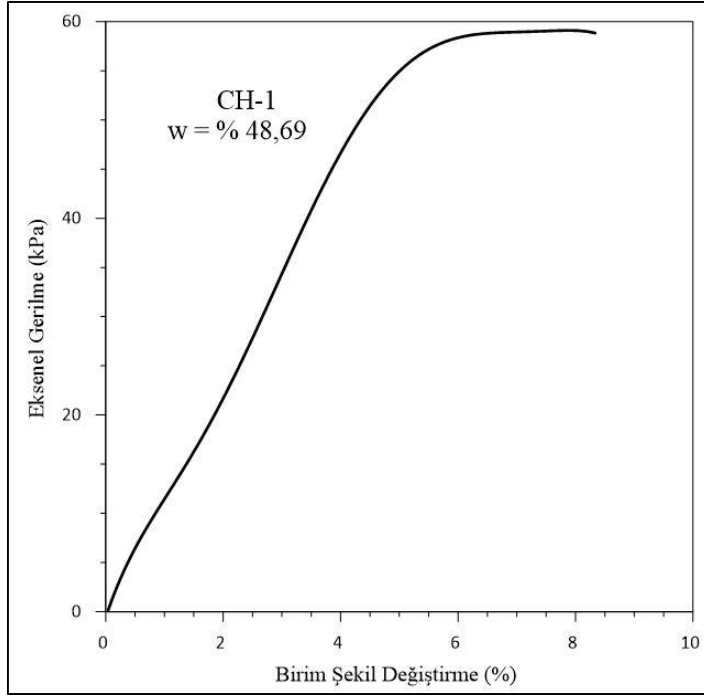
Şekil 5.7. CH-1 numunesi % 44,29 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



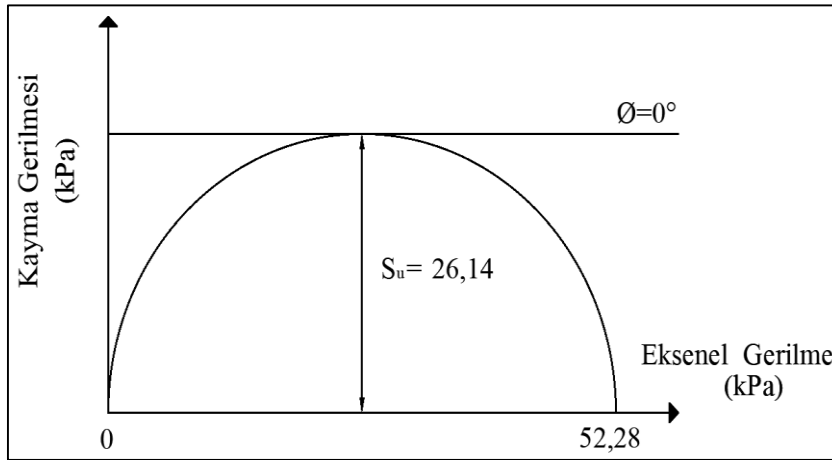
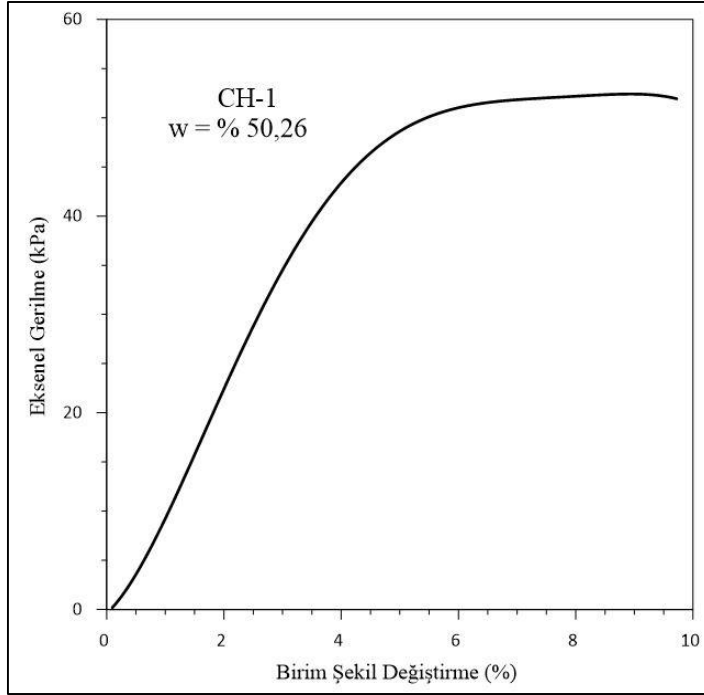
Şekil 5.8. CH-1 numunesi % 45,83 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



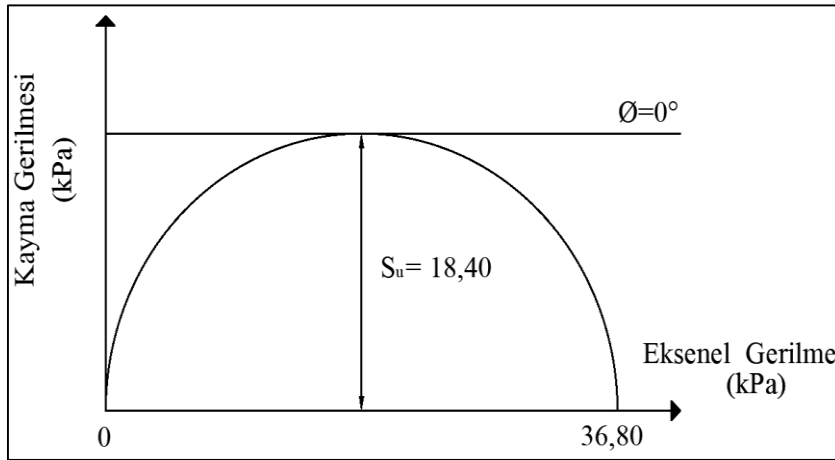
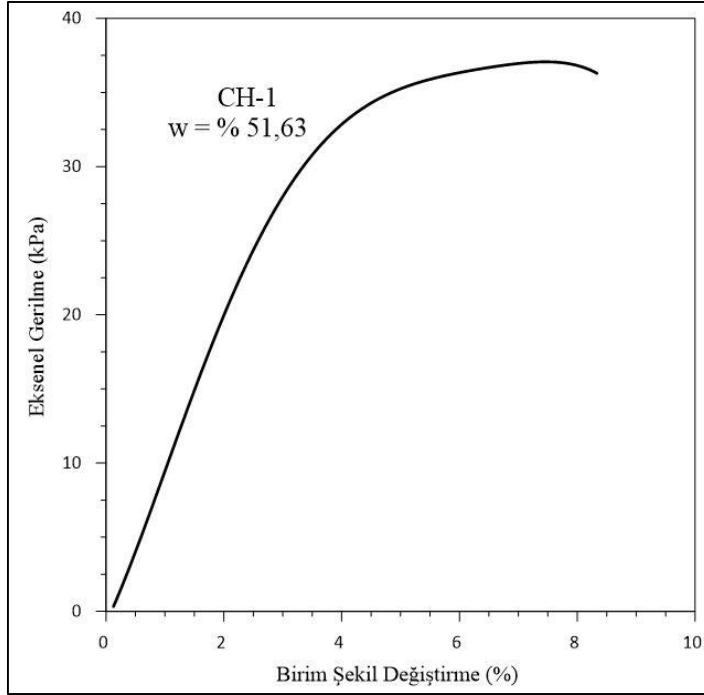
Şekil 5.9. CH-1 numunesi % 48,69 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



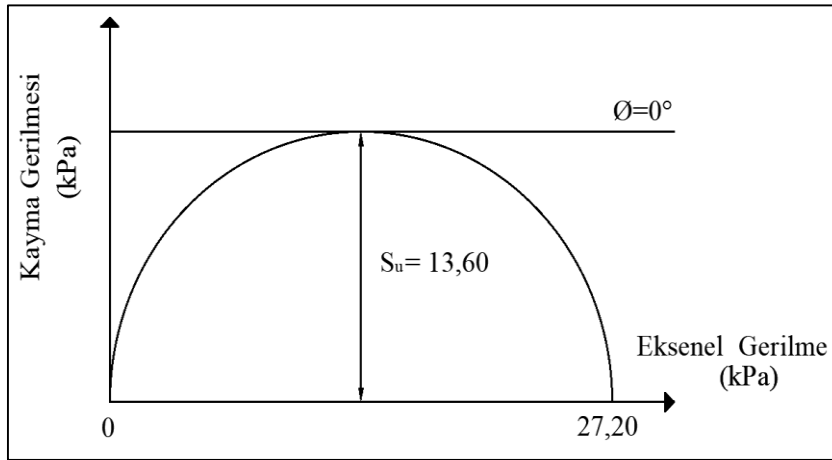
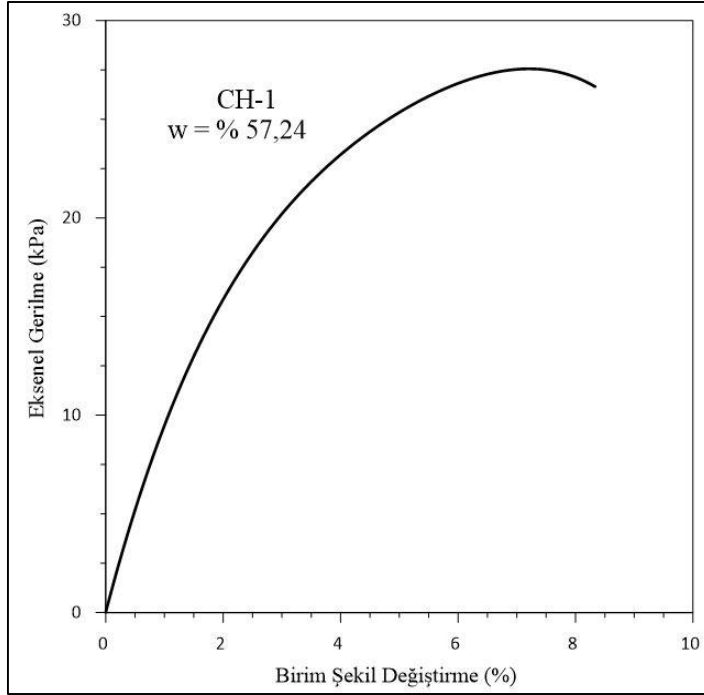
Şekil 5.10. CH-1 numunesi % 50,26 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



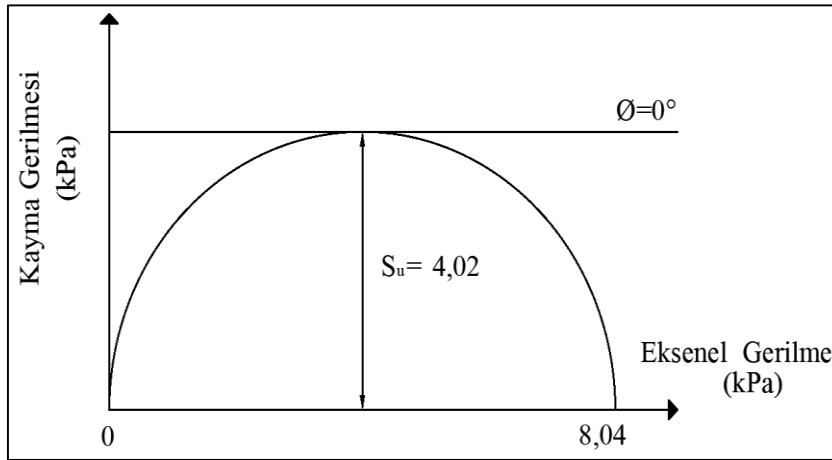
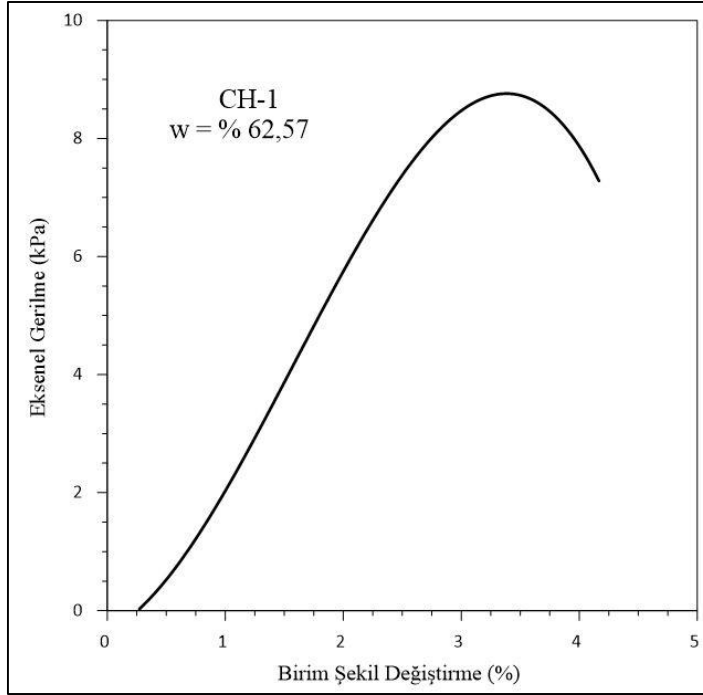
Şekil 5.11. CH-1 numunesi % 51,63 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



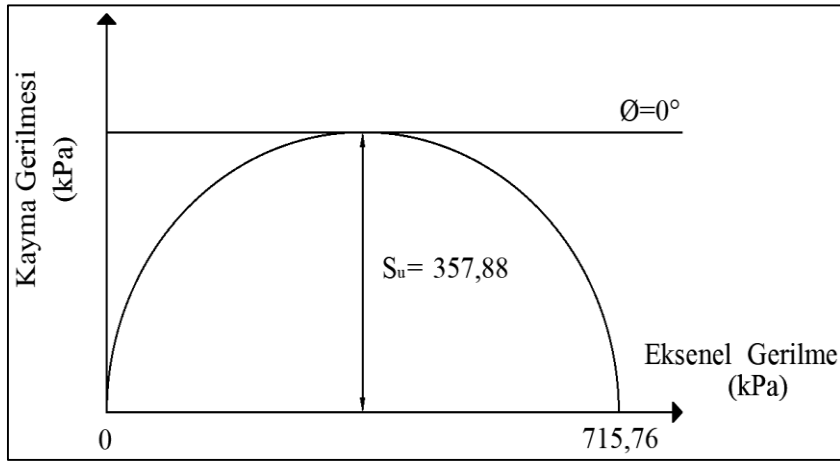
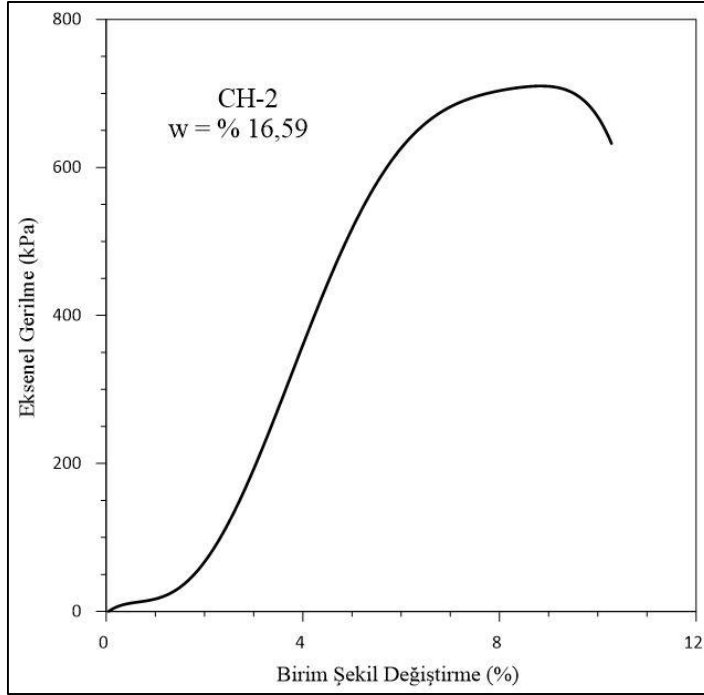
Şekil 5.12. CH-1 numunesi % 57,24 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



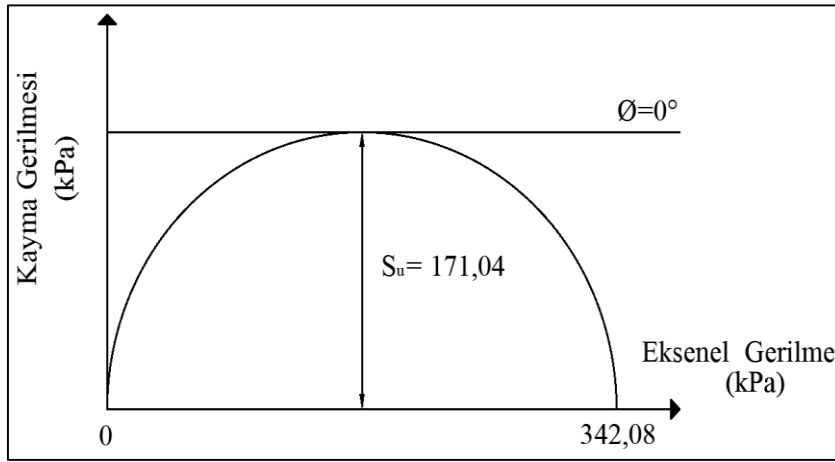
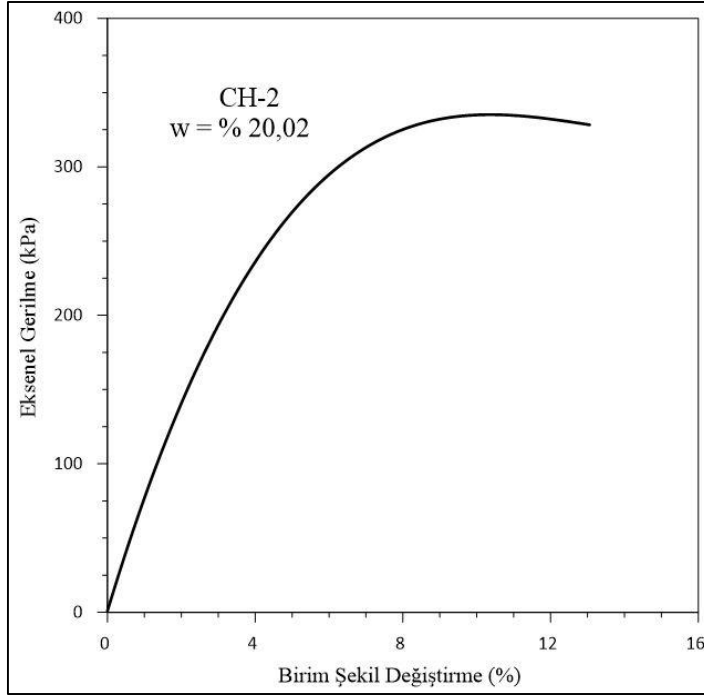
Şekil 5.13. CH-1 numunesi % 62,57 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



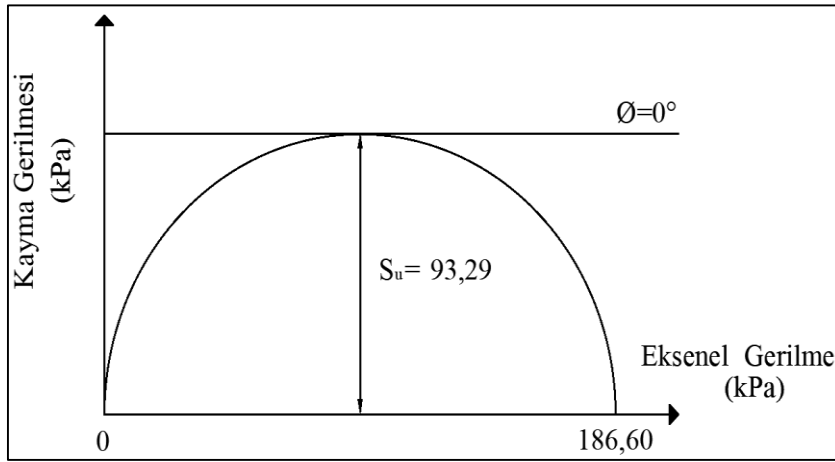
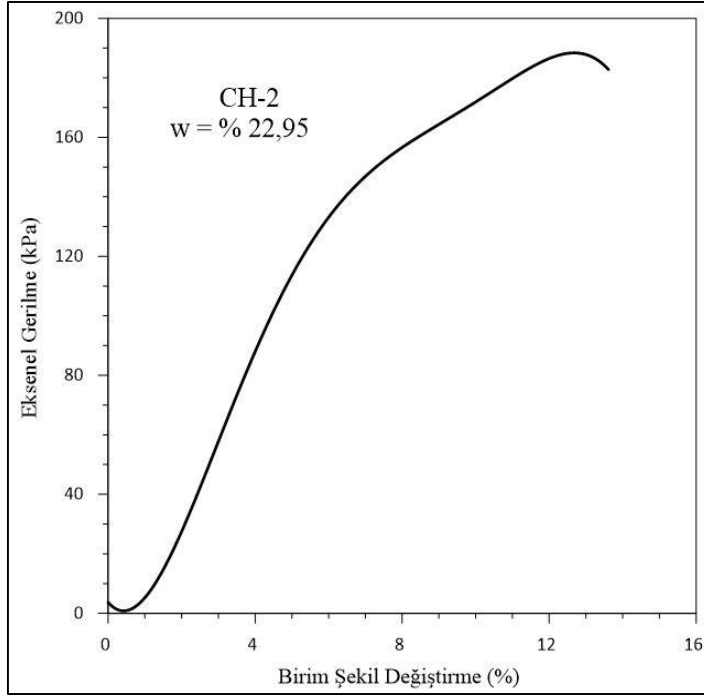
Şekil 5.14. CH-2 numunesi % 16,59 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



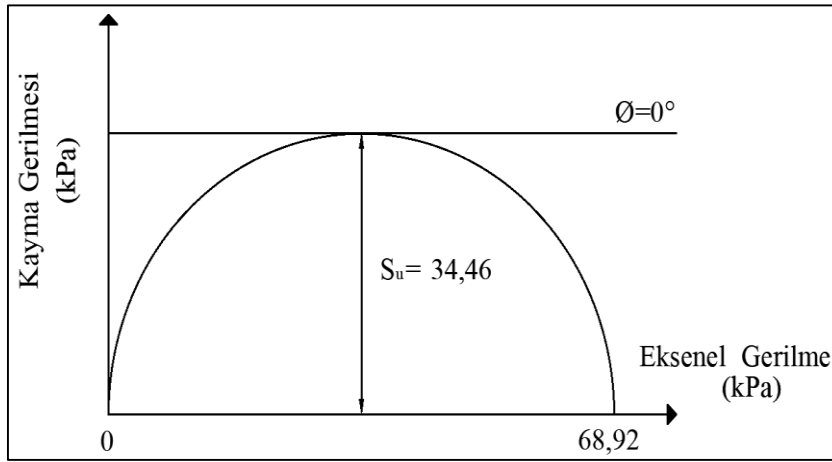
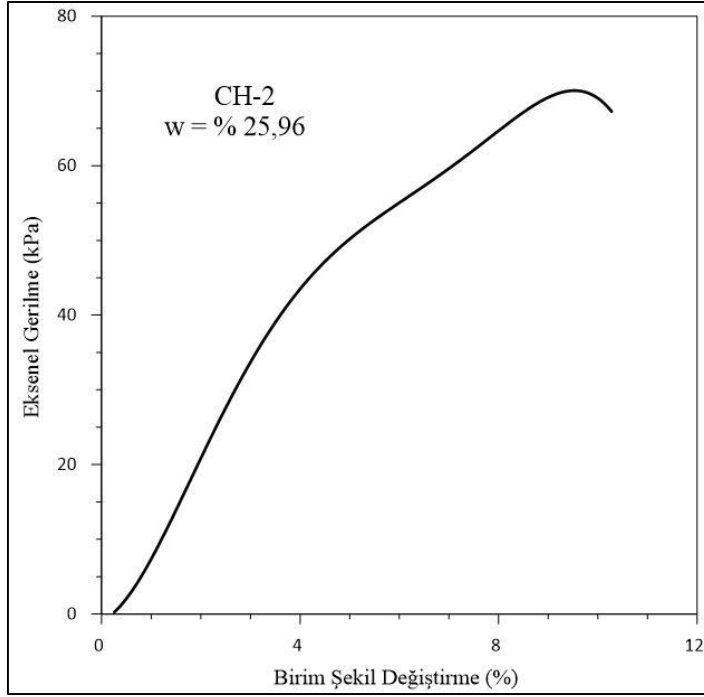
Şekil 5.15. CH-2 numunesi % 20,02 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



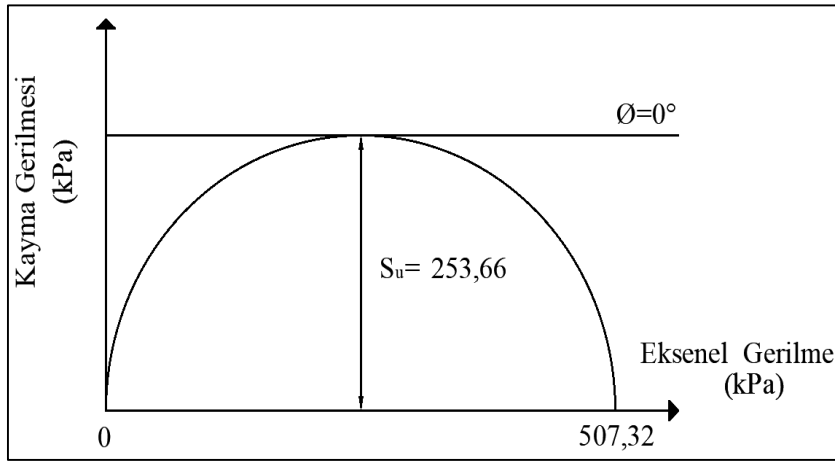
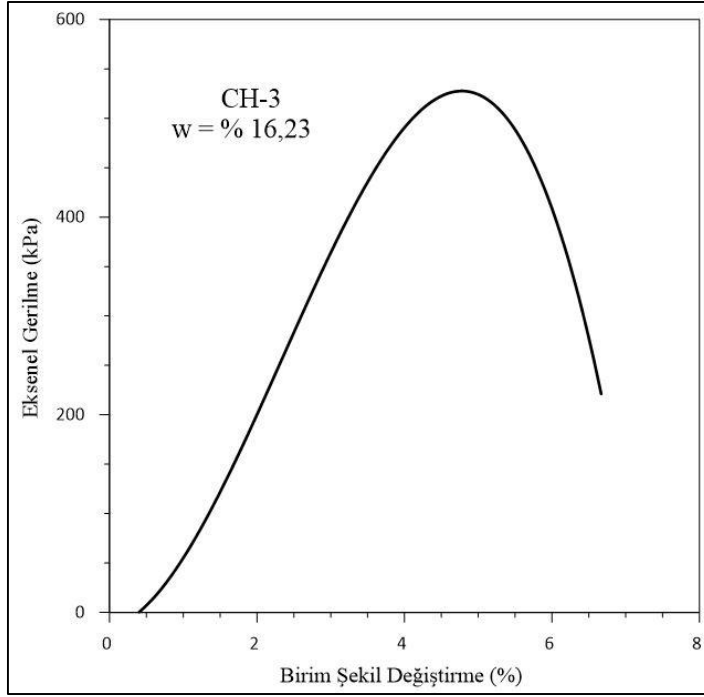
Şekil 5.16. CH-2 numunesi % 22,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



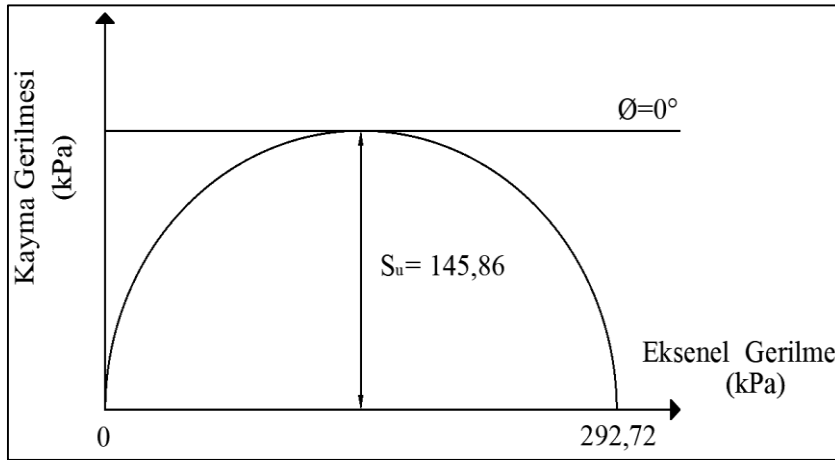
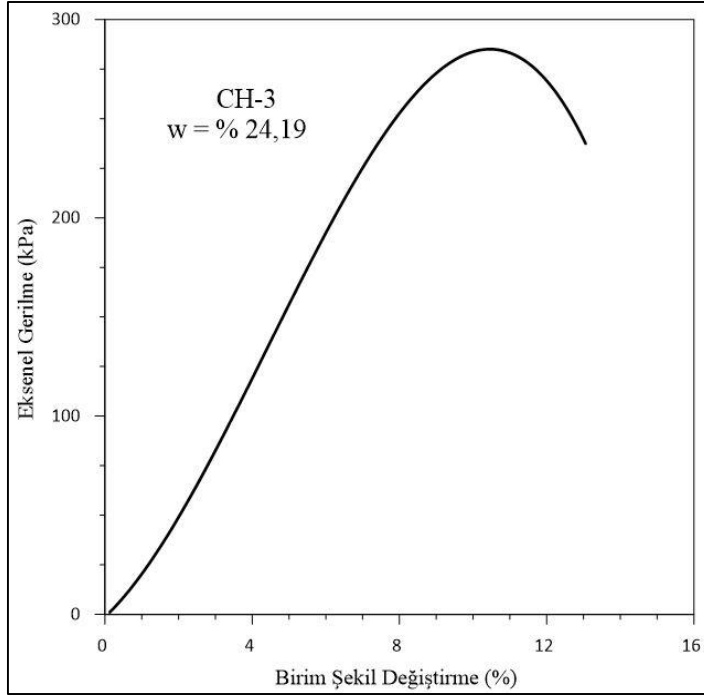
Şekil 5.17. CH-2 numunesi % 25,96 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



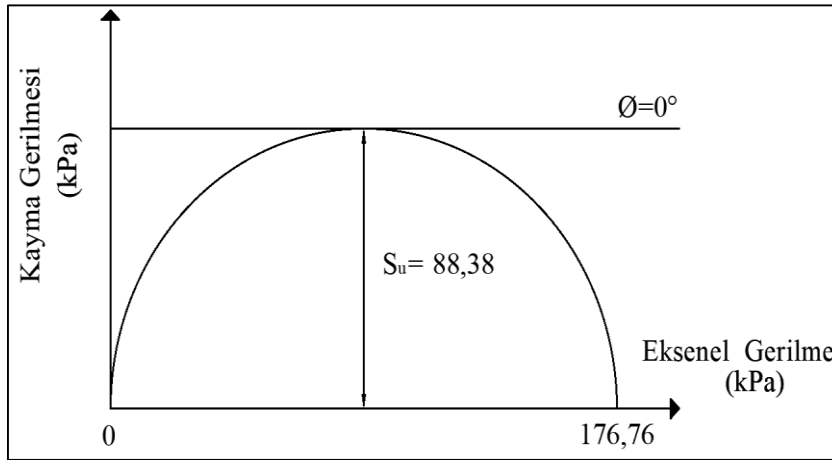
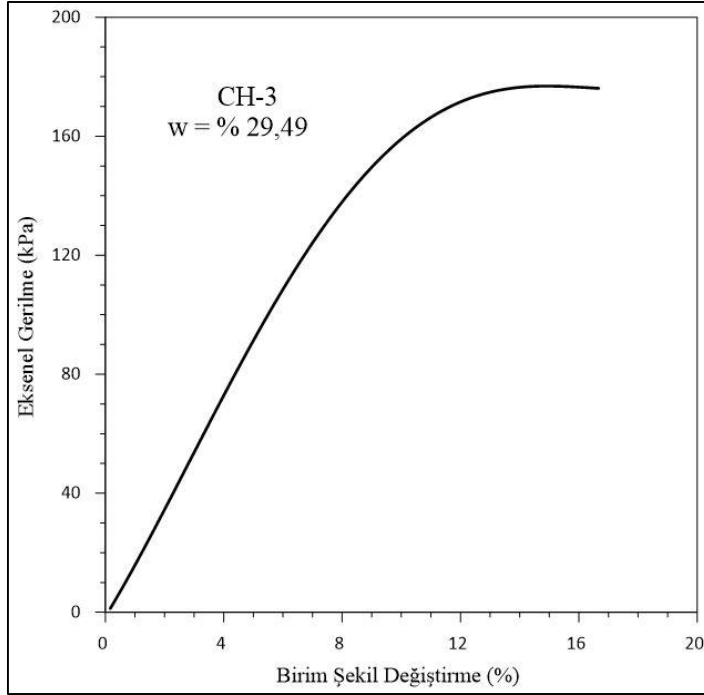
Şekil 5.18. CH-3 numunesi % 16,23 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



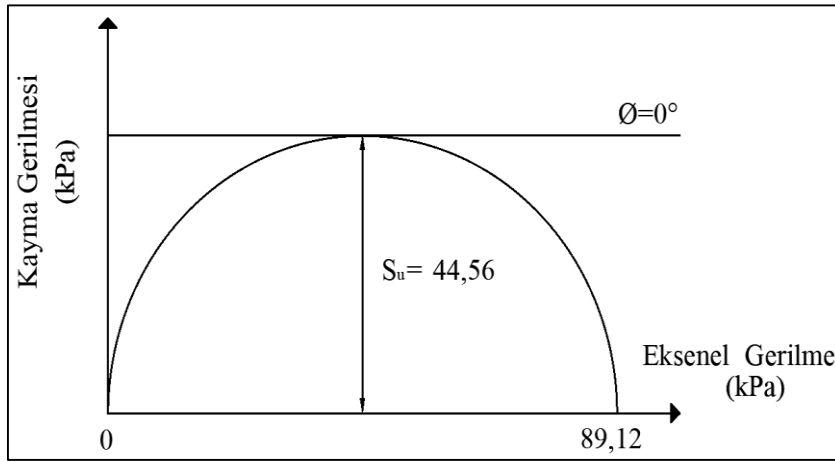
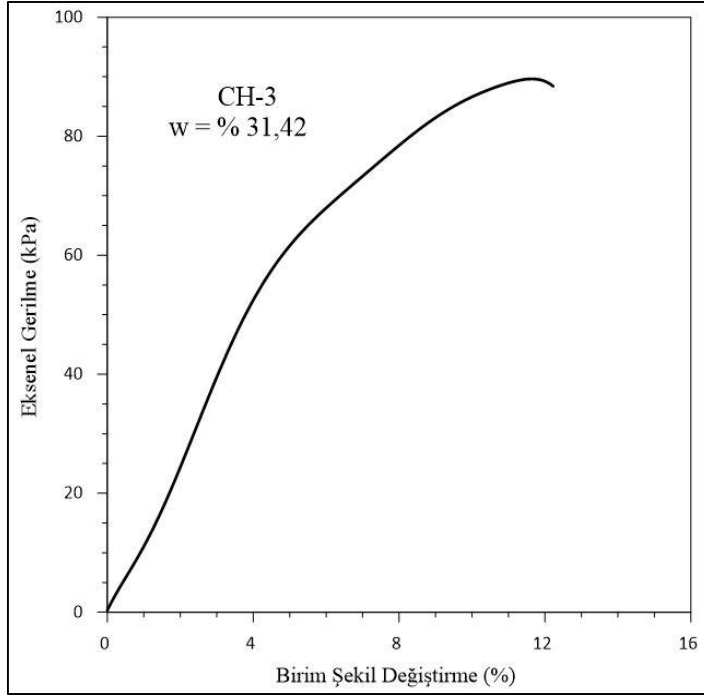
Şekil 5.19. CH-3 numunesi % 24,19 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



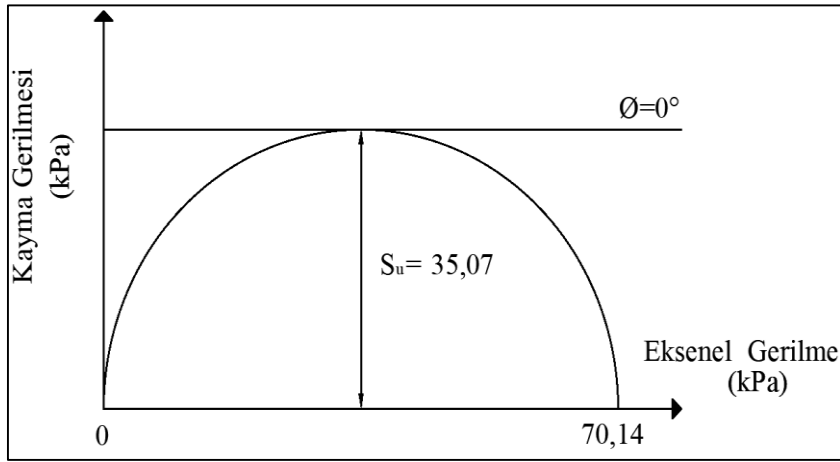
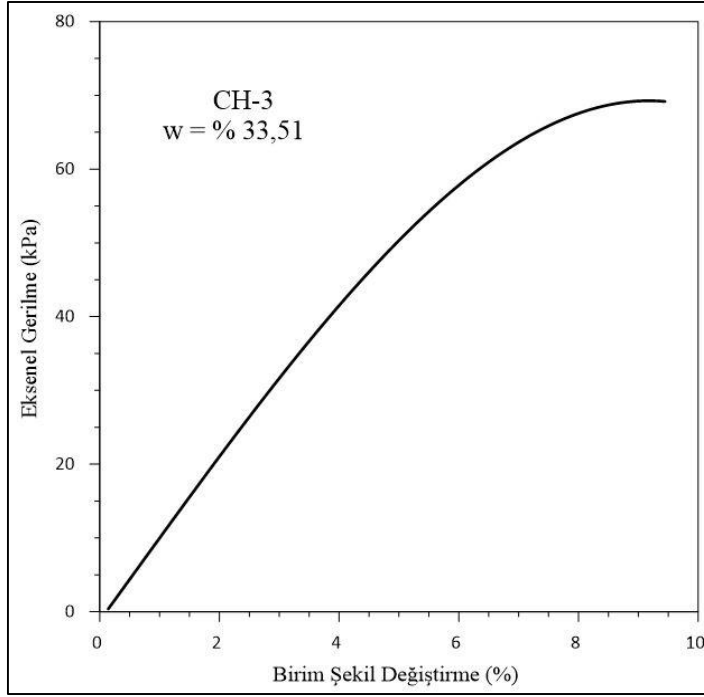
Şekil 5.20. CH-3 numunesi % 29,49 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



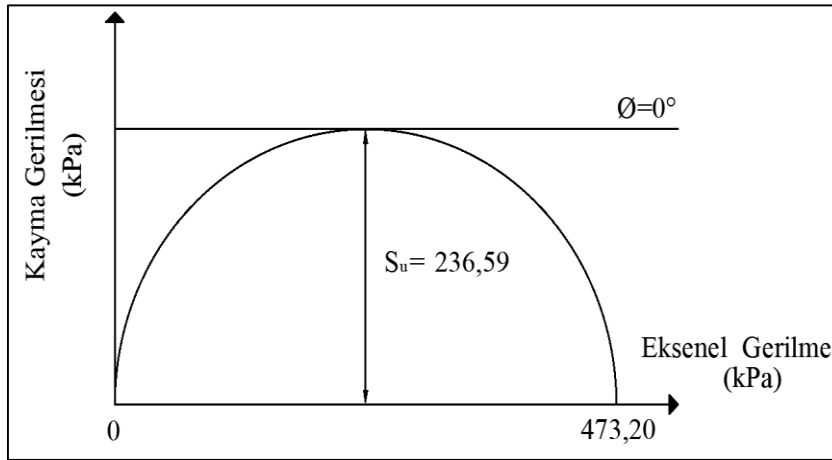
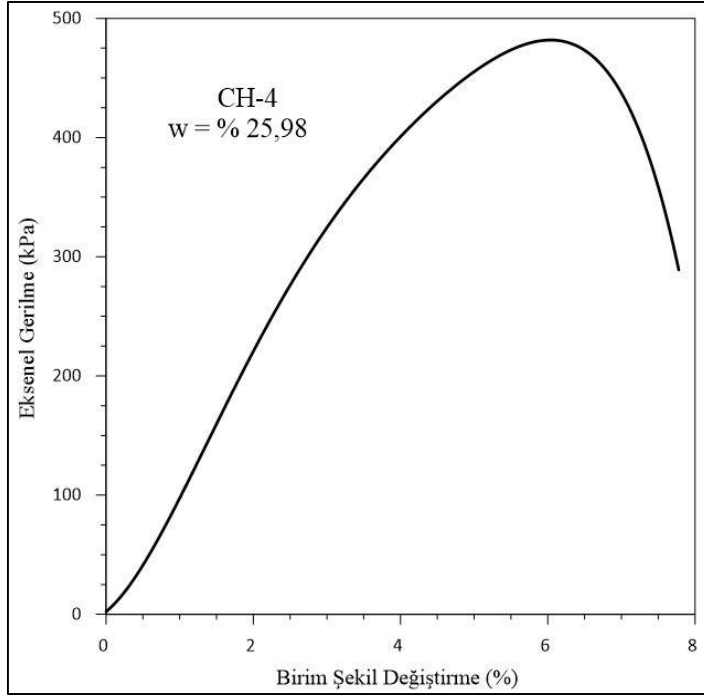
Şekil 5.21. CH-3 numunesi % 31,42 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



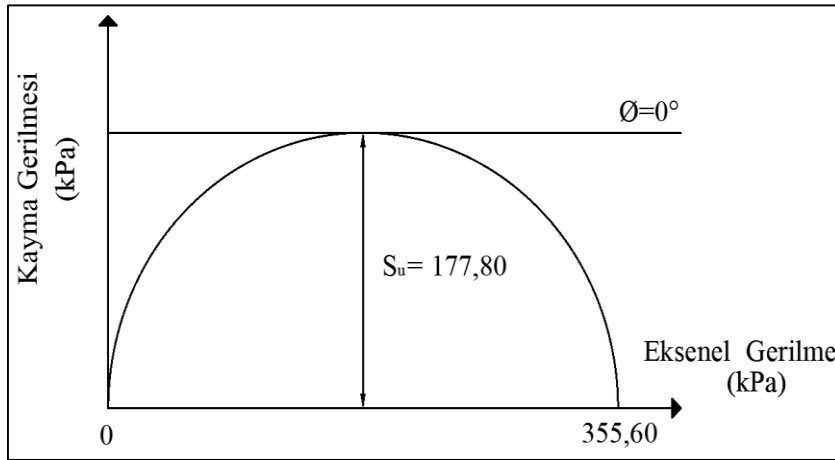
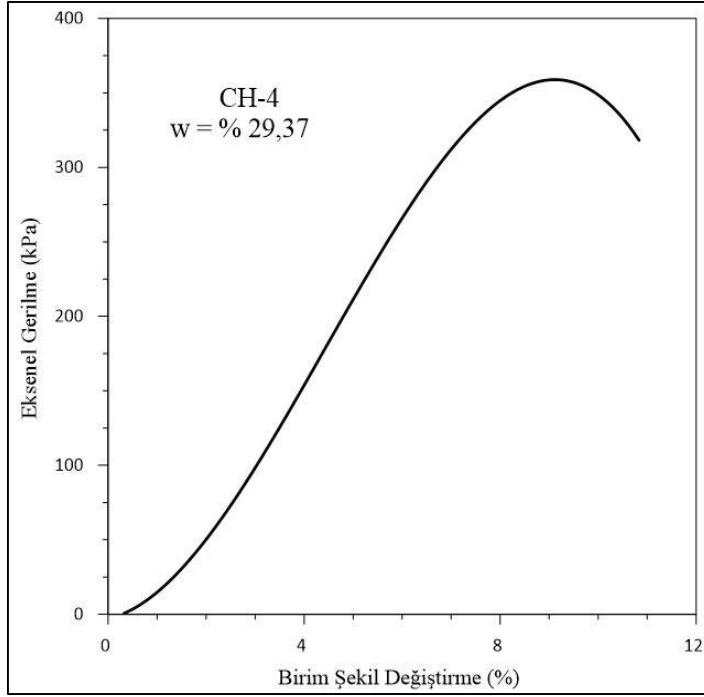
Şekil 5.22. CH-3 numunesi % 33,51 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



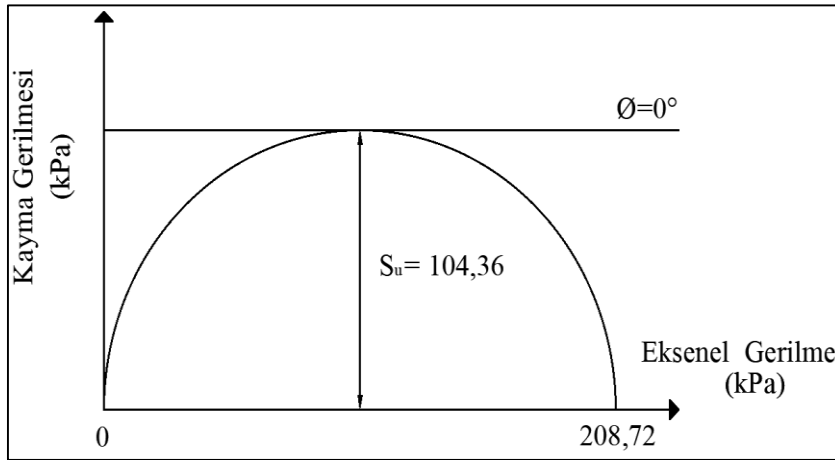
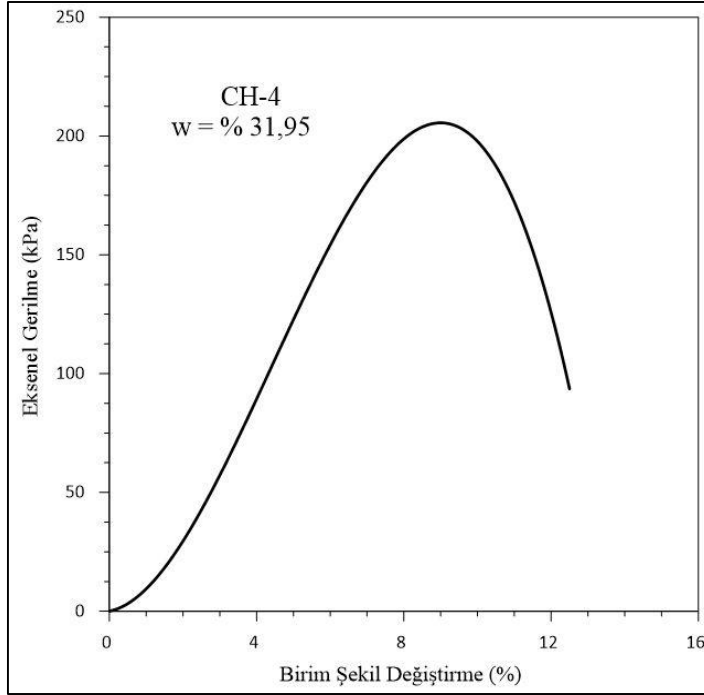
Şekil 5.23. CH-4 numunesi % 25,98 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



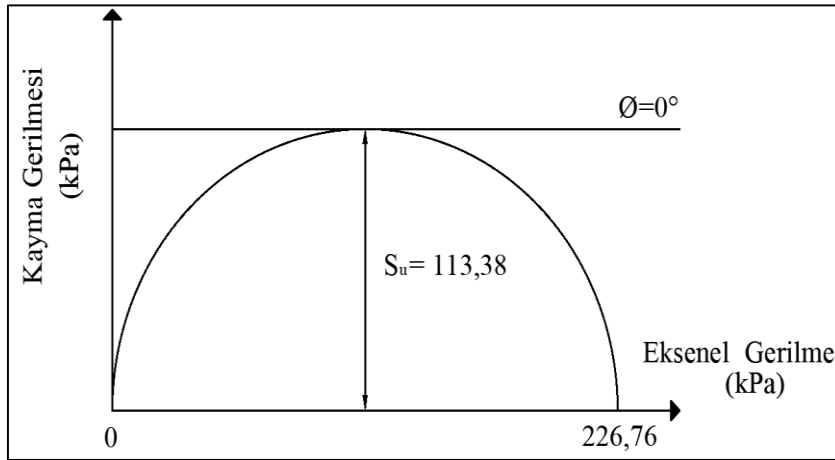
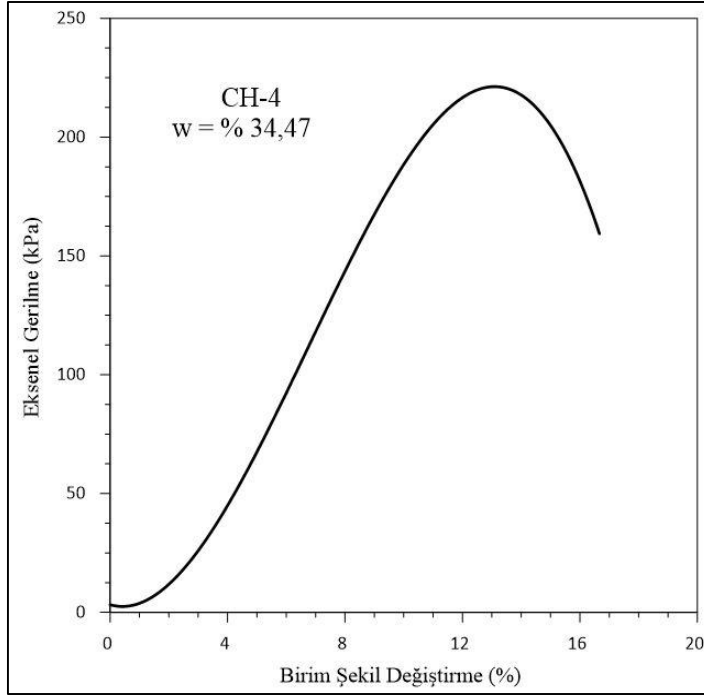
Şekil 5.24. CH-4 numunesi % 29,37 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



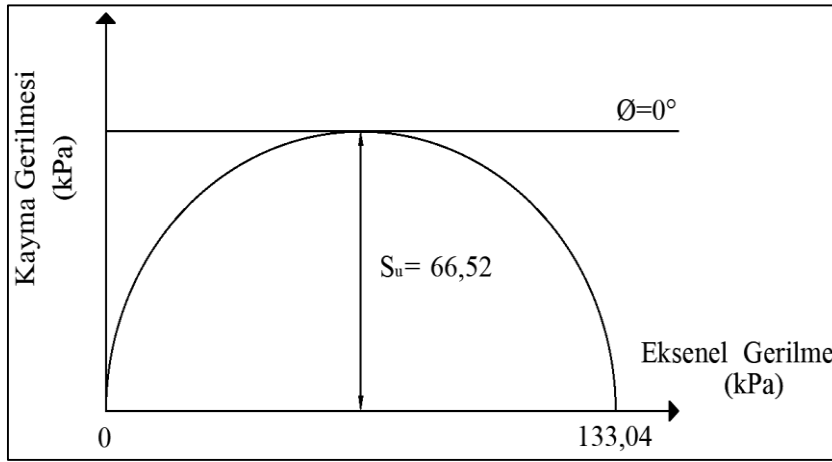
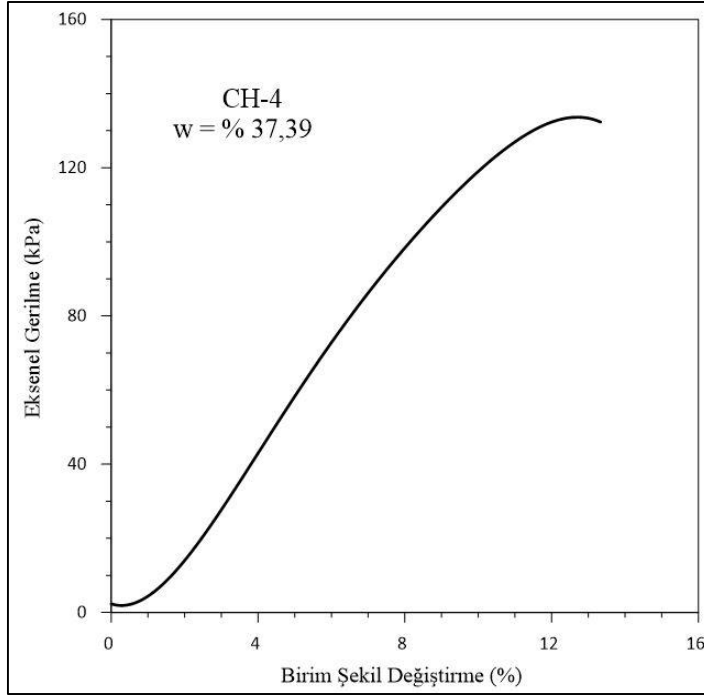
Şekil 5.25. CH-4 numunesi % 31,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



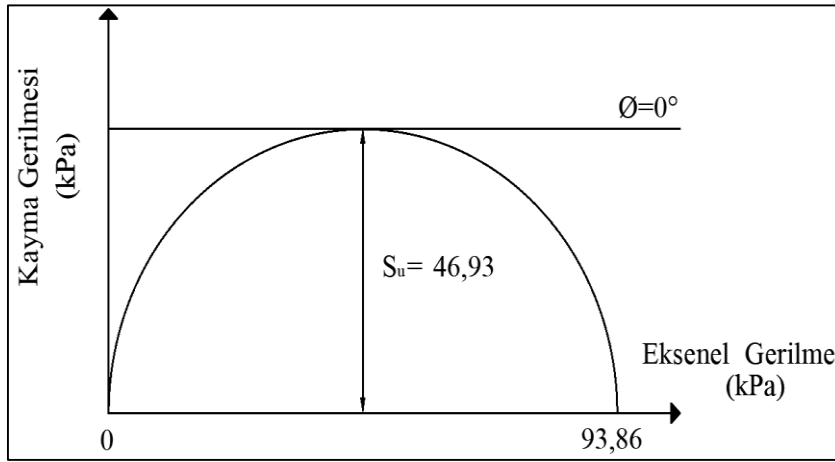
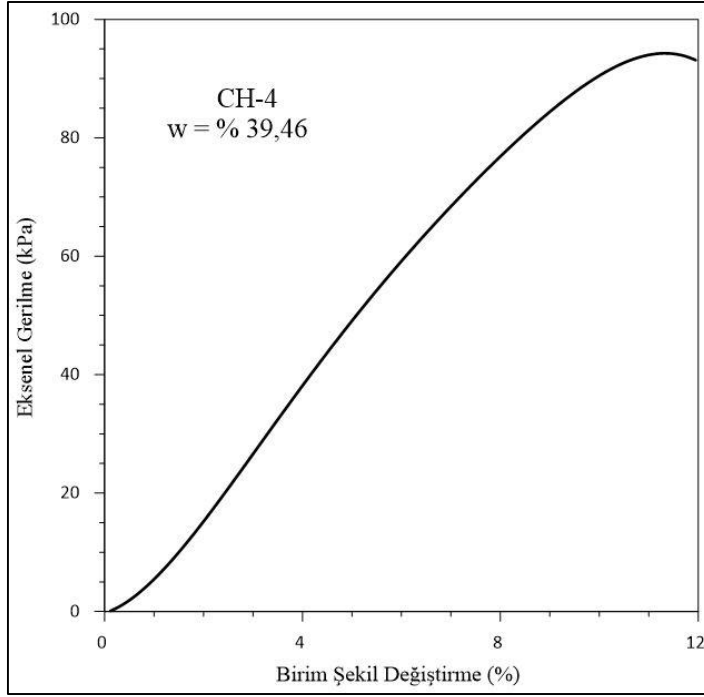
Şekil 5.26. CH-4 numunesi % 34,47 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



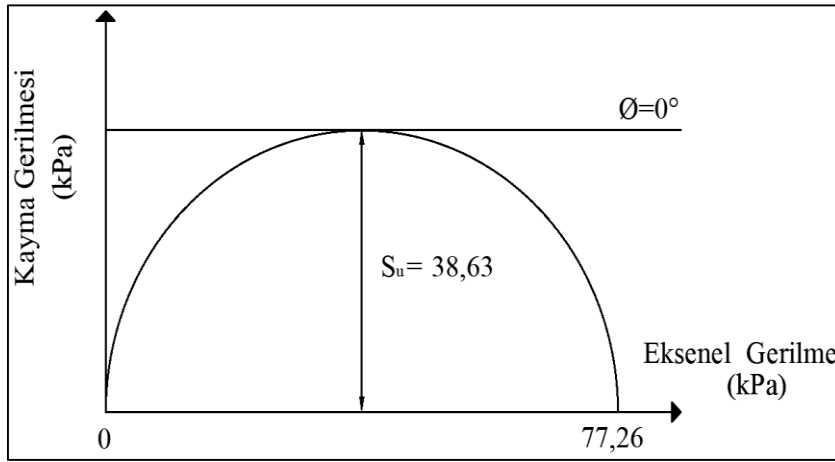
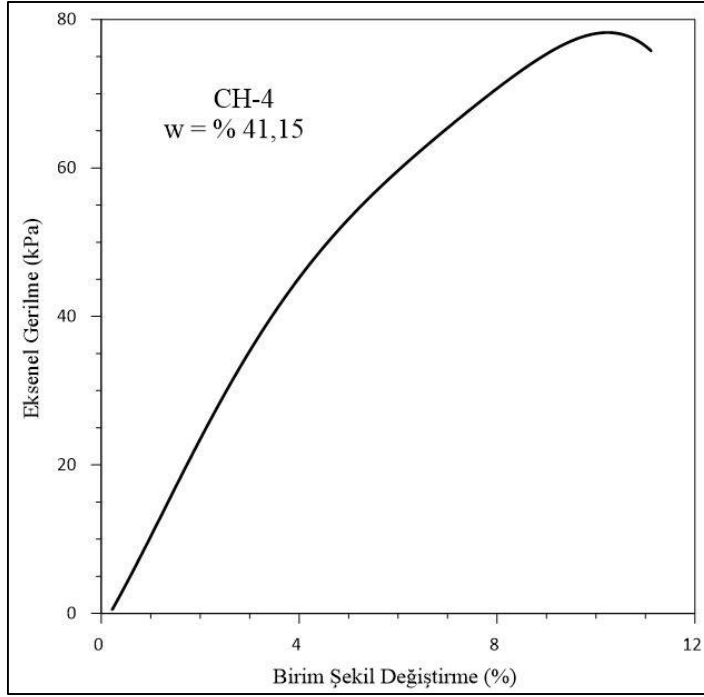
Şekil 5.27. CH-4 numunesi % 37,39 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



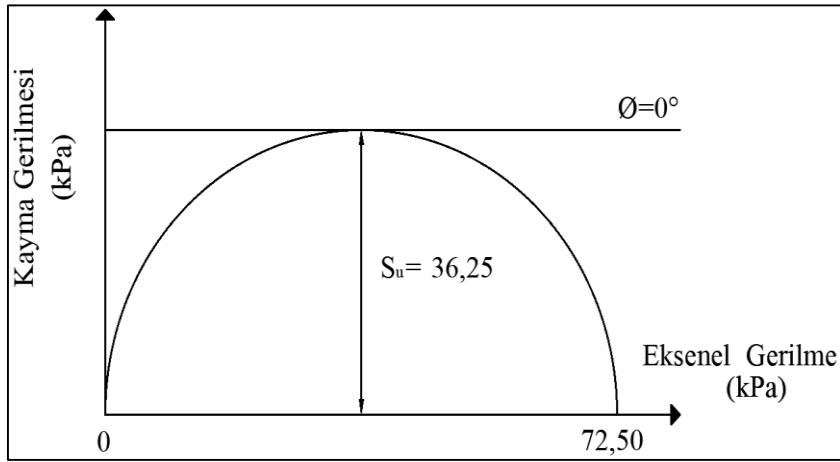
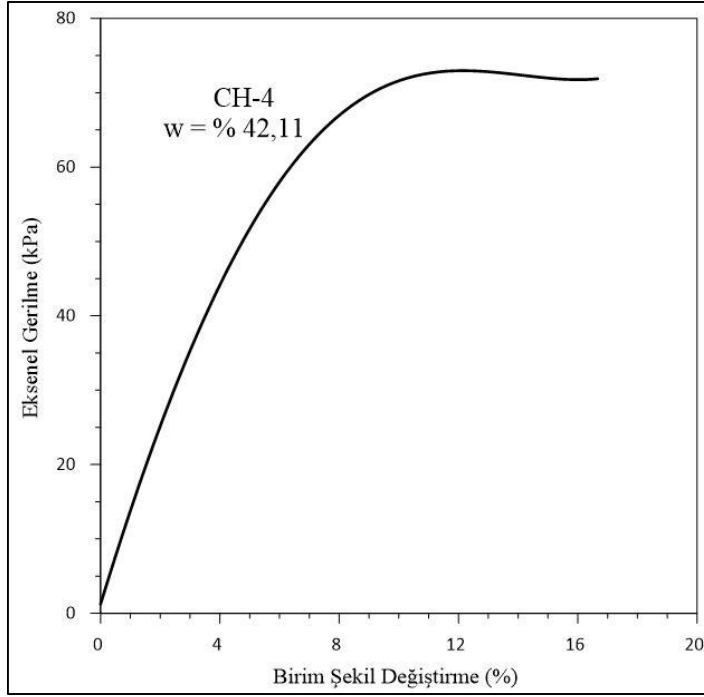
Şekil 5.28. CH-4 numunesi % 39,46 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



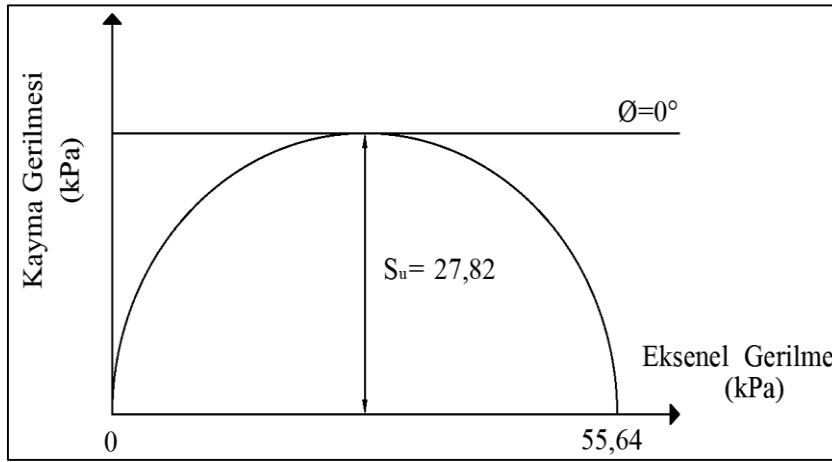
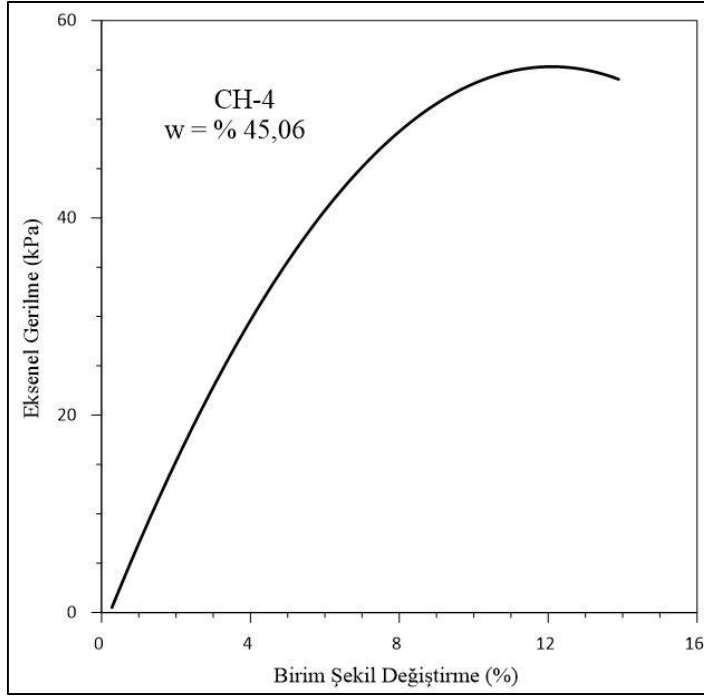
Şekil 5.29. CH-4 numunesi % 41,15 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



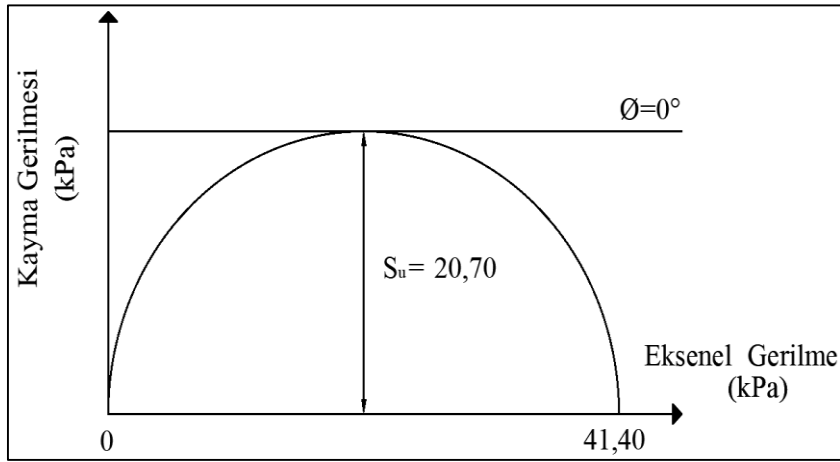
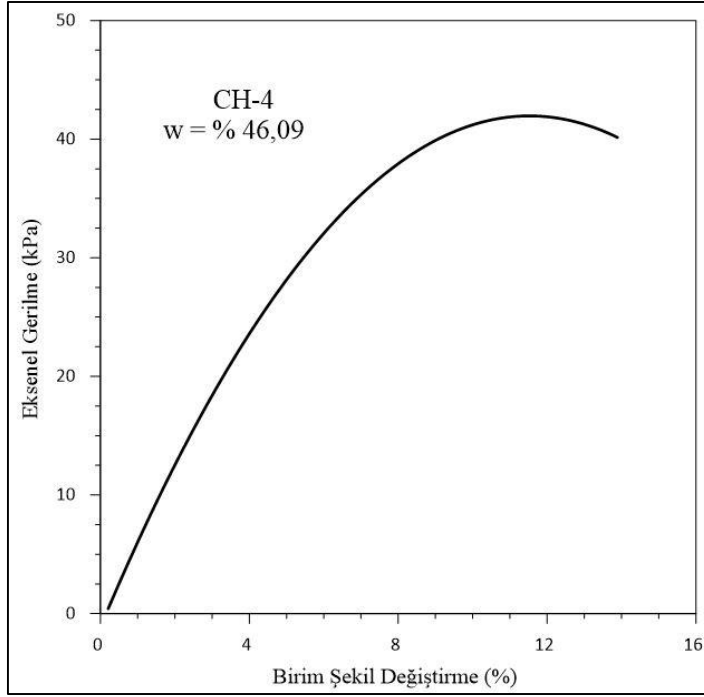
Şekil 5.30. CH-4 numunesi % 42,11 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



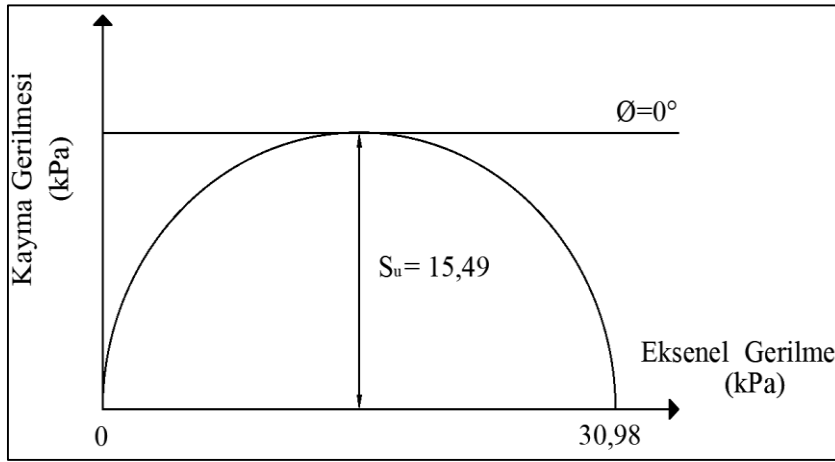
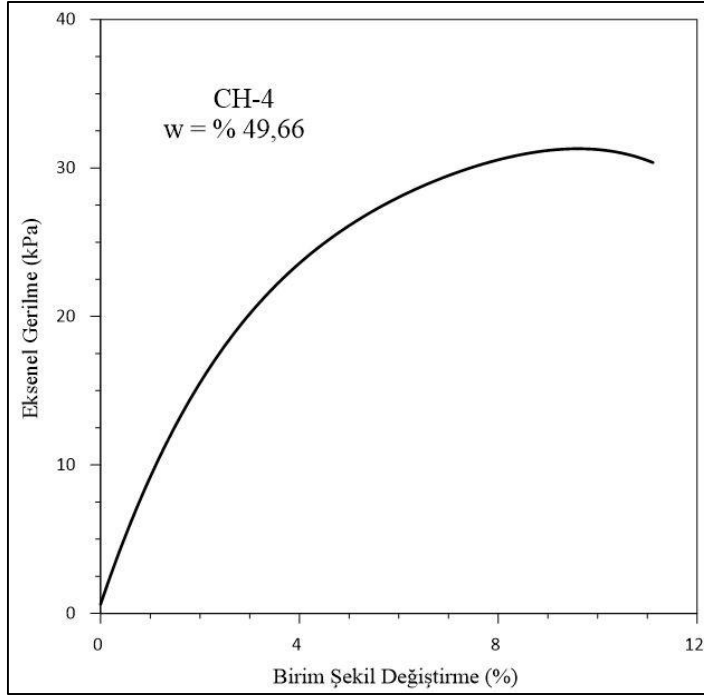
Şekil 5.31. CH-4 numunesi % 45,06 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



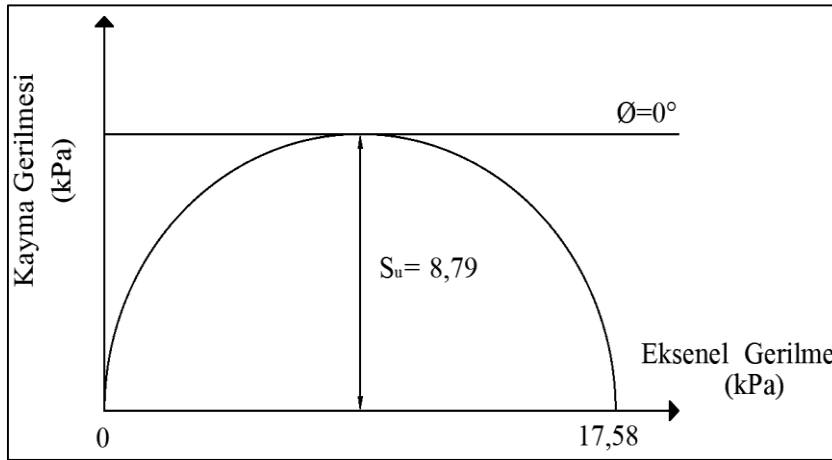
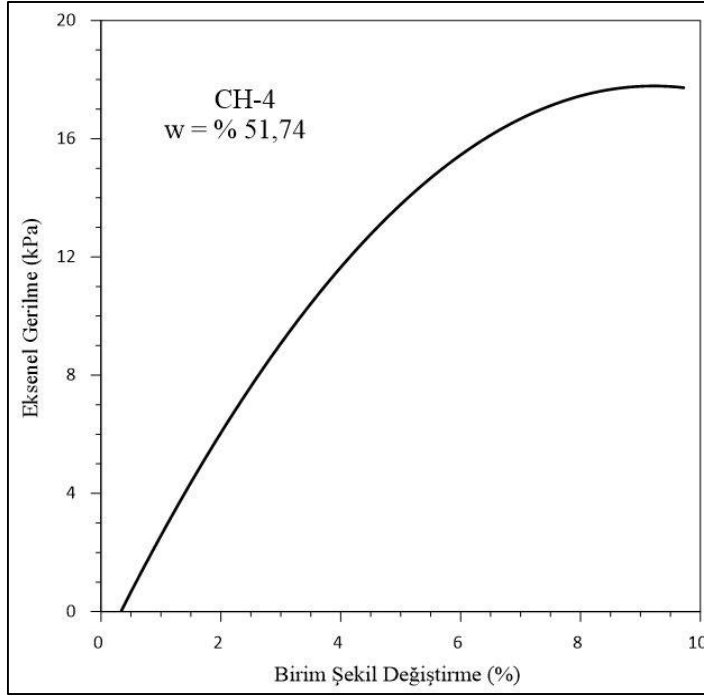
Şekil 5.32. CH-4 numunesi % 46,09 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



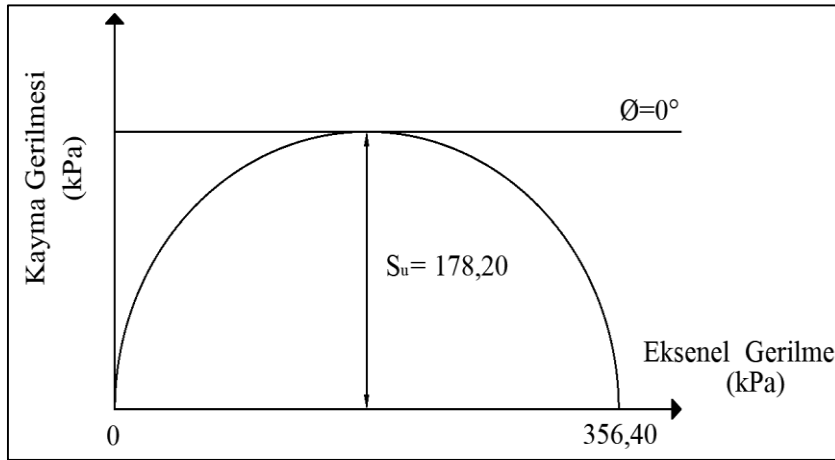
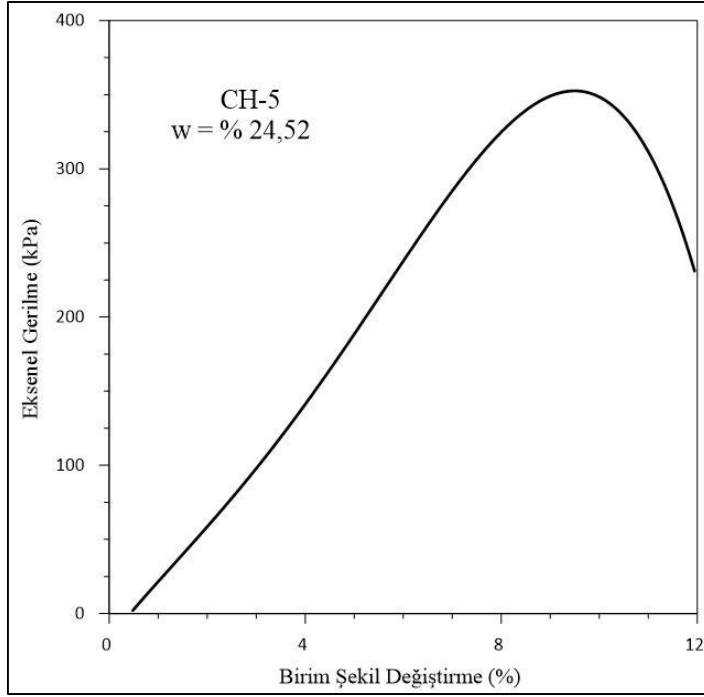
Şekil 5.33. CH-4 numunesi % 49,66 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



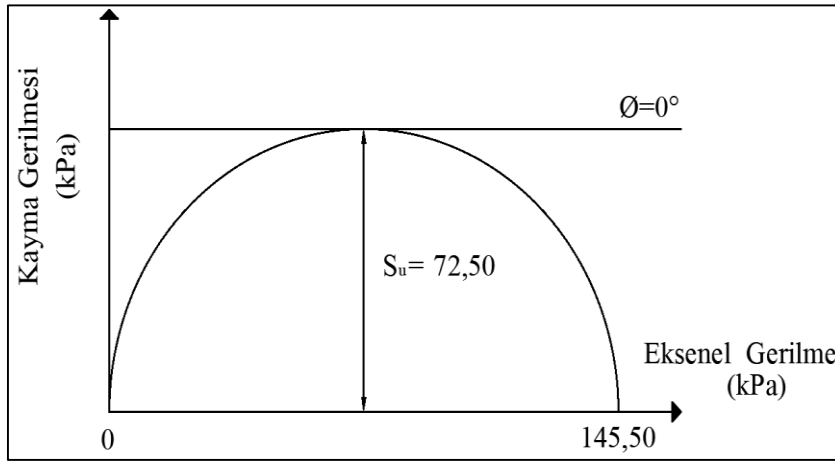
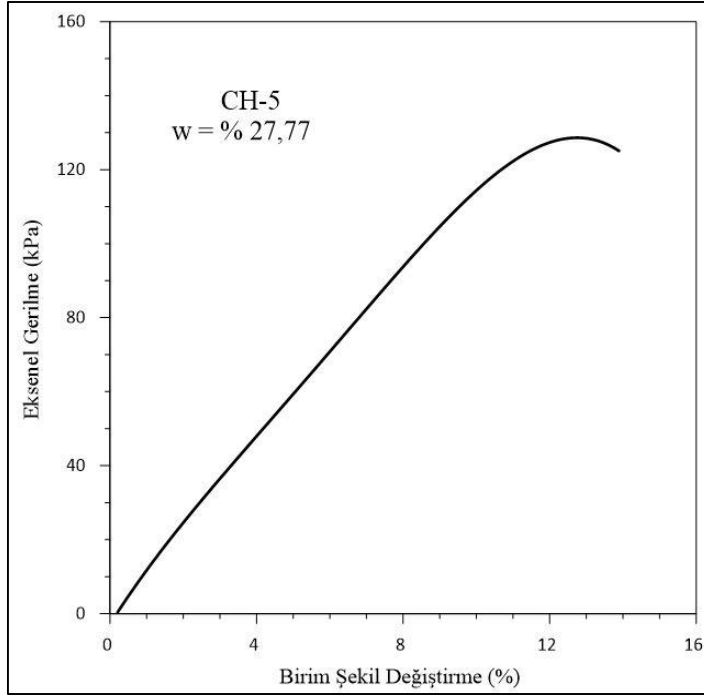
Şekil 5.34. CH-4 numunesi % 51,74 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



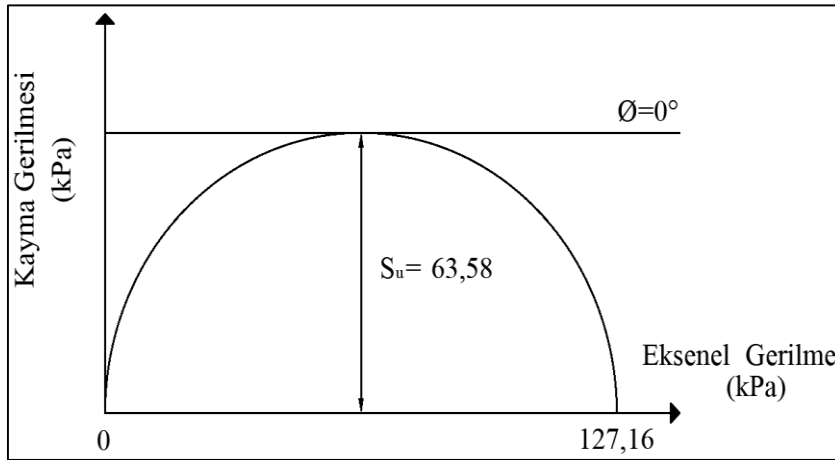
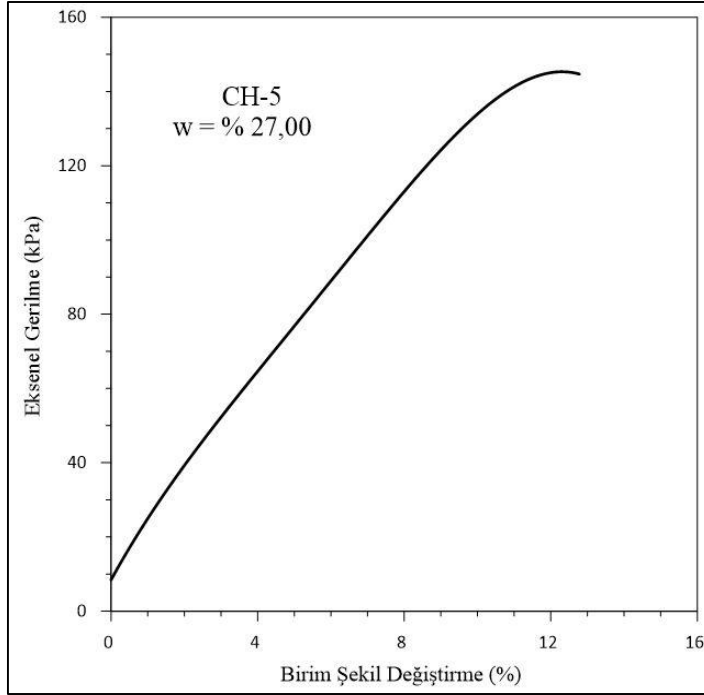
Şekil 5.35. CH-5 numunesi % 24,52 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



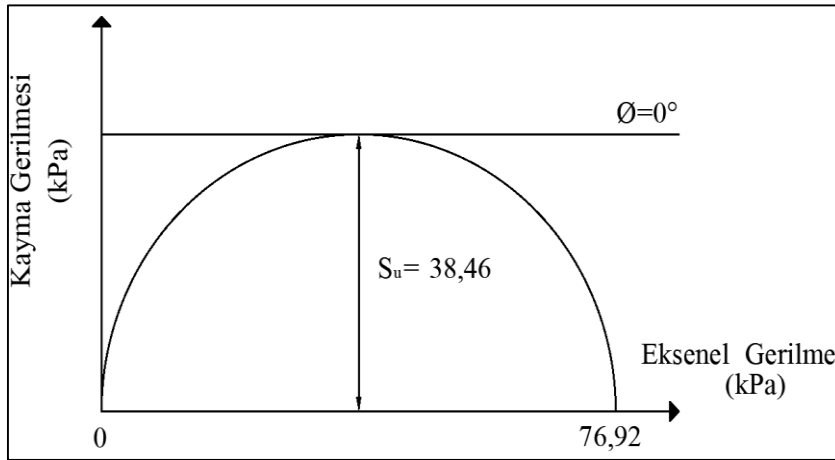
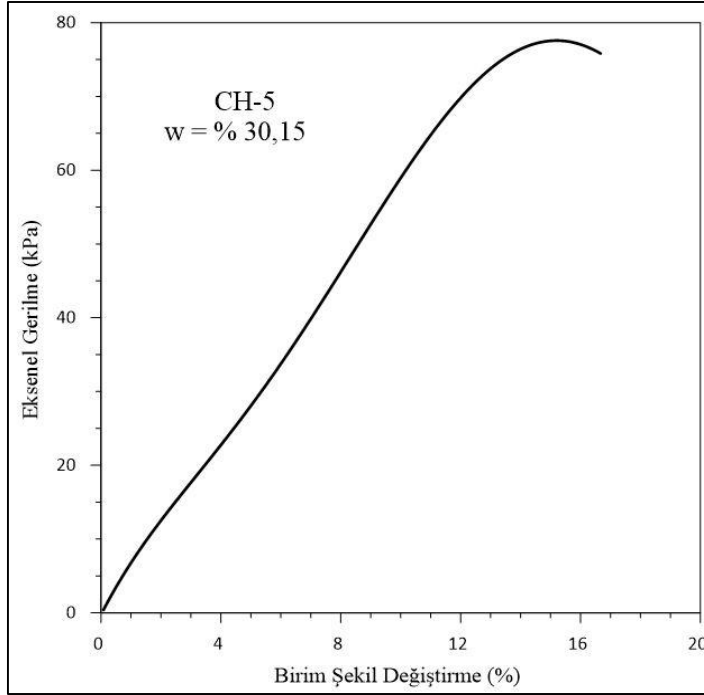
Şekil 5.36. CH-5 numunesi % 27,00 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



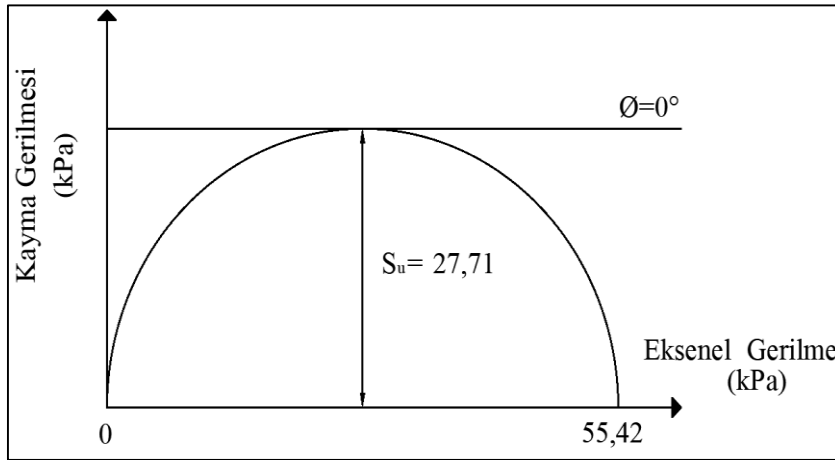
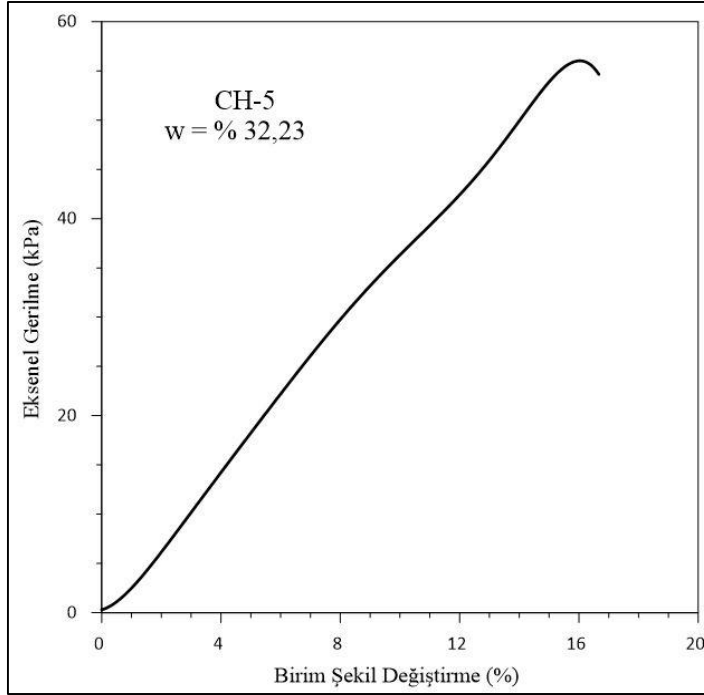
Şekil 5.37. CH-5 numunesi % 27,77 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



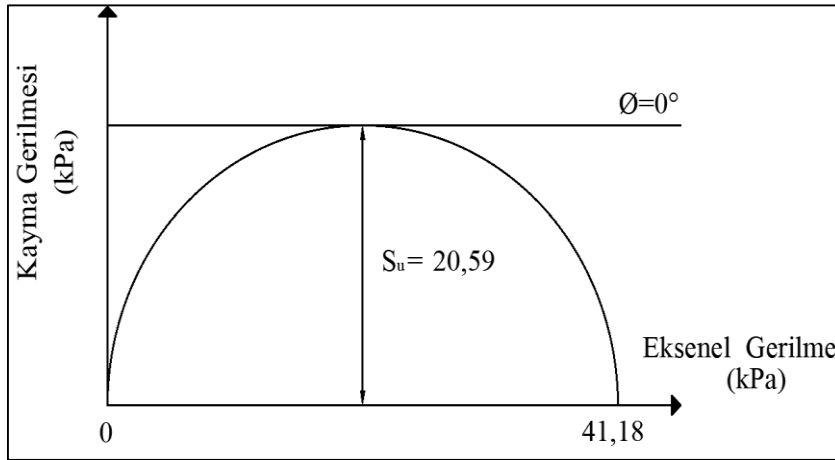
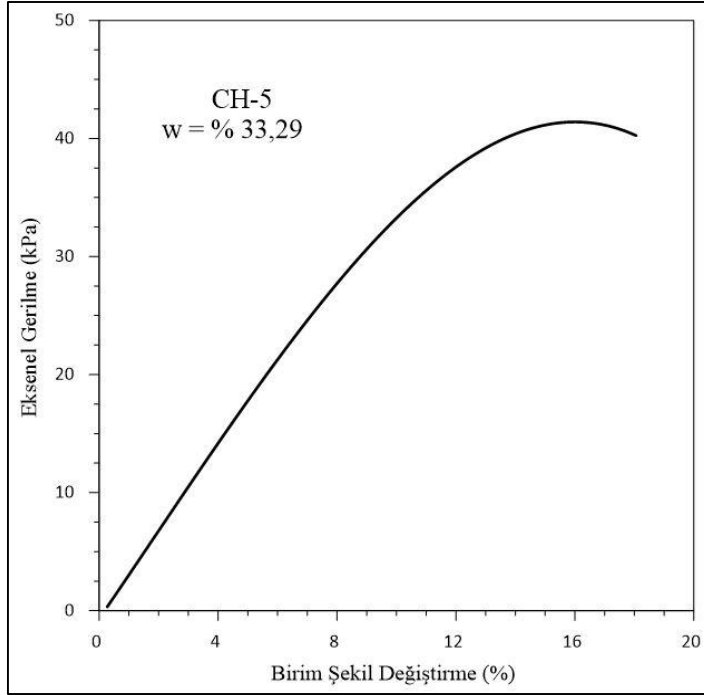
Şekil 5.38. CH-5 numunesi % 30,15 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



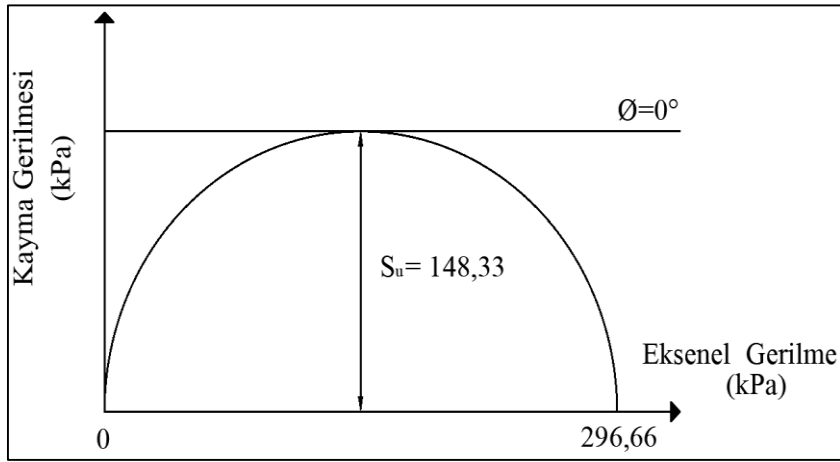
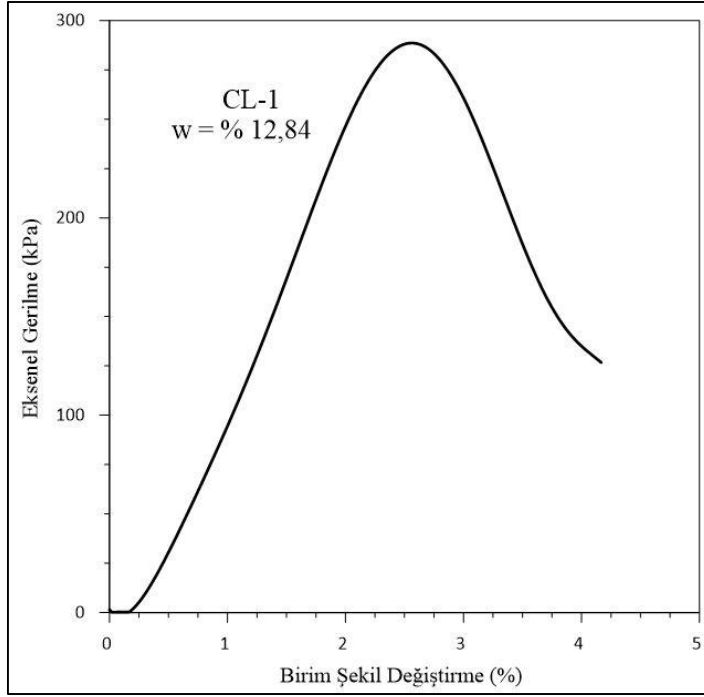
Şekil 5.39. CH-5 numunesi % 32,23 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



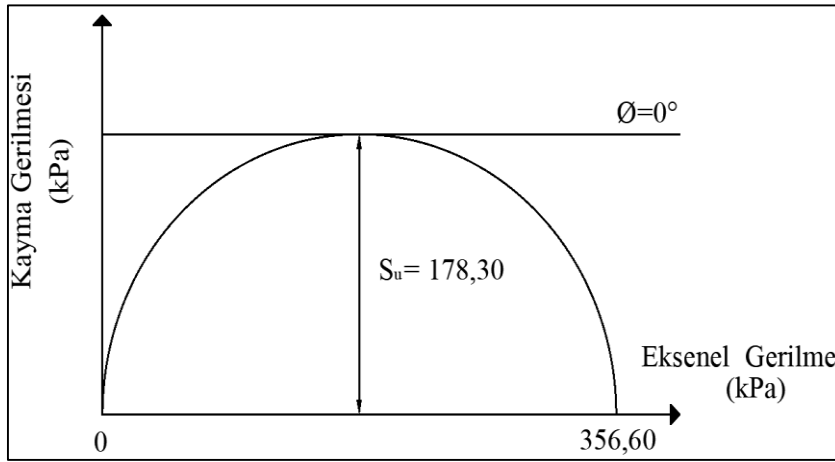
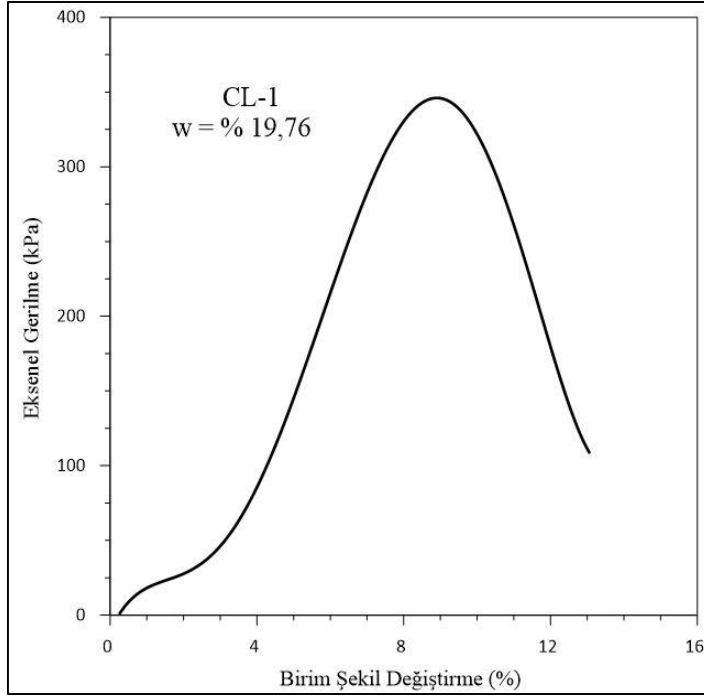
Şekil 5.40. CH-5 numunesi % 33,29 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



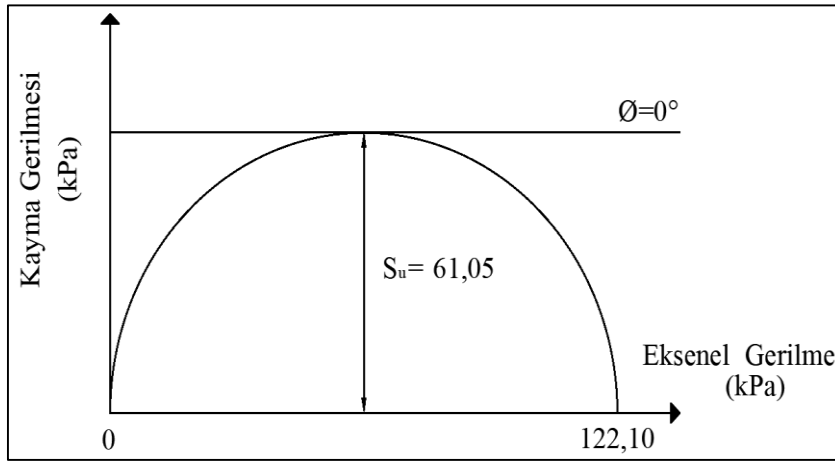
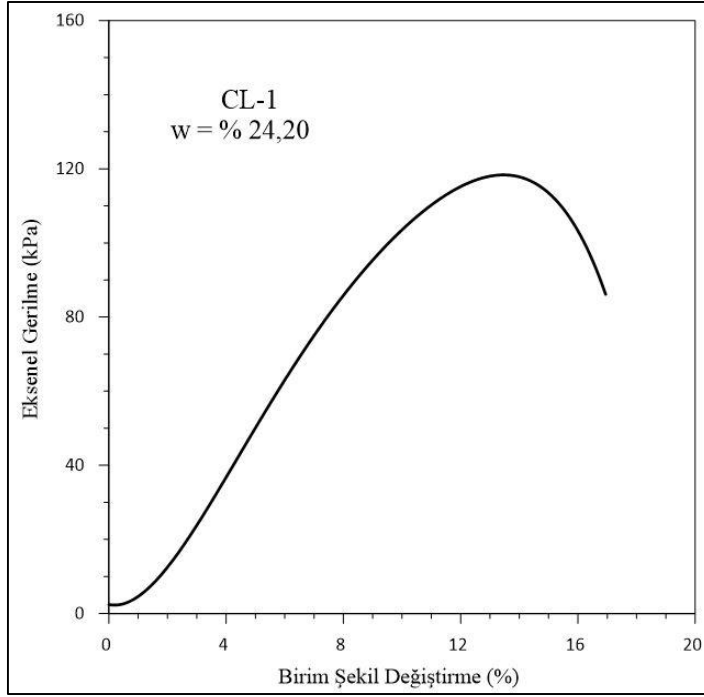
Şekil 5.41. CL-1 numunesi % 12,84 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



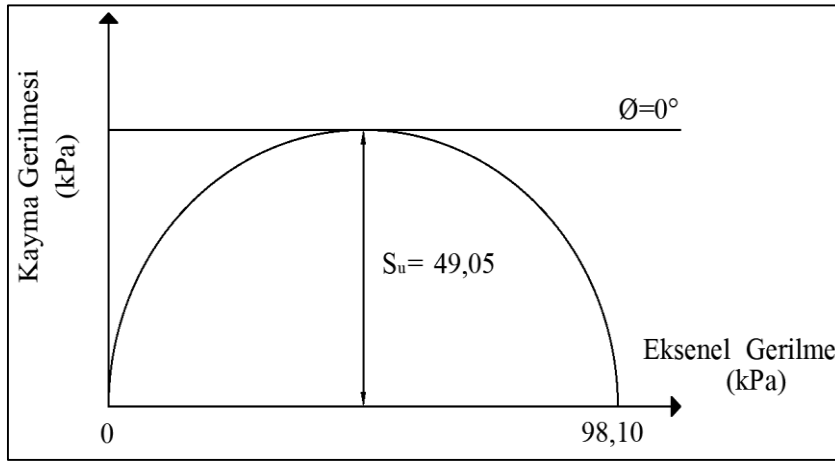
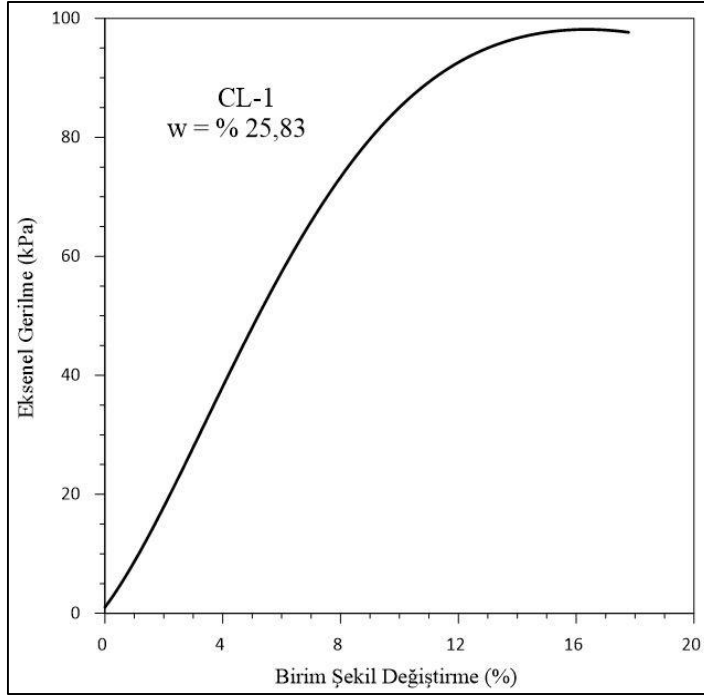
Şekil 5.42. CL-1 numunesi % 19,76 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



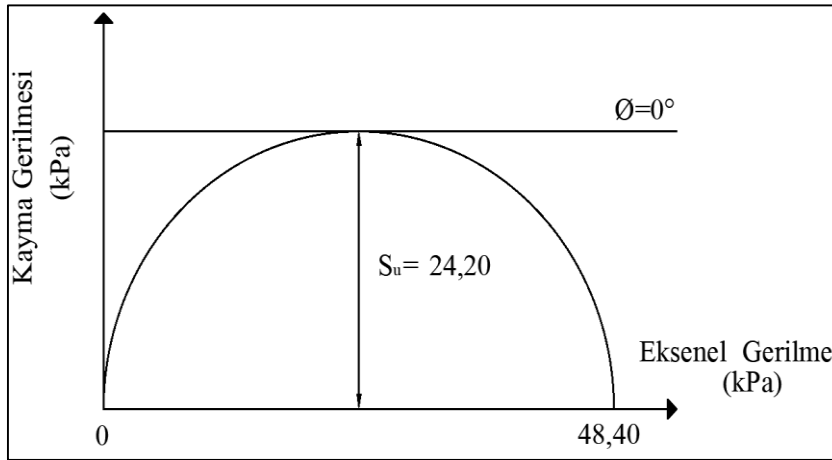
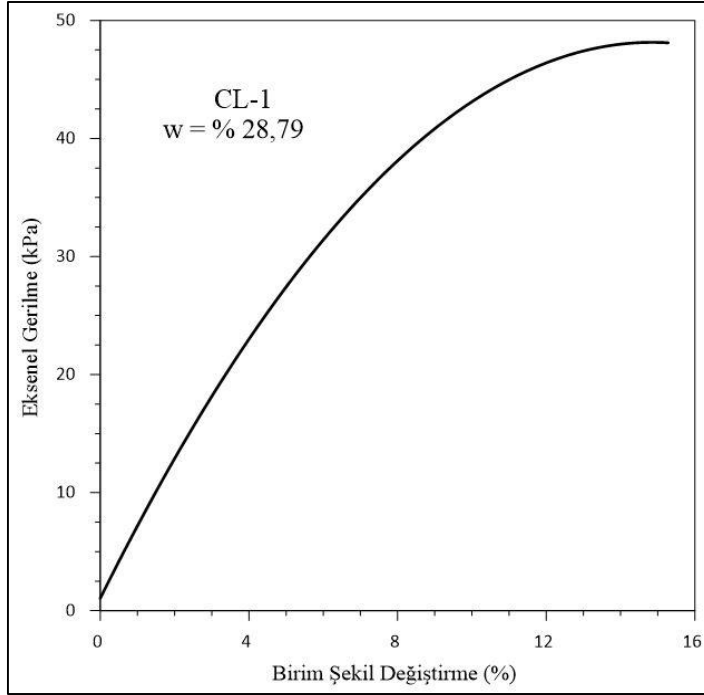
Şekil 5.43. CL-1 numunesi % 24,20 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



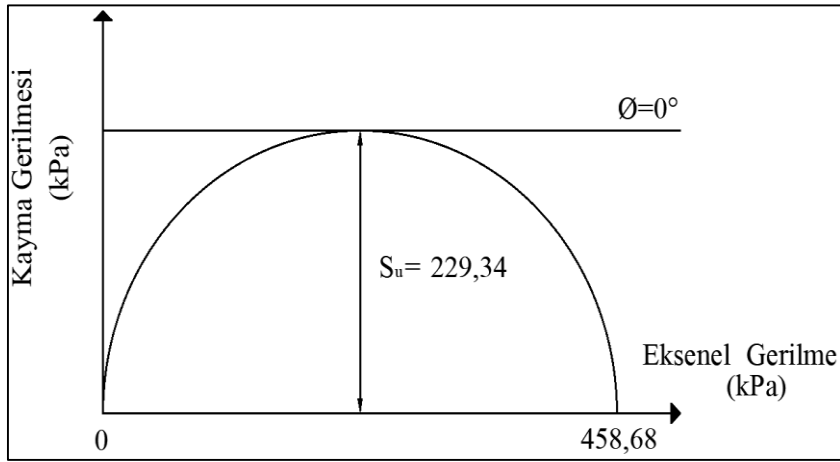
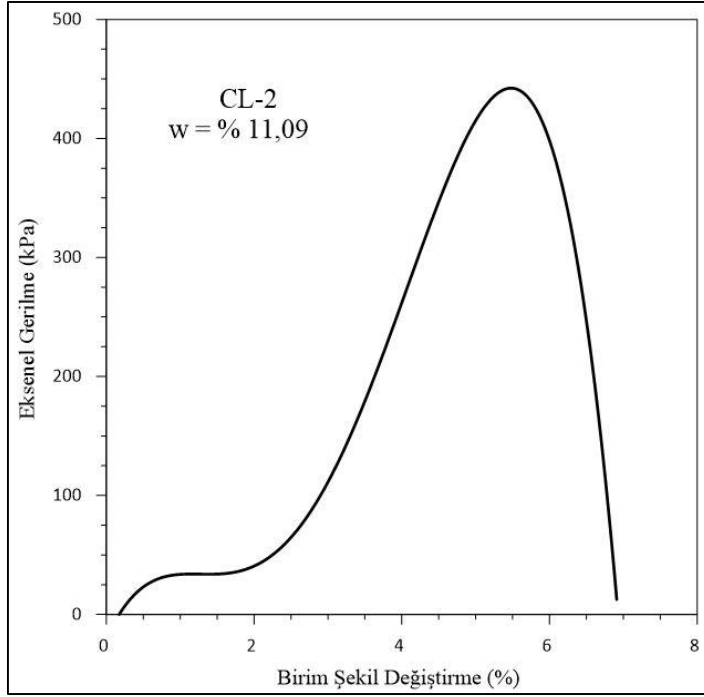
Şekil 5.44. CL-1 numunesi % 25,83 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



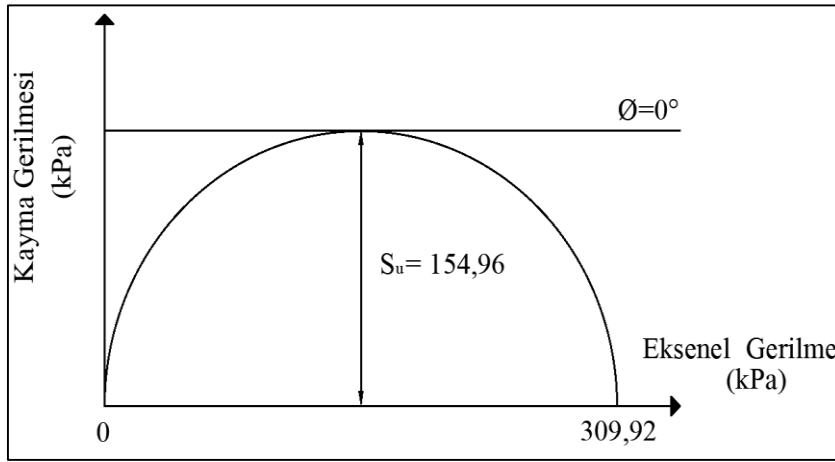
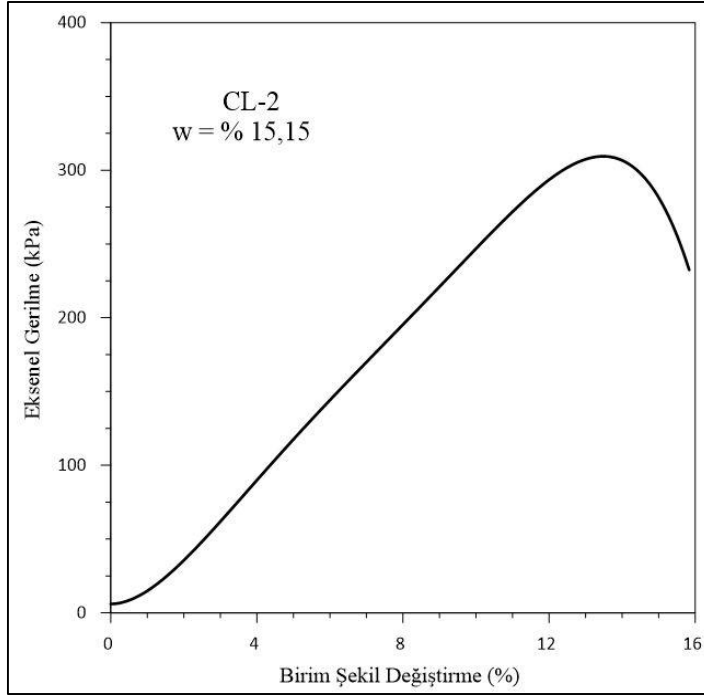
Şekil 5.45. CL-1 numunesi % 28,79 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



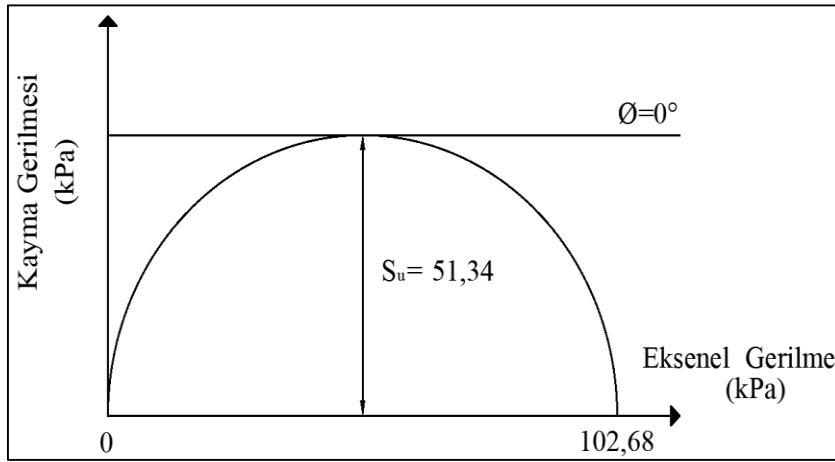
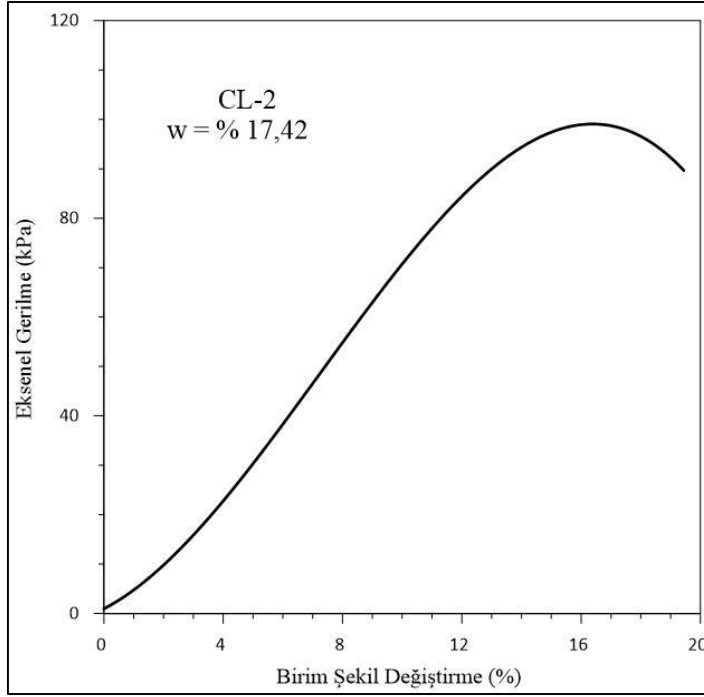
Şekil 5.46. CL-2 numunesi % 11,09 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



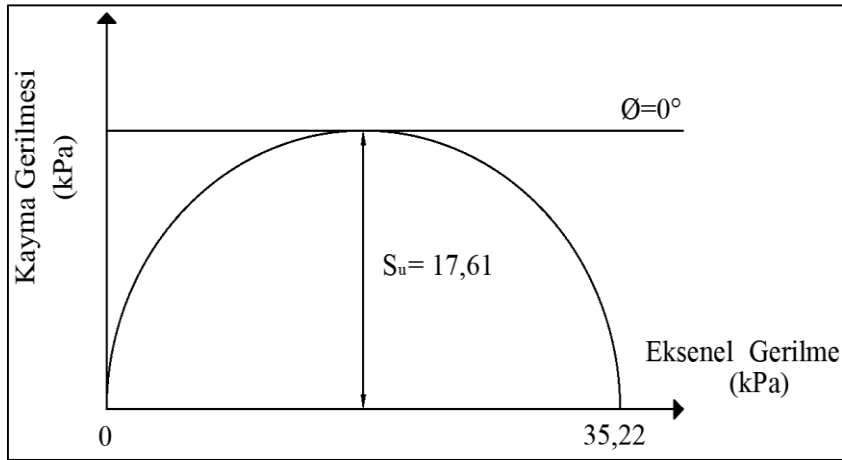
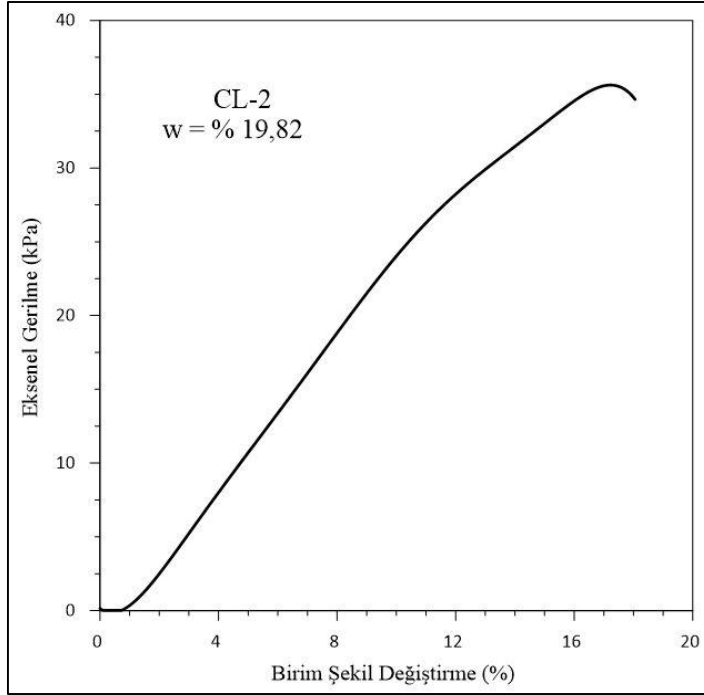
Şekil 5.47. CL-2 numunesi % 15,15 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



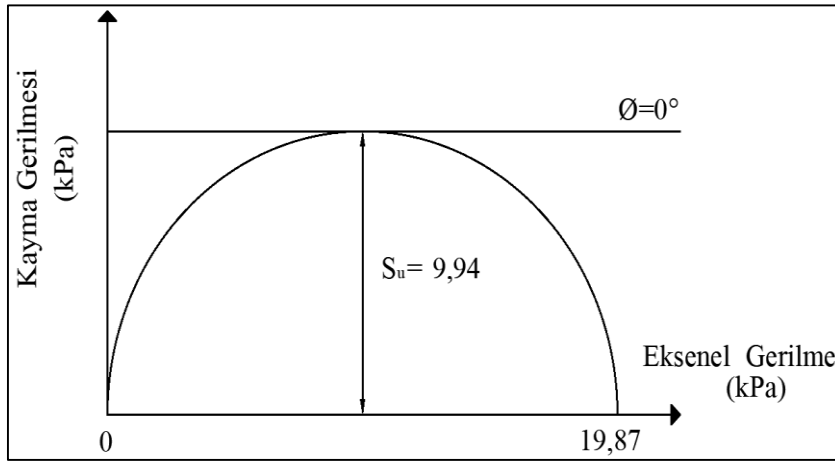
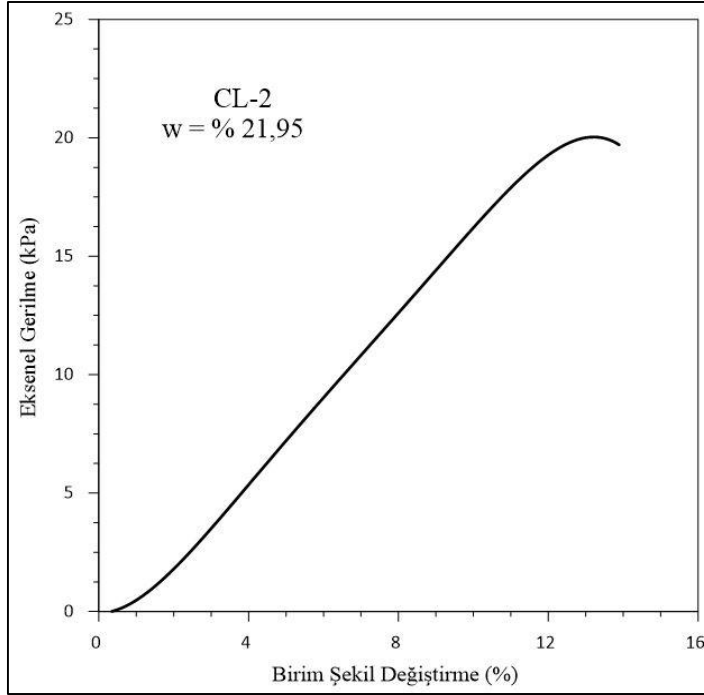
Şekil 5.48. CL-2 numunesi % 17,42 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



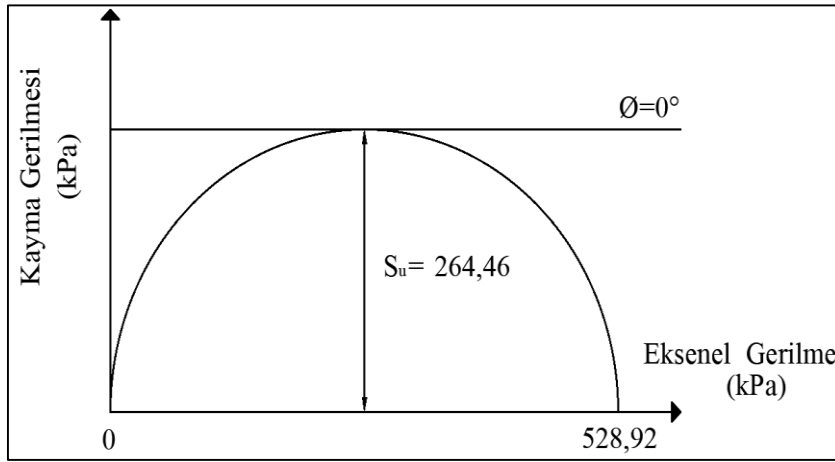
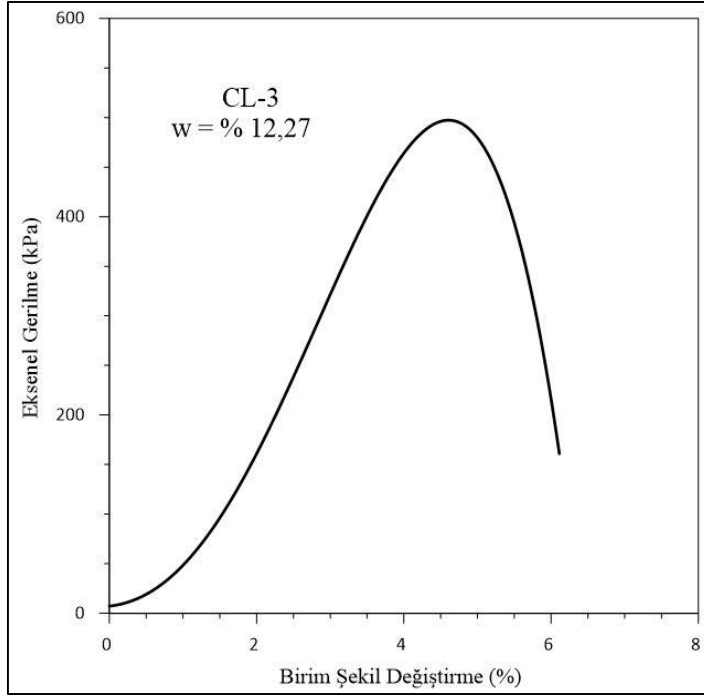
Şekil 5.49. CL-2 numunesi % 19,82 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



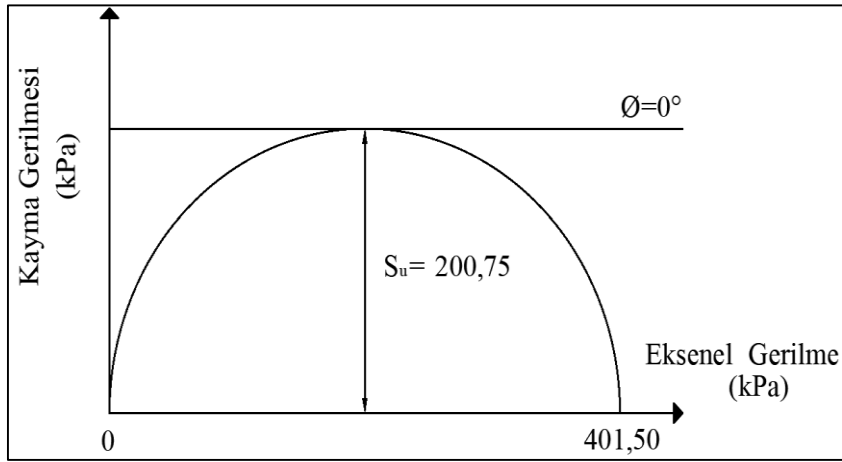
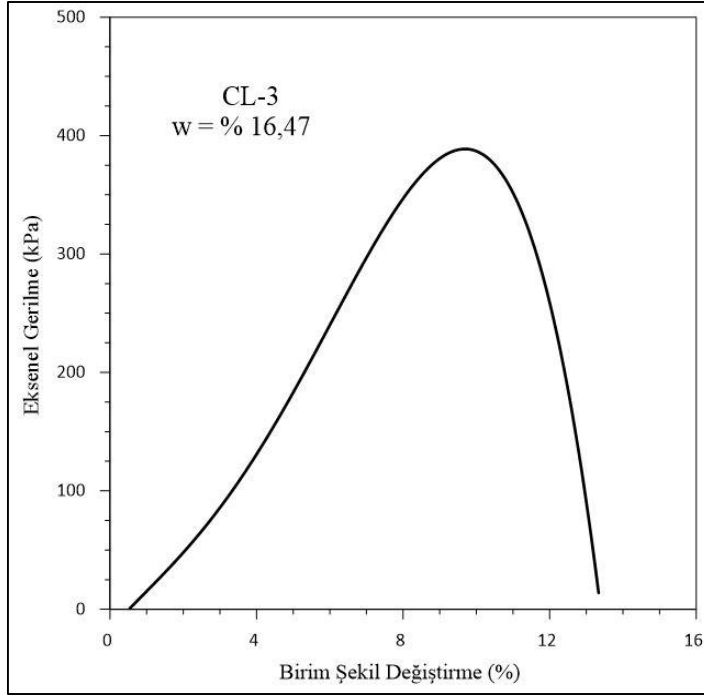
Şekil 5.50. CL-2 numunesi % 21,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



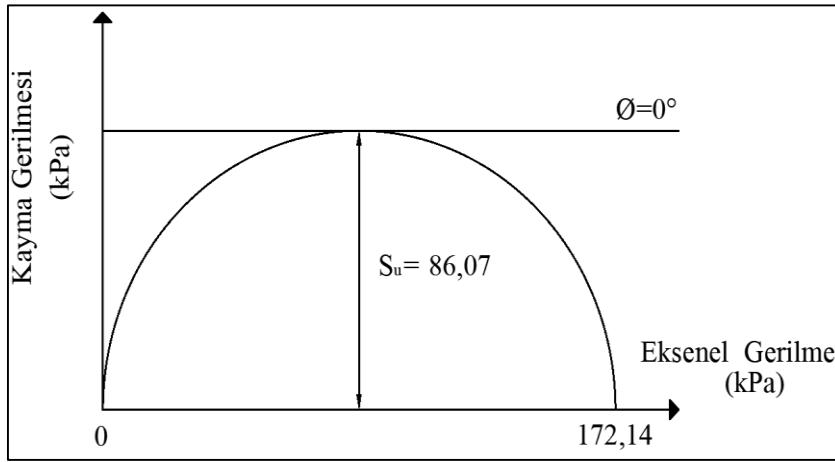
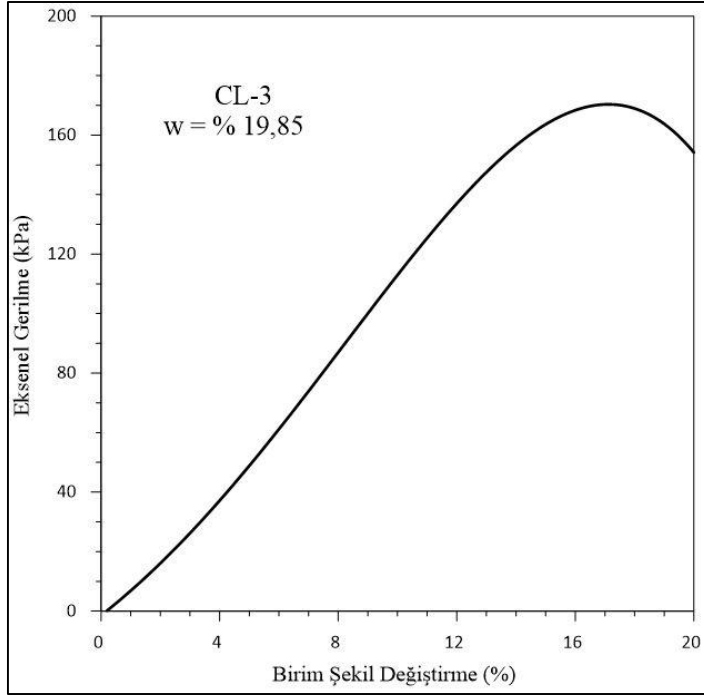
Şekil 5.51. CL-3 numunesi % 12,27 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



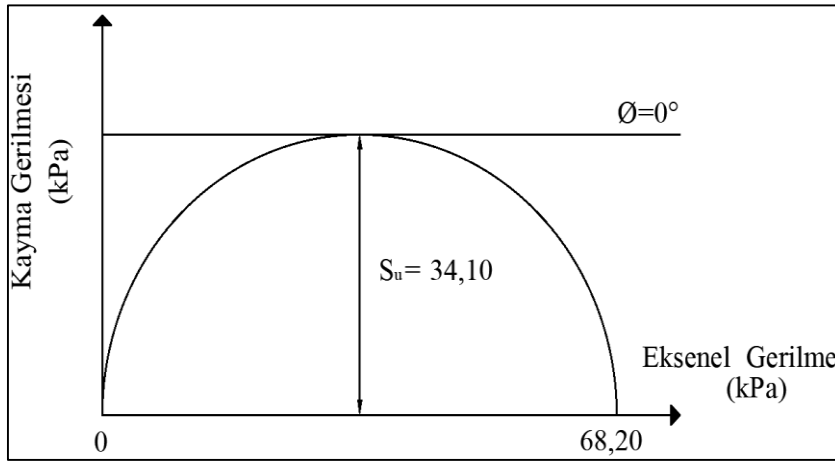
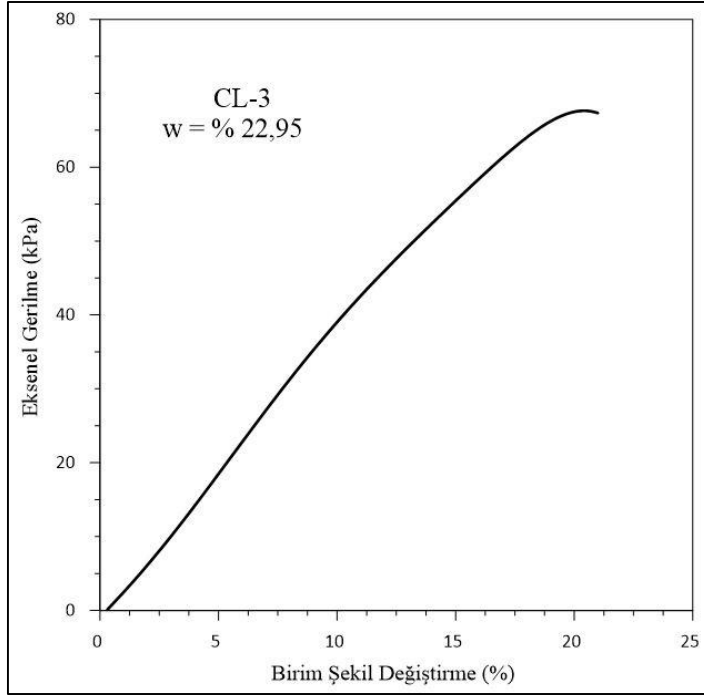
Şekil 5.52. CL-3 numunesi % 16,47 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



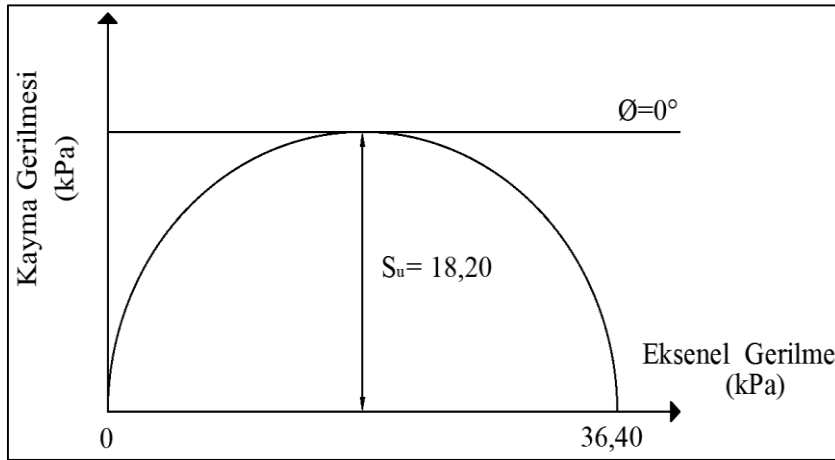
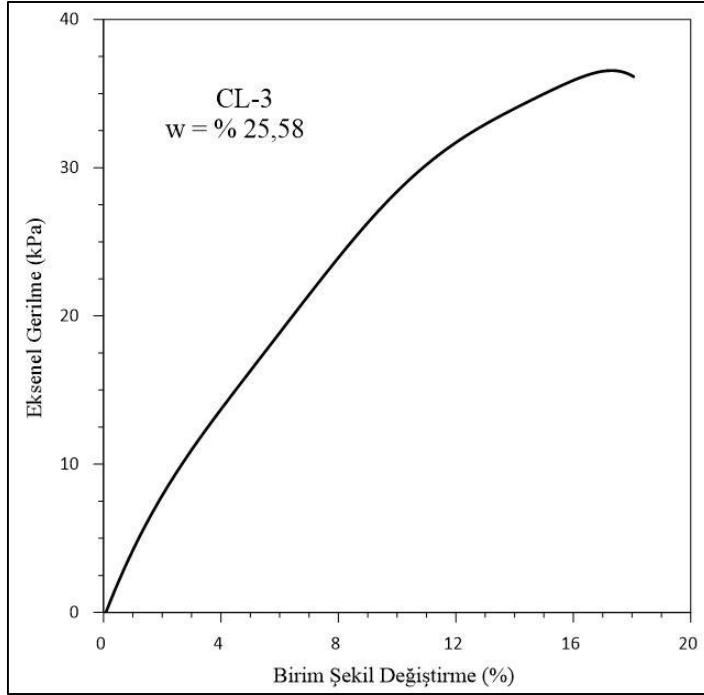
Şekil 5.53. CL-3 numunesi % 19,85 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



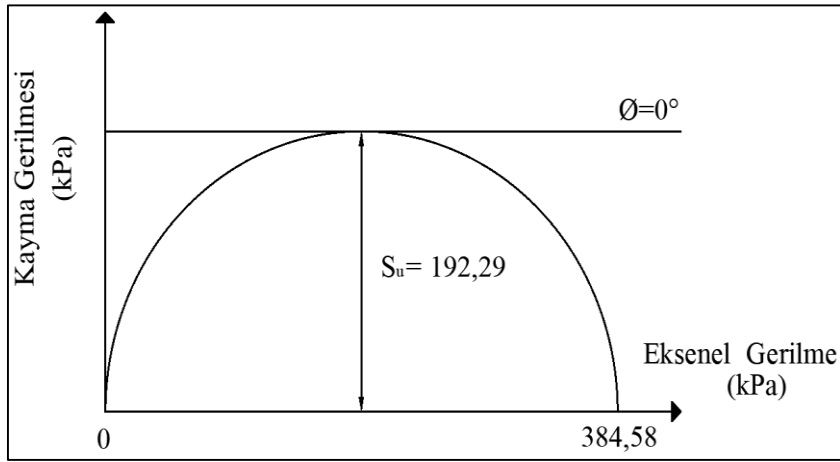
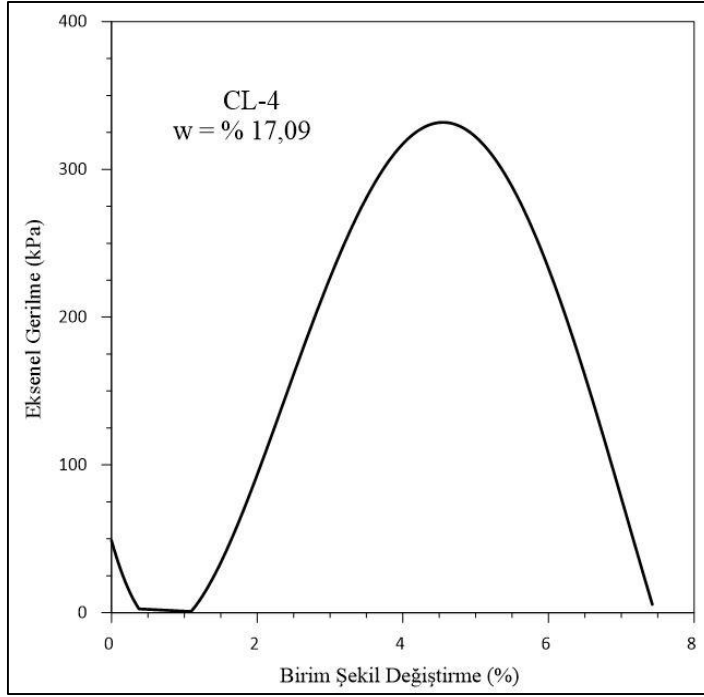
Şekil 5.54. CL-3 numunesi % 22,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



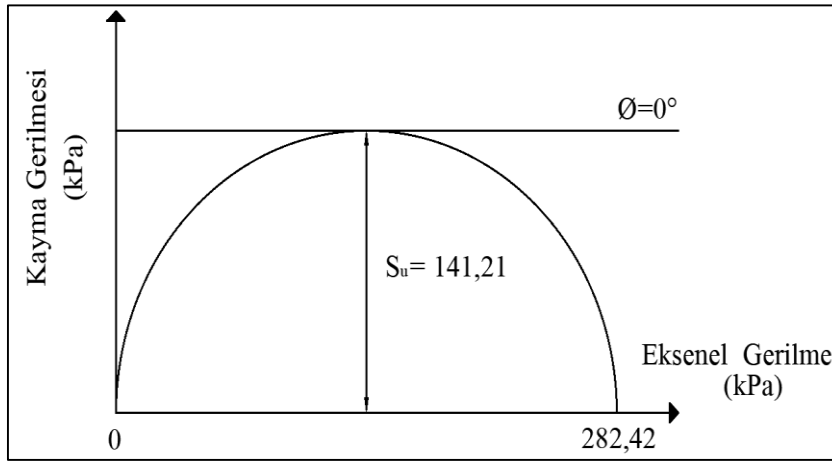
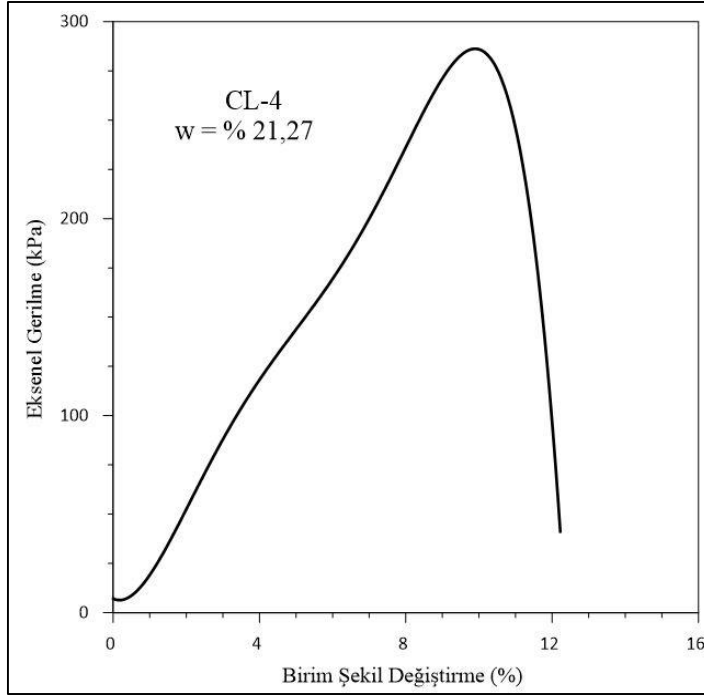
Şekil 5.55. CL-3 numunesi % 25,58 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



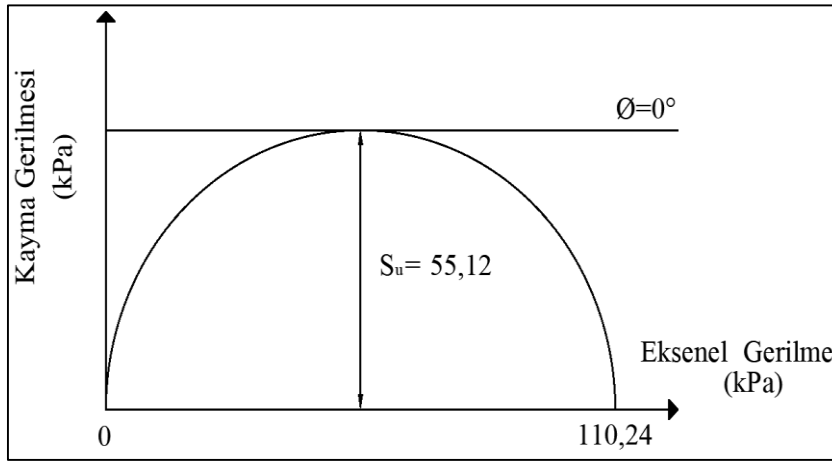
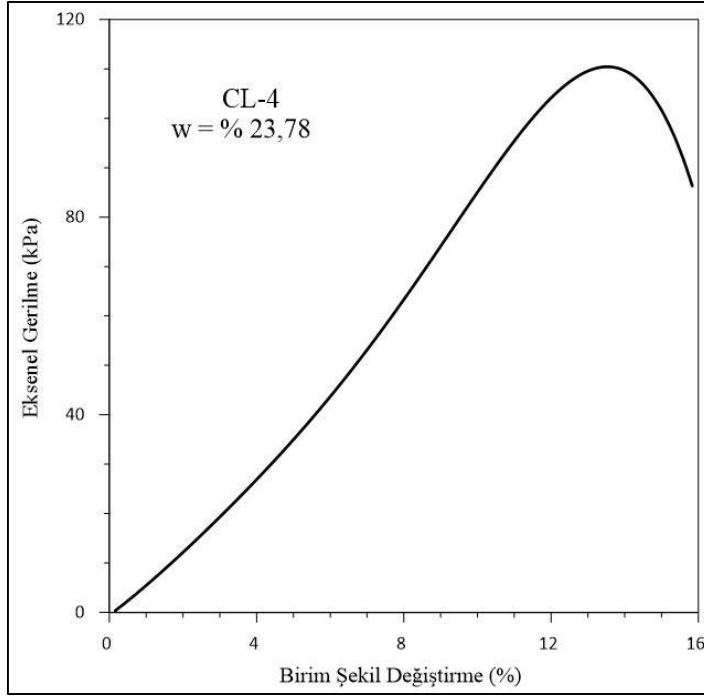
Şekil 5.56. CL-4 numunesi % 17,09 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



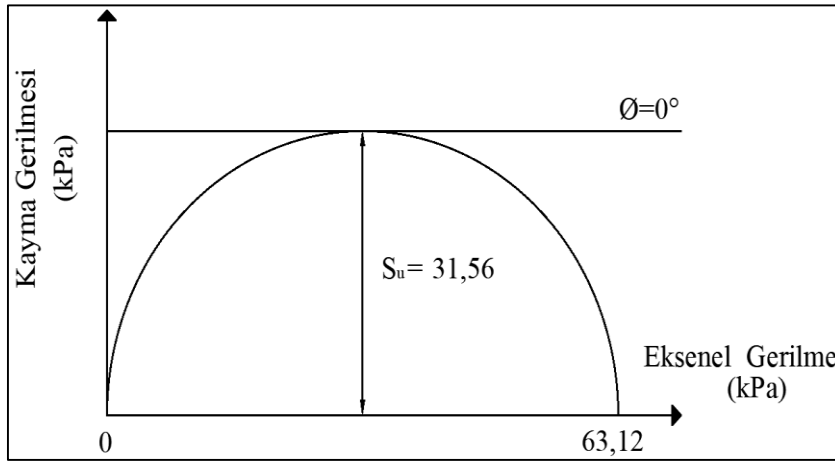
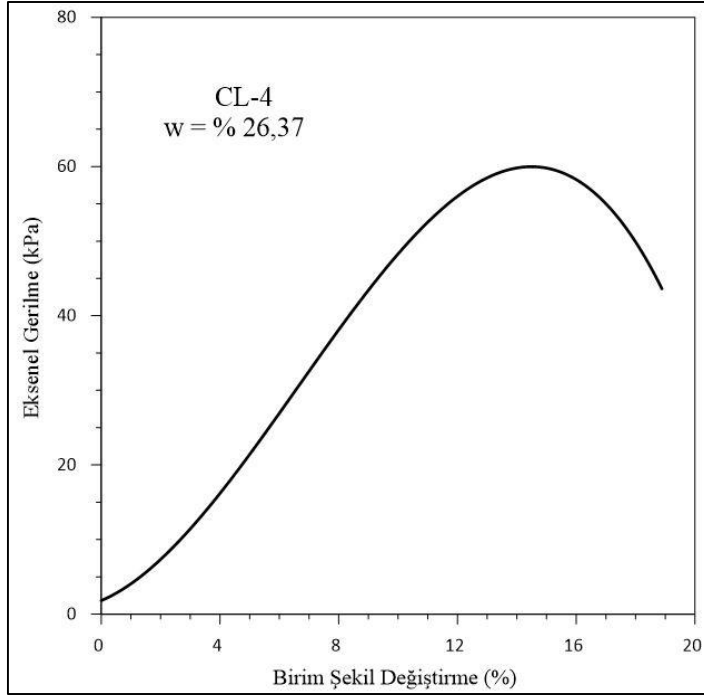
Şekil 5.57. CL-4 numunesi % 21,27 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



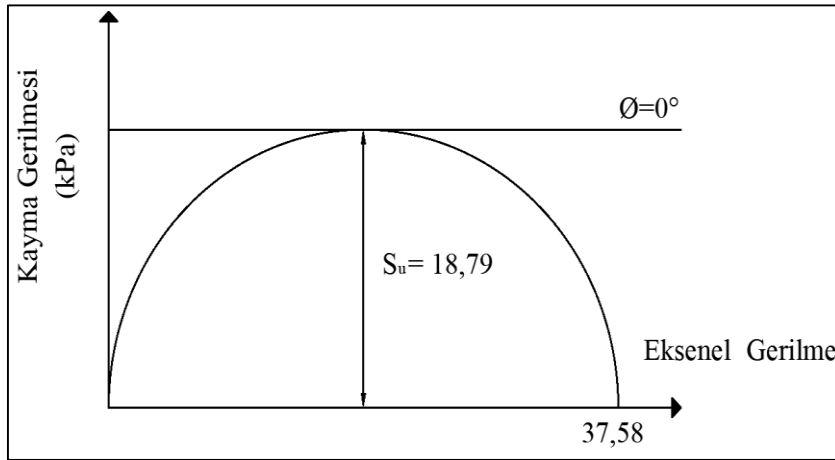
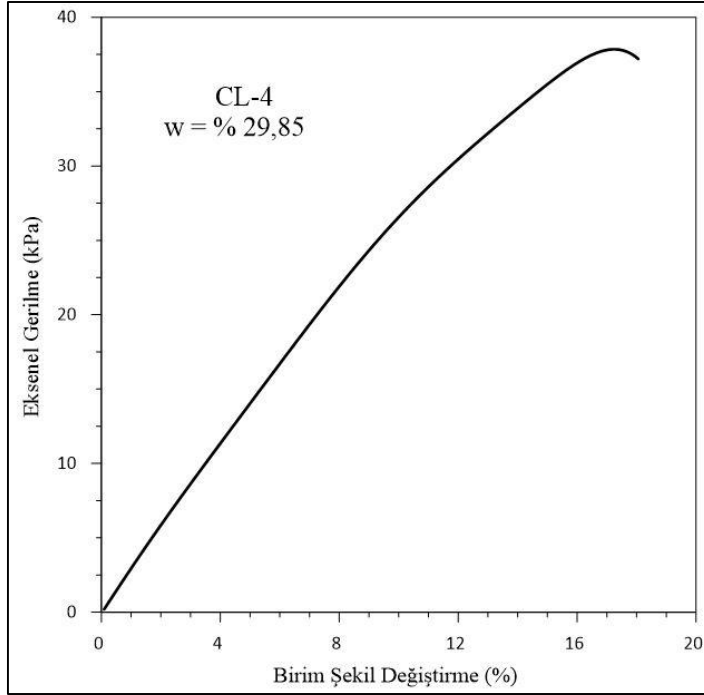
Şekil 5.58. CL-4 numunesi % 23,78 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



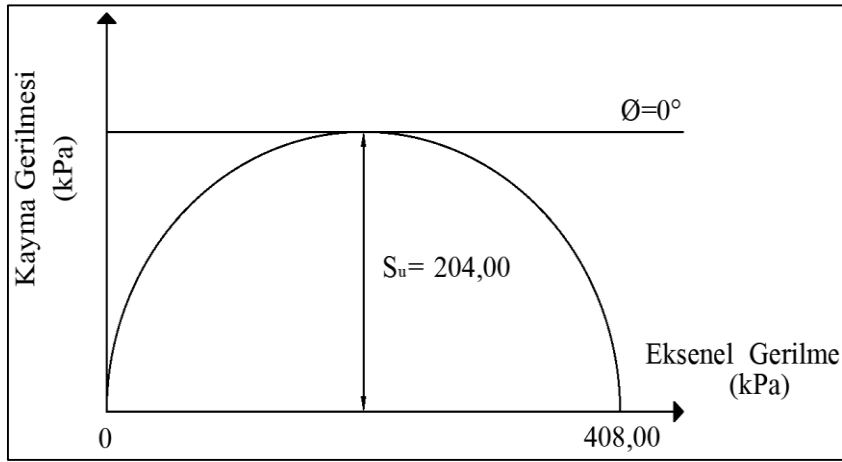
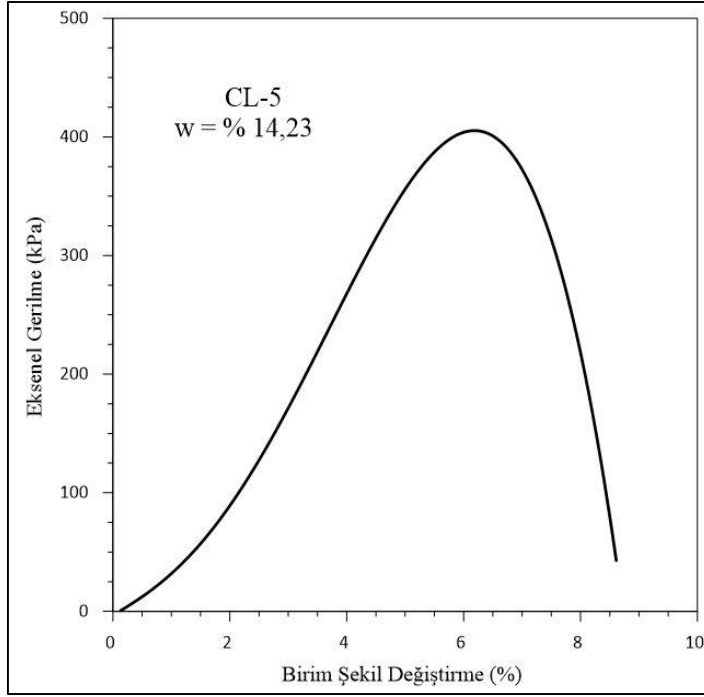
Şekil 5.59. CL-4 numunesi % 26,37 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



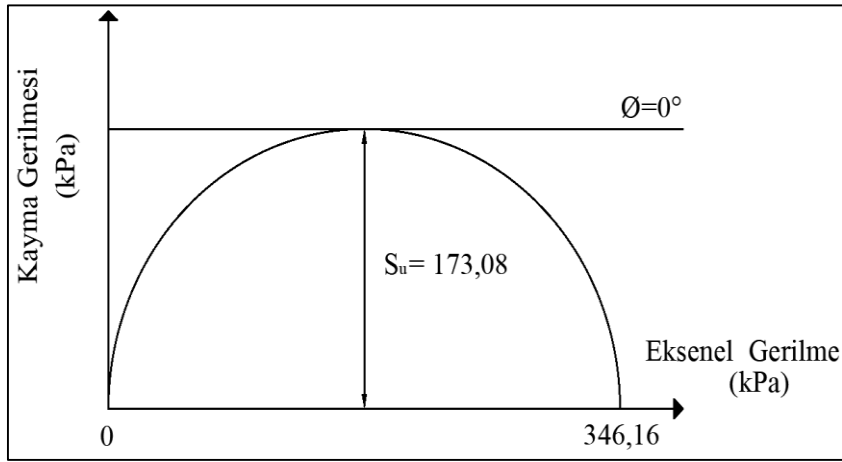
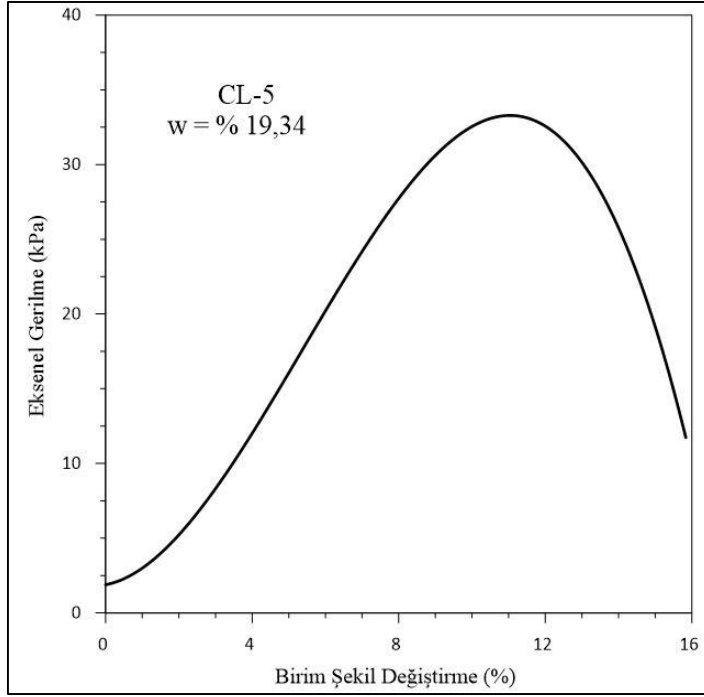
Şekil 5.60. CL-4 numunesi % 29,85 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



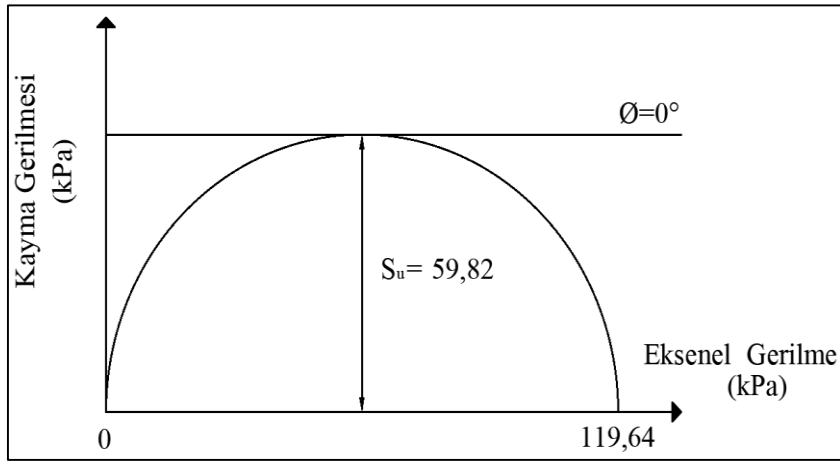
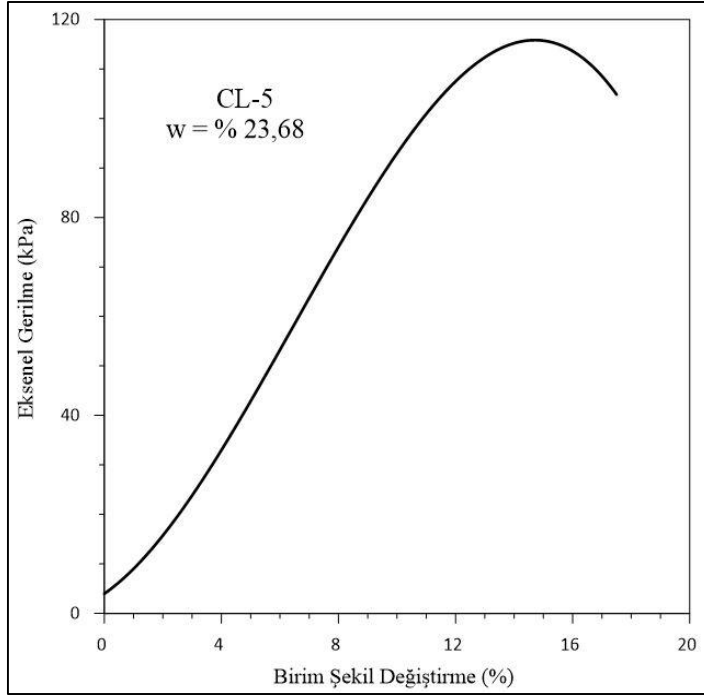
Şekil 5.61. CL-5 numunesi % 14,23 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



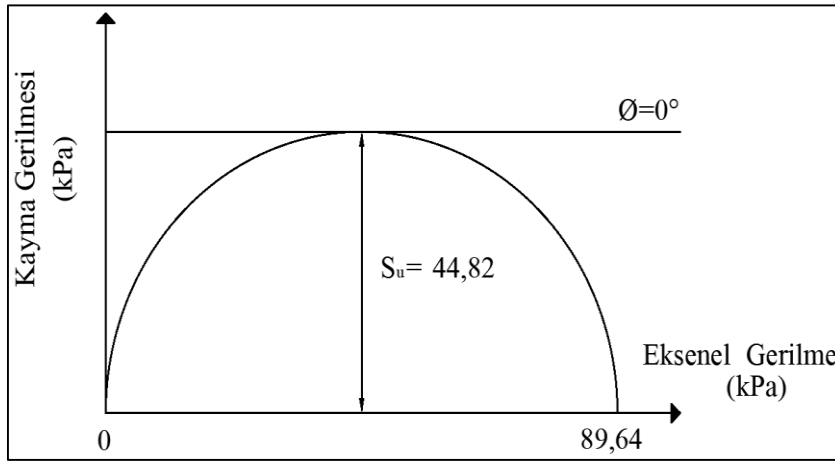
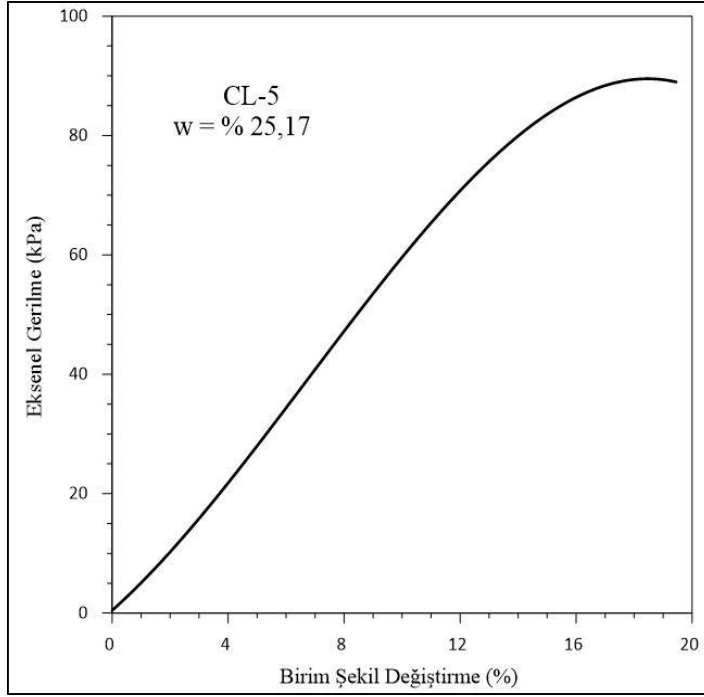
Şekil 5.62. CL-5 numunesi % 14,23 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



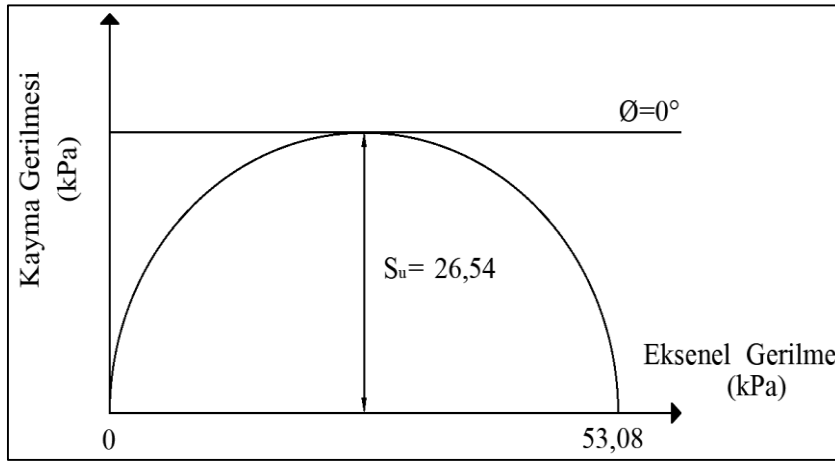
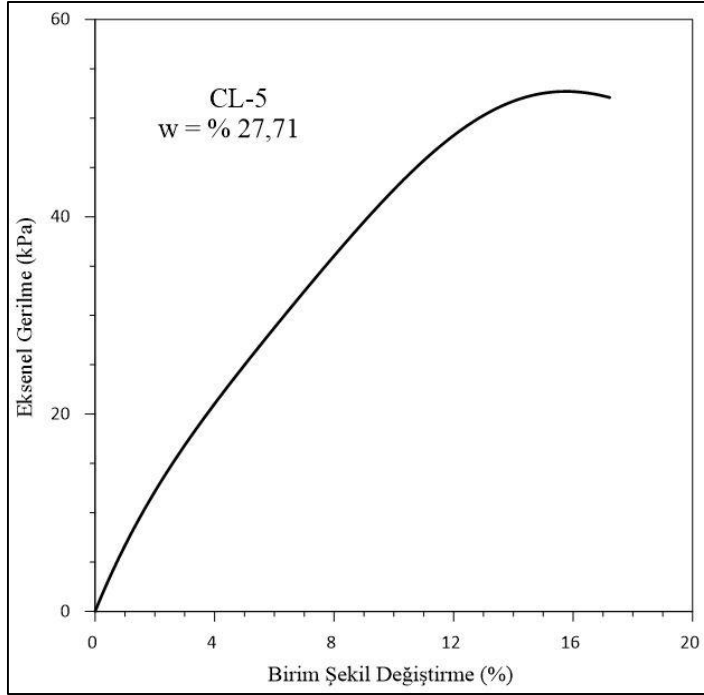
Şekil 5.63. CL-5 numunesi % 23,68 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



Şekil 5.64. CL-5 numunesi % 25,17 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-5. (devam) UC deneyi sonuçları



Şekil 5.65. CL-5 numunesi % 27,71 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. UU deneyi sonuçları

Çizelge 6.1. Yüksek plastisiteli killerde UU deneyi sonuçları

Üç Eksenli Basınç (UU) Deneyi Sonuçları											
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi (LI)	σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_M (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı S_u - (kPa)
CH-3	61	26	35	1	24,19	-0,05	50	414,8	464,8	257,4	226,6
							100	454,4	554,4	327,2	
							150	471,7	621,7	385,9	
				2	29,49	0,10	50	170,0	220,0	135,0	108,5
							100	220,0	320,0	210,0	
							200	256,7	456,7	328,4	
				3	33,51	0,21	50	97,0	147,0	98,5	62,1
							100	126,2	226,2	163,1	
							200	160,9	360,9	280,5	
				4	41,12	0,43	50	45,0	95,0	72,5	21,5
							100	47,5	147,5	123,8	
							200	52,5	252,5	226,2	
				5	44,93	0,54	50	31,5	81,5	65,7	11,3
							100	29,6	129,6	114,8	
							200	33,9	233,9	217,0	
CH-4	85	33	52	6	29,37	-0,07	50	476,9	526,9	288,5	276,1
							100	554,2	654,2	377,1	
							200	625,3	825,3	512,6	
				7	34,47	0,03	50	211,5	261,5	155,7	138,7
							100	277,9	377,9	238,9	
							200	296,6	496,6	348,3	
				8	39,46	0,12	50	132,8	182,8	116,4	70,8
							100	142,3	242,3	171,2	
							200	155,6	355,6	277,8	
				9	46,09	0,25	50	59,9	109,9	79,9	28,8
							100	62,3	162,3	131,1	
							200	65,3	265,3	232,7	
				10	54,89	0,42	50	19,1	69,1	59,5	9,0
							100	16,6	116,6	108,3	
							200	19,1	219,1	209,5	
CH-5	55	29	26	11	24,52	-0,17	50	305,8	355,8	202,9	188,2
							100	377,6	477,6	288,8	
							150	449,4	599,4	374,7	
				12	27,00	-0,08	50	249,3	306,8	178,4	127,4
							100	256,8	361,9	230,9	
							200	261,9	449,3	324,6	
				13	30,15	0,04	50	153,9	203,9	127,0	75,8
							100	159,5	259,5	179,7	
							200	163,6	363,6	281,8	
				14	33,29	0,17	50	94,8	144,8	97,4	47,3
							100	97,8	197,8	148,9	
							200	99,2	299,2	249,6	
				15	36,43	0,29	50	52,3	102,3	76,2	27,4
							100	56,5	156,5	128,3	
							200	59,1	259,1	229,5	

- : Deney yapılamamıştır.

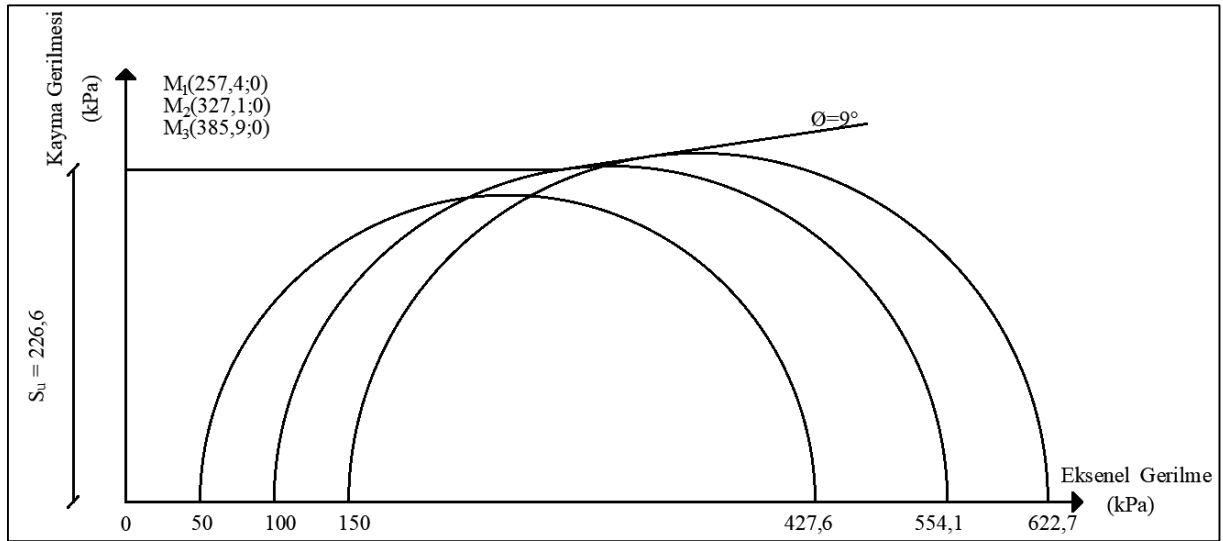
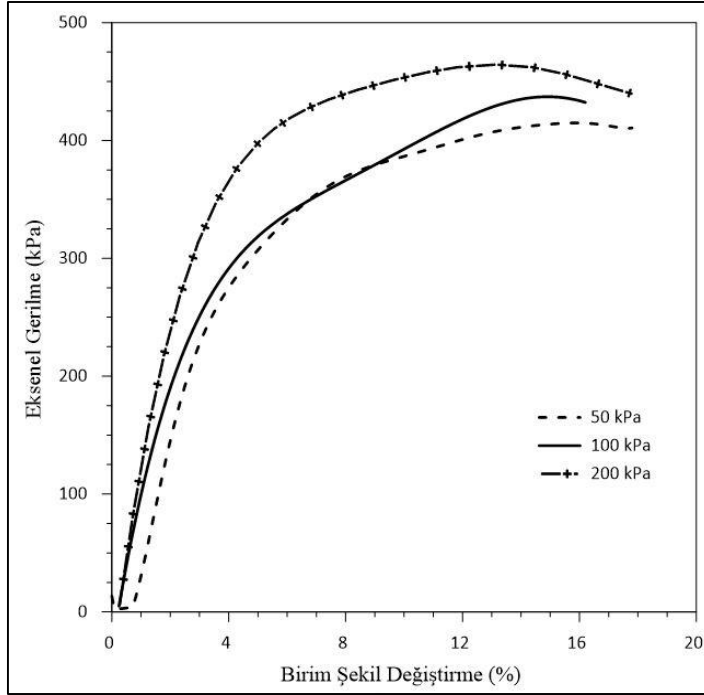
EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları

Çizelge 6.2. Düşük plastisiteli killerde UU deneyi sonuçları

Üç Eksenli Basınç (UU) Deneyi Sonuçları											
Numune	Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (PI)	Deney Nu.	Deney Yapılan Su Muhtevası w (%)	Likitite İndisi (LI)	σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_M (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı S_u - (kPa)
CL-1	40	21	19	16	12,84	-0,43	50	567,3	617,3	333,7	219,6
							100	699,9	799,9	449,9	
							200	754,7	954,7	577,4	
				17	19,76	-0,07	50	292,1	342,1	196,1	176,7
							100	354,2	454,2	277,1	
							200	382,4	582,4	391,2	
				18	25,83	0,25	50	179,2	229,2	139,6	97,2
							100	195,4	295,4	197,7	
							200	227,6	427,6	313,8	
				19	28,79	0,41	50	119,3	169,3	109,6	45,3
							100	147,9	247,9	173,9	
							200	173,0	373,0	286,5	
CL-2	28	17	11	20	15,15	-0,17	50	351,9	401,9	226,0	200,5
							100	403,0	503,0	301,5	
							200	450,2	650,2	425,1	
				21	17,42	0,04	50	155,7	205,7	127,8	97,1
							100	204,8	304,8	202,4	
							200	234,8	434,8	317,4	
				22	19,82	0,26	50	84,3	134,3	92,1	45,3
							100	91,9	191,9	146,0	
							200	99,2	299,2	249,6	
				23	21,95	0,45	50	46,1	96,1	73,0	22,9
							100	41,3	141,3	120,6	
							200	50,5	250,5	225,2	
CL-3	42	19	23	24	16,47	-0,11	50	258,8	308,8	179,4	163,5
							100	330,1	430,1	265,0	
							200	371,6	571,6	385,8	
				25	22,95	0,17	50	130,2	180,2	115,1	60,8
							100	135,6	235,6	167,8	
							200	138,0	338,0	269,0	
				26	25,58	0,29	50	82,5	132,5	91,2	40,7
							100	88,5	188,5	144,2	
							200	91,5	291,5	245,7	
				27	27,45	0,37	50	64,9	114,9	82,5	30,5
							100	68,0	168,0	134,0	
							200	72,3	272,3	236,2	
CL-5	46	19	27	28	14,00	-0,19	50	648,0	698,0	374,0	354,3
							100	710,2	810,2	455,1	
							200	752,4	952,4	576,2	
				29	23,68	0,17	50	161,2	211,2	130,6	96,8
							100	194,0	294,0	197,0	
							200	211,1	411,1	305,5	
				30	31,91	0,48	50	68,4	118,4	84,2	32,1
							100	71,9	171,9	135,9	
							200	74,9	274,9	237,4	

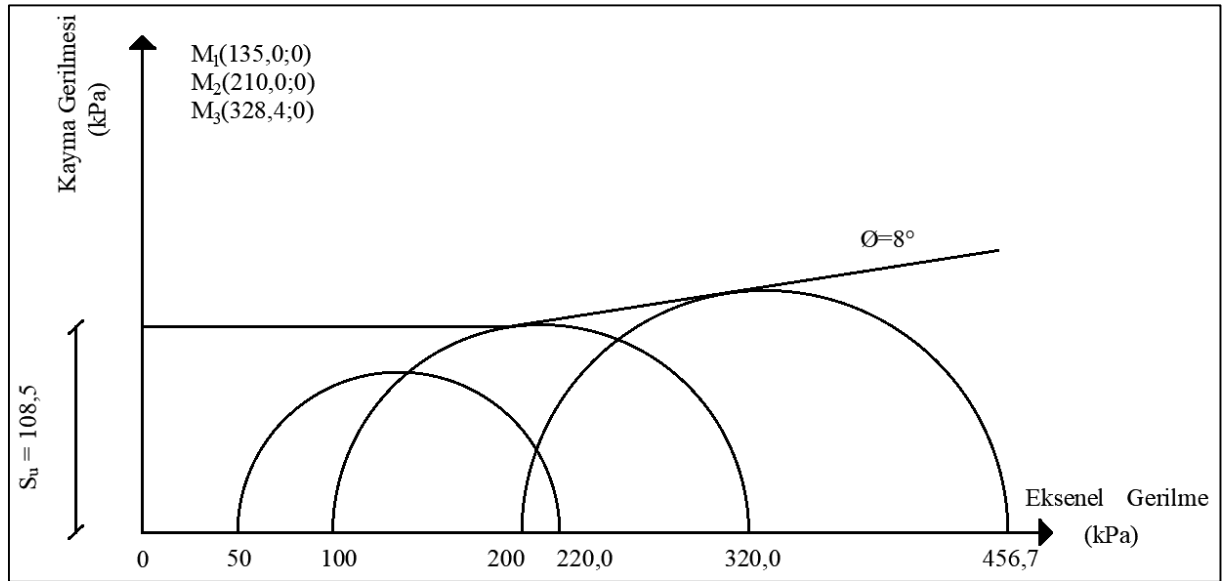
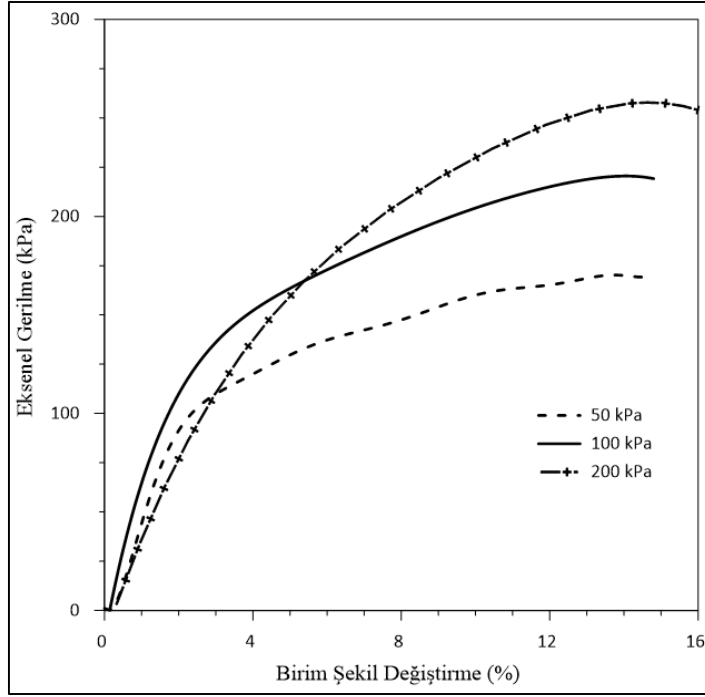
- : Deney yapılamamıştır.

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



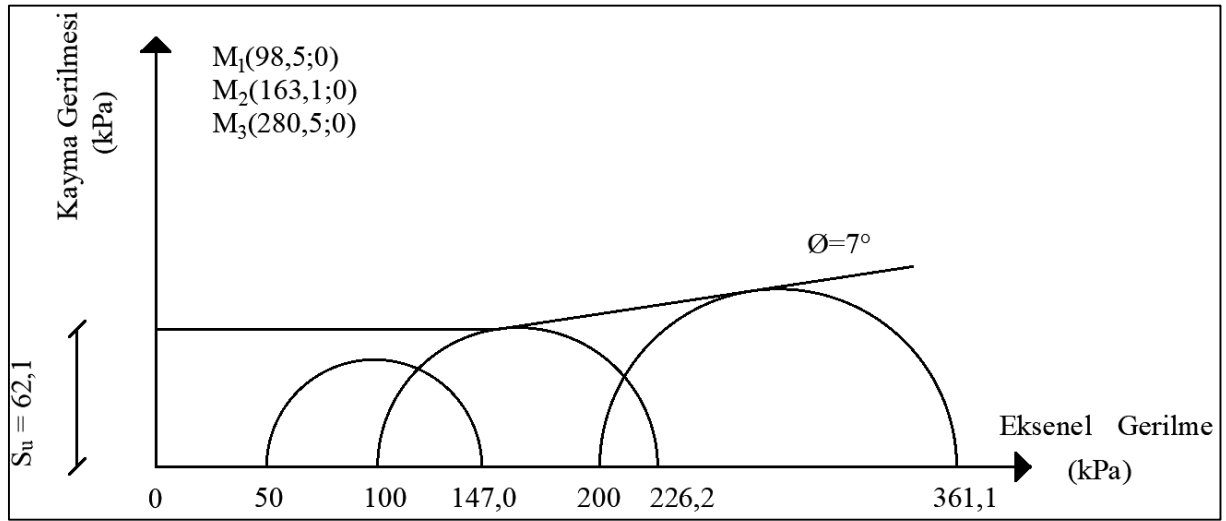
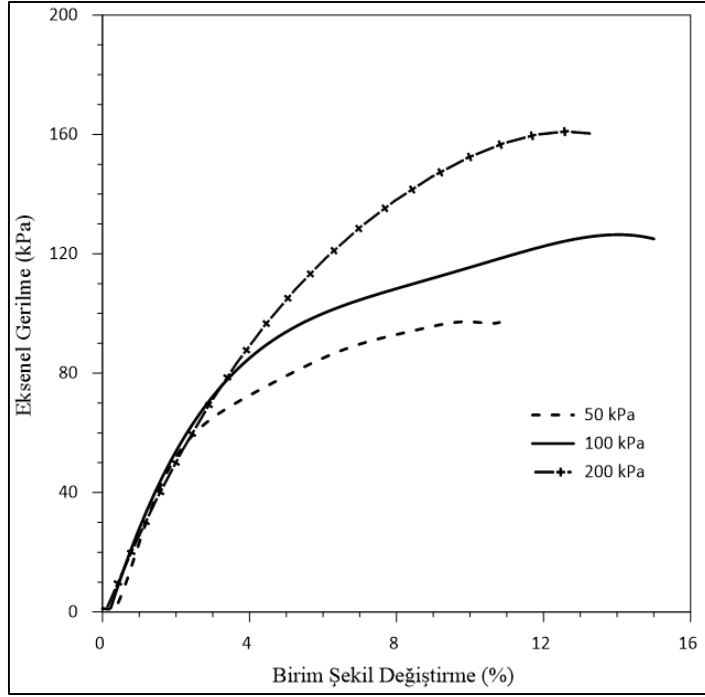
Şekil 6.1. CH-3 numunesi % 24,19 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



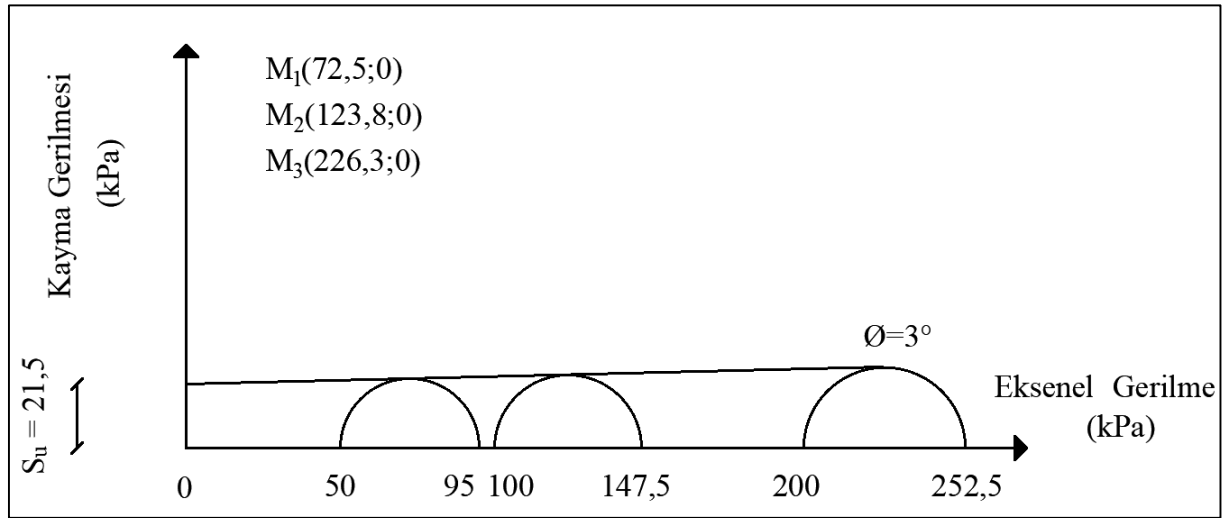
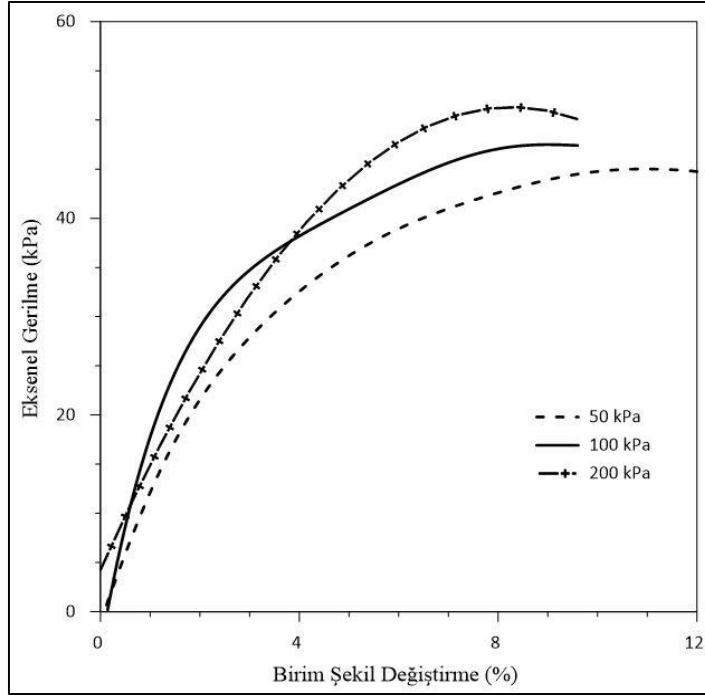
Şekil 6.2. CH-3 numunesi % 29,49 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



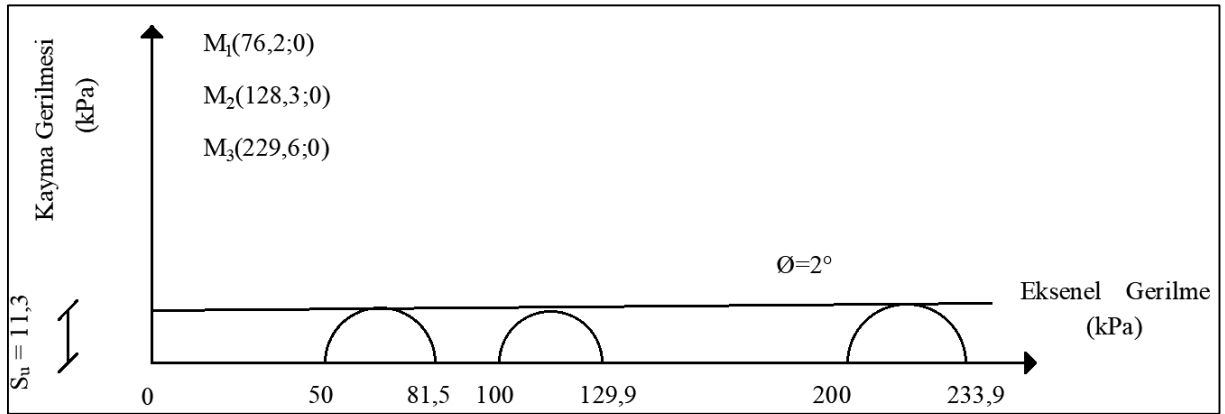
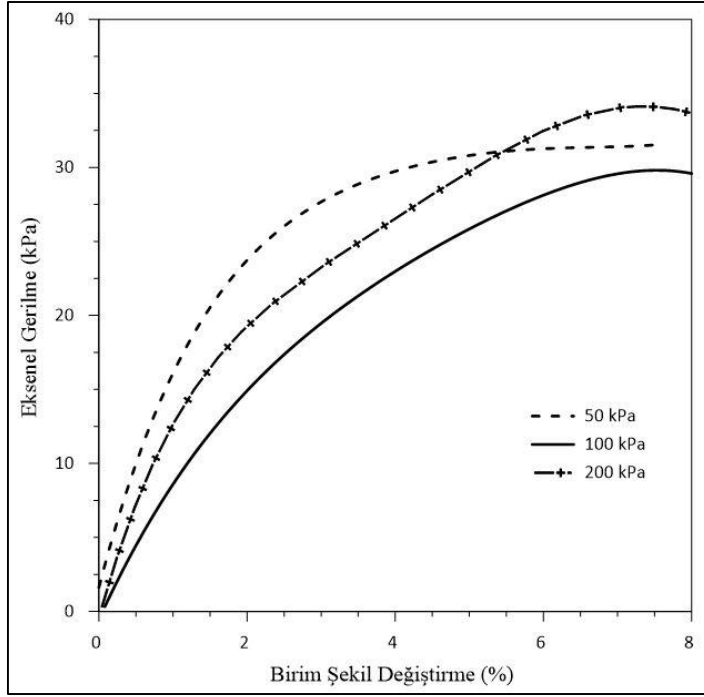
Şekil 6.3. CH-3 numunesi % 33,51 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



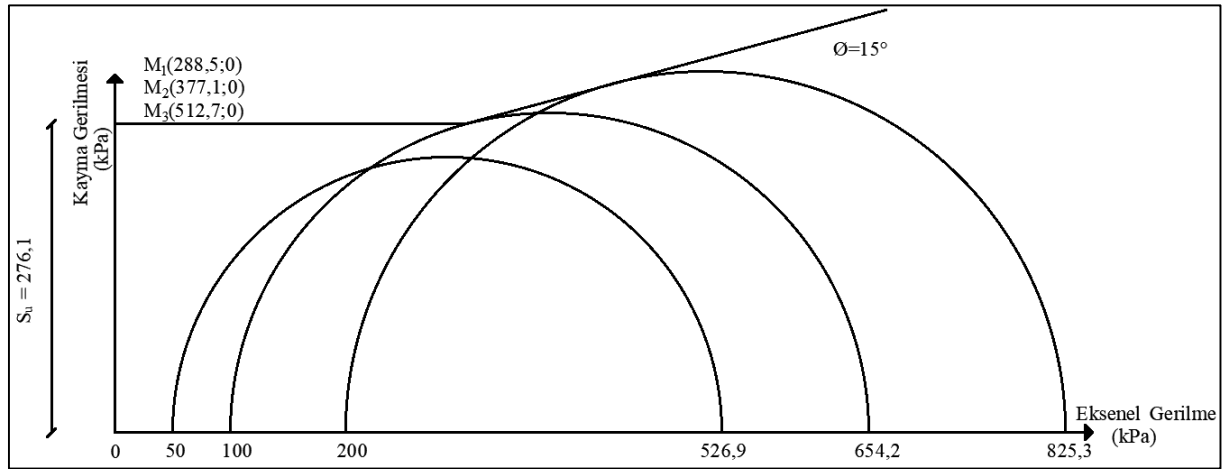
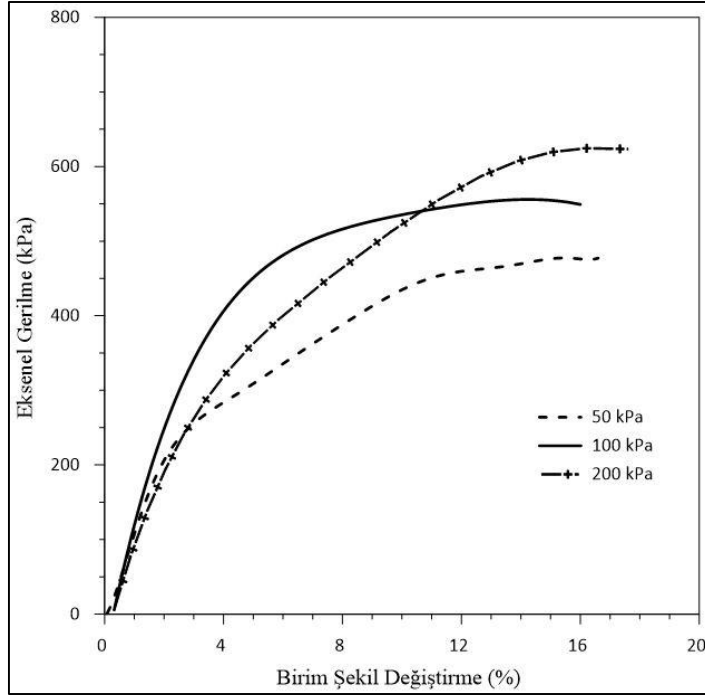
Şekil 6.4. CH-3 numunesi % 41,12 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



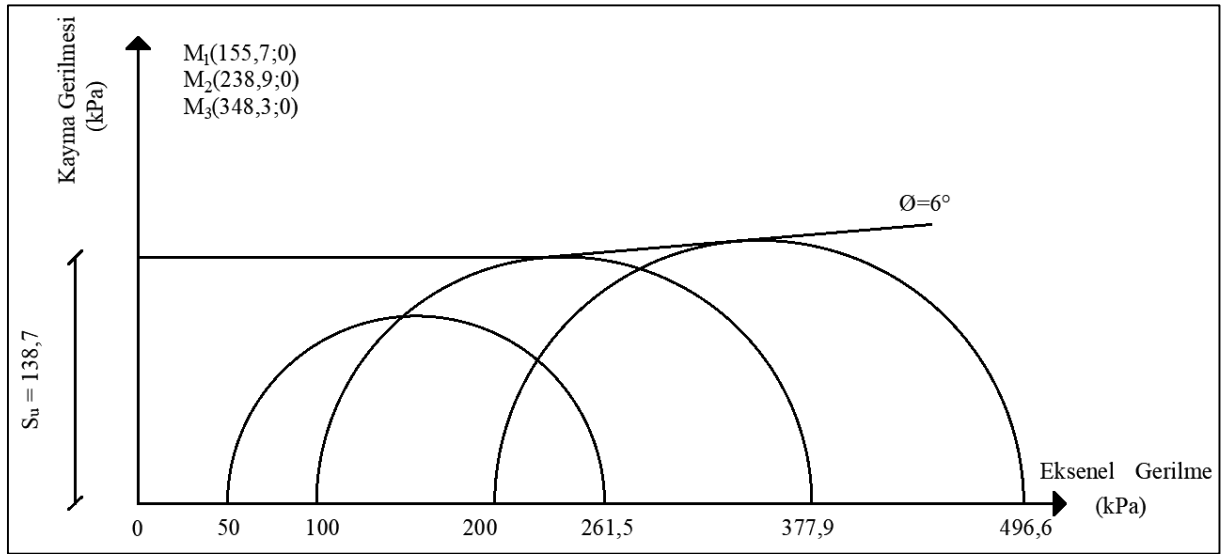
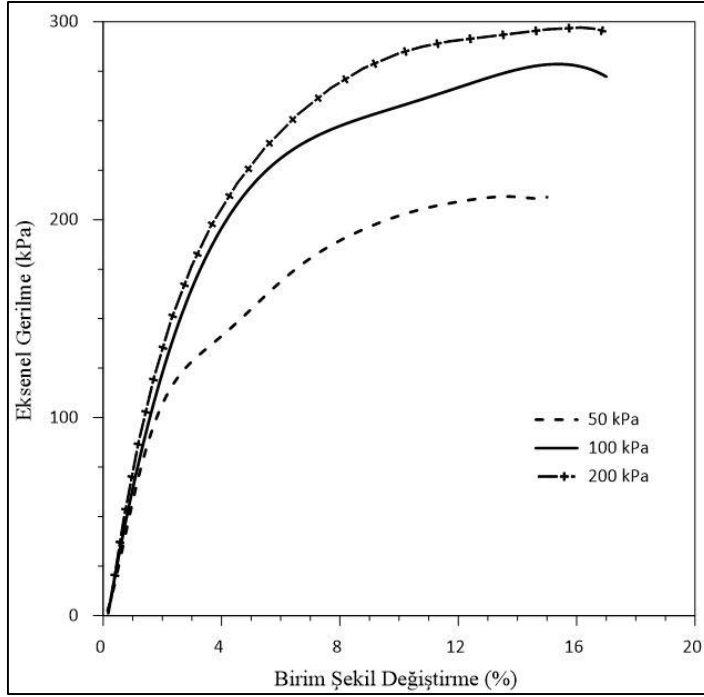
Şekil 6.5. CH-3 numunesi % 44,93 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



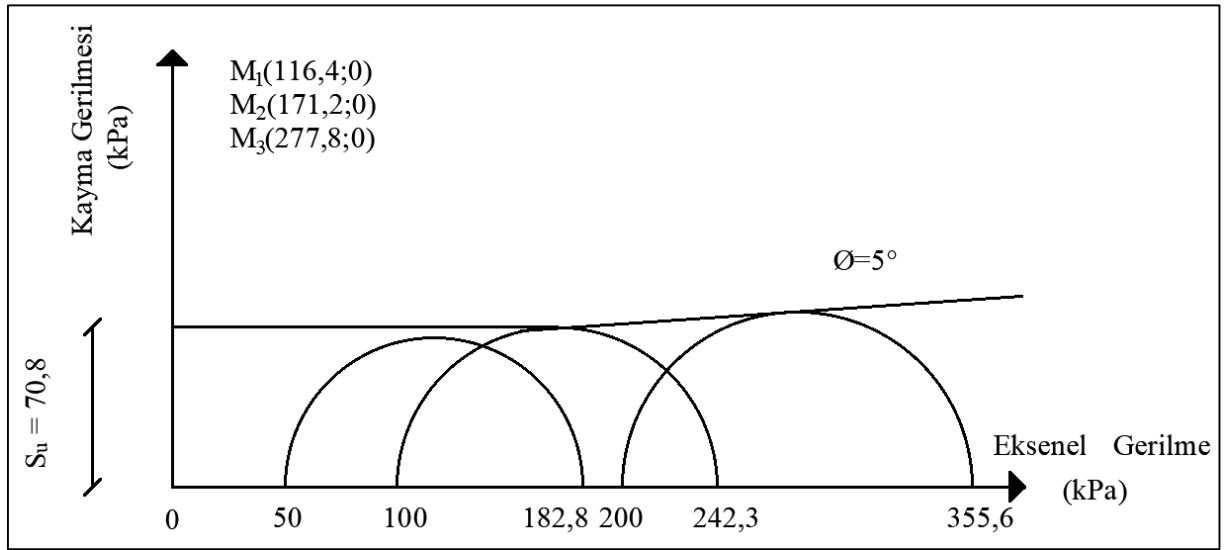
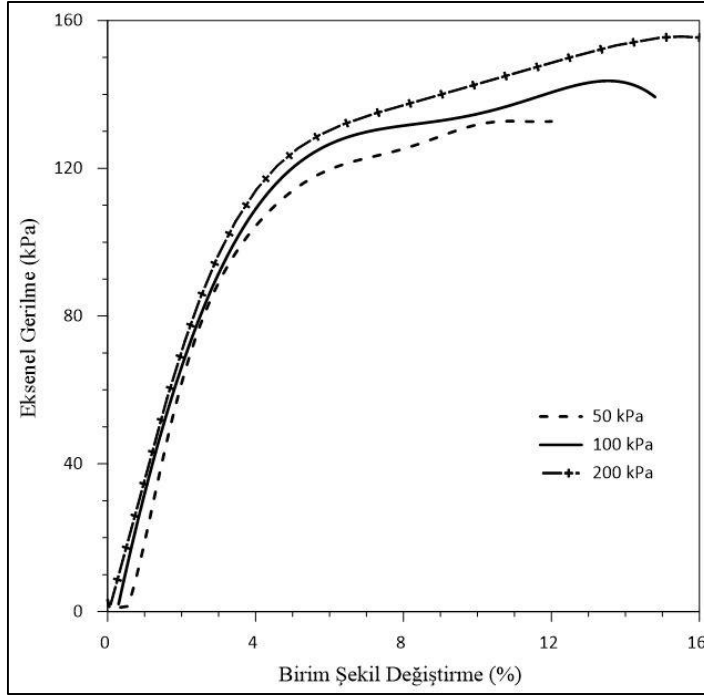
Şekil 6.6. CH-4 numunesi % 29,37 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



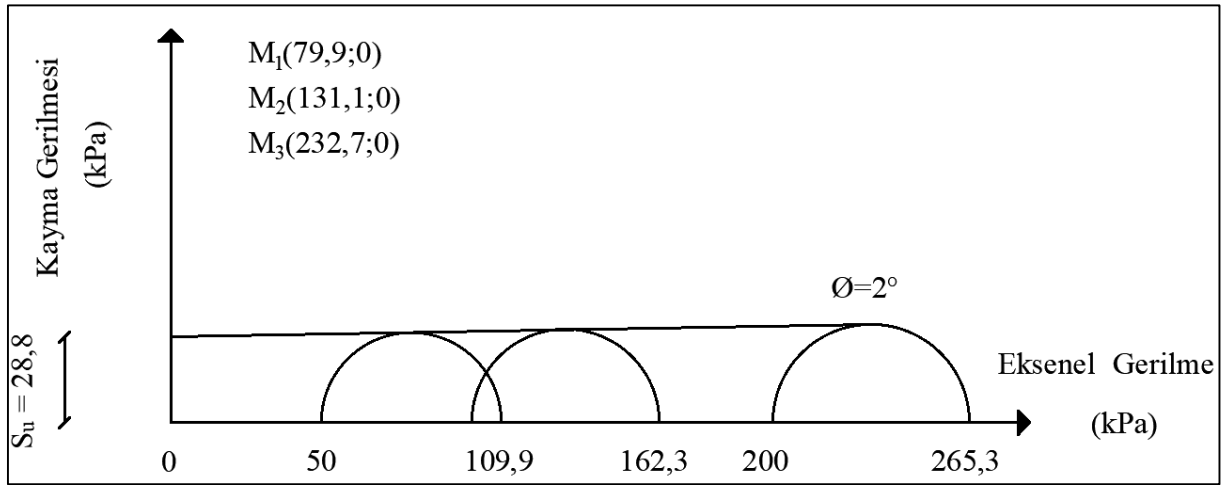
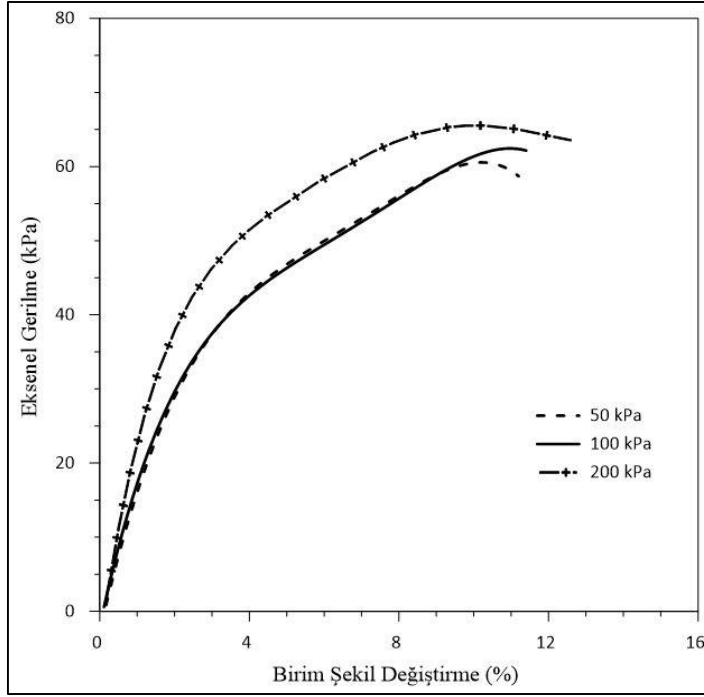
Şekil 6.7. CH-4 numunesi % 34,47 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



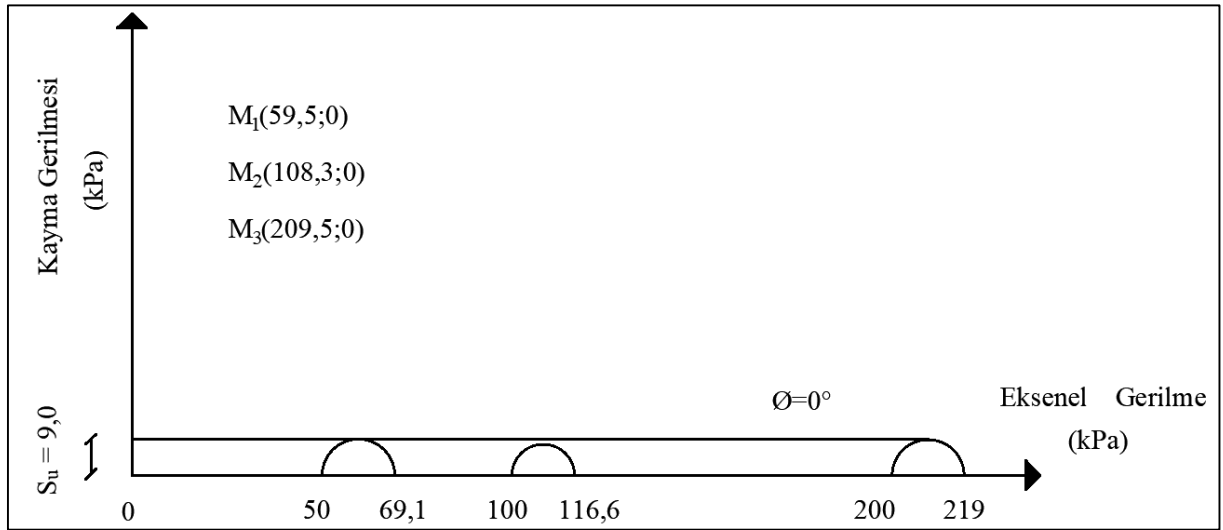
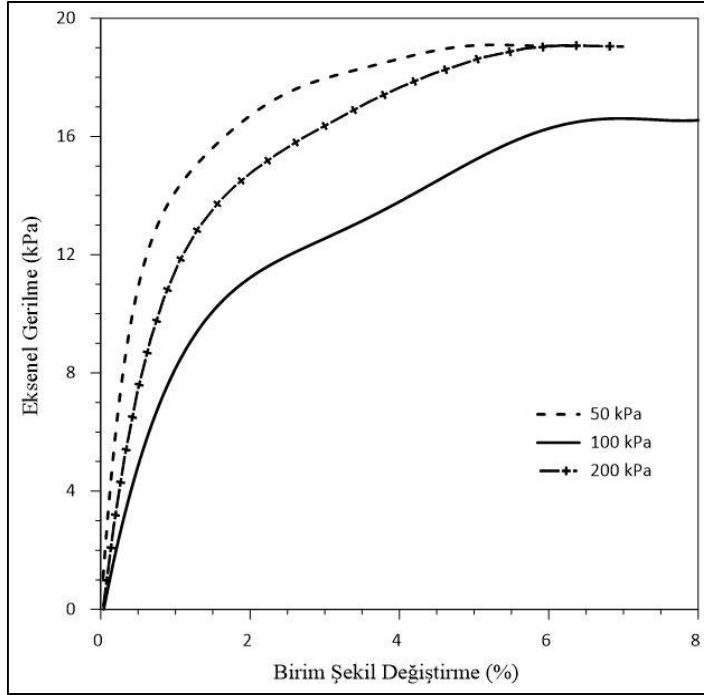
Şekil 6.8. CH-4 numunesi % 39,46 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



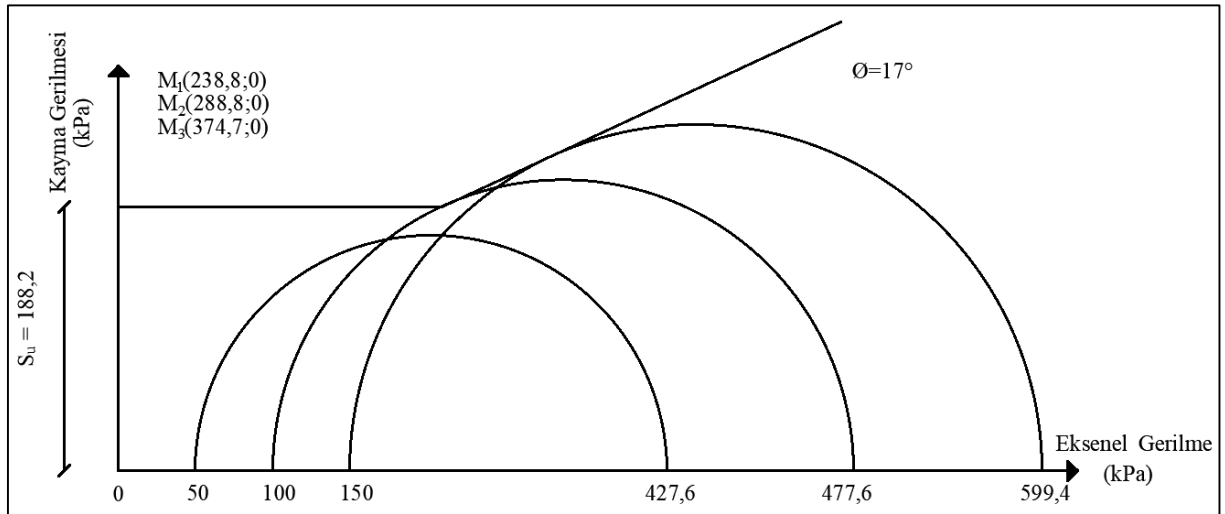
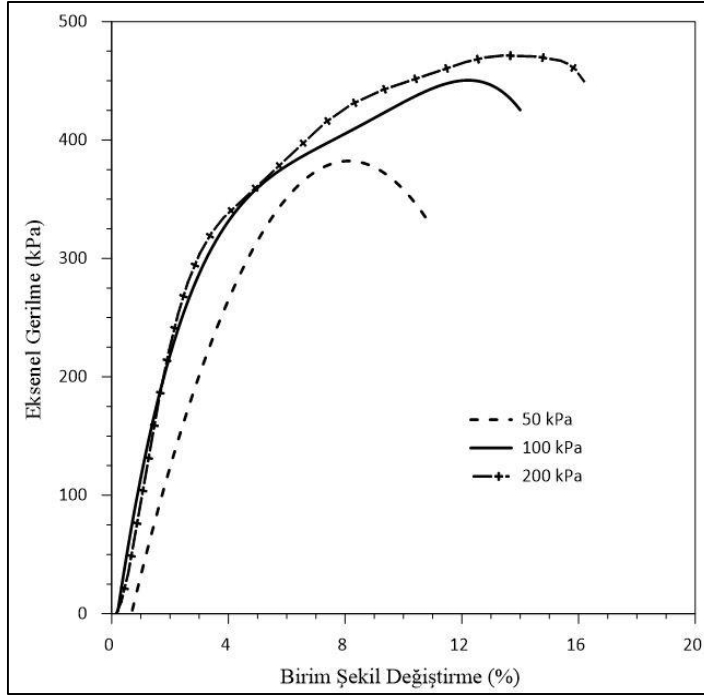
Şekil 6.9. CH-4 numunesi % 46,09 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



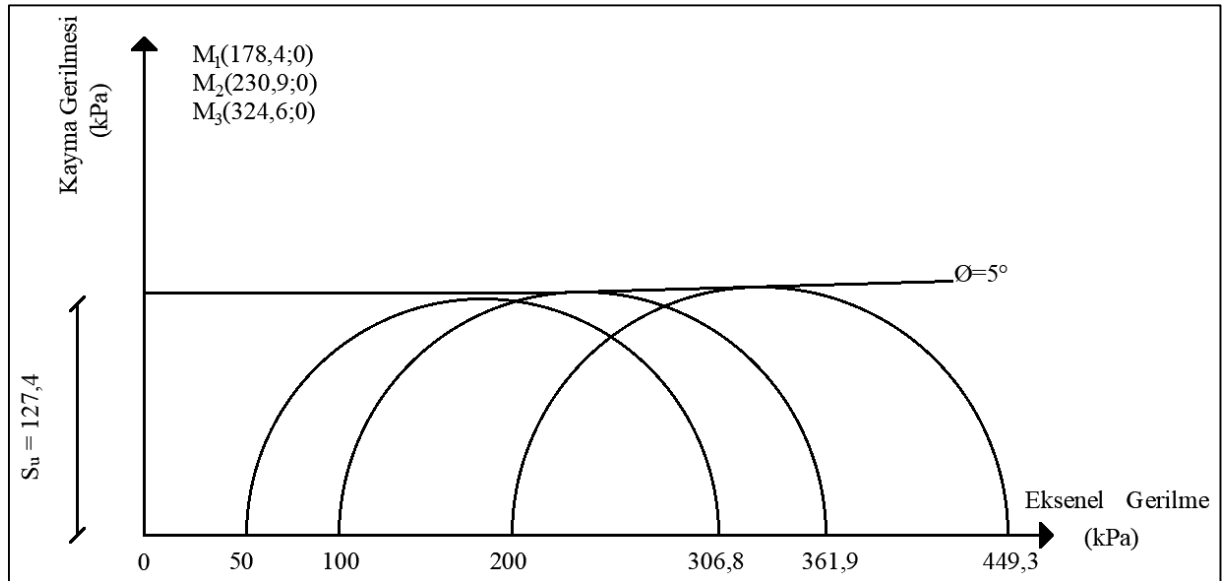
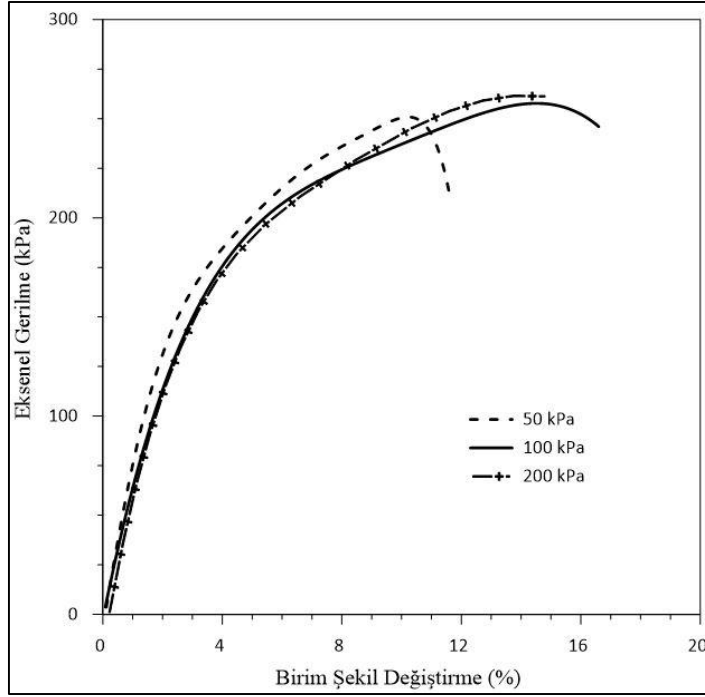
Şekil 6.10. CH-4 numunesi % 54,89 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



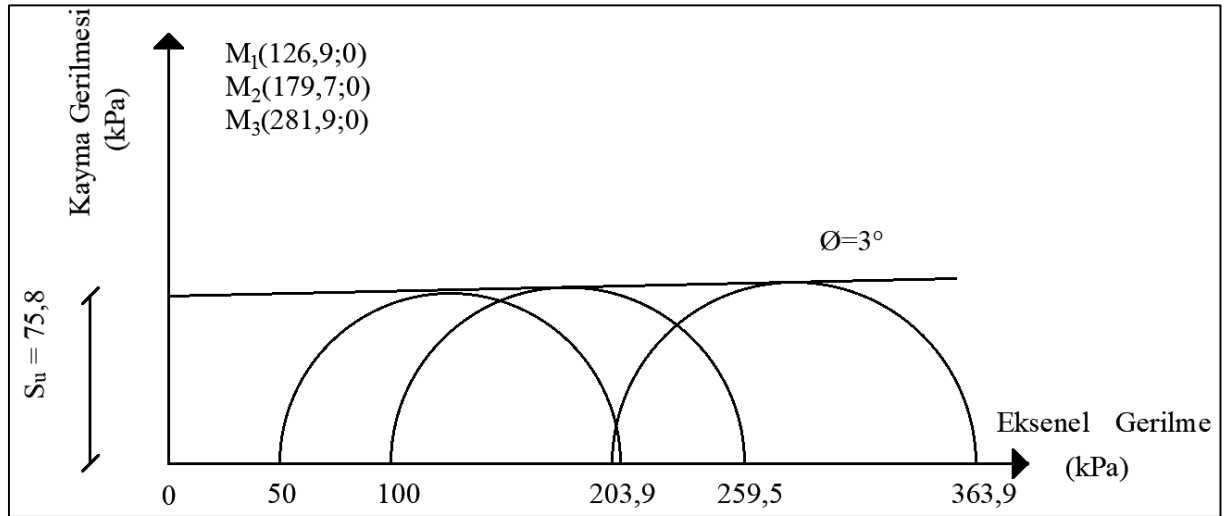
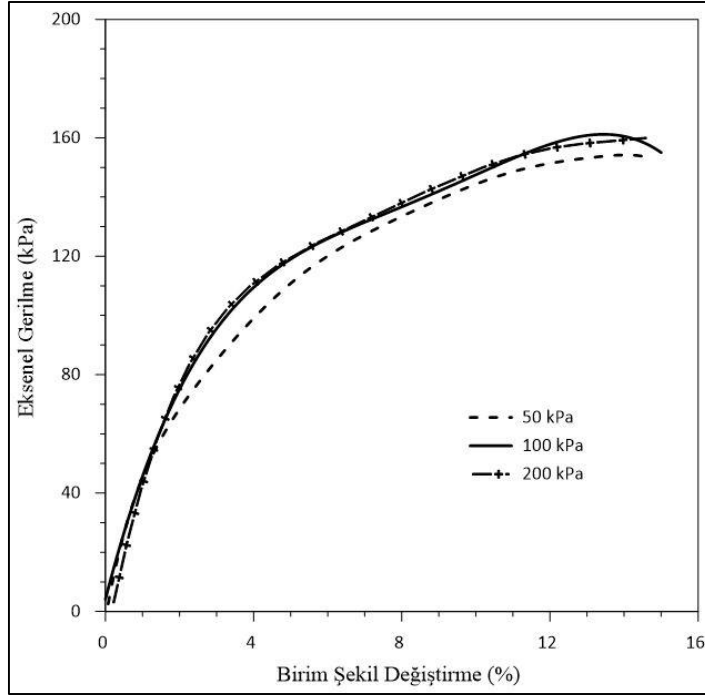
Şekil 6.11. CH-5 numunesi % 24,52 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



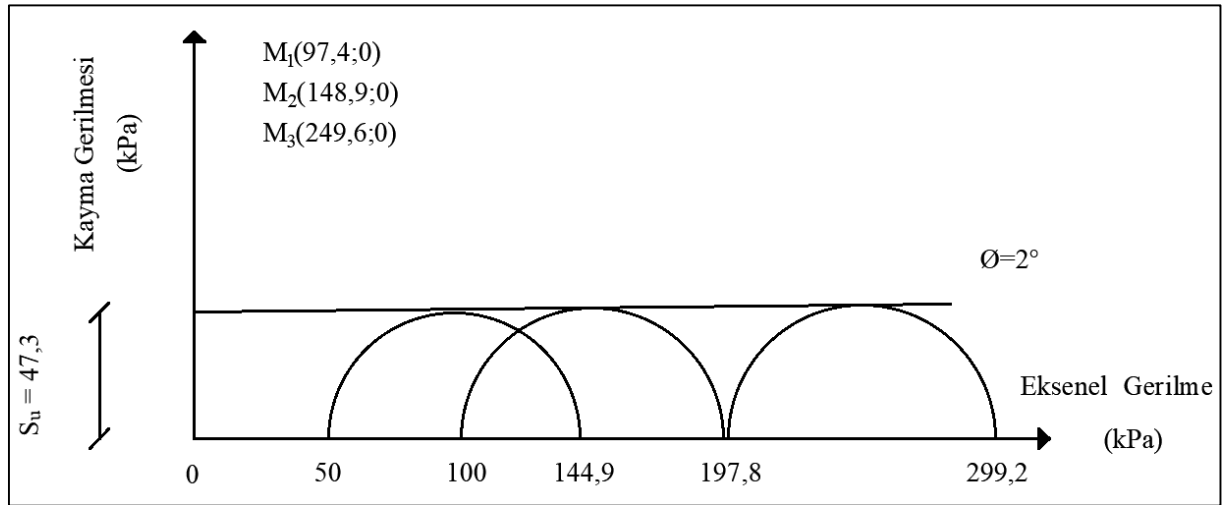
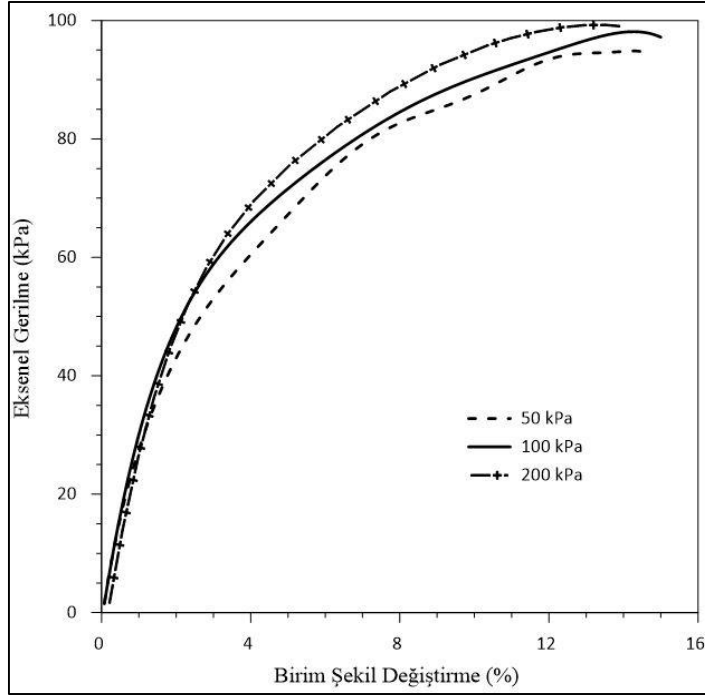
Şekil 6.12. CH-5 numunesi % 27,00 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



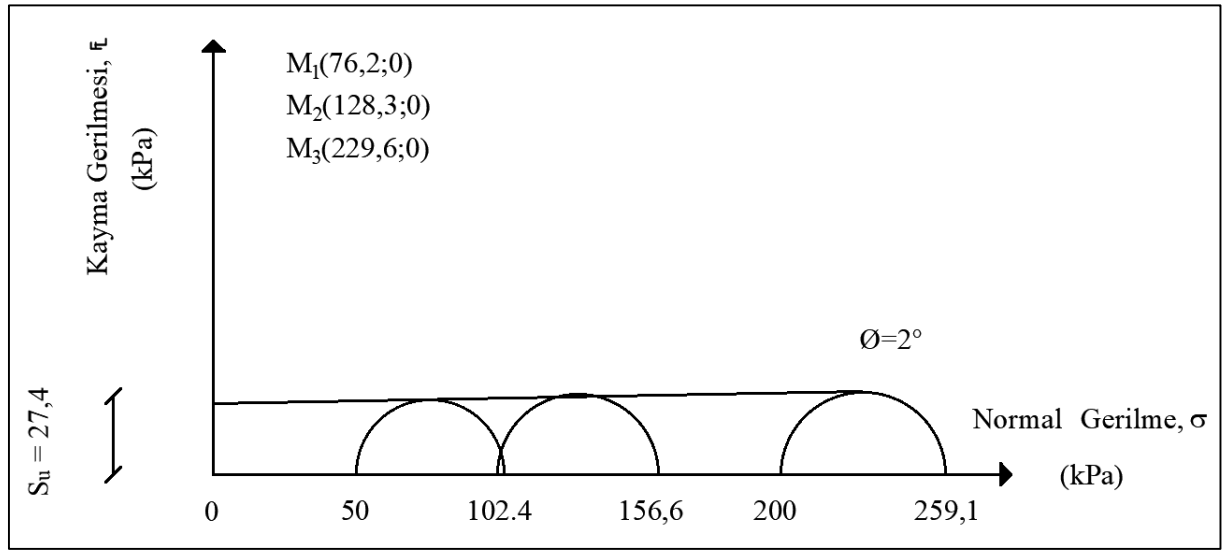
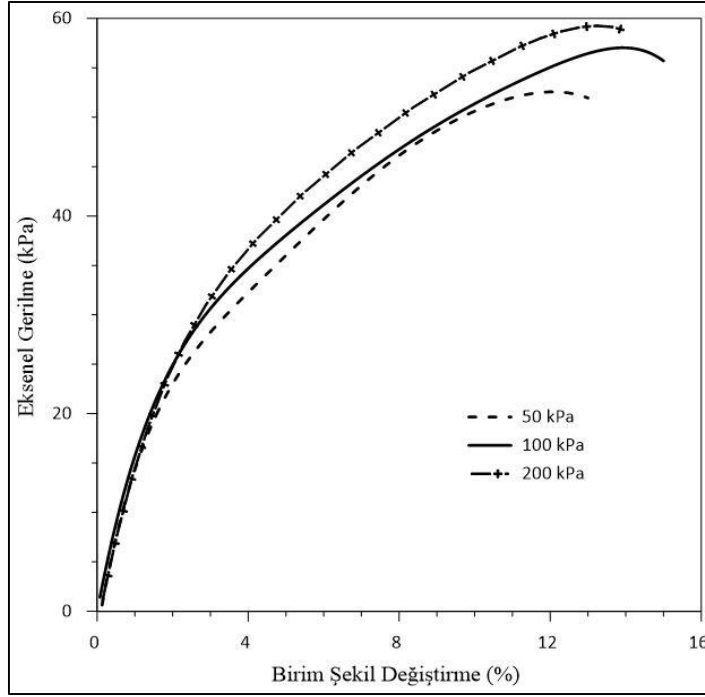
Şekil 6.13. CH-5 numunesi % 30,15 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



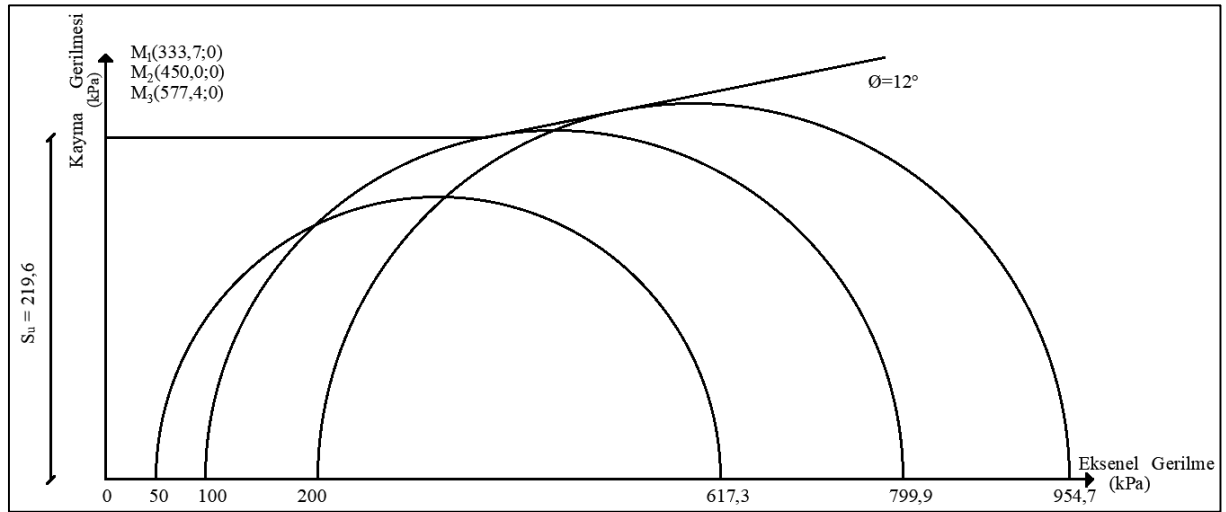
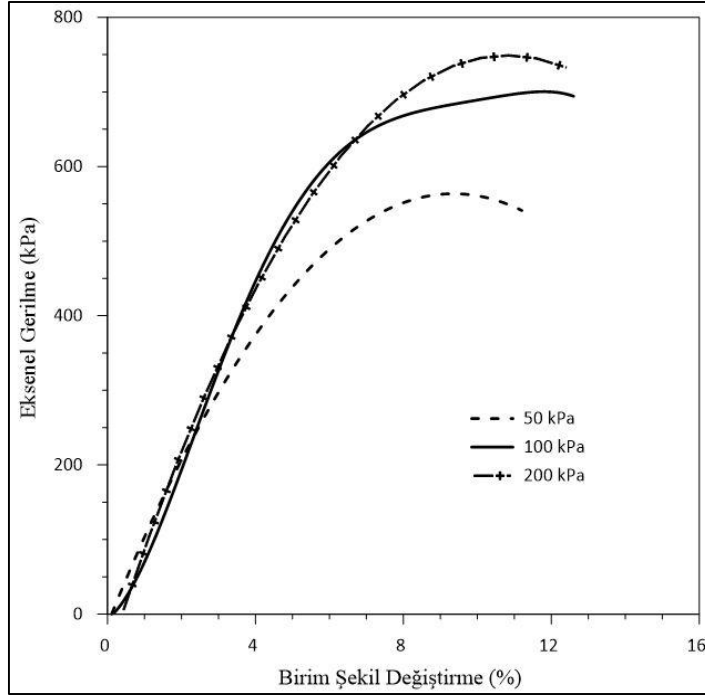
Şekil 6.14. CH-4 numunesi % 33,29 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



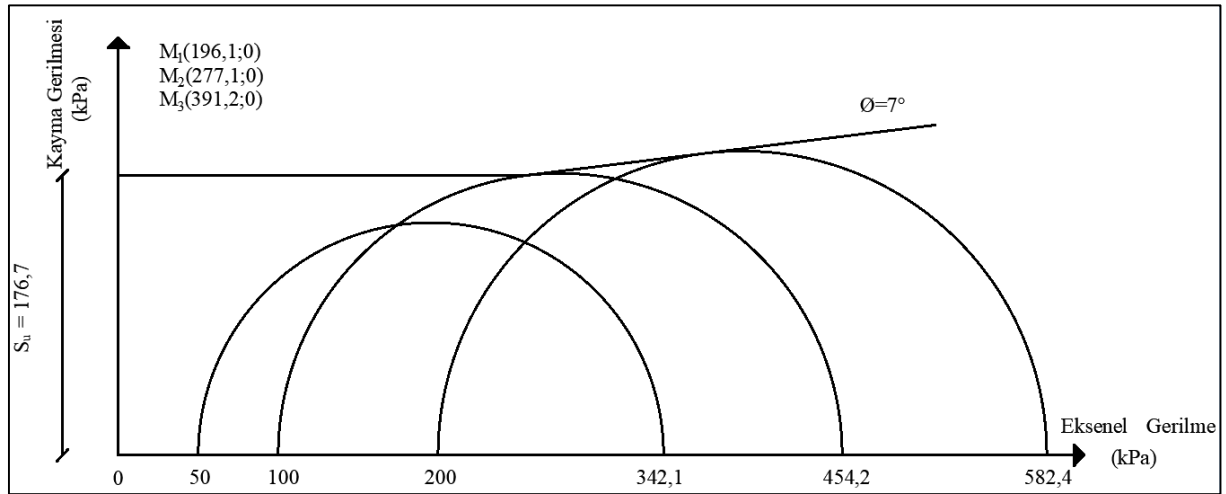
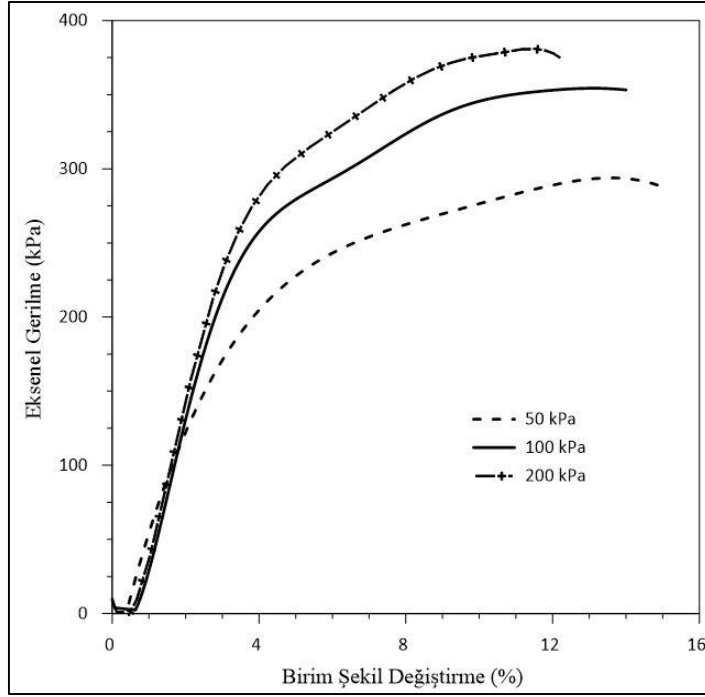
Şekil 6.15. CH-5 numunesi % 36,43 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



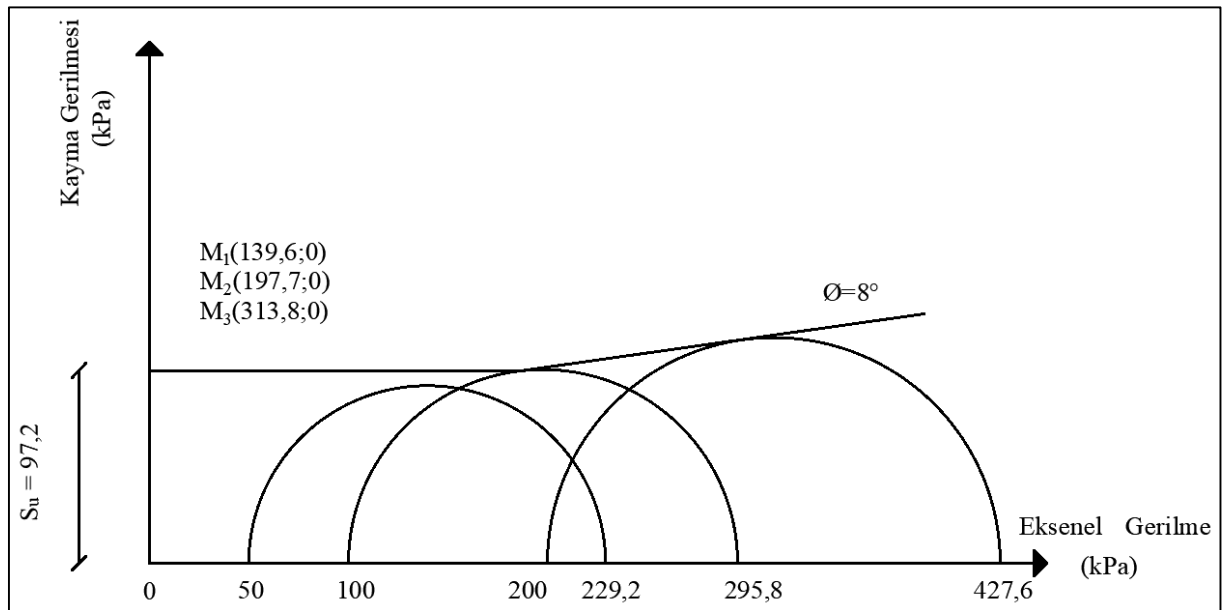
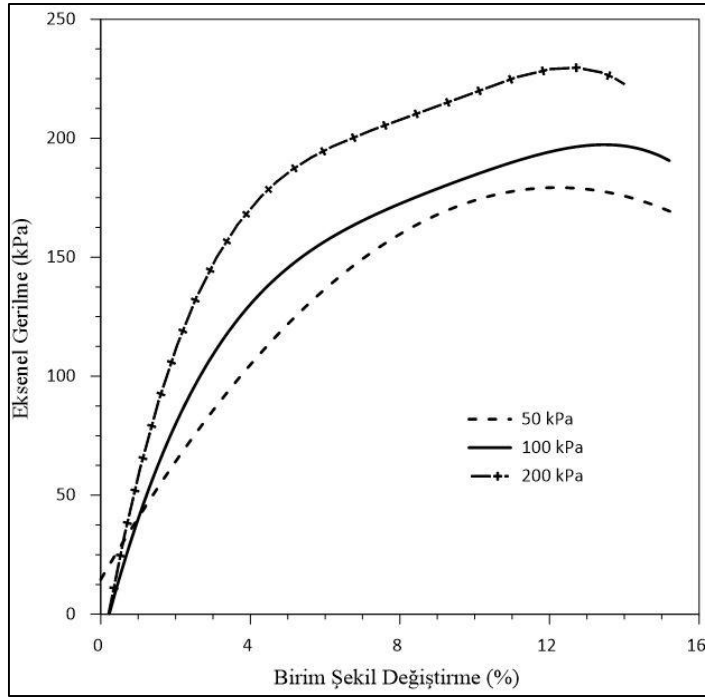
Şekil 6.16. CL-1 numunesi % 12,84 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



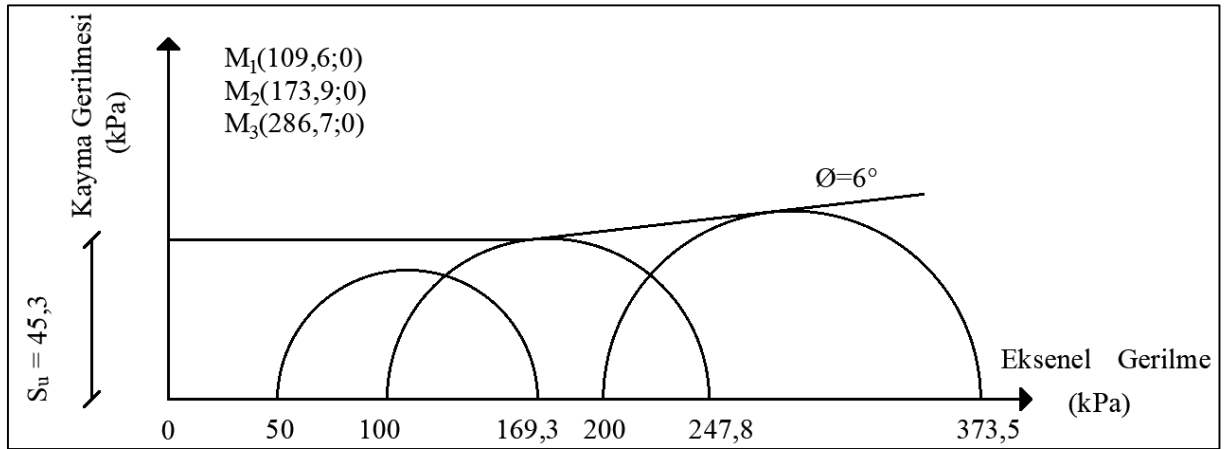
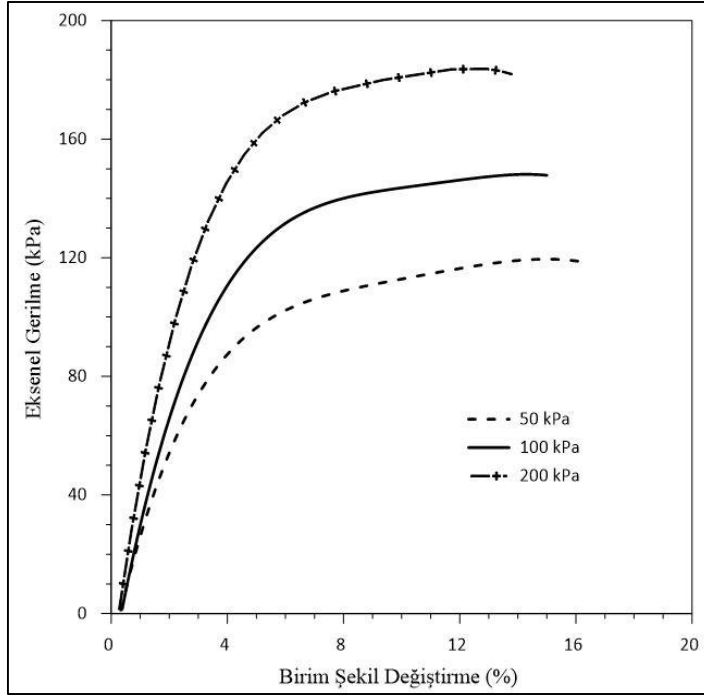
Şekil 6.17. CL-1 numunesi % 19,76 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



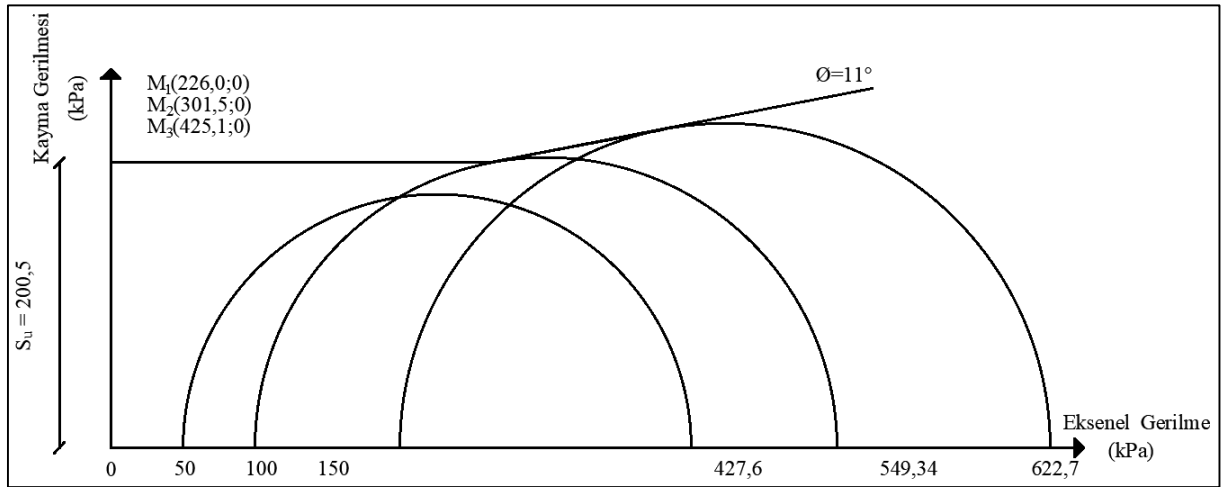
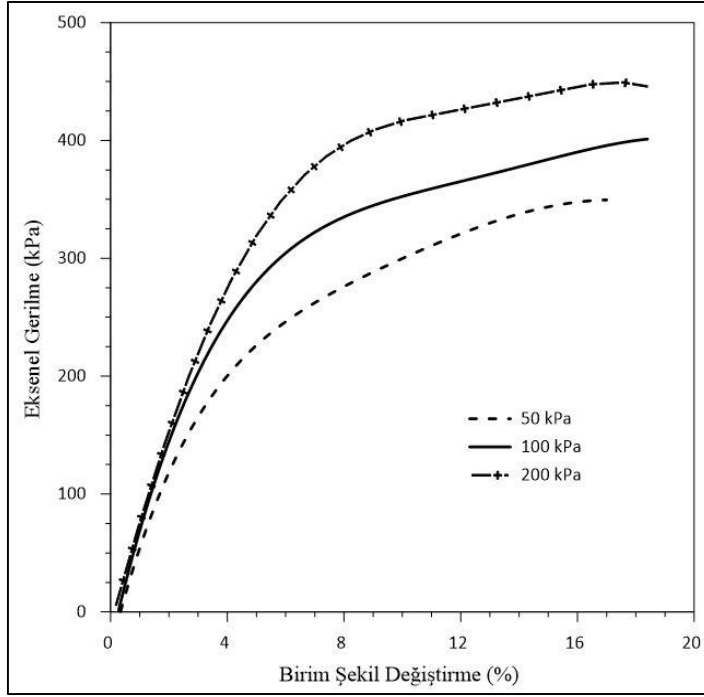
Şekil 6.18. CL-1 numunesi % 25,83 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



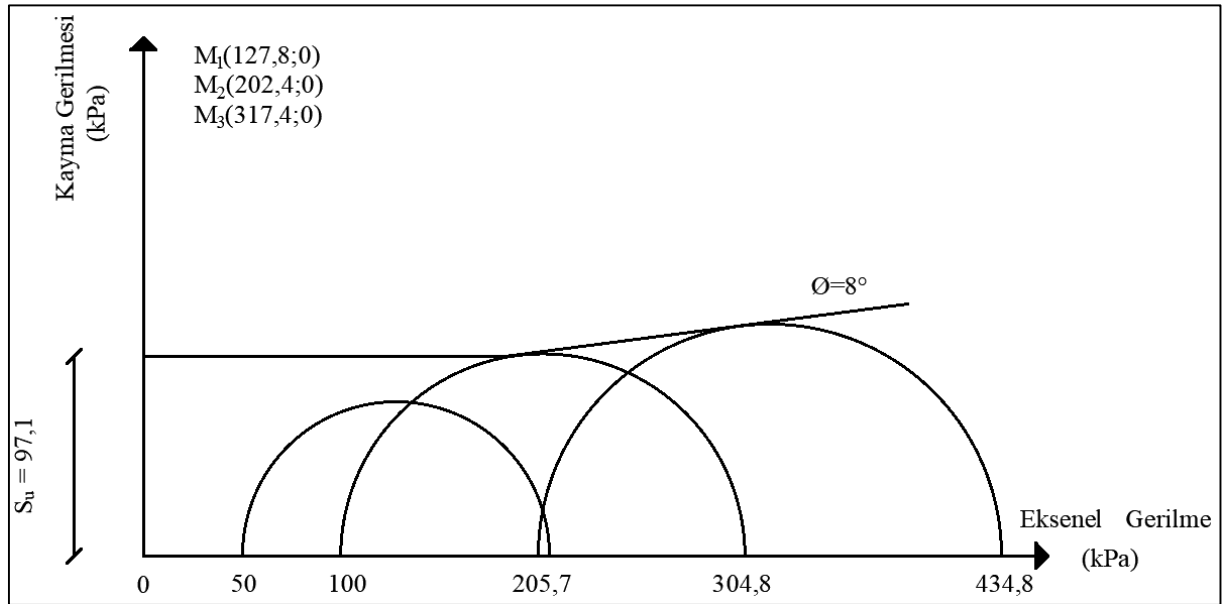
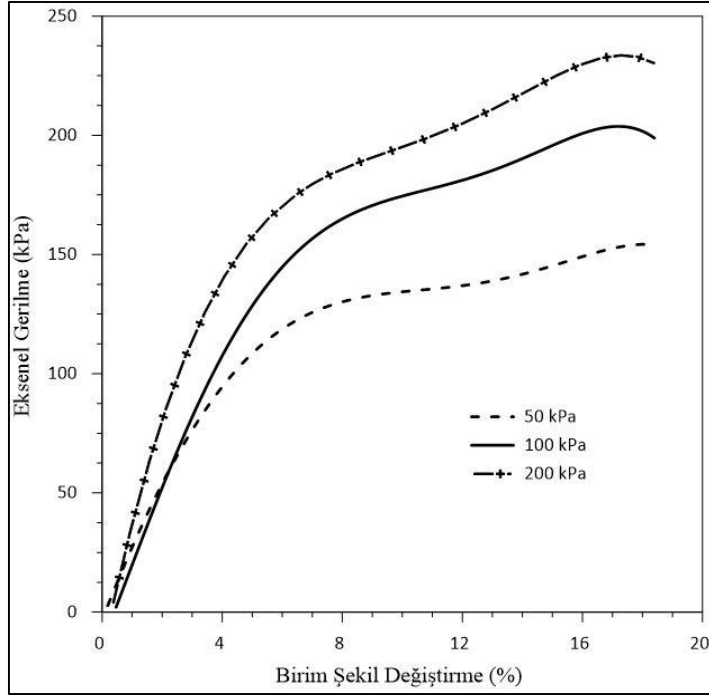
Şekil 6.19. CL-1 numunesi % 28,79 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



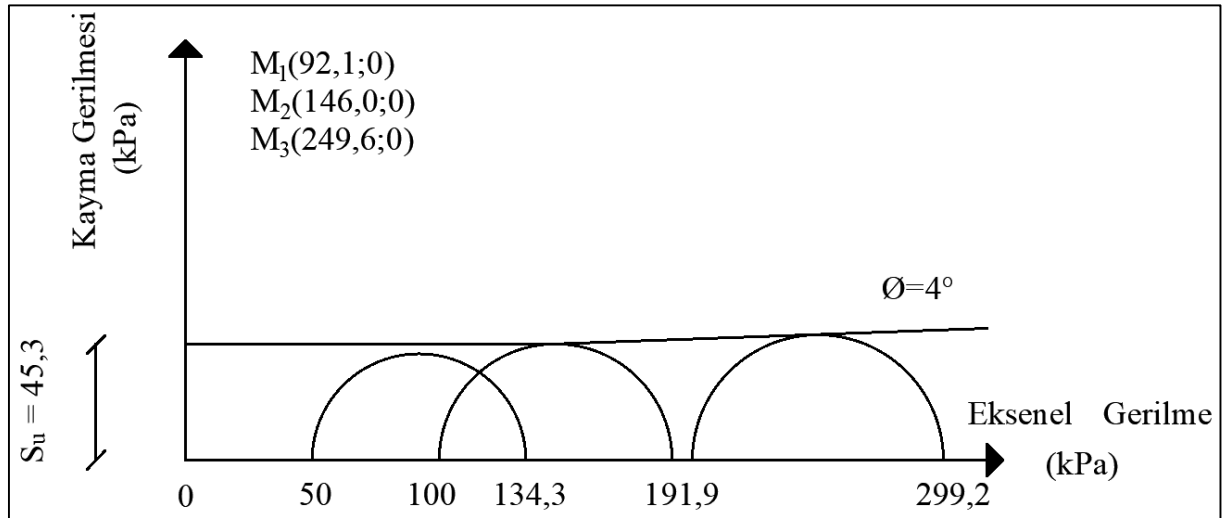
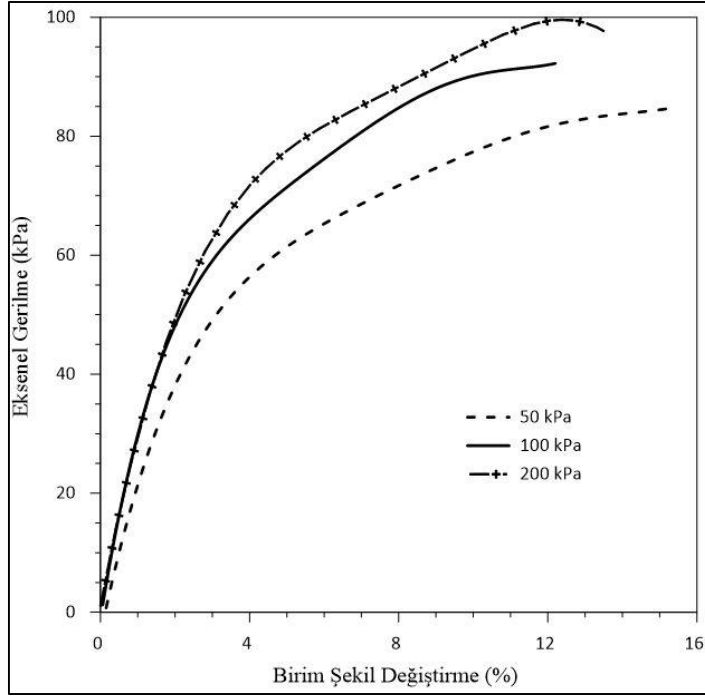
Şekil 6.20. CL-2 numunesi % 15,15 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



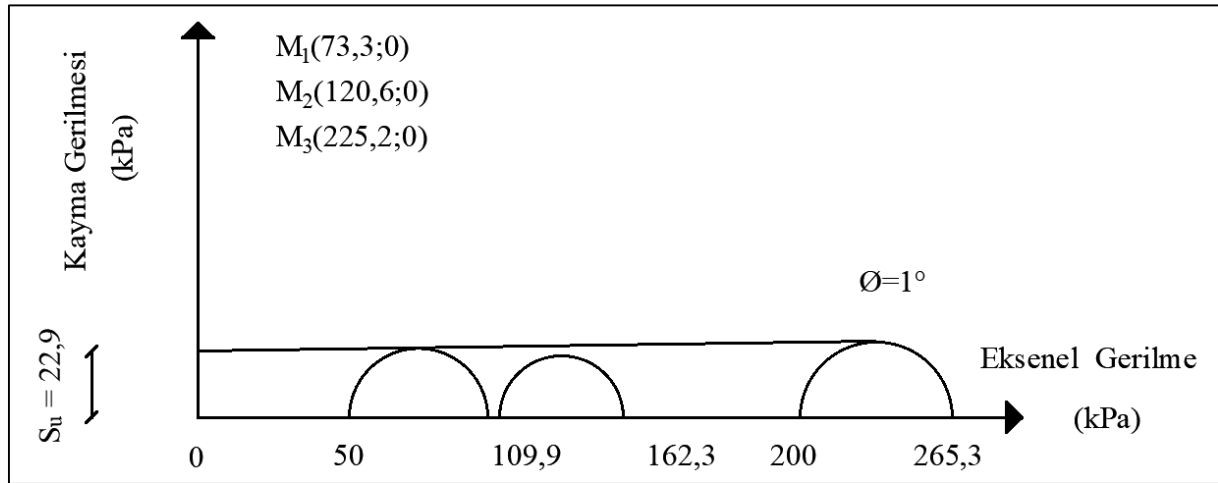
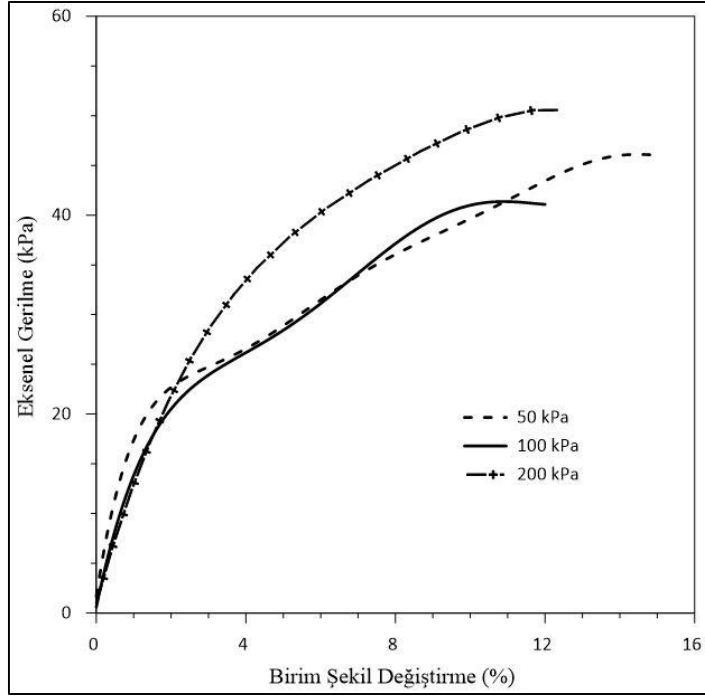
Şekil 6.21. CL-2 numunesi % 17,42 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



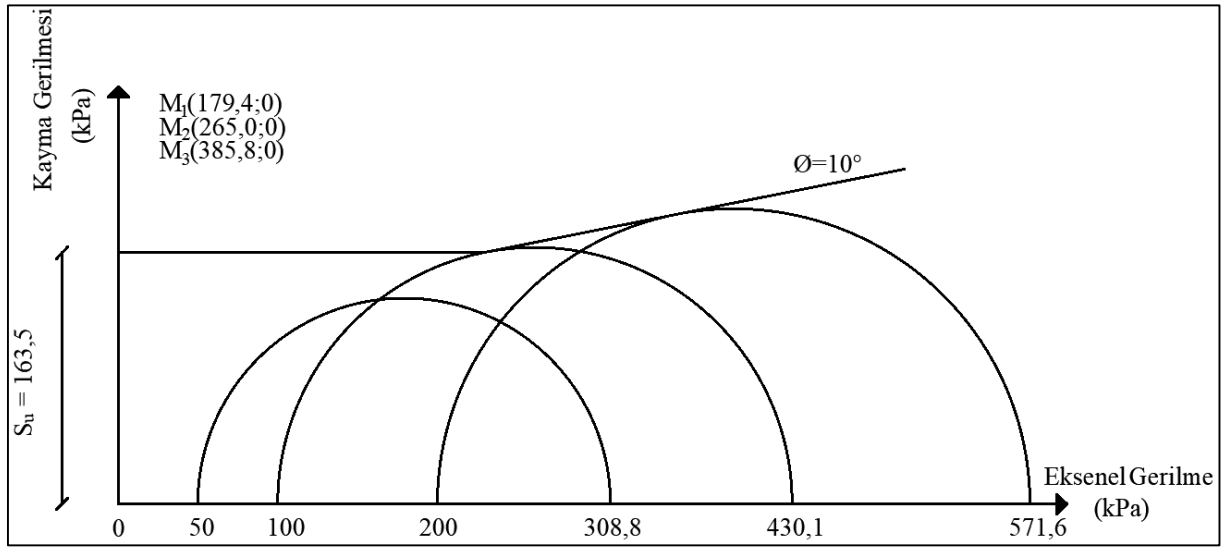
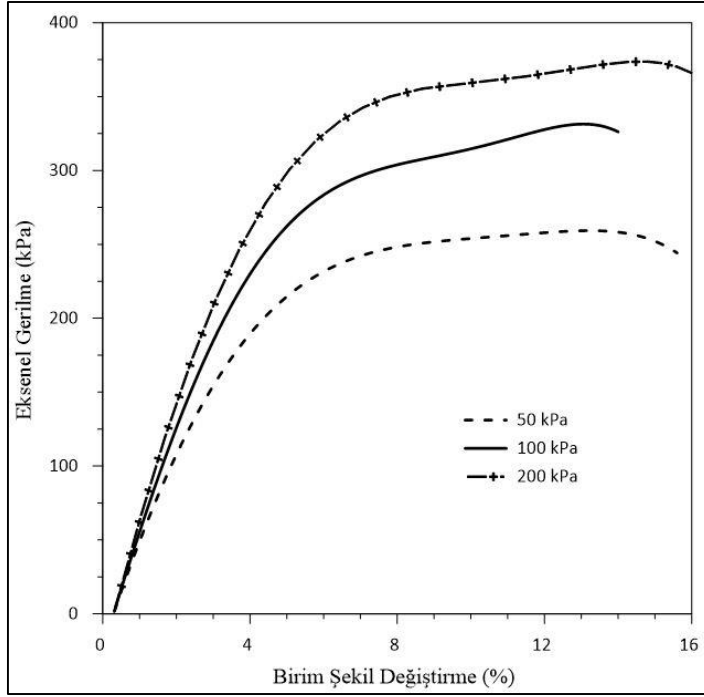
Şekil 6.22. CL-2 numunesi % 19,82 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



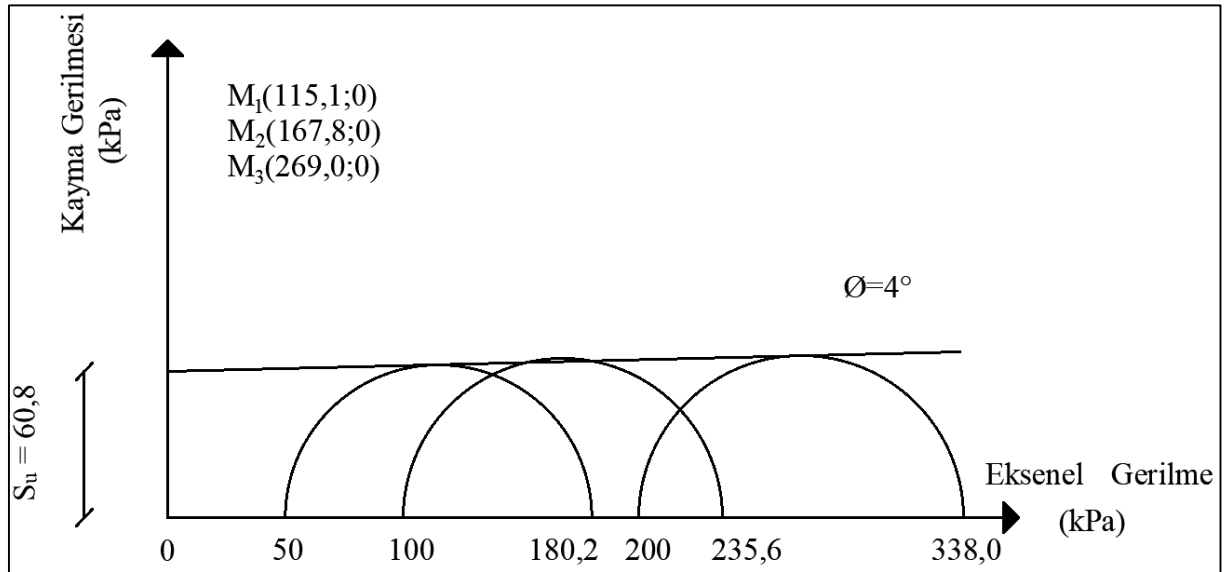
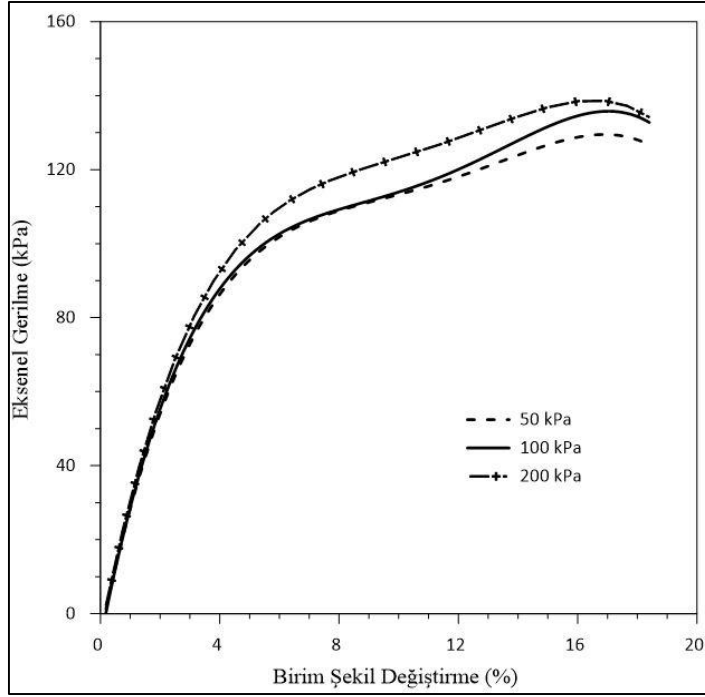
Şekil 6.23. CL-2 numunesi % 21,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



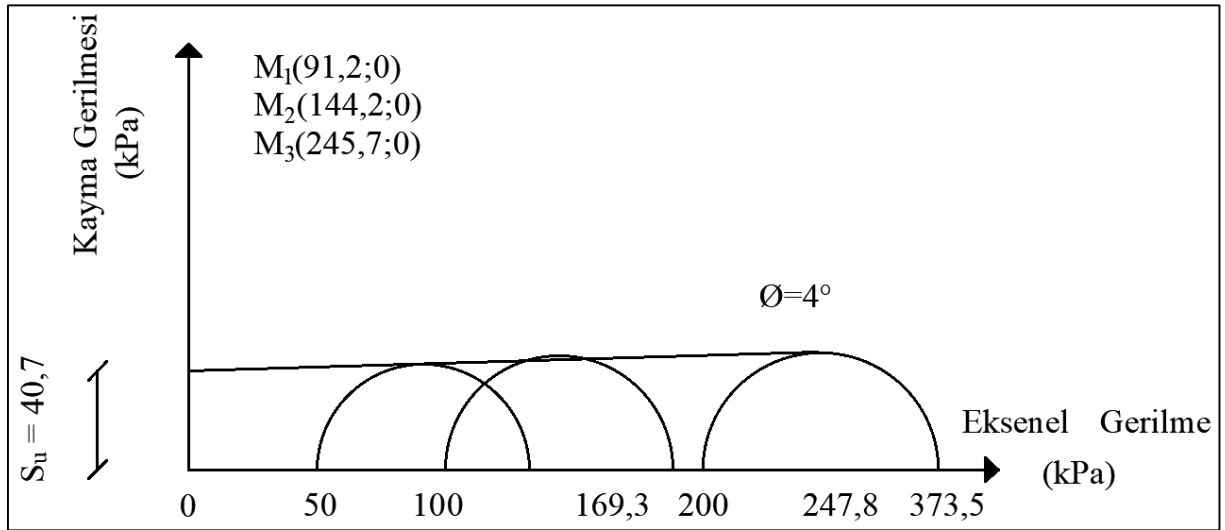
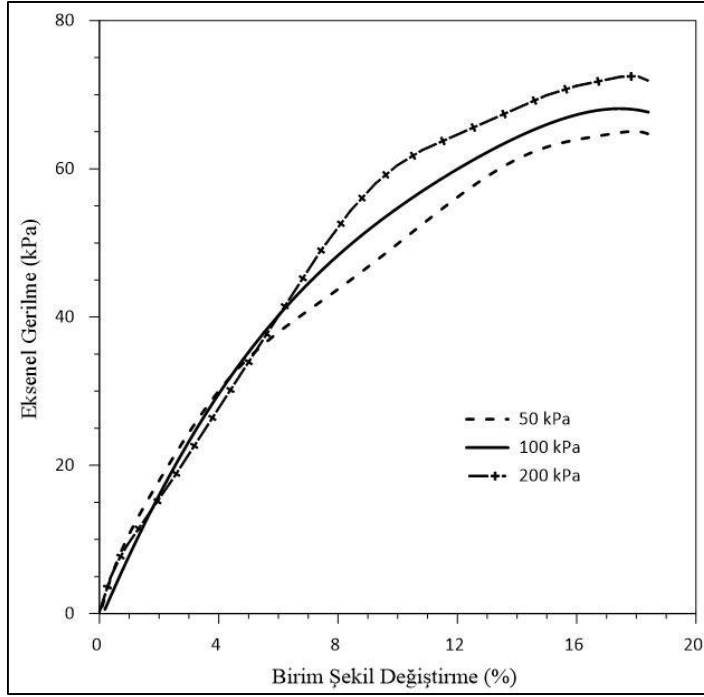
Şekil 6.24. CL-3 numunesi % 16,47 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



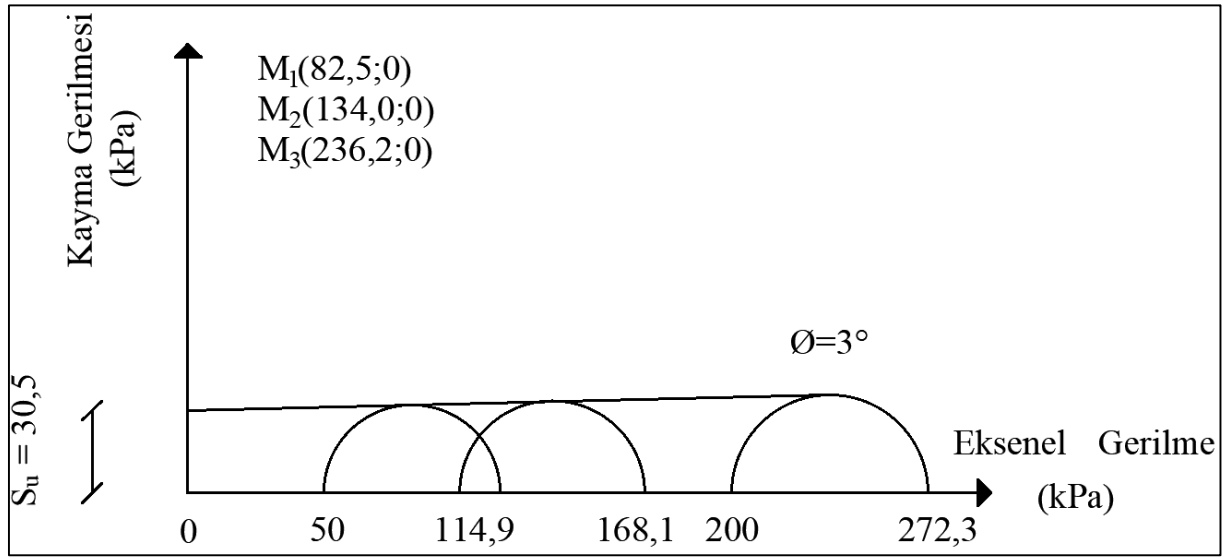
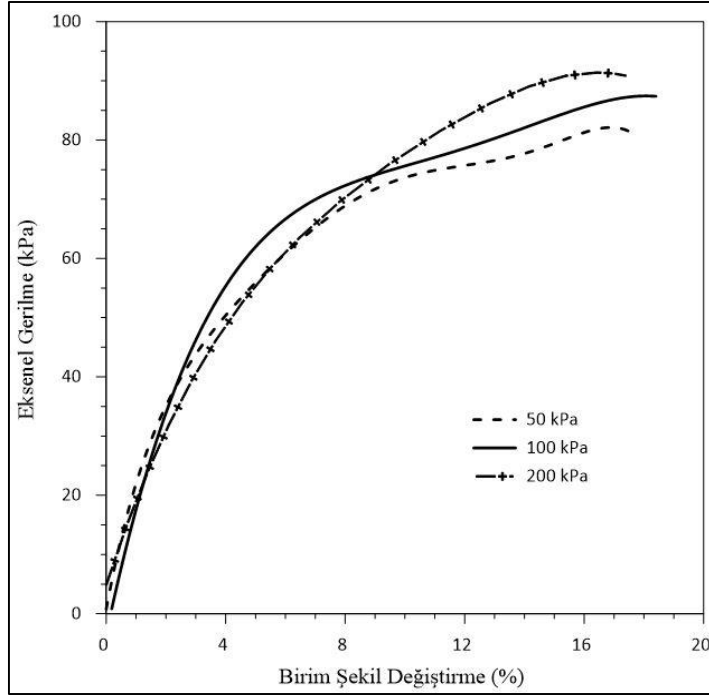
Şekil 6.25. CL-3 numunesi % 22,95 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



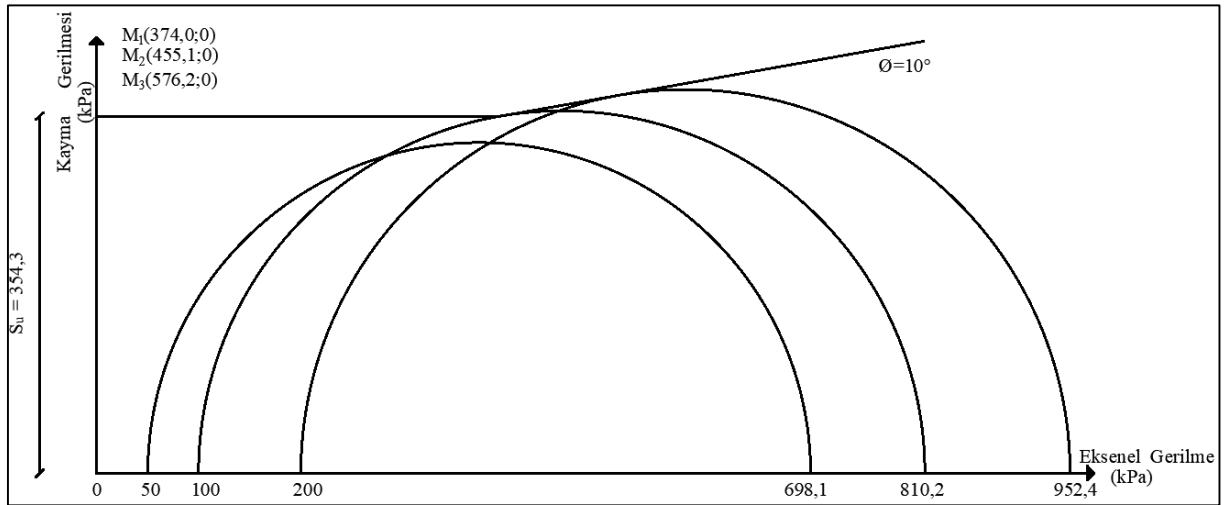
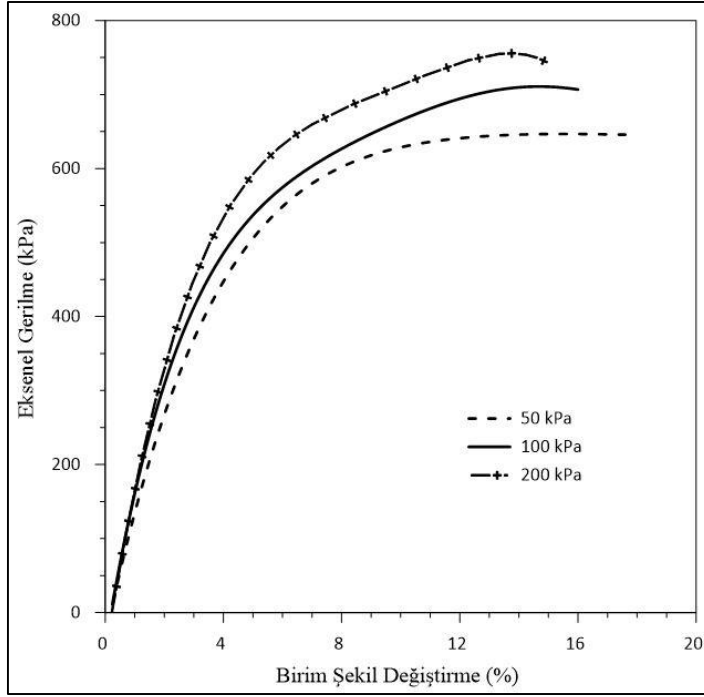
Şekil 6.26. CL-3 numunesi % 25,58 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



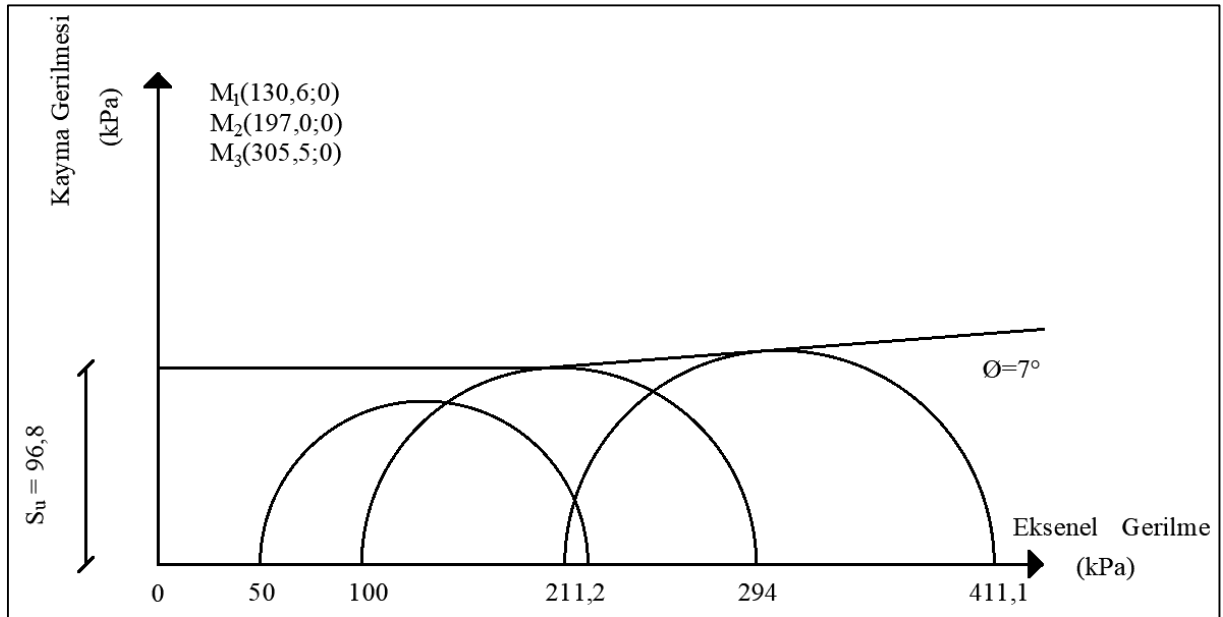
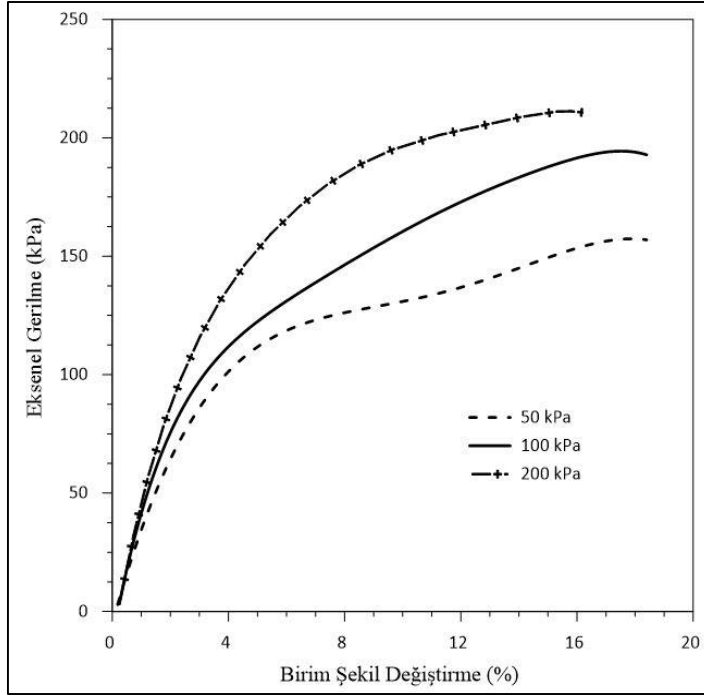
Şekil 6.27. CL-3 numunesi % 27,45 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



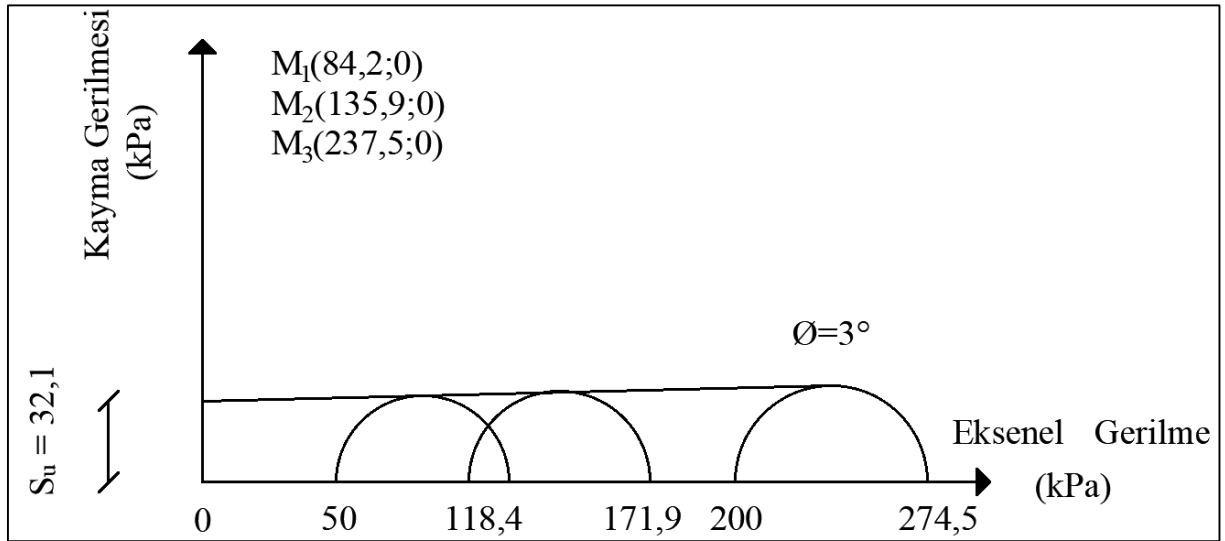
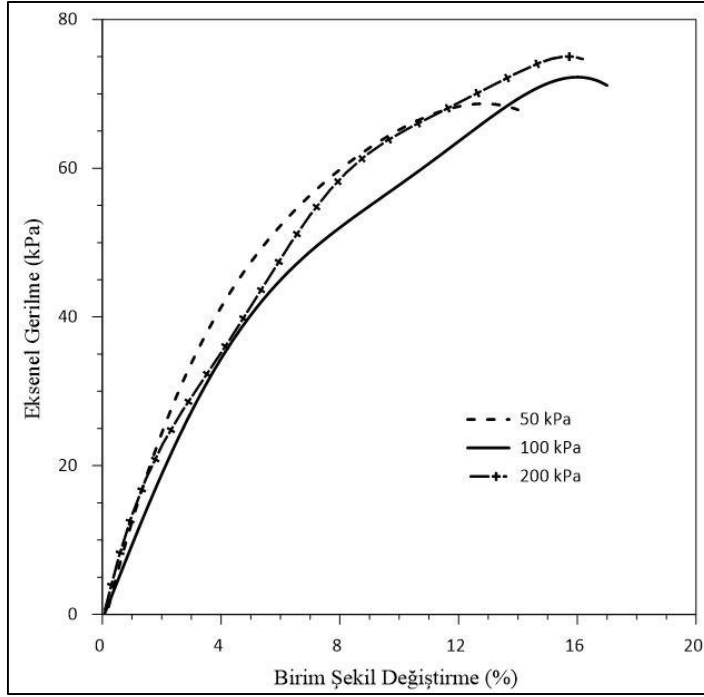
Şekil 6.28. CL-5 numunesi % 14,00 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



Şekil 6.29. CL-5 numunesi % 23,68 su muhtevası, birim gerilme-şekil değişirme grafiği ve Mohr Çemberi

EK-6. (devam) UU deneyi sonuçları



Şekil 6.30. CL-5 numunesi % 31,91 su muhtevası, birim gerilme-şekil değiştirme grafiği ve Mohr Çemberi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BUDAK, Tahsin Ömür
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.05.1993, Kağızman
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (530) 688 66 87
 e-mail : omurbudakk@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016
Lise	Kağızman Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Gençlik ve Spor Bakanlığı	Uygulama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Budak, T.O. ve Gurbuz, A. (2019). *Cep penetrometresi ve laboratuvar Vane testleri ile elde edilen drenajsız kayma dayanımlarının karşılaştırılması*. Uluslararası Geoteknik Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.

Hobiler

Trekking, yüzme, su altı fotoğrafçılığı, skydiving, bungee jumping, mandolin, ut, tambur



GAZİ GELECEKTİR..