

INS308

Zemin Mekaniği II

Zeminlerde Kayma Direncinin Ölçümü

Prof. Dr. İnan KESKİN

inankeskin@karabuk.edu.tr, inankeskin@gmail.com

www.inankeskin.com

ZEMİN MEKANİĞİ

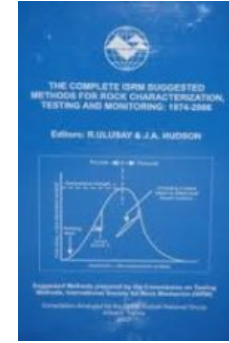
Haftalık Konular

Hafta 1:	Zemin Etütleri Amacı ve Genel Bilgiler
Hafta 2:	Kil Minarelleri ve Zemin Yapısı
Hafta 3:	Zeminlerde Kayma Direnci Kavramı, Yenilme Teorileri
Hafta 4:	Zeminlerde Kayma Direncinin Ölçümü; Serbest Basınç Deneyi, Kesme Kutusu Deneyi, Üç Eksenli Basınç Deneyi, Vane Kanatlı sonda Deneyi
Hafta 5:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler; Laboratuvar Uygulaması
Hafta 6:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Problem Çözümleri
Hafta 7:	Yanal Zemin Basınçları
Hafta 8:	Yanal Zemin Basınçları; Uygulamalar
Hafta 9:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar
Hafta 10:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Örnek Problemler
Hafta 11:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Sığ Temeller
Hafta 12:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Kazıklı Temeller
Hafta 13:	Zemin Sıvılaşması ve Analizi
Hafta 14:	İleri Zemin Mekaniği Problem Çözümleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

KAYMA DAYANIMI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Zeminlerin ve kayaların kayma direncini belirlemek için başvurulacak kitaplar ve standartlar

- ASTM (American Society for Testing and Material) Standartları
- TSE Standartları
- AASHTO standartları
- ISRM (The International Society for Rock Mechanics) test metotları (Kayalar için)
- Konu ile ilgili yazılmış çeşitli kitaplar

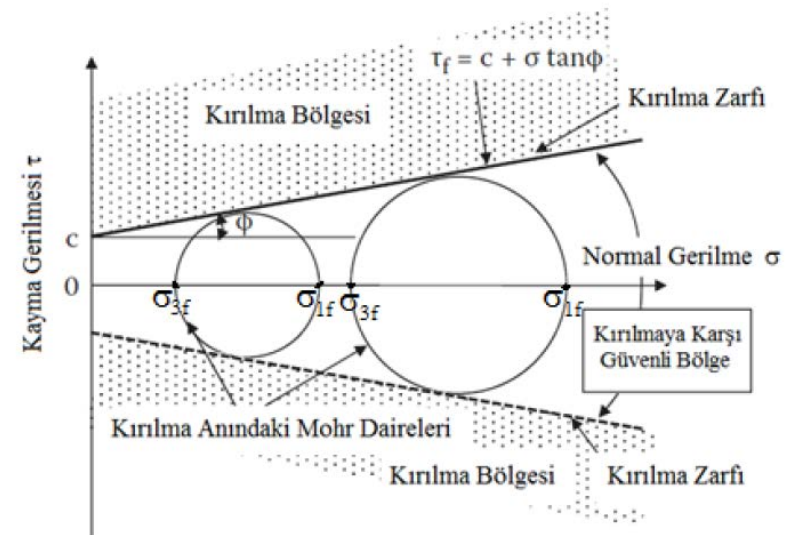
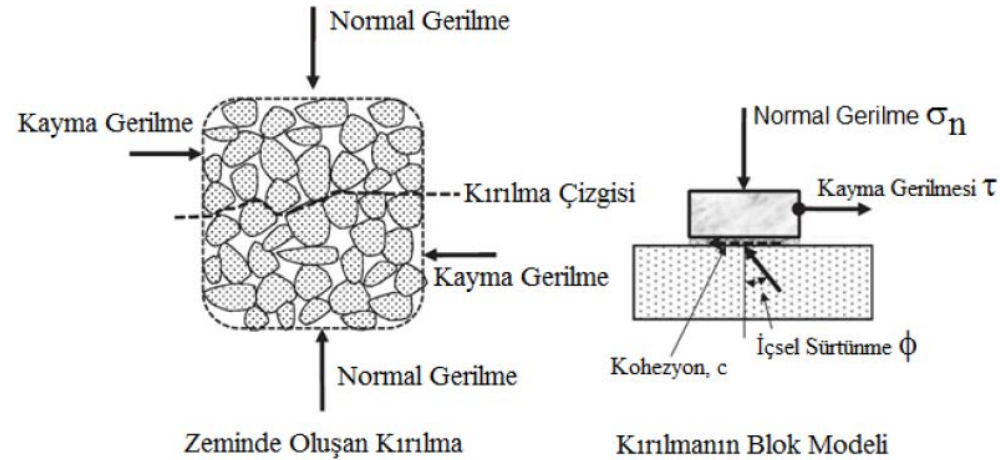


					
TSE.NET		Standard Arama		Sisteme Giriş	
Standard Detayı					
İptal Standard TÜRK STANDARDI					
TS No :	TS 1901				
Kabul Tarihi :	25.04.1975				
Hazırlık Grubu :	İnşaat İhtisas Grubu				
Doküman Tipi :	ST				
Yürürlük Durumu :	H (İptal Edilmiş Standard/Withdrawn standard)				
Başlık :	İnşaat mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri				
Başlık (İng) :	Methods of and Obtaning of Disturbed and Undisturbed Samples for Civil Engineering Purposes				
Türü :	Metot				
Kapsam :	Bu standard, inşaat mühendisliği yönünden incelenmesi gereken, killi, kumlu veya çakıllı zeminler ile kayada sondaj yapılmasını, delinen yer katlamalarında laboratuvar deneyleri için örselenmiş veya örselenmemiş numune almasını kapsar. Zemin özelliklerinin yerinde saptanması amacıyla yapılan arazi deneylerini kapsamaz...				

KAYMA DAYANIMI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Zeminlerin kayma mukavemeti, sert bir yüzeye sahip katı bir plaka üzerinde bir blok ile modellenmiş ve zeminin mukavemeti, partiküller arasındaki içsel **sürtünme açısı** ve aralarındaki **kohezyon** direnci ile ifade edilmiştir.

Zeminlerin kayma mukavemeti sabit bir değer değildir. Kırılma durumunda kayma düzlemi üzerine etkiyen toplam veya efektif normal gerilmeye bağlıdır.



KAYMA DAYANIMI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Zeminlerin kayma dayanımı; temellerin taşıma gücünün hesabında, karayolu ve hava alanlarının projelendirilmesinde, şevlerin denge analizlerinde, toprak dolgularda ve dayanma yapılarının inşasında, vb., çok önemlidir.

Zeminler üzerinde yapılan deneyler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler.

Drenajsız Deneyler (UU): Numuneler üzerine uygulanan hızlı yükleme ile drenaja müsaade edilmez ve böylelikle zeminlerin drenajsız kayma dayanımı belirlenir. *Toplam gerilmelere göre mukavemet elde edilir.*

Konsolidasyonlu-Drenajsız Deneyler (CU): Numuneler, üzerlerine uygulanan normal gerilmeler altında konsolide edilir ve daha sonra hızlı bir yükleme ile drenaja izin verilmeden kesilir. *CU parametreleri, zeminlerin tamamen konsolide olduğu ve mevcut gerilme sistemi altında dengede olduğu stabilite problemlerinde kullanılır.*

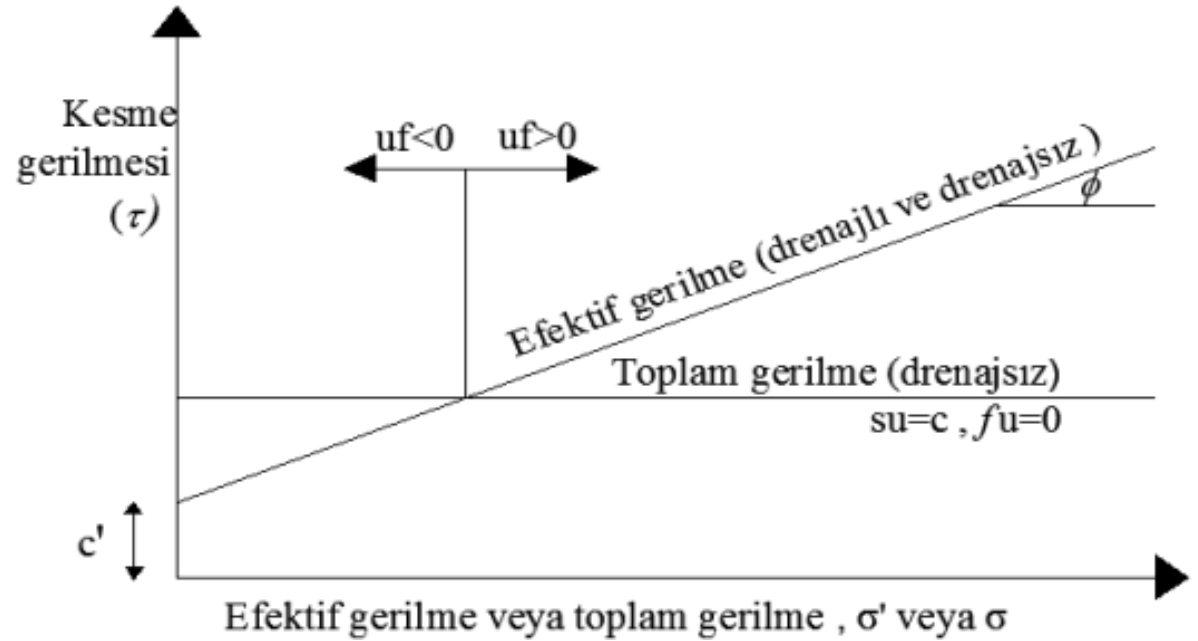
Konsolidasyonlu Drenajlı Deneyler (CD): Numuneler, CU deneyinde olduğu gibi, konsolide edilir. Daha sonra zemin numunesi, boşluk suyu basıncı oluşumuna izin vermeyecek hızda **yavaş yükleme** ile kesilir. Bu bakımdan bu deneylerde toplam ve efektif gerilmeler birbirine eşittir. *CD parametreleri gerçek arazi koşullarını temsil eder. Toprak dolgu barajlarda uzun süreli stabilite ve sızma problemleri, katı killerde yapılan kazıların analizi bu tür parametrelere ihtiyaç duyar.*

KAYMA DAYANIMI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Drenajlı ve **drenajsız** koşul kavramları zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği açısından önemlidir. Bu kavramlar, yükleme sırasında zeminin bazı değişimlere uğradığı zamana göre, suyun zemin içine yada dışına çıkma kolaylığı ve hızı ile ilgilidir. Bu duruma yükte ortaya çıkan değişimlerin boşluk suyu basıncında değişime sebep olması en önemli noktadır

Kayma mukavemeti,

- zeminin arazide yüklenmeden önce yerindeki başlangıç durumunu yansıtan konsolidasyon basıncı,
- boşluk oranı,
- su muhtevası,
- suya doygunluk derecesi
- arazi yükleme türü ve hızı
- **drenaj** koşullarından etkilenmektedir.



Doygun kil için drenajlı ve drenajsız dayanım zarfları

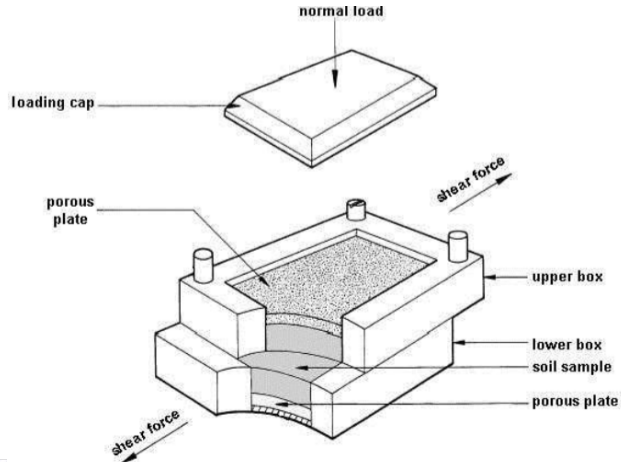
KAYMA DAYANIMI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Özellik	Toplam Gerilme (σ)	Efektif Gerilme (σ')
Tanım	Zemindeki toplam yük (katı taneler + su basıncı dahil)	Zeminin taşıdığı gerçek yük (yalnızca katı taneler arasındaki kuvvetler)
Hesaplama Formülü	$\sigma = \gamma H$	$\sigma' = \sigma - u$
Zeminin Gerçek Dayanımıyla İlişkisi	Gerçek dayanımı doğrudan yansıtmaz, boşluk suyu basıncı dahil olduğu için yanıltıcı olabilir	Gerçek dayanımı temsil eder, mühendislik tasarımlarında esas alınmalıdır
Boşluk Suyu Basıncının Etkisi	Boşluk suyu basıncı dahildir, zamanla değişebilir ve mukavemeti etkileyebilir	Boşluk suyu basıncı hariç tutulur, bu yüzden uzun vadeli analizlerde güvenilir
Deneylerde Kullanımı	Drenajsız (UU) deneylerde kullanılır	Drenajlı (CD) veya kısmen drenajlı (CU) deneylerde kullanılır
Kısa Vadeli Yükleme İçin Uygunluk	Uygun, ani yüklemeler için uygun olabilir	Kısa vadede toplam gerilme daha iyi sonuç verebilir ancak efektif gerilme uzun vadeli güvenliği gösterir
Uzun Vadeli Stabilitate İçin Uygunluk	Hayır, uzun vadede boşluk suyu basıncı değişebilir ve hatalı sonuç verebilir	Uygun, uzun vadeli dayanıklılığı ve stabiliteyi belirlemek için en güvenilir parametredir
Şev Stabilitesi Analizinde Kullanımı	Yanıltıcı olabilir, çünkü boşluk suyu basıncı değiştikçe stabilite değişebilir	Uygun, çünkü zeminin gerçek mukavemetini belirler
Temel Tasarımında Kullanımı	Toplam gerilme bazlı analiz kısa vadede yeterli olabilir ancak uzun vadeli stabilite için yeterli değildir	Uygun, temel tasarımında gerçekçi sonuçlar verir ve diferansiyel oturmaları daha iyi tahmin eder
Doygun Killi Zeminlerde Etkisi	Kısa vadede yüksek mukavemet gösterir ancak zamanla boşluk suyu basıncı değiştikçe zemin zayıflayabilir	Uzun vadede güvenilir sonuç verir, drenajlı analizler için uygundur
Kum ve Çakıl Zeminlerde Etkisi	Toplam gerilme genellikle yeterli olmaz, çünkü kum ve çakıl boşluk suyu basıncından çok etkilenmez	Efektif gerilme kum ve çakıl zeminlerde doğrudan belirleyicidir, çünkü bu zeminler boşluk suyu basıncına duyarlıdır

DİREKT KESME DENEYİ

Direkt kesme deneyi kayma direnci parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan ilk deney metodudur. Kare ve daire şekilli modelleri vardır.

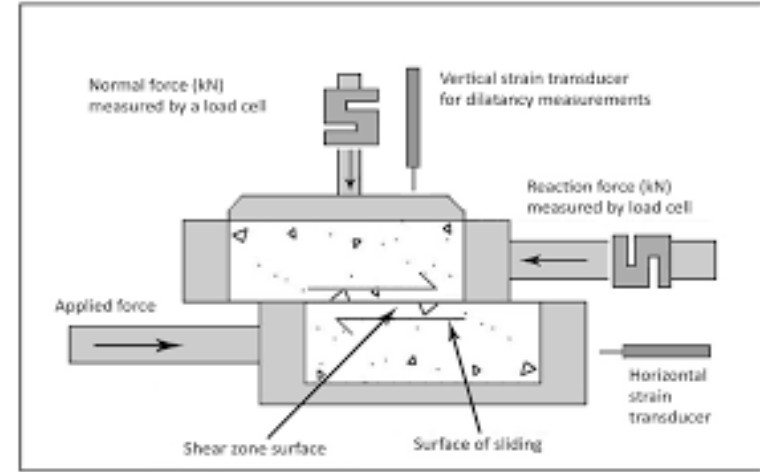
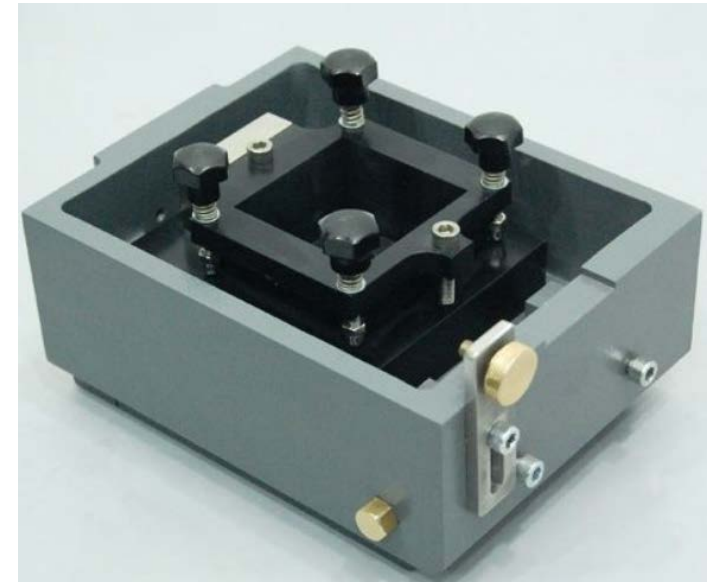
Bu deney aleti ile kırılma düzlemi yatay olacak şekilde numune kırımı yapılır ve asal gerilmeler doğrudan elde edilmez.



https://www.youtube.com/watch?v=f_NAPV6obpo&ab_channel=UT-EST-MaterialTestingEquipment

DİREKT KESME DENEYİ

Deneyin yapılışı



Yükleme başlığı ile 2, 6, 12 18, 36, 72 kg gibi sabit düşey N yükü ve düşey yük sabitken de aletin durumuna göre elle ya da otomatik olarak artırılan yatay bir P kesme kuvveti uygulanarak, 1 mm/dk'lık kesme hızıyla numune kesmeye tabi tutulur. Gittikçe artan kesme kuvvetine karşın, zemin örneği önce direnir, sonra iki parçayı ayıran düzlem boyunca kesilir. Uygulanan kayma kuvveti, bir yük halkası ile ölçülür.

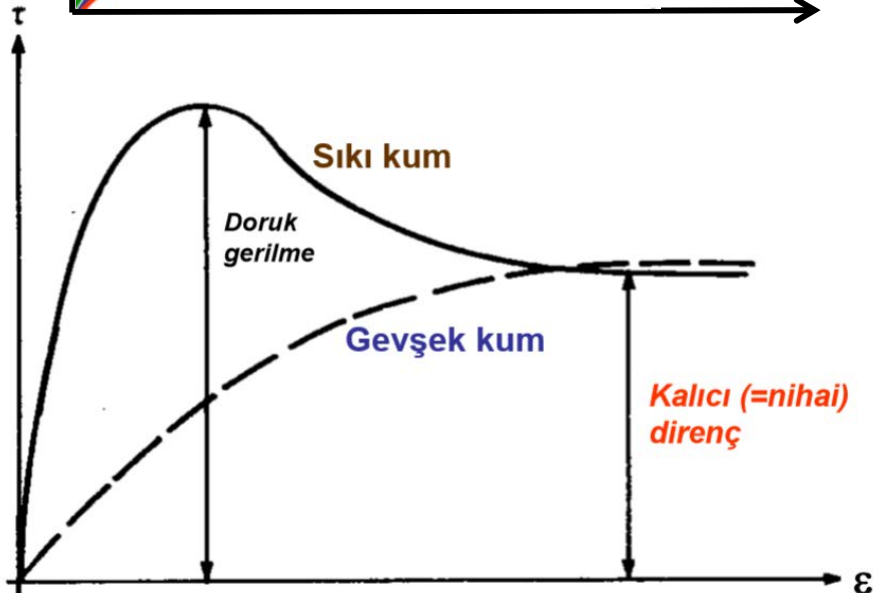
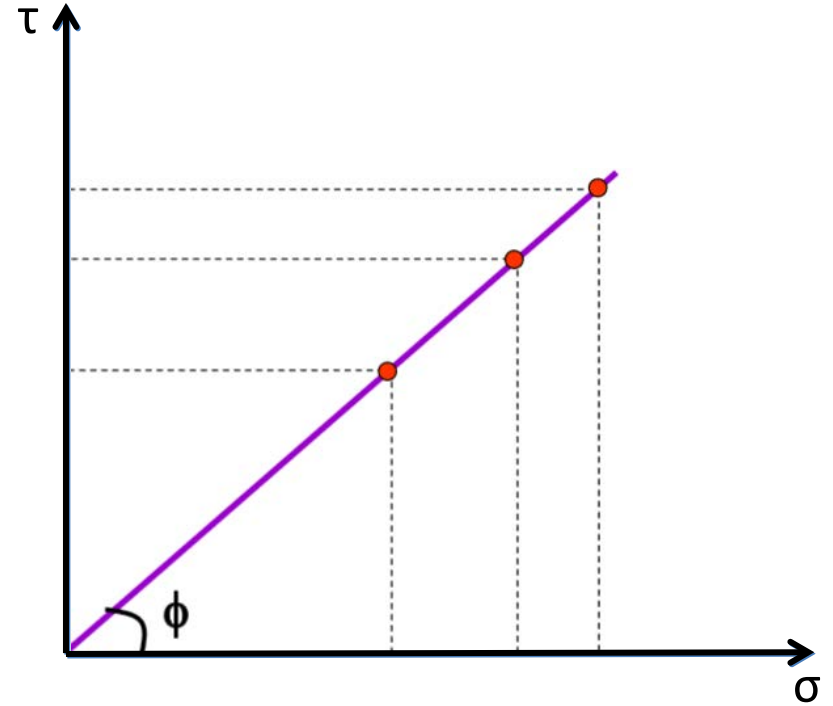
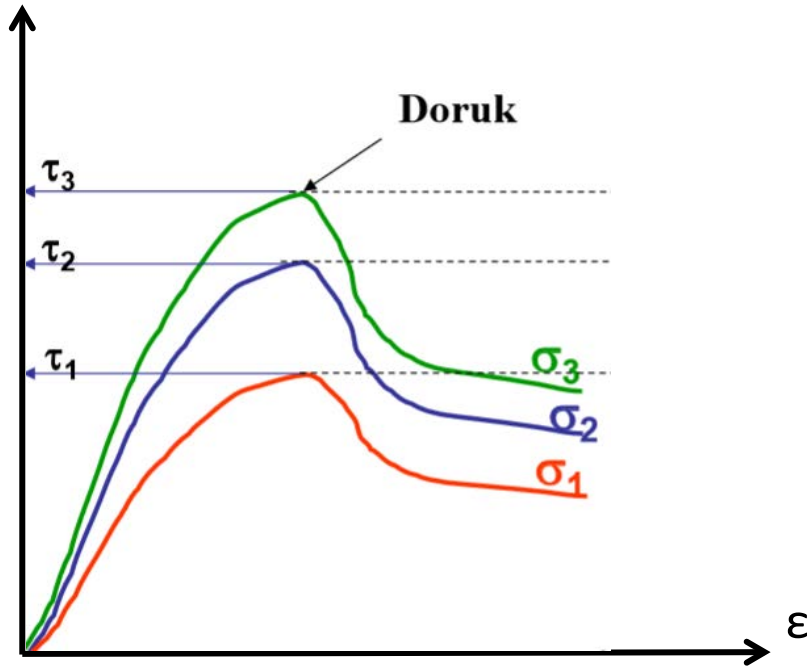
DİREKT KESME DENEYİ

Deneyin Yapılışı



DİREKT KESME DENEYİ

Hesaplamalar ve sonuçların gösterilmesi



- Genellikle sadece göreceli olarak yavaş, drenajlı deneyler yapılır.
- Killer için kesme hızı artık boşluk suyu basıncı oluşmayacak şekilde seçilir.
- Kumlar ve çakıllar üzerinde deneyler hızlı yapılabilir.
- Kumlar ve çakıllar üzerinde genellikle deneyler kuru olarak yapılır.

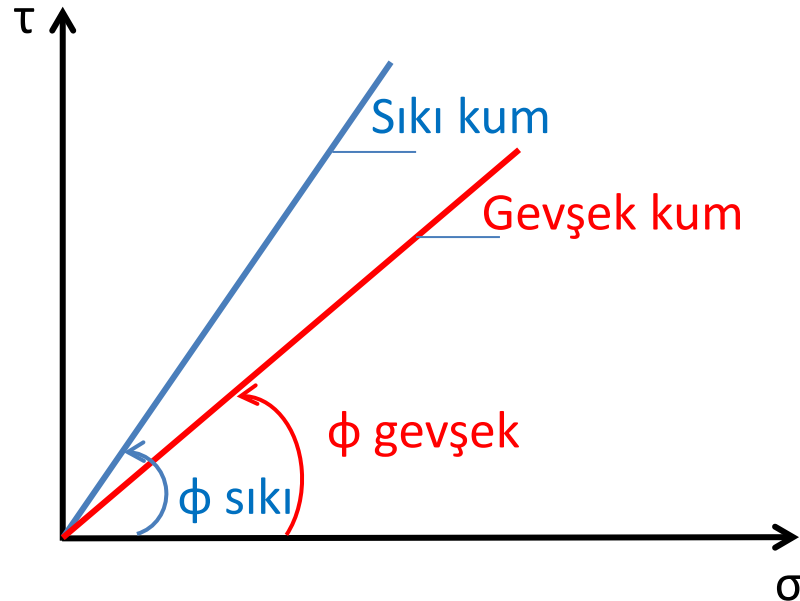
DİREKT KESME DENEYİ

Hesaplamalar ve değerlendirmeler

Kumlar üzerinde yapılan kesme kutusu deneyine göre, kumların rölatif sıkılığındaki artışa bağlı olarak içsel sürtünme açısı artmaktadır.

Kumlarda, içsel sürtünme açısı zeminin iyi yada kötü derecelenmiş olmasına tanelerin şekline bağlıdır. İyi derecelenmiş kumda içsel sürtünme açısı, kötü derecelenmişe göre daha büyüktür. Köşeli taneli kumlarda yuvarlak taneliye göre daha büyüktür.

Yatay bir düzlemde, serbest dökülerek oluşturulmuş bir kuru kum yığının şev açısı o kumun gevşek durumdaki içsel sürtünme açısına eşittir.



DİREKT KESME DENEYİ

Dezavantajları - Avantajları

Avantajları

- Ucuz, hızlı ve basit bir deney
- Kesme yönünü değiştirerek büyük deformasyonlara ulaşılabilir.
- Bu zeminin rezidüel kayma mukavemetini bulmak için yararlıdır.
- Büyük örnekler üzerinde deneyler yapılabilir.

Dezavantajları

- Kesilmeye zorlanan yüzeyin zeminin en zayıf kayma yüzeyi olmayabilir.
- Deney sırasında asal gerilmeler ve asal gerilme doğrultuları bilinmez.
- Zeminin en zayıf zon içerisinde yenilmesine izin verme yerine kesmenin belirli bir düzlem boyunca oluşmasına olanak sağlayabilir.
- Kesme sırasında kesme düzleminde gerilme yığılmaları oluşur (kesme düzleminde üniform olmayan gerilme dağılımı).
- Boşluk suyu basıncı ölçümleri doğru olmaz. Drenajsız deneylerden efektif gerilme parametreleri belirlenemez.
- Drenajsız kayma mukavemeti güvenli olmaz çünkü yüksek hız uygulanmazsa yerel drenaj önlenemez.
- Kalıcı kayma mukavemetinin belirlenebildiği deformasyona ulaşmak için deneyin durdurularak geriye alınması ve çevrimler halinde yapılması da birtakım sorunlar yaratabilmektedir.

DİREKT KESME DENEYİ

Dezavantajları - Avantajları

Unutma !

Bu deney düzeni ile, kesme sırasında zeminin drenajını kontrol etmek ancak yükleme hızını zeminin permeabilitesine göre ayarlamak ile mümkün olmaktadır.

Permeabilitesi yüksek zeminlerde (kumlarda) drenajlı koşullar geçerli olurken, düşük permeabiliteli zeminlerde (killer gibi) normal yükleme hızlarında drenajsız, çok yavaş yükleme hızlarında drenajlı koşullar geçerli olmaktadır.

Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı artışlarını ölçmenin mümkün olmaması, göçmeye ulaşılmadan önceki gerilme seviyelerinde asal gerilme doğrultularının belirsiz olması ve kurulma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmaması bu deneyin kısıtlayıcı yönlerini oluşturmaktadır.

Uygulamada, kesme kutusu deneyi daha çok kumların kayma mukavemetini saptamak için kullanılmaktadır. Kum zeminler için elde edilen kayma mukavemeti açısı ϕ drenajlı yükleme durumları için olup, arazi koşulları ile uyumlu olduğu kabul edilebilir. Deney numunesinin arazi boşluk oranına sahip olacak şekilde hazırlanmasına dikkat etmek gerekmektedir

SERBEST BASINÇ DENEYİ

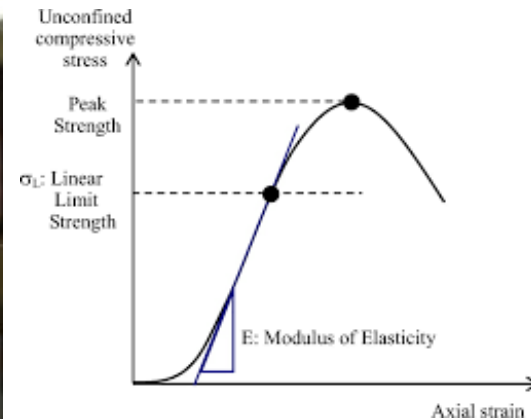
Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca eksenel doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır.

Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması (eksenel şekil değiştirmesi) ölçülmekte gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir.



Serbest basınç dayanımına göre zemin kıvamı

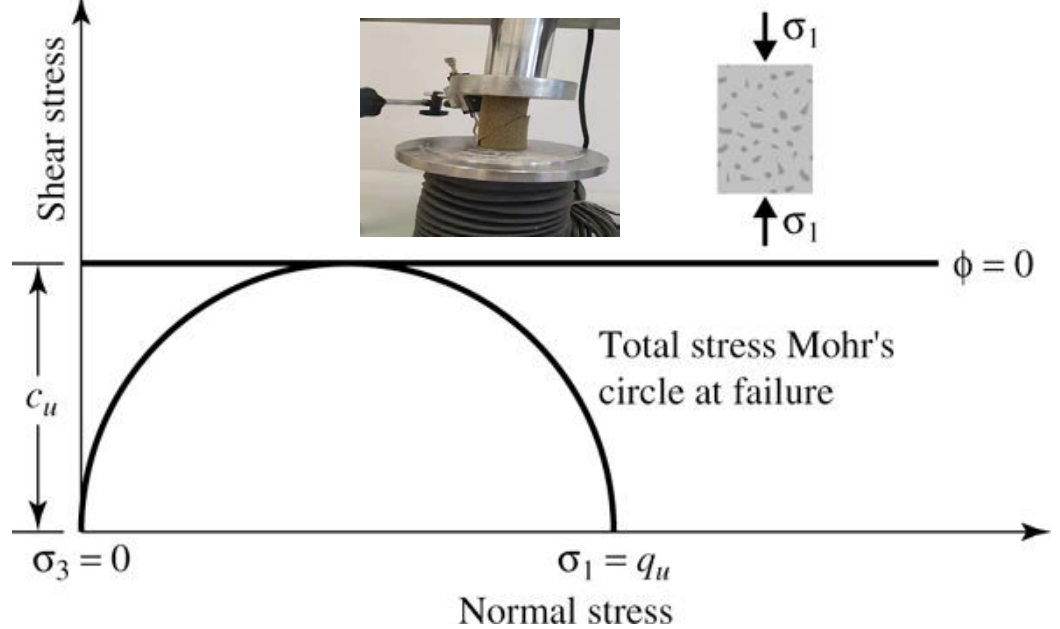
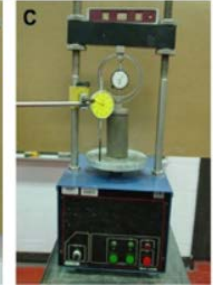
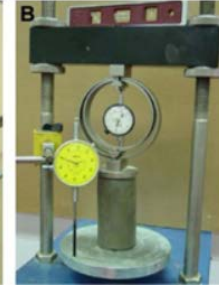
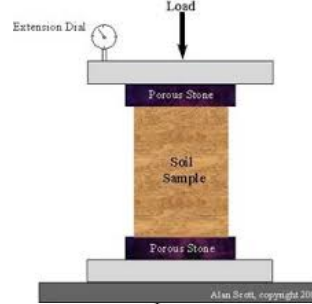
Kıvam	q _u (kPa)
Çok yumuşak	<25
Yumuşak	25-50
Orta katı	50-100
Katı	100-200
Çok katı	200-400
Sert	>400



https://www.youtube.com/watch?v=z9F-zwdDHC8&ab_channel=Academicalgonquin

SERBEST BASINÇ DENEYİ

- Serbest basınç deneyi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanabilmektedir.
- Bu yönden yalnızca killi zeminler için kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır.
- Deney sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilemediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir.
- Serbest basınç deneyi killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemekte yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır.



SERBEST BASINÇ DENEYİ

SERBEST BASINÇ DENEYİ

$$\text{Kuvvet} = (\text{Kuvvet Halkası okuması}) * (\text{Kuvvet Halkası})$$

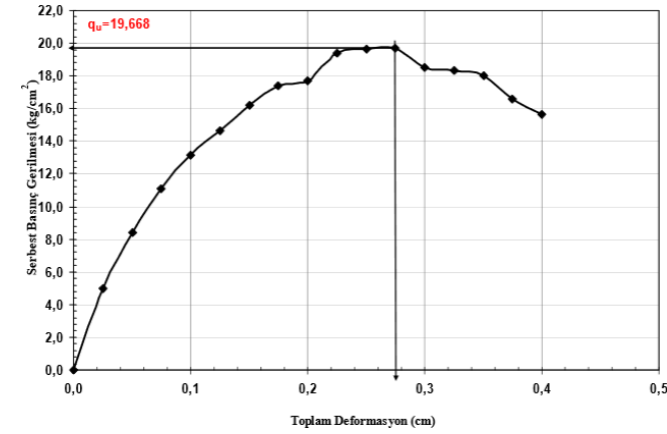
$$\text{Toplam Deformasyon} = (\text{Deformasyon Okuması}) * (\text{Deformasyon Okuması 1 Birimi}) / 10$$

$$\text{Birim Deformasyon } (\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Düzeltilmiş Alan } (A_d) = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad \text{Serbest Basınç Gerilmesi } (\sigma_1) = \frac{P}{A_d} = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{Düzeltilmiş Alan}}$$

ΔL : Toplam Deformasyon: Boy kısalması

Geçen Zaman (dk)	Kuvvet (Yük) Halkası Okuması	Kuvvet (Yük) (kg)	Deformasyon Okuması	Toplam Deformasyon (cm)	Birim Deformasyon (ε)	Düzeltilmiş Alan (A_d) (cm^2)	Serbest Basınç Gerilmesi (σ_1) (kg/cm^2)
0,00	0	0,000	0	0,000	0,000	18,500	0,000
0,25	53	88,828	25	0,025	0,002	17,751	5,004
0,50	89	149,164	50	0,050	0,003	17,782	8,388
0,75	118	197,768	75	0,075	0,005	17,813	11,102
1,00	140	234,640	100	0,100	0,007	17,844	13,149
1,25	156	261,456	125	0,125	0,009	17,876	14,626
1,50	173	289,948	150	0,150	0,010	17,907	16,192
1,75	186	311,736	175	0,175	0,012	17,939	17,378
2,00	190	318,440	200	0,200	0,014	17,970	17,721
2,25	208	348,608	225	0,225	0,016	18,002	19,365
2,50	211	353,636	250	0,250	0,017	18,034	19,610
2,75	212	355,312	275	0,275	0,019	18,066	19,668
3,00	200	335,200	300	0,300	0,021	18,098	18,522
3,25	198	331,848	325	0,325	0,023	18,130	18,304
3,50	195	326,820	350	0,350	0,024	18,162	17,995
3,75	180	301,680	375	0,375	0,026	18,194	16,581
4,00	170	284,920	400	0,400	0,028	18,227	15,632

Aranan	Değer	Birim	Formül
Örselenmemiş Numunenin Serbest Basınç Dayanımı (q_u)	19,668	kg/cm^2	Grafikten
Kohezyon (C)	9,834	kg/cm^2	$C = q_u / 2$
İçsel sürtünme Açısı (Φ)		Derece	$\Phi = 2 * \theta - 90$



Kırılma sağlandığında serbest basınç dayanımı;

$$q_u = \sigma_{1max} = 2c = \frac{P_{max}}{A}$$

Deney drenajsız olduğu için yükleme sırasında boy kısalması olmasına rağmen hacim sabit kalır. Kesit alanı;

$$A = \frac{A_0}{1 - \frac{\Delta H}{H_0}}$$

A_0 (Deney başlangıç alanı), H_0 Deney başlangıç boyu

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ



Halka Conta (O-Ring)

YÜK, $\sigma_{deviator}$

Yükleme Pistonu

Yükleme Başlığı

Plexiglas Hücre

Zemin Numunesi

Koruyucu Membran

Poröz Taş

Vana

Hücre Basıncı, σ_3



Boşluk Suyu Basıncı Ölçümü
(u_w)

Drenaj

https://www.youtube.com/watch?v=00adP96aats&ab_channel=IPCGlobal

https://www.youtube.com/watch?v=mUijZald_K8&ab_channel=UTEST-MaterialTestingEquipment

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ



ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ

Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan laboratuvar deney yöntemleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biri olmaktadır.

Bu deney düzeneği ile zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe en yakın olarak belirlemek mümkün olmaktadır.

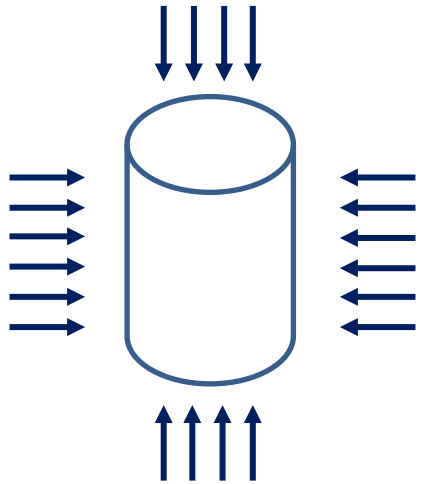
Üç eksenli basınç deneyinde;

- Zemin numunesi arazi gerilmeleri altında konsolide edilmekte ve suyu doygunluk derecesi kontrol edilebilmektedir.
- Yanal ve eksenel gerilmeler uygulamak sureti ile arazi yükleme izlerine yakın yüklemeler yapılabilir.
- Eksenel yükleme sırasında drenajsız veya drenajlı koşullar geçerli kılınabilmektedir.
- Drenajsız yüklemelerde numunede oluşan boşluk suyu basıncı artışları, drenajlı deneylerde ise meydana gelen hacim değişimleri ölçülebilmektedir



ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

Deviatör gerilme
 $\Delta\sigma$



Çevre basıncı altında

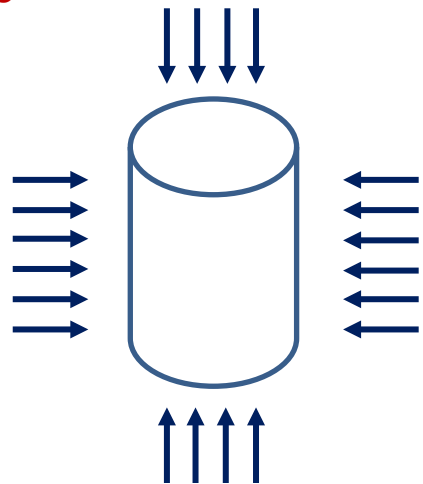


Drenaj kanalı açık

Drenaj kanalı kapalı

Konsolide edilmiş
zemin

Konsolide edilmemiş
zemin



Yüklemeye



Drenaj kanalı açık

Drenaj kanalı kapalı

Drenajlı yükleme

Drenajsız yükleme

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

Konsolidasyonsuz – Drenajsız Deneyler (UU - *hızlı deney*)

Bu tür deneyde, gerek hücre basıncı uygulanmasında gerekse eksenel yükleme sırasında **zemin suyunun numuneden dışarı çıkmasına izin verilmemektedir**. Deney drenajsız şartlarda 15-20 dakika içerisinde bitirilir. **Pratikte deney sırasında numunede hiçbir drenaj veya hacim değişikliği oluşmadığı varsayılır**.

Silindirik aynı zemine ait üç farklı numune üç farklı çevre gerilmesine maruz bırakılır ve bu aşamada drenaja izin verilmez. **Örneklere aşırı boşluksuyu basıncı oluşur**.

***Numuneler doygun ise kırılma zarfı yatay çıkmalıdır. Yatay çıkmamasının sebebi numunenin doygun olmaması ve gerilme altında hacminin azalarak, mukavemetinin bir miktar artmasıdır.**

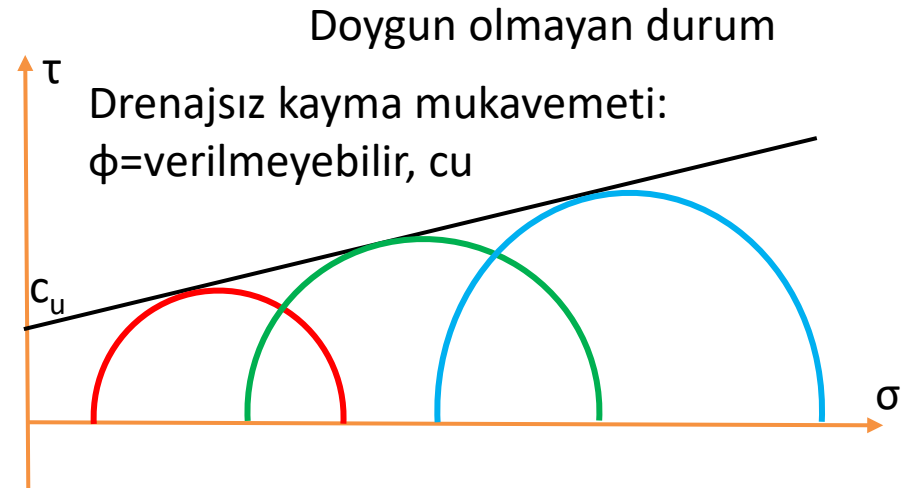
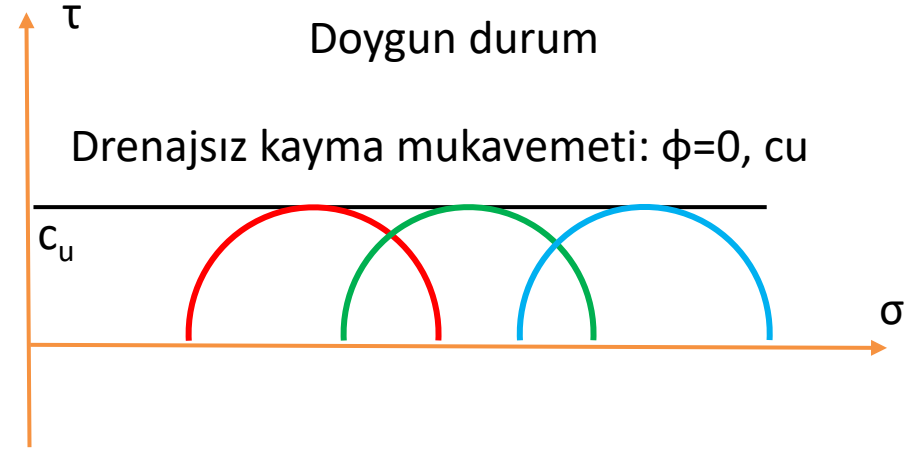
*Kumlar, siltler ve killer için uygundur.

*Elde edilecek parametreler $\phi=0$, c_u

***Kırılma zarfı açılı çıksa bile $\phi=0$ verilmeli**

*Hangi durumları kapsar;

- Bir dolgunun normal konsolide killeri üzerine hızlı bir şekilde inşa edilmesi,
- Yumuşak bir zemin üzerinde hızlı bir şekilde temel inşa edilmesi

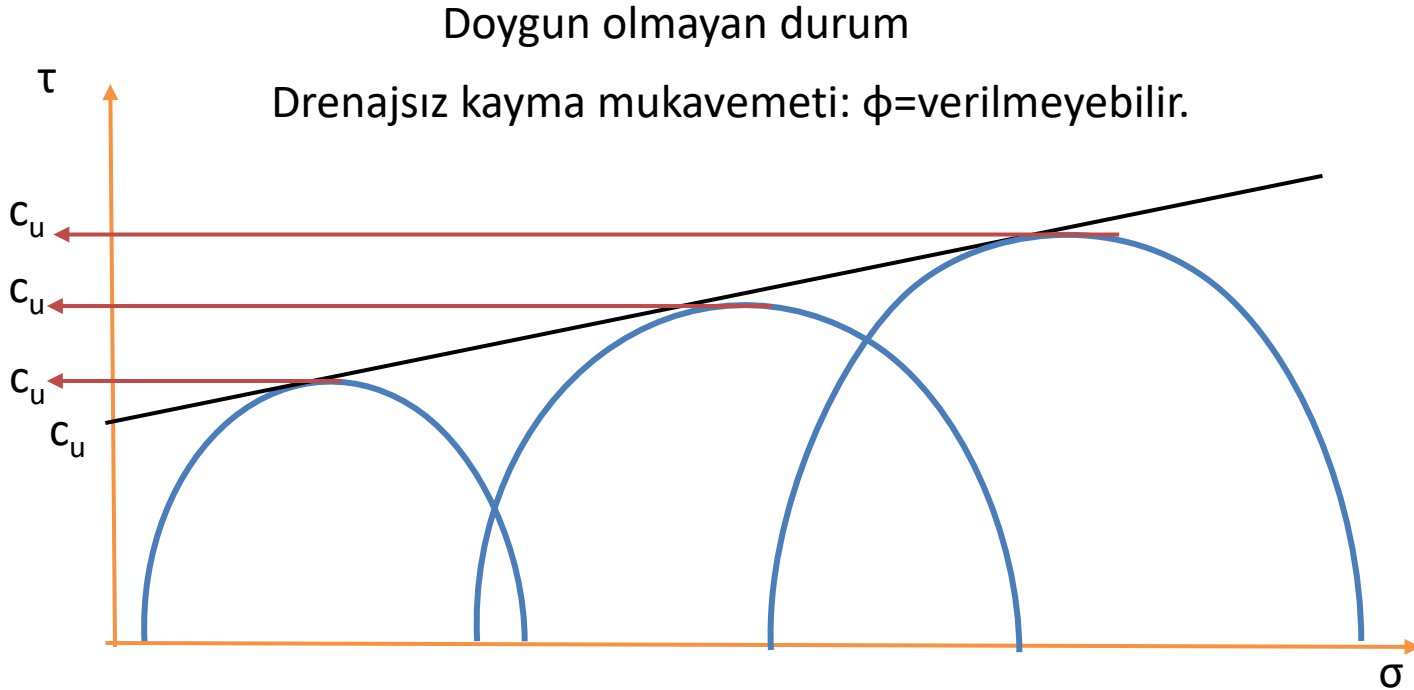


ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

Konsolidasyonsuz – Drenajsız Deneyler (UU - *hızlı deney*)

UU deneylerde numuneler yumuşak killer ve doymun zeminler ise ve hızlı yükleme durumu söz konusuysa ise kırılma zarfı yatay çıkmalıdır. Ancak, deney sonuçlarında kırılma zarfı yatay çıkmadıysa bu durum numunenin doymun olmaması ve gerilme altında hacminin azalarak, mukavemetinin bir miktar artmasına bağlıdır.

Bu deney sonucunda kırılma zarfı açılı olsa bile $\phi=0$ verilmeli ancak her yükleme şartı için c_u verilmelidir.



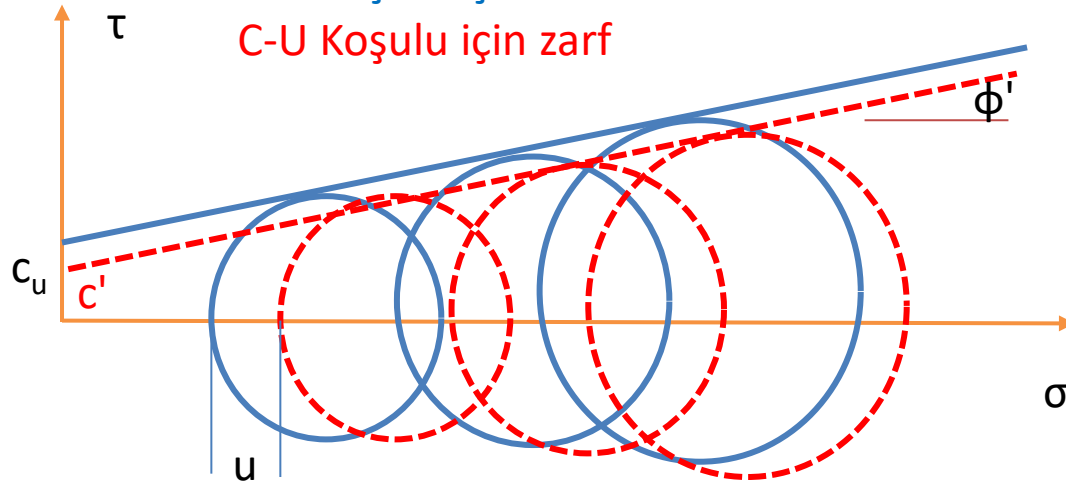
ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

Konsolidasyonlu – Drenajsız Deneyler (CU – *yavaş deney*)

Birinci aşamada hidrostatik hücre basıncı altında zemin suyunun dışarı çıkmasına (numunenin konsolide olmasına) izin verdikten sonra, ikinci aşamada drenajsız durumda eksenel yükleme yapılan deneylerdir. Boşluk suyu basıncı ölçülebildiğinden **deney sonuçları toplam ve efektif gerilmeler cinsinden elde edilir.**

C-D Koşulu için zarf

C-U Koşulu için zarf



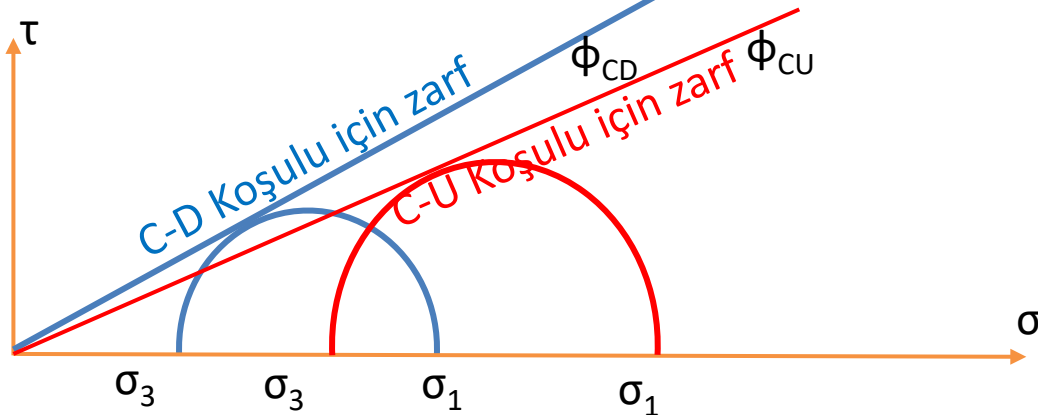
Normal konsolide kilerde $c' \approx 0$

Efektif gerilme türünden; $\tau_f = \sigma' \tan \phi'$

Aşırı konsolide kilerde, $c' \neq 0$

Efektif gerilme türünden, $\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$

Konsolidasyon süreci tamamlanmış bir dolgu üzerine hızlı bir şekilde ilave dolgu yapılması ve doğal bir yamaç üzerine hızlı bir dolgu oluşturulması durumunda zeminlerin özelliklerinin bu deney ile belirlenmesi uygundur.

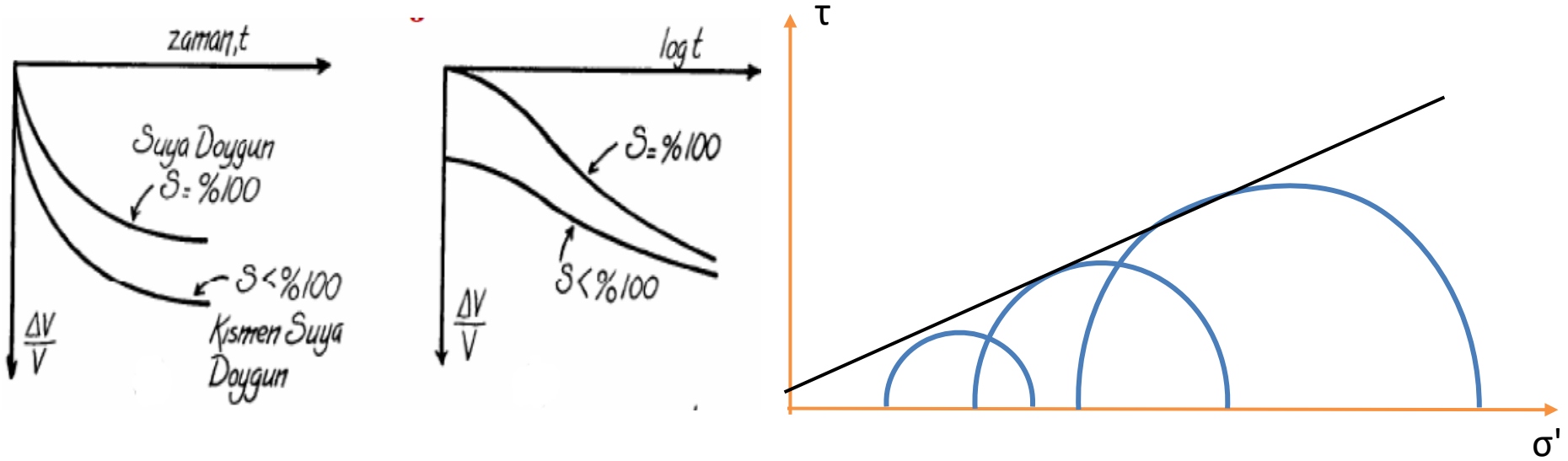


Drenajsız deneylerde boşluk suyu basıncında artışlar meydana gelmektedir.

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

Konsolidasyonlu – Drenajlı Deneyler (CD- *çok yavaş deney*)

Aynı zemine ait silindirik şekilli **üç farklı numune öncelikle suya doyurulur**. Sonraki aşamada numuneler üç farklı çevre gerilmesine maruz bırakılıp **drenaja izin verilerek konsolide edilir**. **Konsolidasyon tamamlandıktan sonra** drenajlı koşullarda zemin numunesi kırılır. İlave boşluk suyu basıncı sıfırdır ve ölçülen gerilmeler efektif gerilmedir.



*Kademeli dolgu imalatı ve Doğal bir yamaçtaki mukavemet değerlerinin belirlenmesi durumlarında zemin özelliklerinin belirlenmesi niyetiyle yapılır.

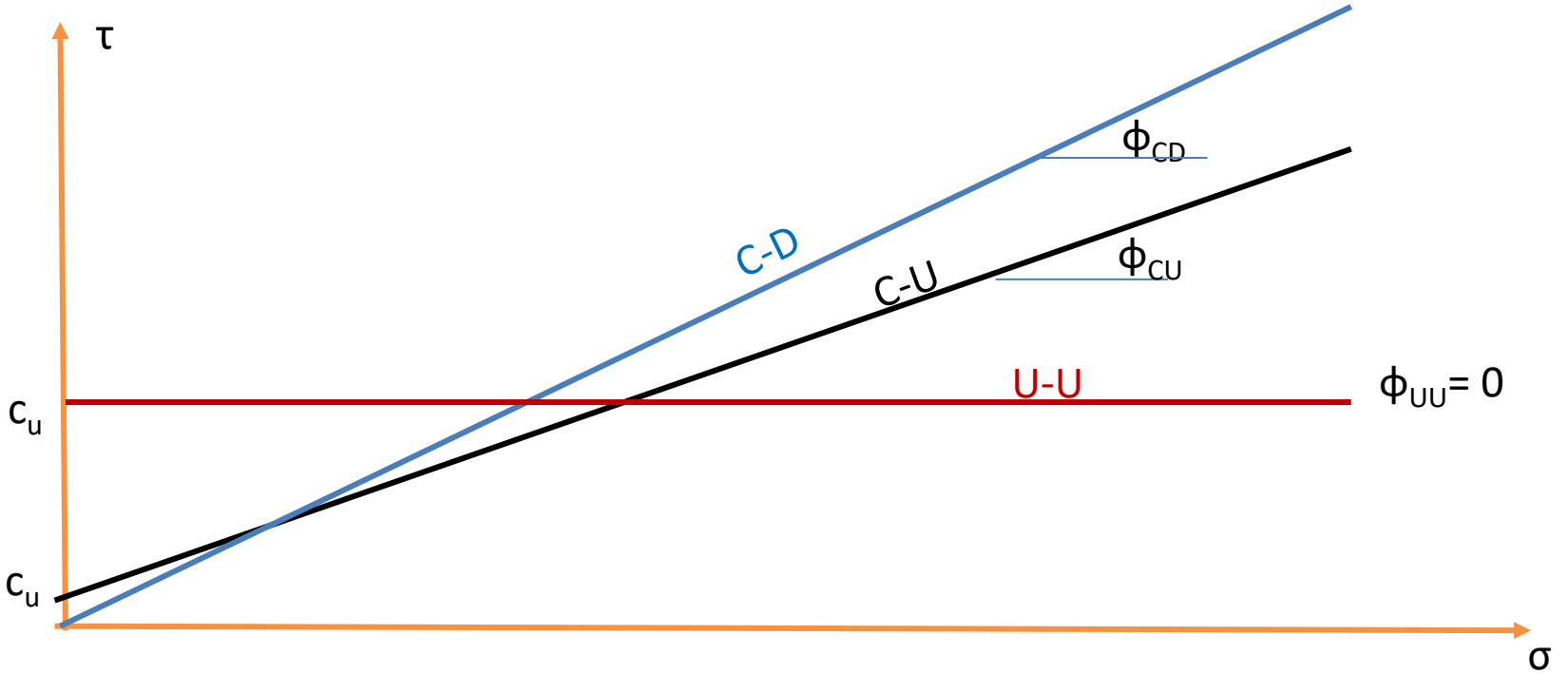
*Drenajlı deneylerde uygulanan hücre basıncı altında, zeminde hacim değişimleri (konsolidasyon) meydana gelir.

*Efektif mukavemet parametreleri elde edilir (ϕ' , c'). Deformasyon modülü (E) elde edilir.

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ/Deney Türleri

UU - CU - CD deneyleri

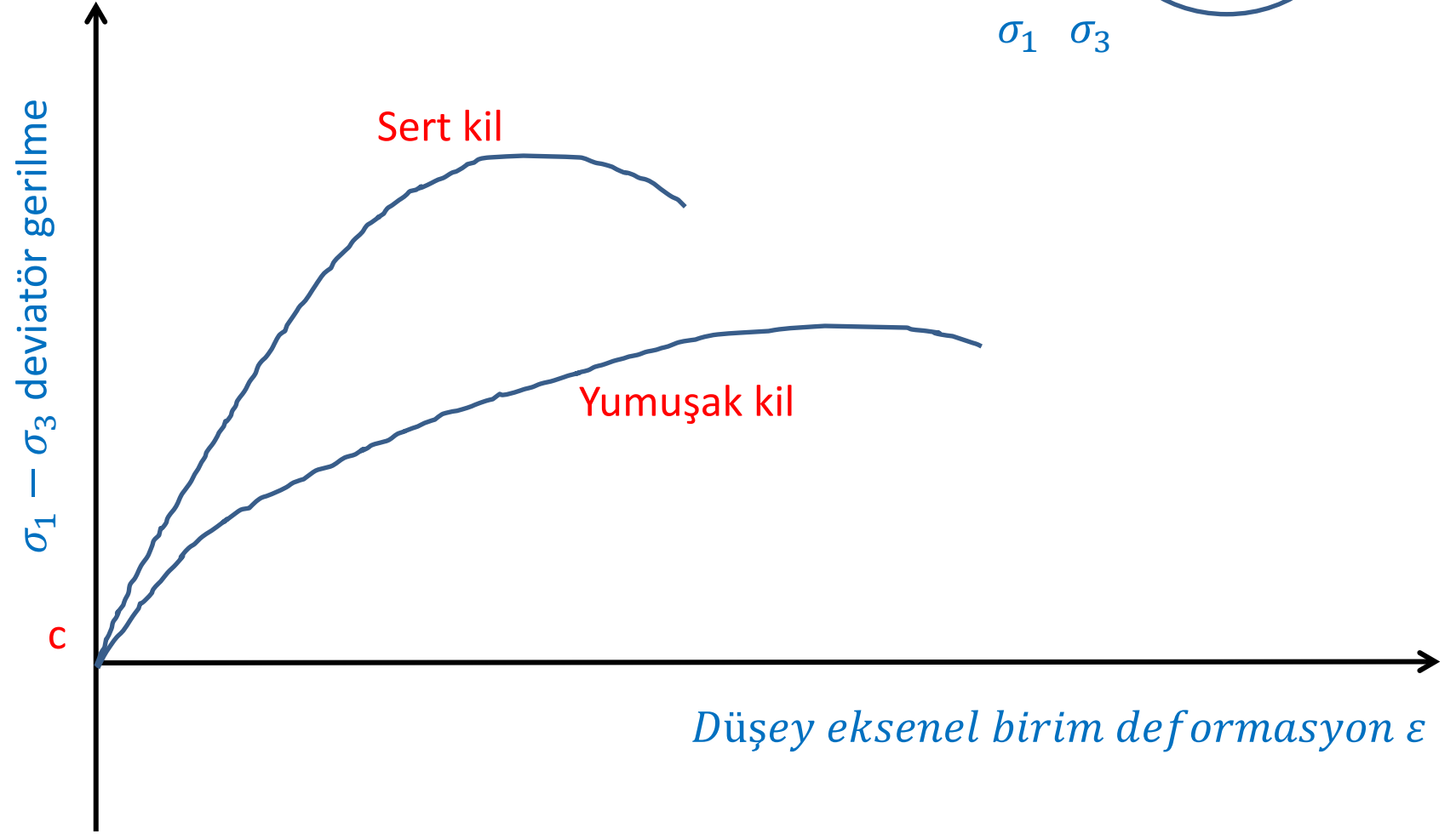
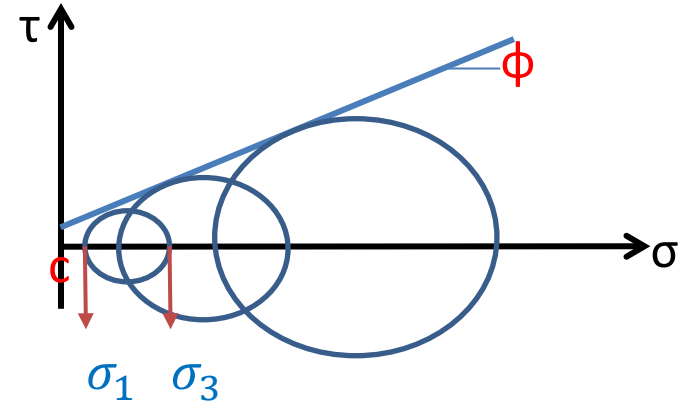
Bu üç deney koşulunun toplu değerlendirilmesi şekildeki gibidir.



Drenajlı deneylerde hacim değişikliği engellendiği için aşırı boşluk suyu basıncı oluşmakta ve bunun sonucunda da etkin gerilme ve kesme mukavemetinde azalma gözlenmektedir.

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI

Suya doymun killerde tipik deviator gerilme düşey eksenel gerilme ilişkisi



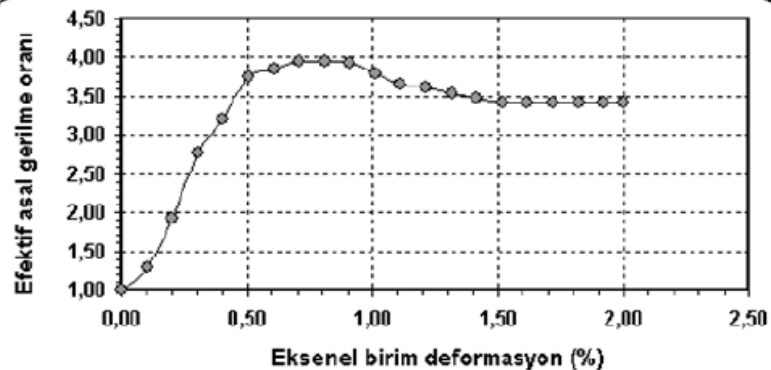
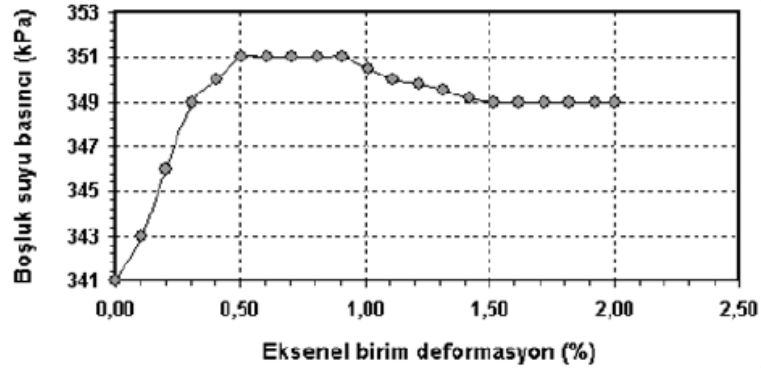
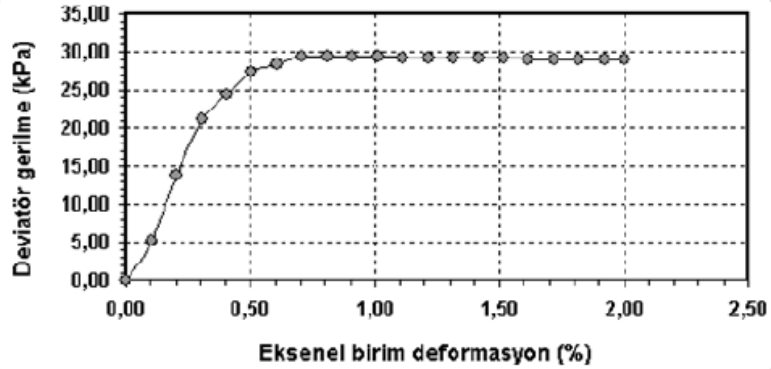
ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ (KONSOLİDASYONLU-DRENAJSIZ: CU-%2 (20 kPa))												
NUMUNEYİ KESME VERİLERİ												
No	Defor. Okuma (divs)	Birim Defor. ϵ , (%)	Yük (divs)	Yük (N)	Boşluk Suyu Basıncı (divs,kPa)	Dev. Gerilme $(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ (kPa)	Düzel. Dev. Gerilme $(\sigma_1 - \sigma_3)_c$ (kPa)	Min. Efek. Asal Geril. σ_3' (kPa)	Mak. Efek. Asal Geril. σ_1' (kPa)	Efektif Asal Geril. Oranı σ_1' / σ_3' (kPa)	p' (kPa)	q' (kPa)
1	0	0,000	35	0,00	341	0,00	0,00	20,00	20,00	1,00	20,00	0,00
2	102	0,102	40	10,43	343	5,31	5,30	18,00	23,30	1,29	20,65	2,65
3	203	0,203	48	27,11	346	13,80	13,77	15,00	28,77	1,92	21,88	6,88
4	304	0,304	55	41,70	349	21,20	21,16	12,00	33,16	2,76	22,58	10,58
5	405	0,405	58	47,96	350	24,36	24,30	11,00	35,30	3,21	23,15	12,15
6	506	0,506	61	54,21	351	27,51	27,44	10,00	37,44	3,74	23,72	13,72
7	607	0,607	62	56,30	351	28,54	28,45	10,00	38,45	3,85	24,23	14,23
8	708	0,708	63	58,38	351	29,56	29,47	10,00	39,47	3,95	24,73	14,73
9	809	0,810	63	58,38	351	29,53	29,42	10,00	39,42	3,94	24,71	14,71
10	910	0,911	63	58,38	351	29,50	29,38	10,00	39,38	3,94	24,69	14,69
11	1011	1,012	63	58,38	351	29,47	29,34	10,50	39,84	3,79	25,17	14,67
12	1112	1,113	63	58,38	350	29,44	29,29	11,00	40,29	3,66	25,65	14,65
13	1213	1,214	63	58,38	350	29,41	29,25	11,20	40,45	3,61	25,83	14,63
14	1314	1,315	63	58,38	350	29,38	29,21	11,50	40,71	3,54	26,10	14,60
15	1415	1,416	63	58,38	349	29,35	29,16	11,80	40,96	3,47	26,38	14,58
16	1516	1,517	63	58,38	349	29,32	29,12	12,00	41,12	3,43	26,56	14,56
17	1617	1,618	63	58,38	349	29,29	29,08	12,00	41,08	3,42	26,54	14,54
18	1718	1,719	63	58,38	349	29,26	29,04	12,00	41,04	3,42	26,52	14,52
19	1819	1,820	63	58,38	349	29,23	28,99	12,00	40,99	3,42	26,50	14,50
20	1919	1,920	63	58,38	349	29,20	28,95	12,00	40,95	3,41	26,48	14,48
21	1999	2,000	63	58,38	349	29,18	28,92	12,00	40,92	3,41	26,46	14,46

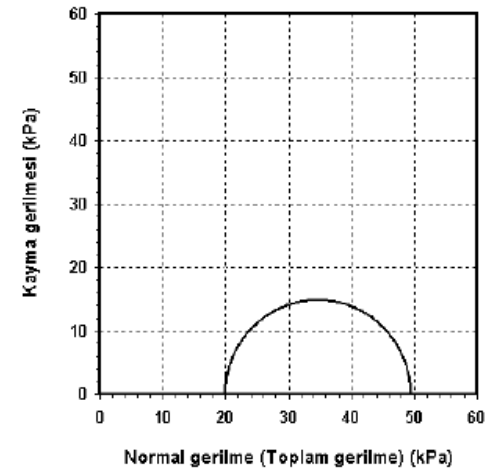
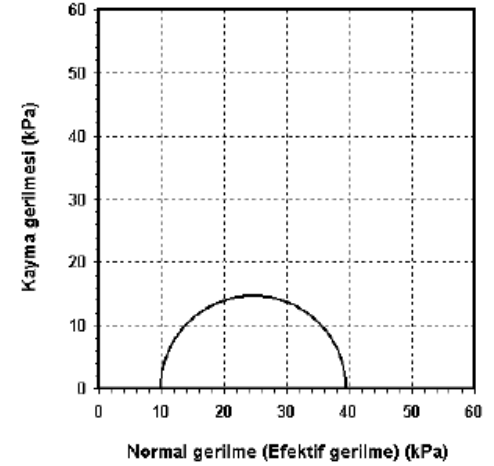
ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI

ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ (KONSOLIDASYONLU-DRENAJSIZ: CU-%2 (20 kPa))

GRAFİKLER



ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ (KONSOLIDASYONLU-DRENAJSIZ: CU-%2 (20 kPa))
MOHR DAİRELERİ



ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ / Dezavantajları - Avantajları

Avantajları

- Numuneler (yaklaşık) üniform gerilme ve şekil değiştirmelere maruz kalır.
- Gerilme-şekil değiştirme-mukavemet davranışı elde edilebilir.
- Drenajlı ve drenajsız deneyler yapılabilir.
- ***Drenajsız deneylerde boşluk suyu basıncı ölçülebildiğinden efektif gerilmeler belirlenebilir.***
- Hücre basıncı ve eksenel gerilmelerin farklı kombinasyonları uygulanabilir.
- Arazi yükleme ve drenaj koşullarına uygun yükleme ve drenaj yapılabilir.

ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kumun Kayma Direnci



İri taneli yada kohezyonsuz olarak nitelendirilen zeminlerde kayma direnci birinci derecede içsel sürtünme açısına bağlı olmakla birlikte kayma direncini etkileyen başlıca özellikler aşağıdaki gibidir.

- Tanelerin minerolojik kökeni ve şekli; *köşeli zeminlerde kayma direnci açısı daha fazladır.*
- Tanelerin boyutu ve dağılımı; *sıkı iyi derecelenmiş kum, sıkı uniform kumdan daha yüksek kayma direnci açısına sahiptir.*
- Tane yüzey pürüzlülüğü
- Kuru birim hacim ağırlık ve bağıl sıkılık; *kayma direnci açısı doğrusal olmamakla birlikte boşluk oranı azaldıkça artar.*
- Kumun jeolojik tarihçesi
- Çimentolanma
- Doygunluk derecesi
- Aşırı konsolidasyon veya ön yükleme; *doğrusal olmamakla birlikte σ_3 artarken ϕ yükselir.*

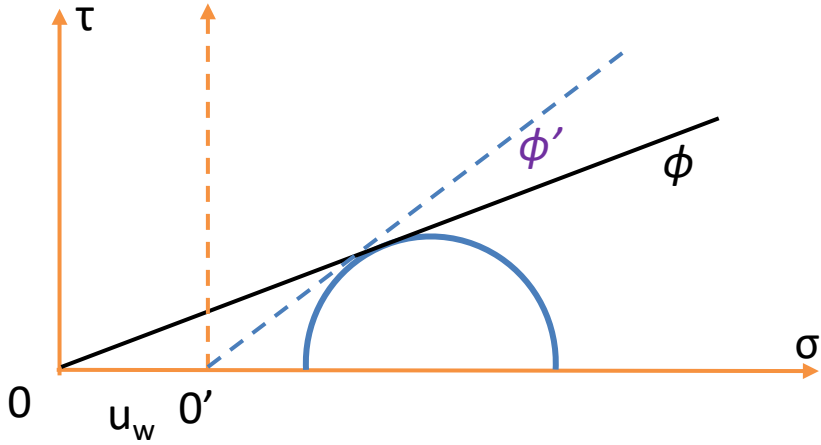
Kum taneleri çoğunlukla kuvars mineralinden oluşmaktadır. Kuvars oldukça dayanıklı olduğu için olağan düzeyde normal ve kesme gerilmesi altında tanelerde kırılma ve ezilme olmayabilir. Ancak var olan diğer mineraller gerilmelere dayanıklı olmadıklarından taneler ezilebilir.

FAKTÖR	ETKİ
Boşluk oranı, e	$e \uparrow, \phi \downarrow$
Rölatif Sıkılık, D_r	$D_r \uparrow, \phi \uparrow$
Köşelilik, A	$A \uparrow, \phi \uparrow$
Dane boyu dağılımı, C_u	$C_u \uparrow, \phi \uparrow$
Yüzey pürüzlülüğü, R	$R \uparrow, \phi \uparrow$
Su içeriği, w	$w \uparrow, \phi \downarrow$ hafifçe
Dane boyu, D	Etkisiz (e sabiti ile)?
Aşırı konsolidasyon veya ön gerilme	Az etki

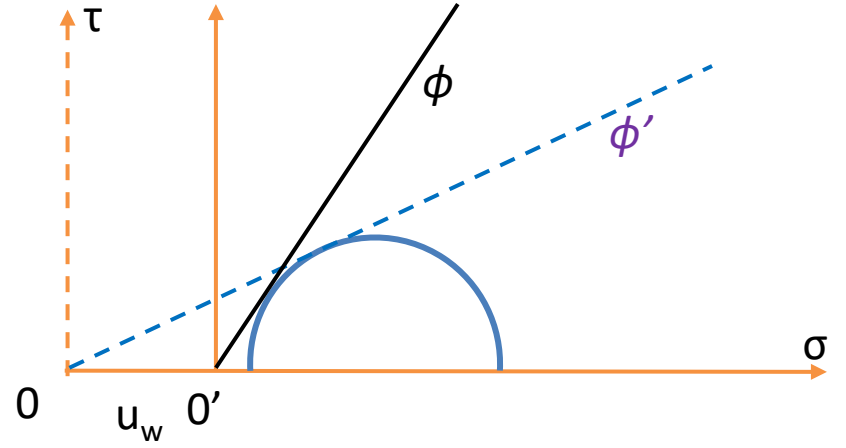
ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kumun Kayma Direnci

Gevşek kum



Sıkı kum



Gevşek kum örneği kesildiğinde hacimsel azalma olacağı için boşluk suyu basıncı artar. Bu durumda pozitif boşluk suyu basıncı oluşur $\phi' > \phi$ olur.

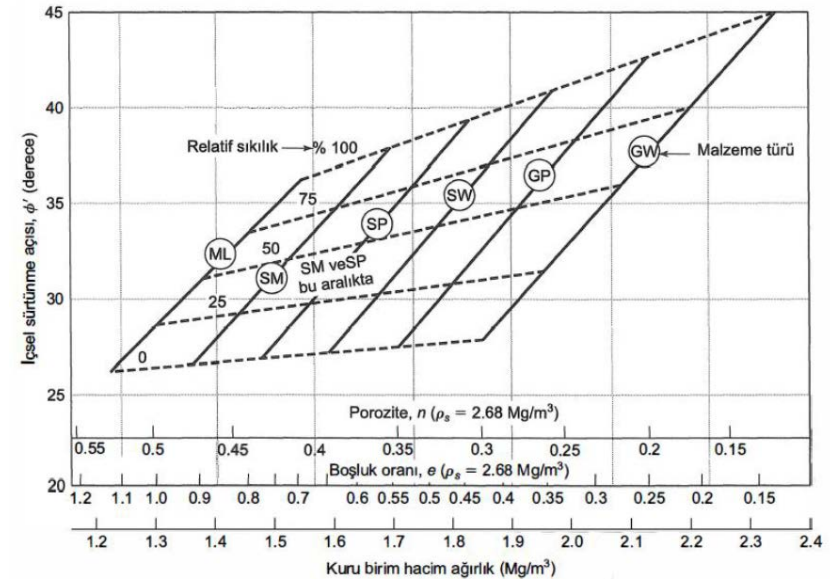
Sıkı kumda ise genleşme nedeniyle boşluk suyu basıncı azalır. Orjin sola kayar ve $\phi' < \phi$ olur.

ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

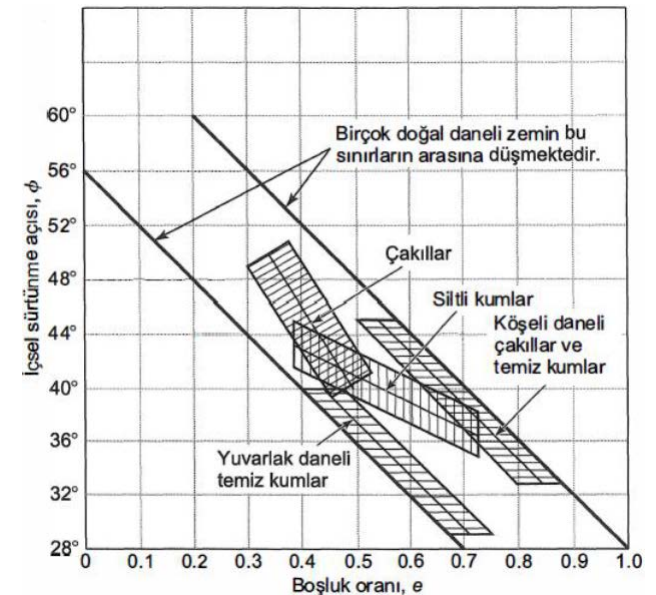
Kumun Kayma Direnci

Zemin Tipi	ϕ'
Kum (Yuvarlak Daneli)	
Gevşek	27-30
Orta	30-35
Sıkı	35-38
Kum (Köşeli Daneli)	
Gevşek	30-35
Orta	35-40
Sıkı	40-45
Çakıllı Kum	34-48
Kil	15-35
Silt	26-35

Kum ve silt zeminler için efektif kayma mukavemeti açısı değerleri (Das 2010).



İçsel sürtünme açısı ile kuru birim hacim ağırlık ve boşluk oranı ile ilişkisi (U.S. Navy 1986, Holtz et al. 2010).



ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Killerin Kayma Direnci

Kil zeminin sahip olduğu kesme mukavemeti, kil mineralinin türüne ve su içeriğine, kesme oluşmaya başladığında meydana gelebilecek boşluk suyu basıncı ve en önemlisi de geçmişte maruz kaldığı etkin gerilmelere veya konsolidasyon basıncına bağlıdır. Kil ile CL, CH, MH ve Şeyl gibi kıvam özellikleri gösteren tüm malzemeler ifade edilmektedir.

Yapılan çalışma ve incelemeler, killerde kayma direncinin aşağıdaki özelliklere bağlı olduğunu göstermektedir.

- Efektif gerilme yüzeyi
- Kilin kıvamı (plastisitesi)
- Çimentolanma
- Taneler arası çekme ve itme
- Su içeriği
- Kesilme hızı
- Ortamın anizotropluğu
- Gevreklik
- Deneye tabi tutulan numunenin kalitesi
- Kullanılan ölçüm tekniği

ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Killerin Kayma Direnci

Normal Konsolide Killer

Normal konsolide killer/yumuşak killer üzerinde hızlı yapılan dolgu yada temelin hızlı yüklenmesi Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU) koşulu ifade eder. Hızlı artan gerilmeler sonucu ani artan boşluk suyu basıncı sistem dışına çıkamadan zeminin kayma gerilmesine maruz kalması ani yenilmelere neden olur. Dolayısıyla bu tip projelerde problem çözümünün toplam gerilmeler cinsinden yapılması uygun olacaktır.

- Drenajsız kayma direnci çevre basıncından bağımsız olup, Mohr dairelerinin çaplarının aynı olması anlamına gelir ve drenajsız kayma direnci yatay kırılma zarfı ($\phi=0$) ile gösterilir.
- NC killer fiziksel/mekanik özellik olan gerçek kohezyona sahip değildir.
- NC killerde ϕ açısının plastisite indisiyle azaldığı söylenebilir. Genel olarak ϕ' için 25^0-39^0 , ϕ_{cu} için ise 5^0-20^0 temsil edici olabilir.

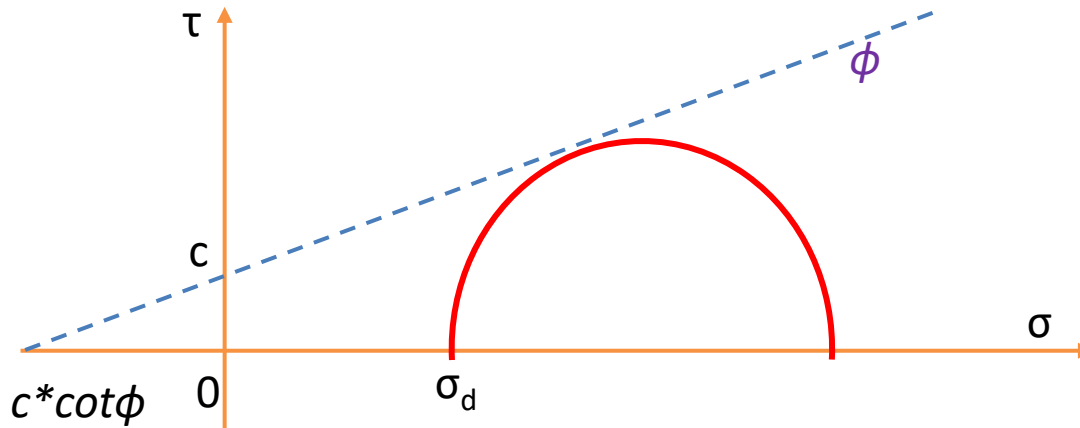
ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Killerin Kayma Direnci

Aşırı Konsolide Killer

Aşırı konsolide killer, geçmişte üzerinde kalın katmanlar altında yüksek çevre basıncı ile dengeye gelen daha sonra aşınma sonucu güncel çevre basıncına maruz kalan killer olarak tariflenebilir ($\sigma_c > \sigma_o$). Çoğunlukla su içerikleri plastik limitin altında dolayısıyla katı-sert kıvamda olup ve %100 doymun durumda değildir.

- AC killerin kayma direnci belirlenmesinde UU deney yada serbest basınç deneylerinin başarıyla sonuç vermedi kabul görmektedir.
- AC killerin kayma direncinin belirlenmesinde CU ve CD deneyler yanısıra kesme kutusu deneyinin uygulaması önerilmektedir.



ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Killerin Serbest Basıncına Göre Ayrımı

Killerin çoğu bozulmamış durumda yüksek dayanım gösterirken yoğurulmuş durumda dayanımları daha düşüktür. Yapısı hassas olan su muhtevası değiştirilmeden yoğurulur ve tekrar sıkıştırılırsa direncin belirgin ölçüde düşük bir düzeye indiği görülür. Bu düşüşün ölçütü **Hassaslık Derecesi** ile ifade edilir.

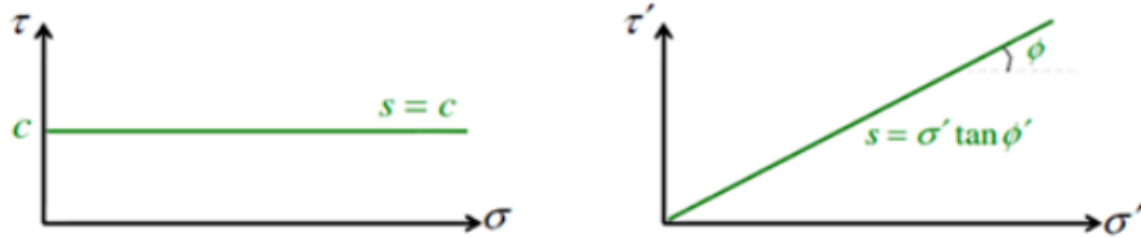
$$S_t = \frac{(q_u) \text{ örselenmemiş}}{(q_u) \text{ yoğurulmuş}}$$

Olağan koşullarda hassaslık derecesi 2-4 arasında değişir. Orta derecede hassas killerde 4-8, akıcı killerde ise 8'den büyüktür.

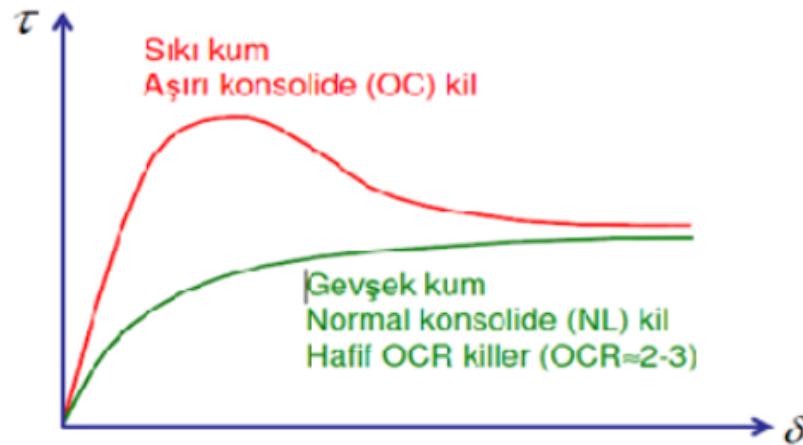
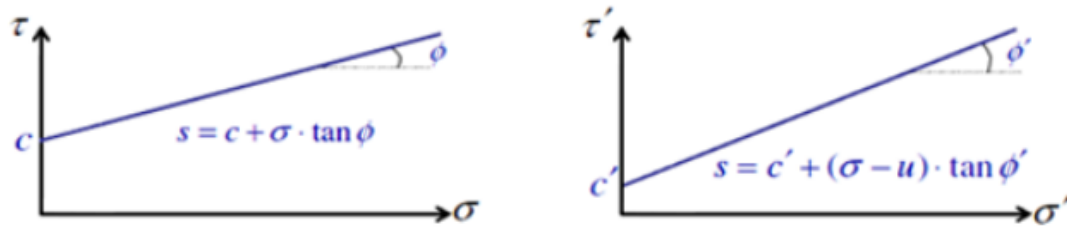
KIVAM	q_u (kpa)
Çok Yumuşak	<25
Yumuşak	25-49
Orta Katı	50-96
Katı	97-192
Çok Katı	193-383
Sert	>384

ZEMİNLERİN KAYMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yumuşak Killerin Kayma Direnci (NL Kil)



Aşırı Konsolide Killerin Kayma Direnci (OC Kil)



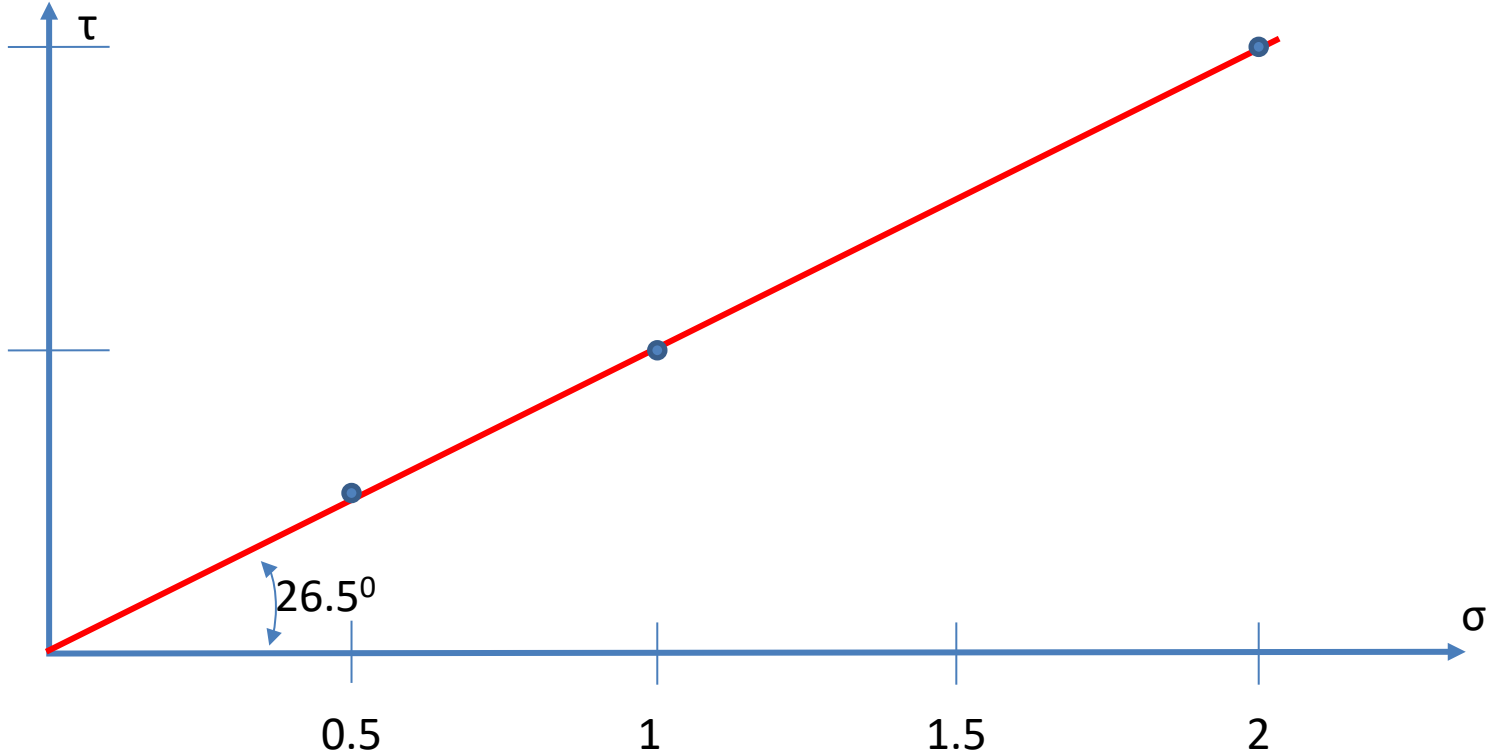
Normal ve aşırı konsolide zeminler için kayma gerilmesi-kayma deformasyonu ilişkisi

ÖRNEK SORULAR

Soru

Bir kum üzerinde kesme deneyi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur. Kumun içsel sürtünme açısını belirleyiniz.

Deney No	Normal Kuvvet	Max. Kayma kuvveti	Normal Gerilme (kg/cm ²)	Max. Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
1	18	9,36	0.5	0.26
2	36	17.64	1	0.49
3	72	36.10	2	1



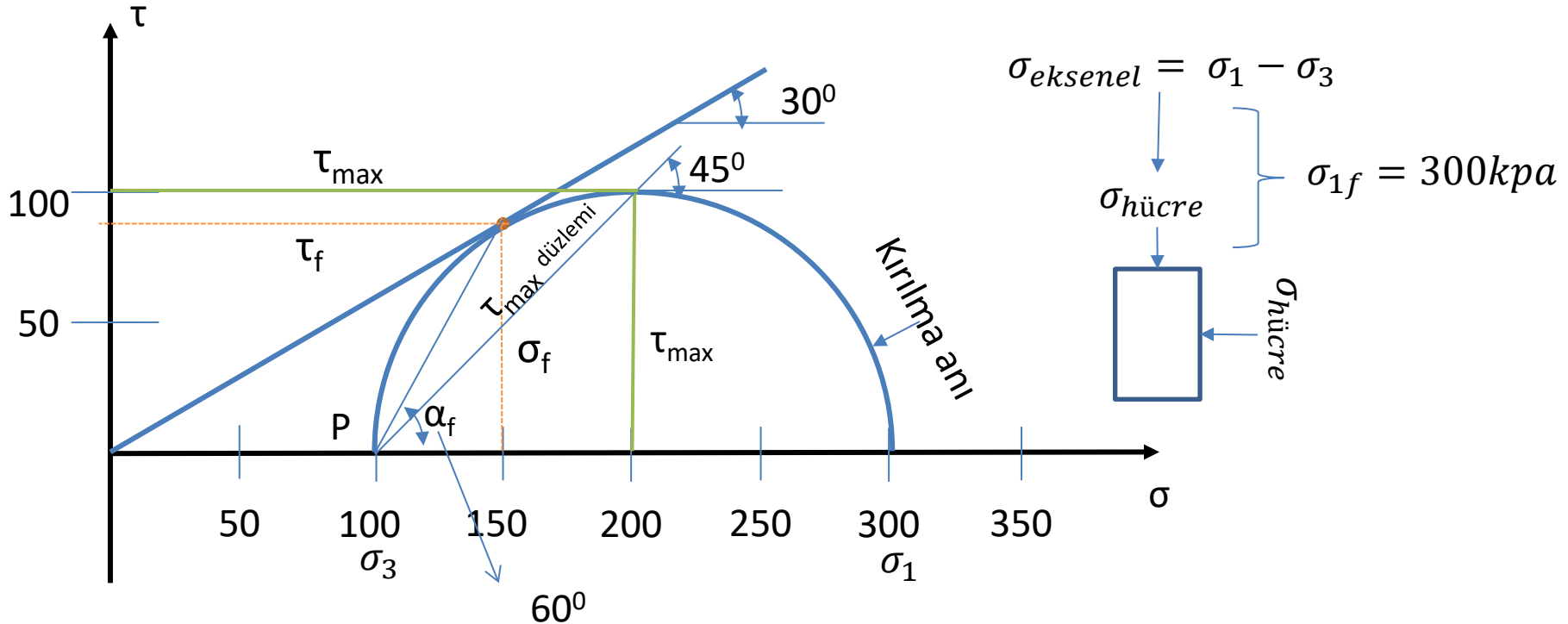
ÖRNEK SORULAR

Soru

Bir kum örneği üzerinde geleneksel Konsolidasyonlu – Direnajlı (CD) üç eksenlibasınç deneyi yapılmıştır. Hücre basıncı 100 kPa ve kırılma anında uygulanan eksenel gerilme 200 kPa olduğuna göre

- Kırılma durumundaki mohr dairelerini çiziniz.
- İçsel sürtünme açısını hesaplayınız (kumun kohezyonunun 0 olduğunu varsayınız).
- Kırılma düzlemindeki kayma gerilmesini ve kırılma düzlemin teorik açısını belirleyiniz.

a



ÖRNEK SORULAR

b. Grafiksel olarak ϕ açısı 30° olarak bulunabilir. Ancak analitik çözüm ile de sorunun cevabına ulaşılabilir.

$$\sin\phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \gg \phi = \arcsin \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \arcsin \frac{200}{400} = 30^\circ$$

c. Mohr kırılma hipotezinden Mohr kırılma zarfının ve kırılma anındaki Mohr dairesinin tanjant koordinatları τ_{ff} ve σ_{ff} dir.

Analitik yoldan;

$$\sigma_{ff} = \frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2} - \frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2} \sin\phi = 200 - 100 \sin 30^\circ = 150 \text{ kpa}$$

$$\tau_{ff} = \sigma_{ff} \tan\phi = 150 \tan 30^\circ = 87 \text{ kpa}$$

Kırılma düzleminin teorik eğim açısı grafiksel olarak kutup yöntemi ile yada analitik olarak bulunabilir. Grafik yöntemi ile 60° olarak bulunmuştur.

Analitik çözüm ise;

$$\alpha_f = 45^\circ + \frac{\phi}{2} = 60^\circ$$