

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

**DÜŞÜK PLASTİSELİ KİLLİ-KUMLARIN  
KAYMA DİRENCİ PARAMETRELERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Salim DURMUŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ**

**Ağustos 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK PLASTİSELİ KİLLİ-KUMLARIN  
KAYMA DİRENCİ PARAMETRELERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Salim DURMUŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK**

**Bu tez 13 / 08 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ**  
Jüri Başkanı

**Prof. Dr. Hasan ARMAN**  
Üye

**Doç. Dr. Seyhan FIRAT**  
Üye

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında bana destek olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Zeki Gündüz'e, eğitimim boyunca bilgi ve desteklerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Hasan Arman'a ve her zaman desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışmalarım esnasında yardımlarını ve desteklerini gördüğüm Elektrik-Elektronik Mühendisi sayın Burhan Baraklı'ya, Elektrik-Elektronik Mühendisi sayın Olgun Dağ'a, Elektrik-Elektronik Mühendisi sayın Melih Göksel'e ve laboratuvar çalışmalarım esnasında yardımını gördüğüm Tek. Öğr. Sayın İbrahim Çakılcıoğlu'na teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Zeminlerin Kesme Kuvvetleri Hakkında Genel Bakış.....	2
1.2. Killi Kumların Kayma Dayanımı.....	3
BÖLÜM 2.	
KİLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	5
2.1. Kil Nedir.....	5
2.2. Kil Mineralleri.....	5
2.3. Kil Guruplarının Yapısı.....	8
2.3.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması.....	8
2.4. Kil Mineralleri ile Su Arasındaki Etkileşim.....	9
2.5. Kilde Doku ve Yapı.....	11
2.5.1. Dokunun ayırımı.....	11
BÖLÜM 3.	
KIRILMA KRİTERLERİ.....	14
3.1. Giriş.....	14

3.2. Zeminlerin Kayma Mukavemeti.....	14
3.3. Kırılma Kriteri.....	15
3.3.1. Mohr-Coulomb yenilme kriteri .....	17
3.3.1.1. Göçme durumu ve mohr gerilme daireleri.....	20
3.4. Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Deneysel Olarak Saptanması..	23
3.4.1. Laboratuar deney yöntemleri.....	24
3.4.1.1. Kesme kutusu deneyi.....	25
3.4.1.2. Serbest basınç deneyi.....	26
3.4.1.3. Üç eksenli basınç deneyi.....	27
3.4.1.4. Üç eksenli basınç deneyinde gözlenen zemin davranışları.....	29
3.4.2. Arazi deney yöntemleri.....	35
3.5. Tabii Zeminlerin Kayma Mukavemet.....	36
3.5.1. Kumların kayma mukavemeti.....	36
3.5.2. Killerin kayma mukavemeti.....	40
3.5.2.1. Suyu doymuş killer.....	41
3.5.2.2. Suyu doymuş olmayan killer.....	45
BÖLÜM 4.	
NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE DENEYLERİN YAPILIŞI.....	46
4.1. Numunelerin Hazırlanışı.....	46
4.2. Casagrande Likit Limit Deneyi.....	47
4.3. Plastik Limit.....	48
4.4. Tokmaklı Kompaksiyon Deneyi.....	48
4.5. Kesme Kutusu Deneyi.....	49
4.6. Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	51
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	54
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	108

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$\dot{A}$	: Amstrong
$A$	: Numune kesit alanı
$a$	: Numune boyutu
$A_0$	: Numunenin başlangıç kesit alanı
$A_C, A_I$	: Numunenin düzeltilmiş kesit alanı
$\alpha$	: Yenilme düzlemi eğimi
$c$	: Kohezyon
$c'$	: Efektif gerilme cinsinden kohezyon
$c_u$	: Drenajsız kohezyon
$c_{cu}$	: Konsolidasyonlu-drenajsız kohezyon
$c_{cd}$	: Konsolidasyonlu-drenajlı kohezyon
CL	: Düşük plastiseli kil
CU	: Konsolidasyonlu-drenajsız kohezyon deneyi
CD	: Konsolidasyonlu-drenajlı kohezyon deneyi
$e$	: Boşluk oranı
CPT	: Konik penetrasyon deneyi
D	: Dane çapı
$\varepsilon$	: Birim şekil değiştirme
$\varepsilon_B$	: Kırılma gerilmesine tekabül eden birim uzama
$\varepsilon_F$	: Akma gerilmesine tekabül eden birim uzama
$\varepsilon_a, \varepsilon_z$	: Eksenel birim boy kısalması
$I_p$	: Plastisite İndisi
$\sigma$	: Gerilme
$\sigma'$	: Efektif gerilme
$\sigma'_c$	: Ön konsolidasyon basıncı
$\sigma_f, \sigma_M, \sigma'_M$	: Tek eksenli gerilme halinde cismin mukavemet sınırı

$\sigma_N$	: Normal gerilme
$\sigma_M$	: Toplam gerilme
U	: Reaksiyon kuvveti
$\theta$	: Kırılma düzleminin yatayla yaptığı açı
t	: Kırılma düzlemine etkiyen gerilme
F	: Kesme kuvveti
$\tau$	: Kayma gerilmesi
$\tau_f$	: Kayma direnci
u	: Boşluk suyu basıncı
$u_f$	: Yenilme anındaki boşluk suyu basıncı
w	: Su muhtevası
$w_n$	: Doğal su muhtevası
$w_{opt}$	: Optimum su muhtevası
W	: Ağırlık
$W_S$	: Numunenin kuru ağırlığı
$W_P$	: Plastik Limit
WL	: Likit limit
V	: Numunenin hacmi
$V_0$	: Numunenin başlangıçtaki hacmi
$G_s$	: Dane özgül ağırlığı
KH	: Kuvvet halkası
N	: İç kuvvet, cassagrande cihazında vuruş sayısı
P	: Dış kuvvet, kesme kuvveti, hidrometrede % geçen
$q_u$	: Serbest basınç dayanımı
h	: Numune yüksekliği
$\phi$	: Kayma direnci açısı
$\phi'$	: Efektif gerilme cinsinden kayma direnci açısı
$\phi_u$	: Drenajsız kayma direnci açısı
$\phi_{cu}$	: Konsolidasyonlu-drenajsız kayma direnci açısı
$\phi_{cd}$	: Konsolidasyonlu-drenajlı kayma direnci açısı
S	: Suyu doygunluk derecesi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	A ve B tabakalarının yapısı.....	6
Şekil 2.2.	A ve B tabakalarının yapısı.....	7
Şekil 2.3.	Bir su molekülünün şematik diyagramı .....	9
Şekil 2.4.	Sodyum montmorillonit ve sodyum kaolinit üzerindeki adsorbe su tabakalarının göreceli boyutları .....	11
Şekil 2.5.	Kil - Su Asılısında Dokular (a)dağınık ve ayrık (b) ayrık ve kümelenmiş (c) kenar-yüze floklanmış ve dağınık (d)kenar-kenara floklanmış ve dağınık (e)yüz-kenara floklanmış ve kümelenmiş (f)kenar-kenara floklanmış ve kümelenmiş (g)yüz-kenar ve kenar-kenara floklu ve kümeli.....	12
Şekil 2.6.	Zeminde dokular (a)kilde bireysel dane gruplanmaları(b)kum ve şiltte bireysel dane dizilimi(c)kil gurupları dizilimi (d)Kille kaplanmış silt ve kum dizilimi (e)tam belirginleşmemiş dizili..	13
Şekil 3.1.	Maksimum kayma gerilmesi kriterinde çok eksenli gerilme halinde mohr daireleri .....	15
Şekil 3.2.	Maksimum kayma gerilmesi kriterinin gösterimi ve tresca altıgeni.....	16
Şekil 3.3.	Maksimum normal gerilme kriterinin gösterimi ve iki eksenli gerilme halinde güvenli bölgenin sınırları.....	17
Şekil 3.4.	Mohr – coulomb göçme hipotezi - mohr yenilme kriteri.....	18
Şekil 3.5.	Mohr – coulomb göçme hipotezi - asal gerilmeleri ve yenilme düzlemindeki gerilmeleri gösteren yenilme elemanı.....	19
Şekil 3.6.	Mohr gerilme daireleri ve göçme zarf.....	20
Şekil 3.7.	Göçme durumunu gösteren gerilme daireleri.....	21
Şekil 3.8.	Göçme durumunda asal gerilmeler arasındaki ilişki.....	22
Şekil 3.9.	Kayma mukavemeti zarfının özel durumları.....	22



Şekil 3.10.	Kesme kutusu deney aleti.....	25
Şekil 3.11.	Kesme kutusu deneyi sonuçları.....	26
Şekil 3.12.	Serbest basınç deney sonuçlarını gösteren mohr dairesi ve mukavemet zarf.....	27
Şekil 3.13.	Üç eksenli basınç deneyi aleti.....	28
Şekil 3.14.	Üç eksenli basınç deneyinde hidrostatik basınç altında gözlenen zemin davranışı.....	31
Şekil 3.15.	Üç eksenli basınç deneyinde eksenel yükleme sırasında gözlenen zemin davranışı.....	33
Şekil 3.16.	Boşluk basıncı katsayısı $a$ 'nın eksenel şekil değişme ile değişimi.....	34
Şekil 3.17.	Üç eksenli basınç deneyindeki gerilme durumlarını gösteren mohr daireleri.....	35
Şekil 3.18.	Kohezyonsuz zeminlerde gözlenen gerilme – şekil değiştirme ve hacim değişimi – şekil değiştirme davranışları.....	38
Şekil 3.19.	Çevre basıncının kohezyonsuz zeminlerin davranışı üzerinde etkisi.....	39
Şekil 3.20.	Drenajsız kayma mukavemeti zarfı.....	41
Şekil 3.21.	Konsolidasyonlu drenajsız durumda kayma mukavemeti zarfları.....	42
Şekil 3.22.	Drenajsız kayma mukavemeti.....	43
Şekil 3.23.	Konsolidasyonlu drenajlı deneylerden elde edilen kayma mukavemeti zarfları.....	44
Şekil 3.24.	Normal konsolide killerin drenajlı kayma mukavemeti açısının plastisite indisi ile değişimi.....	44
Şekil 4.1.	Kesme kutusu deney aletleri.....	49
Şekil 4.2.	Kesme kutusu deney aletleri.....	50
Şekil 4.3.	Kesme kutusu deney aletleri.....	50
Şekil 4.4.	Üç eksenli basınç deney aleti.....	51
Şekil 4.5.	Üç eksenli basınç deney aleti.....	52
Şekil 5.1.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına ince kum katkısının etkisi.....	54

Şekil 5.2.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına orta kum katkısının etkisi.....	54
Şekil 5.3.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına ince ve orta kum katkısının etkisi.....	55
Şekil 5.4.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine ince kum katkısının etkisi.....	56
Şekil 5.5.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine orta kum katkısının etkisi.....	56
Şekil 5.6.	Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine ince ve orta kum katkısının etkisi.....	57
Şekil 5.7.	Üç eksenli basınç deneylerinde kilin kayma direnci değerine ince kum katkısının etkisi.....	58
Şekil 5.8.	Üç eksenli basınç deneylerinde kilin kayma direnci değerine orta kum katkısının etkisi.....	58
Şekil 5.9.	Üç eksenli basınç deneylerinde kilin kayma direnci değerine ince ve orta kum katkısının etkisi.....	59
Şekil 5.10.	Üç eksenli basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine ince kum katkısının etkisi.....	60
Şekil 5.11.	Üç eksenli basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine orta kum katkısının etkisi.....	60
Şekil 5.12.	Eksenli basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine ince ve orta kum katkısının etkisi.....	61

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Kil – kum karışımlarının oranı.....	47
Tablo 5.1.	Deney sonuçları .....	54

## ÖZET

Anahtar kelimeler: kil, kayma direnci, kayma direnci açısı, kohezyon, kesme kutusu, üç eksenli basınç

Zeminlerin kayma direnci parametreleri geoteknik mühendisliği çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Kayma direnci açısı ( $\phi$ ) ve kohezyon ( $c$ ) zeminlerin kayma direncini belirleyen başlıca parametrelerdir. Bu parametreler araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuarda yapılan deneyler yardımıyla veya doğrudan arazide yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmeye çalışılmaktadır. Zeminlerin kayma dirençlerini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. (Zemin Cinsi, dane dağılımı, su muhtevası gibi). Zeminler tabiatta genelde değişik oranlarda kil, silt, kum, çakıl danelerini ihtiva ederler. İnce daneli zeminlerin kayma direncine bünyesindeki kum danelerinin ne şekilde etki ettiği sorusunun cevabı bu tezde araştırılmıştır.

Bu çalışmada birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasına göre içinde kil ve silt ihtiva eden bir CL kil numunesine farklı oran ve dane çapında kum karıştırılarak kayma direnci parametrelerinin nasıl değiştiğinin gözlemlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada 0,074mm den geçen bir CL kil numunesine 0,074–0,2mm aralığındaki kum numunesi ve 0,2–0,6 mm aralığındaki kum numunesi %10, %25, %50 ve %75 oranlarında karıştırılıp kayma parametrelerinin nasıl değiştiği kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneyleri ile gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme kutusu ile üç eksenli basınç deneylerinin kayma parametrelerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda; karışım içindeki kum oranının %50 civarlarında kumun özelliklerinin baskın olmaya başladığı görülmüştür. Kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneylerinde kayma direnci açısının farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.

# THE INVESTIGATION OF SHEER STRENGHT'S LOW PLASTICITY SAND-CLAY MIXTURES

## SUMMARY

Key Words: clay, shear strength, shear strength angle, cohesion, shearbox, triaxial, pressure

Shear strength parameters of soils are main interest in geotechnical investigations. Main determinative parameters of shear strength are shear strength angle ( $\phi$ ) and cohesion (c). These parameters can be defined by insity and laboratuary experiments on undistributes soil samples. There are many reasons have effects on shear strength of soils. Soils can be find in different types such as clay, silt, sand and gravel in the nature. The effects of sand grains on shear strengrh in small grained soil, is investigated in this thesis.

This research has been carried out to observe the changing of shear strength in the silt and clay samples of soils which contains in different percentage and grain of sand.

In the study, above the diameter of 0,074mm and 0,2mm, and below the 0,2mm and 0,6mm grain sites of sanda remixed by 10%, 25%, 50%, 75% in the size of below the 0,074mm clay samples and the chainging of shear parameters has been observed by shear box and triaxial pressure tests, additionally the findings of the shear box and triaxial pressure tests results have been compared.

According to the test results; sand was saving, it is own features when the clay samples has 50% of sand. Although cohesion stays in the some level, shear strength angle gives different values in shearbox and triaxial pressure tests.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinin önemi her geçen gün artmaktadır. Geoteknik mühendisliğinin öneminin artmasında doğal afetler meydana gelmesi, yıkımların olması, istenmeyen oturmalar olması gibi nedenler sıralanabilir.

Yeryüzünde bazı özel durumlar hariç zemin, kil, silt, kum ve çakıl gibi danelerden oluşmaktadır. Kil sadece zemin mekaniğini ilgilendiren bir ortam değil, tarım ormancılık tıp ve seramik endüstrisinde önemli bir endüstriyel gereçtir. Kil malzemesi bazı endüstriyel alanlar için yararlı malzeme iken Geoteknik mühendisliğinde problem teşkil eden malzeme olarak anılır. Fakat bunun tersi olduğu durumlarda mevcuttur. Örneğin; dolgu barajlar ve atık su depolarında geçirimsizliği sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlerin pelteleşebilir bulamaç halinde etkin destek sağlaması için killi zeminler kullanılır. Yine de zemin mekaniğinde killi zeminler pek istenilen zemin türü değildir. Yapıların projelendirilmesi öncesinde zeminin kayma direnci, fiziksel özellikleri, geçirimsizliği, sıkışabilirliği ve taşıma kapasitesi gibi etkenlerin bilinmesi ve projenin bunlara uygun olarak yapılması gerekmektedir [1].

Zemin mekaniğindeki problemler “gerilme problemleri” ve “deformasyon problemleri” olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bir temel veya şev üzerine gelen yük veya gerilme, deformasyonları kabul edilemeyecek düzeye kadar arttırılırsa o temel veya şev yenilmiştir. Dayanım malzemenin katlanabileceği maksimum gerilme demektir. Deformasyon problemleri ise zeminin elastik ve plastik şekil değiştirmesidir. Kalıcı veya geri gelen şekil değiştirmeler müsaade edilen sınırların altında kalması gerekir. Aksi halde yapının güvenliği tehlike altına girer hatta yıkım olabilir. Bir yapının farklı noktalarındaki farklı oturmalar veya bir asfaltın üzerindeki dalgalanmalar sıklıkla karşılaşılan deformasyon problemleridir [1].

Ayrıca zeminler su geçirgenliği olan malzemeler olduğu için, zemin içinde su akımı ve bununla ilgili sorunlar zemin mekaniğinin önemli konularından biridir. Zeminde yenilme meydana gelmesi için olası bir kayma düzlemi boyunca kayma gerilmesinin aşılması gerekir. Genel olarak yenilme, belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu ortaya çıkar. Kayma direncinin belirlenmesinde konsolidasyon basıncı, boşluk oranı, su muhtevası, doygunluk derecesi en önemli faktörlerdir.

Zeminlerde kayma direnci “c-kohezyon” ve “ $\phi$ -kayma direnci açısı” gibi iki parametre ile ifade edilmektedir. “c-kohezyon” ve “ $\phi$ -kayma direnci açısı” arazi deneyleri veya laboratuvar deneyleri ile tespit edilir. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler arasında kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneyleri yaygın olarak kullanılır. Bu araştırmanın konusu olarak birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre bir CL kil numunesine farklı oran ve farklı dane çaplarında kum katılmasıyla kayma direnci parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Numunelerin üç eksenli basınç deneyinde c ve  $\phi$ 'nin tespitinin etkisi yanında aynı numunelerin kesme kutusunda nasıl bir sonuç verdiği de incelenmiştir.

Yapılan araştırmada birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasında olan CL kil numunesi, 200 nolu elekten elenerek 0,074–0,2mm ve 0,2–0,6mm aralıklarındaki iki farklı kumla karıştırılmıştır. Bu karışımlar ile üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi çalışmaları yapılmıştır. Her iki kum içinde karışım oranları %10, %25, %50, %75 tir. Bu deneyler yapılarak CL kil numunesinde kum dane çapının değişmesi ve kum oranlarının değişmesi ile kayma direnci parametrelerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır.

### **1.1. Zeminlerin Kesme Kuvvetleri Hakkında Genel Bakış**

Zeminlerin kesme kuvvetlerinin araştırılmasında hacim değişikliği, deformasyon, kayma ve yer değiştirmelerden doğan içsel basınçların bilinmesi gerekmektedir. Zeminin direnci ve deformasyon durumu Mitchell (1976) tarafından genel bir inceleme olarak sunulmuştur. Gerçekte zeminlerin kesme kuvvetine etki eder. Bunlar, zeminin boşluk oranı, zeminin yapısı, zeminin gerilme durumu,

sıkışabilirliği, akma gerilmesi, akma gerilmesi katsayısı ve zeminin yapısıdır. Zemin kohezyonu ve kayma dayanımı açısı geçirimsizlik durumu, gerilme dağılımı ve yükleme durumlarına göre bulunmaktadır. Taylor'un 1948 yılında kohezyonsuz zeminler hakkında yapmış olduğu çalışmada kumların kayma gerilmeleri 2 faktöre bağlıdır. Birincisi daneler arasında oluşan içsel sürtünmelerden doğan kayma direnci, ikincisi danelerden birbirine kenetlenmesi. Bunlarla beraber zeminde kopma sınırındaki hızlı düşüşün yanı sıra, birbirine kenetlenmiş durumlarda bulunan kumun ani düşüşü de etkili olmaktadır. Bu yüzden kumun içindeki kayma açısı sadece iç sürtünmeye bağlı olmayıp, birleşik tanelerin düzlemi üzerinde bulunan gerilme düzlemine de bağlıdır. Fakat MOHR teorisi danelerin birbirlerine kenetlenmesine bağlı olmadığını söylemektedir. Taylor 1948 yılındaki önerisinde, kumun üst kayma açısının laboratuvar ortamına boşluk oranına bağlı olduğunu ve düşük yüzdeli bir kısmında basınca bağlı olduğunu söylemiştir. İlave olarak ıslak kumun tamamen kurutulmuş kuma göre daha düşük mukavemet değerine sahip olabileceğini belirtmiştir. Terzaghi'nin önerisine göre kumun kayma dayanımı kumun yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Kumun kayma dayanımı açısına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Dane boyutu da kayma dayanımı açısına etkiyen bir faktördür. Danelerin birbirini tutması durumunda kayma dayanımı açısı kumun ıslak veya kuru olmasına göre değişmemektedir.

## **1.2. Killi Kumların Kayma Dayanımı**

Georgiannou, Burland ve Hight (1990), anisotropik yapıdaki killi kumları bilgisayar desteği ile üç eksenli basınç deneyine tabi tutmuşlardır. Ham nehri kenarından alınmış kum çökeltisi kaolin süspansiyon ile karıştırılmıştır. Çalışmalarda killi numunelerdeki dane çapına bağlı olarak boşluk oranının farklılıkları belirtilmiş olup, killi kumların daha büyük boşluk oranına sahip olduğunu ve bunun kile göre daha kırılğan bir özellik gösterdiğini söylemişlerdir. Karışımdaki %20 kil miktarına kadar kayma direnci açısının çok değişmediğini de gözlemlemişlerdir.

Wasti ve Alyanak (1968) killi kumlar üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, kil oranının düşmesi durumunda sadece boşlukların dolması ve maksimum poroziteye ulaşması, yapıda meydana gelen değişikliklerden dolayı kilin plastik ve likit limiti göz



önüne alınmaz. Ve kil malzemesini sıkışabilirliği ve davranışı kilden kuma dönmüştür.

Mitchell (1976) yılında yapmış olduğu çalışmalarda kil miktarının artması plastisitenin, muhtemel şişme ve oturmasına, sıkışabilirliğin, kohezyonun artmasına, geçirgenliğin ve permabilitenin düşmesine sebep olduğunu saptamıştır.

Novais – Ferreira (1971), yavaş konsolide edilmiş, değişen miktarlarda kil ve kum oranına bağlı olarak değişen ince ve iri daneli kum karışımı ile montmorillonitik kil numunelerinde kesme kuvveti deneyi yapmıştır. Buna göre kil oranın artması durumunda kesme kuvvetinde azalma meydana geldiği görülmüş ve karışımlarda kil miktarlarına bağlı olarak üç farklı durumun, iniş çıkış hareketlerinin olduğu gözlemlenmiştir.

1995 yılında E. Bayoğlu, killi kumların kayma dayanımı ve sıkışabilirliği konusunda çalışma yapmıştır.

Kum ve kil karışımlarının kayma dayanımı ve sıkışabilme özellikleri üzerine yapılan çalışmada, hiç silt ve kil içermeyen kumdan, kum yüzdesi sıfır olan silt-kil karışımlarına kadar geniş dane dağılımı ele alınmıştır. Karışımlarda ince malzeme oranı baz alınmış, karışımlardaki oranların değişiminin kayma dayanımına ve sıkışma ile oturma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İnce malzeme oranı %5, 15, 35, 50, 75, 100 olan altı karışım üzerinde yapılan drenajlı kesme deneyleri sonuçlarına göre, %50'lere kadar kayma dayanımı açıları genel olarak 30-38 dereceler arasında oynamakta ve yüzdelerin artmasıyla beraber ufak bir düşme göstermektedir. %50'lerden sonra ise açıklardaki azalma çok belirginleşerek 10 derece düzeyine kadar düşmektedir.

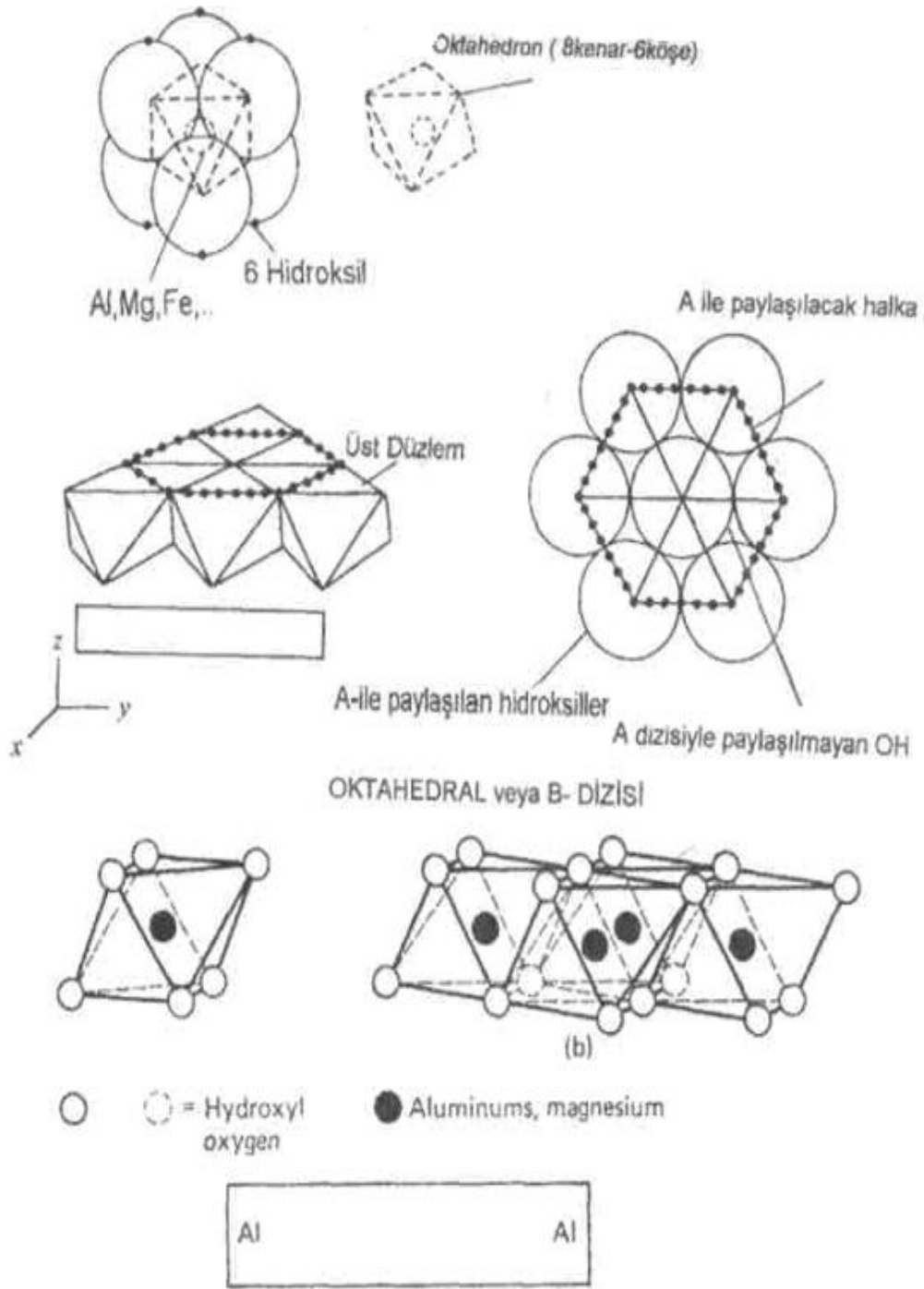
## **BÖLÜM 2. KİLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ**

### **2.1. Kil Nedir**

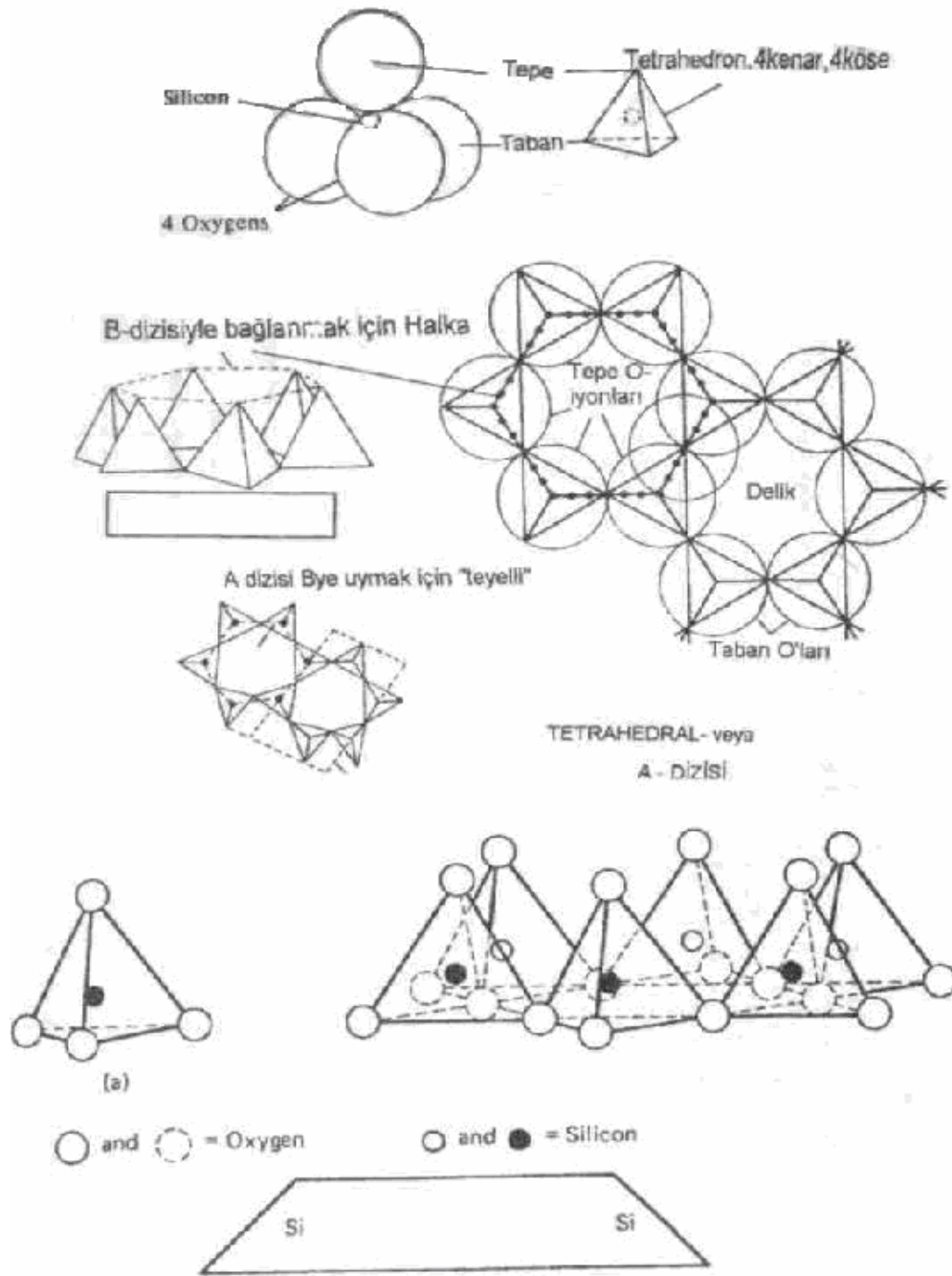
Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Dane boyutu iki mikron veya daha küçüktür. Aynı boyuttaki başka minerallerden farklı olarak su ile karıştırıldığında çamur oluşturur. Kil sadece mühendis ve jeologun ilgilendiği bir ortam değil, tarım, ormancılık, seramik endüstrisi ve tıpta da önemli bir endüstriyel gereçtir. Killer birçok durumda geoteknik mühendisinin yararına özelliklerden dolayı aranır. Dolgu barajlarda ve atık depolarında geçirimsizliğin sağlanması, göletlerin su tutması için ve kazıldığında kendini tutamayan zeminlere pelteleşebilir bulamaç halinde etkin destek sağlamak amacıyla kullanılır. Ancak genelde kil, varlığı önemli mühendislik sorunları meydana getirdiğinden istenmeyen malzemedir. Killi zeminden anlaşılan ise, bileşenlerin kil mineralleriyle bazı diğer minerallerden oluşan, plastisitesi olan, kohezyonlu bir zemindir. Kil mineralleri çok küçük partiküller olup, elektrokimyasal olarak çok aktiftirler. Bir zemin kütlesi içinde az miktar dahi olsa kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil miktarı arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir [1].

### **2.2. Kil Mineralleri**

Kil mineralleri kayaları oluşturan birincil minerallerin ayrışması ile oluşurlar. Şekil 2.2.'de görüleceği üzere, kil mineralleri içerdikleri elementlere ve bağ yapılarına göre silika tabakaları, silika zincirleri, 8 köşeli tabakalar şeklinde adlandırılırlar.



Şekil 2.1. A ve B tabakalarının yapısı



Şekil 2.2. A ve B tabakalarının yapısı

## 2.3. Kil Gruplarının Yapısı

### 2.3.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması

Killerin sınıflandırılmasında esas olan özellikler;

1. Bir hücre, veya tabakanın kalınlığı
2. Tabakanın di-tri-oktahedral özelliği ve iyon içeriği
3. Tabakaların dizilişi ve diziliş düzeni olabilir

Tüm kil mineralleri iki, üç veya dört tabakalı kristallerden oluşmuştur. Bu tabakalar arasındaki zayıf bağların varlığı su ve diğer iyonların buralara yerleşmesine izin verebilir. Bazı topraklarda kristal yapısının kesin belirlenemediği ve bir gruba içerilemeyen organik karakterli malzeme bulunabilir. Bu malzemeye alofan denir [4]. 7 farklı kil gurubu bulunmaktadır [4].

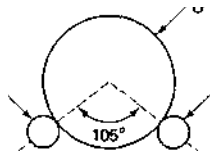
Kaolinit-Serpatin Gurubu: Ardışık silika ve 8 köşeli tabakaların 1:1 dizilimiyle oluşmuştur.

1. Halloysit: Hidratlı kaolinittir.
2. Profilit – Talk Gurubu: 2:1 tabakalı yapı gösterirler.
3. Smektit Gurubu: Tabaka birim yükü 0,2 – 0,6 arasında değişen 2:1 tabakalı gurubun üyesidir. Tabakalar arasına su ve organik sıvılar girmesi sonucu tabaka kalınlığının değişkenlik göstermesidir.
4. Vermikülit Gurubu: 2:1 tabakalı ve magnezyum iyonlarıyla bağlanma özelliği de kloritleri anımsatmaktadır.
5. Mika Gurubu: Doğada en çok karşılaşılan illit olarak adlandırılan tiptir. Dioktahedral yapılıdır.
6. Klorit Gurubu: Yapı vermikülite benzemekle beraber iyi organize bir sekiz kenarlı tabakası, mika tabakaları arasında bulunan suyun yerini almıştır.

7. Karışık Tabakalı Killer: Toprakların içinde çoğunlukla birden fazla kil minerali birlikte bulunur. Bu minerallerin kristal yapılarındaki benzerlik nedeni ile bazen bir dane içinde iki veya fazla mineral görülür. Bu tabakalanma tekrarı belirli bir düzende olabileceği gibi, rasgele de olabilir.
8. Kristal Yapısı Olmayan Kil Boyutu Malzemeler: Atomik yapılar düzensizdir. Amorf olarak adlandırılırlar. En bol volkan küllerinde bulunur.

#### 2.4. Kil Mineralleri ile Su Arasındaki Etkileşim

Zeminler çöller gibi özel durumlar dışında hemen hiçbir zaman sudan ayrı bulunmazlar. Bu nedenle kil su ilişkileri özel olarak incelenir. Suyun granüle zeminlerin davranışı üzerinde önemli sayılacak bir etkisi yoktur. Örneğin bir kumun kayma dayanımı doymuş veya kuru hallerde yaklaşık aynıdır. İstisna olarak deprem veya patlama gibi dinamik yüklere maruz kalan gevşek kumlarda bulunan suyun durumudur. Diğer taraftan ince taneli zeminler özellikle killer suyun varlığından çok önemli derecede etkilenirler [2].



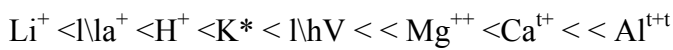
Şekil 2.3. Bir su molekülünün şematik diyagramı (Lambe, 1953'den)

Suyun kil yüzeyine çekilmesi kil yüzeyine yakın kesimde çok kuvvetli; yüzeyden uzaklaştıkça giderek azalmaktadır. Tam yüzeyde su molekülleri çok sıkıca tutulur ve kuvvetlice yönlendirilir. Ölçüm sonuçlarına göre kil yüzeyine yakın suyun termodinamik ve elektrik özellikleri "serbest suyunkinden" daha farklıdır (Mitchell, 1976) [2].

Kil kristalinin yüzeyindeki negatif yükün kaynağı daha önce bahsedilen izomorf yer değiştirmeden ve kristal kafesindeki (özellikle yüzeydeki) kusurlardan ileri gelmektedir. "Kırık" kenarlar kristal kenarlarındaki dengesiz yük oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Kristaller elektriksiz olarak nötürleşme eğiliminde olduklarından, mevcut negatif yüke bağlı olarak sudaki kationlar kil yüzeyi

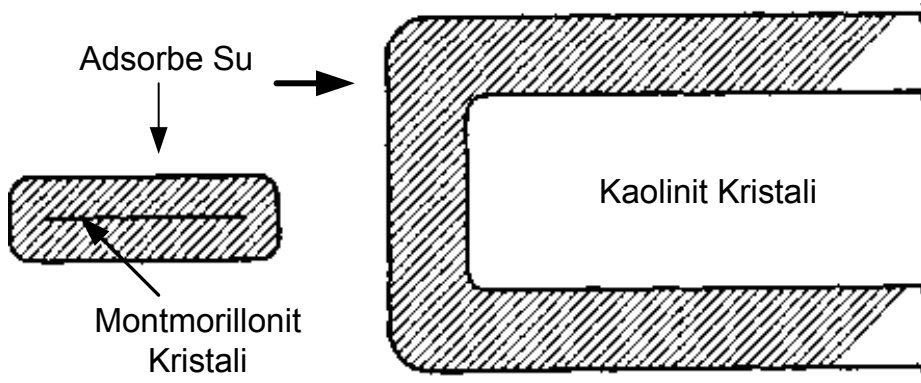
tarafından kuvvetlice çekilir. Değişik kil türlerinin yük dengesizlikleri de farklı olup, değişebilir katyonları çekme eğilimleri de farklıdır. Bir katyonun aynı değerlikteki başka bir katyon ile veya orijinal katyonun değerliğinin yarısı değerlikte olan iki katyon ile kolaylıkla değişebilmesinden dolayı "değişebilir" iyonlar olarak adlandırılırlar. Göreceli boylarından ve spesifik yüzeylerinden de tahmin edileceği gibi, montmorillonitin yük dengesizliği oldukça büyüktür ve değişebilir katyonlar için kaolinitten çok daha fazla çekim gücüne sahiptir. Bu anlamda illit ve klorit arada bir yerde bulunmaktadır [4].

Katyonların değişme veya ornatma kolaylığı başta katyon değerliği olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Yüksek değerlikli katyonlar daha düşük değerlikli katyonların yerini daha kolay almaktadır. Aynı değerlikteki iyonlar için hidratlı iyonların boyutu önem kazanmaktadır. İyon ne kadar büyükse ornatma gücü de o kadar büyük olmaktadır. İş karmaşıklaştıran bir diğer olgu da potasyumun tek değerlikli olmasına rağmen silika levhasındaki altıgen deliklere oturmasıdır. Bu nedenle, kil yüzeyinde çok kuvvetlice tutulacak ve sözgelimi aynı değerlikteki sodyumdan daha büyük ornatma gücüne sahip olacaktır. Katyonlar ornatma gücüne göre yaklaşık olarak sıralanabilir. Sıralamadaki öncelik kilin türüne, hangi iyonun değiştiğine ve muhtelif iyonların sudaki konsantrasyonuna bağlıdır. Giderek artan şekilde ornatma gücüne göre iyonların sıralaması şöyledir:



İyon değişiminin pratik açıdan bazı faydaları bulunmaktadır. İyon değişimi sayesinde bazı zeminlerin stabilize edilmesi veya dayanımının artırılması mümkündür. Buna örnek olarak kireç (CaOH), kalsiyumun sodyumdan daha büyük ornatma gücüne sahip olmasından dolayı, zemin içindeki sodyum ile yer değiştirerek sodyum kilini dengeler. Sodyum montmorillonitin içeren killerin şişme potansiyeli kireç eklenmek suretiyle önemli ölçüde azaltabilmektedir [4].

Adsorblanmış suyun miktarının yaklaşık olarak aynı fakat boyut farklılığından dolayı montmorillonitin daha yüksek aktiviteye, daha yüksek plastisiteye, daha büyük şişme ve büzölmeye sahip olacağını ve yükleme şartlarında daha fazla hacim değişimi göstereceğine dikkat edilmesi gereklidir [2].



Şekil 2.4. Sodyum montmorillonit ve sodyum kaolinit üzerindeki adsorbe su tabakalarının göreceli boyutları (Lambe 1958)

## 2.5. Kilde Doku ve Yapı

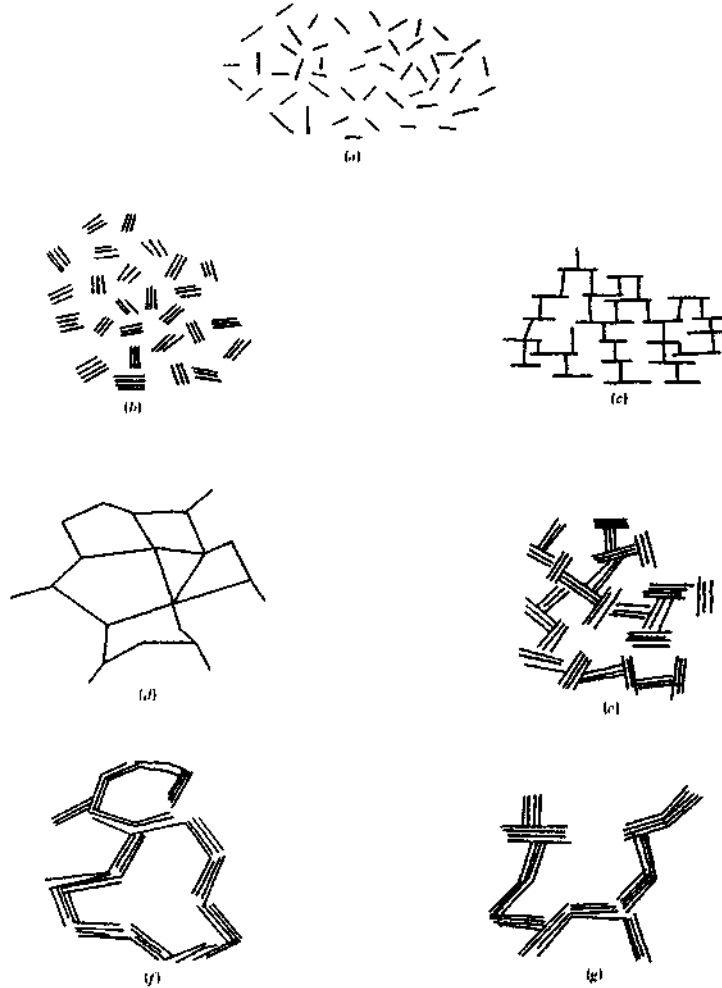
Geoteknik mühendisliği uygulamalarında zemin yapısı partiküllerin veya mineral tanelerinin geometrik dizilimi ve bunlar arasında etkiyen partiküller arası kuvvetler şeklinde anlamlar taşımaktadır. Zemin dokusu sadece partiküllerin geometrik dizilimini ifade eder. Granule veya kohezyonsuz zeminlerde partiküller arası kuvvetler çok düşüktür. Bu nedenle, zemin dokusu ve yapısı çakıl, kum ve bir dereceye kadar da şiltte aynıdır. Bunun aksine, ince taneli kohezyonlu zeminlerde partiküller arası kuvvetler oldukça büyüktür. Bu nedenle, ince taneli zeminlerin yapısında bu kuvvetler ve doku birlikte gözetilmelidir. İnce taneli bir zeminin yapısı o zeminin mühendislik davranışını önemli ölçüde etkiler [2].

### 2.5.1. Dokunun ayırımı

Dokuyu tanımlamadan önce killer ve killi zeminlerin yapısına bakmakta yarar vardır. Killer özel durumlar dışında saf olarak bulunmadıklarına göre, daha büyük boyutlu şiltle ince kum karışıma girdiğinde kilin bazen daneler arasında köprü görevi yaptığı, bazen de kendi arasında kümelendiği görülmektedir. Bu tür dizilimlerin etkisinin mekanik özelliklere yansımaları beklenebilir. Kilin doku ve yapısı o kilin bir asıltıda (süspansiyon) ,veya çok daha düşük su muhtevasında olması (çamur) koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir. Bu nedenle ilk olarak kolloid kimyasında



modellenmiş olan yapı kavramının örneğın, inşaat mühendisliğı amaçları için kompaksiyonla sıkıştırılmış bir zeminin yapısından farklı olduğı anlaşılmıştır. Su-kil karışımlarında (asılı) danelerin birbirleriyle ilişkileri başlıca dört şekilde tariflenmektedir [1].

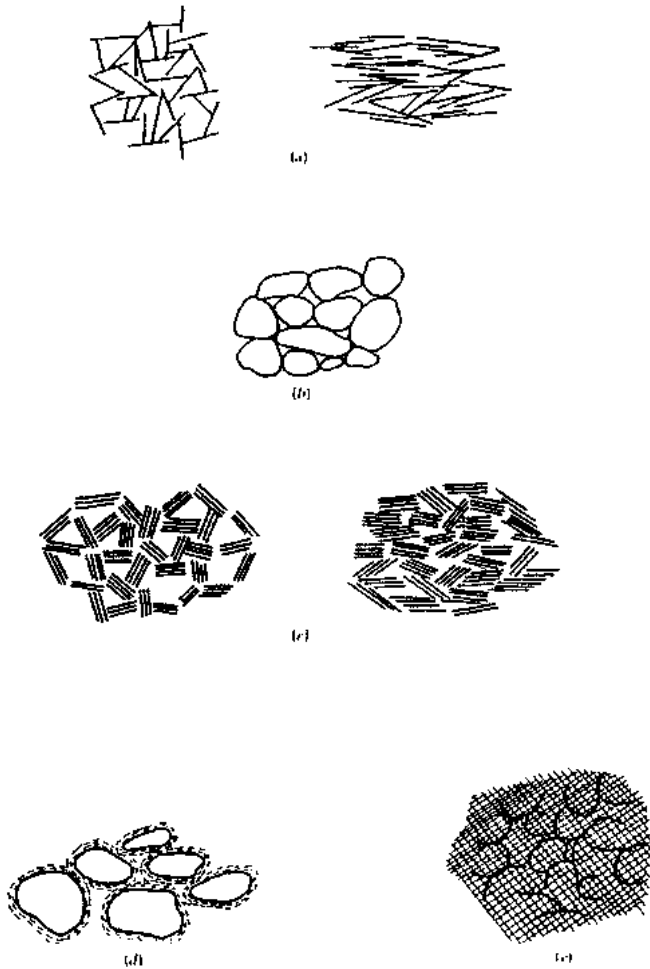


Şekil 2.5. Kil - Su Asılısında Dokular' (a)dağınık ve ayrıık (b) ayrıık ve kümelenmiş (c) kenar-yüze floklanmış ve dağınık (d)kenar-kenara floklanmış ve dağınık (e)yüz-kenara floklanmış ve kümelenmiş (f)kenar-kenara floklanmış ve kümelenmiş (g)yüz-kenar ve kenar-kenara floklu ve kümeli [1]

- Dağınık (disperse): kil daneleri arasında yüz yüze dokunma yok ;
- Kümelenmiş (aggregated): birçok kil danesi arasında yüz yüze dokunma var;
- Yumaklanmış (flocculated): kil kümeleri arasında yüz-yüze ve kenar- yüze dokunma oluşmuş
- Ayrıık (deflocculated): daneler kümelenmiş, ancak kümeler arasında bağ yok.

Bu konulardan bazıları elektron mikroskopunda tasımlanmışsa da özellikle tekil danelerin oluşturduğu doku için henüz yeterli bulgu sağlanamamıştır. Şekil 2.5.'de kil asıltılarının yapısı tariflenmektedir.

Sistemde su miktarının asıltı oluşturacak düzeyde olmadığı durum ve ortamlarda ve iri danelerin varlığında dane dizilimleri yukarıdaki modelden farklılaşmaktadır. Şekil 2.6.'da su oranının zeminlerde plastik limit, likit limit gibi olağan düzeylere indiği durumlarda görülebilecek ideal doku geometrileri verilmiştir. Aradaki fark, azalan su muhtevasından kaynaklanmaktadır. Zemin dokusunda dane dizilimleri, dane kümelenmeleri ve boşluklar olarak üç öge tanımlanmaktadır. Su muhtevası yeterince düştüğünde dağınık ve yumaklı yapı asıltıda olduğu gibi açıkça görülemezse de zeminin özelliklerinde bunu gösteren değişimler ölçülmektedir [1].



Şekil 2.6. Zeminde Dokular (a) kilde bireysel dane gruplanmaları (b) kum ve şilte bireysel dane dizilimi (c) kil gurupları dizilimi (d) Kille kaplanmış silt ve kum dizilimi (e) tam belirginleşmemiş dizili [1]

## **BÖLÜM 3. KIRILMA KRİTERLERİ**

### **3.1. Giriş**

Diğer bütün malzemelerde olduğu gibi, zeminler üzerine uygulanan yüklerin yol açtığı gerilmeler belirli sınırları aştığı zaman zeminde göçme meydana gelmektedir. Değişik malzemelerin göçme biçimlerinin birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. Elasto-plastik davranış gösteren malzemelerde akma tipi göçme gözlenirken çelik gibi kırılğan malzemelerde ani göçme meydana gelebilmektedir.

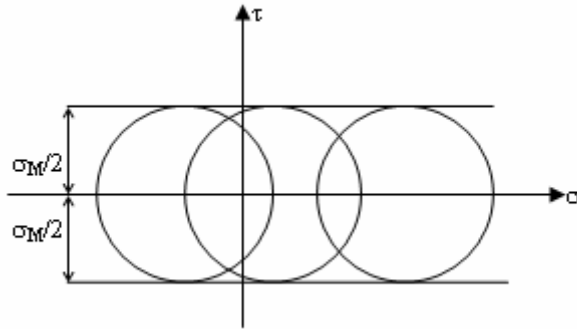
Bir temel veya şev üzerine gelen yük veya gerilme, deformasyonların kabul edilemeyeceği düzeye kadar arttırılırsa, o temel veya şev için 'yenildi' ifadesi kullanılır. Bu durumda zeminin dayanımına işaret ediyoruz demektir. Dayanım, malzemenin katlanabilineceği maksimum gerilme demektir. Geoteknik mühendisliğinde bahis konusu olan genellikle zeminlerin kayma dayanımıdır. Çünkü temellerde veya zemin mühendisliğinde karşılaştığımız problemlerin çoğu aşırı şekilde uygulanan kayma gerilmelerinden kaynaklanmaktadır [2].

### **3.2. Zeminlerin Kayma Mukavemeti**

Zeminlerde göçme meydana gelmesi için, olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Bu düzlem her zaman en büyük kayma gerilmesi düzlemi olmayabilmektedir. Genel olarak göçme belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Zeminin kayma mukavemeti ise, göçmeye meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanabilir [4].

### 3.3. Kırılma Kriteri

Maksimum Kayma Gerilmesi Kriteri (Tresca Kriteri): Bu kritere göre; çok eksenli gerilme halinde bir kesitte oluşan en büyük kayma gerilmesi, tek eksenli gerilme halindeki kayma gerilmesine eşit olduğunda, cismin kırılma durumuna eriştiği kabul edilir.



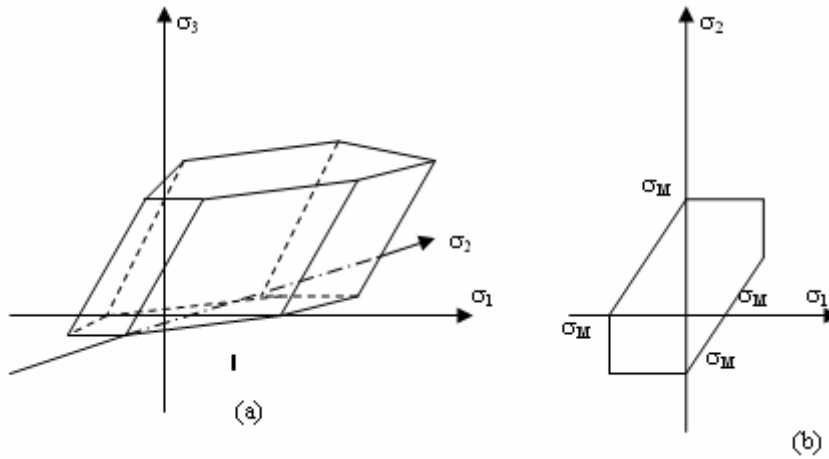
Şekil 3.1. Maksimum kayma gerilmesi kriterinde çok eksenli gerilme halinde Mohr daireleri

Bu kriter,

$$(\sigma_1 - \sigma_3)/2 = \sigma_M / 2 \quad \rightarrow \quad (\sigma_1 - \sigma_3) = \sigma_M$$

Şeklinde ifade edilir. Bu kriter, cismin kırılma durumuna geçmesinde en büyük ve en küçük gerilmeyi göz önüne almakta, ortanca gerilmeyi göz önüne almamaktadır. Çekme ve basınçta mukavemetleri aynı olan cisimlerde başarılı bir şekilde uygulanan bu kriter, akma şartı olarak da plastisite teorisinde önemli rol oynar.

Şekil 3.1. 'de görüldüğü gibi, çok eksenli gerilme haline ait Mohr daireleri  $\sigma_M$  ile belirlenen iki doğru arasında kaldığı zaman, cisim kırılma durumunda değildir. Teğet hali limit durumu göstermektedir. Cisme  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_0$  gibi hidrostatik basınç veya çekme gerilmesi ilave edildiğinde, Mohr dairesi  $\sigma$  ekseninde bir nokta şeklinde görüleceğinden, maddesel davranışta hiçbir değişiklik meydana gelmez yani kırılma gerçekleşmez.



Şekil 3.2. Maksimum kayma gerilmesi kriterinin gösterimi ve Tresca altıgeni

Bu kriter  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  eksen takımında sınır yüzeyi altı köşeli ve iki ucundan açık, eksen koordinat eksenleri ile eşit açılar yapan prizmatik bir yüzey ile gösterilir. Bu yüzeyin  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  düzlemi ile arakesitine “Tresca altıgeni” denir ve bu altıgen şekil 3.2.’de görülmektedir [10].

Maksimum kayma gerilmesi kriteri, çekme ve basınçta aynı özelliği gösteren sünek cisimlerde iyi sonuçlar verir. Buna karşılık gevrek cisimlerde bu kriterle tatmin edici sonuçlar elde edilemez.

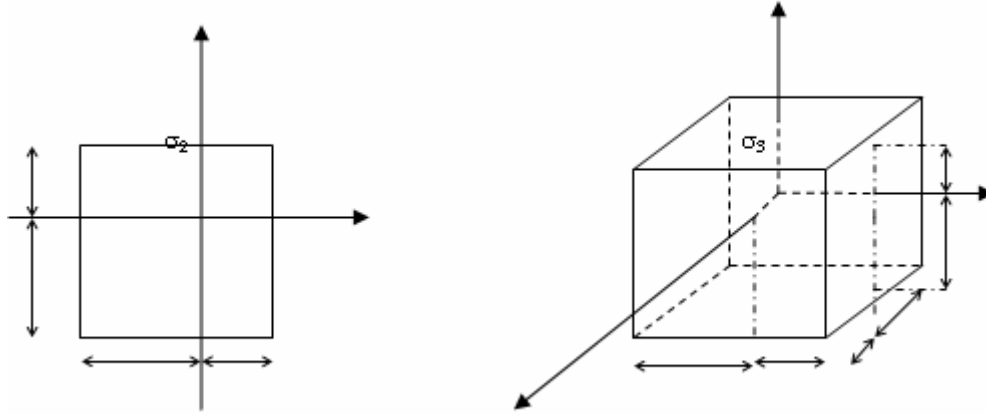
Maksimum Normal Gerilme Kriteri (Rankine Kriteri): Bu kriter, kırılma durumuna geçmede etken neden olarak en büyük normal gerilmeyi göz önüne alır. Dolayısıyla karşılaştırma koşulu,

$$\sigma_M = \sigma_1$$

olur. En eski kriter olan bu kriterde ortanca ve en küçük gerilme göz önüne alınmamaktadır. Gevrek cisimde, çekme tipi gerilme bulunması halinde iyi sonuçlar vermektedir.

Bir cisme hidrostatik basınç uygulandığında, yani  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_0$  olduğunda, cismin mukavemetini kaybettirmek mümkün olmamaktadır. (Hidrostatik basınç hali, mukavemet kriterlerinin belirli ölçüde güvenilirliğini kontrol etmede kullanılır.) Bu kriter, hidrostatik basınçta kırılma durumunu vermez. Çünkü bu kritere göre, hidrostatik basınçta uygulanan  $\sigma_0$  gerilmesi  $\sigma_M$ 'i geçtiği takdirde cismin kırılma

durumuna gelmiş olması gerekir. Oysa hidrostatik basınç hali ile cisim hiçbir zaman kırılma durumuna getirilemez [13].



Şekil 3.3. Maksimum normal gerilme kriterinin gösterimi ve iki eksenli gerilme halinde güvenli bölgenin sınırları

Bu kriterin belirlediği sınır yüzey  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  eksen takımında şekil 3.3.'de gösterilen küp ile ifade edilir. Şekilde  $\sigma_M$  ve  $\sigma'_M$  ile gösterilen gerilmeler, cismin tek eksenli gerilme halindeki çekme ve basınç mukavemetleridir. Verilen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  asal gerilmelerine karşı gelen nokta, şekil 3.3.'de görülen kübün içinde ise, cisim için kırılma durumu söz konusu değildir. Kübün yüzeyleri ise, kırılma durumunun sınırlarını göstermektedir. Şekil 3.3.'de iki eksenli gerilme halinde, güvenli bölgenin sınırları görülmektedir.

Bu kriter, basitliği bakımından bazı özel gerilme halleri için birçok ülke şartnamelerinde kabul edilmiş olmasına rağmen; basit kayma, hidrostatik basınç gibi durumlarda doğru sonuçlar vermez [13].

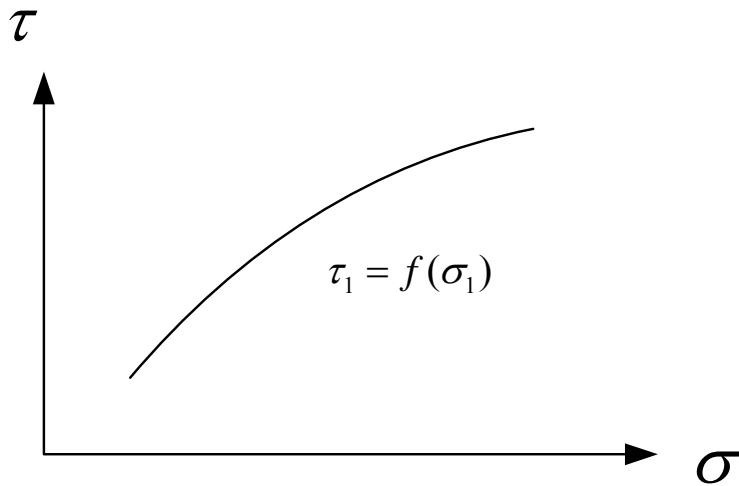
### 3.3.1. Mohr-Coulomb yenilme kriteri

Zeminler için, göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan birçok hipotez geliştirilmiştir. Bunlar içinde en basit olanı ve uygulamada yaygın olarak kullanılanı Mohr-Coulomb göçme kriteri olmaktadır. Buna göre, zeminin kayma mukavemeti (birlikte göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin sınır değerleri) şekil 3.4'de gösterilen eğri ile temsil edilmektedir. Bu

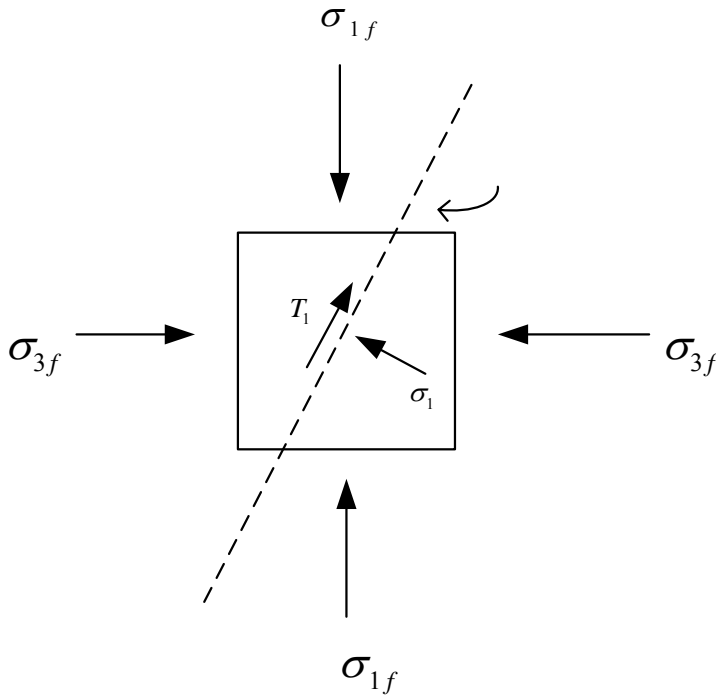
şekilde, normal gerilmeler yatay ekseninde, kayma gerilmeleri düşey ekseninde gösterilmekte, göçme zarfı olarak nitelendirilen eğrinin altında kalan gerilme durumları için göçme ortaya çıkmazken, bu zarfa ulaşıldığı anda zeminde göçme meydana gelmektedir. Bu zarfın üzerinde yer alan gerilme durumlarının mümkün olmadığı açıktır. Genel olarak göçme zarfı bir eğri ile temsil edilmekle beraber, uygulamada bu eğri genellikle yaklaşık bir doğru olarak kabul edilmektedir. Bu doğrunun düşey ekseni kestiği nokta  $c$  ve yatay ile yaptığı açı  $\phi$  ile gösterilirse, kayma mukavemetini veren bağıntı

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $c$  ve  $\phi$  kayma mukavemeti parametreleri olarak nitelendirilen iki katsayıdır,  $\sigma$  ise göçme yüzeyine etkileyen normal gerilme olmaktadır.



Şekil 3.4. Mohr – Coulomb göçme hipotezi - mohr yenilme kriteri



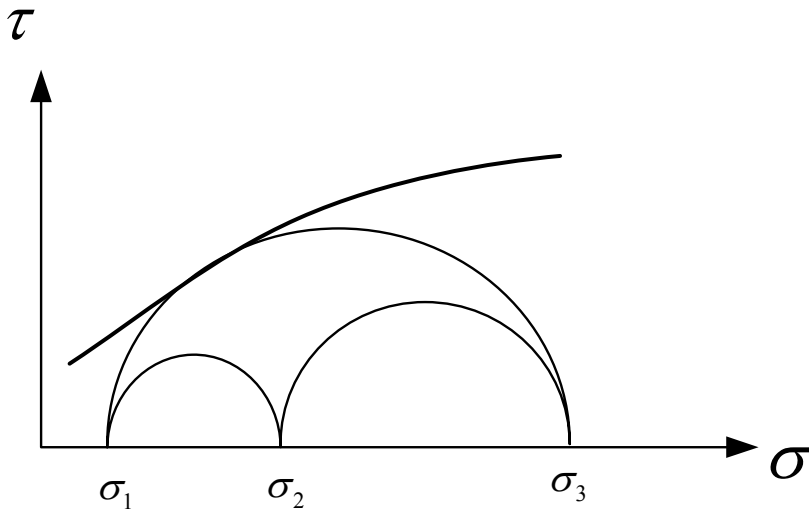
Şekil 3.5. Mohr – Coulomb göçme hipotezi - asal gerilmeleri ve yenilme düzlemindeki gerilmeleri gösteren yenilme elemanı

Zeminlerin kayma mukavemetinin olası bir göçme düzlemi boyunca kaymaya karşı oluşan dirençten kaynaklandığı bilinmektedir. Bu direnç, o düzlem boyunca ortaya çıkan sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki bağıntıda ikinci terimin ( $\sigma \tan\phi$ ) bir sürtünme direnci ifade ettiği açık olarak görülmektedir ve  $\phi$  açısı zeminin kayma mukavemeti açısı (veya içsel sürtünme açısı) olarak nitelendirilmektedir. Kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) sadece dane yüzeyleri arası sürtünmeden kaynaklanan direnci değil, aynı zamanda danelerin birbirine göre hareketine engel olan kilitleme etkisini de içeren toplam direnci temsil etmektedir. Mohr-Coulomb bağıntısındaki diğer kayma mukavemeti parametresi ( $c$ ) ise genellikle kohezyon katsayısı olarak nitelendirilmekle beraber, gerçek fiziksel anlamı çok iyi açıklığa kavuşmuş değildir. Bu katsayının daha yaygın bilinen açıklaması danelerin birbirini tutma özelliğinden kaynaklandığı şeklindedir. Fakat daha sonra görüleceği üzere, aynı zeminin değişik koşullarda yüklemeye tabi tutulması ile bu katsayı çok farklı değerler alabilmektedir. Bu gerçeği göz önüne alan bazı araştırmacılar  $c$  parametresinin zeminin fiziksel bir özelliği olmadığı, yalnızca belli koşullarda sürtünme direncini ifade etmek için kullanılan bir katsayı olarak düşünülmesi gerektiği kanısındadırlar [3].



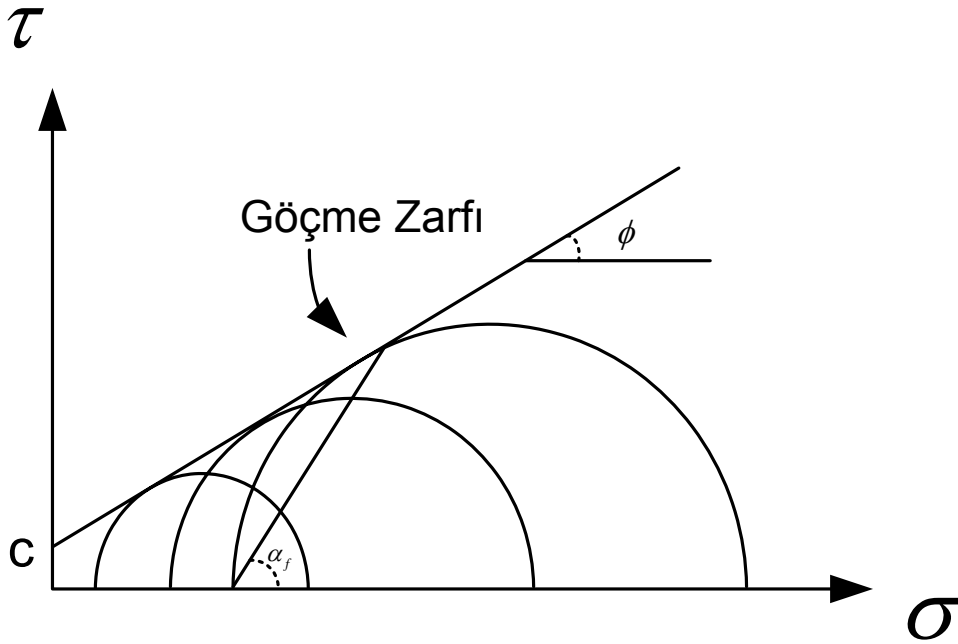
### 3.3.1.1. Göçme durumu ve mohr gerilme daireleri

Zemin içinde bir noktada etkiyen gerilme durumunun grafiksel olarak Mohr gerilme daireleri ile gösterebileceğimizi biliyoruz. Mohr gerilme dairesi ile Mohr-Coulomb göçme zarfı aynı şekil üzerinde gösterilirse, uygulanan yüklerin yol açtığı gerilme durumunun göçmeye yol açıp açmayacağını açık olarak görmek mümkün olmaktadır. Şekil 3.6.'da değişik gerilme durumlarını temsil eden üç mohr gerilme dairesi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Mohr gerilme daireleri ve göçme zarfı

A ve B gerilme daireleri göçme zarfının altında kaldığı için göçme meydana gelmeyecektir. Buna karşılık C dairesi göçme zarfına değdiği için, bu gerilme durumuna yol açan  $\sigma_3$  ve  $\sigma_1$  asal gerilmeleri göçme meydana gelmesine neden olacaktır. Şekil 3.7.'de gösterilen Mohr gerilme dairelerinin hepsi göçmeye yol açacak gerilme durumlarını göstermektedir [6,8].



Şekil 3.7. Göçme durumunu gösteren gerilme daireleri

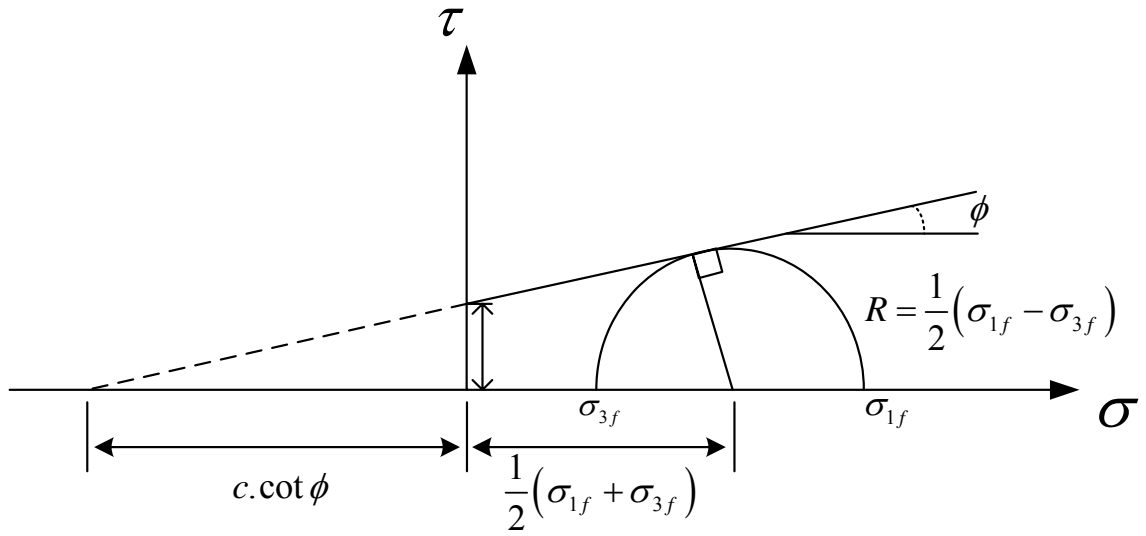
Görüleceği üzere, aynı zeminde göçmeye yol açacak birçok gerilme durumu mevcuttur. Mohr-Coulomb göçme zarfı göçmeye yol açan bütün gerilme durumlarını sınırlamakta olup, bu durumları gösteren gerilme daireleri göçme zarfına teğet olmaktadır. Göçme zarfı aynı zamanda mukavemet zarfı olarak nitelendirilmektedir. Bu doğrunun denklemi zeminin kayma mukavemetini vermektedir. Gerilme dairesinin göçme zarfına teğet olduğu noktadan çizilen doğru ise göçme düzleminin eğimini (en büyük asal gerilme düzlemi ile yaptığı açığı) vermektedir. Göçme düzleminin eğimini veren açının  $\alpha = 45 + \phi/2$  olduğu kolaylıkla görülebilmektedir.

Göçmeye yol açan asal gerilme değerleri ile zeminin kayma mukavemeti parametreleri arasındaki ilişkiyi trigonometrik bağıntılar şeklinde ifade etmek mümkün olmaktadır. Şekil 3.8'de göçmeye yol açan gerilme durumunu gösteren bir Mohr gerilme dairesi ve mukavemet (göçme) zarfı gösterilmiştir. Bu şekilde gözlenen trigonometrik ilişkiler kullanılarak, göçme durumu için

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) + 2c \left( \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \right) = \sigma_{3f} \tan^2(45 + \phi/2) + 2c \tan(45 + \phi/2)$$

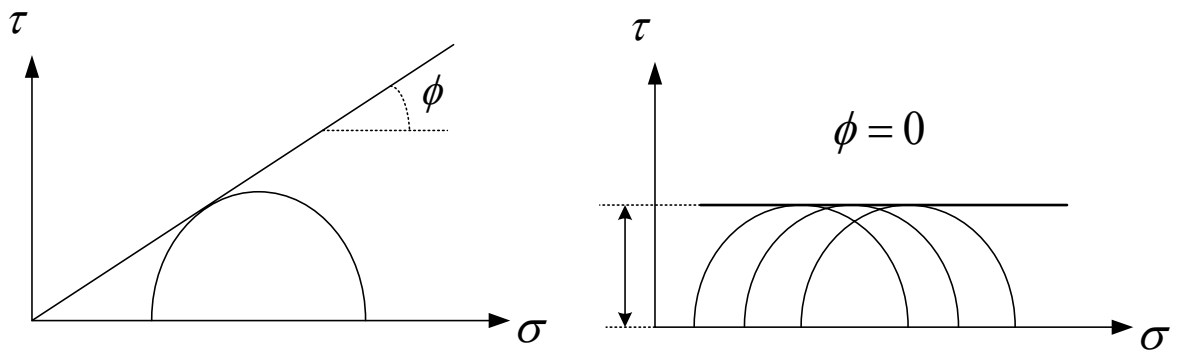
$$\sigma_{3f} = \sigma_{1f} \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) - 2c \left( \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \right) = \sigma_{1f} \tan^2(45 - \phi/2) + 2c \tan(45 - \phi/2)$$

bağıntıları elde edilebilmektedir.



Şekil 3.8. Göçme durumunda asal gerilmeler arasındaki ilişki

Bazı zeminlerde veya bazı özel yükleme durumlarında kayma mukavemeti parametrelerinden birisi sıfır değerini alabilmektedir. Şekil 3.9.a' da ve şekil 3.9.b'de  $\phi=0$  durumlarındaki kayma mukavemeti zarfları gösterilmiştir [4,11].



Şekil 3.9. Kayma mukavemeti zarfının özel durumları

Kayma mukavemeti parametrelerinden  $c$  katsayısının sıfır değeri alması durumunda, zeminin kayma mukavemeti

$$\tau = \sigma \tan \phi$$

ve göçme anında asal gerilmeler arasındaki ilişki

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) = \sigma_{3f} \tan^2(45 + \phi/2)$$

$\phi=0$  durumunda ise, kayma mukavemeti

$$\tau = c$$

ve göçmeye yol açan asal gerilmeler farkı

$$(\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) = 2c$$

olmaktadır.  $\phi=0$  durumunda kayma mukavemetinin asal gerilmelerden bağımsız olduğu görülmektedir.

### 3.4. Zeminlerin Kayma Mukavemetinin Deneysel Olarak Saptanması

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin deneysel olarak saptanmasında dikkat edilmesi gereken en temel kural, deney koşulları ile arazi koşulları arasında mümkün olabilecek en yüksek benzeşimi sağlamak olmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme davranışının ve kayma mukavemetinin belirlenmesinde en önemli faktörler;

1) Zeminin arazide yüklenmeden önce yerindeki başlangıç durumunu yansıtan,

- Konsolidasyon basıncı
- Boşluk oranı
- Su muhtevası
- Suyu doygunluk derecesi

2) Arazi yükleme türü ve hızı

3) Arazi drenaj koşulları olmaktadır.

Yükleme hızı ile drenaj koşullarını bir arada düşünmek gerekmektedir. Permeabilitesi yüksek zeminlerde, deprem sırasında etkiyen yükler gibi özel durumlar hariç, uygulamada rastlanan çoğu yükleme hızları için zemin içindeki suyun dışarı çıkma olanağı bulacağı (serbest drenaj durumu) varsayılabilir. Fakat

permeabilitesi düşük zeminlerde yükleme hızı ile zeminin permeabilitesi arasındaki göreceli ilişki göz önüne alınmalıdır. Çabuk yüklenme durumunda suyun dışarı çıkmaya zaman bulamayacağı (drenajsız durum) buna karşılık yavaş yüklenme durumunda serbest drenaj durumunun geçerli olacağı kabul edilebilir. Birçok problemde ise, hem drenajsız hem de drenajlı durumu göz önüne almak gerekli olmaktadır. Kısa süreli stabilite problemlerinde (örneğin inşaat veya kazı sırasında) drenajsız koşullar geçerli olurken, uzun süreli stabilitenin incelenmesinde drenajlı durumun göz önüne almak gerekmektedir [12].

Yukarıda sıralanan faktörler (başlangıç durumu ile yükleme ve drenaj koşulları) zeminlerin kayma mukavemetini büyük oranda etkilediği için, kullanılan deneysel yöntemlerde bu faktörlerin kontrol edilmesine ve arazide geçerli olacağı öngörülen koşullar ile uyumlu olmalarının sağlanmasına dikkat etmek gerekmektedir. Uygulamada birbirinden çok farklı koşullar ile karşılaşıldığı ve bunların hepsini tek bir deney yöntemi ile kontrol etmek mümkün olmadığı için, zeminlerin kayma mukavemetini belirlemede kullanılan birçok laboratuvar ve arazi deney yöntemleri geliştirilmiştir.

### **3.4.1. Laboratuvar deney yöntemleri**

Arazide bir yapı temeli veya toprak dolgu altında kalacak veya herhangi bir başka yüklemeye maruz kalacak zemin tabakalarının gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerini belirlemek için, bu tabakalardan numune almak ve bunları laboratuvarda deneye tabi tutmak amacı ile birçok deneysel yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında, daha yaygın olarak kullanılan yöntemler;

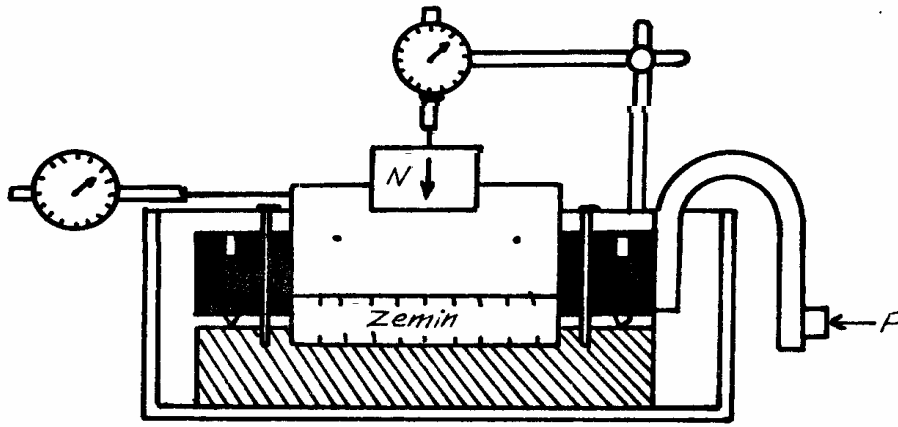
1. Kesme Kutusu Deneyi
2. Serbest Basınç Deneyi
3. Üç Eksenli Basınç Deneyi
4. Laboratuvar Veyn ve Düşen Koni Deneyleri

olmaktadır.

### 3.4.1.1. Kesme kutusu deneyi

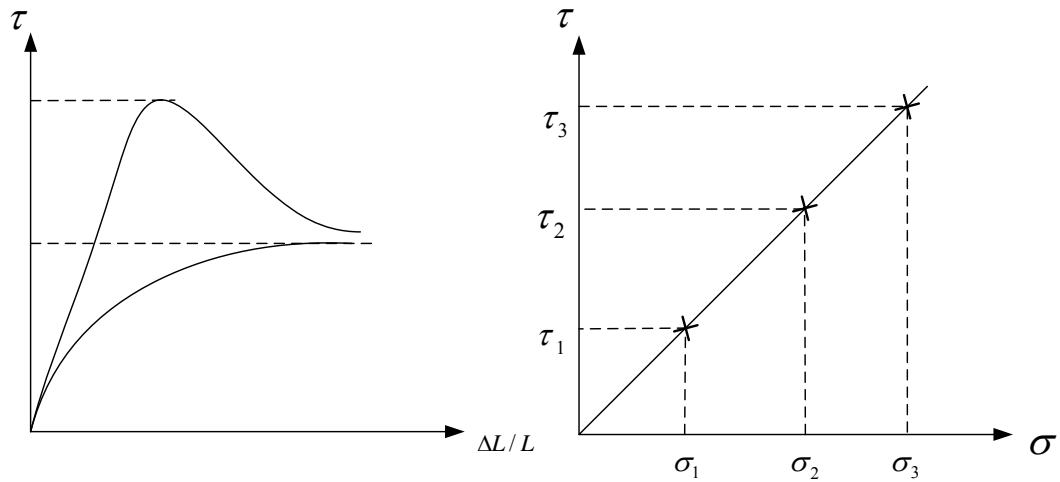
Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır.

Şekil 3.10'da kesme kutusu deney düzeni şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kesme kutusu deney aleti [4]

Numune üzerine normal gerilme uygulamak ve böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Bu deneyde, zemin önceden belirlenmiş (numunenin ortasından geçen) yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır. Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmekte ve şekil 3.11.a'da gösterilene benzer deneysel eğriler elde edilmektedir. Eğrilerin şeklinin zeminin cinsine ve başlangıç durumuna bağlı olduğu gözlenmektedir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında tekrarlanarak şekil 3.11.b'de gösterildiği gibi zeminin mukavemet zarfını elde etmek mümkün olmaktadır [8,6].



Şekil 3.11. Kesme kutusu deneyi sonuçları

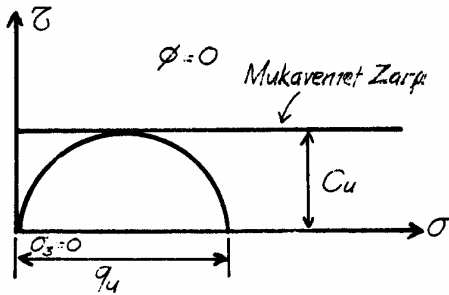
Bu deney düzeni ile, kesme sırasında zeminin drenajını kontrol etmek ancak yükleme hızını zeminin permeabilitesine göre ayarlamak ile mümkün olmaktadır. Permeabilitesi yüksek zeminlerde (kumlarda) drenajlı koşullar geçerli olurken, düşük permeabiliteli zeminlerde (killer gibi) normal yükleme hızlarında 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  $\Phi$  drenajlı yüklemeler için olup, arazi koşulları ile uyumlu olduğu kabul edilebilir. Deney numunesinin arazi boşluk oranına sahip olacak şekilde hazırlanmasına dikkat etmek gerekmektedir [4].

### 3.4.1.2. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca aksel doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır aksel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması (aksel şekil değiştirmesi) ölçülmektedir. Aksel gerilmenin en büyük değeri (veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri) zeminin serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ) değerini vermektedir.

Numunede oluşan kayma düzleminin alt ve üst yükleme başlıkları ile kesişmemesi için, boy uzunluğu/çap oranının  $h/d > 2$  olarak seçilmesi uygun olmaktadır.

Serbest basınç deneyinin herhangi bir yanal destek olmaksızın kendi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanması mümkün değildir. Bu deney yöntemi yalnızca killi zeminler için kullanılmaktadır. Deney sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilmediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir. Eksenel yüklemeye önce zemini konsolide etmek ve eksenel yüklemeye sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarını ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlayıcı yönlerine karşın, serbest basınç deneyi killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Bir serbest basınç deneyinde göçme anındaki gerilme durumunu gösteren mohr dairesi ve drenajsız kayma mukavemeti zarfı şekil 3.12’de gösterilmiştir [13].



Şekil 3.12. Serbest basınç deney sonuçlarını gösteren mohr dairesi ve mukavemet zarfı

Drenajsız kayma mukavemetinin  $\tau_f = c_u = (1/2)q_u$  olarak elde edilebileceği bu şekilde açık olarak görülmektedir. Fakat bu şekilde elde edilen kayma mukavemetinin, ancak özel arazi yükleme ve drenaj koşullarında geçerli olacağına dikkat edilmelidir.

### 3.4.1.3. Üç eksenli basınç deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan laboratuvar deney yöntemleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biridir. Bu deney düzeni ile, zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe yakın olarak belirlemek mümkündür.



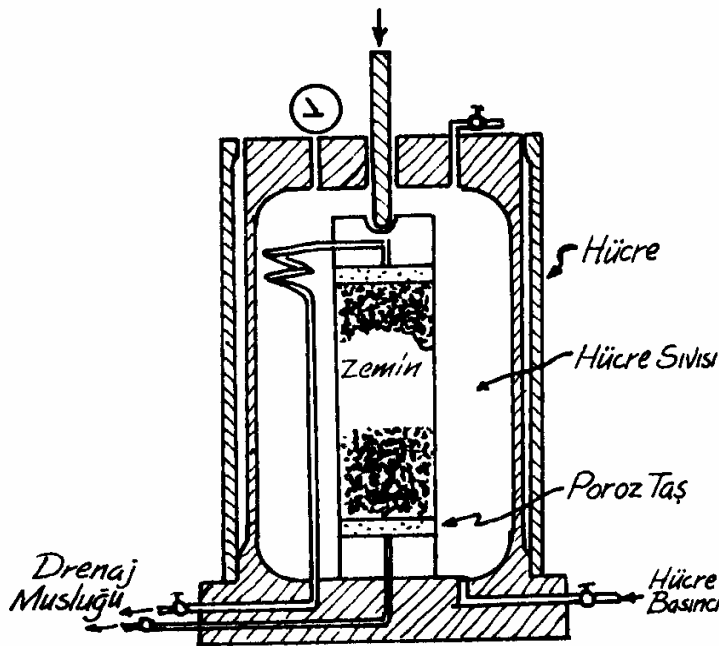
Zemin numunesi, arazi gerilmeleri altında konsolide edilebilmekte ve suya doygunluk derecesi kontrol edilebilmektedir.

Yanal ve eksenel gerilmeler uygulamak sureti ile arazi yükleme izlerine yakın yüklemeler yapılabilmektedir.

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 eksenli basınç deneyinde, silindirik bir zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilmekte ve hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) vasıtası ile zemin numunesi üzerinde hidrostatik bir basınç uygulanabilmektedir. Deney düzeni şekil 3.13.'de gösterilmiştir. Numune etrafına geçirilen bir lastik kılıf zeminin hücreyi dolduran su ile temas etmesini önlemekte ve numune içine ve dışına ayrı ayrı basınçlar uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Numune üst başlığına temas eden bir piston vasıtası ile eksenel gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar vasıtası ile de deney sırasında drenaj durumu (zemin suyunun dışarı çıkıp çıkmaması) kontrol edilebilmektedir [6,14].



Şekil 3.13. Üç eksenli basınç deneyi aleti [4]

Üç eksenli basınç deneyi iki aşamadan oluşmaktadır;

1.Aşama: Zemin numunesi üzerine arazide yüklenmeden önce etkiyen gerilmelerin hücre basıncı vasıtası ile uygulanması. Bu aşamada drenaja izin verilirse numune konsolide edilebilmektedir.

2.Aşama: Eksenel basınç uygulanması. Bu aşama drenajlı ve drenajsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Drenajlı deney yapılması durumunda, yükleme hızının zeminin permeabilitesine göre seçilerek, zemin içindeki suyun rahatlıkla dışarı çıkmasına, dolayısıyla boşluk suyu basıncı artışları oluşmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

Yukarıdaki aşamaların her ikisinde de drenaj durumu kontrol edilerek, üç değişik türde üç eksenli basınç deneyi yürütülebilmektedir.

Konsolidasyonsuz-Drenajsız Deneyler (UU-deneyleri) : Bu tür deneyde, zemin suyunun gerek hücre basıncı uygulanmasında gerekse eksenel yükleme sırasında numuneden dışarı çıkmasına izin verilmemektedir.

Konsolidasyonlu-Drenajsız Deneyler (CU-deneyleri) : Birinci aşamada hidrostatik basınç altında zemin suyunun dışarı çıkmasına (numunenin konsolide olmasına) izin verilmesi, ikinci aşamada drenajsız durumda eksenel yükleme yapılmasıdır.

Konsolidasyonlu-Drenajlı Deneyler (CD-deneyleri) Her iki aşamada da (hidrostatik hücre basıncı uygulanması ve eksenel yükleme) drenaja izin verilmesidir.

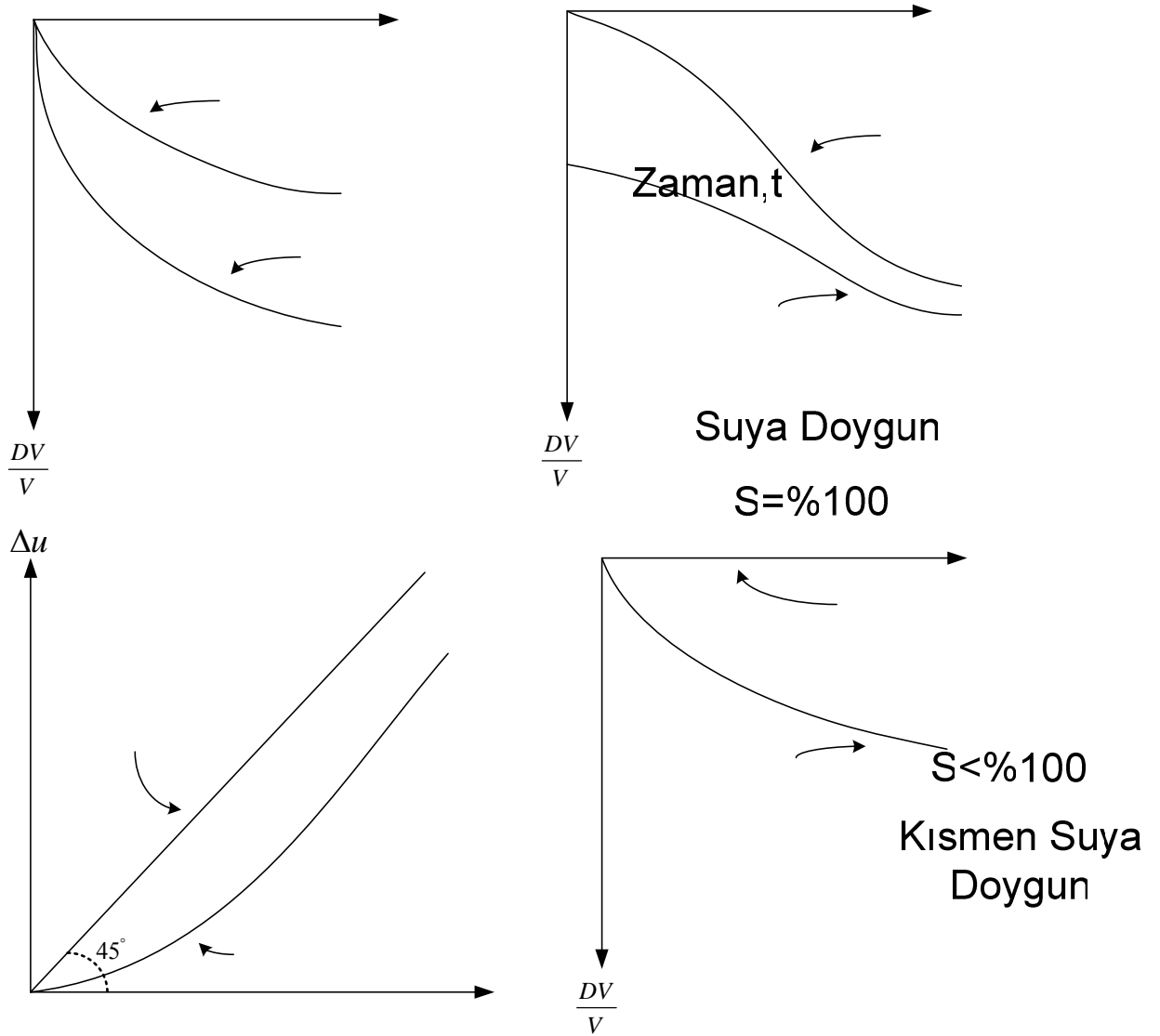
Değişik türde üç eksenli basınç deneyleri uygulanarak, arazideki zemin tabakalarının farklı yükleme ve drenaj koşulları altında gösterecekleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerini belirlemek mümkün olmaktadır. Bu deneylerde farklı zeminler için gözlenen davranışı biçimleri aşağıda incelenmiştir.

#### **3.4.1.4. Üç eksenli basınç deneyinde gözlenen zemin davranışları**

Üç eksenli basınç deneyi daha önce bahsedildiği gibi iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalarda gözlenen zemin davranışlarını ayrı ayrı incelenmiştir.

Hidrostatik yükleme:

Zemin tabakaları arazide belirli jeolojik yüklerin etkisi altındadır. Deneye tabi tutulan zemin numunesini arazideki durumuna getirmek için uygulanan hidrostatik hücre basıncı altında, drenajlı ve drenajsız durumda gözlenen davranış biçimleri şekil 3.14'de gösterilmiştir. Drenajlı durumda uygulanan basınç altında, zeminde hacim değişimleri (konsolidasyon) meydana gelirken (şekil 3.14.a) drenajsız durumda boşluk suyu basıncında artışlar meydana gelmektedir (şekil 3.14.c). Zemin davranışının, başlangıç suya doygunluk derecesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir. Şekil 3.14.a ve şekil 3.14.b de drenajlı durumda gözlenen aynı deneysel sonuçlar farklı biçimde çizilerek gösterilmiştir. Suya doygun zeminin hacim değiştirme davranış eğrileri, ödometre deneyinde gözlenen konsolidasyon davranış eğrilerine büyük benzerlik göstermektedir. Kısmen suya doygun zeminde ise önce ani bir hacim azalması (boşluklardaki havanın sıkışması sonucu) meydana gelmekte, ondan sonra suya doygun zemininkine benzer bir davranış gözlenmektedir. Şekil 3.14.a ve şekil 3.14.b ise drenajsız durumda ortaya çıkan davranış gözlenmektedir. Tamamen suya doygun zeminde, hacim sabit kalırken, boşluk suyu basıncında uygulanan hidrostatik basınca eşit bir artış meydana gelmektedir. Suya doygun olmayan zeminde ise önce bir miktar hacim değişikliği (sıkışma) ve boşluk suyu basıncında küçük artışlar meydana gelmekte daha yüksek basınçlar altında ise zemin içindeki hava hacmi iyice küçüldüğü için, hacim sabit kalmakta ve hidrostatik basınç artışları oranında boşluk suyu basıncı artışları meydana gelmeye başlamaktadır [2,4].



Şekil 3.14. Üç eksenli basınç deneyinde hidrostatik basınç altında gözlenen zemin davranışı

(a)

Drenajsız durumda hidrostatik basınç altında meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarını zeminin suya doygunluk derecesini ölçmek için kullanmak mümkün olmaktadır. Meydana gelen boşluk suyu basıncı artışının uygulanan hidrostatik basınca oranı,

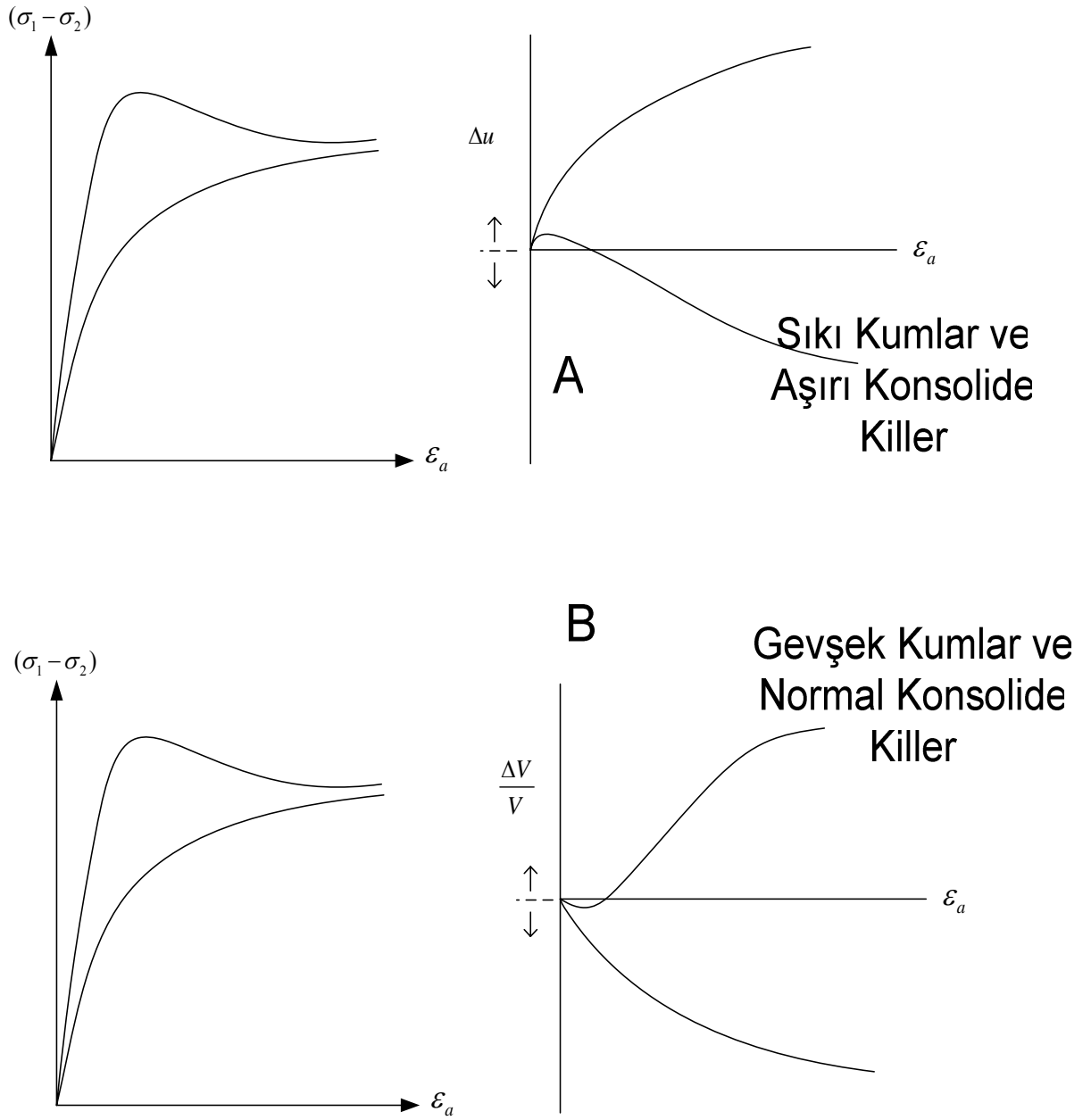
$$B = \Delta u / \Delta \sigma_c \quad (\Delta \sigma_c = \text{hidrostatik basınç artışı})$$

S=%100

Skempton (1954) tarafından tanımlanan iki boşluk suyu basıncı katsayısından birini oluşturmaktadır. Suyu doymuluk derecesi  $S=100\%$  olan zeminlerde  $B=1.0$  değerini alırken, kısmen suya doymun zeminlerde ( $B<1.0$ ) olmaktadır.

Eksenel yükleme:

Üç eksenli basınç deneyinin ikinci aşamasını oluşturan eksenel yükleme sırasında, zemin içindeki suyun dışarı çıkmasına izin verilip verilmemesine göre, drenajsız ve drenajlı durumlarda suya doymun zeminlerde gözlenen davranış biçimleri şekil 3.15'de gösterilmiştir. Drenajsız deneylerde eksenel yükleme altında boşluk suyu basıncı değişimleri, drenajlı deneylerde ise hacim değişimleri meydana gelmektedir. Şekil 3.15.a.'da ve şekil 3.15.b.'de drenajsız deney sonuçları, şekil 3.15.c. ve şekil 3.15.d'de ise drenajlı deney sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Üç eksenli basınç deneyinde eksenel yükleme sırasında gözlenen zemin davranışı

Bu şekilde gösterilen eğilerde, gerilme ekseninde  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  kullanılmasının nedeni, eksenel gerilmenin  $(\sigma_a)$  daha önce her doğrultuda uygulanan hücre basıncına  $(\sigma_c = \sigma_3)$  ek olarak uygulanmasıdır. En büyük asal gerilme

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_a$$

A

Sıkı Kumlar ve  
Aşırı Konsolide  
Killer

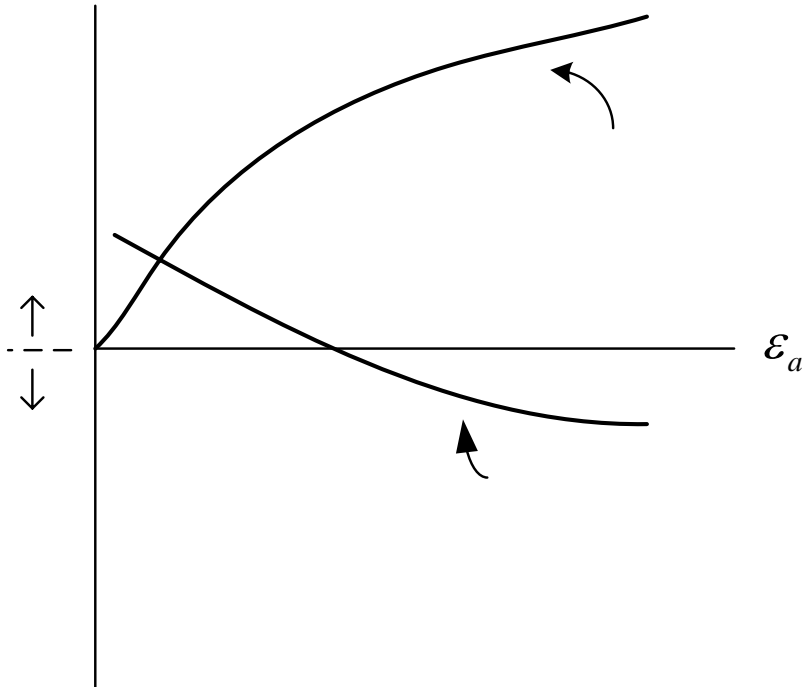
$$\sigma_a = (\sigma_1 + \sigma_3)$$

olmaktadır. En büyük asal gerilme farkı ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) aynı zamanda deviatorik gerilme olarak nitelendirilmektedir. Deneyde gözlenen gerilme-eksenel şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı (veya hacim) değişimleri –eksenel şekil değiştirme davranışları, zeminin başlangıç durumuna göre (killi zeminlerde konsolidasyon derecesi, kumlu zeminlerde sıkılık derecesi) farklılıklar göstermektedir.

Drenajsız deneylerde, aksenal yükleme sırasında, zeminin boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimler, ikinci bir boşluk suyu basıncı parametresinin tanımlanmasında kullanılmaktadır.

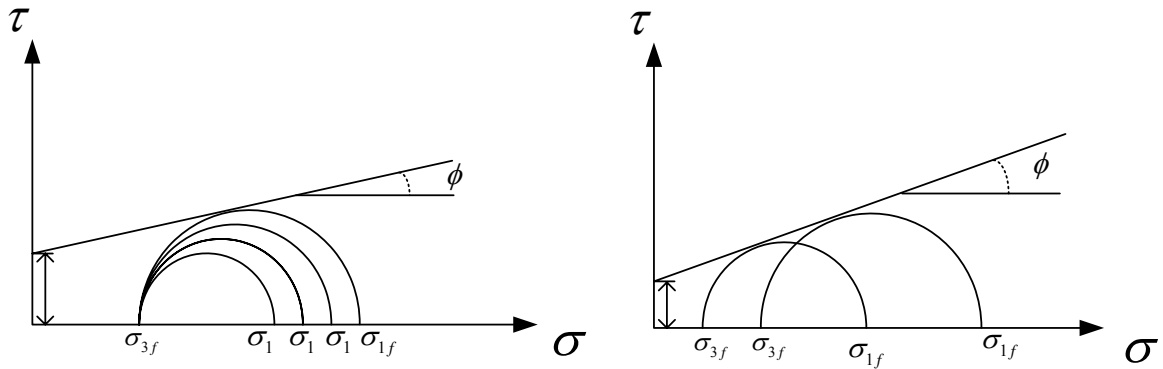
$$A = \Delta u / (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

A parametresinin değeri yükleme boyunca sabit olmayıp, şekil değiştirme seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.16.'da, A parametresinin yükleme sırasında değişimi gösterilmiştir [9].



Şekil 3.16. Boşluk basıncı katsayısı A'nın aksenal şekil değişme ile değişimi

Üç eksenli basınç deneyinde, zemin numunesinde göçme meydana gelinceye kadar eksenel yük arttırılmaktadır. Göçme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairelerine teğet olarak çizilen doğru zeminin kayma mukavemeti zarfını vermektedir. Şekil 3.17.a'da bir üç eksenli basınç deneyinde, sabit hücre basıncı ( $\sigma_c = \sigma_3$ ) altında gittikçe artan eksenel gerilme seviyeleri için Mohr gerilme daireleri gösterilmiştir. Deviatorik gerilme  $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$  değerine ulaşılnca zeminde göçme meydana gelmektedir. Kırılma (mukavemet) zarfının elde edilebilmesi için en az iki deney yapılması ve şekil 3.17.b'de de gösterildiği gibi göçme durumunu gösteren gerilme dairelerine ortak teğetin çizilmesi gerekmektedir. Konsolidasyonlu-drenajsız deneylerde genellikle boşluk suyu basıncı artışları da ölçüldüğü için, toplam gerilme daireleri yanında efektif gerilme dairelerini de çizmek ve böylece kayma mukavemeti parametrelerinin hem toplam gerilmeler hem de efektif gerilmeler için bulmak mümkün olmaktadır [8].



Şekil 3.17 Üç eksenli basınç deneyindeki gerilme durumlarını gösteren Mohr daireleri

### 3.4.2. Arazi deney yöntemleri

Zemin tabakalarının kayma mukavemetini arazide yerinde ölçmek için bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu deneyler genellikle muayene çukurları veya sondaj kuyuları içinde yapılmaktadır. Başlıca arazi deneyleri arasında

#### 1. Penetrasyon Deneyleri

- a) Dinamik Penetrasyon Deneyi (veya Standart Penetrasyon Deneyi)



b) Statik Penetrasyon Deneyleri (Koni Penetrasyon Deneyleri)

2. Cep Veyn ve Cep Penetrometre Deneyleri

3. Arazi Veyn Deneyi

4. Pressiometre Deneyi

5. Plaka Yükleme Deneyi

6. Sondaj Kuyusu Kesme Deneyi

gibi deneyler sayılabilir. Özellikle, örselenmemiş numune almanın zor olduğu kumlu zeminlerde ve yumuşak killerde arazi deney sonuçlarından yararlanmak sık sık başvurulan bir yöntem olmaktadır. Kumlu tabakalar içinde yapılan deneylerde sık başvurulan bir yöntemdir. Kumlu tabakalar içinde yapılan deneylerde arazi ölçümleri ile kumun kayma mukavemeti açısı arasında geliştirilmiş ampirik korelasyonlardan yararlanılırken, killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti korelasyon yolu ile veya doğrudan ölçülerek bulunmaktadır.

### 3.5. Tabi Zeminlerin Kayma Mukavemeti

Zeminlerin kayma mukavemetinin Mohr-Coulomb bağıntısı kullanılarak

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

şeklinde tanımlanabileceğini biliyoruz. Kayma mukavemetinin saptanmasında en önemli unsur arazide geçerli olacak yükleme ve drenaj koşullarının göz önüne alınması olmaktadır. Bu açıdan kohezyonsuz kumlu zeminler ile killi zeminlerin birbirinden oldukça farklı davranış göstermekte olduğu bilinmektedir. Bu sebepten kumların ve killerin kayma mukavemetlerinin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

#### 3.5.1. Kumların kayma mukavemeti

Kumlarda c parametresi sıfır değerini aldığı için kayma mukavemeti bağıntısı;

$$\tau_f = \sigma \tan \phi$$

şeklini almaktadır. Ayrıca, arazide statik yüklemeler altında, kumlarda drenajlı koşulların geçerli olacağını kabul etmek gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Bu durumda, yükleme sırasında boşluk suyu rahatlıkla zeminden dışarı çıkabilmekte ve boşluk suyu basınçlarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Dolayısıyla, kumların arazi yüklemeleri altında davranışı incelenirken, drenajlı (veya efektif) kayma mukavemeti açısının bulunması yeterli olmaktadır. Kayma mukavemeti açısının değeri ise laboratuarda kesme kutusu veya üç eksenli basınç deneyleri kullanılarak veya arazi deneyleri sonuçlarından korelasyon yolu ile elde edilebilmektedir.

Kumlarda kayma mukavemeti açısının değerini etkileyen faktörler, önem sırasına göre, aşağıdaki şekilde sıralanabilir [8,4].

**Kumun Sıklık Derecesi:** Yoğunluk arttıkça  $\phi$  nin değeri artmaktadır.

**Dane Çapı Dağılımı:** İyi derecelenmiş zeminler, üniform kumlara göre daha yüksek  $\phi$  değerine sahip olmaktadır.

**Dane Biçimi:** Köşeli danelerden oluşan iri daneli zeminlerin kayma mukavemeti açısı yuvarlak danelilerden biraz daha yüksek olmaktadır.

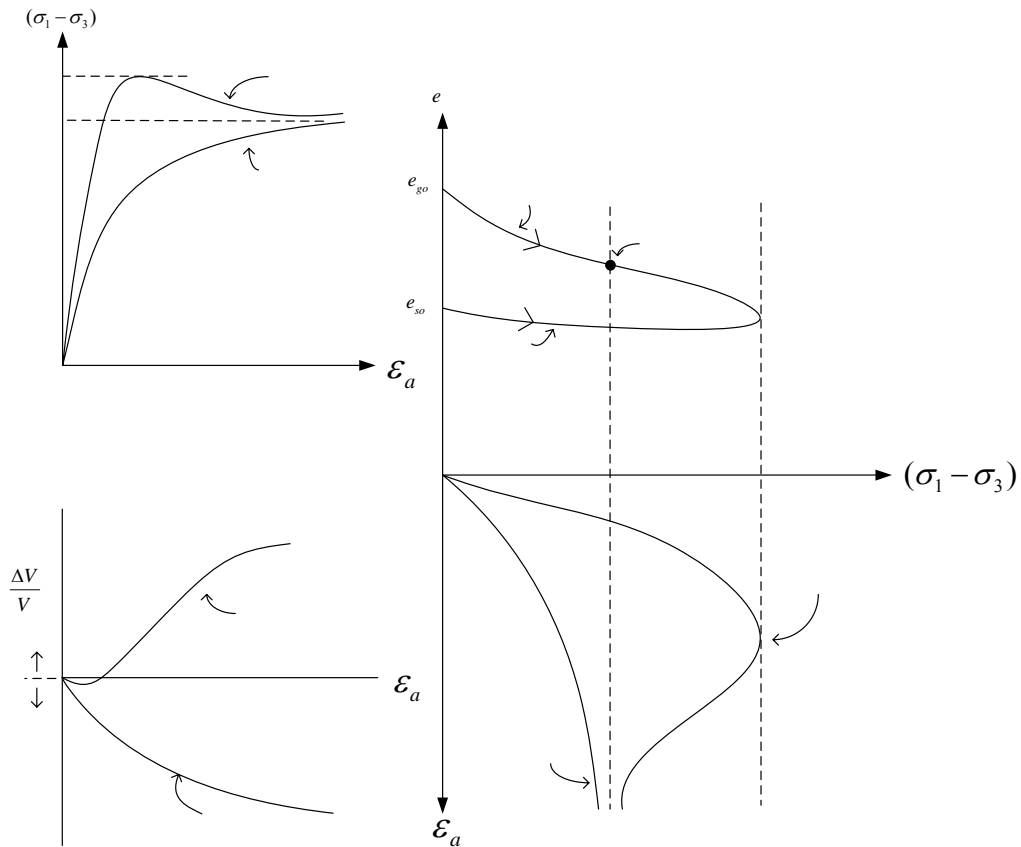
**Danelerin Mineral Yapısı:** Daneler arası sürtünme özelliğini etkilemekle beraber, çoğu tabii kumlar için oldukça dar bir aralık içinde değiştiği kabul edilebilir.

**Su Etkisi:** Zeminin kuru veya su altında olması  $\phi$  değerini çok az etkilemektedir.

Yukarıdaki gözlemlerin ışığı altında, belli bir kum için  $\phi$  açısının deneysel olarak saptanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur deney numunesi ile arazi sıklığının aynı olmasının sağlanması olmaktadır. Sıklık derecesine bağlı olarak iri daneli zeminlerin kayma mukavemeti açısı geniş bir aralık içinde değişmektedir. Sıklık derecesi arttıkça kayma gerilmeleri altında danelerin birbirine göre hareketi zorlaşmakta (kilitlenme etkisi) ve zeminin basınç altında hacim genişlemesi göstermesi sonucu enerji kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı zeminin kaymaya karşı direnci artmaktadır.

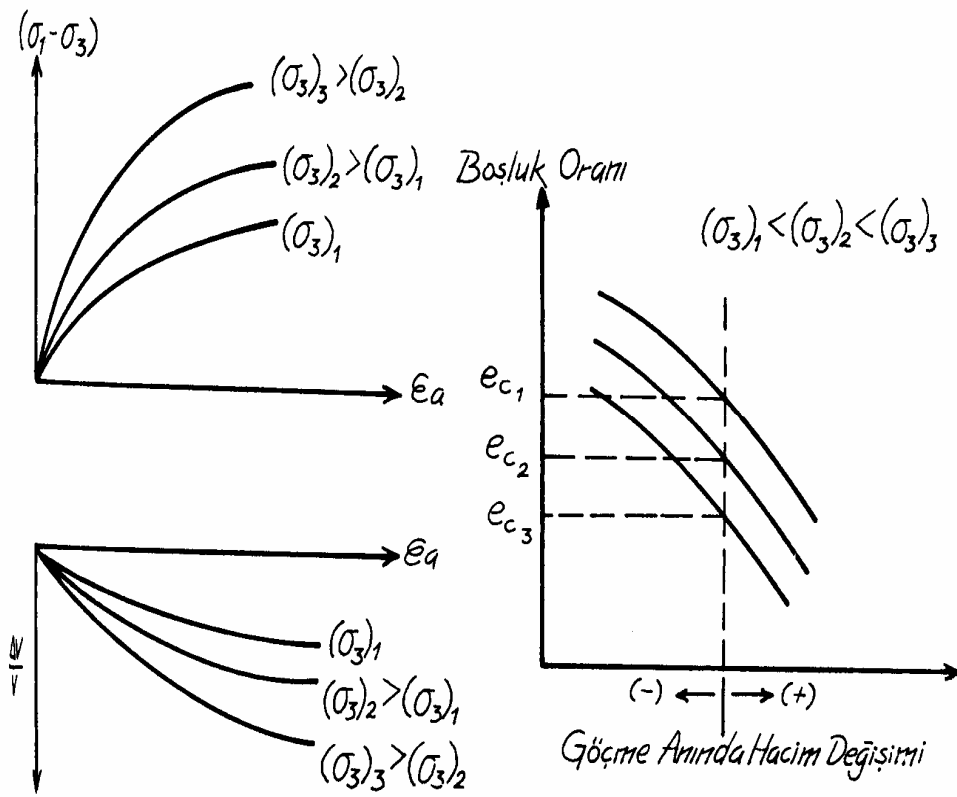
Bazı özel durumlarda, kumların kayma mukavemeti açısı arazi tabakalarının çökme koşulları ve eğer varsa çimentolanma derecesinden de büyük oranda etkilenebilmektedir. Çimentolanma gösteren veya stabil olmayan bir iç yapıya sahip kumların kayma mukavemeti açısını laboratuarda belirlemek için özel numune hazırlama ve deney yöntemleri kullanmak veya bazı arazi deneylerinden (koni penetrasyon deneyi gibi) yararlanmak gerekmektedir. Kumların titreşimli yükler altında davranışının da çökme koşullarından büyük oranda etkilendiği bilinmektedir.

İri daneli zeminlerin gerilme – şekil değiştirme davranışı üzerinde etkili olan faktörlerin en önemlileri ise sıklık derecesi ve çevre basıncının şiddeti olmaktadır. Şekil 3.18.'de aynı kumdan gevşek ve sıkı konumda hazırlanmış iki numune üzerinde aynı hücre basıncı altında yapılan üç eksenli basınç deneyleri sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Kohezyonsuz zeminlerde gözlenen gerilme – şekil değiştirme ve hacim değişimi – şekil değiştirme davranışları

Kayma gerilmeleri altında gevşek kumlarda hacim daralması, sıkı kumlarda hacim genişlemesi meydana gelmekte, belli bir şekil değiştirme seviyesine ulaşıldıktan sonra ise hacim sabit kalmaktadır. Bu durumda kumun kritik boşluk oranına ulaştığı kabul edilmekte ve zeminin sabit gerilme altında sürekli değiştirme gösterdiği gözlenmektedir. Şekil 3.18'deki deneysel eğrilerden sıklık derecesinin kumların davranışı üzerindeki etkisi açık olarak görülmektedir. Kumların gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerinde etkili ikinci en önemli faktör olan çevre basıncının etkisi şekil 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.19. Çevre basıncının kohezyonsuz zeminlerin davranışı üzerinde etkisi

Aynı sıklıkta hazırlanmış kum numuneleri farklı çevre (hücre) basınçları altında üç eksenli basınç deneyine tabi tutulduğunda, yüksek çevre basıncı altında daha büyük hacim değişimi meydana geldiği buna karşılık aksenal şekil değiştirme direncinin arttığı gözlenmektedir. Kumların kritik boşluk oranı da, çevre basıncı arttıkça azalmaktadır.

Kumlarda statik yüklemeler altında serbest drenaj durumunun geçerli olduğu kabul edilmektedir. Buna karşılık, suya doymuş ince kum tabakalarının arazide deprem titreşimlerinin etkisi altında kalması durumunda, zemin suyunun dışarı çıkmaya fırsat bulamaması sonucu, boşluk suyu basınçlarında artışlar meydana gelebilmektedir. Kumun başlangıç sıklık derecesi ile deprem titreşimlerinin şiddetine ve süresine bağlı olarak, boşluk suyu basınçları artmakta ve gevşek kumlarda çevre basıncına eşit hale gelmesi durumunda kum tabakası mukavemetini tamamen kaybedebilmektedir. Zemin mekaniğinde sıvılaşma adı verilmekte olan bu durumda, zeminin bütün taşıma gücü kayb olduğu için üzerlerinde yer alan yapılar büyük zarar görmekte, büyük heyelanlar ve toprak kaymaları meydana gelebilmekte ve zemine gömülü yapılar yüzerek zemin yüzüne çıkmaktadır. Deprem mühendisliğinin önemli bir konusu olan kumların sıvılaşması olayının ayrıntılı incelenmesi bu kitabın kapsamı dışında kalmakla beraber, sıvılaşmayı etkileyen başlıca faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Kumun başlangıç sıklık derecesi: Sıvılaşma olasılığı gevşek kumlarda çok daha yüksektir.
2. Kumun dane çapı dağılımı: ince daneli üniform kumlar sıvılaşmaya daha çok eğilim göstermektedir.
3. Depremin şiddeti ve süresi arttıkça sıvılaşma olasılığı artmaktadır.
4. Kumun başlangıç gerilme durumu ve çökme koşulları: Hidrostatik çökme ile meydana gelmiş ve izotropik gerilmeler altında konsolide olmuş kum tabakalarında sıvılaşma eğilimi daha yüksek olmaktadır [4].

### **3.5.2. Killerin kayma mukavemeti**

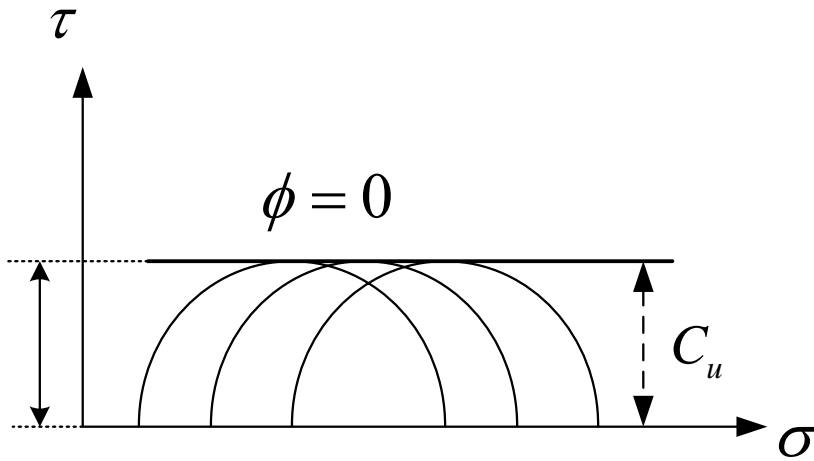
Killerin kayma mukavemetinin arazide oluşacak koşullar altında geçerli olacak şekilde saptanması kumlara göre daha karmaşık ve zor bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazideki bir kil tabakasının suya doymuşluk derecesi, başlangıç gerilme durumu ve gerilme tarihçesi ile kayma gerilmelerinin oluşması sırasında geçerli yükleme ve drenaj koşulları, zeminin kayma mukavemetini büyük ölçüde

etkilemektedir. Kil tabakalarının davranışı incelenirken, tasarım aşamasında bu faktörlerin göz önüne alınması ve kayma mukavemetinin ona göre belirlenmesi gerekmektedir. Aksi halde, elde edilen kayma mukavemeti parametreleri arazide geçerli olmayacağı için, uygulamada arzu edilmeyen durumlar ile karşılaşılması olasılığı çok yüksek olmaktadır.

### 3.5.2.1. Suyu doymun killer

Arazide, yeraltı su tabakası altında yer alan zeminlerin suya doymun olduğu bilinmektedir. Yeraltı su tabakasının üzerinde yer alan ince daneli zeminlerin de belli bir yüksekliğe kadar kapilarite etkisi ile suya doymun hale geldiğini daha önceden biliyoruz. Bu nedenle, temel mühendisliği ile ilgili problemlerde çoğunlukla suya doymun killi zeminlerin davranışının saptanması gerekli olmaktadır.

Arazideki bir kil tabakası uygulanan dış yük altında konsolidasyona uğramadan ve hızlı olarak yüklenmesi durumunda kayma mukavemeti, konsolidasyonsuz drenajsız (UU) deneyleri ile bulunabilmektedir. Bu durumda, kayma mukavemeti zarfı şekil 3.20’de görüldüğü gibi yatay bir doğru olmaktadır.



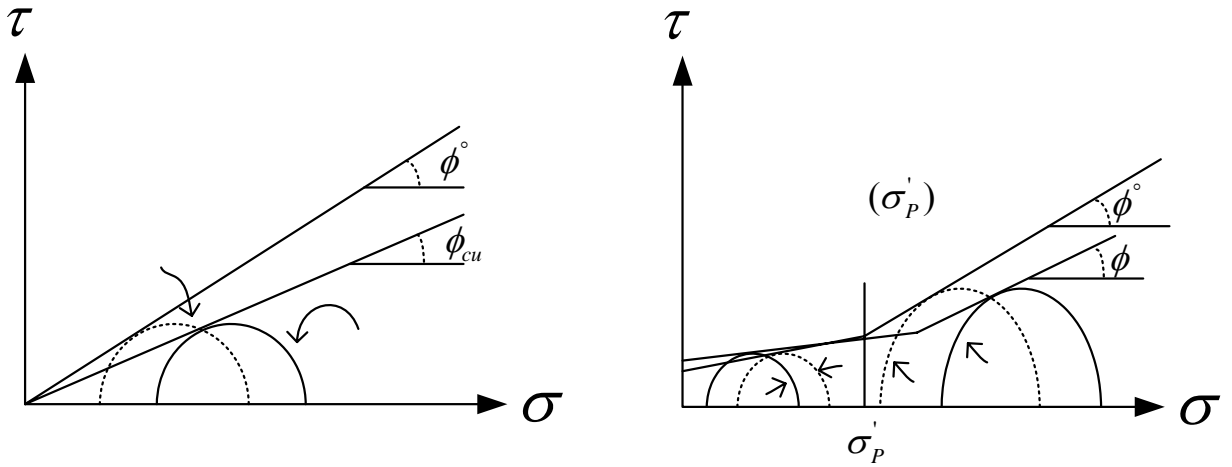
Şekil 3.20. Drenajsız kayma mukavemeti zarfı

Bu durumda, drenajsız kohezyon katsayısı  $c_u$  ile tanımlanmakta,

$$\tau_f = c_u$$

ve çevre basıncından bağımsız olmaktadır.

Arazideki kil tabakasının konsolide olduktan sonra, hızlı yüklemeye (veya drenajsız yüklemeye) tabii olacağı durumlarda, kayma mukavemetinin konsolidasyonlu-drenajsız deneylerle saptanması mümkün olmaktadır. Şekil 3.21'de farklı konsolidasyon basınçları altında konsolide olduktan sonra drenajsız olarak kesilen normal konsolide ve aşırı konsolide killerin kayma mukavemeti zarfları toplam ve efektif gerilmelere göre gösterilmiştir.

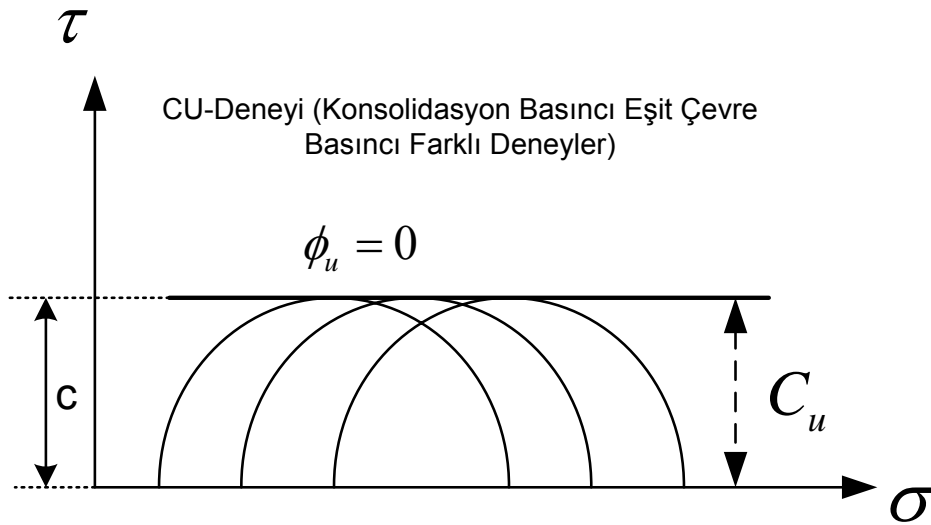


Şekil 3.21. Konsolidasyonlu drenajsız durumda kayma mukavemeti zarfları

Normal konsolide killerde kayma mukavemeti zarfları orijin noktasından geçen bir doğru olurken, aşırı konsolide killerde kayma mukavemeti zarfları eğimleri farklı iki doğrusal kısımdan oluşmaktadır. Ön konsolidasyon basıncı ( $\sigma'_p$ ) değerinden büyük basınçlarda kayma mukavemeti zarfları yatayla yaptıkları açı  $\phi_{cu}$  ve  $\phi'$  (toplam ve efektif gerilmeler için) olan ve uzantıları orijinden geçen iki doğru halinde olurken ön konsolidasyon basıncından küçük basınçlarda kayma mukavemeti zarflarını eğimi daha az olan ve düşey eksenini orijinden geçen iki doğru ile göstermek gerekmektedir.

Aynı konsolidasyon basıncının etkisi altında kaldıktan sonra, drenaja izin vermeden farklı çevre basınçları altında kayma gerilmeleri uygulanan normal konsolide killerde CU deneylerinde gözlenen davranış ise şekil 3.22'de gösterilmiştir [12].

Toplam



Şekil 3.22. Drenajsız kayma mukavemeti

Bu koşullarda da  $\phi_u = 0$  durumu geçerli olmakta ve drenajsız kohezyon  $c_u$  değerinin konsolidasyon basıncı ile doğrusal olarak arttığı (veya  $c_u / \bar{p}$  oranının sabit olduğu) gözlenmektedir. Bu oranın zeminin plastisitesine bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Değişik killer üzerinde yapılan çok sayıda deney sonuçlarından elde edilen

$$\left( \frac{c_u}{p_c} \right) = 0.11 + 0.0037 I_p$$

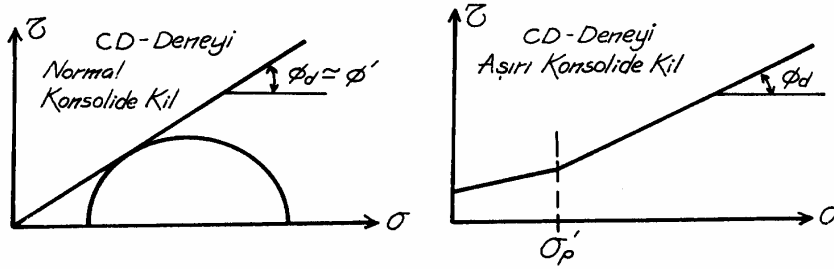
istatistiksel bağıntısı Skempton (1957) tarafından önerilmiştir. Aynı zamanda ( $c_u / \bar{p}$ ) oranı ile konsolidasyonlu – drenajsız kayma mukavemeti açısı ( $\phi_{cu}$ ) arasında, normal konsolide killer için

$$\left( \frac{c_u}{p_c} \right) = \frac{\sin \phi_{cu}}{1 - \sin \phi_{cu}}$$

ilişkinin geçerli olacağı kolaylıkla gösterilebilir. Bu bilgilerin ışığı altında, arazideki normal konsolide kil tabakalarının drenajsız kayma mukavemetini bulmak için, önce konsolidasyon basıncının (= jeolojik yük) bulunması, sonra o basınç altında konsolide edilmiş numuneler üzerinde CU deneyi yapılması veya yukarıdaki istatistiksel bağıntıdan yararlanma yoluna gidilmesi gerekmektedir.

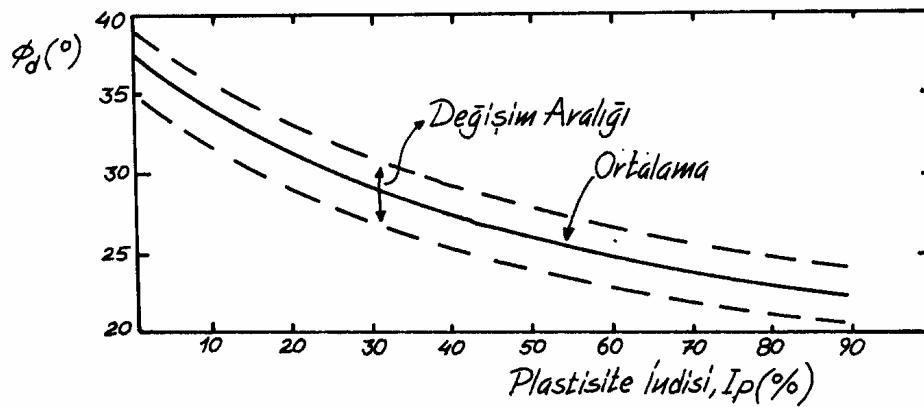


Arazideki kil tabakasının, konsolidasyonunu tamamlamasından sonra, drenajlı durumda (çok yavaş olarak ve boşluk suyu basınç artışlarına meydan vermeden) yüklenmesi söz konusu olan durumlarda ise, kayma mukavemetinin konsolidasyonlu drenajlı (CD deneyleri) ile saptanması gerekmektedir. Bu koşullarda, normal konsolide ve aşırı konsolide killer için kayma mukavemeti zarfları şekil 3.23.'de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 3.23. Konsolidasyonlu drenajlı deneylerden elde edilen kayma mukavemeti zarfları

Normal konsolide killerde drenajlı kohezyon,  $c_d = 0$  olurken, aşırı konsolide killerde ön konsolidasyon basıncında daha düşük basınçlarda  $c_d > 0$  olmaktadır. Zeminin drenajlı kayma mukavemeti açısı  $\phi_d$  ise yaklaşık olarak efektif kayma mukavemeti açısı  $\phi'$ 'ye eşit olmaktadır. Değişik normal konsolide killer üzerinde yapılan deney sonuçlarının toplu olarak değerlendirilmesinden  $\phi_d$  değerinin plastisite indisine bağlı olarak şekil 3.24. 'de gösterildiği gibi değiştiği anlaşılmaktadır [4].



Şekil 3.24. Normal konsolide killerin drenajlı kayma mukavemeti açısının plastisite indisi ile değişimi

### 3.5.2.2. Suyu doymun olmayan killer

Arazideki bazı tabi zemin tabakalarının tamamen suya doymun olmadığı bilinmektedir. Bunun yanında, özellikle sıkıştırılmış toprak dolguların (dolmalar, su seddeleri, toprak barajlar gibi) inşaat sırasında suya doymun olmadığı bir gerçektir. Böyle zeminlerin kayma mukavemetinin saptanması (diğer mühendislik davranışlarının belirlenmesinde olduğu gibi) zemin mekaniğinin daha zor konularından birini oluşturmaktadır. Suyu doymun olmayan zeminlerin kayma mukavemeti zarfı genellikle bütün gerilme seviyeleri için doğrusal olmamaktadır.

Böyle zeminlerde, kayma mukavemeti aynı zamanda sıkıştırma su muhtevasına bağılı olarak değişmektedir. Bu durumda, arazi su muhtevası değişimlerinde hazırlanmış bir seri numune üzerinde deney yapmak ve kayma mukavemeti değişimlerini deneysel olarak saptamak gerekmektedir.

Özet olarak, killerin kayma mukavemetini gerçekçi olarak saptayabilmek için, arazideki başlangıç koşullarını (suyu doymunluk derecesi, konsolidasyon basıncı, normal veya aşırı konsolide olması, vb.) ve arazi yüklemesi sırasında geçerli olacak yüklem hızlarını ve drenaj koşullarını çok iyi olarak değerlendirmek ve onlarla uyumlu deney yöntemlerini kullanmak gerekmektedir. Arazide hızlı yüklenecek killer ile ilgili problemlerde (örneğin; kazılar, dolgular, temellerin taşıma gücü, vs.) genellikle drenajsız kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı toplam gerilme analizleri uygulanırken, yavaş yüklemeli veya uzun süreli stabilitenin incelemesi gereken durumlarda drenajlı (veya efektif) kayma mukavemeti parametrelerinin kullanıldığı analizlere başvurulmaktadır. Efektif gerilme analizi yapabilmek için arazide oluşacak boşluk suyu basıncı artışlarının da tahmin edilmesi gerektiği açıktır.

## **BÖLÜM 4. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE DENEYLERİN YAPILIŞI**

### **4.1. Numunelerin Hazırlanışı**

Bu araştırma için Eskişehir ilinden ince daneli örselenmiş zemin temin edilmiştir. Temin edilen zemin etüvde kurutulduktan sonra havanda dövülüp toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen zemin 0,074mm'lik elekten elenmiştir. Bu CL kil numunesinin içinde silt ve kil bulunduğundan dolayı içinde ne kadar silt ve kil olduğu hidrometre deneyi ile hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda numunemizin %25 kil + %75 silt içerdiği görülmüştür. Kil numunesi etüvde kurutulup hazır hale getirilmiştir.

Sakarya ilinden temin edilen kum, içerisinde kum ve silt daneleri kalmayınca kadar yıkandıktan sonra etüve konup kurutulmuştur. Kurutulan kum araştırma için 0,074-0,2mm ve 0,2-0,6mm aralıklarında olan iki elek aralığından elenmiştir. 0,074mm'nin üstünde kalan ve 0,2mm'nin altına geçen kum araştırmada kullanacağımız 'ince kum' olarak hazırlanmıştır. 0,2mm'nin üstünde kalan ve 0,6mm'nin altına geçen kum araştırmada kullanılacak 'orta kum' hazırlanmıştır. Her iki kum numunesi de etüvde kurutularak deneyde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan numuneler %10 ince kum + %90 kil, %25 ince kum + %75 kil, %50 ince kum + %50 kil, %75 ince kum + %25 kil, %10 orta kum + %90 kil, %25 orta kum + %75 kil, %50 orta kum + %50 kil, %75 orta kum + %25 kil oranlarında karıştırılıp deneylerin yapılması için hazır hale getirilmiştir.

Tablo 4.1. Kil – kum karışımlarının oranları

	% İNCE KUM	%KİL
A0	-	100
A1	10	90
A2	25	75
A3	50	50
A4	75	25
A5	100	-

	% ORTA KUM	%KİL
A0	-	100
B1	10	90
B2	25	75
B3	50	50
B4	75	25
B5	100	-

Özgül ağırlık deneyi: Numunelerimizin özgül ağırlıklarını bulmak için kil, ince kum ve orta kum etüvde kurutulur. Sırasıyla piknometre + kapak ağırlığı tartılır ve piknometre içine 10-12 gr numune konulur. Bu işlem her numune için tek tek yapılır. Piknometre + kapak ağırlığı + numune ağırlığı tartılır. Piknometre içine piknometrenin 1/3 kadar damıtık su ilave edilir. Karıştırılan numune desikatöre konulur. Desikatörde yeteri kadar bekletilen numuneler çıkarılıp ağzına kadar damıtılmış su ile doldurulup tartılır. Piknometre boşaltılıp sade damıtık su ile doldurulup tartılır. Ve gerekli hesaplamalar yapıp numunelerimizin özgül ağırlığı hesaplanır.

#### 4.2. Casagrande( $W_L$ ) Likit Limit Deneyi

Yeteri miktarda alınan kil numunesi, bir miktar su katılarak iyice karıştırılır. Bu deney dört ayrı noktada yapılmaktadır. Karıştırılan numuneden bir miktar alınarak likit limit cihazının içine konur, yüzeyi tabana paralel olarak düzlenir ve oluk açma bıçağı, menteşenin ortasından geçen çap boyunca kap içinde hareket ettirilerek, numune ikiye bölünür. Böylece numunenin ortasında V kesitli bir oluk açılmış olur.

Krank kolu saniyede iki devirlik bir hızla çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13mm boyunca birbirine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülür. Değmenin sağlandığı kesimin uzunluğu, oluk açma bıçağının ucuyla veya bir cetvelle ölçülür. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan düşüş sayısı kaydedilir. Bu işlem numuneye her defasında biraz daha su ekleyerek dört defa yapılır. Her defasında oluğun kapanmış olan kesiminden palet bıçağıyla bir miktar numune alınır ve tartılıp etüve atılır. Bir gün sonra kuru ağırlığı tartılıp gerekli hesaplamalar yapılır.

#### 4.3. Plastik Limit ( $W_p$ )

Yeteri kadar kil numunesine bir miktar su katarak iyice karıştırılır. Karıştırılan numune düzgün bir cam yüzeyine palet bıçağı yardımıyla sürülür. Daha sonra belli bir ölçekte olacak şekilde numune çatlayıncaya kadar yuvarlanır. Bu numunelerin yaş ağırlığı alınıp etüve atılır. Etüv de bir gün bekleye numuneler çıkarılıp kuru ağırlığı alınır ve gerekli hesaplar yapıldıktan sonra numunemizin tipi belirlenir.

#### 4.4. Tokmaklı Kompaksiyon Deneyi

Malzemenin en iyi şekilde sıkışabilmesi için optimum su muhtevasında su katılması gerekir. Bütün numuneler için %100 kil, %10 kum +%90 kil, %25kum+%75kil, %50kum+%50kil, %75kum+%25kil tokmaklı kompaksiyon yapılmıştır.

Etüvde kurutulan kum ve kil istenilen oranlarda karıştırıldıkta sonra (%10, %25, %50, %75 ) içine %5, %10, %15, %20, %25 su katılıp hava almaması için poşetlenip bir gün bekletilir. Bir gün bekleyen numuneler haznenin üçte biri kadar numune koyulup tokmakla yirmibeş defa serbest düşüş yapılarak sıkıştırılır. Sonra haznenin 2/3 ve tamamı doldurularak aynı şekilde sıkıştırılır. Sıkıştırılan numuneler üzeri düzeltilip ayrı ayrı tartılır. Her numune içinden bir miktar alınarak yaş olarak tartılır ve etüve artılır. Bir gün sonra numunelerin kuru ağırlıkları tartılır. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra çıkan eğriden optimum su muhtevası bulunur.

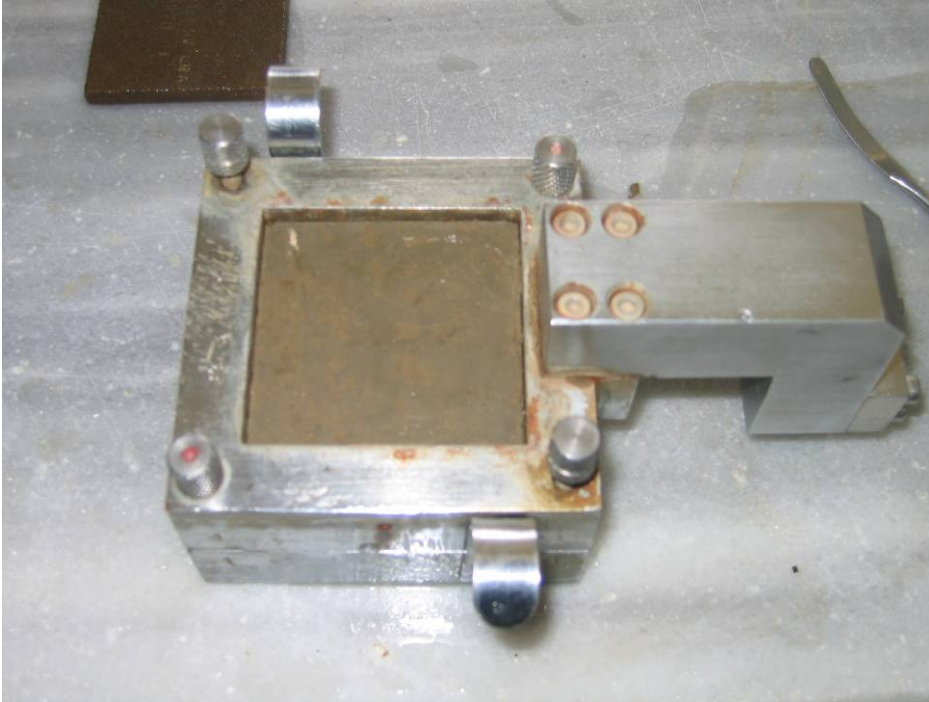
#### 4.5. Kesme Kutusu Deneyi

Optimum su muhtevastaki numune tokmaklı kompaksiyon ile sıkıştırılır. Kesme kutusu halkaları numune içine saplanarak üç adet numune alınır. Alınan numuneler poşetlenerek bir gün bekletilir. Bekletilen numunelerden bir tanesi halka + numune tartıldıktan sonra numune kesme kutusuna dikkatlice yerleştirilir. Ve halka ağırlığı tartılır. Kesme kutusu üzerindeki okuma saatleri sıfırlandıktan sonra ilk numune için 100 kPa yüklenerek ve kesme kutusu haznesine su konulur. Numunenin oturması için bir gün bekletilir. Okuma saatlerinin ilk ve son okumaları alınır, numunenin ne kadar oturduğı görülür. Numune kesme kutusundaki okuma saatleri tekrar sıfırlanarak deneye hazır hale getirilir.

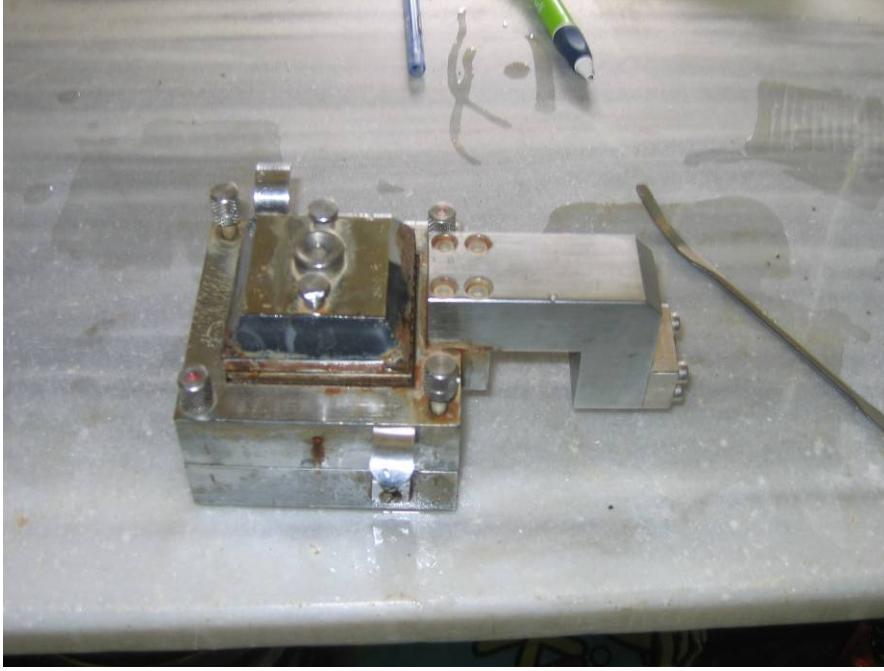
Deney 0,5mm/dk hızla kesilmeye başlanır. Her bir dakikada oturma ve kuvvet halkası saatleri okunur. Kuvvet halkası maksimum seviyeye çıkıp birkaç okuma düştükten sonra deney sonlandırılır. Bu hızla en fazla 22 okuma alınır. Deney sonunda numunemiz haznededen çıkartılarak etüve atılır. Bir gün bekleyen numune tartısı alınarak kuru ağırlığı alınır. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra c ve  $\phi$  değerleri bulunur. Diğer kalan numuneler içinde 200 kPa ve 300 kPa yük yüklenerek deney çalışması aynı şekilde yapılır.



Şekil 4.1. Kesme kutusu deney aletleri



Şekil 4.2. Kesme kutusu deney aletleri



Şekil 4.3. Kesme kutusu deney aletleri

#### 4.6. Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)

Optimum su muhtevasında olan numune tokmaklı kompaksiyon ile sıkıştırıldıktan sonra yaklaşık 3,5 santim çapında 8 cm boyunda silindir kalıplar üzerine konulup, 25 kilo paskal yük ile yüklenerek numuneler alınır. Numuneler bir gün poşette bekletildikten sonra çıkarılır. Birinci numune tüp içerisinden çıkarılmadan önce numunenin altı düzlenip bir miktar çıkarılarak numunenin üstü düzlenir. Üç eksenli basınç deneyinde numunenin ideal boyu çapının iki katı olanıdır. Bu oran göz önüne alınarak numune tüpten çıkartılır. Çıkan numune doğal ağırlığı tartıldıktan sonra üç eksenli basınç haznesine yerleştirilir. Yerleştirilen numunenin üzerine su gelmemesi için kılıf giydirilir. Haznenin kapağı yerleştirildikten sonra hazneye su verilir. Su verilme işlemi tamamlandıktan sonra su vanası kapatılıp yanıl basınç için 100kPa hava verilir. Deneyin başlaması için okuma saatleri sıfırlanır. Deneyin 0,8 mm/dk hızla kırılması gerekir. Deney kuvvet halkası maksimum değeri gördükten birkaç okuma sonra deney sonlandırılır. Eğer kuvvet halkasında düşüş yoksa %20 birim deformasyon olduğunda deney sonlandırılır. Bu işlem yanıl basınç 200 ve 300 kPa içinde yapılır. Deney sonunda numune tekrar tartılarak etüve atılır. Bir gün



bekleyen numune tartılıp kuru ağırlığı yazılır. Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra kayma parametreleri bulunur.



Şekil 4.4. Üç eksenli basınç deney aleti



Şekil 4.1. Üç eksenli basınç deney aleti

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tablo 5.1. Deney sonuçları

	Kesme Kutusu		Üç Eksenli Deneyi	
	Kohezyon(C) (kPa)	Kayma Direnci Açısı( $\phi$ )	Kohezyon(C) (kPa)	Kayma Direnci Açısı( $\phi$ )
A0 %100 Kil	27,25	14,57	56	33,8
A1 %10 İnce Kum	23,32	27,17	66,57	24,22
A2 %25 İnce Kum	19,37	28,68	83	14,03
A3 %50 İnce Kum	24	31	130	10,02
A4 %75 İnce Kum	15	38	17,1	37,23
B1 %10 Orta Kum	24,6	19	130,7	16,17
B2 %25 Orta Kum	19,95	23,25	137,8	9
B3 %50 Orta Kum	24	30,01	144,47	7
B4 %75 Orta Kum	5	32,61	57,06	33,8
A5 %100 İnce Kum	3,5	18,6	-	-
B5 %100 Orta Kum	4,1	28	-	-

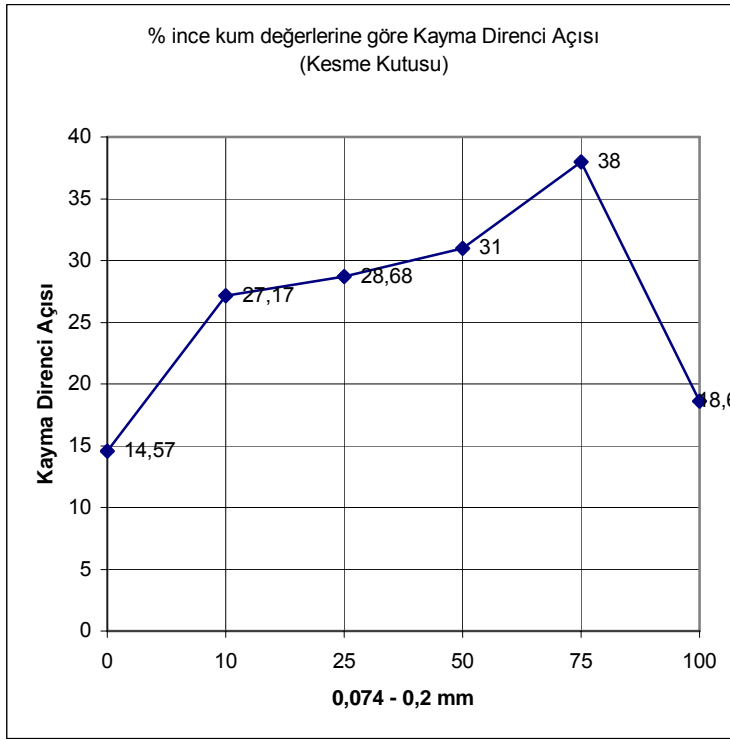
Yapılan deneyler sonucunda kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneylerinde (c) kohezyon ve ( $\phi$ ) kayma direnci açısı farklı değerlerin çıktığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sonuçlar;

1. Kesme kutusu deneyleri
2. Üç eksenli basınç deneyleri

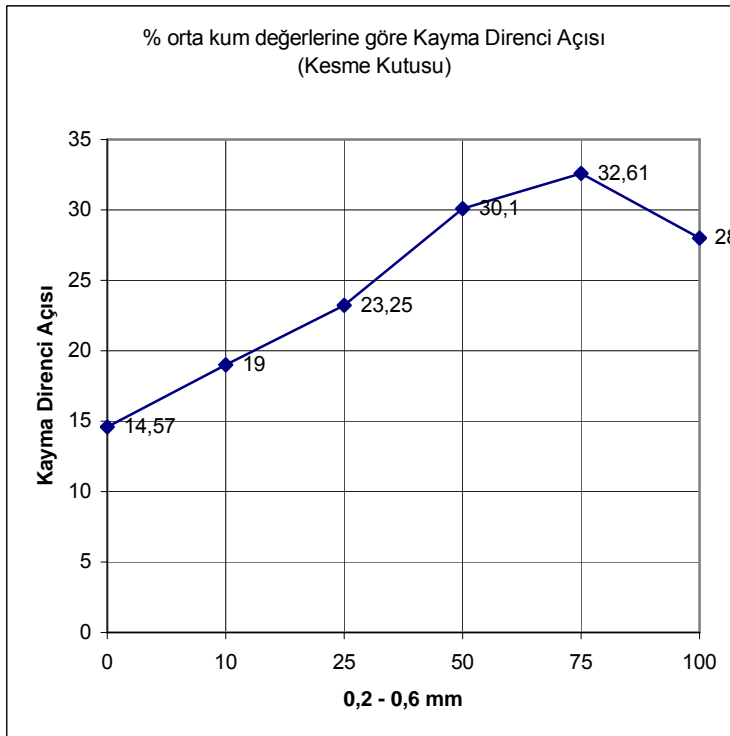
olarak inceleneceklerdir.

1. Kesme Kutusu Deneyleri

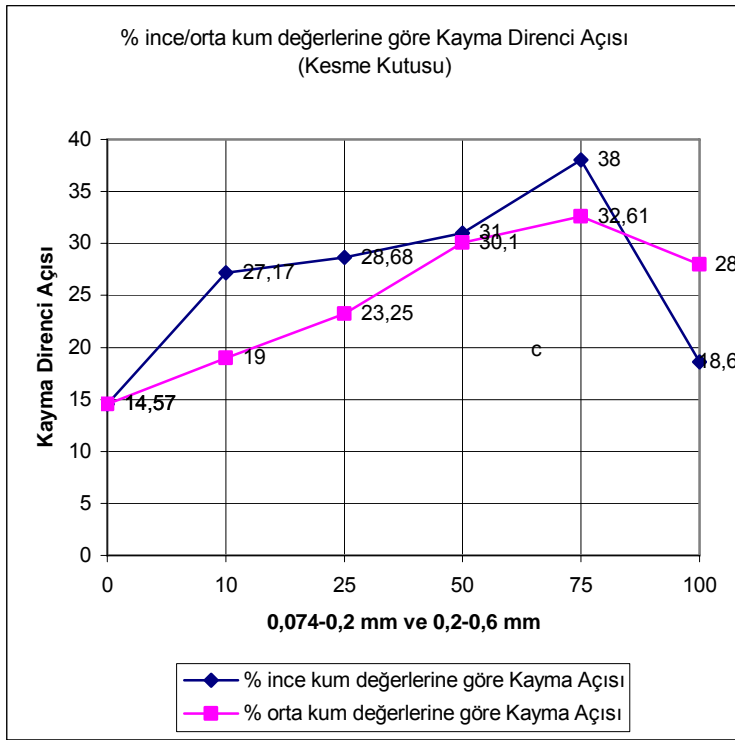
- Kesme kutusu deneylerinde ( $\phi$ ) kayma direnci açısı



Şekil 5.1. Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına ince kum katkısının etkisi



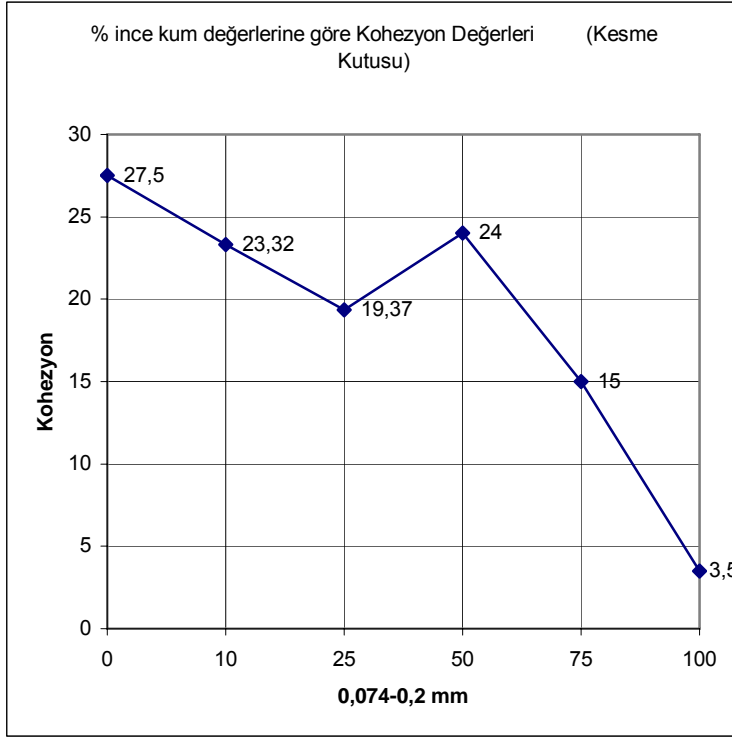
Şekil 5.2. Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına orta kum katkısının etkisi



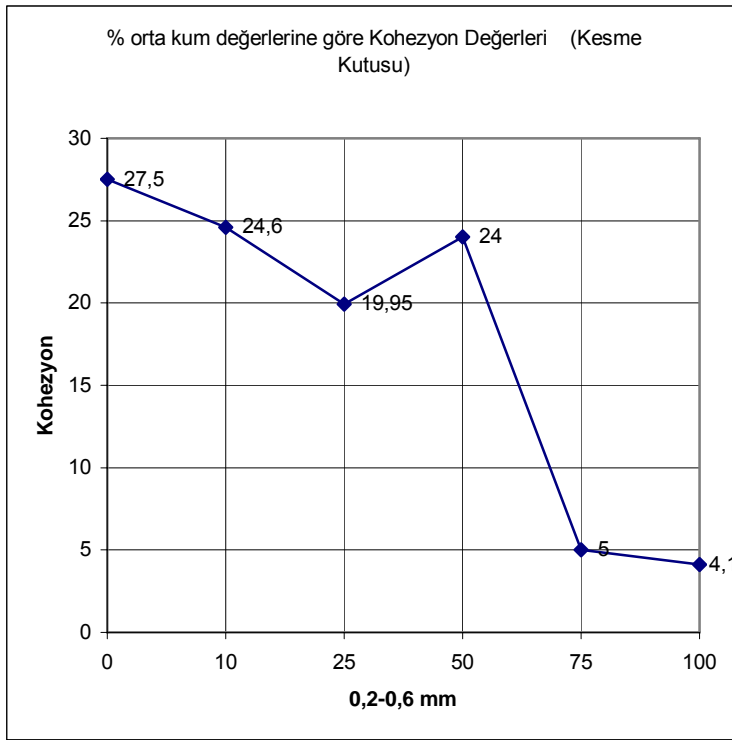
Şekil 5.3. Kesme kutusu deneylerinde kilin kayma direnci açısına ince ve orta kum katkısının etkisi

Kesme kutusu deneyinde  $\phi$  kayma direnci açısı %100 kilde 14,57 olarak bulunmuştur. Her iki kum içinde karışım içerisindeki kum oranları arttırıldığında kayma direnci açısının arttığı gözlemlenmiştir. %75 ince kum + %25 kil için kayma direnci açısının 38 olduğu, %75 orta kum + %25 kil için kayma direnci açısının 32,61 olduğu gözlemlenmiştir.

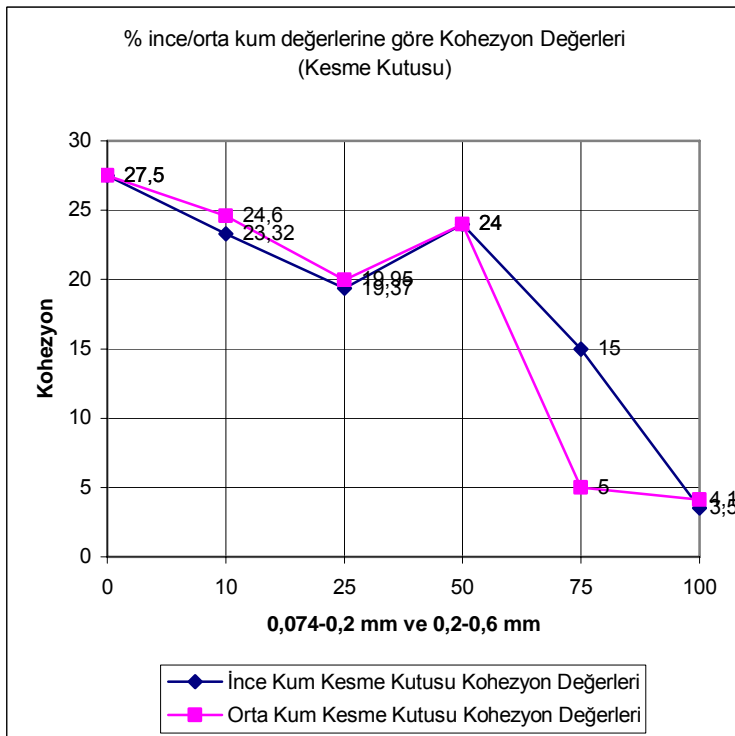
- Kesme kutusu deneylerinde (c) kohezyon



Şekil 5.4. Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine ince kum katkısının etkisi



Şekil 5.5. Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine orta kum katkısının etkisi

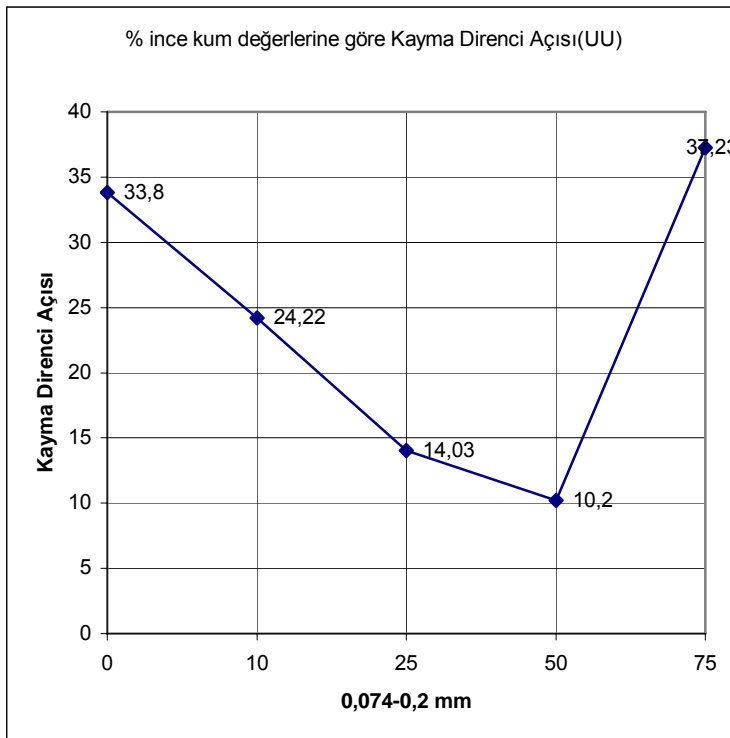


Şekil 5.6. Kesme kutusu deneylerinde kilin kohezyon değerine ince ve orta kum katkısının etkisi

Kemse kutusu deneyinde (c) kohezyonun %100 kilde 27,5 olduğu görülmüştür. Her iki kum içinde %25 kum + %75 kil karışımının (c) kohezyonunun düştüğü, %50 kum + %50 kil karışımında bir miktar yükseldiği ve 24 olduğu görülmüştür. %75 kum + %25 kil karışımlarında ise kohezyonun en düşük değerleri aldığı görülmüştür. Bu değerler ince kum için 15, orta kum için 5 tir. Bu da bize göstermektedir ki numune içerisindeki kum miktarının artması bir noktadan sonra karışımda artık kumun özelliklerinin baskın olduğu görülmüştür.

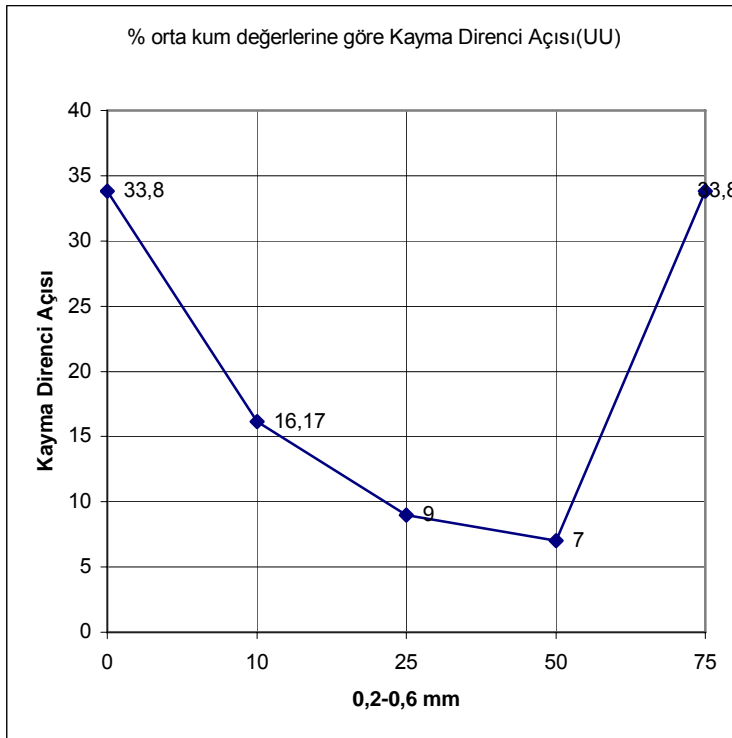
## 2. Üç Eksenli Basınç Deneyleri

### - Üç Eksenli Basınç Deneylerinde ( $\phi$ ) Kayma Direnci Açısı

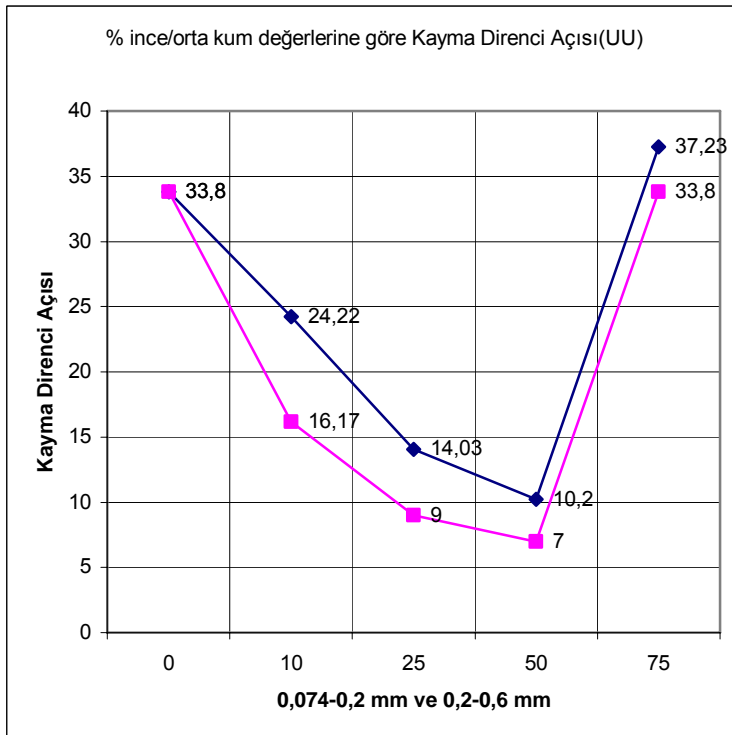


Şekil 5.7. Üç Eksenli Basınç Deneylerinde kilin kayma direnci değerine ince kum katkısının etkisi





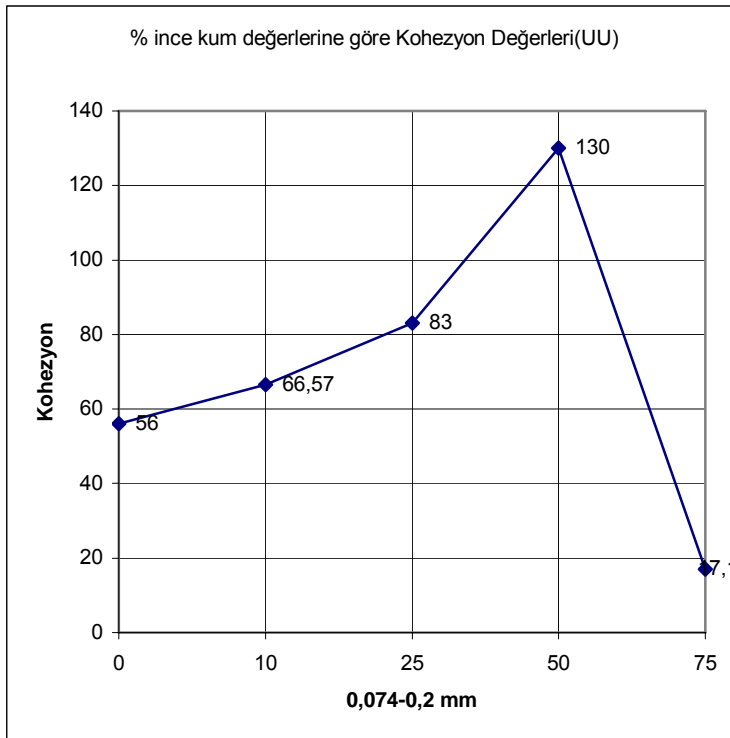
Şekil 5.8. Üç Eksenli Basınç Deneylerinde kilin kayma direnci değerine orta kum katkısının etkisi



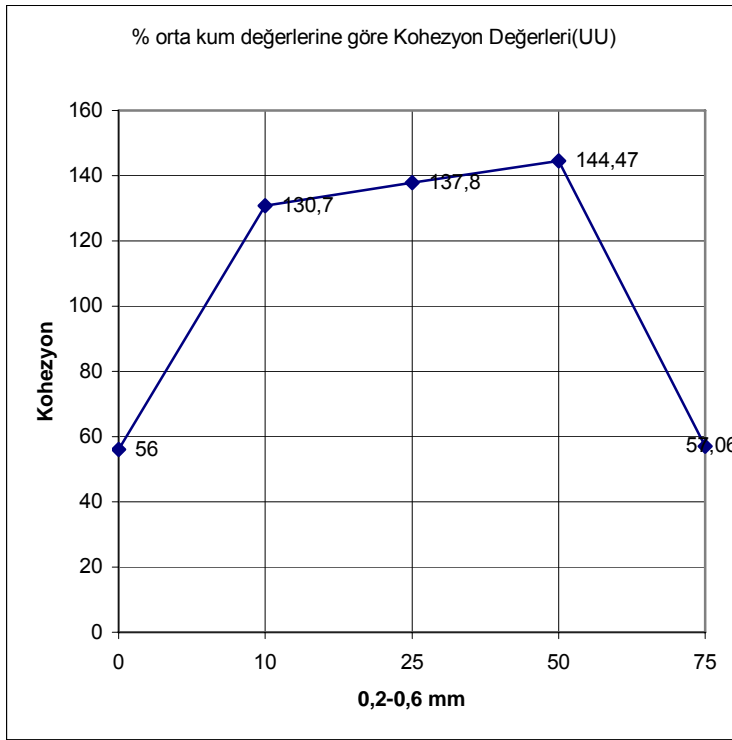
Şekil 5.9. Üç Eksenli Basınç Deneylerinde kilin kayma direnci değerine ince ve orta kum katkısının etkisi

Üç eksenli basınç deneyinde ( $\phi$ ) kayma direnci açısı %100 kilde 33,8 olarak bulunmuştur. Her iki kum içinde %50 kum + % 50 kil karışımlarında kayma direnci açısının düştüğü görülmüştür. Bu değer kayma direnci açısı ince kum için 10,02, orta kum için ise 7 olduğu görülmüştür. Bu da gösteriyor ki karışımın %50 kum + %50 kil civarlarında kayma direnci açısının düştüğü, %75 kum + %25 kilde tekrar yükseldiği görülmüştür. Bu değerler ince kum için 37,23, orta kum için 33,8 dir. Burada da açıkça görülmektedir ki numune içerisindeki kum oranının %50 yi geçtiği oranlarda kumun baskın olduğu ve numunenin kendi özelliklerini almaya başladığı gözlemlenmiştir.

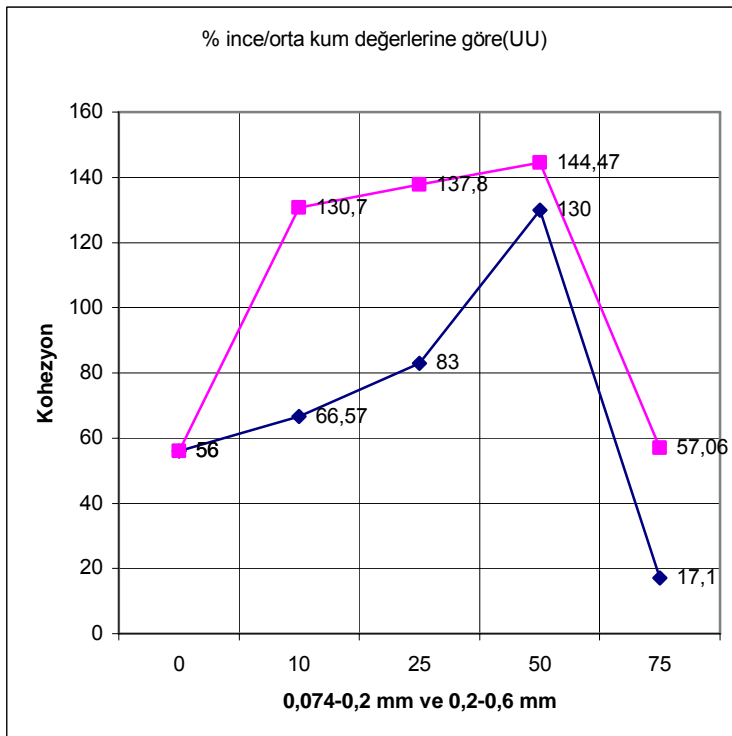
- Üç Eksenli Basınç Deneylerinde (c) Kohezyon



Şekil 5.10. Üç Eksenli Basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine ince kum katkısının etkisi



Şekil 5.11. Üç Eksenli Basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine orta kum katkısının etkisi



Şekil 5.12. Eksenli Basınç deneylerinde kilin kohezyon değerine ince ve orta kum katkısının etkisi

Üç eksenli basınç deneyinde (c) kohezyonun %100 kil için 56 olduğu bulunmuştur. Her iki kum içinde %50 kum + % 50 kil karışımı civarına gelindiğinde kohezyonun en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Bu ince kum 130, orta kum için 144,47 dir. Bu noktadan sonra her iki kum içinde kohezyon değerinin tekrar düştüğü gözlemlenmiştir. %75 kum + %25 kil için bu değerler ince kum için 17,1 , orta kum için 57,06 dır. Burada da görüldüğü gibi kum oranının %50 olduğu civarlardan itibaren kumun baskın olduğu kendi özelliklerini aldığı görülmüştür.

Sonuç olarak bütün deneylerde görülen kesme kutusundaki kayma direnci açısının üç eksenli basınç deneyindeki kayma direnci açısının farklılık gösterdiğiidir. Her iki deneyde de (c) kohezyon aynı seyri gösterdiği görülmüştür. Karışımında kumun %50 civarlara geldiğinde artık CL kili karışım içerisindeki etkinliğini kaybettiği açıkça görülmektedir. Bu oran kesin olarak belirlenebilmesi için %40, %45, %55, %60 kum karışımlarına da deneyler yapılması bize daha kesin sonuçlar verecektir.

## KAYNAKLAR

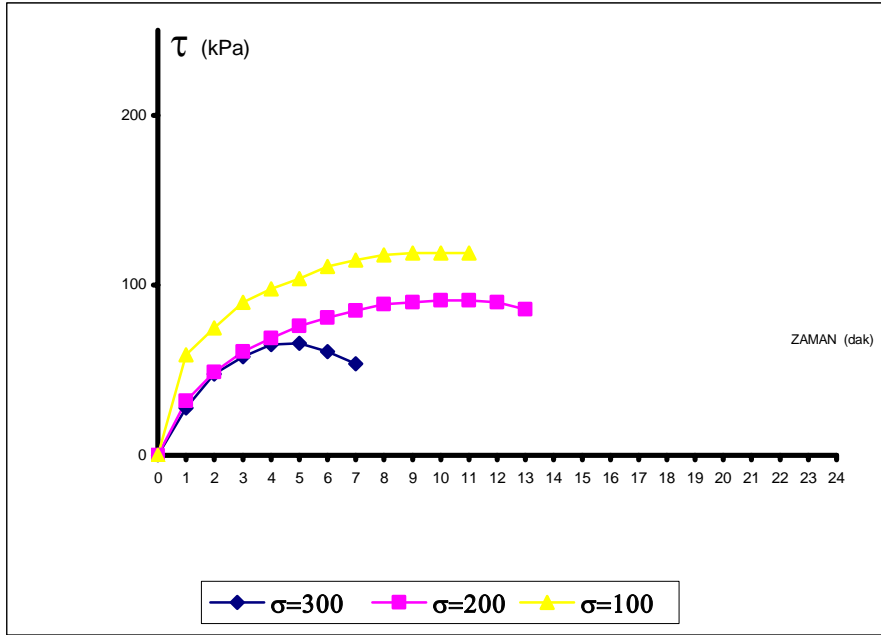
- [1] ÖNALP,A., “Geoteknik Bilgisi I”, Birsen Yayınevi Ltd.Şti., İstanbul, 2002.
- [2] HOLTZ,R.D., KOVACS,W.D., “Geoteknik Mühendisliğine Giriş”, Gazi Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.”, İstanbul, 1998.
- [3] CASAGRANDE, A., “The Structure of Clay and its importance in foundation engineering”., Boston.
- [4] <http://www.odevsitesi.com>
- [5] ÖZTÜRK,Z.A., ÇAĞDAŞ,S., “Mukavemet, Teori ve Problemler”, Murat Ders Yayınları, İstanbul, 1981.
- [6] NALBANTOĞLU,Z., “Üç Eksenli Basınç, Basit Kesme ve Kesme Kutusu Deney Yöntemleri İle Bulunan Kayma Mukavemetinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 1988.
- [7] DEMİRAY,H., “Mukavemet”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1997.
- [8] Anon., “Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock”.,Special Tech. Publ. ASTM 977
- [9] UZUNER,B.A., “Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği”, Teknik Yayınevi, Ankara, 1996.
- [10] POPOV,E.P., “Mukavemet, Katı Cisimlerin Mekaniğine Giriş”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [11] ÖZÜDOĞRU,K., TAN,O., AKSOY,İ.H., “Çözümlü Problemlerle Zemin Mekaniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [12] DAS,B.M., “Advanced Soil Mechanics”, Mc.Graw-Hill-International Edition, Singapore, 1983.
- [13] TS1900/Nisan1987, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri”, Ankara.
- [14] BAYOĞLU,E., “Shear Strength And Compressibility Behaviour of Sand-Clay Mixtures”., ODTU., Y.Lisans Tezi.,1995

## EKLER

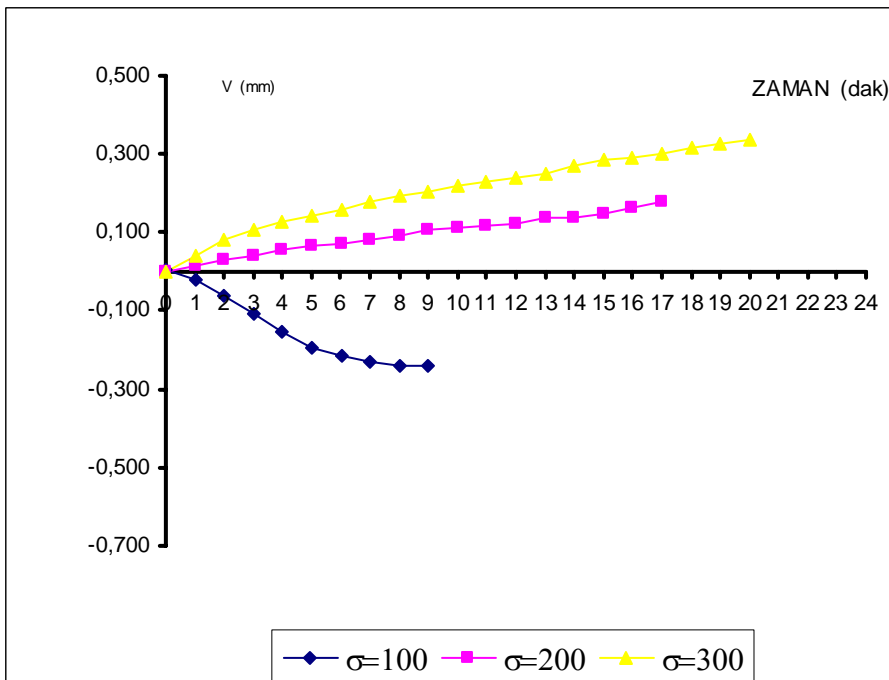
### Ek A.1 Kesme Kutusu

Tablo A.1. %100 kil için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

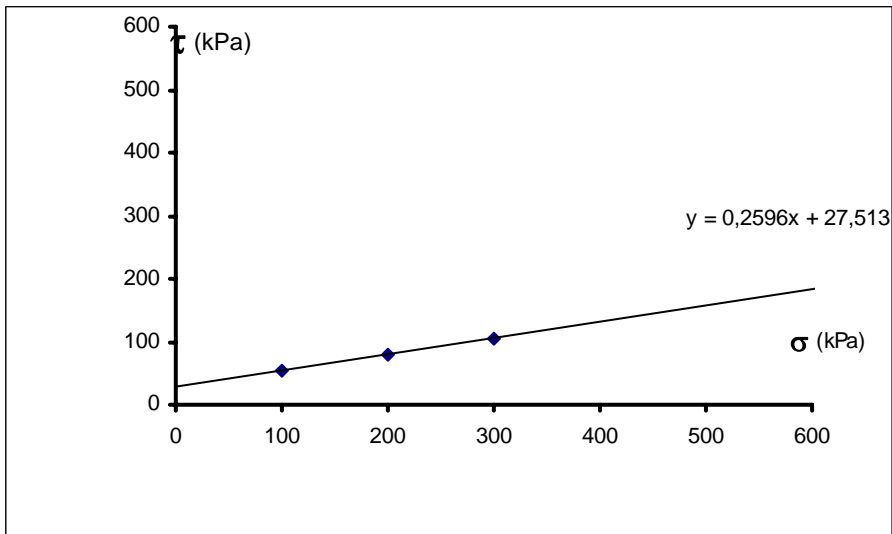
PROJE		%100 KİL		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,82	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA – ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		275,93	273,12	272,32
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		113,96	114,023	113,962
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		161,968	159,097	158,36
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		170,23	158,43	161,82
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		135,67	133	129,851
SU AĞIRLIĞI (gr)		26,298	26,097	28,507
SU MUHTEVASI (%)		19	20	22
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,07	21,68	21,58
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		23,67	22,87	23,80
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		202	560	736
SIKIŞMA (mm)		0,404	1,120	1,472
BOŞLUK ORANI		0,54	0,57	0,61
DOYGUNLUK DERECEŚİ (%)		104	100	105
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,90		



Şekil Ek A.1.1. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



Şekil Ek. A.1.2. Birim zamanda kısalma

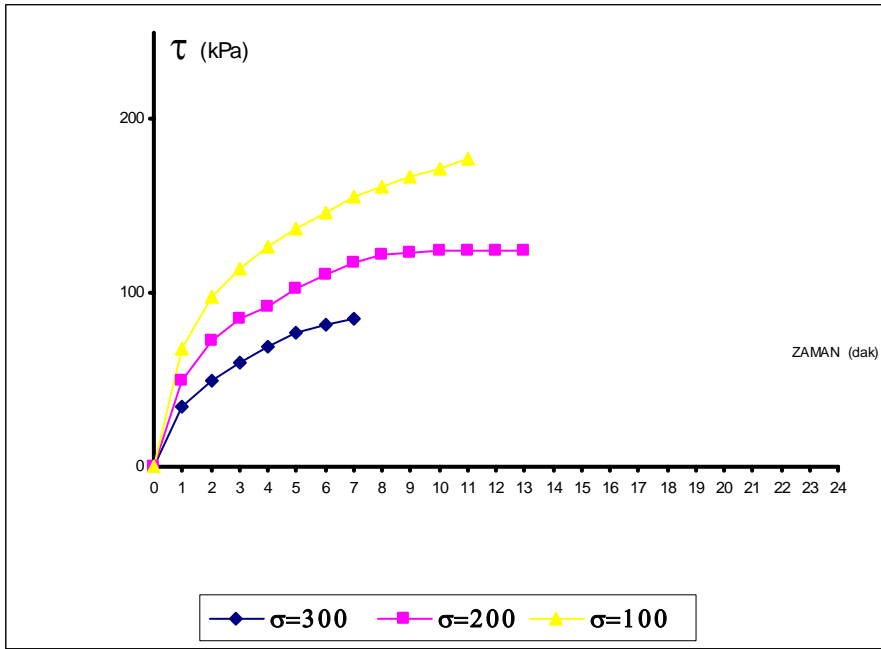


Şekil Ek. A.1.3. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

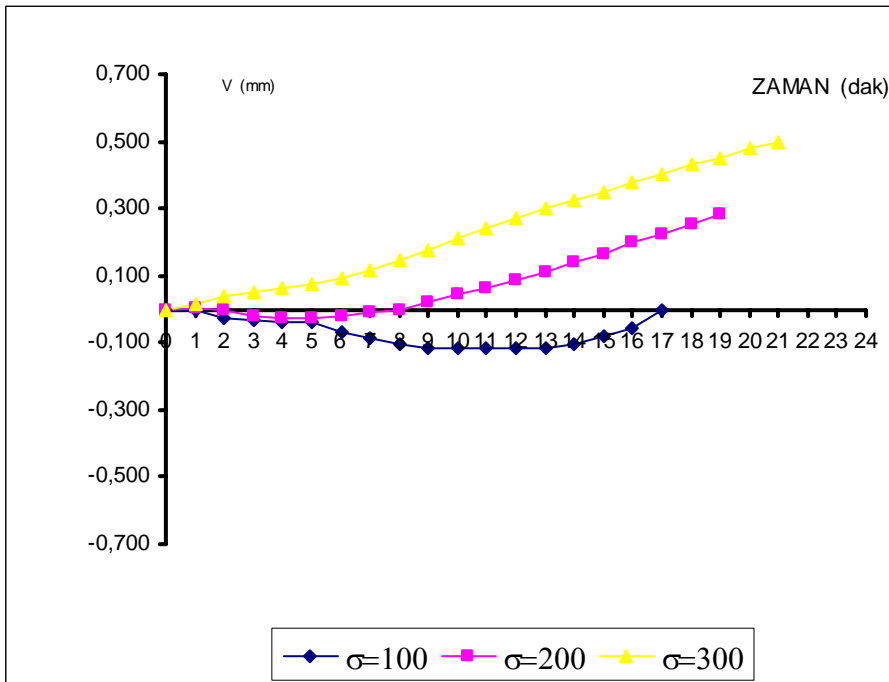


Tablo A.2. %10 ince kum + %90 kil karışımı için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

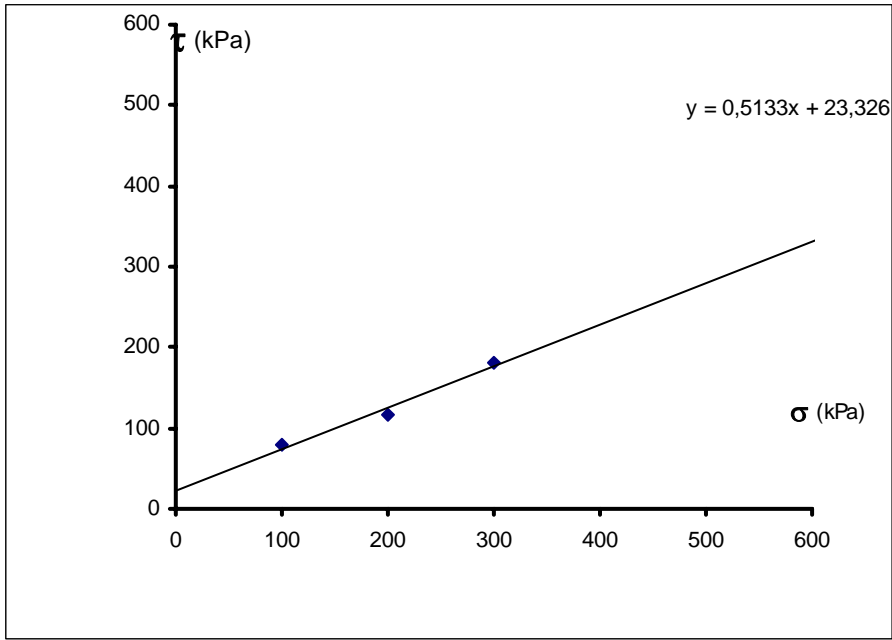
PROJE		%10 İnce Kum + %90 Kil		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,9873	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		316,65	339,49	332,36
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		161,236	183,806	177,388
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		155,414	155,682	154,97
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		153,45	158,43	157,75
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		133,318	133,953	133,65
SU AĞIRLIĞI (gr)		22,096	21,729	21,321
SU MUHTEVASI (%)		17	16	16
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		21,18	21,21	21,11
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		21,36	22,52	22,70
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		210	414	531
SIKIŞMA (mm)		0,420	0,828	1,062
BOŞLUK ORANI		0,56	0,55	0,56
DOYGUNLUK DERESESİ (%)		85	85	83
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,89		



Şekil Ek A.1.4. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



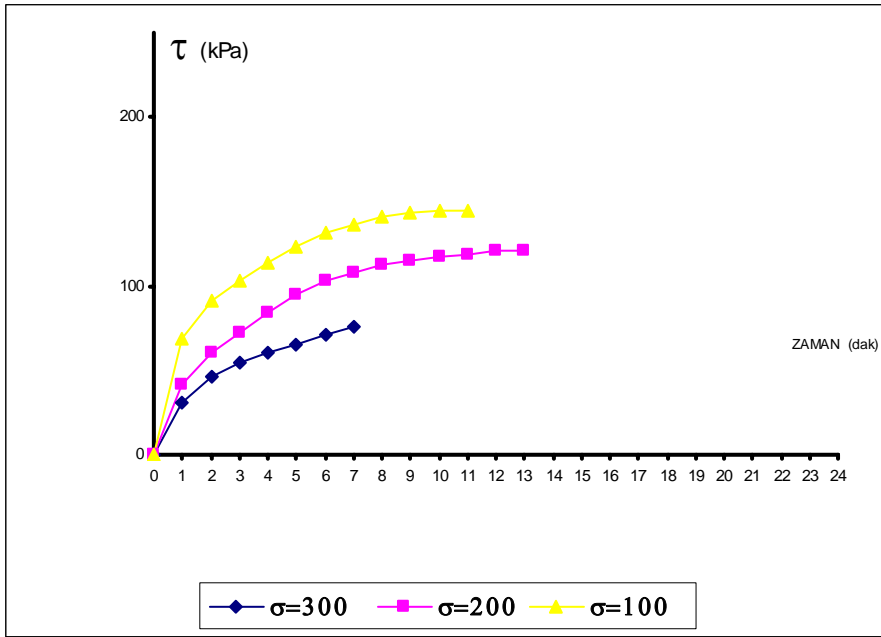
Şekil Ek. A.1.5. Birim zamanda kısalma



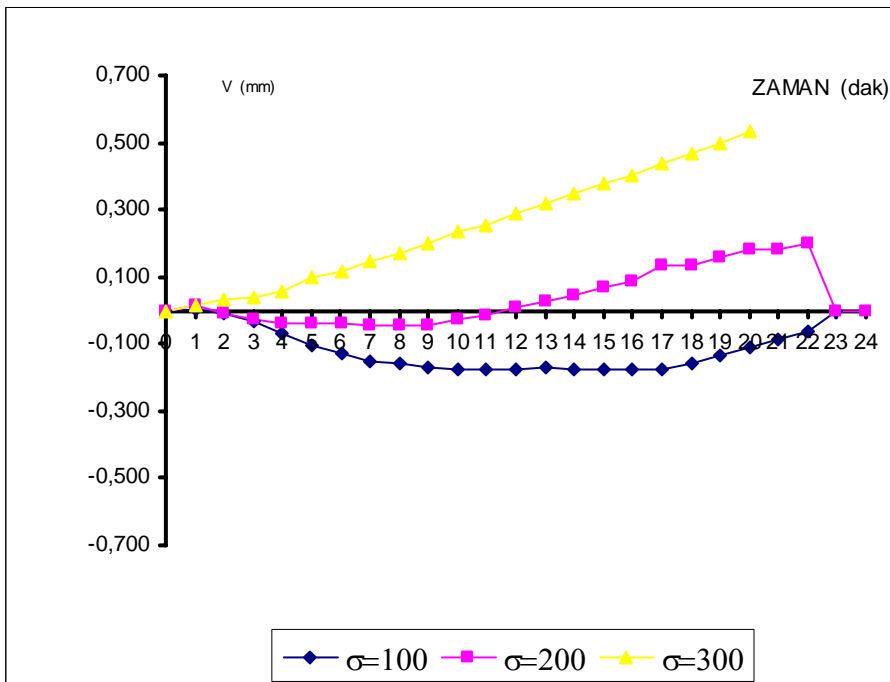
Şekil Ek. A.1.6. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.3.%25 ince kum + %75 kil için kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu  
(astm 3080-90)

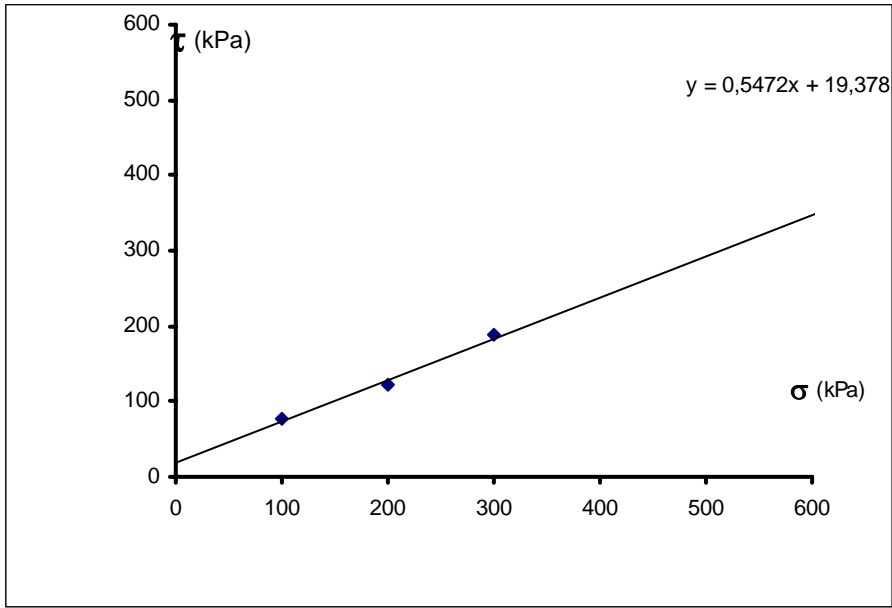
PROJE		%25 İnce Kum + %75 Kil		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,9873	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		312,05	339,41	335,62
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		161,238	183,843	177,277
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		150,812	155,567	158,34
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		154,62	160,46	161,12
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		128,346	133,875	136,122
SU AĞIRLIĞI (gr)		22,466	21,692	22,221
SU MUHTEVASI (%)		18	16	16
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		20,55	21,20	21,57
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,05	23,16	23,89
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		446	560	810
SIKIŞMA (mm)		0,892	1,120	1,620
BOŞLUK ORANI		0,61	0,55	0,52
DOYGUNLUK DERESESİ (%)		82	85	90
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,87		



Şekil Ek. A.1.7. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



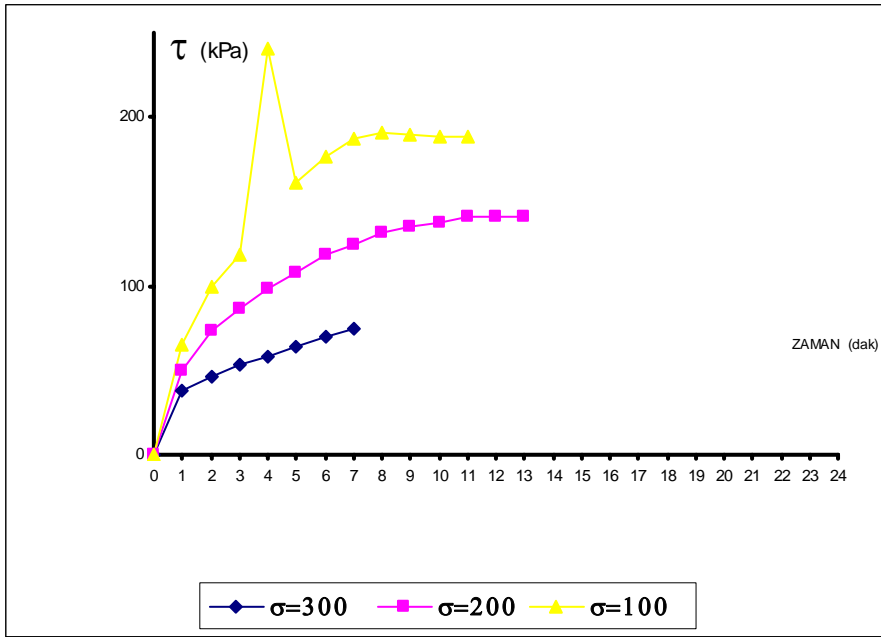
Şekil Ek. A.1.8. Birim zamanda kısalma



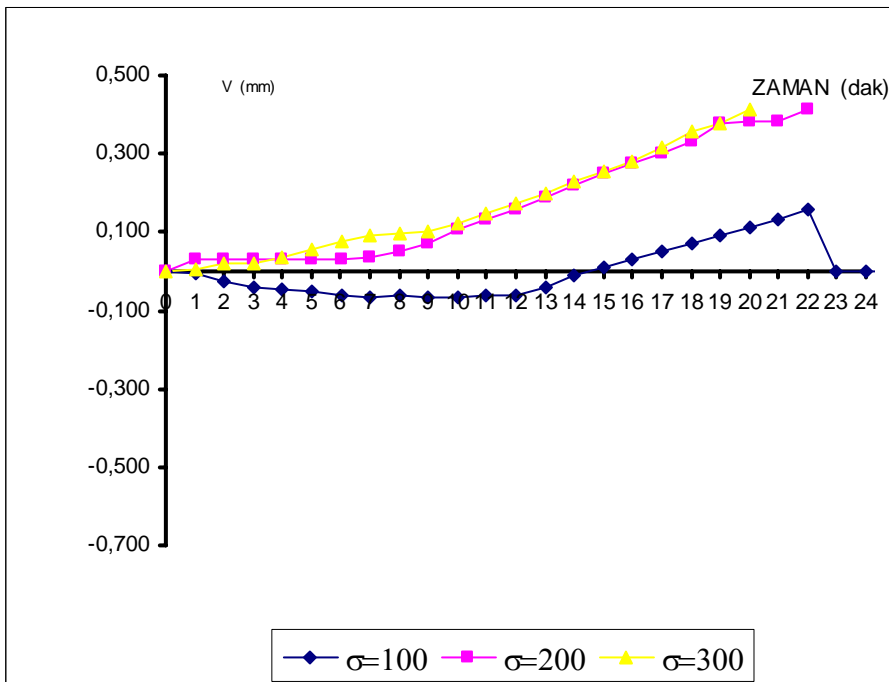
Şekil Ek. A.1.9. Normal gerilme kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.4. %50 ince kum + %50 kil karışımı için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

PROJE		%50 İnce Kum + %50 Kil		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,9873	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		310,78	338,88	334,00
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		161,234	183,81	177,277
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		149,541	155,072	156,72
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		153,45	159,21	161,43
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		131,788	136,637	138,514
SU AĞIRLIĞI (gr)		17,753	18,435	18,209
SU MUHTEVASI (%)		13	13	13
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		20,37	21,13	21,35
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		21,32	22,54	23,26
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		194	374	544
SIKIŞMA (mm)		0,388	0,748	1,088
BOŞLUK ORANI		0,55	0,50	0,48
DOYGUNLUK DERESESİ (%)		69	77	78
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,85		

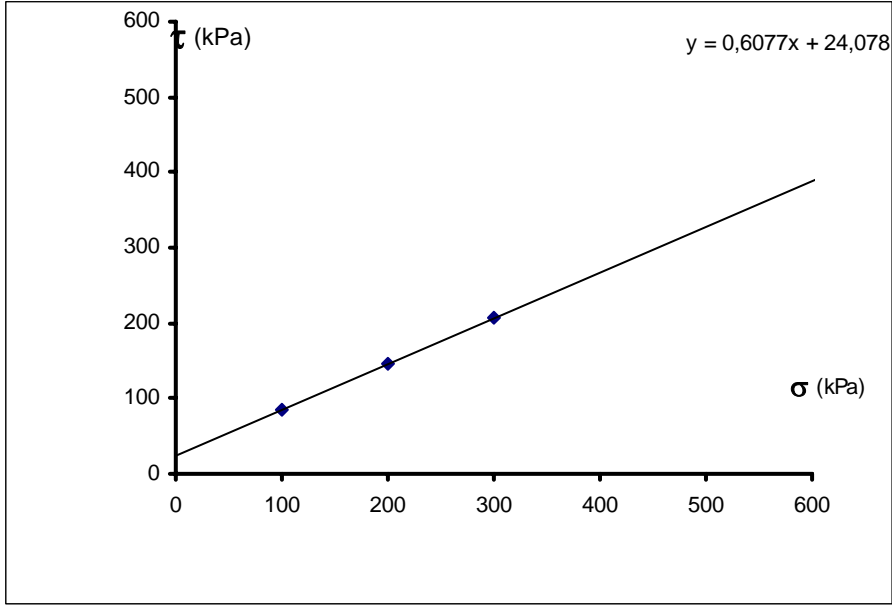


Şekil Ek. A.1.10. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



Şekil Ek. A.1.11. Birim zamanda kısalma

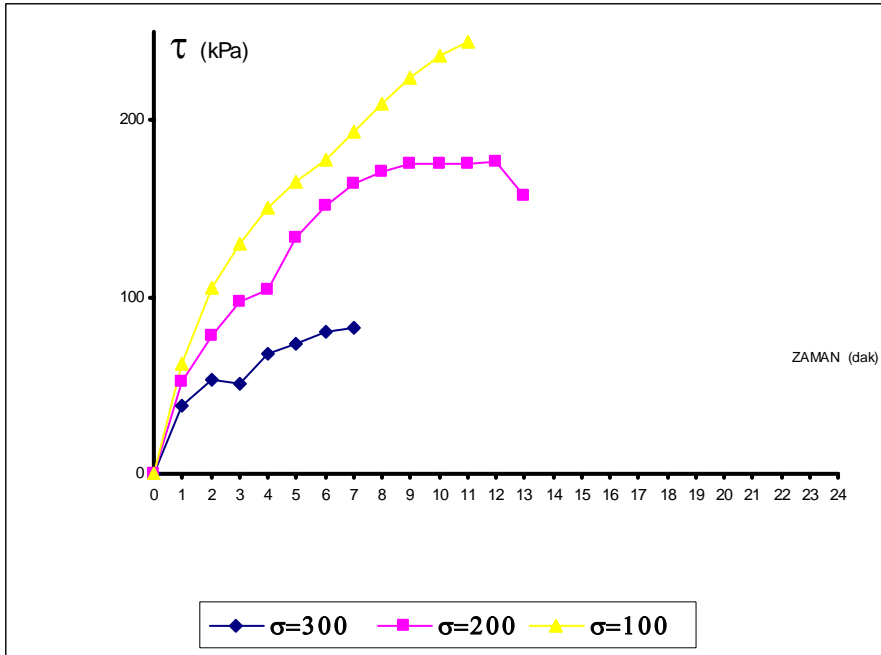




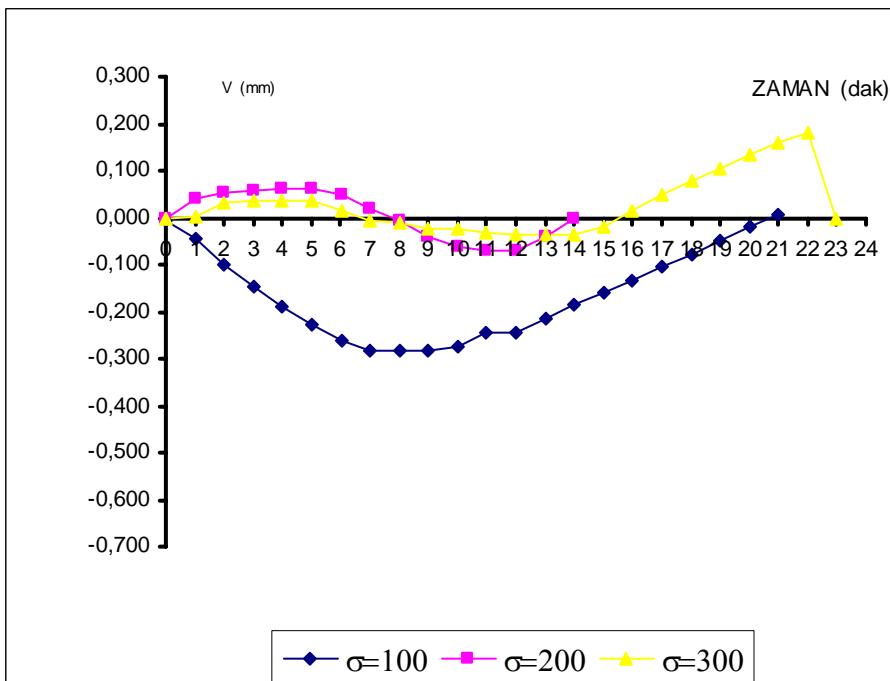
Şekil Ek. A.1.12. Normal gerilme kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.5. %75 ince kum + %25 kil karışımı için kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

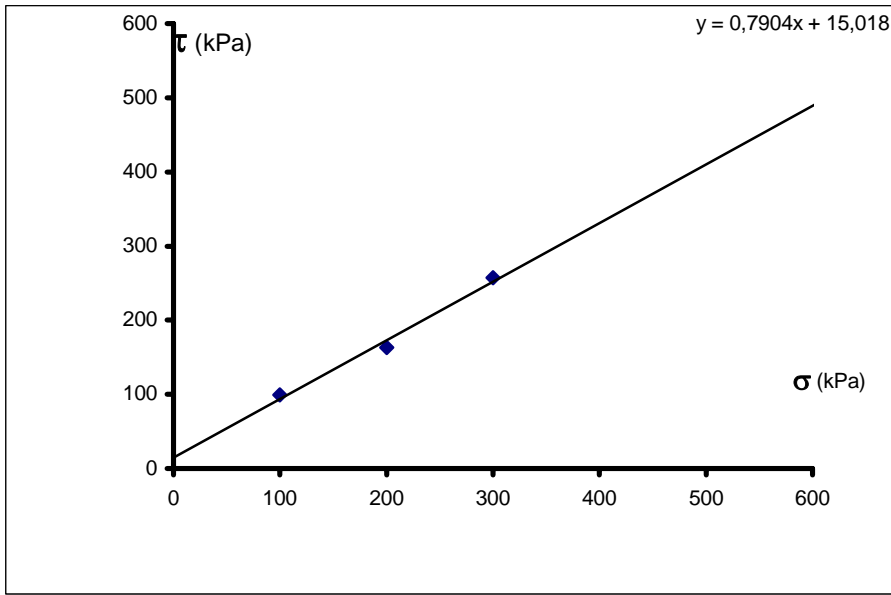
PROJE		%75 İnce Kum + %25 Kil		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,9873	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		302,35	318,60	341,25
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		161,454	177,388	183,825
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		140,895	141,212	147,52
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		147,30	144,89	161,43
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		123,535	123,53	127,237
SU AĞIRLIĞI (gr)		17,36	17,682	20,287
SU MUHTEVASI (%)		14	14	14
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		19,20	19,24	20,10
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		20,38	20,30	23,15
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		153	275	500
SIKIŞMA (mm)		0,306	0,550	1,000
BOŞLUK ORANI		0,64	0,64	0,60
DOYGUNLUK DERECESESİ (%)		62	63	76
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,82		



Şekil Ek. A.1.13. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



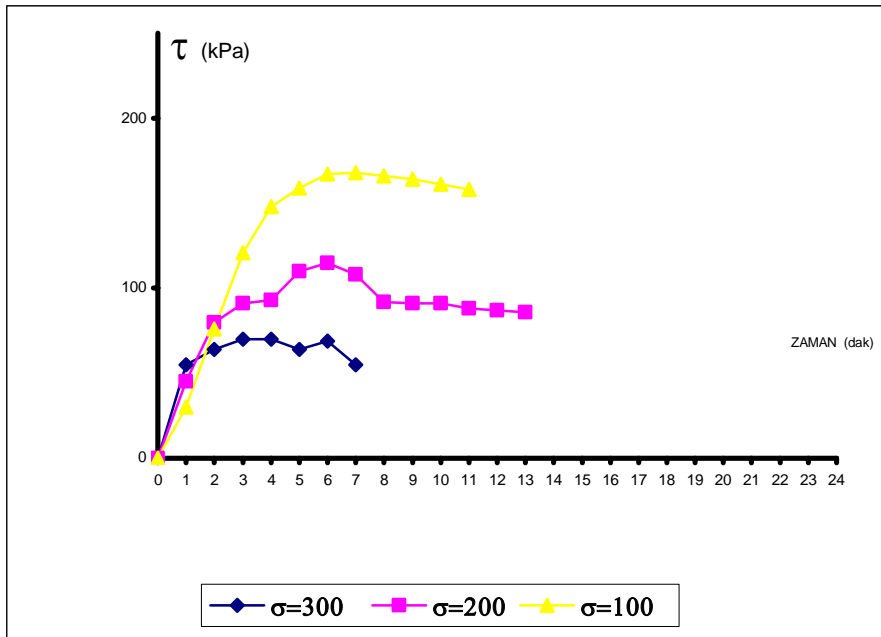
Şekil Ek. A.1.14. Birim zamanda kısalma



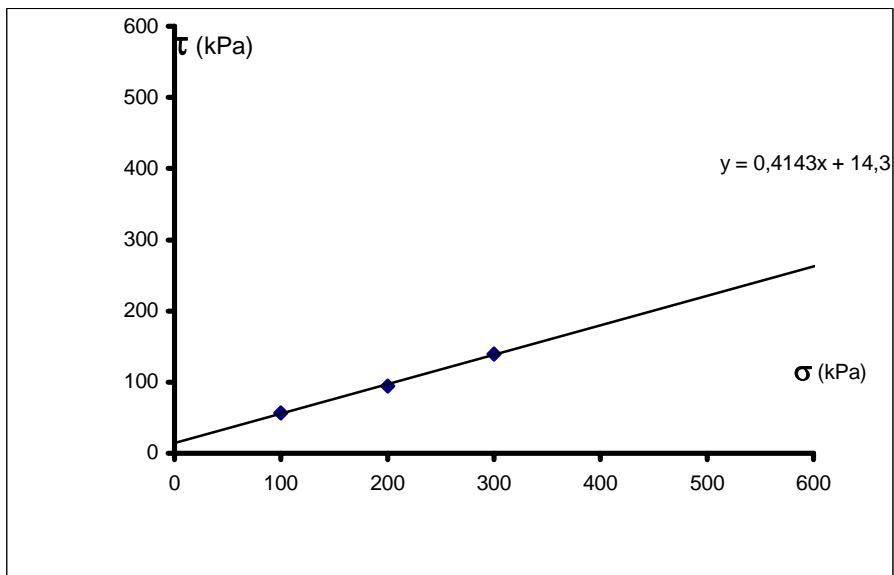
Şekil Ek. A.1.15. Normal gerilme kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.6. %10 orta kum + %90 kil karışımı için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

PROJE		%10 Orta Kum + %90 Kil		
SONDAJ NO		PROJE NO		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,82	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		270,20	268,93	270,15
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		112,186	113,999	112,26
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		158,01	154,935	157,89
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		161,14	156,23	160,75
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		135,4	131,74	134,95
SU AĞIRLIĞI (gr)		22,61	23,195	22,94
SU MUHTEVASI (%)		17	18	17
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		21,53	21,11	21,51
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,69	22,15	22,92
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		325	388	442
SIKIŞMA (mm)		0,650	0,776	0,884
BOŞLUK ORANI		0,53	0,57	0,53
DOYGUNLUK DERECESESİ (%)		91	88	91
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,88		



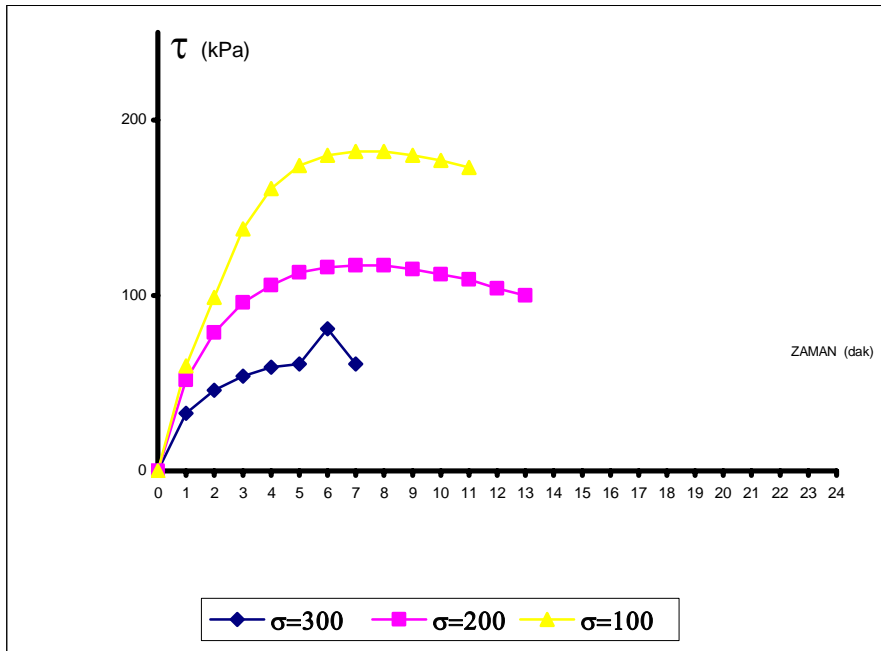
Şekil Ek. A.1.16. Kayma Gerilimlerinin Zamanla Değişimi



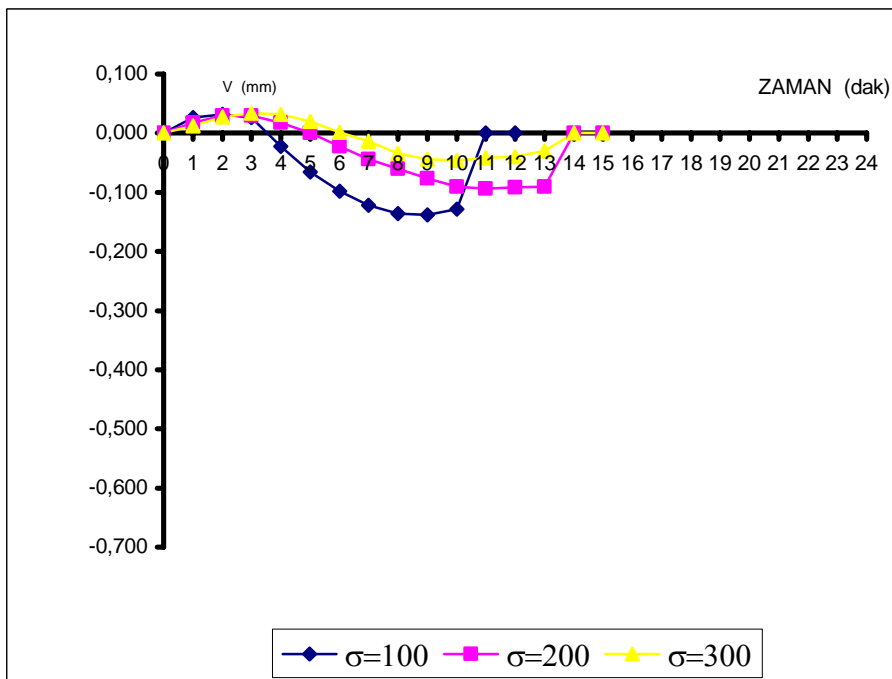
Şekil Ek. A.1.17. Birim zamanda kısalma

Tablo A.7. %25 orta kum + %75 kil karışımı için kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

PROJE		%25 Orta Kum + %75 Kil		
SONDAJ NO		PROJE NO	06/0332	
DERİNLİK	2,50-3,00	KUVVET HALK. KATS.	2,82	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		273,49	273,34	274,48
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		112,195	113,995	112,227
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		161,294	159,345	162,255
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		162,75	163,10	163,85
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		139,467	137,42	140,19
SU AĞIRLIĞI (gr)		21,827	21,925	22,065
SU MUHTEVASI (%)		16	16	16
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		21,98	21,71	22,11
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,90	23,33	23,54
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		315	475	515
SIKIŞMA (mm)		0,630	0,950	1,030
BOŞLUK ORANI		0,47	0,49	0,46
DOYGUNLUK DERESESİ (%)		95	93	97
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,84		

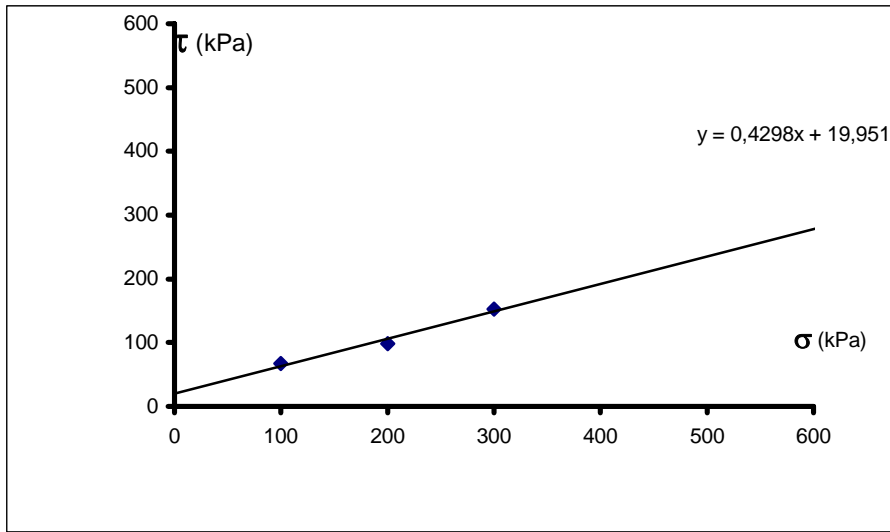


Şekil Ek. A.1.18. Kayma gerilimlerinin zamanla değişimi



Şekil Ek. A.1.19. Birim zamanda kısalma

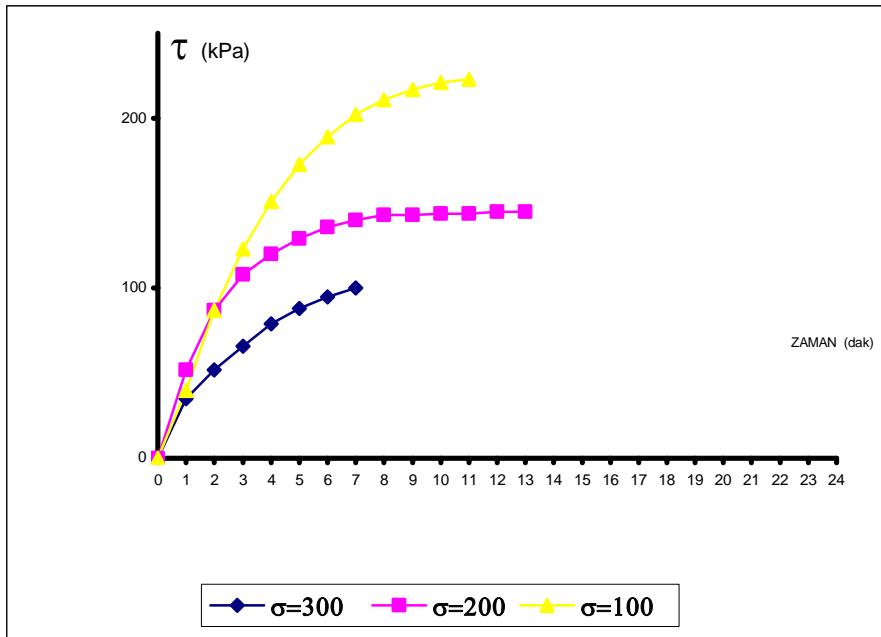




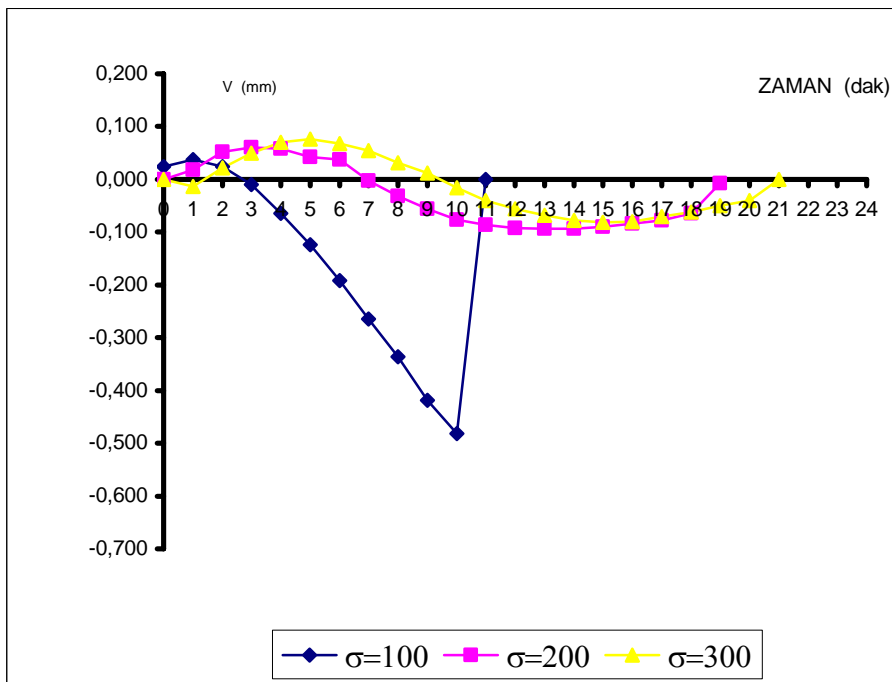
Şekil Ek. A.1.20. Normal gerilme ve kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.8. %50 orta kum + %50 kil karışımı için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

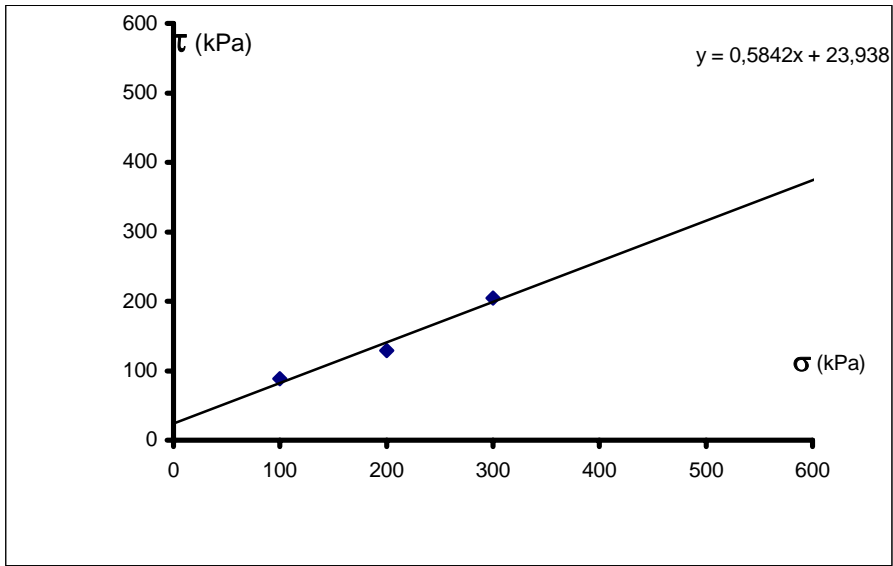
PROJE		%50 Orta Kum + %50 Kil		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,82	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		280,10	276,21	276,46
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		113,986	114,005	112,176
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		166,115	162,203	164,287
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		169,31	164,48	165,30
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		146,717	143,45	146,506
SU AĞIRLIĞI (gr)		19,398	18,753	17,781
SU MUHTEVASI (%)		13	13	12
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,63	22,10	22,38
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		23,78	23,39	23,71
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		299	420	500
SIKIŞMA (mm)		0,598	0,840	1,000
BOŞLUK ORANI		0,37	0,40	0,37
DOYGUNLUK DERECEŚİ (%)		100	91	91
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,79		



Şekil Ek. A.1.21. Kayma gerilimlerinin zamanla değişimi



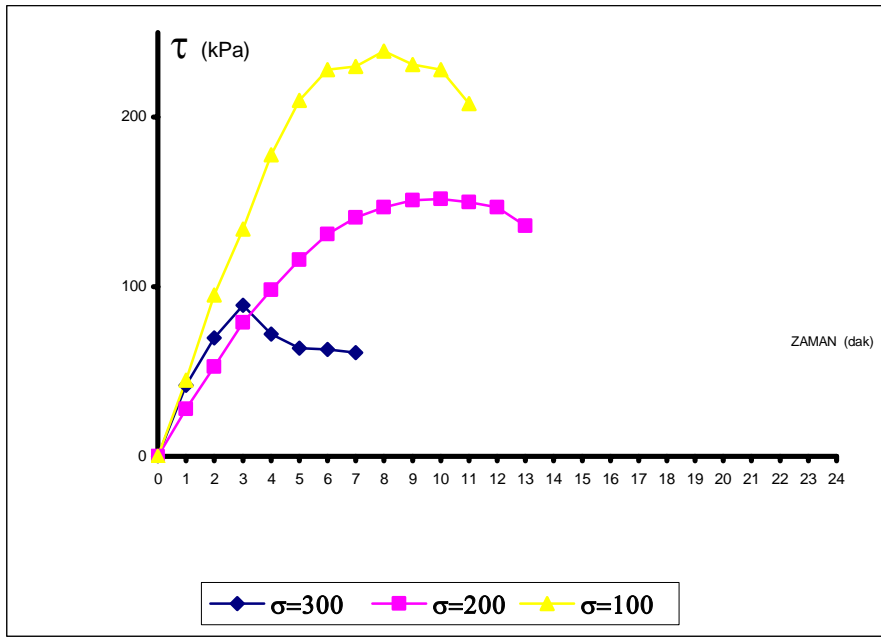
Şekil Ek. A.1.22. Birim zamanda kısalma



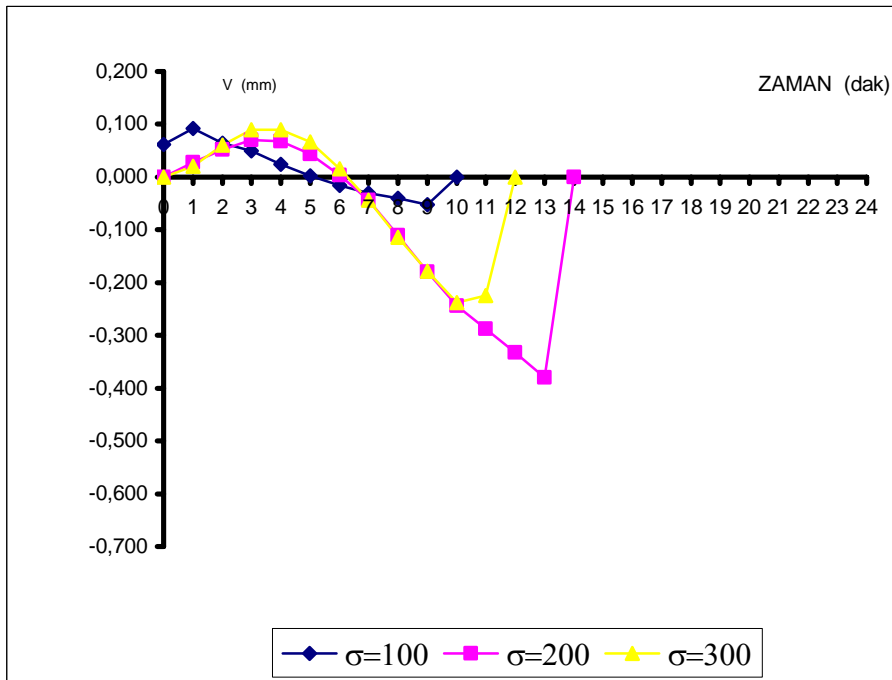
Şekil Ek. A.1.23. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.9. %75 orta kum + %25 kil karışımı için, kayma direncinin kesme kutusunda ölçülmesi deney raporu (astm 3080-90)

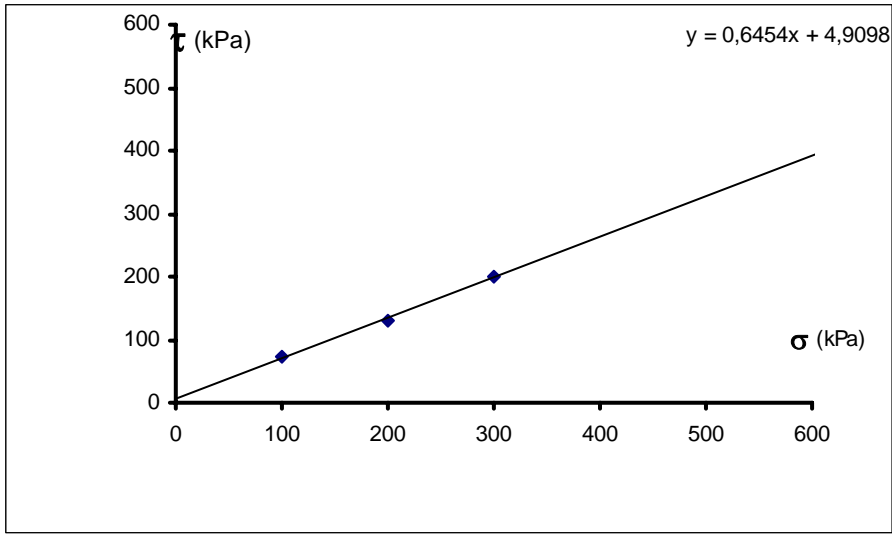
PROJE		%75 orta kum + %25 Kil		
SONDAJ NO		PROJE NO		
DERİNLİK		KUVVET HALK. KATS.	2,82	
TARİH		KESME HIZI (mm/dak)	0,5	
DENEY NO		1	2	3
ÖRNEK BOYUTU (cm <sup>2</sup> )		6*6	6*6	6*6
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (cm)		2	2	2
ÖRNEK ALANI (cm <sup>2</sup> )		36	36	36
ÖRNEK HACMİ (cm <sup>3</sup> )		72	72	72
HALKA - ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		281,51	272,27	272,28
HALKA AĞIRLIĞI (gr)		113,972	114,084	112,246
ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		167,54	158,183	160,033
DENEY SONU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		170,23	161,33	164,01
KURU ZEMİN AĞIRLIĞI (gr)		152,559	141,361	142,123
SU AĞIRLIĞI (gr)		14,981	16,822	17,91
SU MUHTEVASI (%)		10	12	13
DENEY ÖNCESİ BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		22,83	21,55	21,80
DENEY SONRASI BİRİM HACİM AĞIRLIK (kN/m <sup>3</sup> )		23,74	22,74	23,28
YÜK (kg)		36000	72000	108000
$\sigma$ (kPa)		100	200	300
İLK OKUMA		0	0	0
SON OKUMA		232	332	402
SIKIŞMA (mm)		0,464	0,664	0,804
BOŞLUK ORANI		0,29	0,39	0,38
DOYGUNLUK DERECESESİ (%)		93	83	90
ÖZGÜL AĞIRLIK		2,73		



Şekil Ek. A.1.24. Kayma gerilmelerinin zamanla değişimi



Şekil Ek. A.1.25. Birim zamanda kısalma



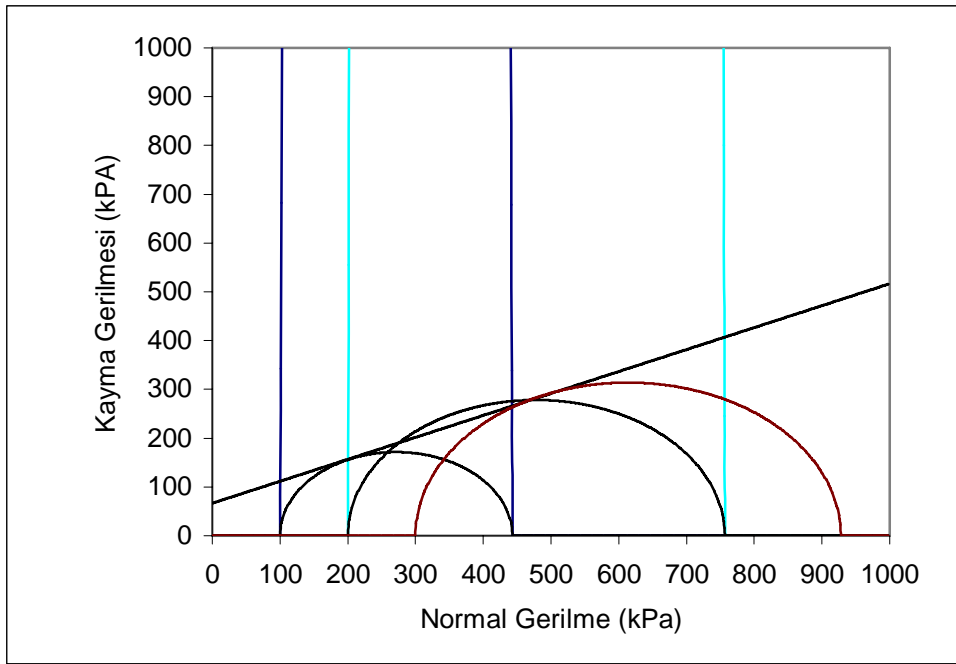
Şekil Ek. A.1.26. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

## EK A.2. Üç Eksenli

Tablo A.10. %10 ince kum + %90 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%10 İnce Kum + %90 Kil		
ÖRNEĞİN TANIMI		RAPOR NO		
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,889
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,60	3,57	3,60
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		10,18	10,01	10,18
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,78	7,67	7,7
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		79,19	76,78	78,38
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		170,32	171,58	173,51
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		170,32	171,58	173,51
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		145,32	145,65	147,407
SU AĞIRLIĞI, (g)		25,00	25,93	26,10
SU MUHTEVASI, (%)		17	18	18
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		21,10	21,92	21,72
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18,00	18,61	18,45
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		50,30	50,42	51,02
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		28,89	26,36	27,35
POROZİTE, (%)		36,48	34,33	34,90
BOŞLUK ORANI		0,57	0,52	0,54
DOYGUNLUK DERECESESİ, (%)		87	98	95
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				



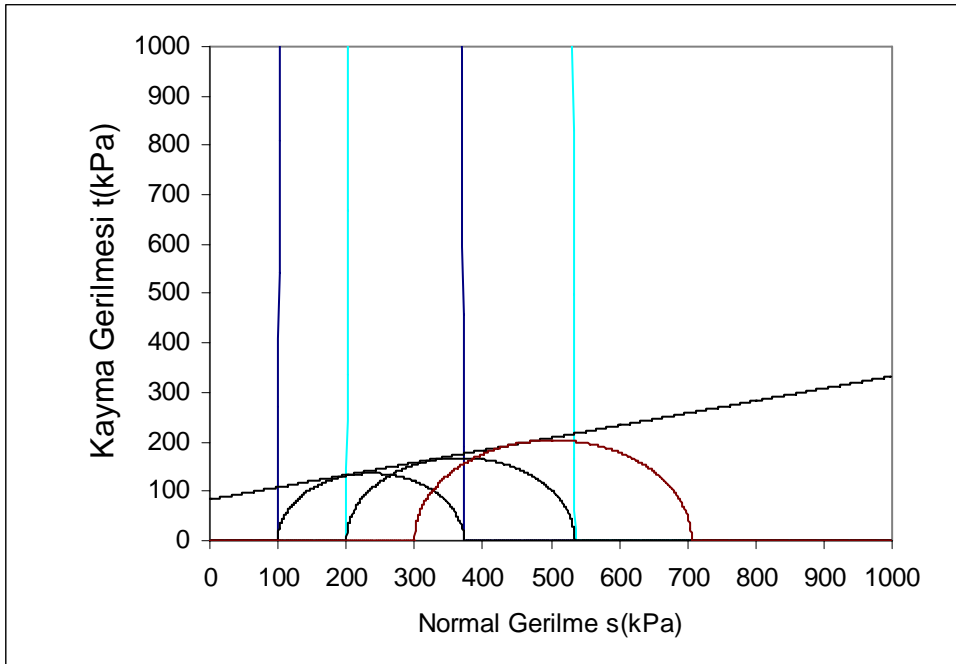


Şekil Ek. A.2.1. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

$\tau$

Tablo A.11. %25 ince kum + %75 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

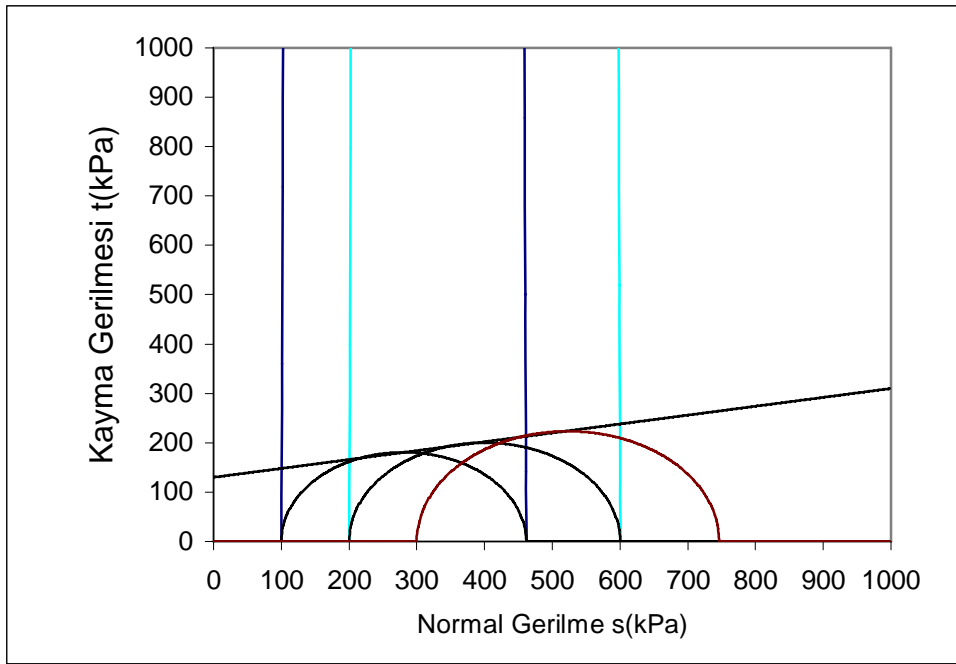
DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%25 İnce Kum + %75 Kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,873
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,57	3,60	3,60
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		10,01	10,18	10,18
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,66	7,48	7,54
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		76,68	76,09	76,75
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		170,7 2	165,8 9	167,61 3
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		170,7 2	165,8 9	167,61
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		145,9 6	142,8 9	143,81 9
SU AĞIRLIĞI, (g)		24,77	23,00	23,79
SU MUHTEVASI, (%)		17	16	17
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		21,84	21,39	21,42
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18,67	18,42	18,38
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		50,80	49,74	50,06
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		25,87	26,35	26,69
POROZİTE, (%)		33,74	34,63	34,77
BOŞLUK ORANI		0,51	0,53	0,53
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		96	87	89
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				



Şekil Ek. A.2.2. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.12. %50 ince kum + %50 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

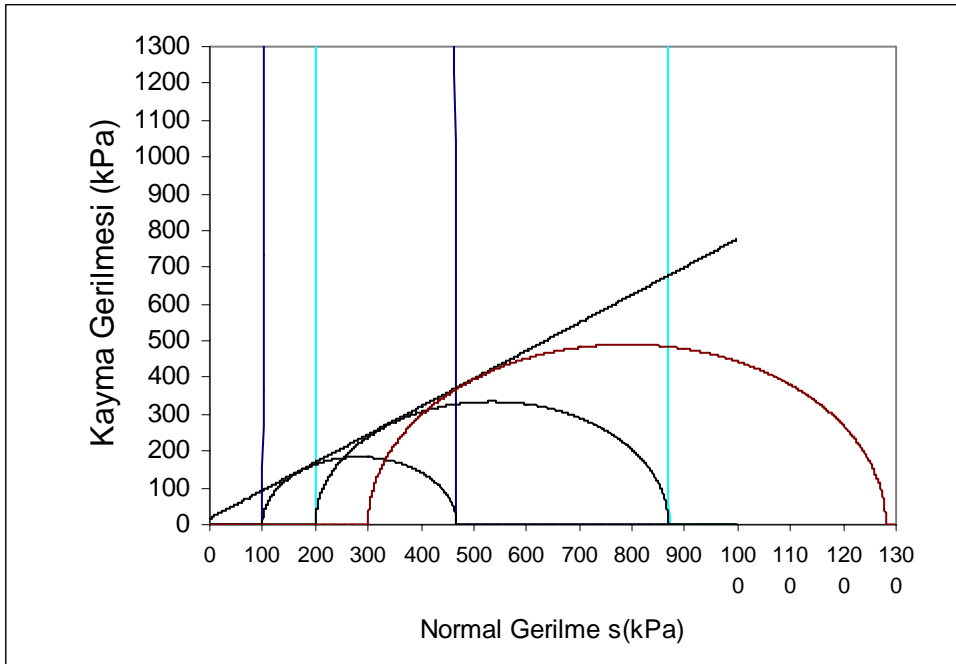
DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%50 İnce Kum + %50 Kil		
ÖRNEĞİN TANIMI		Kahverengi	RAPOR NO	
PAFTA		ADA	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI	2,846	
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO	4693	
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI	2,121	
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,49	3,58	3,60
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		9,57	10,04	10,18
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,80	7,47	7,42
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		74,62	74,98	75,53
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		168,34	170,47	170,141
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		168,34	170,47	170,141
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		149,86	151,98	151,404
SU AĞIRLIĞI, (g)		18,48	18,50	18,74
SU MUHTEVASI, (%)		12	12	12
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		22,13	22,30	22,10
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		19,70	19,88	19,67
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		52,66	53,40	53,20
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		21,96	21,58	22,33
POROZİTE, (%)		29,43	28,78	29,56
BOŞLUK ORANI		0,42	0,40	0,42
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		84	86	84
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				



Şekil Ek. A.2.3. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.13. %75 ince kum + %25 kil karışımı için, üç eksenli hücre basınç deney raporu

DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%75 İnce Kum + %25 Kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,82
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,57	3,56	3,57
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		10,01	9,93	10,01
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,40	7,40	7,52
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		74,07	73,45	75,27
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		156,59	154,15	157,807
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		156,59	154,15	157,81
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		137,74	135,05	138,858
SU AĞIRLIĞI, (g)		18,85	19,10	18,95
SU MUHTEVASI, (%)		14	14	14
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		20,74	20,59	20,57
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18,24	18,04	18,10
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		48,86	47,91	49,26
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		25,21	25,55	26,02
POROZİTE, (%)		34,04	34,78	34,56
BOŞLUK ORANI		0,52	0,53	0,53
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		75	75	73
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				

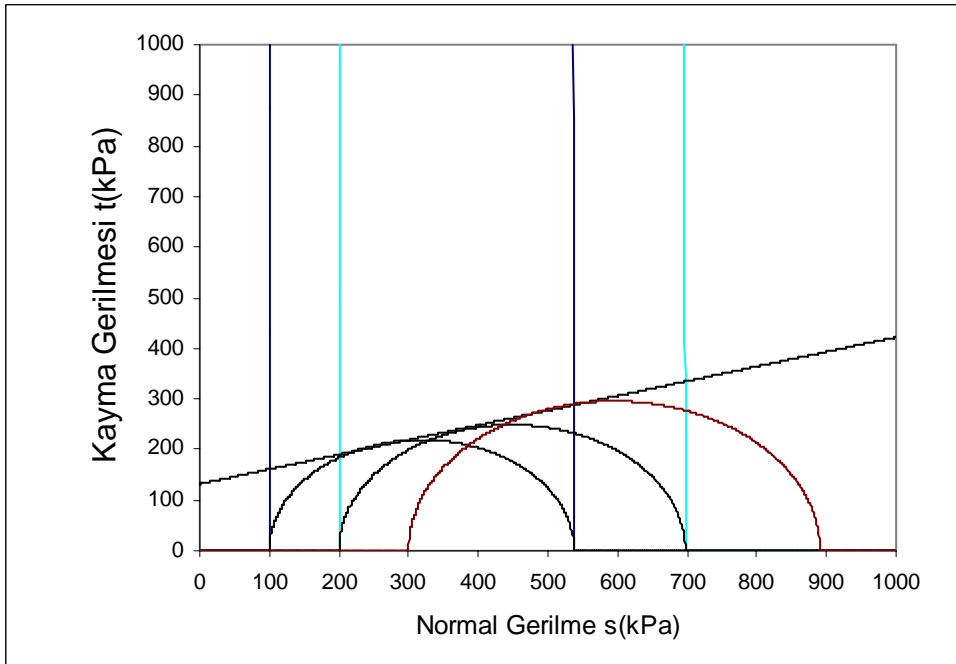


Şekil Ek. A.2.4. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.14. %10 orta kum + %90 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%10 orta kum + % 90 kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,877
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,49	3,60	3,60
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		9,57	10,18	10,18
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,57	7,04	7,57
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		72,42	71,66	77,05
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		165,58	154,09	167,527
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		165,58	154,09	167,53
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		140,30	131,03	144,3
SU AĞIRLIĞI, (g)		25,28	23,06	23,23
SU MUHTEVASI, (%)		18	18	16
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		22,43	21,09	21,33
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		19,01	17,94	18,37
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		48,77	45,54	50,16
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		23,65	26,12	26,90
POROZİTE, (%)		32,66	36,44	34,91
BOŞLUK ORANI		0,48	0,57	0,54
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		107	88	86
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				





Şekil Ek. A.2.5. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

Tablo A.15. %25 orta kum + %75 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

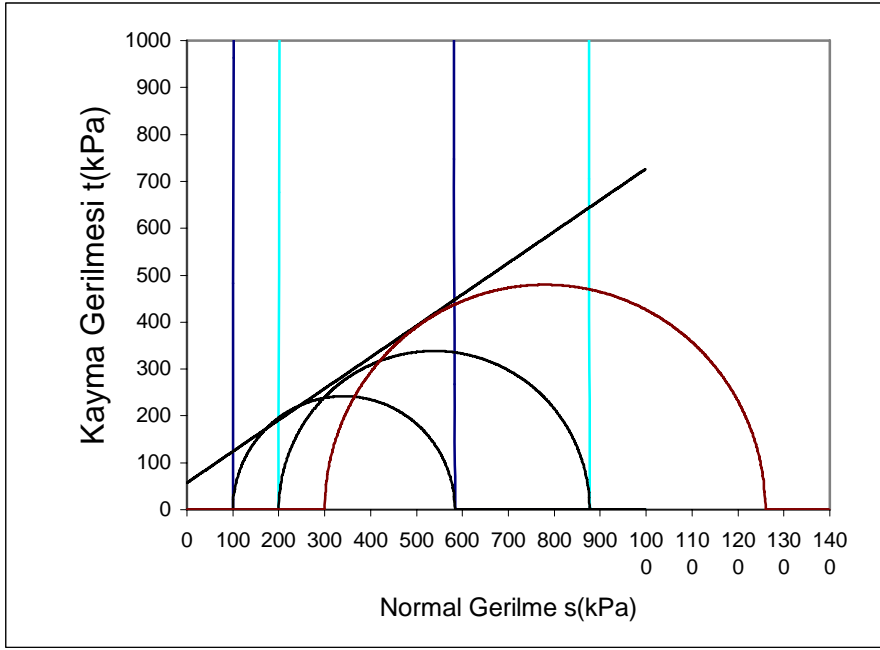
DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%25 orta kum + %75 kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,844
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,56	3,60	3,57
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		9,95	10,18	10,01
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,73	7,30	7,55
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		76,89	74,30	75,57
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		171,25	165,10	167,28
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		171,25	165,10	167,28
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		148,52	142,91	145,354
SU AĞIRLIĞI, (g)		22,73	22,19	21,93
SU MUHTEVASI, (%)		15	16	15
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		21,85	21,80	21,71
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18,95	18,87	18,87
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		52,22	50,25	51,11
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		24,67	24,06	24,47
POROZİTE, (%)		32,09	32,38	32,37
BOŞLUK ORANI		0,47	0,48	0,48
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		92	92	90
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				

Tablo A.16. %50 orta kum + %50 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%50 orta kum + 50 kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,788
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,56	3,60	3,57
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		9,95	10,18	10,01
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,73	7,30	7,55
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		76,89	74,30	75,57
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		171,25	165,10	167,28
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		171,25	165,10	167,28
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		148,52	142,91	145,354
SU AĞIRLIĞI, (g)		22,73	22,19	21,93
SU MUHTEVASI, (%)		15	16	15
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		21,85	21,80	21,71
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		18,95	18,87	18,87
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		53,27	51,26	52,14
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		23,62	23,05	23,44
POROZİTE, (%)		30,72	31,02	31,01
BOŞLUK ORANI		0,44	0,45	0,45
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		96	96	94
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				

Tablo A.17. %75 orta kum + %25 kil karışımı için üç eksenli hücre basınç deney raporu

DENEYİ YAPTIRAN KURULUŞ		SALİM DURMUŞ		
PROJE		YÜKSEK LİSANS		
ÖRNEĞİN ALINDIĞI YER		%75 orta kum + %25 kil		
ÖRNEĞİN TANIMI			RAPOR NO	
PAFTA		AD A	PARSEL	
SONDAJ NO		NUMUNE NO		
DERİNLİK		DANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI		2,732
DENEY HIZI	0,8 mm/sn	KUVVET HALKASI NO		4693
TARİH		KALİBRASYON KATSAYISI		2,121
ÖRNEK NO		1	2	3
ÖRNEK ÇAPI, (cm)		3,47	3,54	3,55
ÖRNEK ALANI, (cm <sup>2</sup> )		9,43	9,84	9,87
ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ, (cm)		7,57	7,43	7,575
ÖRNEK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		71,38	73,08	74,77
ÇEVRE BASINCI, (kPa)		100	200	300
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		158,21	161,57	166,665
DENEY SONU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		158,21	161,57	166,67
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI, (g)		140,56	143,51	147,407
SU AĞIRLIĞI, (g)		17,66	18,05	19,26
SU MUHTEVASI, (%)		13	13	13
DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		21,74	21,69	21,87
KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI, (kN/m <sup>3</sup> )		19,32	19,27	19,34
DANE HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		51,45	52,53	53,96
BOŞLUK HACMİ, (cm <sup>3</sup> )		19,93	20,55	20,81
POROZİTE, (%)		27,93	28,12	27,83
BOŞLUK ORANI		0,39	0,39	0,39
DOYGUNLUK DERECEŚİ, (%)		89	88	93
KIRILMADA BİRİM KISALMA, (%)				
DRENAJSIZ ELASTİSİTE MODÜLÜ, (Mpa)				



Şekil Ek. A.2.6s. Normal gerilme – kayma gerilmesi grafiği

**EK B. Kesme Kutusu Deneyi Sonrası Numunelerin Fotoğrafları**

Şekil Ek.B.1. %10 Orta kum + %90 Kilin 100kPa yük altında kesilen numune fotoğrafı



Şekil Ek.B.2. %10 Orta kum + %90 Kilin 200kPa yük altında kesilen numune fotoğrafı



Şekil Ek.b.3. %10 Orta kum + %90 Kilin 300kPa yük altında kesilen numune fotoğrafı



**EK C. Üç Eksenli Kesme Kutusu Deneyi Sonrası Numunelerin Fotoğrafları**

Şekil Ek.C.1. %10 Orta kum + %90 Kilin 100kPa yük altında kırılan numune fotoğrafı



Şekil Ek.C.2. %10 Orta kum + %90 Kilin 200kPa yük altında kırılan numune fotoğrafı





Şekil Ek.C.3 %10 Orta kum + %90 Kilin 300kPa yük altında kırılan numune fotoğraf

## ÖZGEÇMİŞ

Salim Durmuş, 01.05.1978 de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Fatih'te tamamladı. 1996 yılında Özel Fatih Erkek Lisesi, Fen Bölümünden mezun oldu. 1996 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2001 yılında bitirdi. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2001-2002 yıllarında özel bir şirkette yönetim kurulu üyeliği yaptı. 2003 yılında kendi inşaat şirketini kurarak ticaret hayatına atıldı.