

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN KESME KUTUSU DENEYİNDE KESME HIZININ ZEMİN
PARAMETRELERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat BEREN**

**Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği, Uygulamalı
Jeoloji Anabilim Dalı**

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇOBANOĞLU

HAZİRAN 2014

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 111149009 nolu öğrencisi Murat BEREN tarafından hazırlanan “ZEMİN KESME KUTUSU DENEYİNDE KESME HIZININ ZEMİN PARAMETRELERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Yrd. Doc. Dr. İbrahim ÇOBANOĞLU (PAÜ)
(Jüri Başkanı)



Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. Sefer Beran ÇELİK (PAÜ)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
02/07/2014 tarih ve ...28/16... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Murat BEREN

ÖNSÖZ

Bu çalışmada zemin kesme kutusu deneyinde kesme hızının zeminin içsel sürtünme, kohezyon, pik ve rezidüel kayma dayanımı parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiş, bu kapsamda 4 farklı örnek üzerinde 0.05 mm/dak. ile 5 mm/dak. aralığında 9 farklı kesme hızı kullanılmış, elde edilen veriler ışığında Mohr kırılma zarfları çizilmiş, bu zarflar sonucunda elde edilen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik kayma dayanımı değerleri korele edilip sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇOBANOĞLU'na, Prof. Dr. Halil KUMSAR'a, Yrd. Doç. Dr. Sefer Beran ÇELİK'e maddi ve manevi desteklerinden dolayı yardımcı olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Haziran, 2014

Murat BEREN

(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Hipotez	16
2. ZEMİNLERDE KAYMA DAYANIMI	18
2.1 Mohr-Coulomb Yenilme Kriteri	19
2.2 Zeminlerin Makaslama Dayanımına Göre Sınıflandırılması	20
2.3 Makaslama Dayanım Parametrelerinin Belirlenmesi.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM	21
3.1 Kesme Kutusu Deneyi.....	21
3.1.1 ASTM D 3080-98 Konsolide Olmuş Zeminlerin Drenajlı Koşullarda Direkt Kesme Deneyi İçin Standart Test Yöntemi	21
3.1.1.1 Kapsam.....	21
3.1.1.2 Terminoloji	22
3.1.1.3 Test yönteminin özeti	22
3.1.1.4 Önemi ve kullanımı.....	22
3.1.1.5 Cihazlar	23
3.1.1.6 Test örneği.....	25
3.1.1.7 Numunenin hazırlanması	25
3.1.1.8 Kalibrasyon	25
3.1.1.9 Prosedür.....	26
3.1.1.10 Hesaplamalar.....	28
3.1.1.11 Rapor.....	28
3.1.2 ASTM D3090 – 90 Konsolide Olmuş Drenajlı Koşullardaki Zeminler İçin Direkt Kesme Deneyi Yöntemi.....	29
3.1.2.1 Kapsam.....	29
3.1.2.2 Terminoloji.....	29
3.1.2.3 Test yönteminin özeti	29
3.1.2.4 Önemi ve kullanımı.....	30
3.1.2.5 Cihazlar	30
3.1.2.6 Prosedür.....	31
3.1.2.7 Hesaplamalar.....	31
3.1.2.8 Rapor.....	32
3.2.1 Kesme kutusu deneyinde kayma direncini etkileyen faktörler.....	32
3.2 Elek Analizi Deneyi (Dane Çapı Dağılımının Bulunması)	34
3.2.1 Dane çapı dağılımının bulunması için yıkamalı eleme yöntemi.....	34
3.2.1.1 Genel.....	34
3.2.1.2 Cihazlar.....	34
3.2.1.3 Deneyin yapılışı.....	35
3.2.1.4 Hesaplamalar	36
3.2.1.5 Notlar	37

3.2.2 Dane apı dağılıminın bulunması için kuru eleme yöntemi	39
3.2.2.1 Genel.....	39
3.2.2.2 Cihazlar.....	39
3.3.2.3 Deneyin yapılışı.....	40
3.2.2.4 Hesaplamalar	40
3.2.2.5 Sonuçların gösterilmesi	41
3.2.3 200 Nolu elek uzerinde ıslak eleme yapmak	41
3.3 Konsolidasyon Deneyi (Tek Yönlü Konsolidasyon zelliklerinin Tayini).....	42
3.3.1 Genel	42
3.3.2 Cihazlar	42
3.3.3 Deneyin yapılışı	44
3.3.4 Konsolidasyon cihazının hazırlanması.....	46
3.3.5 Yükleme	46
3.3.6 Yükün boşaltılması	47
4. KULLANILAN MALZEME, TEST CİHAZI ve YÖNTEM.....	49
4.1 Kullanılan Malzeme	49
4.2 Test Cihazı ve Yöntem	53
5. BULGULAR	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	72
EKLER.....	75

KISALTMALAR

ADU	: The Autonomous Data Acquisition Unit
CPT	: Konik Penetrasyon Deneyi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsches Institut für Normung
GCL	: Geosynthetic Clay Liner
KVA	: kilo volt amper
MSW	: Belediye katı atık malzemesi
PMT	: Presiyometre Deneyi
SR	: Shearing rate (kesme hızı)
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
TS	: Türk Standartları
Tmkb	: Kızılburun formasyonu
Tms	: Sazak formasyonu
Tpko	: Kolonkaya formasyonu

TABLO LİSTESİ

Tablolar

1.1 : Tomoyo Nakao'ya ait çalışmada kesme hızına karşılık gelen efektif içsel sürtünme açısı değerleri.....	3
1.2 : Horn'a ait çalışmada içsel sürtünme açısının kesme hızına etkisi	4
1.3 : Gonghui Wang'ın çalışmasına ait örneklerin özellikleri	7
3.1 : Dane çapı dağılımı deney formu	37
3.2 : Dane çapı dağılımı deney sonucu formu.....	38
4.1 : Kumlu kil örneğine ait elek analizi sonuçları	49
6.1 : Deney sonuçlarına göre, her numune için farklı kesme hızlarıyla elde edilen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerine ait bağıntılar , bu değerlerin anlamlılık düzeyi ve literatür ile olan bağlantısı.....	71
A.1 : 60 No'lu elek üstü numune için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri.....	75
A.2 : 60 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri.....	75
A.3 : Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numune için drenajlı koşulda 10 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri	76
A.4 : Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşulda 4 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri....	76
A.5 : Kumlu kil numunesi için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri	76
A.6 : Kumlu kil numunesi için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri	77
A.7 : 40 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri	77
A.8 : 40 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

1.1 : Al-Mhaidib'e ait deneyde kullanılan kumun yenilme zarfları.....	6
1.2 : Al- Mhaidib'e ait deneyde kullanılan kumda kesme hızının içsel sürtünme açısına olan etkisi.....	6
1.3 : Gonghui Wang'a ait Tokushima bölgesi suya doymuş ve kuru durumlarda S1 örneğinin kesme hızına karşılık gelen gerilme oranları.....	8
1.4 : Gonghui Wang'a ait Tokushima bölgesi örnek S2 ve S3'ün kesme hızına karşılık gelen gerilme oranları	8
1.5 : Kojo Anim'e ait çalışmada kesme hızının kuru numunenin içsel sürtünme açısı üzerindeki etkisi.....	9
1.6 : Kojo Anim'e ait çalışmada kesme hızının %8 su içeriğine sahip numunelerin içsel sürtünme açısı üzerindeki etkisi	10
1.7 : Andrew D. Bro'ya ait çalışmada normal konsolide kaolinit için kesme hızına karşılık gelen dayanım oranları	11
1.8 : Andrew D. Bro'ya ait çalışmada normal konsolide kaolinit-bentonit karışımı için kesme hızına karşılık gelen dayanım oranları.....	11
1.9 : Jung Min-Su, Chea Jong-Gil, Shibuya Satoru'ya ait çalışmada kesme hızının S_u/σ_{VC} üzerindeki etkisi	12
1.10 : Zekkos'a ait çalışmada MSW'nin 150 kPa normal kuvvet altında 0.1 mm/dak ve 5 mm/dak kesme hızlarındaki davranışı.....	14
2.1 : Gerilme-deformasyon grafiği örneği.....	18
2.2 : Mohr kırılma zarfı ve Mohr kırılma denklemi	19
2.3 : Farklı zeminlerin farklı Mohr kırılma zarfları.....	20
3.1 : Kare ve dairesel kesme kutularının kesit görünümü.....	33
3.2 : Halka kesme kutusu deneyinin yapılış aşamaları.....	33
3.3 : Kare şekilli kesme kutusu ve deney aşamaları fotoğrafları.....	34
3.4 : Elek analizi grafiği	39
3.5 : Elek analizi seti ve terazi.....	41
3.6 : Elek seti ve elenmiş numuneler.....	41
3.7 : Konsolidasyon deneyi aleti	48
3.8 : Konsolidasyon deneyi devam ederken deney düzeneği.....	48
3.9 : Deney sonrası deney düzeneğinden çıkarılan numune	48
4.1 : Kumlu kil örneğine ait tane boyu dağılımı grafiği.....	50
4.2 : Denizli merkezden kumlu kil örneğinin alındığı bölge.....	50
4.3 : Kumlu kil örneğinin alım noktaları.....	51
4.4 : Yenice kumu örneğinin alındığı seviye	51
4.5 : Drenajlı koşulda kesilmiş kumlu kil örnekleri	51
4.6 : Drenajsız koşulda kesilmiş kumlu kil örneği	51
4.7 : 40 No'lu elek üstüne ait drenajlı durumda kesilmiş numune.....	52
4.8 : 40 No'lu elek üstüne ait drenajsız koşulda kesilmiş numune	52
4.9 : Hem ıslak hem kuru elek yapılmış 200 No'lu elek üstündeki kalan kum örneği	52

4.10 : Drenajsız durumda kesilmiş olan 200 No’lu elek üstü kum örneği	53
4.11 : Numunenin tokmakkla kesme kutusu cihazına yerleştirilmesi	53
4.12 : ADU-DS7 bilgisayar programının görüntüleri	54
5.1 : 40 No’lu elek üstü kum numunesinin drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği.....	55
5.2 : 40 No’lu elek üstü kum numunesinin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği	56
5.3 : 40 No’lu elek üstü kum numunesinin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği.....	56
5.4 : 40 No’lu elek üstü kum numunesinin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği	57
5.5 : Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği.....	57
5.6 : Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği.....	58
5.7 : Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği.....	58
5.8 : Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği.....	59
5.9 : Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği	59
5.10 : Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği ...	60
5.11 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği	60
5.12 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon değeri grafiği	61
5.13 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği.....	61
5.14 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği.....	62
5.15 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği.....	62
5.16 : Yenice kumu 200 No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı değerleri grafiği.....	63
5.17 : 60 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı değerleri grafiği	63
5.18 : 60 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği.....	64
5.19 : 60 No’lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım değerleri grafiği.....	64
5.20 : No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı değerleri grafiği	65
5.21 : 60 No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği.....	65
5.22 : 60 No’lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-pik dayanım değerleri grafiği.....	66

SEMBOL LİSTESİ

ϕ	İçsel sürtünme açısı
c	Kohezyon
σ	Normal gerilme
τ	Makaslama gerilmesi
ε	Birim deformasyon
τ/σ	Gerilme oranı
c_u	Uniformluk katsayısı
c_r	Süreklilik katsayısı
τ_f	Efektif gerilme
σ'_c	Konsolidasyon gerilmesi
S_u	Pik dayanım

ÖZET

ZEMİN KESME KUTUSU DENEYİNDE KESME HIZININ ZEMİN PARAMETRELERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Zeminlerin kayma mukavemeti parametreleri, yerbilimleri ile ilgili mühendislik tasarımlarında kullanım açısından büyük önem taşımaktadır. Zeminlerin kayma mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla üç eksenli basınç dayanımı, serbest basınç dayanımı ve kesme kutusu deneyleri yapılmaktadır. Deneylerle elde edilen kayma mukavemeti parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmiş olması yapılacak mühendislik tasarımı açısından önemlidir.

Bu çalışmada, kesme kutusu deneyinde kesme hızının, Denizli bölgesi Neojen çökellerinden alınan farklı oranlarda kil ve kum içeriğine sahip 4 farklı numunenin kayma dayanımı parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda deney örnekleri 6*6*2 cm boyutlarında hazırlanmış ve hem drenajlı hem de drenajsız koşullarda 54.5 kPa, 109 kPa ve 218 kPa normal gerilme değerleri altında 0.05 mm/dak ile 5 mm/dak arasında değişen 9 farklı kesme hızında 207 adet kesme kutusu deneyi yapılmış ve tüm sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde 4 farklı numune için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Genel anlamda bakıldığında kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısı (ϕ) ve pik kayma dayanımı değerlerinin belli bir miktar arttığı gözlenmiştir. İçsel sürtünme açısındaki değişim birkaç örnek için 1-1.5 derece iken diğer örneklerde 2-3 dereceyi bulan artışlar gözlenmiştir. Kohezyon (c) değerlerinin ise genel anlamda az miktarda düştüğü ya da kesme hızından çok fazla etkilenmediği görülmüştür fakat drenajsız koşullarda örnek tamamen su içerisinde kesildiği durumlarda özellikle killi zeminlerde kohezyonun belli bir oranda azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: kesme kutusu, içsel sürtünme açısı, kohezyon, pik kayma dayanımı, kesme hızı, drenajlı-drenajsız.

SUMMARY

INVESTIGATION ABOUT THE EFFECTS OF THE SHEAR DISPLACEMENT RATE ON THE SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF SOILS IN DIRECT SHEAR TEST

Soil shear strength parameters are very important in usage for engineering design in geological engineering. Triaxial compression test, unconfined compressive strength test and shear box test are performed to determine the shear strength of soils. Having accurately determined the experimentally obtained shear strength parameters is important in engineering design.

In this study, the effects of the shear rate on strength parameters of four different samples with clay and soil content which was taken from Neogene sediments in Denizli was investigated. In this context, the samples prepared 6*6*2 cm in size and 207 experiments were performed in the range of 0.05 mm/min to 5 mm/min 9 different shear rates, under 54.5, 109, 218 kPa normal stresses and all results were statistically evaluated.

When the results were examined, for 4 different samples, different results were obtained. Generally we saw that with the increase of the shear rate, internal friction angles (ϕ) and peak shear strength values were also increased by a certain amount. For a few samples the change in internal friction angle is 1-1.5 degree but in the other samples the internal friction angles were increased approximately 2-3 degree. It was observed that cohesion (c) values were not affected by the shear speed a lot or decreased a little bit but in undrained conditions where the samples were sheared completely in water, especially in clayey soils the cohesion values have been reduced by a certain percentage.

Key Words: shear box, angle of internal friction, cohesion, peak shear strength, shear rate, drained-undrained.

1. GİRİŞ

Jeoteknik mühendisliğinde kesme kutusu deneyi, yapılabilme açısından basitliği dolayısıyla kayma mukavemeti parametrelerini bulmada yaygın olarak kullanılır. Jeoteknik mühendisliğinde kesme kutusu deneyi, çoğunlukla içinde belirli bir miktar ince tane (kil-silt) bulunduran zeminlerin hem doğal hem örselenmiş durumdaki drenajlı kayma mukavemeti parametrelerini elde etmek için kullanılır.

Zeminin kayma parametrelerini belirlemede, kesme kutusu deneyinde boşluk suyu basıncının hesaplanamamasına ve üç eksenli basınç dayanımı en uygun deney olarak görünmesine rağmen, üç eksenli basınç dayanımından çok daha pratik olduğu için kesme kutusu deneyi de kullanılabilir.

Bu çalışmada, kesme kutusu deneyinde kesme hızının kayma dayanımı parametrelerine olan etkisini incelemek amacıyla 4 farklı örselenmiş numune için çok düşük hızlardan (örn. 0.05 mm/dak) yüksek hızlara doğru (örn. 5 mm/dak) 9 farklı kesme hızı kullanılmış, 207 adet deney yapılmış ve bu deneyler yaklaşık 350-400 saat sürmüştür. Kesme kutusu deneyi genelde manuel olarak yapılırken bu çalışmada ise Pamukkale Üniversitesi Jelolji Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan otomatik veri alım ünitesi (ADU) kullanılmış ve böylece deneylerdeki hata payı en aza indirgenmiştir. Kesme hızının kayma dayanımı parametreleri üzerinde belirli bir oranda etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada elek analizi deneyi ile zeminlerin tane boyu dağılımları belirlenmiş, tane boyunun yani zemin türünün de kayma dayanımı parametreleri üzerinde etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada farklı kesme hızlarının farklı zemin türlerinin kayma dayanımı parametrelerine (içsel sürtünme açısı, kohezyon, pik ve rezidüel kayma dayanımı) ne gibi bir etkisi olduğunun araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca kesme kutusu deneyi standartlarında hangi zemin türünün hangi hızda kesileceğine dair net bir bilgi olmadığı için hangi hızların daha uygun olabileceği araştırılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Bu çalışmada kesme kutusu deneyinde kesme hızının kayma dayanımı parametrelerine etkisi incelendiği için direkt kesme kutusu, halka (ring) kesme kutusu, büyük boyda kesme kutusu deneylerinde kesme hızı ile ilgili başlıca yayınlar ve çalışmalar araştırılarak incelenmiş ve özet olarak aşağıda sunulmuştur. Çalışmaların büyük bir çoğunluğunun, kesme hızının etkisi genelde tek numune için veya yeni oluşturulan yapay bir karışımın özelliklerinin belirlenmesi için ya da şevlerin duraylılık analizleri için yapıldığı görülmüştür.

Ryuta Saito ve diğ yaptıkları yayınlarında kohezyonlu zeminlerde kayma dayanımı ile kesme hızının ilişkisini sunmaktadırlar. Deneyler Silika kumu, Silika kumu-illit karışımı örnek ve Silika kum-bentonit karışımı örnek üzerinde drenajsız halka kesme cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada efektif rezidüel sürtünme açısının kesme hızına bağımlılığı illit veya bentonit karışımı örnekte tanımlanmıştır. Ölçülen efektif rezidüel sürtünme açısı değerlerine göre kesme modunun kesme hızıyla değiştiği görülmüştür. Kesme modundaki bu değişiklik hız mekanizmasının kohezyonlu zeminin kayma dayanımı üzerindeki etkisi olarak düşünülmüştür. Ayrıca bu çalışma içerisinde kesme hızının kohezyonlu zeminlerin rezidüel dayanımı üzerindeki önemli etkisi olduğunu sunan Skempton (1985), Tika *vd.* (1996), Tika *vd.* (1999), Suzuki *vd.* (2000) ve Lemos (2003)'da örnek olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada testler 8 kademedan oluşan 4 farklı hızda 0.01 mm/dak, 0.1mm/dak, 1 mm/dak ve 10 mm/dak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarında ise rezidüel sürtünme açıları doğrudan ölçülebilen parametrelerle hesaplanmıştır; toplam normal gerilme, kayma direnci ve boşluk suyu basıncı. Bunun sonucunda efektif rezidüel sürtünme açısının kesme hızına bağımlılığı tespit edilmiştir. Silika kumunun efektif rezidüel sürtünme açısı kesme hızından bağımsızken illit ve bentonit karışımı örneklerin kesme hızına

bağılılığı ortaya konmuştur. Efektif rezidüel sürtünme açısının kesme hızına bağımlılığına göre, kesme modunun kesme hızıyla değiştiği gözlenmiştir.

Tomoyo NAKAO ve diğ (2009), yaptıkları çalışmada sabit hacimli durumlarda taneli (kohezyonsuz) malzemenin efektif içsel sürtünme açısını tahmin edebilmek için direkt kesme deneyi yapmışlardır. Testler 300 mm ve 60 mm boyutlu kesme kutularında gerçekleştirilmiş, deney numuneleri 19 mm ve 4.75 mm boyut altında hazırlanmış ve farklı kesme hızları kullanılmıştır. Kesme hızının efektif içsel sürtünme açısı üzerindeki etkisini belirlemek için farklı kesme hızları kullanılmıştır. Bu hızlar yaklaşık 10 katı oranlarda ele alınmıştır (örneğin 5, 0.5 ve 0.05 mm / dak). Aslında büyük kesme kutusu için testler 7,06 ile 0,63 ve 0.05 mm / dak hızlarında ve küçük kesme kutusu içinse 6.03 ve 0.42 mm/dak hızlarında gerçekleştirilmiştir. Hızın etkisinin değerlendirilmesi ise aynı boyutlarda kesme kutularında farklı hızların karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Hemen hemen tüm durumlarda, eşdeğer hızlar için, normal gerilme farkları dikkate alındığında bile büyük kesme kutusundaki kayma dayanımı değerleri küçük kesme kutusundaki değerlerden daha büyüktür.

Tablo 1.1: Tomoyo Nakao'ya ait çalışmada kesme hızına karşılık gelen efektif içsel sürtünme açısı değerleri

	Efektif içsel sürtünme açısı ϕ' , °			
	Pik		Rezidüel/ sabit hacim	
Test tipi	Büyük kesme k.	Küçük kesme k.	Büyük kesme k.	Küçük kesme k.
Hızlı kesim	33.4 (7.06 mm/dak)	30.2 (6.7 mm/dak)	32.4 (7.06 mm/dak)	30.2 (6.7 mm/dak)
Yavaş kesim	37.1 (0.63 mm/dak)	31.6 (0.44 mm/dak)	34.3 (0.63 mm/dak)	31.6 (0.44 mm/dak)
Çok yavaş kesim	36.2 (0.05 mm/dak)		34.3 (0.05 mm/dak)	

Tablo 1.1'deki efektif içsel sürtünme açlarına bakıldığında büyük kesme kutusunda kullanılan malzemede yüksek kesme hızında pik efektif içsel sürtünme açısında küçümsenmeyecek ölçüde yaklaşık 3.5 derecelik, rezidüel efektif içsel sürtünme açısında ise yine yaklaşık 2 derecelik bir farklılık ortaya çıkmıştır. Ayrıca kesme hızı çok düşük olduğunda 1 dereceden küçük önemsenmeyen değişikliklerin de olabileceği görülmüştür. Küçük kesme kutusundaki sonuçlar ise daha az tutarlı olmuştur; yüksek hızlarda daha yüksek pik dayanımı, düşük hızlarda ise daha yüksek rezidüel dayanım vermektedir.

Karsten THERMAN ve diğ (2006), yaptıkları çalışmada direkt kesme testlerinin sonuçlarını etkileyen faktörler incelemişlerdir. Farklı test cihazları ve kullanıcının etkilerine işaret edilmiştir. Buna ek olarak farklı faktörlerin etkisi ve önemi ölçülüp bir istatistiki değerlendirme yapılmıştır. Teste tabi tutulan malzeme heterojendir. Tüm direkt kesme deneyi sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler, Mohr-Coulomb kırılma zarfından elde edilen içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerleri ile ölçülmüş pik kayma mukavemeti değerleri üzerinde yapılmıştır. Kesme hızı etkisinin araştırmaları için kesme hızları sırasıyla 0.5, 0.05 ve 0.005 mm/dak olarak seçilmiştir. Çok iyi bilindiği üzere çok yüksek kesme hızları test sonuçlarını etkileyen ani gözenek suyu basıncının yükselmesine neden olmaktadır. Gözenek suyu basıncının yükselmesiyle birlikte, efektif gerilmeler azalmakta ve daha küçük τ_f değerleri tespit edilmektedir. DIN 18137-3 (2002) kohezyonlu veya kohezyonsuz zeminler için maksimum yer değiştirme hızını önermektedir. Bu serilerde NM-cihazında (üst kutusu da hareket kabiliyetine sahip kesme cihazı) sırasıyla 0.005, 0.05 and 0.5 mm/dak kesme hızları kullanılmıştır.

Horn'un (1964) yaptığı çalışmaya göre drenajlı direkt kesme deneyi 0.005 mm/dak kesme hızında olması gerekmektedir. Burada incelenen örnek ise löstür (kumlu killi silt). Bu malzeme için drenajlı direkt kesme deneyinde 0.15 mm/dak maksimum kesme hızı belirlenmiştir. Kesme hızının içsel sürtünme açısına olan etkisi de Tablo 1.2'de gösterilmiştir. Burada belirtilen testlerde kısmen drenajlı direkt kesme deneyi için zaten var olan kesme hızı 0.05 mm/dak olup pik kayma gerilmesindeki azalma boşluk suyu basıncından kaynaklı olduğu belirtilmektedir. Kesme hızı arttıkça artan τ_f psödoplastiklik olarak adlandırılmaktadır (Horn 1964, Terzaghi 1938).

Tablo 1.2: Horn'a ait çalışmada içsel sürtünme açısının kesme hızına etkisi

Etki faktörü	İçsel sürtünme açısındaki maksimum değişim
Kesme hızı	2.43°

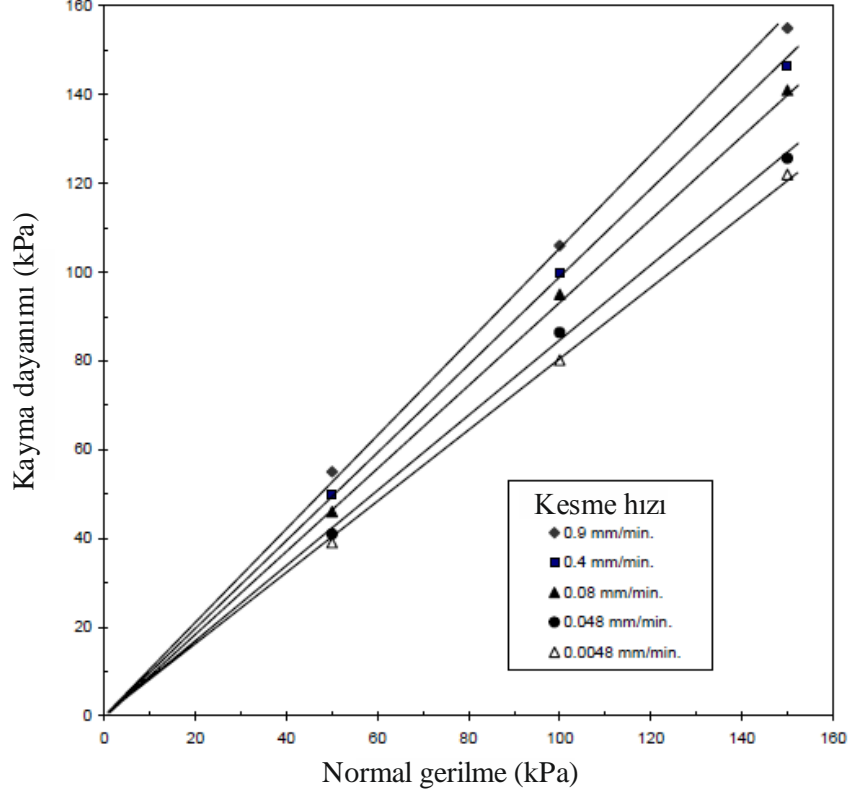
Abdullah I. Al-Mhaidib (2006), yaptığı çalışmada geleneksel direkt kesme deney aleti kullanılarak toplamda 45 adet kesme testi gerçekleştirmiştir. Testler pürüzsüz ve pürüzlü çelik yüzeyler üzerinde 3 farklı normal kuvvet altında yapılmıştır. Numuneler 5 farklı hızda kesilmiştir. Deneysel sonuçlar kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısının ϕ ve arayüzey sürtünme açısının δ da arttığını göstermiştir. Açılar

arasındaki bağıntı ve kesme hızı bir yarı logaritmik grafik üzerinde düz bir çizgiyle temsil edilmiştir.

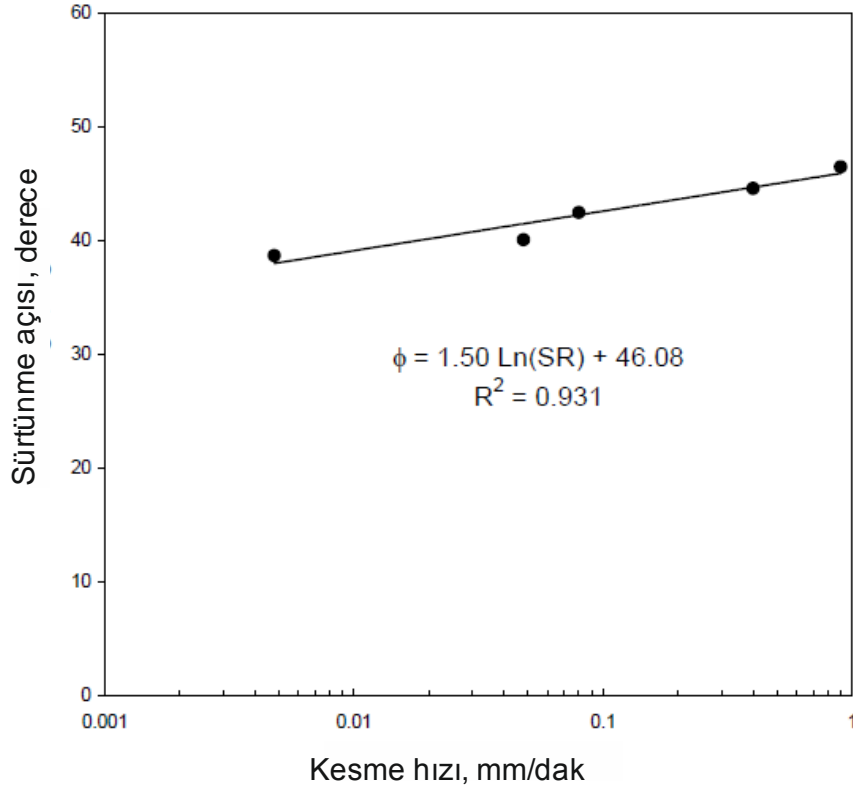
Bu çalışmaya ek olarak farklı kesme oranları altında kohezyonsuz toprakların davranışı hakkında önemli çalışmalar yapılmışken, makaslama oranının kum ve çelik arasındaki içsel sürtünme açısına etkisi konusunda literatürde nispeten daha az çalışma mevcut olduğundan söz edilmiştir. Genel olarak daha önceki çalışmaların sonuçlarına bakıldığında drenajlı testlerde kohezyonlu zeminde makaslama oranının son kayma dayanımına etkisi çok kayda değer olmadığı ancak drenajsız koşullardaki testlerde bu etkinin önemli olduğu gözlenmiştir.

Yazarın bilgisine göre; sadece Lemos'un çalışmasının yerdeğiştirme oranının kumla çelik arasındaki nihai kayma direncine olan etkileriyle uyuşmaktadır. Lemos bir halka kesme aparatında çelik yüzeye karşı kumu kesmiş. 0.0038 ile 133 mm/dak arasında değişen farklı hızları kullanmış. Testlerin sonuçlarına göre nihai kayma direnci yaklaşık olarak sabit kalmış ve yerdeğiştirme oranının etkisi ise çok kayda değer olmamıştır (J.L.J. Lemos, 2003).

Bu çalışmada örnekler 0.9 mm/dak, 0.4 mm/dak, 0.08 mm/dak, 0.048 mm/dak ve 0.0048 mm/dak olmak üzere beş farklı hızda kesilmiştir. Testlerde her hız için 50, 100 ve 150 kPa'lık normal gerilme değerleri uygulanmıştır.



Şekil 1.1: Al-Mhaidib'e ait deneyde kullanılan kumun yenilme zarfları (Al-Mhaidib 2006)



Şekil 1.2: Al-Mhaidib'e ait deneyde kullanılan kumda kesme hızının içsel sürtünme açısına olan etkisi (Al-Mhaidib 2006)

Sonuçlarda kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısının ve doğal olarak kayma dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Veriler oldukça tutarlı doğrusal eğilim göstermektedir. İçsel sürtünme açısı ve kesme hızı arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile temsil edilebilmektedir:

$$\phi = 1.50 \ln (SR) + 46.08 \quad (1.1)$$

ϕ = Derece cinsinde içsel sürtünme açısı

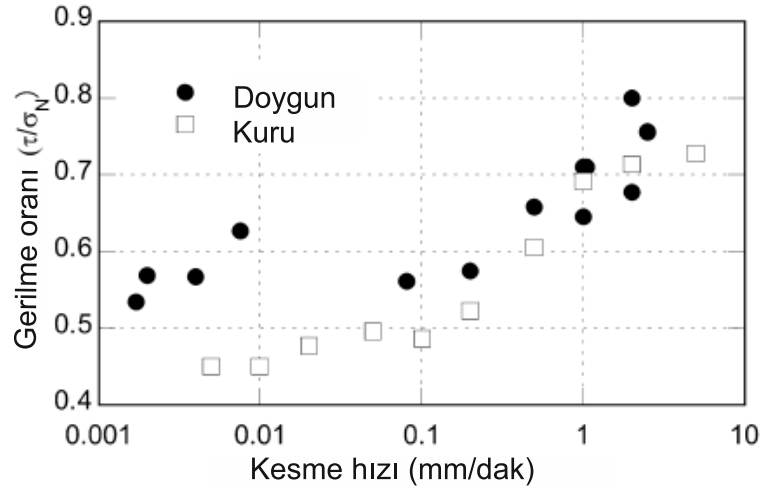
SR= mm/dak cinsinden kesme hızı

Gonghui WANG ve diğ (2009) Japonya'nın Tokushima Bölgesi'nde yaptıkları 'Yağışın Tetiklediği Heyelanın Dinamikleri Üzerinde Kayma Hızına Bağlı Kontrolü' adlı çalışmalarında burada meydana gelen heyelanın karakteristiğinin mekanizmasını incelemek için bu alandan serpantin örnekleri alınmış ve ring kesme testleri kullanılarak bunların kayma davranışları incelenmiştir. Test sonuçları kesme hızının örneklerin rezidüel kayma dayanımı üzerinde olumlu bir etkisini ortaya koymuştur ki bu da heyelanda meydana gelen hızlanma-yavaşlama işlemleri için bir açıklama sağlayabileceği öngörülmüştür. Kesme hızı etki mekanizmasının rezidüel kayma dayanımı üzerindeki etkisini açıklığa kavuşturmak için kayma yüzeyinin pürüzlülüğü ve kayma zonunun mikro yapısı ölçülmüştür. Bu araştırma için iki halka kesme aparatı kullanılmıştır. Biri 120 mm iç çap, 180 mm dış çaplı, 115 mm yüksekliğe sahip ve maksimum kesme hızı 1 cm/sn, diğeri ise 210 mm iç çap, 290 mm dış çaplı 95 mm yüksekliğe sahip ve maksimum kesme hızı 1.8 cm/sn'dir. Heyelandan 3 farklı örnek alınmış olup, örneklerin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

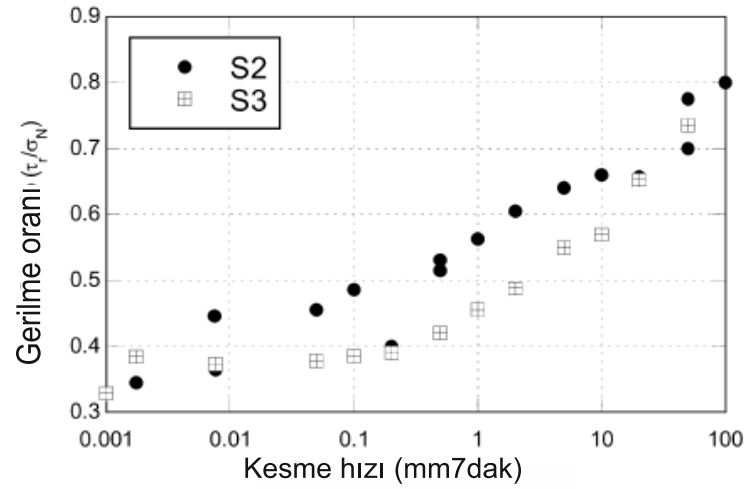
Tablo 1.3: Gonghui Wang'ın çalışmasına ait örneklerin özellikleri

Örnek	Yoğunluk (g/cm ³)	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Kil içeriği (%)
S1	2.7	-	-	-
S2	2.7	21	14.7	18
S3	2.73	48	16	33

Rezidüel kayma dayanıma yaklaşık 40 mm civarlarında ulaşılmıştır. Örnek S1, S2 ve S3'ün rezidüel içsel sürtünme açıları ϕ_r sırasıyla 30°, 26° ve 16° olarak ölçülmüştür. Örnek S2 ve S3'ün rezidüel kohezyonu (c) ise sırasıyla 5 kPa ve 10 kPa olarak ölçülmüştür. Şekil 1.3 ve şekil 1.4 hızdan kaynaklı rezidüel dayanımları göstermektedir.



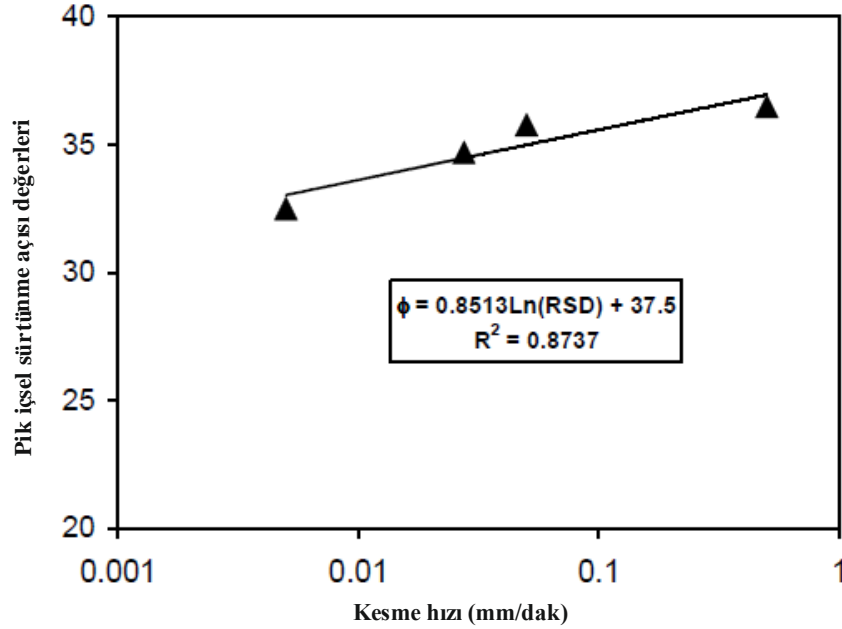
Şekil 1.3: Gonghui Wang'a ait Tokushima bölgesi suya doymun ve kuru durumlarda S1 örneğinin kesme hızına karşılık gelen gerilme oranları (Gonghui Wang 2009)



Şekil 1.4: Gonghui Wang'a ait Tokushima bölgesi örnek S2 ve S3'ün kesme hızına karşılık gelen gerilme oranları (Gonghui Wang 2009)

Şekillerden de anlaşılacağı üzere kesme hızı arttıkça rezidüel kayma dayanımı da artmaktadır. S1 örneğinin kuru ve doymun durumlardaki davranışı ise benzerlik göstermektedir. Tüm örnekler için kesme hızı arttıkça rezidüel kayma dayanımı da önemli bir şekilde artmıştır. Bu kuru örneklerde yapılan deneyleri de içerir ki bu da gözenek suyu basıncının rezidül dayanıma etki etmediğini göstermek için yapılmıştır. Kesme hızının artmasıyla artan rezidüel kayma dayanımı Shiraishi heyelanının hızlanan-yavaşlayan hareketinin ve kısa bir süre içinde birkaç metre yer değiştirmesinin en önemli açıklaması olduğu düşünülmüştür.

Kojo ANİM (2010), yaptığı tez çalışması kapsamında Spring Gulch kaya malzemesi için kuru ve nemli olmak üzere 72 adet direkt kesme deneyi yapılmıştır. Bu testler için 6*6*2.54 cm boyutlarında kesme kutusu kullanılmıştır. Deformasyon hızının kuru Spring Gulch malzemesi üzerindeki etkisini gözlemlemek için 1850 kg/m³ sıkıştırılmış yoğunlukta 0.5 mm/dak, 0.05 mm/dak, 0.0275 mm/dak ve 0.005 mm/dak olarak 4 farklı hızda kesim yapılmıştır. Hem kuru hem de nemli Spring Gulch malzemesi için içsel sürtünme açısı ve kohezyon, deformasyon hızından etkilenmesine rağmen, hızın kayma dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir. Hem kuru hem nemli kaya kazık numuneleri için kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısı da artmaktadır (Şekil 1.5, Şekil 1.6). Kesme hızı nemli numunelerde kuru numunelere göre daha büyük bir etkiye sahiptir.



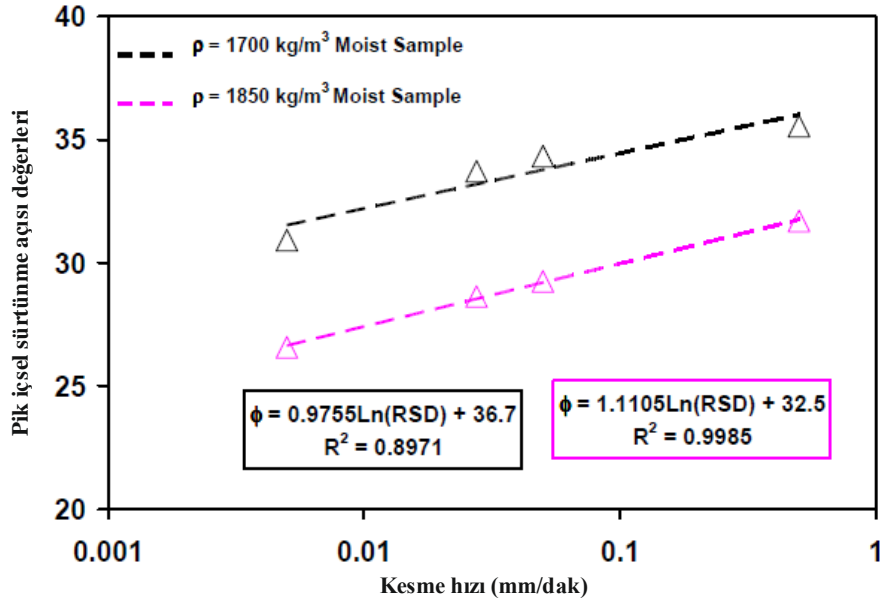
Şekil 1.5: Kojo Anim'e ait çalışmada kesme hızının kuru numunenin içsel sürtünme açısı üzerindeki etkisi (Kojo Anim, 2010)

Deney sonuçlarında kuru numune için içsel sürtünme açıları aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır.

$$\phi = 0.8513 \ln(RSD) + 37.5 \quad (1.2)$$

ϕ = içsel sürtünme açısı (°)

RSD = kesme hızı (mm/dak)



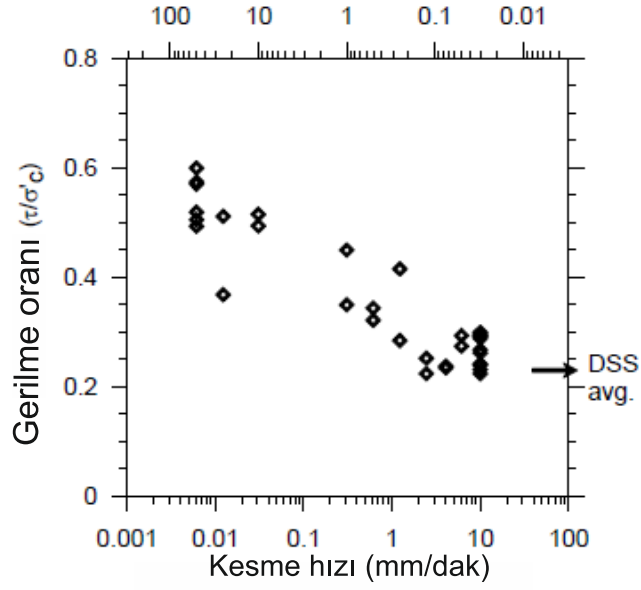
Şekil 1.6: Kojo Anim'e ait çalışmada kesme hızının % 8 su içeriğine sahip numunelerin içsel sürtünme açısı üzerindeki etkisi (Kojo Anim, 2010)

Deney sonuçlarında belirli bir miktarda su içeriğine sahip numune için içsel sürtünme açıları aşağıdaki bağıntılarla tanımlanmıştır.

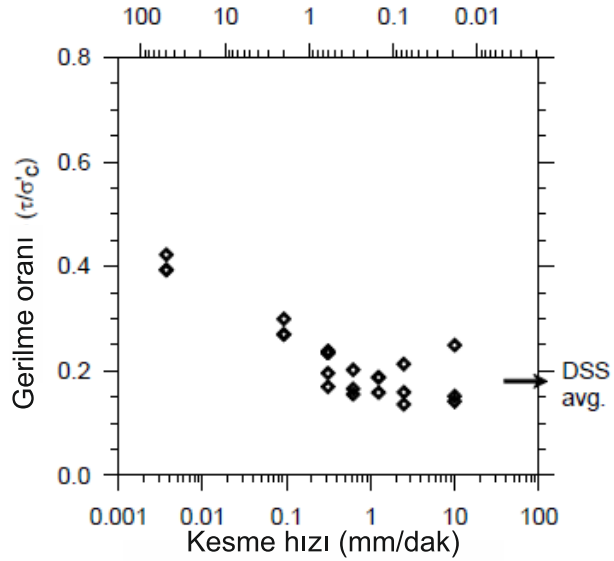
$$\phi = 0.9755 \ln(RSD) + 36.7 \quad (1.3)$$

$$\phi = 1.1105 \ln(RSD) + 32.5 \quad (1.4)$$

Andrew D. BRO ve diğ (2007), yaptıkları çalışmada kaolinit ve bentonit karışımı örnekler üzerinde, farklı hızlarda direkt kesme deneyleri uygulanarak drenajsız kayma dayanımının tahmin edilmesi amaçlamışlardır. Çalışmada % 100 kaolinit ve % 80 kaolinit - % 20 bentonit karışımı örnekler kullanılmıştır. Saf kaolinit için, kesme hızları 0.006 mm/dak'dan 10 mm/dak'ya kadar farklı hızlar kullanılmıştır. Kaolinit-bentonit karışımı için ise kesme hızları 0.004 mm/dak'dan 10 mm/dak'ya kadar değişmektedir. Kesme öncesi dikey konsolidasyon gerilmeleri kaolinit için $\sigma_{c=}^1$ 51.6, 104.4 ve 188.7 kPa; kaolinit-bentonit karışımı için ise $\sigma_{c=}^1$ 104.4 kPa'dır. Çalışmada toplam 71 adet direkt kesme deneyi yapılmıştır. Şekil 1.7-1.8 her iki numune için kesme hızına göre dayanım oranlarının varyasyonlarını göstermektedir. Her iki malzemede artan kesme hızında düşen dayanım oranında genel bir trend göstermektedir. Kaolinit için ölçülen kayma oranları tamamen drenajlı testler için ortalama 0.53 iken bu oran en hızlı testler için 0.26'dır. Aşırı konsolide olmuş kaolinit numunelerde de $\sigma_{c=}^1=50$ kPa altında bu kayma dayanıma benzer trendler gözlenmektedir (Bro, 2007). Kaolinit-bentonit karışımı için ise, ölçülen dayanım oranları 0.4'ten (drenajlı) 0.16'ya (hızlı) değişmektedir.



Şekil 1.7: Andrew D. Bro'ya ait çalışmada normal konsolide kaolinit için kesme hızına karşılık gelen dayanım oranları (Andrew D. Bro 2007)

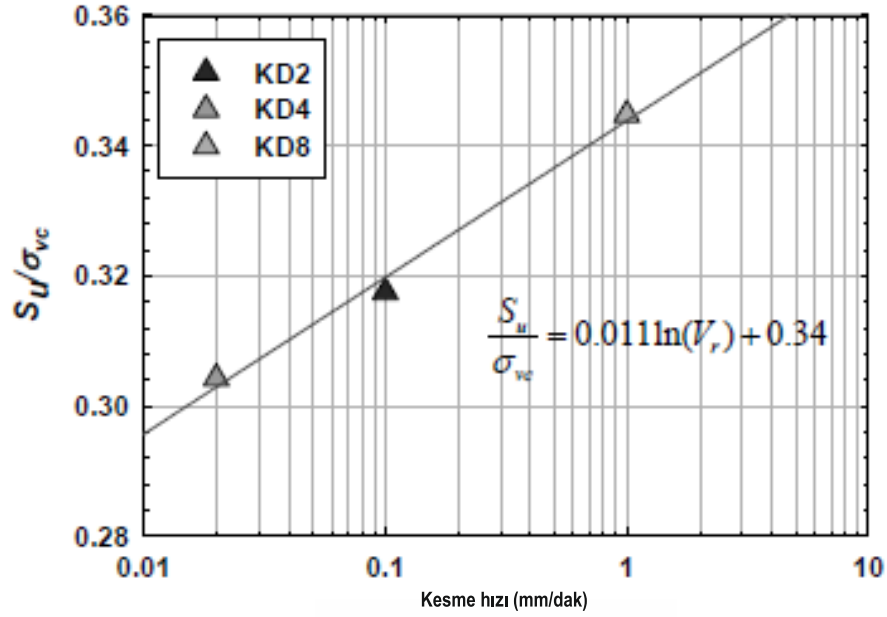


Şekil 1.8: Andrew D. Bro'ya ait çalışmada normal konsolide kaolinit-bentonit karışımı için kesme hızına karşılık gelen dayanım oranları (Andrew D. Bro 2007)

Şekil 1.7 ve 1.8'den görüldüğü üzere direkt kesme sonuçlarına bakılarak kil test örnekleri için drenaj koşulları büyük ölçüde kesme hızından etkilenmektedir.

Jung Min Su ve diğ (2009), yaptıkları 'Kesme Hızı ve Konsolidasyon Zamanının Doğal Sedimanter Kilin Drenajsız Koşullardaki Davranışı Üzerindeki Etkisi' adlı çalışmalarında Kobe havaalanının denizel Holosen kilinin drenajsız kayma davranışı

üzerinde kesme hızı ve konsolidasyon zaman etkisini araştırmak için farklı hızlar kullanarak bir dizi üç eksenli basınç deneyi yapmışlardır. Benzer testler ayrıca sabit hacimli direkt kesme kutusu kullanılarak da yapılmıştır. Bu çalışmada kesme hızının Kobe havaalanındaki yumuşak kilin üzerini örten deniz-duvar yapısını oluşturacak olan Holosen kilinin (Hasegawa vd, 2006, Fujiwara vd, 2008) kısa süreli stabilitesi üzerindeki etkisini ölçmek için deneyler yapılmıştır.



Şekil 1.9: Jung Min-Su ve diğ.'ne ait çalışmada kesme hızının S_u/σ_{vc} üzerindeki etkisi (Jung Min-Su 2009)

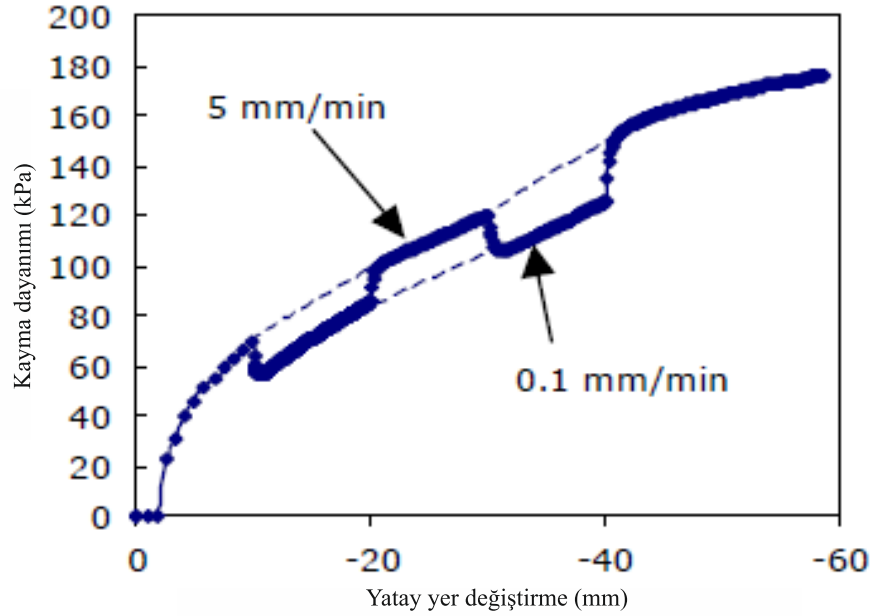
Hız ve zaman, Kobe havaalanındaki Holosen kilinin drenajsız kayma dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. S_u/σ_{vc} 'nin (pik dayanım/konsolidasyon gerilmesi) kesme hızı ve konsolidasyon periyodu arttıkça arttığı gözlenmiştir (Şekil 1.9).

Bu çalışmada ayrıca Bjerrum 1972; Vaid ve diğ 1977; Graham ve diğ 1983; Oshima ve diğ 1991; Di Benedetto ve diğ 1997'ye atıf yapılarak kesme hızı etkilerinin kilin drenajsız kayma mukavemeti için önemli olduğu vurgulanmıştır.

J.S. McCartney ve diğ. 'Kesme Hızının GCL'nin (jeosentetik kil astarı) İçsel Kayma Dayanımına Olan Etkisi' adlı çalışmalarında bir dizi büyük ölçekli direkt kesme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Özellikle, testler kesme hızları 0.0015 mm/dak'dan 1 mm/dak'ya değişen aralıkta ve normal gerilmeler de 50 kPa'dan 520 kPa'a kadar değişen aralıkta yapılmıştır. Pik içsel kayma dayanımının yüksek normal gerilmeler altında kesme hızı azaldıkça, arttığı gözlenmişken, düşük normal

gerilmeler altında ise bu durumun tam tersi gözlenmiştir. Bu sonuçların yorumlanmasıyla, bu görüşü açıklamak için kesme hızı kaynaklı gözenek suyu basıncının dolaylı etkisinin gözlemlenmesi önerilmiştir. GCL sıkıştırılmış kil kaplamalara alternatif olarak hidrolik bariyerlerde kullanılan geosentetik materyallerden üretilmiştir. Bunlar geosentetik destek malzemelerinin bir veya iki katına bağlanmış sodyum bentonit kilinden oluşmaktadır. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş GCL için düşük normal gerilmeler altında kesme hızı arttıkça pik kayma dayanımının da arttığı gözlenirken, yüksek normal gerilmeler altında bu durumun tersi gözlenmiştir. Bu davranışın sebebi düşük normal gerilmeler altında negatif kesme kaynaklı gözenek suyu basıncı gözlenirken yüksek normal gerilmeler altında pozitif kesme kaynaklı gözenek suyu basıncının gözlenmesidir. Sonuç olarak, tasarım pik kayma dayanımı ile ilgiliyse nispeten yüksek kesme hızı içeren test özelliği kabul edilebilir. Fakat ilgilenen normal gerilme nispeten yüksek ise bu daha düşük kayma mukavemeti değerlerine yol açacaktır. Bununla birlikte ilgilenen normal gerilme nispeten düşükse test yeterince düşük bir kesme hızıyla (örneğin 0.1 mm/dak) değerlendirilmelidir.

Dimitrios ZEKOS ve diğ. (2007), yaptıkları ‘Yükleme Hızının Belediye Katı Atık Malzemesinin Kayma Dayanımı Üzerindeki Etkisi’ adlı çalışmalarında bu üç farklı örnekte büyük ölçekli üç eksenli basınç ve direkt kesme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki drenajlı kesme tepkisi numunenin atık bileşimi ve kesme moduna göre değişmektedir. Üç eksenli ve direkt kesme deneyleri gerçekleştirilirken kullanılan farklı hızlarda ise katı atık malzemesinin davranışının kesme hızından önemli bir şekilde etkilendiği gözlenmektedir. Gerçekleştirilen direkt kesme deneyleri kesme hızının MSW’nin (belediye katı atık malzemesi) dayanımı üzerindeki etkisini belirlemek ve MSW’nin dinamik dayanımı hakkında fikir elde etmek için yapılmıştır. Kesme hızı numunenin değişkenliğine göre dağılımı kontrol etmek amacıyla aynı test içinde modifiye edilmiştir. Deneyler 0.1 mm/dak ve 5 mm/dak kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir. 20 mm’den büyük tane boyu % 62 olan örnek üzerinde 0.1 mm/dak ve 5 mm/dak kesme hızlarında yapılan deneylerin grafiği şekil 2’de gösterilmiştir. Gerilme-deformasyon grafiği gösteriyor ki, yer değiştirme hızı arttıkça kesme dayanımı da artmaktadır.



Şekil 1.10: Zekkos'a ait çalışmada MSW'nin 150 kPa normal kuvvet altında 0.1 mm/dak ve 5 mm/dak kesme hızlarındaki davranışı (Zekkos ve diğ 2007)

20 mm'den büyük tane boyutu % 12 olan 2 numunede de buna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Direkt kesme deneyi sonuçları kesme hızının MSW'nin (belediye katı atık malzemesi) dayanımını etkilediğini göstermektedir. Direkt kesme deneylerinde gerilme hızı bilinmemekle birlikte kesme hızı 50 kat arttırıldığında (0.1 mm/dak'dan 5 mm/dak'ya) gerilme hızının da bu faktöre bağlı olarak artacağı varsayılmaktadır.

J. M. Teuten (2012), yaptığı 'Değişen Oranlarda Silt/Kil İçeriğine Sahip Zeminlerin Kayma Özellikleri' adlı çalışmasında çalışmadaki kesme testlerinde Bishop ring kesme aparatı kullanılmış olup farklı oranlarda kum, kil, silt ile hazırlanmış numuneler farklı kesme hızlarında kesilerek numunelerin davranışları incelenmiştir. Test sonuçları denizel örnekler için kil oranının artmasıyla pik içsel sürtünme açısının azaldığını göstermektedir. Testlerde ayrıca hızlı kesilen numunelerin boşluk suyu basıncı arttığından kayma dayanımlarının düştüğü gözlenmektedir. Yenilme anındaki yerdeğiştirmeyi varsayarak elde edilmek istenen kesme hızı yani maksimum kayma direncine ulaşmak için gereken minimum süre, kesme kutusu için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$t_f = 12.7t_{100} \quad (1.5)$$

Fakat buradaki 12.7 katsayısının nereden geldiği hakkında bir bilgi yoktur ve tüm zeminlerde uygulanıp uygulanamayacağı bilinmemektedir. Yenilme anındaki zaman bulunduğunda maksimum uygun bir kesme hızı belirlenebilir. Bishop ring kesme aparatına göre geniş bir aralıktaki zeminlerde kesme hızı 0.0532 mm/dak'dır. Diğer araştırmalar ise kesme hızınının 0.35 mm/dak'dan az olduğu durumlarda boşluk suyu basıncının ihmal edilebileceğini önermektedir (Yagi ve ark., 1991). Ancak kullanılan örneklerin fiziksel özellikleri verilmemiştir bu yüzden bunun bütün zeminler için uyup uymadığı bilinmemektedir.

Deney sonuçlarında % 43 kil içeriğine sahip örnek için kesme hızı 0.158 mm/dak yüksek olarak görünmesine rağmen kilce zengin zeminlerde drenajlı kesme hızına karar verirken $t_f = 12.7t_{100}$ formülü geçerlidir. Ancak 0.528 mm/dak kesme hızında ise pik ve son dayanımda bir düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni ise kesme hızının konsolidasyon hızından yüksek olmasıyla beraber pozitif boşluk suyu basıncının artması ve bu yüzden kayma dayanımının düşmesidir.

Her örnek için tekrarlanan hız artımlarında her yeni kesme başlangıcında kesme kuvvetinde tepe şeklinde ani bir artış görülmektedir.

H.T. EİD ve diğ (1999), yaptıkları 'Kesme Yerdeğiştirme Hızının Güçlendirilmiş Jeosentetik Kil Astarının İçsel Kayma Dayanımına Olan Etkisi' adlı çalışmalarında keesme yerdeğiştirme hızının iğne delikli jeosentetik kil astarının(GCL) içsel kayma dayanımını hesaplamak için farklı normal gerilmeler altında burulmuş ringde direkt kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Normal dayanımdan bağımsız olarak kesme yer değiştirme hızı artık içsel kesme mukavemeti üzerinde çok az etkiye sahip görünmektedir. Pik noktasına ulaşmak için gerekli kesme yerdeğiştirme miktarı ve rezidüel kayma dayanımı kesme normal gerilme, kesme yerdeğiştirme hızı ve iğne delikli liflerin sayısına bağlıdır.

The American Society for Testing and Materials (ASTM), GCL kesme testleri için standart bir test yöntemi geliştirmektedir. Geçici olarak, GCL için toprak-jeosentetik ve jeosentetik-jeosentetik ara yüzleri için kullanılan, ASTM D 5321 standardı kullanılmaktadır. ASTM D 5321 standardı kesme hızı olarak 1 mm/dak hızını uygun bulmaktadır, ancak, iğne delikli GCL'nin içsel kayma mukavemeti için kesme hızı konusundaki mevcut olan sınırlı veriler, 1 mm/dak'dan düşük hızlarda daha düşük kayma mukavemeti verdiğini göstermektedir (Stark and Eid 1996; Berard 1997; Fox ve ark. 1998).

Stark and Eid (1996) kesme hızının hidratlanmış iğne delikli GCL üzerindeki etkisini belirlemek için modifiye edilmiş Bromhead burulmuş ring kesme testlerini kullanmış ve kesimi 17 kPa normal gerilme altında gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmanın amacı suya doygun iğne-delikli GCL'nin içsel kayma dayanımı davranışının farklı normal gerilmeler altında farklı kesme hızlarında nasıl olduğunu belirlemektir. GCL 17 kPa altında suya doygun hale getirilip konsolide edildikten sonra 17, 100, 200 ve 400 kPa normal gerilmeler altında 0.015 mm/dak'dan 36.5 mm/dak'ya varan farklı hızlarda kesilmiştir.

1- İğne delikli GCL'nin pik içsel kayma dayanımı üzerine uygulanan yük ve kesme hızından etkilenmektedir. 200 kPa ile 400 kPa arasındaki normal gerilmelerde GCL için ölçülen içsel kayma dayanımı 200 kPa'dan düşük gerilmelerde ölçülenden kayma dayanımına göre kesme hızına karşı daha az duyarlıdır.

2- İğne delikli GCL için normal gerilmeden bağımsız olarak kesme hızının rezidüel kayma dayanımı üzerinde çok düşük bir etkisi söz konusudur.

3- Pil içsel kayma dayanımına ve rezidüel içsel kayma dayanımına ulaşmak için gereken yer değiştirme miktarı uygulanan normal gerilmeye ve kesme hızına bağlıdır. Pik kayma dayanımı için gereken yer değiştirme miktarı normal gerilme arttıkça artarken kesme hızı arttıkça sabit kalmaktadır. Rezidüel kayma dayanımına ulaşmak için gereken yer değiştirme miktarı ise normal gerilme arttıkça azalmakta kesme hızı arttıkça artmaktadır.

1.3 Hipotez

Zeminin kayma dayanımı parametrelerini belirlemede kullanılan yöntemlerden en bilinenleri üç eksenli basınç deneyi ve kesme kutusu deneyidir. Kesme kutusu deneyinde kesme hızı verisinin kayma dayanımının tüm parametreleri üzerinde bir etkiye sahip olduğu birçok çalışmada gösterilir ve vurgulanır.

Bu uygulamada farklı numuneler üzerinde kesme kutusu deneyinde farklı kesme hızlarıyla birçok deney yapıp, kesme hızının zeminin cinsine göre ne gibi bir etkisi olduğu araştırılmış her hız için her numunenin farklı bir davranış göstereceği düşünülmüştür. Bu kapsamda dört farklı numune için çok farklı denebilecek sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma ele alındığında bundan sonraki benzer çalışmalara hem örnek hem yardımcı olabilecek bir nitelik taşımaktadır. Elde edilen verilerle yüklenen bir

temel altındaki zemininin yenilmesi, şevin kayması vb. problemlerde zemin malzemesinin yenilmesi anındaki koşullar deneysel yolla ortaya konur. Bunun sonucunda ise o zeminin stabilitesinin sağlanması için uygulanabilecek yöntemler ortaya konur.

2. ZEMİNLERDE KAYMA DAYANIMI

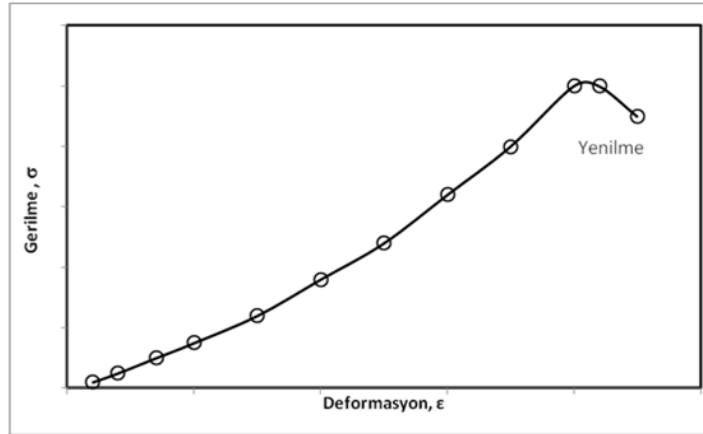
Dayanım malzemelerin yenilmeden dayanabileceği maksimum gerilme olarak tanımlanır. Gerilme-deformasyon ilişkisinin üst limitidir.

Gerilme (σ), malzemenin belirli bir düzlemine birim alanda etkiyen kuvvettir.

$$\sigma = F/A \quad (2.1)$$

Birim deformasyon (ϵ), yük altında kalan malzemenin deformasyon ölçüsüdür. Uzunluklar oranı (m/m) olduğundan birimsizdir.

$$\epsilon = (L - L_0)/L_0 \quad (2.2)$$



Şekil 2.1: Gerilme-deformasyon grafiği örneği

Zemin üzerindeki yük nedeniyle gerilmeler meydana gelir.

Zemin ortamında oluşan makaslama gerilmeleri, zeminin makaslama dayanımına ulaştığı zaman, zeminde yenilme meydana gelir.

Zeminde yenilme, makaslama deformasyonu biçiminde olur.

Makaslama dayanımı; zeminin dayanabileceği en büyük makaslama gerilmesi olarak tanımlanır.

2.1 Mohr-Coulomb Yenilme Kriteri

Zeminlerin makaslama dayanımı:

- 1) Tanelerin oluşturduğu yapının makaslama deformasyonuna karşı gösterdiği direnç
- 2) Tanelerin (kum, çakıl) temas noktaları ve temas alanlarında oluşan sürtünme kuvveti
- 3) Zemin taneleri (kil) arasındaki çekme (kohezyon kuvvetleri) ile doğrudan doğruya ilişkilidir.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.3)$$

τ ; yenilme anında zeminin makaslama dayanımı.

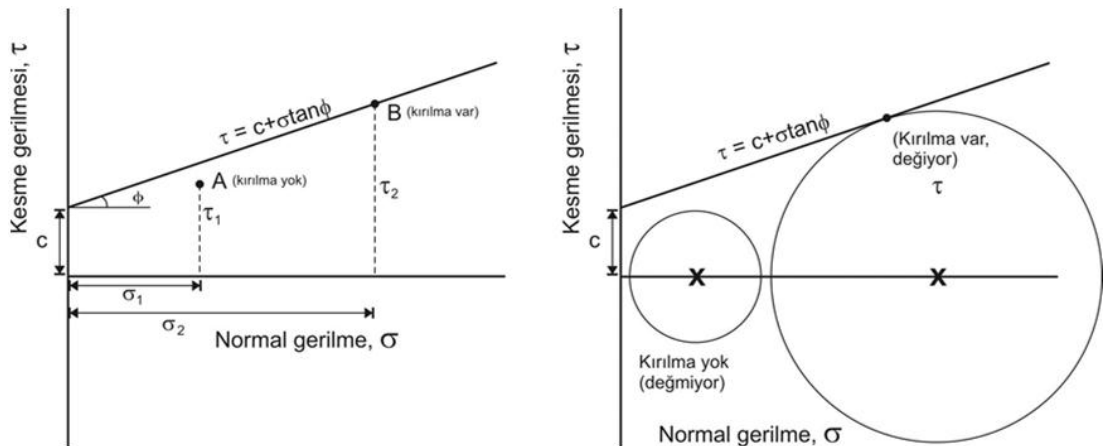
σ ; normal gerilme.

Kohezyon (c): zemin taneleri arasındaki çekim kuvvetinin ölçüsüdür.

İçsel sürtünme açısı (ϕ): Zemin tanelerinin makaslama deformasyonu gösterdikleri direncin ölçüsüdür.

c ve ϕ makaslama dayanım parametreleri olup konsolidasyon, drenaj koşulları ve kesme hızına bağlı olarak aynı zemin için farklı değerler alırlar. Zeminin kayma direnci sabit bir değer olmayıp, yenilme anında kayma düzlemine etki eden normal gerilemeye bağlı olarak değişir.

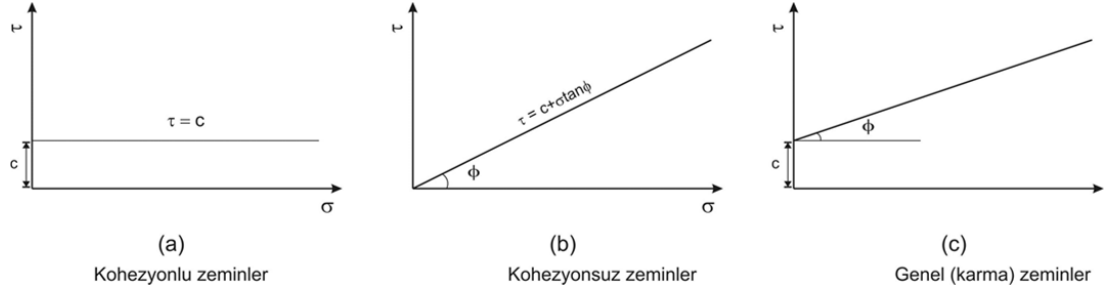
Zemin ortamında herhangi bir noktadaki herhangi bir düzlemde yenilme olup olmadığı; bu düzlemdeki makaslama gerilmesinin, zeminin makaslama dayanımı ile karşılaştırılması ile anlaşılmaktadır.



Şekil 2.2: Mohr kırılma zarfı ve Mohr kırılma denklemini

2.2 Zeminlerin Makaslama Dayanımına Göre Sınıflandırılması

- Kohezyonlu zeminler; $c \neq 0, \phi = 0$ (kil)
- Kohezyonsuz zeminler; $c = 0, \phi \neq 0$ (temiz kum, çakıl)
- Genel (karma) zeminler; $c \neq 0, \phi \neq 0$ (killi, siltli kum veya çakıl)



Şekil 2.3: Farklı zeminlerin farklı Mohr kırılma zarfları

2.3 Makaslama Dayanım Parametrelerinin Belirlenmesi

Makaslama dayanımı parametreleri laboratuvarında 4 farklı deney ile, arazide ise 3 farklı deney ile belirlenebilmektedir:

Laboratuvarında

- Serbest basınç dayanımı deneyi
- Makaslama deneyi
- Üç eksenli sıkışma deneyi
- Kanatlı kesici deneyi

Arazide

- Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
- Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)
- Presiyometre Deneyi (PMT)

3.MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında elde edilmiş zemin örneklerinin tane boyu dağılımlarının belirlenmesi için etüv ve elek seti, konsolidasyon parametrelerinin belirlenmesi için konsolidasyon cihazı, ve kesme deneylerinin yapılabilmesi için otomatik veri alım ünitesine (ADU - The Autonomous Data Acquisition Unit) bağlı bir zemin kesme kutusu cihazı kullanılmıştır.

3.1 Kesme Kutusu Deneyi

Tüm kesme kutusu deneyleri Türk Standartlarında bulunan ASTM D 3080-98 ve ASTM D 3090-98 standartlarına göre yapılmıştır.

3.1.1 ASTM D 3080-98 Konsolide Olmuş Zeminlerin Drenajlı Koşullarda Direkt Kesme Deneyi İçin Standart Test Yöntemi

3.1.1.1 Kapsam

1. Bu test metodu direkt kesme cihazında konsolide olmuş zeminlerin drenajlı kayma dayanımının tayinini kapsar. Bu test, kesme düzlemi yakınında veya üstünde bulunan bir aparat sayesinde kontrollü hız sağlanması ile örneğin deforme edilmesiyle gerçekleşir. Genel olarak, kayma direncini ve yer değiştirmeleri tespit etmek ve Mohr zarfı gibi dayanım özelliklerini belirlemek için farklı normal gerilmeler altında üç veya daha fazla numune deneye tabi tutulur.

2. Kayma gerilmeleri ve yer değiştirmeler numune içinde düzensiz olarak dağıtılır. Kesme gerilmesinin hesaplanması için uygun bir yükseklik tanımlanamaz. Bu nedenle, gerilme-gerilme ilişkisi ya da bunlarla ilişkili herhangi başka veriler bu testten tespit edilemez.

3. Dayanım zarfı ve diğer kriterlerin gelişiminin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması testi yapan mühendise bırakılmıştır.

4. Test sonuçları zemin veya kaya parçacıklarından etkilenebilir.

5. Normal gerilme ve nem durumu dahil olmak üzere test koşulları araştırılan alanın özelliklerini temsil edecek şekilde seçilir. Kesme hızı drenajlı koşulları temin etmek üzere yeterince yavaş seçilmelidir.

6. İnç-paund birimlerinde belirtilen değerler, standart olarak kabul edilmelidir. Bu test metodu içinde, SI birimleri parantez içinde gösterilmiştir. Her sistemde belirtilen değerler kesin olarak eşdeğer değildir; bu nedenle her bir sistem birbirinden bağımsız olarak kullanılmalıdır.

3.1.1.2 Terminoloji

1. Bu standarda özgü terimlerin açıklaması;

1.1 Bağıl yanal deplasman - üstteki ve alttaki kesme kutusunun yatay yer değiştirmesinin birbirine göre yarısıdır.

1.2 Yenilme - bir test örneğinin yenilme anındaki gerilme durumu. Yenilme genel olarak kesme yer değiştirmesinin % 15-20 civarında gerçekleşir. Zeminin davranışı ve çalışma alanına bağlı olarak, diğer uygun kriterler belirlenebilir.

3.1.1.3 Test Yönteminin Özeti

Bu test yöntemi numuneyi direkt kesme cihazına yerleştirip üzerine önceden belirlenmiş normal bir gerilme uygulamakla başlar. Deney test numunesini ıslatarak veya drene ederek ya da her ikisini uygulayarak normal gerilme altında konsolide edip örneği tutan çerçeveleri açıp sabit bir kesme hızında alttaki kutunun üsttekine göre yer değiştirmesi ve numuneyi kesmesinden oluşur.

3.1.1.4 Önemi ve Kullanımı

Direkt kesme deneyi konsolide olmuş drenajsız koşullardaki dayanım özelliklerini nispeten hızlı bir şekilde belirlemek için uygundur. Çünkü test numunesi için drenaj yolu kısadır, böylece gözenek suyu basıncı diğer drenajlı deneylere göre daha hızlı emilebilir. Test sonuçları normal gerilme altında tam konsolide durumu mevcutken dayanımı belirlemede geçerlidir. Drenajlı koşullar altında yenilmeye yavaş yavaş ulaşılır ve bu fazla gözenek suyu basıncının dağılmasını sağlar.

Direkt kesme testi sırasında, test alanının koşullarını temsil edebilen veya edemeyen normal gerilmenin bir dönüşü oluşur. Ayrıca, yenilme örneğin ortasında yatay düzlem üzerinde meydana gelmeye çalışana kadar zayıf bir düzlem üzerinde

meydana gelmeyebilir. Kayma gerilmeleri ve yer değiştirmeler numune içerisinde homojen olmayan bir şekilde dağılır ve herhangi bir yseklik tanımlanamaz ve kesme gerilmesine ilişkin diğer veriler hesaplanamaz. Normal gerilme aralığı, kesme hızı ve diğer genel test durumları araştırılan spesifik zemin koşullarına yakın olacak derecede seçilmelidir.

3.1.1.5 Cihazlar

Kesme aleti- torkun numuneyi etkilemesini engelleyen, numuneyi iki gözenekli poroz arasında güvenli bir şekilde tutmaya yarayan aytıttır. Kesme cihazı numunenin yüzlerine normal bir gerilme uygulamak için bir araç temin eder. Cihaz, su içinde numune için bir kesme kuvveti uygulanması özelliğine sahip olmalıdır. Cihaz, önceden tespit edilmiş bir kesme düzleminde numunenin yüzlerine (tek kesme) paralel olacak şekilde numune için bir kesme kuvveti uygulanması özelliğine sahip olmalıdır. Numuneyi tutan çerçeveler kesme sırasında numunenin dağılmasını önlemek için yeterince sert olmalıdır. Kesme cihazının diğer parçaları numune veya nem ile korozyona uğramayan metalden yapılmalıdır, örneğin paslanmaz elik, bronz ya da alüminyum.

Kesme kutusu- - kesme kutusu dairesel veya kare olabilir. Paslanmaz elik, bronz veya alüminyumdan oluşup drenaja karşı en alttan en üste kadar sağlam olmalıdır. Kesme kutusu orta yüzeyden iki eşit kalınlıkta parçaya bölünmüştür ve hizalama vidaları ile birbirine tutturulmuştur. Kesme kutusu, aynı zamanda kesme kutusunun st ve alt yarıları arasındaki boşluğu kontrol etmek amacıyla boşluk vidaları ile donatılmıştır.

Gözenekli Porozlar- Gözenekli porozlar zemin örneğinin alt ve st sınırlarından drenajı sağlamak için kullanılırlar. Ayrıca porozlar yatay kesme kuvvetini numunenin alt ve st sınırlarına transfer ederler. Gözenekli porozlar silikon karbür, alüminyum oksit ya da zemin numunesi veya nem ile korozyona tabi olmayan metalden oluşur. Porozların permeabilitesi zemin rneğininkinden daha büyük olmalıdır fakat ekin gözeneklerine toprağın fazla girmesini önlemek için yeterince ince dokulu fakat porozun gözeneklerine numunenin fazla girmesini önlemek için yeterince ince dokulu olmalıdır.

Yükleme Cihazları

Normal kuvveti uygulayan ve yükleyen cihaz- Normal kuvvet yükleme cihazı ile aktive olan bir yükleme kolu ile uygulanır. Cihaz, belirtilen kuvvetin yüzde 1'den fazlasını aşmayan bir normal kuvveti muhafaza kapasitesine sahip olmalıdır.

Numuneyi kesen cihaz- Cihazın yer değiştirmesinin oranı en az yüzde 1 sapma değerinde ve muntazam bir oranda numune kesme özelliğine ve kesme hızının 0.0025 mm/dak ile 1 mm/dak aralıklarındaki değerlere sahip olmalıdır. Kesme hızı genellikle elektrikli bir motor veya vites kutusu düzeneğiyle kontrol edilir, kesme kuvveti ise yük halkası veya yük hücresi gibi bir yük tespit cihazı tarafından tespit edilir.

Üstteki kesme kutusunun ağırlığı uygulanan normal kuvvetin yüzde 1'inden daha az olması gerekir: Bu durum üst kesme kutusunun modifiyesini veya zıt bir kuvvet tarafından desteklenmesini gerektirebilir.

Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı- 2.5 N hassasiyetli ya da yenilme anındaki kesme kuvvetinin yüzde 1'i hassasiyetli halka veya yükleme hücresi.

Kesme Kutusu Altlığı- Kesme kutusunu destekleyen bir metalik kutudur.

Kontrollü yüksek nem odası- eğer gerekirse, numuneyi hazırlarken nemini kaybetmemesi için.

Deformasyon Göstergeleri- Numunenin kalınlığını 0.0025 mm hassasiyetle ölçebilecek ve yatay deplasmanı da 0.025 mm hassasiyetle ölçebilecek yer değiştirme transformatörleri veya ölçüm kadranları.

Numunenin hazırlanmasında kullanılan zamanlama cihazı, distile su, bıçak, cetvel, tel testere ve bunların benzeri diğer ekipmanlar.

3.1.1.6 Test Örneği

Numune hazırlanması için kullanılan örnek yeterince büyük olmalıdır ki böylece minimum üç benzer örnek hazırlanabilsin. Nem kaybı veya kazanımını en aza indirmek için kontrollü sıcaklık ve nem ortamında numune hazırlanmalıdır. Numune hazırlanırken doğal zemin yapısı etkilenebileceğinden numune çok hassas ve dikkatli bir şekilde alınmalıdır. Dairesel numuneler için minimum çap, kare numuneler için de minimum genişlik 50 mm olmalıdır ve maksimum parçacık boyutunun en az 10 katı olmalıdır.

Minimum başlangıç numune kalınlığı 12 mm ve maksimum parçacık boyutu çapının 6 katından daha küçük olmamalıdır.

Çapın kalınlığa veya genişliğine kalınlığa oranı minimum 2:1 olmalıdır.

3.1.1.7 Numunenin Hazırlanması

Örselenmemiş numuneler- Örselenmemiş numuneler büyük örselenmemiş örneklerden veya uygulama D 1587 ile uygun olarak sabitlenmiş örneklerden hazırlanır. Örselenmeyi, enine kesitte bir değişikliği ya da su içeriği kaybını en aza indirmek için örnekler dikkatli bir şekilde tutulur. Numunenin nem kaybını veya kazancını en aza indirmek için eğer mümkünse numuneyi korunaklı (harçlı) hazırlanır.

Sıkıştırılmış Örnekler- Numuneler testi yapan tarafından belirlenen su içeriği ve birim hacim ağırlığıyla sıkıştırılarak hazırlanır. Kesme kutusunu birleştirilir ve sabitlenir. Kesme kutusunun altına nemli poroz yerleştirilir. Numune kesme kutusuna bilinen hacim kadar yerleştirilip tokmaklanır.

3.1.1.8 Kalibrasyon

Kalibrasyon cihaz ne zaman konsolidasyon yüküne maruz kaldığında cihazda meydana gelen deformasyonları belirlemek için yapılır böylece her normal konsolidasyon yükü için gözlemlenen deformasyonlardan cihazda meydana gelen sapmalar çıkarılır olabilir. Bu nedenle tamamlanmış testler için sadece örnek konsolidasyonundan meydana gelen deformasyonlar rapor edilir. Ekipman yük-deformasyon özellikleri için kalibrasyon ilk işlem için yerleştirildiğinde cihaz üzerinde ya da cihazın parçaları değiştii zaman yapılması gerekmektedir.

Yaklaşık olarak arzu edilen test numunesine eşit ve çapı ya da genişliği yaklaşık 5 mm daha küçük bir kalınlığa sahip bir metal kalibrasyon disk veya levha ile direkt kesme cihazı bir araya getirilir.

Normal yer değiştirme göstergesi konumlandırılır. Gösterge ayarlanır böylece kalibrasyon diskinden konsolidasyon veya şişme değerleri okunabilir.

Normal kuvveti artışlarla yukarı ekipmanın limitlerine doğru uygulanır ve göstergelerden normal yer değiştirme ile normal kuvveti okunur. Uygulanan kuvvetin tersi yönünde bu sefer uygulanan normal kuvvet kaldırılır ve göstergelerden normal yer değiştirme ve normal kuvvet tekrar okunur. Değerlerin ortalaması alınır ve cihazın yükleme deformasyonu normal yüklemenin bir fonksiyonu olarak grafikte gösterilir. İleride test örneğinin kalınlığını ve cihazın kendi içinde sıkıştırabilmesini belirleme çalışmaları için sonuçları saklanmalıdır.

Kalibrasyon diski veya plakası kaldırılır.

3.1.1.9 Prosedürler

1. Kesme kutusunu birleştirilir.

1.1 Örselenmemiş numune- Kesme kutusunda numunenin maruz kalan uçları üzerinde nemli gözenekli porozlar yerleştirilir. Daha sonra içerisinde numunenin bulunduğu bu kesme kutusunu kesme cihazının haznesine yerleştirilir.

1.2 Sıkıştırılmış Örnek- İçerisine test numunesi ve porozları yerleştirilmiş olan kesme kutusunun kesme cihazındaki haznesine yerleştirilir.

2. Kesme kuvveti yükleme sistemi bağlanır ve ayarlanır, böylece hiçbir kuvvet ölçme cihazı üzerine zorlanmaz.

3. Kesme yer değiştirmesini ölçmek için kullanılan yatay yer değiştirme ölçüm cihazı düzgün bir şekilde ayarlanır ve yerleştirilir. Bir ilk okuma almak veya sıfır deplasmanı belirtmek için ölçüm cihazı ayarlanır.

4. Kesme kutusundaki numunenin üzerine nemli gözenekli poroz ve onun da üzerine yükleme transfer levhası yerleştirilir.

5. Normal kuvvet yükleme koluna yük yerleştirilir ve yükleme çubuğu yatay olarak ayarlanır.

6. Örneğe küçük bir normal yük uygulanır. Yükleme sisteminin tüm bileşenlerinin oturmuş ve uyumlu olduğu doğrulanır. Sistemde uygulanan dikey yük ve yatay yükler kaydedilir.

7. Düşey deplasman ölçüm cihazı takılır ve ayarlanır. Düşey ve yatay deplasmanlar için cihazlardan ilk okuma değerleri alınır.

8. Gerekirse kesme kutusu tamamen su ile doldurulur ve deney süresince kutu tamamen su ile dolu tutulur.

9. İstenilen normal kuvvet değerine ulaşmak için gerekli normal kuvvet değerleri kaydedilir.

10. Numuneye istenilen normal yükler ve yük artışları uygulanır, geçen zamana karşı normal deformasyon okuması kayıtları başlatılır. Tüm yük artımlarından önce birincil konsolidasyonun tamamlanması beklenir. Normal yerdeğiştirme-logaritma zaman veya kara kök zaman (dak) grafikleri çizilir.

11. Birincil konsolidasyon oturması tamamlandıktan sonra hizalama vidaları kesme kutusundan çıkarılır. Boşluk vidaları kullanarak kesme kutusu yanları arasındaki boşluk yaklaşık olarak 0.64 mm açılır ve boşluk vidaları çıkarılır.

12. Numuneyi kesme

12.1 Uygun yer değiştirme hızın seçilir. Yenilme anında aşırı gözenek suyu basıncını engellemek için kesme hızı olabildiğince düşük tutulmaya çalışılır. Eğer malzeme şişme için bir eğilim sergilerse zemin su altında olmalıdır ve şişme eğilimini ortadan kaldırmak için yenilme anının tespit edildiği ana kadar normal gerilme artışı yeterince büyük ve dengeli olmalıdır.

Yenilme anındaki yer değiştirme miktarı, zeminin türüne, gerilme geçmişine ve buna benzer birçok etkene bağlıdır.

13.1 Yer değiştirme hızının ayarlanması ve seçilmesi

Cihazın bazı farklı çeşitleri için, yer değiştirme hızı dişli tekerlek veya vites kolu kombinasyonları kullanarak elde edilir. Diğer türleri için ise yer değiştirme hızı, motor hızının ayarlanması ile elde edilir.

13.2 İlk zaman, düşey ve yatay yer değiştirmeler, normal ve kesme kuvvetleri kaydedilir.

13.3 Cihaz yani kesme başlatılır.

13.4 İstenilen aralıklarla zaman, düşey ve yatay yer değiştirmeler ve kesme kuvveti veri okumaları yapılır. Veri okumaları doğru bir kayma gerilmesi-deplasman eğrisi tanımlamak için örnek çapının veya genişliğinin yüzde 2 eşitliğinde deplasman aralıklarıyla alınmalıdır.

13.5 Yenilmeye ulaşıldıktan sonra cihaz durdurulur. Bu yer değiştirme numunenin orijinal çapı ya da uzunluğunun yüzde 10 ile 20 arasında değişmektedir.

13.6 Kol ve askıdan yük kaldırılarak ya da basınç serbest bırakılarak örnek üzerinden normal kuvvet kaldırılır.

14. Kohezyonlu test örnekleri için kesme kutusu yarısının yenilme düzlemi boyunca bir kayma hareketi ile ayrılmalıdır. Numuneye zarar vereceğinden kesme kutusunu yenilme yüzeyine dik ayrılmamalıdır. Yenilme yüzeyi fotoğrafların, çizilir veya yazarak ifade edilir. Bu prosedür kohezyonsuz zeminler için geçerli değildir.

3.1.1.10 Hesaplamalar

Numune üzerine etkiyen τ (teğetsel kayma gerilmesi) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

τ : Teğetsel kayma gerilmesi

F: kesme kuvveti

A: numunenin enine kesit alanı

Numunenin normal gerilmesi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_n = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

σ_n : Normal kayma gerilmesi

N: Numuneye etkiyen normal düşey kuvvet

Yenilme anındaki kayma gerilmesi numune için maksimum kayma gerilmesi olarak alınarak numunenin içsel sürtünme açısı ϕ bulunur.

3.1.1.11 Rapor

Rapor aşağıdaki bilgileri içermelidir:

1. Örnek tanımlama.
2. Normal gerilme, deformasyon oranı, kesme hızı ve nominal kayma gerilmesi değerleri.
3. Her test için zaman-deformasyon grafiği.
4. Bulunan içsel sürtünme açısı değerleri ve Mohr daireleri.
5. Numunenin yapısı, örselenmemiş, sıkıştırılmış veya başka bir şekilde hazırlanmış olup olmadığı.
6. Başlangıç kalınlığı veya çapı.

3.1.2 ASTM D3090 – 98 Konsolide Olmuş Drenajlı Koşullardaki Zeminler İçin Direkt Kesme Deneyi Metodu

3.1.2.1 Kapsam

Bu test yöntemi konsolide olmuş zeminin drenajlı koşullarda altında direkt kesme deneyinde kayma dayanımının tayinini kapsar. Bu test, kesme düzlemi yakınında veya üstünde bulunan bir aparat sayesinde kontrollü hız sağlanması ile örneğin deforme edilmesiyle gerçekleşir. Genel olarak, kayma direncini ve yer değiştirmeleri tespit etmek ve Mohr zarfı gibi dayanım özelliklerini belirlemek için farklı normal gerilmeler altında üç veya daha fazla numune deneye tabi tutulur.

Kayma gerilmeleri ve yer değiştirmeler numune içinde düzensiz olarak dağıtılır. Kesme gerilmesinin hesaplanması için uygun bir yükseklik tanımlanamaz. Bu nedenle, gerilme-gerilme ilişkisi ya da bunlarla ilişkili herhangi başka veriler bu testten tespit edilemez.

Dayanım zarfı ve diğer kriterlerin gelişiminin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması testi isteyen mühendis ve ofise bırakılmıştır.

Normal gerilme ve nem durumu dahil olmak üzere test koşulları araştırılan alanın özelliklerini temsil edecek şekilde seçilir. Kesme hızı drenajlı koşulları temin etmek üzere yeterince yavaş seçilmelidir.

3.1.2.2 Terminoloji

Bağıl yanal deplasman- üstteki ve alttaki kesme kutusunun yatay yer değiştirmesinin birbirine göre yarısıdır.

Yenilme- bir test örneğinin yenilme anındaki gerilme durumu. Yenilme genel olarak, kesme yer değiştirmesinin % 15-20 civarında gerçekleşir. Zeminin davranışı ve çalışma alanına bağlı olarak diğer uygun kriterler belirlenebilir.

3.1.2.3 Test Yönteminin Özeti

Bu test yöntemi, test numunesinin direkt kesme cihazına yerleştirilip üzerine önceden belirlenmiş bir normal gerilmenin uygulamasını kapsar. Normal gerilme altında numuneyi konsolide edebilmek için numune ıslatılır veya drene edilir ya da her ikisi de uygulanır. Test numuneleri tutan çerçevelerin kilidi açılır ve biri diğerine göre

yatay olarak yer değiştiren iki kare kutu içerisinde numune sabit bir hızda kesilirken kesme kuvveti ve yatay yer değiştirme ölçölür.

3.1.2.4 Testin Önemi ve Kullanımı

Direkt kesme deneyi konsolide olmuş drenajsız koşullardaki dayanım özelliklerini nispeten hızlı bir şekilde belirlemek için uygundur çünkü test numunesi için drenaj yolu kısadır, böylece gözenek suyu basıncı diğer drenajlı deneylere göre daha hızlı emilebilir. Test sonuçları normal gerilme altında tam konsolide durumu mevcutken dayanımı belirlemede geçerlidir.

Direkt kesme testi sırasında, test alanının koşullarını temsil edebilen veya edemeyen normal gerilmenin bir dönüşü oluşur. Ayrıca, yenilme örneğin ortasında yatay düzlem üzerinde meydana gelmeye çalışana kadar zayıf bir düzlem üzerinde meydana gelmeyebilir. Kayma gerilmeleri ve yer değiştirmeler numune içerisinde homojen olmayan bir şekilde dağılır ve herhangi bir yükseklik tanımlanamaz ve kesme gerilmesine ilişkin diğer veriler hesaplanamaz. Normal gerilme aralığı, kesme hızı ve diğer genel test durumları araştırılan spesifik zemin koşullarına yakın olacak derecede seçilmelidir.

3.1.2.5 Cihazlar

Kesme aleti- torkun numuneyi etkilemesini engelleyen, numuneyi iki gözenekli poroz arasında güvenli bir şekilde tutmaya yarayan aygıttır. Kesme cihazı numunenin yüzlerine normal bir gerilme uygulamak için bir araç temin eder.

Kesme kutusu- kesme kutusu dairesel veya kare olabilir. Kesme kutusu orta yüzeyden iki eşit kalınlıkta parçaya bölünmüştür ve hizalama vidaları ile birbirine tutturulmuştur. Kesme kutusu, aynı zamanda kesme kutusunun üst ve alt yarıları arasındaki boşluğu kontrol etmek amacıyla boşluk vidaları ile donatılmıştır.

Numuneyi kesim cihazı- cihaz sabit bir hızda numuneyi kesme özelliğine sahip olmalıdır.

3.1.2.6 Prosedür

1. Kesme kutusu aleti monte edilip numune kesme kutusuna yüklenir. Hizalama vidalarının kesme kutusunun alt yarısından kesme kutusunun üst yarısı boyunca vidalandığına ve boşluk vidalarının kesme kutusunun üst yarısı içine vidalı ve kesme kutusunun alt yarısını dokunur şekilde olduğuna emin olunur.
2. Kesme kutusu kesme cihazının içine yerleştirilir.
3. Yük transfer levhası ve yükleme askısı kullanarak numune üstüne normal bir yük uygulanır.
4. Hizalama vidaları kesme kutusundan çıkarılır.
5. Kesme cihazının kesme hızı ayarlanır (örn. 0.50 mm/dak).
6. Veri edinme sistemi başlatılır.
7. İlk veri geldikten sonra kesme cihazı başlatılır.
8. İlk okuma başladıktan sonra her 30 saniyede bir veri okuması yapılır. 3 ardışık okuma düşüş seviyesine geçene kadar okuma yapılır.
9. Veri edinme sistemi durdurulur.
10. Test en az 3 normal yükleme altında gerçekleştirilir. (örn. 8, 10, 12 kg).

3.1.2.7 Hesaplamalar

Numune üzerine etkiyen τ (nominal kayma gerilmesi) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

τ : Teğetsel kayma gerilmesi

F: kesme kuvveti

A: numunenin enine kesit alanı

Numunenin normal gerilmesi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_n = \frac{P}{A}$$

σ_n : Normal kayma gerilmesi

N: Numuneye etkiyen normal düşey kuvvet

Yenilme anındaki kayma gerilmesi numune için maksimum kayma gerilmesi olarak alınarak numunenin içsel sürtünme açısı ϕ bulunur.

3.1.2.8 Rapor

Rapor aşağıdaki bilgileri içermelidir:

1. Örnek tanımlama.
2. Normal gerilme, deformasyon oranı, kesme hızı ve nominal kayma gerilmesi değerleri.
3. Her test için zaman-deformasyon grafiği.
4. Bulunan içsel sürtünme açısı değerleri ve Mohr daireleri.

3.1.3 Kesme Kutusu Deneyinde Kayma Direncini Etkileyen Faktörler

1. Numunenin boyutu (yüksekliği ve kesiti)

Zeminler üniform olmadığından numune boyutu küçüldükçe zeminin temas özelliği de azalır. Deney sırasında numunenin üzerine ve yanlarına uygulanacak basınç doğal şartları sağlamalıdır.

2. Yükleme şekli: İki şekilde uygulanabilir:

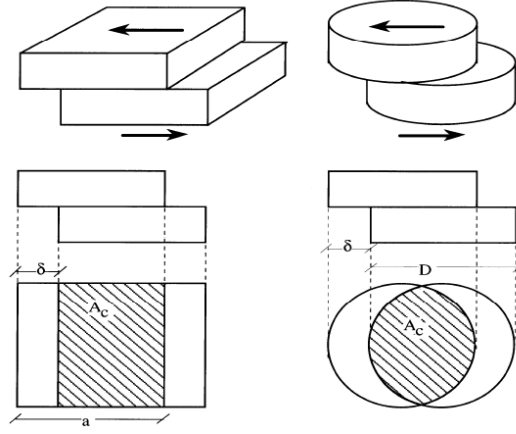
a. Gerilme Kontrolü

b. Deformasyon Kontrolü

Deformasyon kontrollü deneylerde deformasyon hızı sabittir ve kırılmaya kadar numunenin katı veya as katlarında okunur. Buna karşılık gelen gerilme değerleri belirlenir. Deformasyon kontrollü uygulananlar tercih edilir.

3. Yükleme Hızı: Yükleme hızı arttıkça killi zeminlerde mukavemet ve deformasyon oranı artar. Bu artış zeminin viskoz (sünme) davranışıyla açıklanır. Kumda bu fark çok küçüktür. Hızın düşük olduğu deneylerde suya doygun zeminlerde azalan hız iyi drenaja izin verir.

4. Drenaj Durumu: Suya doygun zeminde su çıkışına ne kadar çok izin verilirse mukavemet o kadar artar. Çünkü efektif gerilmeler ve drenaj nedeniyle konsolide olan zeminde boşluk hacminin azalmasına bağlı olarak kayma mukavemeti artar.



Şekil 3.1: Kare ve dairesel kesme kutularının kesit görünümü



Şekil 3.2: Halka kesme kutusu deneyinin yapılış aşamaları (Teksas Üniversitesi Jeoteknik Mühendisliği Laboratuvarı)



Şekil 3.3: Kare şekilli kesme kutusu ve deney aşamaları fotoğrafları

3.2 Elek Analizi Deneyi (Dane Çapı Dağılımının Bulunması)

3.2.1 Dane çapı dağılımının bulunması için yıkamalı eleme metodu

3.2.1.1 Genel

Bu metot, bir zeminde, ince kum ve daha iri boyuttaki malzemenin dane çapı dağılımının tayini ile ilgili olup, zemindeki kil ve siltin toplam miktarı da (inceler), bu deney sonuçlarından hesaplanabilir.

3.2.1.2 Cihazlar

Deney elekleri, göz açıklıkları, 75 mm, 63,5 mm, 50 mm, 40 mm, 25,4 mm, 20 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 1,19 mm, 600 µm, 425 µm, 150 µm, 75 µm olan

Terazi, 0,5 g doğrulukla tartma yapabilen,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Numune ayırıcı, çok gözlü,

Etüv, sürekli olarak $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen,

Porselen pota, en az altı dane, çapı 150 mm dolayında olan,

Metal tepsi, en az altı adet çapı 300 mm, derinliği 40 mm dolayında olan,
Tepsi, iki veya daha çok sayıda, metal veya plâstikten, su kaçırmaz, geniş (kenar uzunluğu (450 - 900) mm, derinliği (75 - 150) mm, olan kare biçiminde tepsiler uygundur), veya

Kova, çapı ve derinliği 300 mm dolayında olan,

Bakkal küreği, uzunluğu 200 mm, genişliği 110 mm dolayında olan, veya

Beher, 500 mL hacimli,

Elek fırçaları, bir tel fırça veya benzeri sert bir fırça,

Sodyum heksametafosfat, analitik saflıkta

Lâstik hortum, iç çapı 6 mm dolayında olan,

Elek sarsma makinesi, (zorunlu değildir).

3.2.1.3 Deneyin yapılışı

1. Deneyde kullanılacak eleklerin göz açıklıkları, deneye tâbi tutulan zemindeki dane boyutlarını yeterli bir biçimde kapsamalıdır.

2. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (aşağıda belirtilmiştir) uygun olarak temsilî numune elde edilir ve etüvde kurutulur.

2.1 Deneylerde kullanılacak olan numunenin toplam kütlesi, zemin grubuna ve yapılacak deneylere bağlıdır. Bununla birlikte, zeminin özelliklerini doğru yansıtabilen bir numunenin toplam kütlesi, genellikle aşağıda verilenlerden az olmamalıdır:

İnce daneli zeminler 0,5 kg

Orta daneli zeminler 5 kg

İri daneli zeminler 30 kg

2.2 Çeyrekleme için numune konik biçimde yığılır. Düşey iki çap boyunca dört eşit parçaya bölünür. Karşılıklı iki bölüm ayrılır. Kalan iki çeyrek bölüm karıştırılarak bir yarım elde edilir. İşleme, numune istenilen miktara ulaştırılıncaya kadar devam edilir.

2.3 Su muhtevası deneyi için alınan numuneler, kurumayı önlemek amacıyla, alındıktan hemen sonra kapaklı kaplarda tutulmalı ve kapaklar buharlaşmayı önleyecek biçimde geçirimsiz hâle getirilmiş olmalıdır.

2.4 Numune gerekirse açıkta veya etüvde kurutularak ufalanabilecek duruma getirilir. Bu işlem, 50°C'yi aşmayan bir sıcaklıkta yapılmalıdır. Daha sonra yapılacak

deney sonuçlarına bir etkisi olmayacağı kesinlikle biliniyorsa, zemin (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüvde de kurutulabilir.

3. Numune içinde iri zemin daneleri bulunuyorsa, üzerindeki ince malzemenin temizlenene kadar tel ve benzeri sert bir fırça ile fırçalanır. Temizlenen bu iri daneler yumuşak yapıya ise temizleme işlemi sırasında kendi yapılarından parça kopmamasına özen gösterilmelidir.

4. Etüvde kurumuş malzeme 0,01 g doğrulukla tartılır ve bulunan değer kaydedilir.

5. Geniş bir tepsi içine serilir veya bir kova içine konur ve su ile örtülür.

6. Numuneyi örtmekte kullanılan suyun her bir litresi için 2 g sodyum heksametafosfat katılır ve zeminin tamamen ıslanmasını sağlamak için kabın içindekiler iyice karıştırılır.

7. Numune son bir kez karıştırıldıktan sonra bulanık su, yavaş yavaş 75 µm'lik eleğin üzerine aktarılır. İri danelerin 75 µm'lik eleğe zarar vermemesi için 75 µm'lik eleğin üzerine daha büyük göz açıklıklı ve kalın telli başka bir elek (425 µm veya 2 mm gibi) konularak iri danelerin bu eleğin altına geçmesi önlenir.

Eleklerden herhangi birinin aşırı yüklenmemesine dikkat edilmelidir. 75 µm'lik elek üzerinde kalan malzeme hiçbir zaman 150 gramı aşmamalıdır.

8. Numuneye yeniden su katılır. Bulanık su, 75 µm elekten geçirilip atılır. Bu yıkama işlemi, 75 µm elekten geçen su duru hale gelinceye kadar sürdürülür.

9. Eleklerden kalan malzemenin tamamı tepsilere veya porselen potalara boşaltılır ve (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüvde kurumaya bırakılır.

10. Etüvde kurutulmuş malzeme uygun bir elek serisinden elenir. Eleme mekanik sarsma cihazıyla yapılıyorsa sarsma süresi en az 10 dakika olmalıdır. Her elekten kalan miktar tartılır ve elde edilen kütleler kaydedilir.

11. 75 µm'lik elekten geçen malzemenin miktarı, deneyde kullanılan eleklerde kalan malzeme kütlelerinin toplamının, kaydedilen toplam kütlelerden çıkarılmasıyla elde edilir.

3.2.1.4 Hesaplamalar

1. Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekten kalan malzeme miktarı, 75 µm elekten ise geçen miktarı hesaplanır ve yüzdeleri bulunur. Başlangıçtaki numune çeyreklenme yöntemiyle azaltılmışsa, bu hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

2. Her elekten geçen toplam malzeme yüzdesi hesaplanır. Eleklerde kalan yüzdelerin toplamının 100'den çıkarılmasıyla, her elekten toplam geçen elde edilir.

3. Dane dağılımı eğrisi çizildikten sonra kritik çaplar D10, D30 ve D60 eğriden okunur. Efektif çap D10, % 10 düşey eksen değerinden çıkılan yatay doğrunun dane çapı dağılımı eğrisini kestiği noktanın yatay eksenindeki karşılık değeridir. Benzer biçimde D30 ve D60 değerlerini bulmak için % geçenin % 30 ve % 60 düşey eksen değerlerinden çıkılan yatay doğruların eğriyi kestiği noktalar bulunduktan sonra dane çapı eksenine çizilen düşey doğrulardan D30 ve D60 okunur. Buradan dane dağılımı kriterleri:

$$\text{Uniformluk katsayısı, } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.3)$$

$$\text{Süreklilik katsayısı, } C_r = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}} \quad (3.4)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

Dane çapı dağılımı deneyi için Çizelge 10'da verilen form kullanılabilir ve dane çapı dağılımı eğrisi Çizelge 3.4'te gösterilen yarı logaritmik grafiğe çizilebilir. Sonuçlar % olarak 0,1 doğrulukla verilmelidir.

3.2.1.5 Notlar

Not 1 - Deney raporunda belirtilmek şartıyla, verilenlerin dışında elekte kullanılabilir

Not 2 - Bütün eleklerin her deneyde kullanılması gerekmez

1. Deney sırasında eleklerden herhangi biri aşırı derecede yüklenecek olursa, elekteki malzeme birkaç bölüme ayrılıp elenmelidir.

Tablo 3.1: Tane çapı dağılımı deney formu

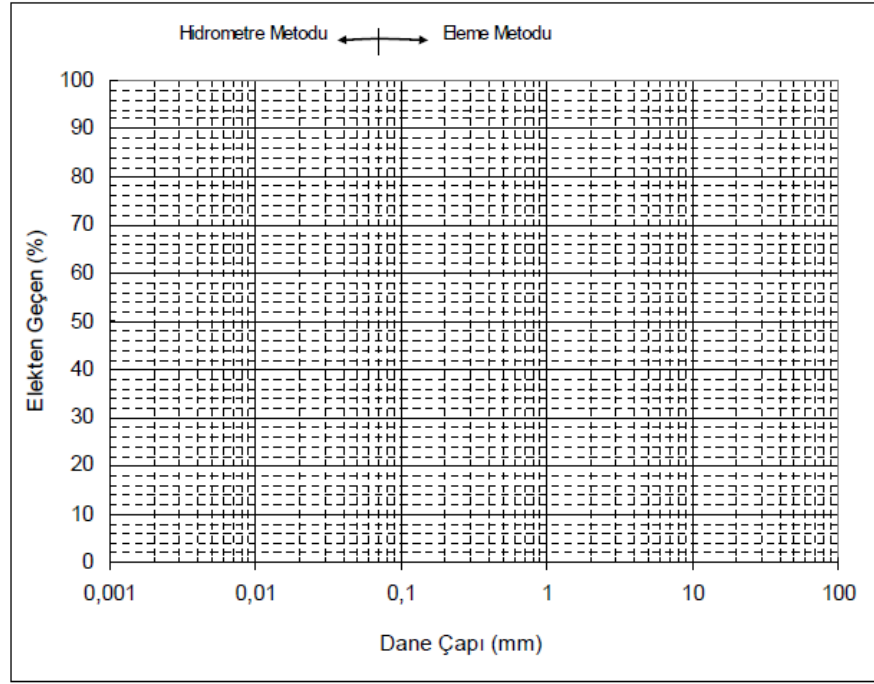
Lâboratuvar no		Numune kabul tarihi	
Numuneyi gönderen		Deney başlangıç tarihi	
Ait olduğu proje		Deney bitiş tarihi	
Kuyu / sondaj no		Deneyi yapan	
Numune no		Kontrol Eden	
Numune tipi		Alınan kuru numune kütlesi, g	
		Yıkama sonunda kalan kuru numune kütlesi, g	

Tablo 3.1 tane çapı dağılım formunun devamı

Elek adı	Elek göz açıklığı (mm)	Elekte kalan numune (g)	Kalan %	Toplam kalan %	Toplam geçen %
75 mm					
40 mm					
20 mm					
9,5 mm					
4,75 mm					
2 mm					
1,19 mm					
600 µm					
300 µm					
150 µm					
75 µm					
Pan					

Tablo 3.2: Dane çapı dağılımı deney sonucu formu

Lâboratuvar no		D10, mm	
Numuneyi gönderen		D30, mm	
Ait olduğu proje		D60, mm	
Kuyu / sondaj no		Uniformluk katsayısı	
Numune no		Süreklilik katsayısı	
Numune cinsi		Moloz yüzdesi	
Deney yöntemi (Islak/kuru)		Deney yöntemi (Islak/kuru) Çakıl yüzdesi	
Numune kabul tarihi		Kum yüzdesi	
Deney başlangıç tarihi		Silt+kil yüzdesi	
Deney bitiş tarihi			



Şekil 3.4: Elek analizi grafiği

3.2.2 Dane çapı dağılımının bulunması için kuru eleme yöntemi

3.2.2.1 Genel

Bu yöntem, bir zeminde ince kum ve daha iri boyuttaki danelerin, dane çapı dağılımının hesaplanması ile ilgili olup, sadece içinde silt ve kil oranı çok düşük olan, böylece sonuçların yıkamalı metottan farksız çıkacağı durumlarda uygulanabilir.

3.2.2.2 Cihazlar

Deney elekleri, göz açıklıkları, 75 mm, 63,5 mm, 50 mm, 40 mm, 25,4 mm, 20 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 1,19 mm, 600 µm, 425 µm, 150 µm, 75 µm olan

Terazi, 0,5 g doğrulukla tartma yapabilen,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Numune ayırıcı, tipte çok gözlü,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Elek fırçaları, bir tel fırça veya benzeri sert bir fırça,

Metal tepsi, en az altı adet, çapı yaklaşık olarak 300 mm, derinliği yaklaşık olarak 40 mm olan,

Porselen pota, en az altı adet çapı yaklaşık olarak 150 mm dolayında olan,

Havaneli, plâstik bir çekiç ve/veya lâstik kaplı bir havaneli,

Bakkal küreği, uzunluğu yaklaşık 200 mm, genişliği yaklaşık olarak 110 mm dolayında olan,

Elek sarsma makinesi, (zorunlu değildir).

3.2.2.3 Deneyin yapılışı

1. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak elde edilen numune, etüvde kurutulur ve kuru numune 0,01g doğrulukla tartılır.

2. En büyük gözlü eleğe bir tava takılır ve numune eleğe boşaltılır.

3. Elek, içerisindeki malzeme düzensiz olarak yuvarlanacak biçimde hareket ettirilir. Herhangi bir danenin eleğin gözünden geçip geçmediği elle denenebilir, ancak bu işlem sırasında daneyi zorlamamak gerekir. Elekte kalan malzeme bir havan içinde, lâstikle kaplı havaneli ile ovulduktan sonra yeniden elenir.

Böylece eleğin üzerinde sadece tek danelerin kalması sağlanmış olur. Elekte kalan miktar tartılır.

4. Alt kapta kalan malzeme, metal bir tepsiye aktarılır ve alt kap, bir sonraki eleğe takılır. Metal tepsideki malzeme eleğe boşaltılır ve Madde 3'teki işlem tekrarlanır.

5. Deneyde kullanılan bütün elekler için Madde 3 ve Madde 4'teki işlemler tekrarlanır. Elek sarsma makinesinin kullanıldığı durumda bütün elekler aynı çapta ise, elekler üst üste takılıp malzeme bütün eleklerden aynı anda elenebilir. Bu durumda elemenin tamamlanmış olmasına özen gösterilmeli, sarsma işlemi en az 10 dakika süreyle uygulanmalıdır.

6. Deney sırasında eleklerden herhangi biri aşırı derecede yüklenecek olursa, elektteki malzeme birkaç bölüme ayrılıp elenmelidir.

3.2.2.4 Hesaplamalar

Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekte kalan malzemenin yüzdesi hesaplanır. 75 µm elekten geçen yüzde ise, eleklerde kalan yüzdelerin toplamının % 100'den çıkarılmasıyla elde edilir ve alt kapta toplanan malzemenin tartılmasıyla denetlenir.

3.2.2.5 Sonuçların gösterilmesi

Dane apı dağılımı deneyi için Tablo 3.1’de verilen form kullanılabilir ve dane çapı dağılımı eğrisi izelge 3.4’te gösterilen yarı logaritmik grafiğe çizilebilir. Sonuçlar % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

3.2.3 200 Nolu Elek Üzerinde Islak Eleme Yapmak

1. 200 nolu elek üzerinde malzeme yitirilmeden yıkanır (TS;0,080mm).
2. 200 nolu elek üzerinde kalan malzeme tekrar etüve konur ve 24 saat bekletilir.
3. Etüvden ıkarılan malzeme desikatörde , normal şartlarda soğutulur. Tartılarak deney formuna işlenir.



Şekil 3.5: Elek analizi seti ve terazi



Şekil 3.6: Elek seti ve elenmiş numuneler

3.3 Konsolidasyon Deneyi (Tek yönlü konsolidasyon özelliklerinin tayini)

3.3.1 Genel

Bu deney, yanal şekil değiştirmesi kısıtlanmış olan, suya doygun disk biçiminde, örselenmemiş veya sıkıştırılan zemin numunesinin alt ve üst yüzeyinden drenaj sağlanarak, düşey ve eksenel bir basınç altında sıkışma miktarı ve hızının ölçümü ile ilgilidir.

3.3.2 Cihazlar

1. Konsolidasyon cihazı (sabit halkalı)

Cihaz řu ana parçalardan oluşmalıdır:

1.1 Konsolidasyon halkası, zemin numunesinin yanal şekil değiştirmesini tamamen önleyebilecek sağlamlıkta, yüksek nitelikte paslanmaz çelikten veya kaplanmış piriñten yapılmış. Bu halkanın bir ucu, deney numunesinin hazırlanmasını kolaylaştırmak amacıyla kesici olmalıdır. Konsolidasyon halkasının çapı, deney için lâboratuvara gelen örselenmemiş tüp numunelerinin çapı, zeminin türü ve ihtiva ettiği danelerin en büyük boyutu dikkate alınarak seçilmelidir. Genel olarak, ince siltler ve killer (bu tür zeminler deneyde "A" türü zeminler diye anılacaktır) için kullanılacak konsolidasyon halkasının iç çapı, örselenmemiş tüp numunesinin çapından en az 6 mm daha küçük olmalıdır. Böylece numunenin çevresinden, numune alma işlemi sırasında örselenmiş olması muhtemel en az 3 mm kalınlığında zeminin tıraşlanıp atılması sağlanmış olur. Az miktarda kil ihtiva eden iri silt ve kumlar, içerisinde çok miktarda küçük taş veya katı parçacıklar bulunan zeminler (taşlı kil, marn ve tebeşir gibi), bir de numune tüpünden çıkarılırken kırılan veya çok şekil değiştiren zeminler (bu tür zeminler deneyde "B" türü zeminler diye anılacaktır) için konsolidasyon halkasının iç çapının, tüp numunesinin çapına yakın olması, bu tür zeminleri tıraşlama güç olduğundan ve örselenme getirdiğinden, tercih edilmelidir. Deney uniform kumlara uygulanmaz.

Halkanın derinliği, iç çapının üçte biri ile dörtte biri arasında olmalı, iç yüzeyi, sürtünmeyi azaltmak amacıyla pürüzsüz bir biçimde parlatılmış olmalıdır.

1.2 Gözenekli diskler, numunenin alt ve üst yüzeyine yerleştirilmek üzere, 80 KVA zımpara taşından 6 mm veya 13 mm veya sinterlenmiş bronzdan 3 mm kalınlıkla yapılmış olan. Bunlar, uygun geçirimsizlik ve sağlamlıkta olmalı, alt ve üst yüzeylerinin düz olmasına özen gösterilmelidir. Üstteki gözenekli diskin çapı, zemin

numunesinin serbestçe sıkışmasını sağlamak amacıyla, konsolidasyon halkasının iç çapından 0,5 mm daha küçük olmalıdır. Bu diskin üst yüzey çapının alt yüzey çapından daha küçük olması, deney sırasında, hafif de olsa, yan yatmadan ötürü diskin halka içinde kenetlenmesini önleme bakımından yararlıdır. Alttaki gözenekli disk ise konsolidasyon halkası ve içindeki numuneyi yeterli biçimde destekleyebilecek boyutlarda olmalıdır.

1.3 Süzgeç kâğıdı, halkadaki numune ile gözenekli disk arasına zeminin gözenekli disklere girmesini önleyen.

1.4 Konsolidasyon hücresi (ödometre), konsolidasyon halkası içindeki numunenin, alt ve üstündeki gözenekli disklerle, ortaya gelecek biçimde, içerisine yerleştirilebileceği, uygun bir malzemeden yapılmış olan. Hücre, üstteki gözenekli diskin üst yüzeyini aşan bir düzeye kadar suyla doldurulabilmelidir.

1.5 Komparatör saati, deney sırasında, numunenin sıkışma veya şişme miktarını ölçebilecek biçimde yerleştirilmiş göstergeli (tercihan dijital). Gösterge 0,002 mm doğrulukla okunabilmeli ve en az 25 mm hareket kapasitesinde olmalıdır.

1.6 Yükleme cihazı, konsolidasyon hücresinin yerleştirileceği rijit bir tablası olan. Bu cihazın, uygun artışlarla numuneye eksenel, düşey bir yük uygulayabilecek bir düzeni olmalıdır. Uygulanan her yükün, numunenin düşey yönde sıkışmasını sağlarken, deney sırasında değişmemesi gereklidir. Bu da dengesi sağlanmış bir kaldıraç düzeni kullanılarak, uygun artışlarla uygulanabilecek kalibre edilmiş kütlelerle sağlanabilir. Numuneye uygulanacak düşey yüklerin, istenilen basıncı % 1,5 doğrulukla oluşturması gereklidir. Yükleme cihazı, numune kalınlığının en az % 75'ine eşit bir sıkışmayı sağlayabilmelidir. Dengeli kaldıraç düzeni, düşey yükün uygulanmasında yaygın biçimde kullanıldığından, bu standardda deneyin yapılışı anlatılırken, bu tür bir yükleme düzeni bulunduğu varsayılmıştır. Numuneye uygulanan kuvvet, üstteki gözenekli diski kaplayan bir yükleme plâkasının tam ortasındaki küresel bir yataktan geçmelidir. Yükleme düzeni, yükü ani ve sarsıntısız biçimde uygulayabilmelidir. Bu amaçla, kaldıraç yükü uygulama anına kadar vidalı bir kriko ile desteklenmesi, kimi durumlarda kolaylık sağlar. Ayrıca kaldıraç düzeninin uygun bir büyütme oranının olması (1:9, 1:10 veya 1:11 gibi) ve lâboratuvarda numuneye uygun artışlarla yük uygulanmasını sağlayacak kütleler bulundurulması gerekir. Genellikle farklı çaplı numuneler için öngörülen sabit basınçları verecek değişik kütleler bulundurulmalıdır.

2. Numunenin deneye hazırlanması ve deneye tâbi tutulması için gerekli cihazlar

Kriko ve çerçeve, zeminin numune tûpünden çıkarılmasında kullanılabilen,

Sehpa, numune tûpünden kriko ile çıkarılan zeminin doğrudan konsolidasyon halkası içinde itilmesini sağlamak amacıyla, bu halkayı numune tûpünün hemen üstünde tutmaya yarayan,

Palet bıçağı veya spatül, benzeri keskin, ince ağızlı tıraşlama bıçağı,

İki dane kıl testere, biri ince piyano telinden, öteki ise zemberek telinden yapılmış olan,

Çelik cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda, 25 mm genişliğinde, 3 mm kalınlığında, bir kenarı eğimli olan,

Cam plâka, kenar uzunluğu yaklaşık olarak 450 mm, kalınlığı 10 mm olan, kare biçiminde, pürüzsüz olan,

Bir kumpas, numunenin yüksekliğini ve konsolidasyon halkasının derinliğini 0,01 mm doğrulukla ölçecek verniyeli, veya

Komparatör saati, 0,01 mm doğrulukla ölçüm yapabilen,

Süzgeç kâğıdı, düşük geçirimsilikte numunenin üstüne konacak süzgeç kâğıdı, konsolidasyon halkasının iç çapında olmalı, numunenin altına konacak olan ise konsolidasyon halkasının dış çapından küçük olmamalıdır,

Komparatör saati, numunenin sıkışmasını 0,002 mm doğrulukla ölçebilecek olan (tercihan dijital göstergeli),

Kronometre, bir saniye doğrulukla okunabilen,

Su kaynağı, oda sıcaklığında olan,

Termometre, günlük en yüksek ve en düşük sıcaklığı 0,5 °C doğrulukla gösteren,

Saat camı, veya

Metal bir tepsi, konsolidasyon halkasından az büyük çapta,

Silikon gresi.

3.3.3 Deneyin yapılışı

1. Numunenin deneye hazırlanması

2. Zeminin az bir bölümü kriko yardımıyla numune tûpünden çıkarılıp hangi türden olduğu tespit edilir.

3. Uygun boyutlarda bir konsolidasyon halkası ile bir saat camı veya metal tepsi iyice temizlenir, kurulanır ve 0,01 g doğrulukla ayrı ayrı tartılır. Halkanın içi silikon

gresiyle hafifçe yağlanır. Numunenin tüpten taşan bölümü, ince bir piyano teli veya zemberek teli testeresi veya ince ağızlı bir bıçakla tüpün ağızıyla bir düzeyde kesilir.

3.1 Madde 3.3.2’de tariflenen A türü zeminler için

3.1.1 Tüpteki numunenin, konsolidasyon halkasının yüksekliğinden az uzun bir bölümü tüpten çıkarılıp kesilir. Bu işlem sırasında, elde edilen disk biçimindeki numunenin iki yüzeyinin birbirine paralel olmasına özen gösterilmelidir.

3.1.2 Lâboratuvara getirilen örselenmemiş numune, elle kesilip alınmış bir bloksa, konsolidasyon halkası boyutlarından az büyük, iki yüzeyi birbirine paralel bir disk kesilip hazırlanır. Bu işlem sırasında, diskin paralel yüzeylerinin, zeminin arazideki durumuna göre, arazide yük alma yönüne dik olmalarına özen gösterilmelidir.

3.1.3 Konsolidasyon halkası kılavuz olarak kullanılarak, diskin kenarları özenle tıraşlanır. Tıraşlama işlemi, konsolidasyon halkası numuneye yavaşça ve düzgün bir biçimde bastırılarak geçirilirken, diskin çevresinde halkanın kesici ucunun sıyracağı ince bir kat kalana kadar sürdürülür. Böylece halkanın iç yüzeyi ile numune arasında boşluklar kalması önlenmiş olur. Diskin alt ve üst yüzeyi, halkanın alt ve üst ucundan dışarıda kalmalı, piyano teli testeresi veya ince ağızlı tıraşlama bıçağı ve çelik cetvel yardımıyla halkanın alt ve üst ucu düzlemlerine gelene kadar tıraşlanıp düzeltilmelidir. Zeminde belirebilecek küçük bir taşın tıraşlama işlemine engel olması durumunda, bu taş çıkarılıp boşalan yere tıraşlanma sırasında kesilip alınan zeminden doldurulmalıdır. Hazırlama sırasında, numunenin su muhtevasında herhangi bir değişiklik olmamasına özen gösterilmelidir. Tıraşlama sırasında kesilen zeminden bir miktar alınıp danelerin bağıl yoğunluğu belirlenir, ancak bu zorunlu değildir.

3.1.4 Konsolidasyon numunesinin kalınlığı halka yüksekliği olarak ölçülür ve halka ile içindeki numune bir saat camı (veya metal tepsi) üzerine konup vakit kaybetmeden tartılır.

3.1.5 Zeminde taş veya kum bulunmadığı durumlarda, Madde 3.1.1 ilâ Madde 3.1.3’te belirtilen işlemler yerine: Konsolidasyon halkasını rijit bir biçimde ve numune tüpünün üst ucundan 3 mm ile 6 mm arası bir uzaklıkta tutabilecek özel bir cihaz, tüpün ucuna takılır ve numune tüpten çıkarılırken doğrudan konsolidasyon halkası içine itilir. Bu işlem sırasında numune, halkanın kesici ucundan girip diğer ucundan taşacak biçimde çıkabilmelidir. Numunenin halka içine itilmesi sırasında, halkanın dış yüzeyine olan sürtünmeyi azaltmak amacıyla, halkanın çevresinden

taşan malzeme tıraşlanmalıdır. Halka içindeki numune kesilip alınır, alt ve üst yüzeyleri tıraşlanır ve yukarıda, Madde 3.1.4'teki işlem uygulanır.

3.2 Madde 3.3.2'de tariflenen B türü zeminler için

Numunenin deneye elverişli bir bölümü, numune tüpünden doğrudan doğruya, bu tüpün çapına olabildiğince yakın çapta bir konsolidasyon halkası içine itilir. Bundan sonra numune kesilir, alt ve üst yüzeyleri tıraşlanır ve Madde 3.1.4'teki işlem uygulanır.

3.3.4 Konsolidasyon cihazının hazırlanması

Alt gözenekli disk, kuru olarak, konsolidasyon hücresi içine yerleştirilir. Halka içindeki numune, alt ve üstüne birer süzgeç kâğıdı konarak gözenekli diskin ortasına yerleştirilir. Yumuşak, hassas ve normal konsolide olmuş zeminler için kullanılacak süzgeç kâğıtları kuru olmalıdır. Üst gözenekli disk ve yükleme plâkası numunenin ortasına yerleştirilir. Bundan sonra konsolidasyon hücresi yükleme cihazındaki yerine oturtulur ve dengelenmiş yükleme kolu, yatay duruma getirilip yükü numuneye aktaran parçası yükleme plâkasına değecek biçimde ayarlanır. Komparatör saati, konsolidasyon hücresinin tabanı ile yükleme plâkası arasındaki bağıl hareketi ölçecek biçimde yerleştirilir. Komparatör saati, az bir miktar şişmeyi ölçebilecek, ancak kapasitesinin çoğu oturmaları kaydetmekte kullanılabilir biçimde ayarlanmalıdır.

3.3.5 Yükleme

Deneyde yükleme sırası 12,5; 25 50; 100; 200; 400; 800; 1600; 3200 kPa dizisini takip etmelidir. Uygulanacak ilk basınç, zeminin türüne bağılı olup, numunenin şişmesini önleyebilecek düzeyde olmalıdır. Son basınç ise 800 kPa'dan az olmamak üzere numune tipi ve özelliğine göre seçilir. Aşağıdaki açıklamalar kılavuz olarak kullanılabilir:

Katı zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada zeminin maruz kaldığı efektif düşey basınca eşit olmalıdır. Kolaylık amacıyla, yukarıda verilmiş bulunan basınç dizisinden, hesaplanan efektif düşey basınca en yakın değer uygulanır.

Sert zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada etkimekte olduğu hesaplanan efektif düşey basınçtan bir miktar daha az olmalıdır. Kolaylık amacıyla yukarıdaki basınç dizisinden uygun bir değer uygulanır.

Yumuşak zeminler: Uygulanacak ilk basınç, numunenin alındığı noktada etkimekte olduğu hesaplanan efektif düşey basınçtan epeyce az olmalıdır. Çok yumuşak killer için 12,5 kPa gibi düşük bir basınç gerekebilir.

Numunenin sıkışma miktarını ölçecek göstergenin ilk değeri kaydedilir, elde bir kronometre bulundurulur ve numuneye yukarıda belirtilen yolla seçilmiş ilk basınç uygulanır. Aynı anda kronometre çalıştırılır ve belirli süreler sonunda gösterge okumaları alınır. Bu okumaları basıncın uygulanmasından başlanarak ölçülen aşağıdaki süreler (t) sonunda almak, sonuçların zamanın karekökü kullanılarak değerlendirilmelerinde kolaylık sağlar.

Yükün uygulanmasıyla birlikte, konsolidasyon hücresi suyla doldurulmalıdır. Bu işlem numunenin şişmesine yol açacak olursa, numuneye uygulanan basınç, yukarıdaki basınç dizisindeki bir üst değere yükseltilmelidir. Basınç, deney sırasında elde edilen eğriden, zeminin birincil sıkışması sona erdiği görülene kadar değiştirilmez. Bu amaç için genellikle 24 saatlik bir süre uygun ve yeterlidir. Bu 24 saatlik sürenin sonunda gösterge ve kronometre okumaları alınır ve aynı süre içinde odanın en yüksek ve en düşük sıcaklıkları kaydedilir. Sıkışmaların ihmal edilecek düzeye düşmediği özel durumlarda süre 48 saate uzatılabilir. Bundan sonra, numune üzerine etkileyen basıncı, yukarıda verilen dizideki bir üst değere arttıracak biçimde bir kütle eklenir ve okuma alma işlemi tekrarlanır. Deneyde, yeterli sayıda (en az 4) yükleme basamağı kullanılmalı ve numuneye uygulanan en yüksek basınç, numunenin alındığı noktadaki efektif düşey ve tasarlanan yapının aynı noktada yaratacağı basınç artışının toplamına eşit olmalıdır.

3.3.6 Yükün boşaltılması

Uygulanmış en yüksek konsolidasyon basıncı altındaki gösterge okumaları tamamlandıktan sonra, numunenin boşalma eğrisi istenirse, yükler yükleme kademelerine uygun olarak boşaltılır. Ancak istenirse herhangi bir yük kademesinde boşaltma, etkileyen basıncın dörtte biri olmak üzere de yapılabilir. Okuma zamanları Madde 3.3.5'te verilen aralıklardır. Genellikle kabarma süresi, aynı basınç altında

birincil konsolidasyon için gerekenden kısadır. Yeniden yükleme yapılması istendiğinde, yükleme Madde 3.3.5'te verilen basınç aralıklarında yapılır.



Şekil 3.7: Konsolidasyon deneyi aleti



Şekil 3.8: Konsolidasyon deneyi devam ederken deney düzeneği

Şekil 3.9: Deney sonrası deney düzeneğinden çıkarılan

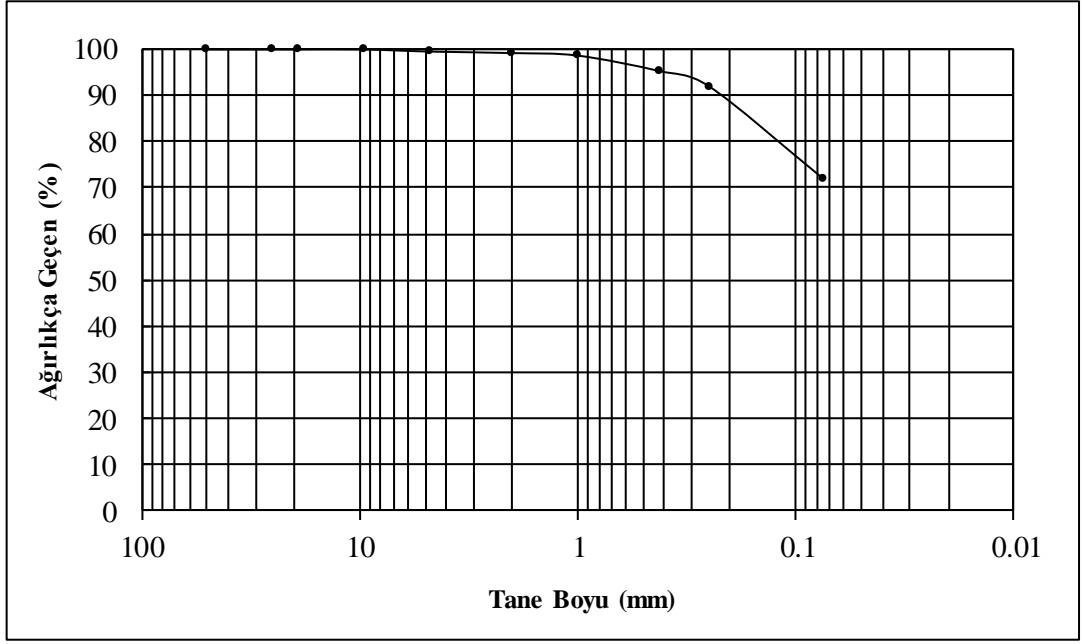
4. KULLANILAN MALZEME, CİHAZ ve YÖNTEM

4.1 Kullanılan Malzeme

Deney örnekleri Denizli Neojen çökellerinden alınan genelde içerisinde % 60-65 civarı kum, % 40-45 civarında kil içeren numunelerden oluşmaktadır. Çalışma deneysel çalışma olduğu için örnekler doğada bulunanın aksine elenmiş yani örselenmiş örneklerdir. İlk set deneyler (9 hız hem drenajlı hem drenajsız koşullarda) 40 nolu elek üstünde kalan ince taneli numune üzerinde yapılmıştır. İkinci set deneyler ise 60 nolu elek üstünde kalan biraz daha ince taneli numune üzerinde yapılmıştır. Kum için son set deneyler ise 200 nolu elekte önce ıslak elek yapıp tamamen ince malzemeden arındırılmış ve yine 200 nolu elek üstünde kalan ince kum üzerinde yapılmıştır. Bir örnek ise kumlu kil olup elek analizi verileri ve gronülometrik eğrisi aşağıdaki tablo ve grafiklerde gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Kumlu kil örneğine ait elek analizi sonuçları

Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Kalan Ağırlık (gr)	Elektan Geçen (gr)	Elekten Geçen (%)
2"	50	0	889.50	100.00
1"	25	0	889.50	100.00
3/4"	19.05	0	889.50	100.00
3/8"	9.5	0	889.50	100.00
4	4.76	3.99	885.51	99.55
10	2	2.91	882.60	99.22
18	1	4.87	877.73	98.68
40	0.425	29.64	848.09	95.34
60	0.25	29.85	818.24	91.99
200	0.075	178.51	639.73	71.92
	PAN	639.73		
TOPLAM		889.50		



Şekil 4.1: Kumlu kil örneğine ait tane boyu dağılımı grafiği

Her deney için tüm numuneler homojen karıştırılıp aynı ağırlıkta ve aynı su içeriğinde tartılarak kesme kutusuna yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2: Denizli merkezden kumlu kil örneğinin alındığı bölge



Şekil 4.3: Kumlu kil örneğinin alım noktaları



Şekil 4.4: Yenice kumu örneğinin alındığı seviye



Şekil 4.5: Drenajlı koşulda kesilmiş kumlu kil örnekleri



Şekil 4.6: Drenajsız koşulda kesilmiş kumlu kil örneği



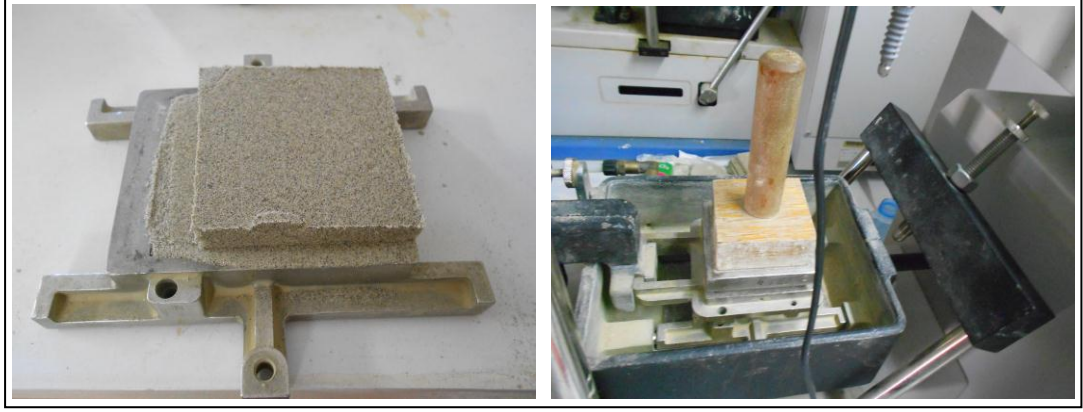
Şekil 4.7: 40 No'lu elek üstüne ait drenajlı durumda kesilmiş numune



Şekil 4.8: 40 No'lu elek üstüne ait drenajsız koşulda kesilmiş numune



Şekil 4.9: Hem ıslak hem kuru elek yapılmış 200 No'lu elek üstündeki kalan kum örneği



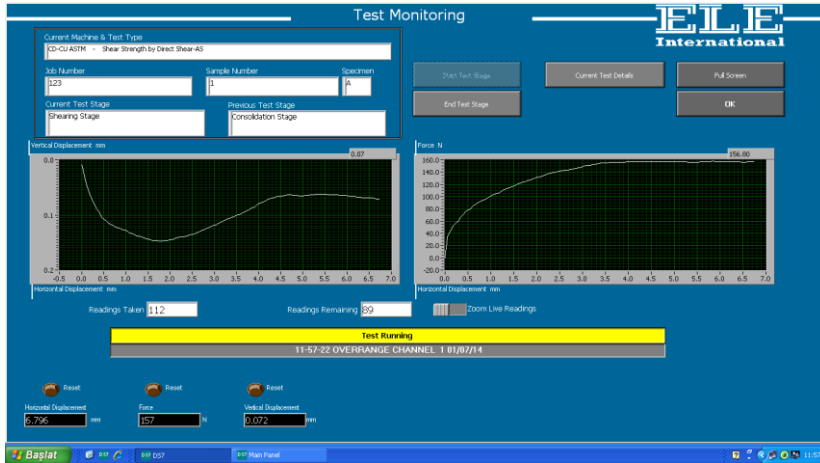
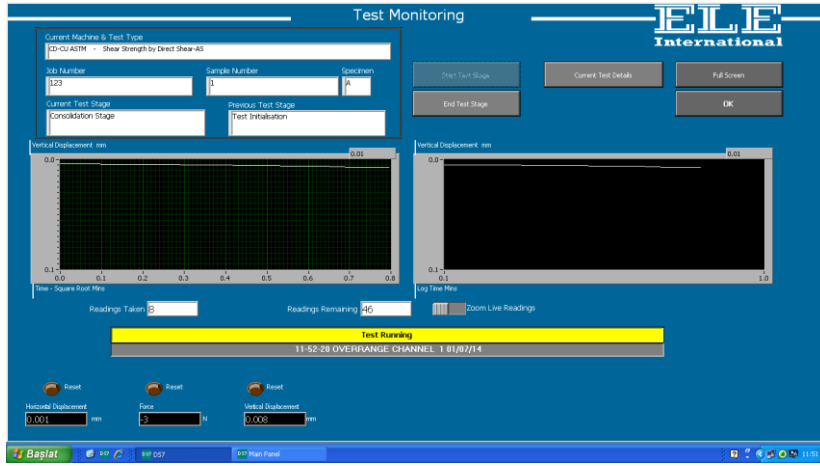
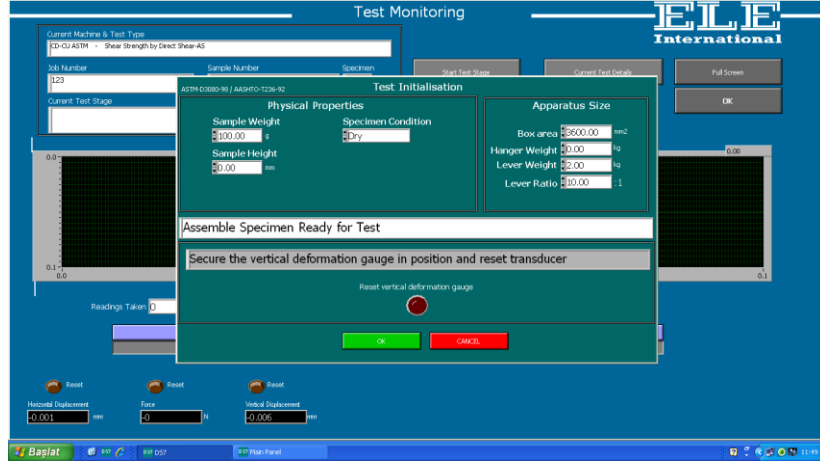
Şekil 4.10: Drenajsız durumda kesilmiş olan 200 No'lu elek üstü kum örneği

Şekil 4.11: Numunenin tokmakla kesme kutusu cihazına yerleştirilmesi

4.2 Test Cihazı ve Yöntem

Deneyler için laboratuvarında bulunan Ele firmasına ait kesme cihazı kullanılmıştır. Kesme cihazı elektronik olup çok düşük hızlardan (ör. 0.005 mm/dak) çok yüksek hızlara (ör. 5 mm/dak) kadar kesme hızlarında testler yapabilmektedir. Kesme kutusu standartlarında belirtildiği gibi kare şekilli olup 6*6*2 cm boyutundadır. Deney sırasında tüm ölçümler elektronik sistemlerle bilgisayara aktarılıp kaydedilmektedir. Yine ELE firmasına ait ADU (The Autonomous Data Acquisition Unit) ile tüm veriler (yanal deformasyon, düşey deformasyon, konsolidasyon miktarı, normal gerilme) elektronik ortamda kaydedilip kayma dayanımı parametreleri (içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik kayma dayanımı) hesaplanmış, böylece deneyler için hata oranı minimum seviyeye indirilmiştir. Deney sonuçlarının elektronik ortamda kaydedilip hesaplanması hata payını minimum seviyeye indirmiştir.

Test aşamasında her numune için hem drenajlı hem drenajsız koşullarda olmak üzere 54.5, 109 ve 218 kPa normal gerilemeler altında 9 kesme hızında (0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 5 mm/dak) 54 adet deney yapılmıştır. Killi kum örneği için konsolidasyon deneyi yapılarak t_{50} değeri hesaplanmış ve bu değerden elde edilen hız (0.045 mm/dak) ile de kesme deneyi yapılmıştır. Yalnızca Yenice kumunda yapılan deneylerde numune miktarı yeterli olmadığı için drenajsız koşullarda sadece 4 hızda çalışılmıştır. Sonuçlar ADU'da kaydedilmiş, ADU'nun kaydettiği veriler ile DS 7 programında Mohr kırılma zarfı çizilip numuneye ait kohezyon ve içsel sürtünme değerleri bulunmuş ve karşılaştırılmıştır.

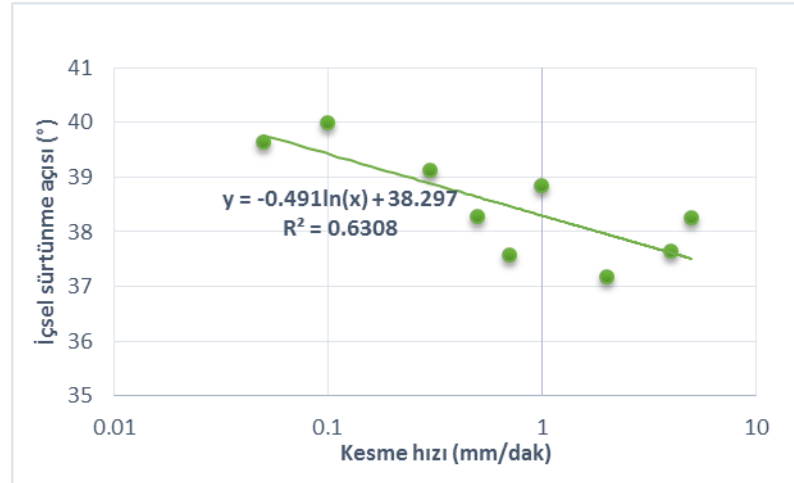


Şekil 4.12 : ADU - DS 7 bilgisayar programının görüntüleri

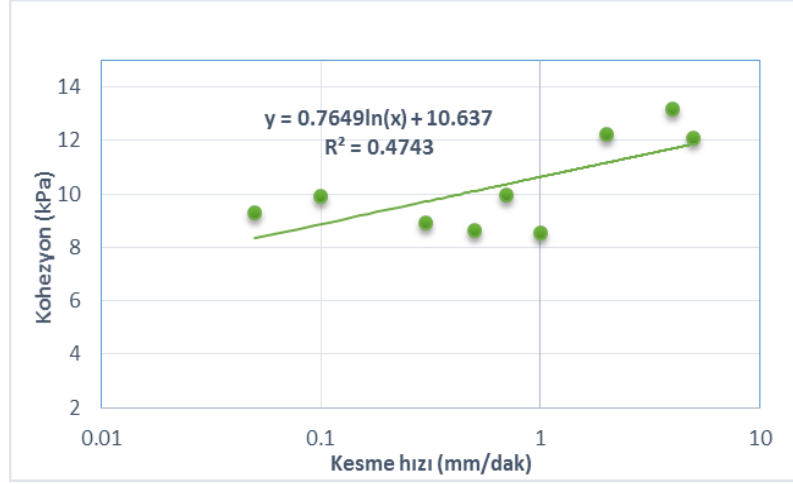
5. BULGULAR

Kesme hızı etkisini incelemek için tüm deneyler ait veriler tablo olarak verilmiş, yarı logaritmik kesme hızı-içsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri çizilmiş, bağıntılar yazılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. 40 nolu elek üstü kum numunesi drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon grafikleri Şekil 5.1, 5.2’de ve drenajsız koşuldaki grafikler ise Şekil 5.3 ve 5.4’te gösterilmiştir.

40 No’lu elek üstü numune için drenajlı durumda deney sonuçlarına bakıldığında hem kohezyonun hem de içsel sürtünme açısının kesme hızından çok önemli derecede etkilenmediği gözlenirken içsel sürtünme açısında 1-2 derecelik değişim meydana gelmektedir. Kohezyon değerleri ise sadece 2 mm/dak hızdan sonra 2-3 kPa’lık bir artış göstermektedir. Kumlu bir örnek olmasına rağmen belli bir miktar kohezyon değerinin olmasının sebebi ise 200 No’lu elek üstünde yıkamalı eleme metodu yapılmadığı için içerisinde çok az miktarda da olsa kil-silt boyutu malzemenin olmasıdır.

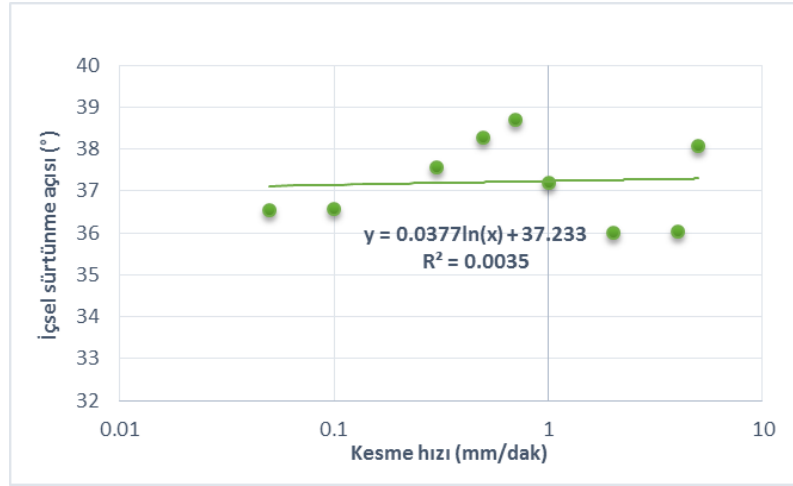


Şekil 5.1: 40 No’lu elek üstü kum numunesinin drenajlı koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği

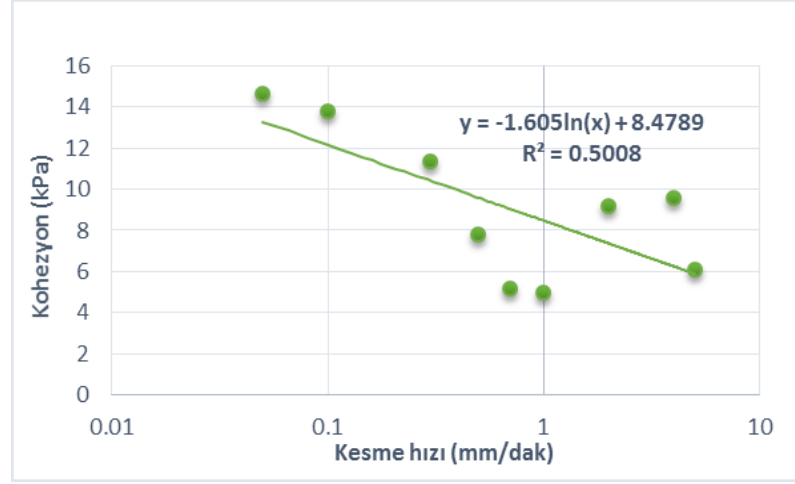


Şekil 5.2: 40 No'lu elek üstü kum numunesinin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği

40 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşullarda kesme hızı arttıkça kohezyon değerlerinde 7 kPa'a kadar bir düşüş gözlemlenirken, içsel sürtünme açısının kesme hızından pek fazla etkilenmediği görülmüştür. Kohezyondaki düşüşün sebebinin ise kesme hızı arttıkça boşluk suyu basıncının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



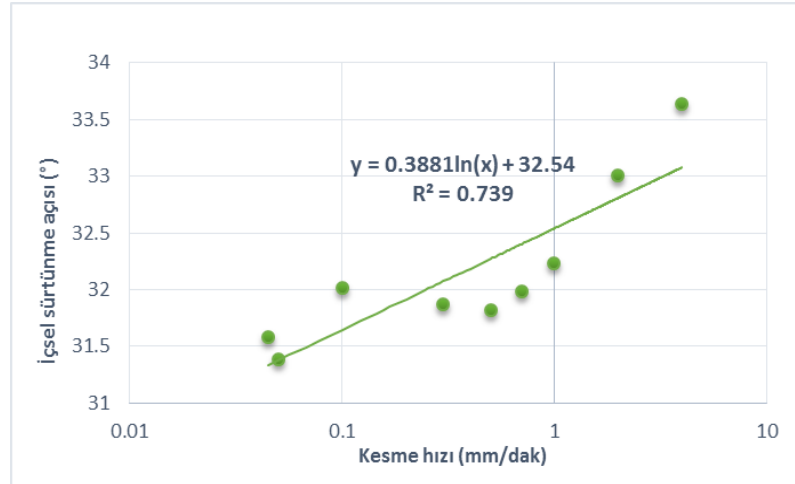
Şekil 5.3: 40 No'lu elek üstü kum numunesinin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği



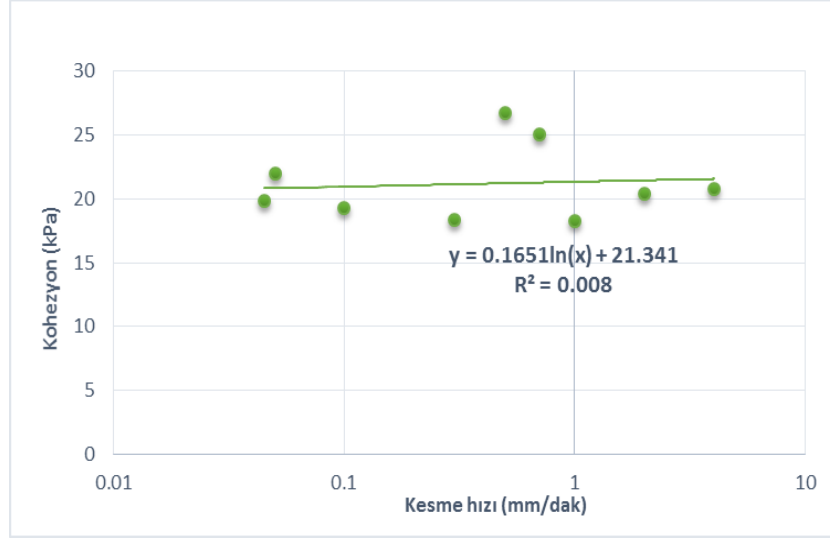
Şekil 5.4: 40 No'lu elek üstü kum numunesinin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği

Kumlu kil örneği için ise drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7'de ve drenajsız koşulda ise Şekil 5.8, 5.9 ve 5.10'da gösterilmiştir.

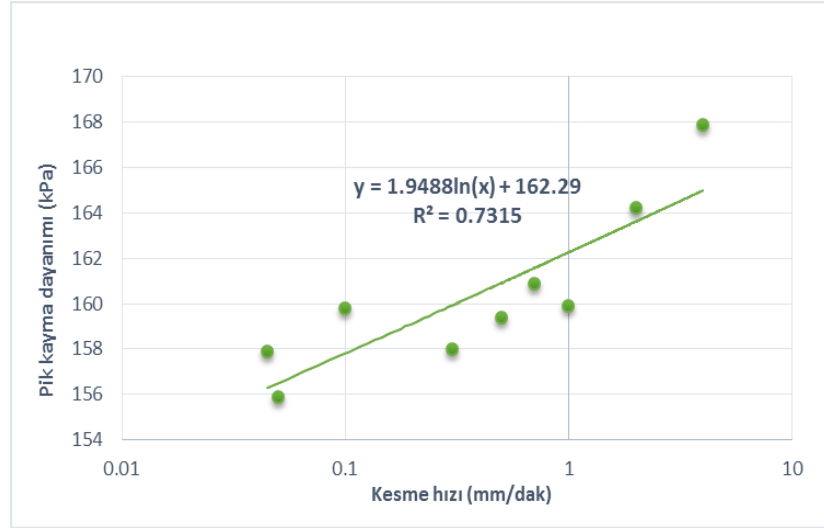
Bu örnek için drenajlı koşullarda yapılan deneylerin sonucunda kesme hızı arttıkça işsel sürtünme açısı ve pik kayma dayanımının arttığı gözlenirken, kohezyon değerlerinin kesme hızından önemli bir derecede etkilenmediği gözlenmiştir.



Şekil 5.5: Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı grafiği

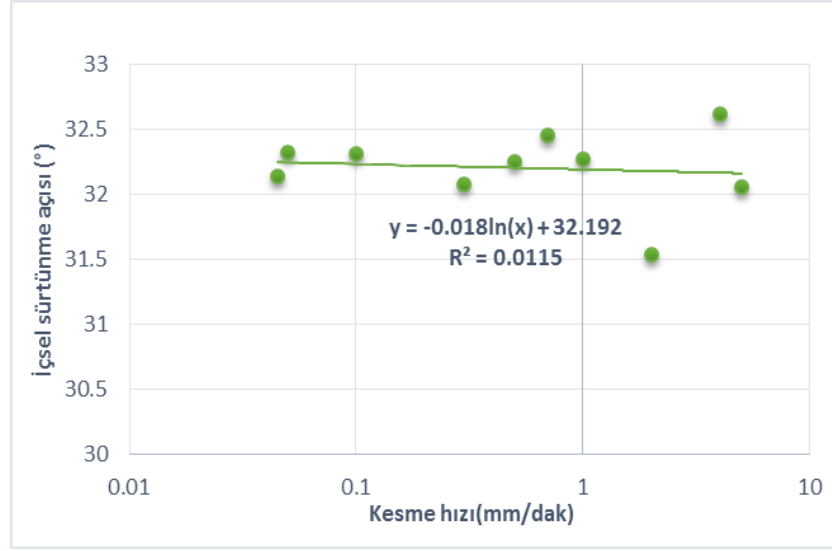


Şekil 5.6: Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği

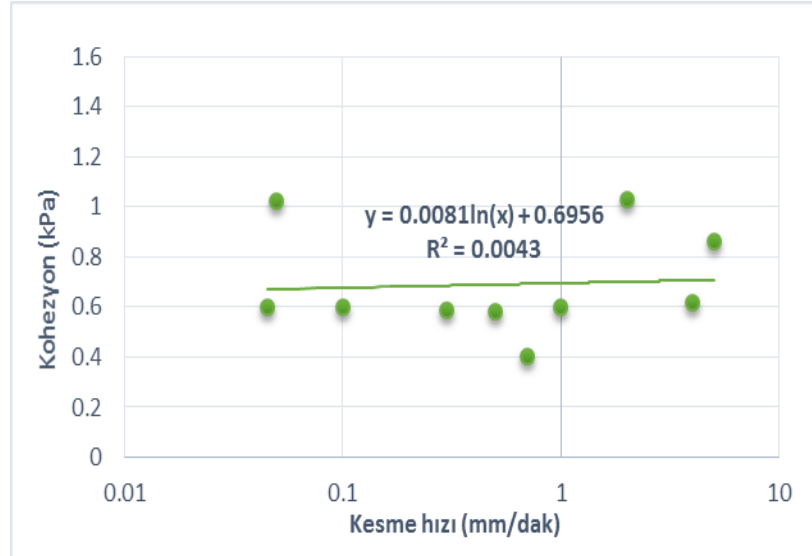


Şekil 5.7 : Kumlu kil örneğinin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği

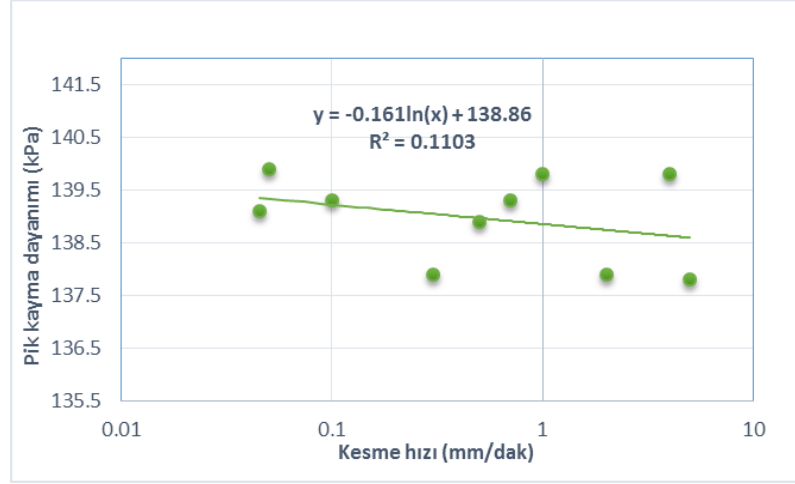
Kumlu kil örneği için drenajsız koşulda ise tüm parametrelerin kesme hızından önemli bir derecede etkilenmediği gözlenmiştir.



Şekil 5.8: Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği



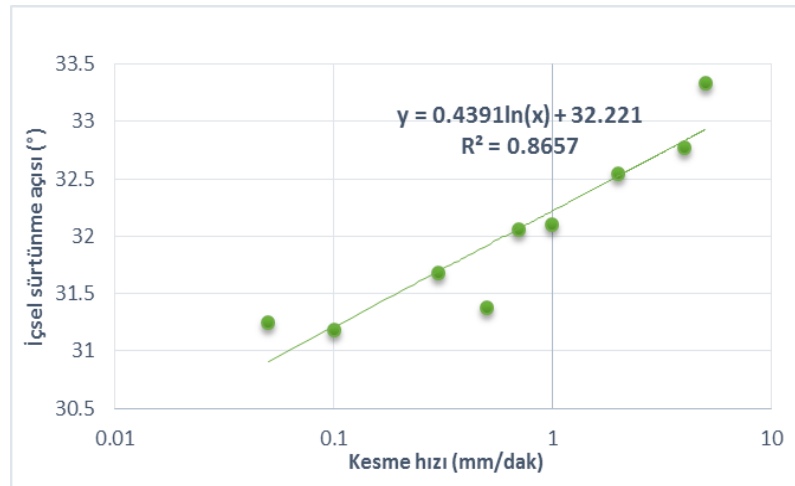
Şekil 5.9: Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon grafiği



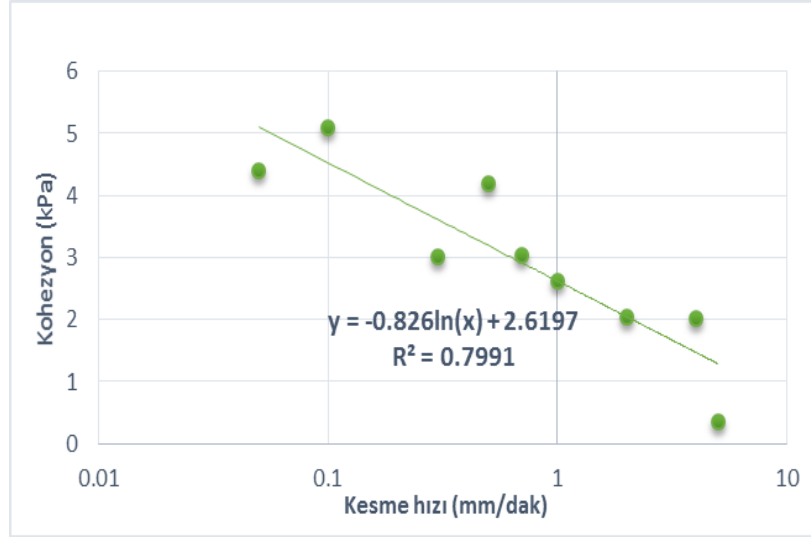
Şekil 5.10: Kumlu kil örneğinin drenajsız koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği

Yenice'den alınan kum örneği için deney sonuçlarında ise drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13'te ve drenajsız koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri ise Şekil 5.14, 5.16 ve 5.17'de gösterilmiştir.

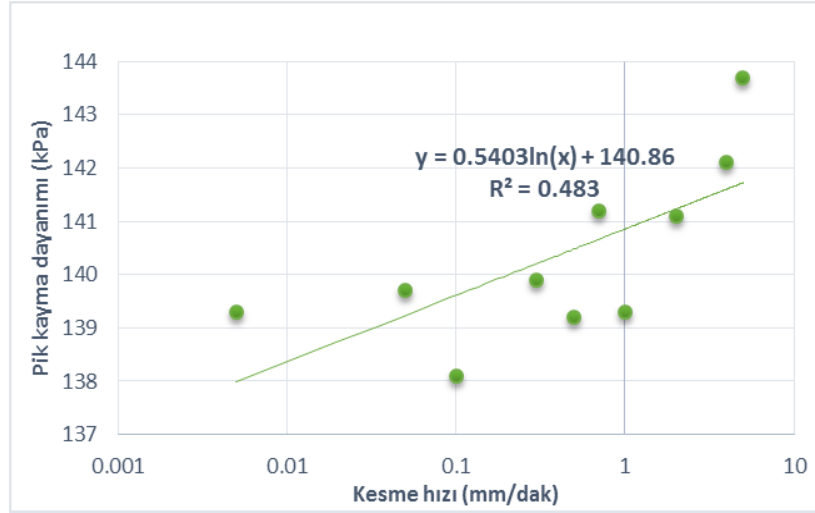
Bu numunede kesme hızının etkisinin önemli ölçüde olduğu görülmektedir. Kesme hızı arttıkça işsel sürtünme açısının ve pik dayanımın arttığı gözlenmiştir. Kohezyon değerinin ise kesme hızı arttıkça düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 5.11: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı grafiği

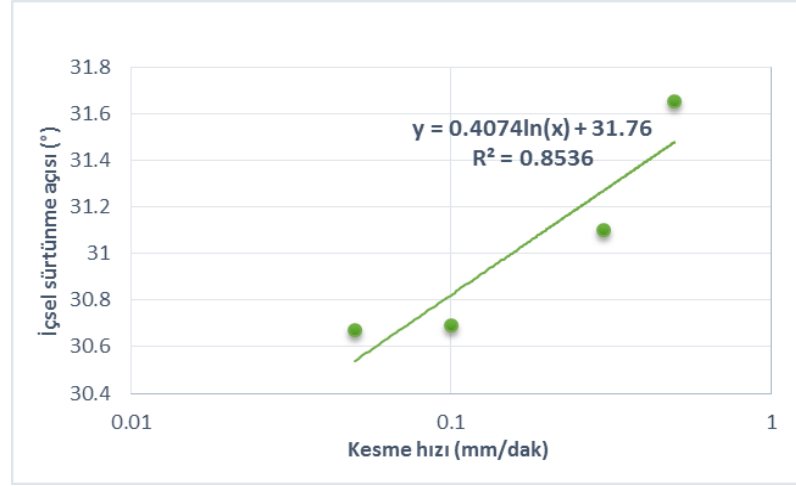


Şekil 5.12: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon değeri grafiği

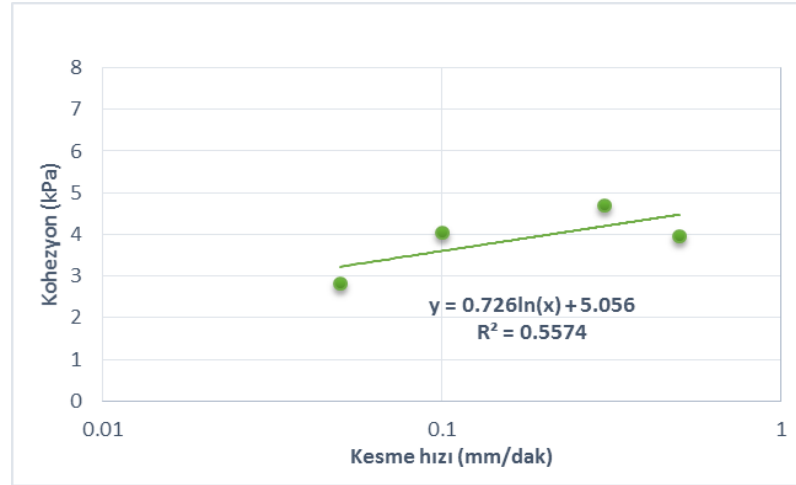


Şekil 5.13: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım grafiği

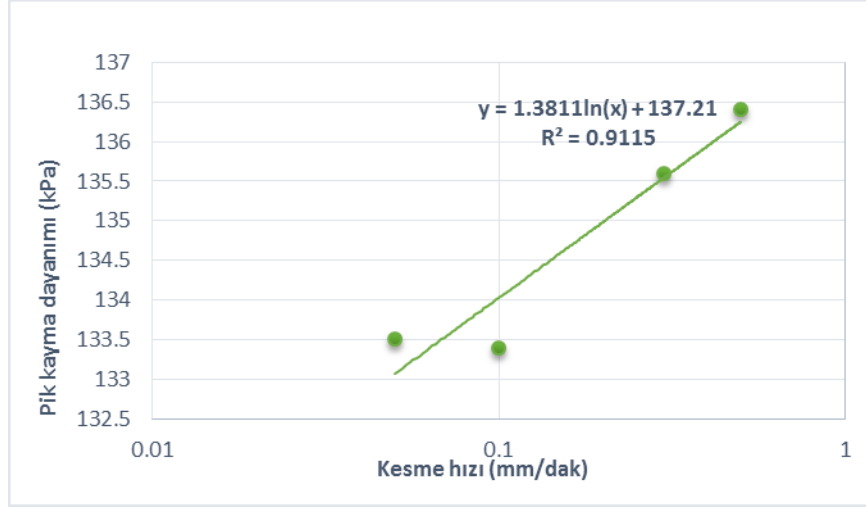
Drenajsız koşullarda yapılan 4 deney sonucunda ise tüm kayma dayanımı parametrelerinin kesme hızı artışından etkilendiği görülmektedir. Kesme hızı arttıkça hem içsel sürtünme açısının hem pik kayma dayanımının belli bir oranda arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.14: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı grafiği



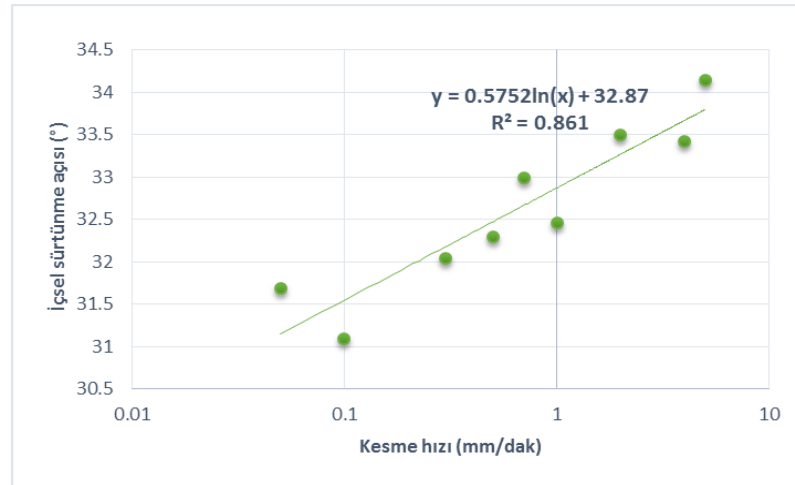
Şekil 5.15: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği



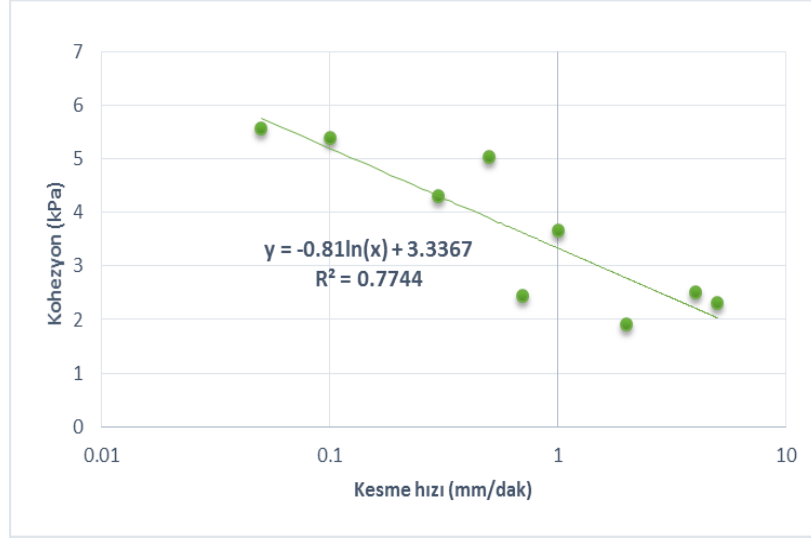
Şekil 5.16 : Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-pik kayma dayanımı grafiği

60 No'lu elek üstü kum örneği için deney sonuçlarında drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19'da ve drenajsız koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı, kesme hızı-kohezyon ve kesme hızı-pik kayma dayanımı grafikleri ise Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22'de gösterilmiştir.

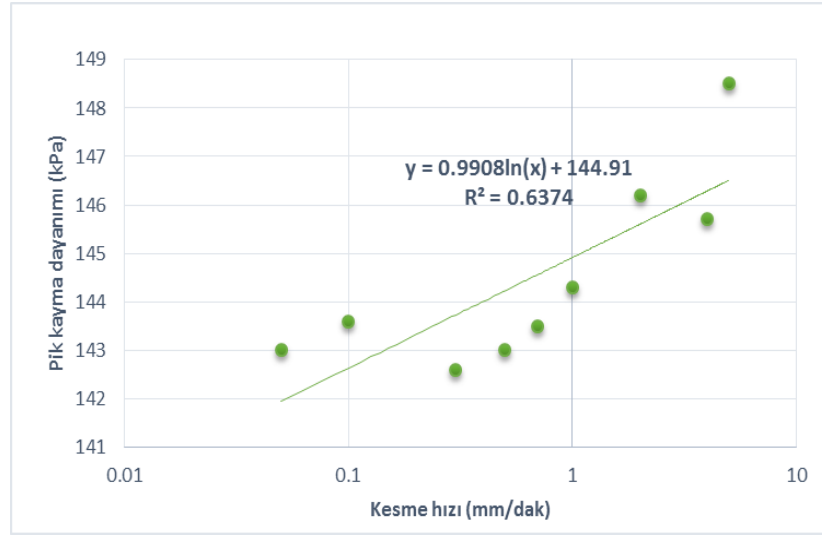
Bu örnek için drenajlı koşullarda yapılan tüm deneylerde kesme hızı arttıkça işsel sürtünme açısı ve pik dayanımda önemli derecede bir artış gözlenirken kohezyon değerlerinde ise düşüş gözlenmiştir.



Şekil 5.17: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-işsel sürtünme açısı değerleri grafiği

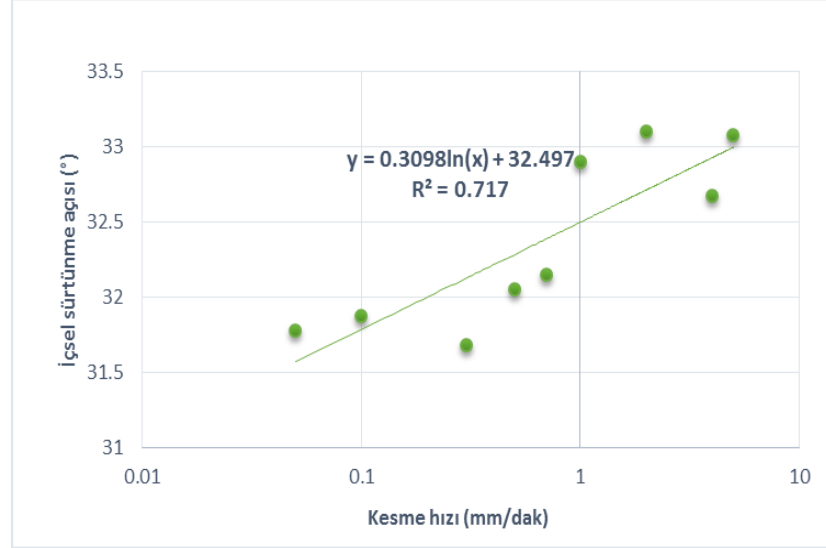


Şekil 5.18: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği

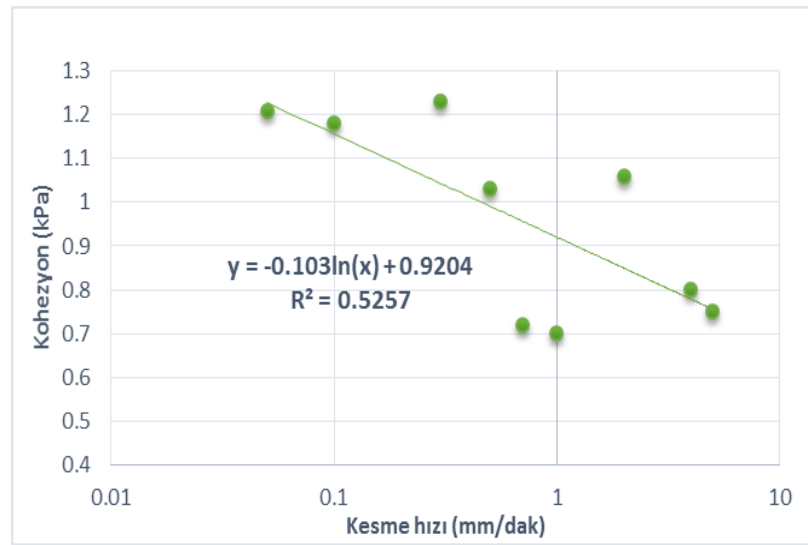


Şekil 5.19: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajlı koşulda kesme hızı-pik dayanım değerleri grafiği

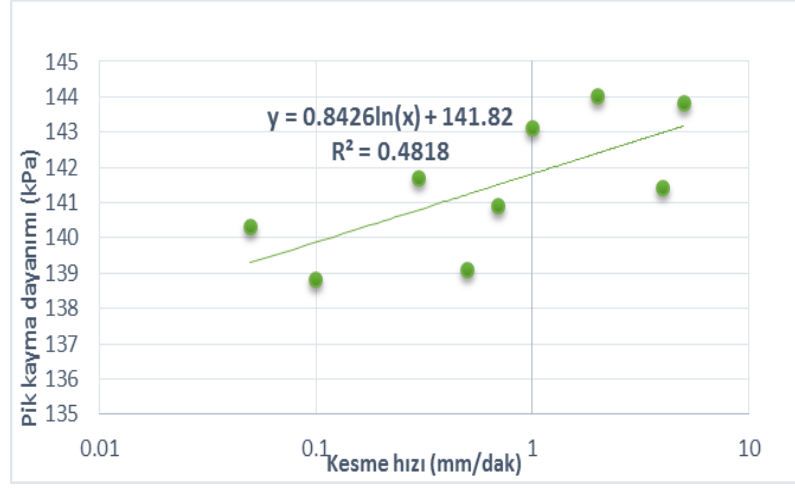
Drenajsız koşullarda yapılan tüm deneylerde de kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısı ve pik dayanımda önemli derecede bir artış gözlenirken kohezyon değerlerinde ise düşüş gözlenmiştir.



Şekil 5.20: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-içsel sürtünme açısı değerleri grafiği



Şekil 5.21: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-kohezyon değerleri grafiği



Şekil 5.22: 60 No'lu elek üstü numunenin drenajsız koşulda kesme hızı-pik dayanım değerleri grafiği

6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tüm deney sonuçları maddeler halinde aşağıda sıralanmış ve öneriler sunulmuştur.

1. 40 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajlı koşullarda kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısının azalma eğiliminde olduğu gözlenirken bu azalma sadece 1-1.5 derece civarındadır. Kohezyon değerlerinin ise 2 mm/dak'ya kadar çok yakın olduğu fakat 2 mm/dak'dan daha hızlı kesme hızlarında 2-3 kPa'lık bir artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak hem kohezyonun hem içsel sürtünme açısının kesme hızından önemli derecede etkilenmediği gözlenmiştir. İçsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri için ise aşağıdaki bağıntılar tanımlanmıştır.

$$\phi = -0.491 \ln(SR) + 38.295 \quad SR = \text{Kesme hızı} \quad (6.1)$$

$$c = 0.7649 \ln(SR) + 10.637 \quad (6.2)$$

2. 40 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşullarda kesme hızı arttıkça kohezyon değerlerinde 7 kPa'a kadar bir düşüş gözlemlenirken, içsel sürtünme açısının kesme hızından pek fazla etkilenmediği görülmüştür. Kohezyondaki düşüşün sebebinin ise kesme hızı arttıkça boşluk suyu basıncının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (örn. J.S. McCartney ve J.G. Zornberg, 2006). İçsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri aşağıdaki bağıntılarla tanımlanmıştır.

$$c = -1.605 \ln(SR) + 8.4789 \quad (6.3)$$

$$\phi = 0.0377 \ln(SR) + 37.233 \quad (6.4)$$

3. Kumlu kil örneği için drenajlı koşullarda yapılan deneylerin sonucunda kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısının 2.5 dereceye kadar ve pik kayma dayanımının 8 kPa'a kadar arttığı gözlenirken, kohezyon değerlerinin kesme hızından önemli bir derecede etkilenmediği gözlenmiştir. Bağıntılar ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\phi = 0.3881 \ln(SR) + 32.54 \quad (6.5)$$

$$c = 0.1651 \ln(SR) + 21.341 \quad (6.6)$$

$$S_u = 1.9488 \ln(SR) + 162.29 \quad S_u: \text{pik dayanım} \quad (6.7)$$

4. Kumlu kil örneği için drenajsız koşulda ise tüm parametrelerin kesme hızından önemli bir derecede etkilenmediği gözlenmiştir. Kohezyon değerlerinin drenajlı duruma göre çok daha düşük olmasının nedeninin ise yine boşluk suyu basıncı ve kil oranının artması olduğu düşünülmektedir. Bu durum için tüm bağıntılar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\phi = -0.018 \ln(SR) + 32.192 \quad (6.8)$$

$$c = 0.0081 \ln(SR) + 0.6956 \quad (6.9)$$

$$S_u = -0.561 \ln(SR) + 138.41 \quad (6.10)$$

5. Yenice'den alınan örnekte yıkamalı eleme metodu ile hazırlanan 200 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajlı koşullarda yapılan deneylerde kesme hızının etkisinin önemli ölçüde olduğu görülmektedir. Kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısının ve pik dayanımın arttığı gözlenmiştir. Kohezyon değerinin ise kesme hızı arttıkça düştüğü gözlenmiştir. Bağıntılar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\phi = 0.4391 \ln(SR) + 32.221 \quad (6.11)$$

$$c = -0.826 \ln(SR) + 2.6197 \quad (6.12)$$

$$S_u = 0.5403 \ln(SR) + 140.86 \quad (6.13)$$

6. Yenice kumu üzerinde drenajsız koşullarda yapılan 4 deney sonucunda ise tüm kayma dayanımı parametrelerinin kesme hızı artışından etkilendiği görülmektedir. Kesme hızı arttıkça hem içsel sürtünme açısının hem kohezyonun hem de kayma dayanımının arttığı gözlenmiştir.

$$\phi = 0.4074 \ln(SR) + 31.76 \quad (6.14)$$

$$c = 0.726 \ln(SR) + 5.056 \quad (6.15)$$

$$S_u = 1.3811 \ln(SR) + 137.21 \quad (6.16)$$

7. Yıkama metoduyla elenen 60 No'lu elek üstü numune için hem drenajlı hem drenajsız koşullarda yapılan tüm deneylerde kesme hızı arttıkça içsel sürtünme açısı ve pik dayanımda önemli derecede bir artış gözlenirken kohezyon değerlerinde ise düşüş gözlenmiştir.

Drenajlı durumda;

$$\phi = 0.5752 \ln(\text{SR}) + 32.87 \quad (6.17)$$

$$c = -0.81 \ln(\text{SR}) + 3.3367 \quad (6.18)$$

$$S_u = 0.9908 \ln(\text{SR}) + 144.91 \quad (6.19)$$

Drenajsız durumda;

$$\phi = 0.3098 \ln(\text{SR}) + 32.497 \quad (6.20)$$

$$c = -0.103 \ln(\text{SR}) + 0.9204 \quad (6.21)$$

$$S_u = 0.8426 \ln(\text{SR}) + 141.82 \quad (6.22)$$

Tüm deney sonuçlarına bakıldığında kesme hızı arttıkça genel anlamda kayma dayanımı parametrelerinden içsel sürtünme açısı değerlerinin arttığı gözlenirken kohezyon değerlerinde düşüş gözlenmiş veya değişiklik kaydedilmiştir. Kesme hızı etkisinin çok fazla olmadığı test sonuçları da elde edilmiştir.

Kesme hızı etkisiyle içsel sürtünme açısının arttığı tüm örneklerde pik kayma dayanımı da artmaktadır. Bu J. S. McCartney'in çalışmasında belirttiği, ne kadar yüksek pik kayma dayanımı isteniyorsa o kadar yüksek kesme hızı kullanılmalıdır savını doğrulamaktadır.

Kohezyon değerlerinin, kesme hızından içsel sürtünme açısı kadar yüksek miktarda etkilenmediği görülmüştür. Kohezyon değerlerinde hız arttıkça ya az miktarda düşüş gözlenmiş ya da değişiklik kaydedilmemiştir. Bu düşüşün sebepleri ise ya hız arttıkça artan boşluk suyu basıncı ya da numune içindeki kil oranının artması ile açıklanabilir. Ayrıca her numune için drenajsız durumlardaki kohezyon değerlerinin drenajlı durumlardaki kohezyon değerlerinden düşük olmasının nedeni de boşluk suyu basıncıdır. Boşluk suyu basıncının etkisini azaltmak için çok yüksek kesme hızlarından (4 mm/dak, 5 mm/dak vs.) kaçınılmalıdır. Ayrıca 200 No'lu elek üstünde yıkanmış kumlarda kohezyon değerlerinin çok az miktarda olduğu ve kesme hızının etkisiyle sadece 1-2 kPa'lık farklılıklar ortaya çıktığı görülmüştür.

40 No'lu elek üstü numune için drenajlı koşulda içsel sürtünme açısının kesme hızıyla çok az bir miktarda düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün nedeni, bu örnekte 200 No'lu elek üstünde yıkama eleme metodu kullanılmadığı için içerisinde az miktarda da olsa kil-silt boyutu malzeme kalması şeklinde yorumlanmıştır. J. M. Teuten (2012)'e göre kil oranı arttıkça kesme hızıyla içsel sürtünme açısının da azaldığı savı bu durumu doğrulamaktadır. Ayrıca bu numune kum olduğu için kohezyon değeri

sıfıra yakın beklenirken burada 9-10 kPa civarında kohezyon değerlerinin bulunması da bize yine içerisinde belli bir miktarda kil-silt boyutu malzemenin bulunduğunu göstermiştir.

Kesme hızı arttıca zeminlerin kayma mukavemeti de artmaktadır. Fakat bu artışıñ çok az miktarda olduğu veya gözenek suyu basıncı ve tane boyutu gibi etkenlerle artış yerine kayma dayanımı parametrelerinin sabit kaldığı veya çok az miktarda azaldığı zemin türleri de mevcuttur. Bu tür zeminlerde kesme hızlarının çok yavaş seçilmesinden ziyade deneylerin daha yüksek kesme hızlarında (1 mm/dak, 2 mm/dak gibi) yapılması zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi pik dayanımın yüksek olmasının istendiği durumlarda ise deneylerde yüksek kesme hızları kullanılarak yüksek içsel sürtünme açıları ve yüksek pik dayanımlar elde edilmektedir. Çoğu deney sonuçlarında (60 No'lu elek üstü kum numunesinde, drenajlı durumdaki kumlu kil örneğinde ve 200 No'lu elek üstü kum numunesinde) zellikle 1 mm/dak yüksek hızlarda pik dayanımlarda önemli derecede artışlar gözlenmektedir. Bu koşullarda yüksek kesme hızlarından uzak durmak ve deneyleri 1 mm/dak veya daha düşük hızlarda (0.7 mm/dak, 0.5 mm/dak vs.) yapmak ise hem boşluk suyu basıncının etkisini azaltmak hem de ortalama değerleri bulmak adına bize daha doğru sonuçlar verecektir.

Tüm deney sonuçları için kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine ait anlamlılık değerleri, bağıntıları ve bağlantılı olduğu literatür bilgileri Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Deneysel sonuçlarına göre, farklı kesme hızlarıyla elde edilen her numuneye için içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerine ait bağıntılar, bu değerlerin anlamlılık düzeyi ve literatür ile bağlantısı

Deneysel seti	Tane boyutu	Zemin sınıfı	İlişki		Anlamlılık düzeyi, R ²		Literatür ile bağlantısı
			kesme hızı-kohezyon x=kesme hızı, y=kohezyon	kesme hızı-içsel sürtünme açısı x=kesme hızı, y=içsel sürtünme aç.	kohezyon	içsel sürtünme açısı	
1A (drenajlı)	40-16 No	kum	$y = 0.7649 \ln(x) + 10.637$	$y = -0.491 \ln(x) + 38.297$	0.5028	0.6049	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Gonghui Wang 2009
1B (drenajsız)	40-16 No	kum	$y = -1.605 \ln(x) + 8.4789$	$y = 0.0377 \ln(x) + 37.233$	0.5008	0.0035	J. S. McCartney 2006, Tomoyo Nakao 2009
2A (drenajlı)	CH	kil	$y = 0.1651 \ln(x) + 21.341$	$y = 0.3881 \ln(x) + 32.54$	0.008	0.739	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Tomoyo Nakao 2009
2B (drenajsız)	CH	kil	$y = 0.0081 \ln(x) + 0.6956$	$y = -0.018 \ln(x) + 32.192$	0.0043	0.0115	Tomoyo Nakao ve Stephen Fityus 2009
3A (drenajlı)	60-40 No	kum	$y = -0.81 \ln(x) + 3.3367$	$y = 0.5752 \ln(x) + 32.87$	0.7744	0.861	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Gonghui Wang 2009
3B (drenajsız)	60-40 No	kum	$y = -0.103 \ln(x) + 0.9204$	$y = 0.3098 \ln(x) + 32.497$	0.5257	0.717	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Gonghui Wang 2009
4A (drenajlı)	200-60 No	kum	$y = -0.826 \ln(x) + 2.6197$	$y = 0.4391 \ln(x) + 32.221$	0.7991	0.8657	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Gonghui Wang 2009
4B (drenajsız)	200-60 No	kum	$y = 0.726 \ln(x) + 5.056$	$y = 0.4074 \ln(x) + 31.76$	0.5574	0.8536	Abdullah I. Al-Mhaidib 2006, Gonghui Wang 2009

Tabloda içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri için hesaplanan bağıntılar verilmiş ve bu bağıntıların literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarla bağlantısı gösterilmiştir. Özellikle temiz kumlarda yapılan çalışmalarda beklenen düzeyde çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Al-Mhaidib, A. I.**, (2005), Shearing Rate Effect on Interfacial Friction between Sand and Steel, Proceedings of The Fifth International Offshore and Polar Engineering Conference, Department of Civil Engineering, King Saud University, pp. 633- 639.
- Andrew D. Bro, M. Asce, Jonathan P. Stewart and Daniel Pradel, F. Asce**, Estimating Undrained Strength of Clays from Direct Shear Testing at Fast Displacement Rates
- ASTM D3080-98** (1998), Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International
- American Society for Testing and Materials**, (2011), “Designation: D 3080/D 3080M- 11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions,” Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.08.
- Bjerrum L., Simons N., and Torblaa I.**, (1958), “The effect of time on the shear strength of soft marine clay.” Proc., Brussels Conf. on Earth Pressure Problems, Vol. 1, pp. 148–158
- Bro, A.**, (2007), “Estimating the undrained strength of clays using the direct shear test,” M.S. Thesis, Civil & Environmental Engineering Department, Univ. of California, Los Angeles.
- Bromhead EN.** 1979, A simple ring-shear apparatus. *Ground Engineering* **12**(5): 40–44.
- Dimitrios Zekkos vd.** (2007), Compositional And Loading Rate Effects On The Shear Strength Of Municipal Solid Waste 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering June 25-28, 2007 Paper No. 1525
- Dönmezer Hayrettin Prof.** Teorik ve Pratik Zemin Mekaniği, İ.D.M.M.A. Yayınları, İstanbul, 1974
- Fearon R. E., Chandler, R. J. and Bommer J. J.** (2004). An investigation of the mechanisms which control soil behaviour at fast rates of displacement. Advances in geotechnical engineering, The Skempton Conference. Thomas Telford.
- Gonghui Wang, Akira Suemine and William H. Schulz**, (2010) Shear-rate-dependent strength control on the dynamics of rainfall-triggered landslides, Tokushima Prefecture, Japan EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS Earth Surf. Process. Landforms

- H.T. Eid, T.D. Stark and C.K. Doerfler**, (1999), Effects Of Shear Displacement Rate On Internal Shear Strength Of a Reinforced Geosynthetic Clay Liner, *GEOSYNTHETICS INTERNATIONAL*, VOL. 6, NO.3
- H.T. Eid and Stark, T.D.** (1997), "Shear Behavior of an Unreinforced Geosynthetic Clay Liner", *Geosynthetics International*, Vol. 4, No.6, pp. 645-659.
- J.M. Teuten**, Shear Characteristics of Soils with Varying Silt/Clay Fractions, 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference 25-26 June 2012 Imperial College London
- Jung Min-Su, Chea Jong-Gil, Shibuya Satoru**, Effects of Shear Rate and Consolidation Time on Undrained Behavior of Natural Sedimentary Clay *Jour. of the KGS*, Vol. 25, No. 3, March 2009, pp. 5~12
- Karsten Thermann, Christian Gau & Joachim Tiedemann**, (2006), Shear strength parameters from direct shear tests - influencing factors and their significance, IAEG 2006 Paper number 484, The Geological Society of London.
- Kojo Anim**, (2010), Effects Of Strain Rate On The Shear Strength Of Questa Rock Pile Materials Socorro, New Mexico May
- Kumbasar, V. Kip, F.** 1985, *Zemin Mekanığı Problemleri*, Çağlayan Kitapevi, İstanbul
- Lemos, J. L. J.** (1986), The effect of rate on residual strength of soil. PhD Thesis, Imperial College, London
- Lemos, J. L. J.** (2003), Shear behavior of pre-existing shear zone under fast loading-insights on the landslide motion. *Proc. International work shop on occurrence and mechanisms of flow-like landslide motion*, p. 229–236.
- Lucio Di Matteo, Daniela Valigi, Remo Ricco**, Laboratory shear strength parameters of cohesive soils: variability and potential effects on slope stability. *Bul Eng Geol Environ* (2013) 72:101-106
- Palmer, A. C.**, 1999, "Speed Effects in Cutting and Ploughing," *Geotechnique*, Vol. 49, pp. 285–294.
- Ryuta Saito, Hiroshi Fukuoka and Kyoji Sassa**, Experimental Study on the Rate Effect on the Shear Strength, Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides
- Sassa, K. Fukuoka, H.Wang, G.** (2003), Performing undrained shear tests on saturated sands in a new intelligent type of ring-shear apparatus. *Geotechnical Testing Journal* 26, No. 3, p.257–265.

- Schneider H.J.**, The laboratory direct shear test – an analysis and geotechnical evaluation, Bulletin of the International Association of Engineering Geology 121-126.
- Stark, T.D. and Eid, H.T.** (1996), "Shear Behavior of Reinforced Geosynthetic Clay Liners", Geosynthetics International, Vol. 3, No.6, pp. 771-786.
- Stark, T.D. and Eid, H.T.** (1994), "Drained Residual Strength of Cohesive Soils", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No.5, pp. 856-871.
- Thermann K., Gau C., Tiedemann J.** (2005), Recent investigations on the influence of the top box of direct shear devices on results of shear strength. In: MOSER, M. (ed) Proceedings of the 15th Conference on Engineering Geology, Erlangen, 467-472
- Tika T. E., Vaughan P. R., Lemos J. L. J.** (1996), Fast shearing of pre-existing shear zone in soil. Géotechnique 46, No. 2, p.97–233.
- Tomoyo Nakao and Stephen Fityus**, Direct Shear Testing of a Marginal Material Using a Large Shear Box, Geotechnical Testing Journal, Vol. 31, No. 5.
- Türk Standartları TS 1900-1** (2006), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini.
- Uzuner Bayram Ali, Prof. Dr.** (1996), Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Zornberg, J.G., McCartney, J.S., and Swan, R.H.** (2006), "Analysis of a Large Database of GCL Internal Shear Strength Results, Closure." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 132, October, No. 10, pp. 1376-1379.

EKLER

Eklerde tüm numuneler için çizilen içsel sürtünme açısı, kohezyon e pik dayanım değerlerinin hazırlandığı tablolar sunulmuştur.

Tablo A.1: 60 No'lu elek üstü numune için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.05	31.68	5.58	143
0.1	31.09	5.4	143.6
0.3	32.04	4.3	142.6
0.5	32.29	5.03	143
0.7	32.99	2.45	143.5
1	32.46	3.67	144.3
2	33.5	1.91	146.2
4	33.42	2.51	145.7
5	34.14	2.31	148.5

Tablo A.2: 60 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.05	31.78	1.21	140.3
0.1	31.87	1.18	138.8
0.3	31.68	1.23	141.7
0.5	32.05	1.03	139.1
0.7	32.15	0.72	140.9
1	32.9	0.7	143.1
2	33.1	1.06	144
4	32.67	0.8	141.4
5	33.08	0.75	143.8

Tablo A.3: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numune için drenajlı koşulda 10 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.005	31.36	4.42	139.3
0.05	31.25	4.4	139.7
0.1	31.18	5.1	138.1
0.3	31.68	3	139.9
0.5	31.38	4.2	139.2
0.7	32.06	3.04	141.2
1	32.1	2.61	139.3
2	32.54	2.05	141.1
4	32.77	2.01	142.1
5	33.33	0.36	143.7

Tablo A.4: Yenice kumu 200 No'lu elek üstü numune için drenajsız koşulda 4 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.05	30.67	2.31	133.5
0.1	30.69	4.04	133.4
0.3	31.1	4.69	135.6
0.5	31.65	3.96	136.4

Tablo A.5: Kumlu kil numunesi için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.045	31.58	19.8	157.9
0.05	31.38	21.96	155.9
0.1	32.02	19.33	159.8
0.3	31.87	18.31	158
0.5	31.82	26.76	159.4
0.7	31.98	25.02	160.9
1	32.23	18.28	159.9
2	33.01	20.45	164.2
4	33.64	20.74	167.9

Tablo A.6: Kumlu kil numunesi için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon	Pik kayma dayanımı (kPa)
0.045	32.14	0.6	139.1
0.05	32.32	1.02	139.9
0.1	32.31	0.6	139.3
0.3	32.08	0.59	137.9
0.5	32.25	0.58	138.9
0.7	32.46	0.4	139.3
1	32.27	0.6	139.8
2	31.54	1.03	137.6
4	32.62	0.62	139.8
5	32.06	0.86	137.8

Tablo A.7: 40 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajsız koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı, kohezyon ve pik dayanım değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon
0.05	36.53	14.64
0.1	36.58	13.76
0.3	37.56	11.34
0.5	38.28	7.78
0.7	38.69	5.17
1	37.2	4.95
2	36.01	9.21
4	36.02	9.58
5	38.08	6.08

Tablo A.8: 40 No'lu elek üstü kum numunesi için drenajlı koşulda 9 farklı hızda ölçülen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri

Kesme hızı (mm/dak)	İçsel sürtünme açısı (°)	Kohezyon
0.05	39.65	9.32
0.1	40	9.9
0.3	39.13	8.93
0.5	38.29	6.63
0.7	37.58	10.96
1	38.85	7.54
2	37.18	12.21
4	35.64	13.2
5	38.25	12.09

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Murat BEREN

Doğum Yeri ve Tarihi: Sarıyer ve 11.11.1988

Adres: İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü / Avcılar

Lisans Üniversite: Pamukkale Üniversitesi

Yayın Listesi:-

