

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**MİKA İÇERİĞİ VE İNCELİĞİNİN KUMLARIN
DAYANIM VE SIKIŞMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Shahab EBRAHİMZADEH

Tez Danışmanı:Doç. Dr. Selim ALTUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 624.01.00
Sunuş Tarihi: 13.03.2015

Bornova-İZMİR

2015

Sayın Shahab EBRAHIMZADEH tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “Mika içeriği ve inceliğinin kumların dayanım ve sıkışma özelliklerine etkisi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 13.03.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Selim Altun

Raportör Üye : Doç. Dr. Alper Sezer

Üye : Prof. Dr. Isfendiyar Egeli

.....
.....
.....
.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Mika içeriği ve inceliğinin kumların dayanım ve sıkışma özelliklerine etkisi ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi; bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13...10.3/2015

İmzası

Adı-Soyadı

Shahab-Ebrahimzadeh

ÖZET**MİKA İÇERİĞİ VE İNCELİĞİNİN KUMLARIN DAYANIM VE
SIKIŞMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

EBRAHİMZADEH, Shahab

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selim Altun

Mart 2015 , 96 sayfa

Ödometre deneyleri ile, değişik yüzdelerde mika içeren karışımlar oluşturulmuştur. S1 ve S2 kumların içerisine, farklı oranlarda 3 değişik boyutta mika karıştırılarak, ödometrik davranışlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu karışımlar hazırlanırken, L_{50}/d_{50} oranları değişik karışımlar elde edilip, mika ve kumun medyan çaplarının oranının, mika miktarının, ödometrik basıncın etkileri ayrı ayrı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Normal gerilme 1 kPa'dan başlayarak, 1200 kPa'a kadar artırılarak, daha sonra normal gerilme tekrar 1 kPa'a düşürülerek örnek boşaltılmış, bu sayede deformasyon sonucu oluşan elastik ve maksimum plastik boşluk oranı değişimleri elde edilmiştir. Daneler arası boşluk oranının elde edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri ortaya konulmuştur. Oturma miktarları, mika yüzdeleri ve L/D oranı ile ilgili şunlar söylenebilir; L/D oranının artması ile sıkışma miktarlarında bir miktar azalma gözlenmektedir ve bu davranışı danelerarası köpürülme etkisi ile açıklanabilir, Mika içeriğinin artması ile de ani oturma miktarında bir artış görülmektedir. Zira numunenin sıkışabilirliği mika içeriği arttıkça artmaktadır. Mika içeriğinin artması ile beraber danelerarası boşluk oranında bir artım göze çarpmaktadır.

Üç eksenli basınç deneylerinde Kullanılan S1, S2 kötü derecelenmiş temiz kumlar, ince malzemesiz ve farklı oranlarda mika ile izotropik karışımlar elde edilip, 30% rölatif sıklıktaki numuneler şeklinde değişik efektif konsolidasyon basınçlarına maruz bırakılarak, konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar öncelikle %0 mika içeriği durumu için ve ardından %10 ve %20 mika içeriklerdeki durumlar için üç bölümde değerlendirilip, bu durumlardaki değişkenlerle deviyatör

gerilme ve eksenel deformasyon, boşluk suyu basıncı ve eksenel deformasyon değişimleri ele alınmıştır. Son olarak, tüm durumlardaki mika içeriğinin etkisine değinilmiştir. d_{50}/D_{50} oranının artması ile mika içeriğinin numuneler üzerindeki etkisinde azalma görülmektedir, Numuneler düşük efektif konsolidasyon basıncı etkisinde, mika içeriği artışından yüksek konsolidasyon basıncı etkisine oranla daha az etkilenmişlerdir. Mika içeriğinin artmasıyla genel olarak içsel sürtünme açısı değerlerinde bir miktar düşüş görülmüştür. d_{50}/D_{50} oranının 0.41 olması durumunda, numunede kırılma anından sonra boşluk suyu basıncının sönümlenmesi ile zeminde sertleşme meydana gelmiştir. Bu olay statik sıvılaşma koşullarında avantaj yönünde bir davranıştır.

Anahtar sözcükler: Mika içeren karışımlar, Ödometre deneyleri, Daneler arası boşluk oranının, Sıkışabilirlik, Üç eksenli basınç deneyleri, içsel sürtünme açısı

ABSTRACT**EFFECT OF MICA CONTENT AND FINENESS ON STRENGTH AND
COMPRESSION PROPERTIES OF SANDS**

EBRAHIMZADEH, Shahab

MSc in Civil Eng

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selim ALTUN

March 2015 , 96 pages

In this effort, sand specimens with various percentages of 3 types of Mica contents and with different thicknesses were tested using oedometer tests and their oedometric behavior was investigated. Different ratios of L_{50}/D_{50} were considered in specimen preparation and therefore the effects of Mica content and oedometric pressures on L_{50}/D_{50} ratio were investigated. Normal stress was initiated from 1kPa and increased up to 1200kPa and then again unloaded to 1kPa. As a result, the variation of void ratio due to maximum plastic and elastic deformations are studied and regression formulas are presented to obtain the interparticle void ratio (e_s). It is observed that by increasing the L_{50}/D_{50} ratio, specimens' compression is reduced. By increasing Mica content in the specimen, the initial settlements have increased, as also compressibility has increased. Increase of Mica content in the specimen has increased the interparticle void ratio.

In compressive triaxial compression tests, poorly-graded sand specimens of S_1 and S_2 having no mica and with various percentages of Mica, under isotropic conditions and relative density of 30% were prepared and untrained consolidated triaxial tests have been performed under different consolidation effective pressures. The results are investigated for Mica contents of 0%, 10% and 20% under variation of deviatoric stress–axial deformation and pore water pressure – axial deformation are considered and eventually the effect of Mica content on specimens was studied. Increase of d_{50}/D_{50} ratio has decreased the effect of Mica on the behavior of specimens. Increase of effective consolidation stresses has increased the effect of Mica content on specimens. Generally, by increasing Mica content of the specimens, the internal angle of friction has reduced. Also with the ratio of $d_{50}/D_{50}=0.41$, the specimen is hardened after failure due to water

pressure modification and this event shows an improvement in the case of static liquefaction.

Keywords: Micaceous sand, Oedometer test, Interparticle void ratio (e_s), Compressibility, Triaxial compression tests, Internal friction angle

TEŞEKKÜR

Öncelikle yaptığımız bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen tezle ilgili her türlü sorununuzun çözümünde bana yol gösteren hocam sayın Doç. Dr. Selim Altun ve Doç.Dr. Alper SEZER'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezin yazımında yazım ve imla kurallarında bana yardımcı olan Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi öğrencisi Doğan Can İŞLER'e teşekkür ederim.

Son olarak, bu tezin başından sonuna kadar geçen sürede sayısız fedakârlık yapan ve beni bugünlere getiren aileme minnettarlığımı özellikle belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR.....	3
3. MALZEME VE METOD	21
3.1. Çalışmada Kullanılan kumun özellikleri.....	21
3.2. Çalışmada Kullanılan mikaların özellikleri	22
3.3. Örnek hazırlama yöntemi ve isimlendirme	24
3.3.1. Kuru yağmurlama yöntemi	24
3.3.2. Islak yerleştirme yöntemi	25
3.4. Çalışmada yapılan deneyler	26
3.4.1. Ödometre deneyi	26
3.5. Ödometre Deneyin Yapılışı.....	28
3.6. CU Üç eksenli basınç deneyleri	29
3.6.1. Deneyin amacı.....	29
3.6.2. Deneyde Kullanılan bazı terimler	29

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
3.6.3. Geri basınç	29
3.6.4. Efektif konsolidasyon basıncı	30
3.6.5. Kırılma	30
3.6.6. Önem ve kullanım	30
3.6.7. Kullanılan cihazlar	30
3.6.8. Eksenel yükleme cihazı	30
3.6.9. Eksenel yükölçüm cihazı	31
3.6.10. Üç eksenli basınç hücresi	31
3.6.11. Eksenel yük pistonu	31
3.6.12. Basınç ve vakumkontrol cihazları	31
3.6.13. Basınç ve vakum aygıtları	31
3.6.14. Boşluk suyu basıncıölçüm sistemleri	31
3.6.15. Hacim değişimi ölçüm aygıtları	32
3.6.16. Deformasyon komparatoru	32
3.6.17. Numune başlığı ve tabanı	32
3.6.18. Poroz taşlar	32
3.6.19. Filter kağıtları bantları ve diskleri	32
3.6.20. Membran	32
3.6.21. Vanalar	33
3.6.22. Su havası alma aygıtı	33
3.6.23. Deneyin yapıldığı ortam	33
3.6.24. Yardımcı aletler	33
4. Deneylerden elde edilen sonuçlar	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
4.1. Ödometre deneylerinde elde edilen sonuçlar	34
4.1.1. Daneler arası boşluk oranı ve global boşluk oranı arasında elde edilen ampirik bağıntılar	45
4.2. Üç eksenli basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar	52
4.2.1. %0 Mika içeriği durumu	52
4.2.2. %10 mika içeriği durumu	57
4.2.3. %20 mika içeriği durumu	64
4.2.4. %0- 10 ve 20 mika içeriği durumu karşılaştırılması	71
4.3. Boşluk suyu basınç/efektif konsolidasyon basınç oranının bağımlı değişkenlere bağlı olarak değişimi	84
4.4. Hiperbolik model yardımı ile elde edilen elastisite modülü ve değerlendirilmesi...	87
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	92
KAYNAKLAR DİZİNİ	96
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

2.1. Kritik boşluk oranının kavramı	4
2.2. (a) İçsel sürtünme açısı, CBR ve nihai taşıma kapasitesinin ağırlıkça mika içeriğine bağlı değişimi (b) 100 danede ağırlıkça mika içeriği ile yüzde mika ağırlığının muskovite-quartz (A) ve biyotit-kuvars (B) karışımları için değişimi. (c) mika-kuvars karışımlarının içsel sürtünme açısı, CBR ve nihai taşıma gücü değerlerinin 100 danede görülen mika frekansı ile değişimi d) Değişik çevre basınçları altındaki örneklerde, ilksel teğet deformasyon modülü ile 100 danede görülen mika frekansının değişimi.....	6
2.3. Mika-kum danelerinin farklı açılarda mümkün olan dizilim modelleri (Lee vd., 2007)	9
2.4. Yapraksi mika danelerinin dizilimi ve kopruleme etkileri (Lee vd., 2007)	9
2.5. Sıkışma indisi değerinin farklı dane boyu oranlarında, mika içeriği ile olan ilişkisi (Lee vd., 2007). a) Ottawa 20-30 kumla yapılan karışım. b) Ottawa 50-70 kumla yapılan karışım.....	10
2.6. Boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (Lee vd., 2007)	11
2.7. İçsel sürtünme açısının mika içeriği ile değişimi. a) pik içsel sürtünme açısı. b) rezidüel içsel sürtünme açısı c) büyük deformasyonlarda sürtünme açısı (harmanlama durumunda).(Lee vd., 2007).	12
2.8. Zemin karışımının daneler arası sınıflandırılması (s. Thevanayagam, vd.,2002)	14
3.1. Çalışmada kullanılan kumların dane boyu dağılım eğrileri	21
3.2. Deneysel çalışmada Kullanılan kumun boyutu.	22
3.3. Çalışmada Kullanılan mika dane boyu dağılım eğrileri.....	23
3.4. Deneysel çalışmada Kullanılan mikaların boyutlarının karşılaştırılması	23

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.5. Islak yerleştirmeyöntemi (mulilis ve dig. 1975)	25
3.6. Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan ödometre cihazı...	26
3.7. Ödometre deneyi hücresi,ring,poroz taşlar	27
3.8. Programın ilk açılışında karşılaşılan ara yüzün ekran görüntüsü.....	28
3.9. İlk yükleme sonrası alınan zaman-1D deformasyon grafiği örneği.	29
4.1. Şematik faz diyagramları, a) siltli kum; b) silt matrisi; c) kum matrisi	35
4.2. Sıfır yanıl deformasyon halinde daneler arası boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (kaba kum) a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) %20 mika içeriği.	37
4.3. Sıfır yanıl deformasyon halinde daneler arası boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (orta kum) a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) % 20 mika içeriği.	39
4.4. Boşlukoranının mika içeriği ile değişimi (S1)	40
4.5. Boşlukoranının mika içeriği ile değişimi (S2)	40
4.6. Değişik mika/zemin ortalama çaplarına göre ödometre deney sonuçları a) $L_{50}/D_{50}=0.33$ b) $L_{50}/D_{50}=0.2$ c) $L_{50}/D_{50}=0.10$ d) $L_{50}/D_{50}=0.05$ e) $L_{50}/D_{50}=0.04$ f) $L_{50}/D_{50}=0.020$	44
4.7. Boşluk oranındaki artışın ince malzeme içeriği ve ödometrik basınçtaki artış ile değişimi	46
4.8. Boşluk oranındaki artışın L_{50}/D_{50} oranı ve ödometrik basınç ile değişimi	47
4.9. Boşluk oranındaki artışın mika içeriği ve L_{50}/D_{50} oranıile değişimi	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.10. Regresyon denklemleri ile elde edilen daneler arası boşluk oranı ile Monkul ve Önal (2006) denkleminde elde edilen daneler arası boşluk oranı arasındaki ilişkiler.	49
4.11. Değişik L/D oranlarında kumların sıkışma indisleri a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) % 20 mika içeriği	51
4.12. Mikasız durumda sabit zemin cinsi, farklı efektif konsolidasyon	53
4.13. Mikasız durumda sabit efektif konsolidasyon basınçlarında, farklı	54
4.14. Mikasız durumda sabit zemin cinsinde, farklı efektif konsolidasyon	55
4.15. Mikasız durumda sabit efektif konsolidasyon basınçlarında,.....	56
4.16. %10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon .	58
4.17. %10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri, sıklık ve d ₅₀ /D ₅₀ oranlarında, farklı efektif konsolidasyon basıncı için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları	60
4.18. %10 Mika içeriği durumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon	61
4.19. %10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve d ₅₀ /D ₅₀ oranlarında, farklı efektif	63
4.20. %20 Mika içeriğidurumunda sabit efektif konsolidasyon basıncında,.....	65
4.21. %20 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri, sıklık ve d ₅₀ /D ₅₀ oranlarında, farklı efektif konsolidasyon basıncı için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.	67
4.22. %20 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon .	68
4.23. %20 Mika içeriği durumunda sabit zemin cinsleri ve d ₅₀ /D ₅₀ oranlarında, farklı efektif	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.24. farklı d50/D50 oranlarındaki kumun, 50 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.	71
4.25. farklı d50/D50 oranlarındaki kumun, 100 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.	72
4.26. farklı d50/D50 oranlarındaki kumun, 50 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.	73
4.27. sabit konsolidasyon basıncı altında, sabit eksenel deformasyonda, mikasız, %10 mikalı	74
4.28. farklı konsolidasyon basıncı altında, sabit d50/D50 oranlarında, mikasız, %10 mikalı	75
4.29. farklı mika içeriklerinde, içsel sürtünme açısı parametresinin farklı d50/D50 oranları ile değişimi ve mohr dayereleri	80
4.30. içsel sürtünme açısının mika içeriği ile değişimi	81
4.31. %10 ve %20 mika içeriklerindeki pik içsel sürtünme açılarının farklı deformasyonlardaki değeri ve arasındaki ilişkiler	82
4.32. %10 ve %20 mika içeriklerindeki Ψ ve L/D oranı değerleri arasındaki ilişkiler	83
4.33. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basınç oranının bağımlı değişkenlere (farklı d50/D50 oranları-%10 mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.34. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere (farklı d_{50}/D_{50} oranları-%20 mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi 86
- 4.35. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere (farklı d_{50}/D_{50} oranları-%0 mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi 86
- 4.36. sabit a ve b değerlerinin üç eksenli deneylerden elde edilmesi 87
- 4.37. sabit n ve K değerlerinin üç eksenli deneylerden elde edilmesi 88
- 4.38. 50-100-200 Kpa konsolidasyon basınçlarındaki elastisite modülünün farklı mika içerikleri ile değişimi 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. literaturdeki mikali kumlar üzerine bazı çalışmalar	4
3.1. Çalışmada kullanılan kumların fiziksel özellikleri	22
3.2. Çalışmada Kullanılan mikanın kimyasal analizi	24
3.3. Çalışmada Kullanılan mikanın mineralojik analizi	24
3.4. kuru yağmurlama yöntemi ile hazıllanan numunelerin ağırlıkları.....	24
4.1. Değişik mika içeriklerinde ve seçilen L/D oranlarında son yükleme sonrasında elde edilen boşluk oranları	41
4.2. Deneysel çalışmada son yükleme sonrasında yük kaldırıldıktan sonra geri dönen deformasyon miktarları.....	41
4.3. $e_0 - e_{11}$ farklarının, hem farklı L/D ve hemde farklı mika yuzdeleri ile değişimi	42
4.4. Daneler arası boşluk oranının elde edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri	48
4.5. Mohr dairelerinden elde edilen Φ'_p ve c' parametreleri.....	76
5.1. Daneler arası boşluk oranının elde edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ASTM	American Society For Testing And Materials
DIN	Deutsches Institut für Normung
TS	Türk Standardı
e	Boşluk oranı
$e_{\max}$	Maksimum boşluk oranı
$e_{\max\text{-Hoat sand}}$	Temiz kum maksimum boşluk oranı
$e_{\min}$	Minimum boşluk oranı
e_s	Daneler arası boşluk oranı
e_f	İnceler arası boşluk oranı
Δ_e	Boşluk oranı değişimi
$\Delta e_{\text{elastik}}$	Elastik deformasyon
P	Basınç
Δp	Basınç değişimi
İVR	Daneler arası boşluk oranı
F_m	Her 100 dane mika dağılımı
D	Kaba dane çapı
d	İnce dane çapı
L_{50}/D_{50}	Mika/zemin ortalama çapları
S_1	Kaba kum
S_2	İnce kum
SMW	Mika
KS	Kaolin silt
D_r	Rolatif sıkılık

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
G_s	Özgöl ağırlık
γ_d	Kuru birim hacim ağırlığı
F_c	İnce malzeme içeriği
$F_{c_{th}}$	Threshold ince malzeme içeriği
F_{c_l}	Limit ince malzeme içeriği
$\sigma_1 - \sigma_3$	Deviatör gerilme.
σ_3	Hücre basıncı.
U	Boşluk basıncı.
MFA	Birim kütle başına düşen mika yüzey alanı
CBR	Kalifornia taşıma oranı
Φ	İçsel sürtünme açısı
Φ_p	Pik içsel sürtünme açısı
Φ_r	Rezidual içsel sürtünme açısı
Φ_s	Büyük deformasyonlarda içsel sürtünme açısı
C'	Efektif kohezyon
Q_{ult}	Taşıma gücü
E_0	Tanjant deformasyon modülü
m	Reinforcement factor
r	Elek açıklığı
r_L	Maksimum elek açıklığı
USCS	Unified soil classification system
SM	Soil moisture
ρ_{min}	Minimum yoğunluk

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\gamma_{\min}$	Minimum birim ağırlık
M_s	Test numunesinin kütlesi
V	Kabın iç hacmi
V_m	Kullanılan kabın hacmi m ³ .
$D_{\max}$	Danenin maksimum boyutunu
C_c	Sıkışma indisi
C_u	Uniform kat sayısı
Ψ	İçsel sürtünme açılarının deformasyonla değişiminin eğimi
UU	Drenajsız konsolidasyonsüz üç eksenli deneyi
R^2	Determinasyon katsayısı
SS _{tot}	Kareler toplamı(orantılı varyans örneği)
SS _{err}	Artık karelerinin toplamı (kare toplamının ağırlığı)

1. GİRİŞ

Orman ve ziraat mühendislerinin “Toprak” olarak tarif ettiği, ancak inşaat mühendislerinin daha çok yük taşıyan bir ortam ya da kendisini bir inşaat malzemesi olarak nitelendirdiği zemin bir bağlayıcı madde ile tamamen veya kısmen çimentolaşmamış değişik türden mineraller, organik atıklar, su ve hava karışımından oluşan bir ortam olarak tariflenebilir. Zemin mekaniği ise kısaca zemin ortamının iç ve dış kuvvetler altında statik ve dinamik dengesini inceleyen bir mühendislik dalı olarak düşünülebilir. İnşaat mühendisliğinin diğer dallarına oranla daha bakir ve üzerinde ciddi miktarda araştırma yapılması gereken bir konu olduğu gibi, diğer yerleşik dalların kazandığı bilimsel özellikleri tümüyle kazanamamış bir dal olarak kabul edilebilir (Önalp, 2007).

Günümüzde zemin mekaniği “geoteknik” olarak bilinen ve zemin/kaya mekaniği ve temel mühendisliğini içeren kapsamlı bir dalın içinde yer almaktadır. (Önalp, 2007).

Bir zeminin mühendislik açısından kullanılabilirliğini anlamaya yardımcı olan ve kesin sınıflandırmayı yapabilmek için Kullanılan özelliklere endeks özellikleri denir. Endeks özellikleri, oldukça hızlı ve kolay belirlenebilen ve mühendislik açısından önemli olan mukavemet veya yük taşıma yeteneği, oturma veya genleşme eğilimi ve donma/çözünme sonucu oluşan yapısal değişimler gibi karakteristikleri içerir (Özaydın, 2008). Zeminler mukavemet davranışı açısından en genel anlamda kohezyonlu zemin, granüler veya kohezyonsuz zemin ve karma zemin olarak üçe ayrılmaktadır. Kohezyonlu zeminlerin davranışını plastisite ve su ile ilişkiler domine ederken, granüler zeminlerin davranışı, danelerin mineralojik biçimi, dane boyu ve dağılımı, birim hacim ağırlık ve izafi sıkılık, jeolojik tarihçe, çimentolanma, v.b. bir çok faktörden etkilenmektedir.

Bu çalışma kapsamında farklı mika türleri ve mika içerikleri ile karıştırılarak hazırlanan kumlu numuneler üzerinde ödometre ve üç eksenli deneyler yapılmıştır. Farklı L_{50}/d_{50} (mika/zemin ortalama çapları) oranları, farklı mika içerikleri, numunelerin paketleme durumları ve ödometrik basıncın etkileri ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Üç eksenli basınç deneylerinde ise karışımların

değişik efektif konsolidasyon basınçlarına maruz bırakılarak konsolidasyonlu drenajsız deneyler yapılarak farklı mika içeriklerinde, değişik L_{50}/d_{50} oranlarında deviator gerilme-eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon değişimleri ele alınmıştır.

2. GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Mühendislik bakış açısıyla zeminler, homojen ve izotropik olmayan ayrıca özellikleri çevre koşullarına, jeolojik tarihçesine ve zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösteren ortamlardır. Bu açıdan zeminlerin mühendislik davranışlarını tanımlayan genel analitik modellerin ve sabit malzeme katsayılarının belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Zemin özelliklerinin her proje sahası için deneysel olarak belirlenmesi ve bu yapılırken de arazide geçerli olacak koşulların dikkatle göz önüne alınması gerekmektedir. Dolayısıyla deneysel yöntemler zemin mekaniğinin ayrılmaz ve vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır. Deneysel olarak belirlenen birçok zemin özelliği ise ancak belirli koşullarda geçerliliğini korumaktadır. Kullanılan deneysel yöntemlerin ve zemin davranışını etkileyen faktörlerin iyi anlaşılması, elde edilen sonuçların birçok durumda yanıltıcı olabilmesine yol açabilmektedir (Kumbasar ve Kip, 1984).

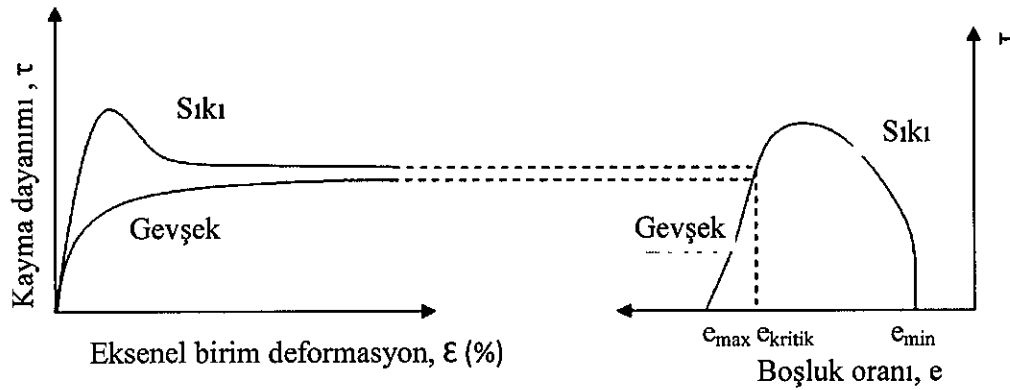
Kohezyonsuz zemin tabakaları önemli oranda koheziv özelliği olmayan No.200 elekten geçen malzeme içerebilmekte ya da tamamen plastik olmayan siltlerden oluşabilmektedir. Bu tür zeminlerin mühendislik özellikleri ve sıvılaşma dirençleri halen önemli araştırma konuları arasındadır (Yamamuro and Covert, 2001; Thevanayagam and Martin, 2002; Xenaki and Athanasopoulos, 2003; Naeini and Baziar, 2004).

Bununla birlikte, bazı zemin tabakalarında mika pulcukları mevcuttur. Mika pulcuklarının sıvılaşma direncini artırdığı söylenmesine (Kramer, 1996) ve literatürde mikalı kumlar üzerine bu amaca yönelik olarak çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış bazı çalışmalar mevcut olmasına rağmen bu husus halen üzerinde araştırma yapılması gereken konulardan biridir (Çizelge 2.1). Konu ile ilgili ve önemli sayılabilecek bazı çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntem ve malzemeler ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 2.1.literaturdeki mikali kumlar üzerine yapılan bazı çalışmalar

referans	L_{mika}/D_{kum}	Mika içeriği (%)
Gilboy (1928)	---	0, 5, 10, 20, 30, 40
Mc Carthy ve Leonardo (1963)	1 - 5	0, 3, 6, 12, 25, 50, 100
De Graft-Johnson ve dig.(1969)	---	0, 56, 68, 77, 84
Moore (1971)	0.48 - 2	0, 5, 10, 30, 50, 100
Harris ve dig. (1984)	~ 1.7	0, 5, 10, 15, 25, 50
Lupine ve dig. (1981)	0.03 - 1.5	0, 25, 40, 60, 70, 100
Hight ve dig. (1998)	~ 0.67	0, 1, 2.5, 10, 20, 40
Lee ve dig (2007)	0.33, 0.66, 1, 2, 3	0, 1, 2, 5, 10, 20, 100

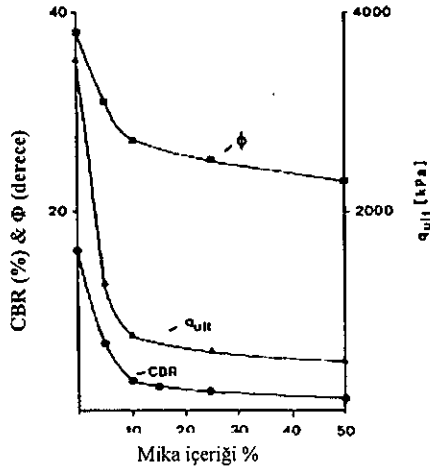
İzafi sıklık ve gerilme durumu ele alındığında genellikle gevşek ve orta sıklığa sahip kumlar sıvılaşmaya duyarlı ve sıkı kumların sıvılaşma davranışı göstermediği literatürde belirtilmiş olsa da, kum zeminlerde konsolidasyon basıncı ve sıklık ikilisi birlikte sıvılaşma potansiyeli üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bağımsız olarak kum numunelerin sıklık durumu drenajlı üç eksenli basınç deneyinde, büyük deformasyonlarda kritik boşluk oranı oluşturacaktır. Casagrande'nin (1940) öne sürdüğü bu olay daha ayrıntılı olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



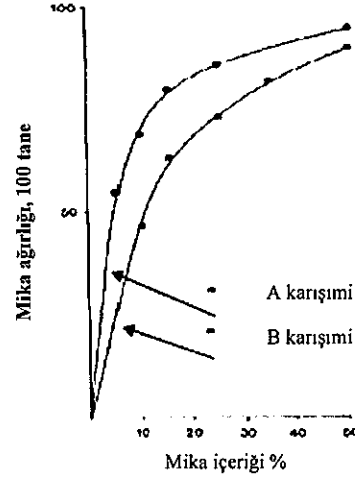
Şekil 2.1. Kritik boşluk oranının kavramı

Yukarıda verilen genel bilgilere istinaden, farklı boyuttaki kumların, farklı inceliğe sahip mika etkisinde davranışlarının incelenmesi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Harris vd. (1984) çalışmasında; kumların mühendislik özelliklerinin içerdikleri mika

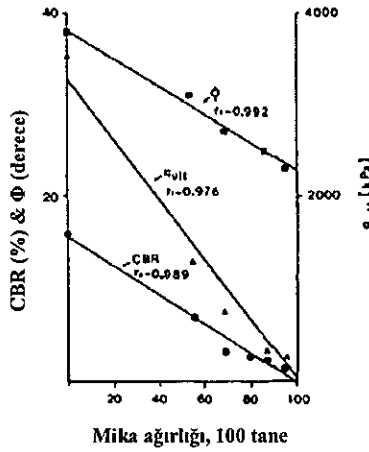
miktarı ile değişimini incelemiş ve F_m (Her 100 danede mika dağılımı), birim kütle başına düşen mika yüzey alanı (MFA) gibi bazı yeni parametreler ortaya koymuşlardır. Deneylerde %99 saflıktaki kuvars kumu ile muskovitin öğütülmesi ile elde edilen mika kullanılmıştır. Yapay olarak hazırlanan numunelerde mika yaprakcıklarının yönelim almaları sağlanmıştır. Numuneler üzerinde isotropik konsolidasyonlu ve drenajlı üç eksenli basınç (Parker-1980 yöntemi), CBR, Kompaksiyon (Harvard yöntemi) deneyleri ile F_m parametresinin belirlenmesine yönelik petrografik mikroskobu ile sayım (Galehouse, 1971) yapılmıştır. Granüler malzemenin ϕ'_p (malzemenin pik içsel sürtünme açısı), c (kohezyonu), CBR (California bearing ratio), q_{ult} (taşıma gücü) ve E_0 (tanjant deformasyon modülü) özelliklerinin mika miktarı ile değişimi deneysel olarak araştırılmıştır (Şekil 2.2a ve Şekil 2.2b). Dayanım parametrelerinin zemindeki mika miktarı (ağırlıkça %) ve yeni tanımladıkları F_m (Her 100 danede mika dağılımı) parametresi ile ilişkisi incelenmiştir. Yukarıda bahsedilen mühendislik özelliklerinin değişiminin mika içeriği (ağırlıkça) ile eğrisel bir bağıntısı bulunduğu ancak F_m ile doğrusal bir ilişki sergilediği gösterilmiştir (Şekil 2.2c ve Şekil 2.2d). F_m 'nin hesabına yönelik mika ağırlığı ile ilişkili yeni denklemler türetilmiştir. Mühendislik parametrelerinin mika-kuvartz danelerinin teması ile ilgili olduğu ve mika miktarının artması ile birim kütle başına düşen mika yüzey alanının (MFA)'nın doğrusal artacağı, dolayısı ile bahsedilen parametreler ve mika miktarı arasında doğrusal bir ilişki kurulabileceği hipotezi kurulmuştur. Karışımındaki mika miktarının ağırlıkça %10'a kadar olan değerlerinde dayanım parametrelerinde çok hızlı ve keskin bir düşüş ortaya çıktığı ve sıkışabilirliği arttırdığı tespiti yapılmasına rağmen mikanın daneli zeminlerdeki etkisinin belirlenmesi için ağırlıkça ilişki kurulmasından ziyade daha duyarlı ve hassas sonuçlar veren F_m ve MFA gibi parametrelerin kullanılması önerilmiştir.



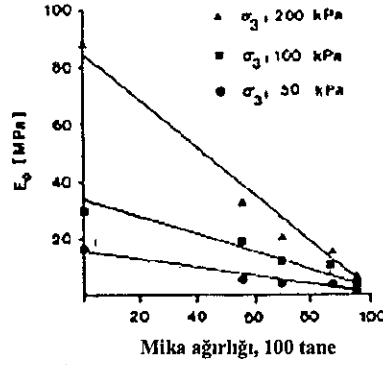
(a)



(b)



(b)



(d)

Şekil 2.2. (a) İçsel sürtünme açısı, CBR ve nihai taşıma kapasitesinin ağırlıkça mika içeriğine bağlı değişimi (b) 100 danede ağırlıkça mika içeriği ile yüzde mika ağırlığının muskovite-quartz (A) ve biyotit-kuvars (B) karışımları için değişimi. (c) mika-kuvars karışımlarının içsel sürtünme açısı, CBR ve nihai taşıma gücü değerlerinin 100 danede görülen mika frekansı ile değişimi d) Değişik çevre basınçları altındaki örneklerde, ilksel teğet deformasyon modülü ile 100 danede görülen mika frekansının değişimi

Haris ve Zelazny (1984) doğal halde mika içeren kuvartz kumlarının mühendislik özelliklerinin (ϕ , CBR ve C_c -sıkışma indeksi) mineraloji ve dane çapı dağılımı ile ilişkisini volkanik ve metamorfik kökenli iki farklı bölgeye ait numuneler üzerinde deneysel olarak incelemişler ve birden fazla değişkeni içeren korelatif ilişkiler ortaya koymuşlardır. ϕ , CBR ve C_c parametrelerinin belirlenmesine yönelik isotropik konsolidasyonlu ve drenajlı üç eksenli basınç (Parker-1980 yöntemi), CBR, Kompaksiyon (Harvard yöntemi) deneyleri yapılmıştır. Deneye hazırlanan numunelerde 2 mm'den büyük daneler eleme yöntemi ile uzaklaştırılmış, dane çapı dağılımının belirlenmesi için çökeltme (Day 1965), silt ve kilin ayrıştırılması içinse santrifüj

yöntemleri kullanılmıştır. Zemindeki değişik kil mineralleri oda sıcaklığında kurutma, 105 °C, 300 °C, 550°C kurutma sıcaklıklarında hazırlanmış numuneler için yapılan X-Ray difraksiyon yöntemi ile tespit edilmiştir. Silt içeriğinin tayini için oda sıcaklığında kurutulan numune üzerinde 8000 X-Ray difraksiyon analizi yapılmıştır. Kum boyutundaki mineraller mikroskop ile tanımlanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarında ve korelatif ilişkilerde mika (phyllosilicate) içeriğinin artışı ve malzemenin dane çapının küçülmesi ile ϕ ve CBR değerlerinin düştüğü C_c değerinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde silt ve mika içeriğinin korelatif ilişkilerde dikkate değer etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda küçük miktarlardaki silt içeriğinin mühendislik davranışı üzerine etkisinin yüksek olmamasına karşın mika dane büyüklüğünün $>2\mu m$ olması durumunda mika miktarının (ağırlıkça) önemli etkisinin olduğu bulunmuştur. Bu tür durumlarda mika gibi yapraksı danelerin küçük miktarlarda bile içinde bulundukları zeminin dayanım parametrelerini düşürdükleri, sıkışabilme özelliğini arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

Georgiannou (2006) kum içinde bulunan değişik şekil ve boyuttaki ince malzemelerin drenajsız davranışa etkilerini, yapay olarak oluşturduğu ve izotropik olmayan koşullarda konsolide ettiği numuneler üzerinde üç eksenli deneyler yaparak incelemiştir. Yazar yaptığı deneylerde; iri kısım olarak dane dağılımı ortadan inceye doğru değişim gösteren, yarı köşeli (sub-angular) HSR ($e_{max}=0.870$ ve $e_{min}=0.526$) ve JS ($e_{max}=0.885$ ve $e_{min}=0.537$) kuvarz kumlarını, ince malzeme olarak mika (kum ve silt boyutlarında olmak üzere iki farklı dane çapında), silt ve kaolin kullanmıştır. Numuneler hazırlanırken homojen bir karışım elde etmek üzere havadan çökeltme ve yapraksı danelerin düşüş yönüne dik olarak yönelimini temin etmek içinse suda çökeltme yapılmıştır. Mikalı numuneler içindeki mika boyutu kum ve silt boyutunda özel olarak hazırlanmıştır. Mikalı numunelerin yanında siltli ve kaolinli numuneler de hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde üç eksenli basınç ve üç eksenli genleşme deneyleri drenajsız olarak uygulanmıştır. Deney esnasında boşluk suyu basıncı, hücre basıncı, eksenel yük ve deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, yapraksı danelerin her iki kumda granüler yapıyı değiştirerek stabiliteyi azalttığı, küresel danelerin (silt) kumun granüler yapısını güçlendirdiği ve daha stabil hale getirdiği ancak dane çapı dağılımı daha büyük olan kumda iyileştirme etkisinin daha güçlü olduğu, kum boyutundaki mikaların yine kumların stabilitesini bozucu etki yaptığı ve bu etkinin ince malzeme ve kumun göreceli dane boyutu ile ilişkili olduğu, silt

boyutundaki mika ve kum karışımında boşluk oranının ve iri daneler arası boşluk oranının davranışa etkisinin kumun yapısını değiştiren ince malzemeye (mika) nazaran daha az etkili olduğu sonuçlarına varılmıştır.

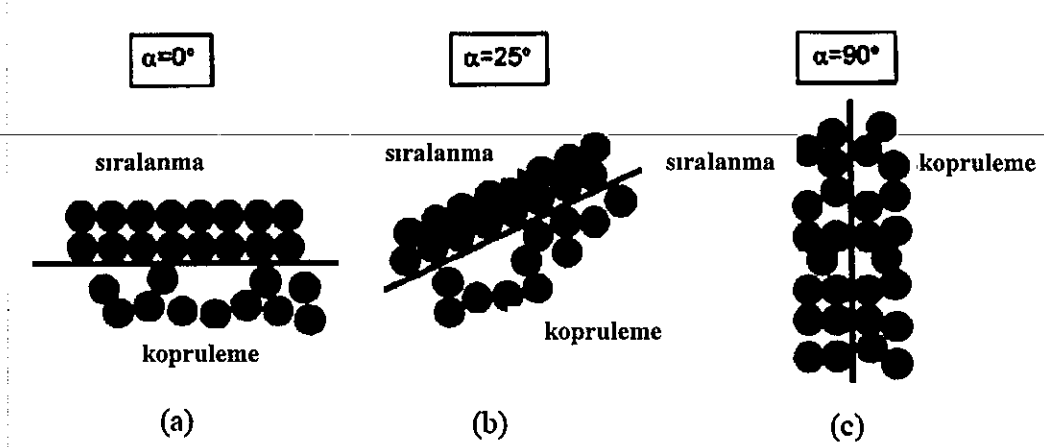
Lee vd. (2007), çalışmalarında mikro ve makro ölçekteki testler, danelerin paketlenme (packing) özelliklerini araştırmış, yuvarlak ve yassı parçacıklardan oluşan karışımlarda mikanın kullanılması ile küçük, orta ve büyük deformasyon parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar küresel ve yassı parçacıklardan oluşan karışımlar için kapsamlı bir tanımlama ortaya koymaktadır. Mika plakaları kumun paketlenme şeklini (packing) boşlukların doldurulması, sıralama (ordering), köprüleme (bridging) ve mika-mika etkileşimi yoluyla değiştirilmektedir. $L_{mika}/D_{kum} \geq 1$ olduğunda, köprüleme (bridging) hakimdir. Karışımında mika oranının artması ile ($L_{mika}/D_{kum} \geq 1$) kayma dalgasının yayılma hızı azalır, gerilme durumuna karşı daha duyarlı hale gelir, kısıtlama modülü azalır, pik ve reziduel sürtünme açıları azalır. Düzensiz granuler akış sırasında harmanlamak mika uyumunu engeller ve mikanın büyük gerilme gücü üzerinde başka zayıflatıcı etkilerini azaltır.

Mika taneleri ince düz yapraksı tanelerdir ve üstlerindeki yuvarlak tanelerin ambalaj ve ya sıralama düzenini tanelerin yapılarının en az potansiyel enerji ile yavaşça çokelerek oluşması sonucu tanımlamaktadırlar. Bu durumda farklı açılar düzleminde basit gevşek üçgen ve dörtgen yapılar teşkil etmektedirler.(Şekil 2.3)

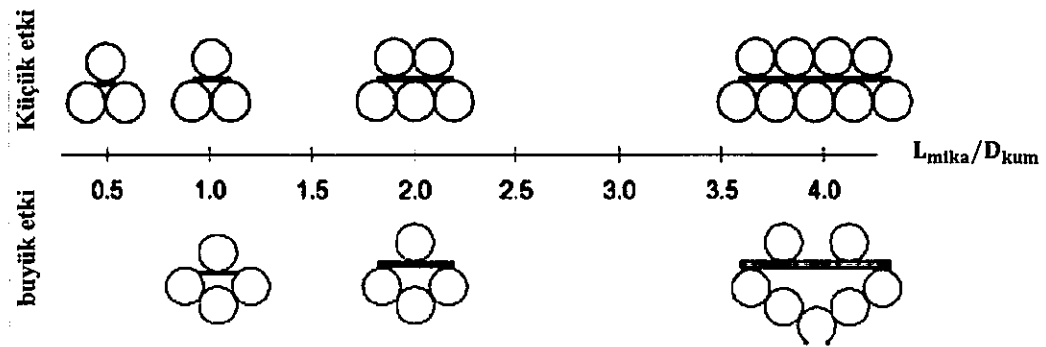
Levhamsi mika taneleri üstlerindeki yuvarlak tanelerin arasında köprüleme etkisi yaratarak karışımların prositelerinin artmasına yolaçabilirler. L_{mika}/D_{kum} oranı, yuvarlak tanelerin sıkı veya gevşek ambalaj türü köprüleme olayının karışımların prozitesi üzerindeki etkisini göstermektedir. (Şekil 2.4)

Şekil 2.5 gösteriyor ki 70-105 Kpa aralığında belirlenen sıkışma indisi C_c mika fraksiyonu karşısında deneylerde kullanılan tüm karışımlar için çizilmiştir. Şekil 2.6 ise belirlenen boşluk oranı değişiminin genel olarak karışımlardaki mika içeriğinin artması ile artış gösterdiğini göstermektedir. Şekil 2.7.a üç eksenli deneylerden elde edilen pik sürtünme açısının Φ_p , mika oranının artması ile düşüş gösterdiğini görülmektedir. Aynı davranış (Lupini ve dig. 1981- Harris ve dig. 1984) çalışmalarında da görülmektedir. $L_{mika}/D_{kum} \geq 1$ olduğu durumda boyut oranının Φ_p

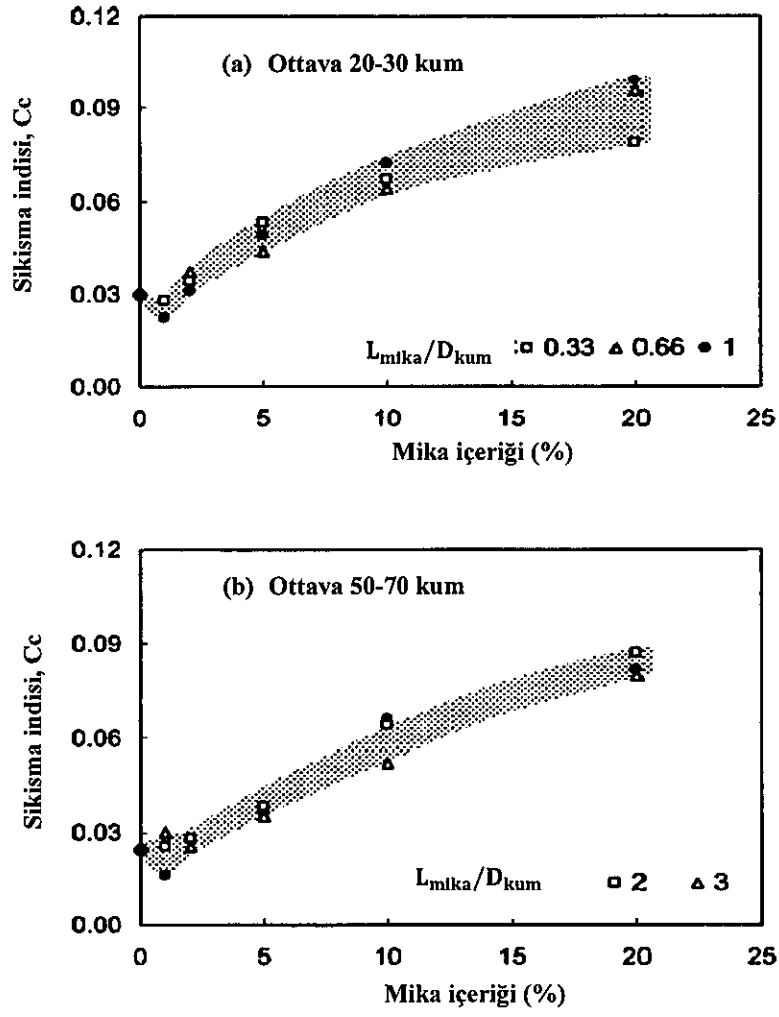
üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını görüyoruz..Şekil 2.7.b ise Φ_r değerinin mika içeriği artması ile düşüş gösterdiği ve bu davranışın (lupini ve dig. 1981) çalışmalarındada görüldüğü gözlemlenmektedir. Şekil2.7.c de harmanlama,mikanın dayanımı düşürme etkisini önlediğini görebiliyoruz.



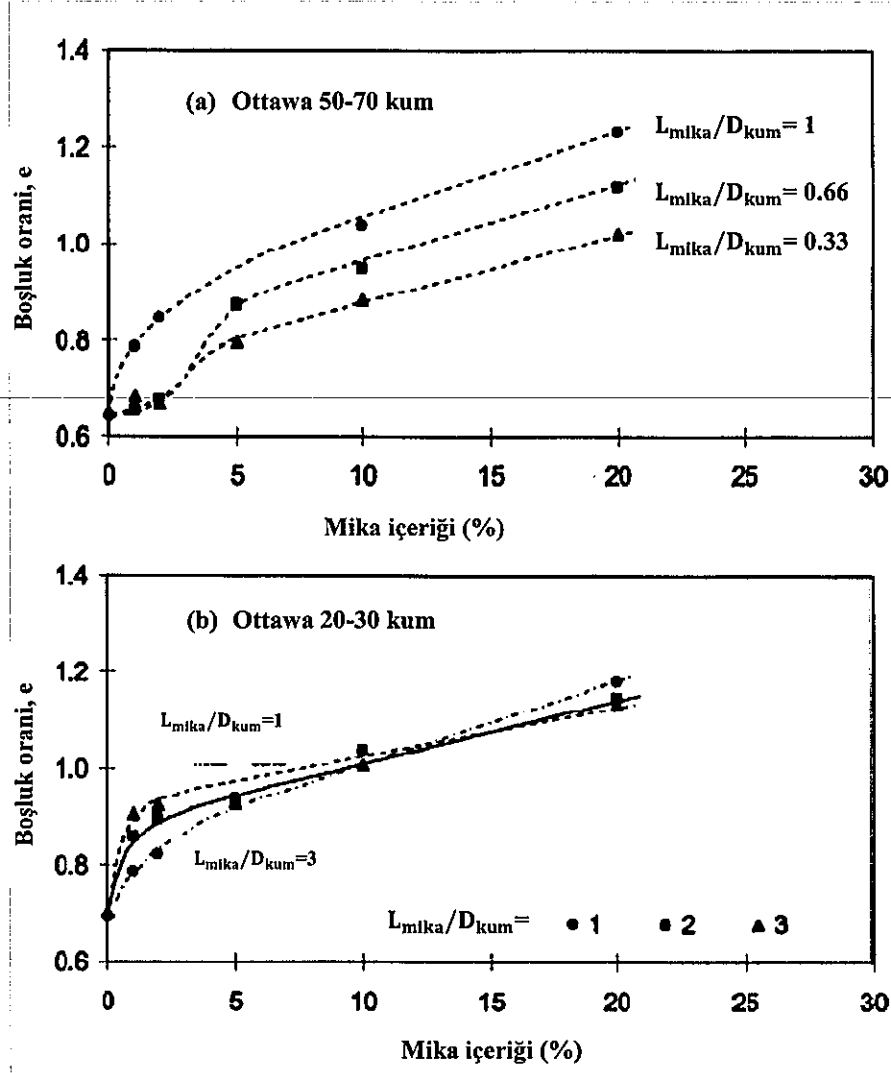
Şekil 2.3.Mika-kum danelerinin farklı açılarda mümkün olan dizilim modelleri (Lee vd., 2007)



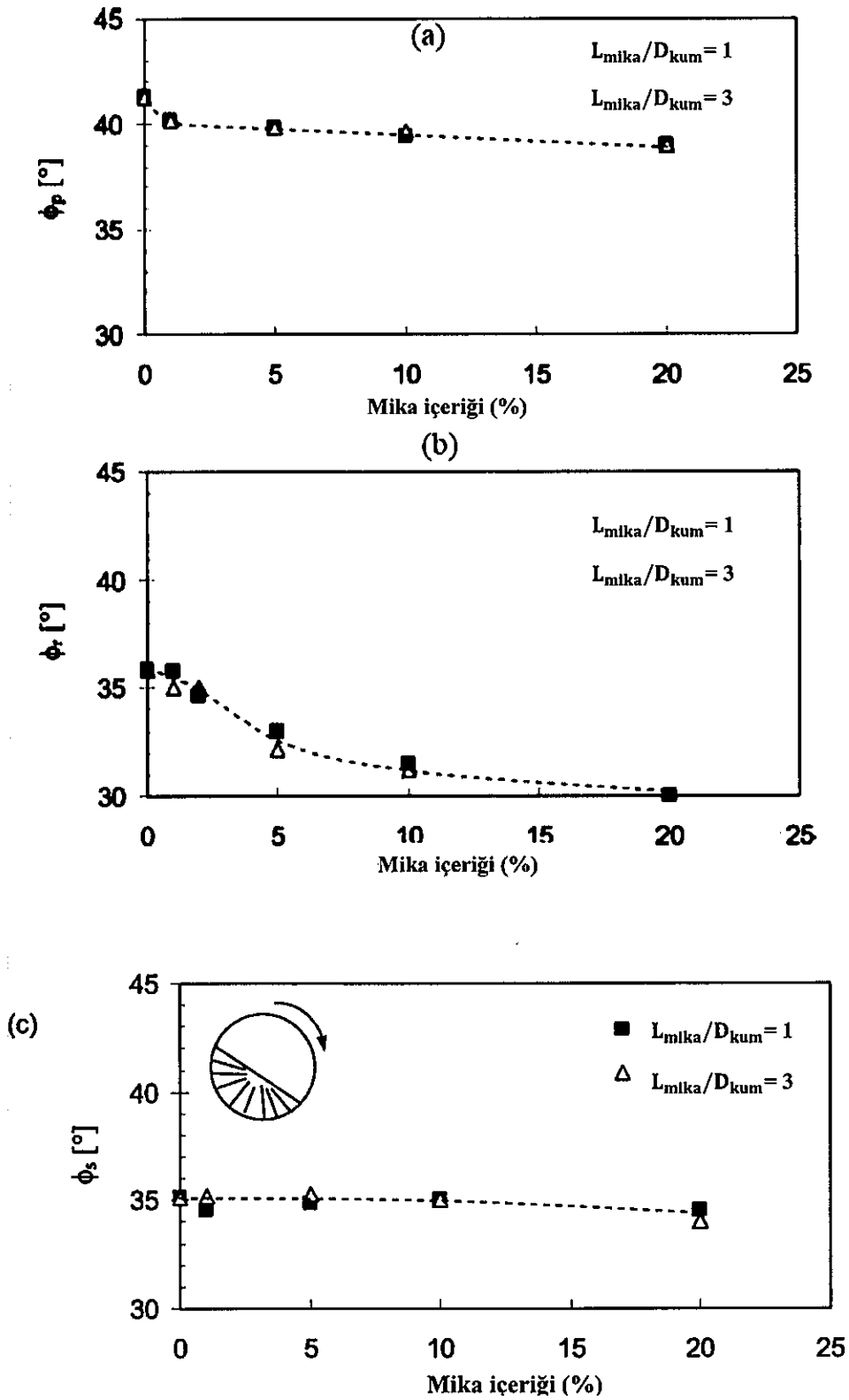
Şekil 2.4. Yapraksi mika danelerinin dizilimi ve koprulama etkileri (Lee vd., 2007)



Şekil 2.5.Sıkışma indisi değerinin farklı dane boyu oranlarında, mika içeriği ile olan ilişkisi (Lee vd., 2007). a) Ottawa 20-30 kumla yapılan karışım. b) Ottawa 50-70 kumla yapılan karışım.



Şekil 2.6.Boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (Lee vd., 2007)

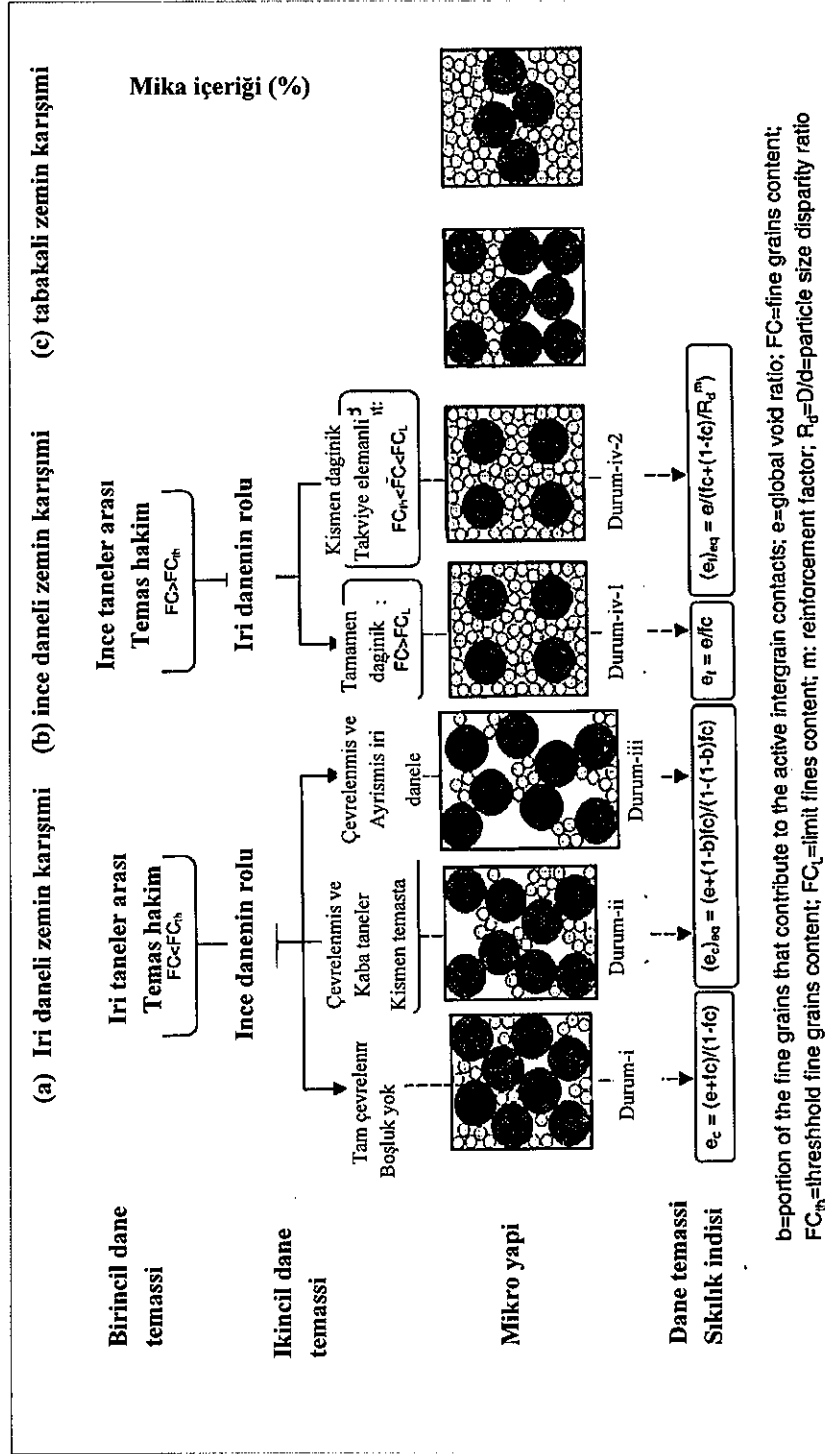


Şekil 2.7. İçsel sürtünme açısının mika içeriği ile değişimi. a) pik içsel sürtünme açısı. b) rezidüel içsel sürtünme açısı c) büyük deformasyonlarda sürtünme açısı (harmanlama durumunda). (Lee vd., 2007).

Thevanayagam ve diğ. (2002), aynı global boşluk oranı ve çevre basıncında, siltli kumların göçme potansiyelinin ince içeriğindeki artışın sebep olduğu kaba daneler arasındaki daneler arası temasın azalması sonucu arttığını belirtmiştir. Bununla birlikte, inceler içeriğinin belli bir eşik değerinden sonra, inceler arasındaki sürtünmenin önem kazandığı, ayrıca, inceler içeriğindeki artışın, kırılabilirliği azaltıp daha mukavim bir ortam elde edildiği de çalışmada altı çizilen diğer bir noktadır. Eşik değerden daha küçük ince içeriklerinde, kaba daneler arası boşluk oranı ve kaba daneler arasındaki sürtünme esas rolü üstlenmektedir. Aynı kaba daneler arası boşluk oranında, daneler arası boşluklara düşen inceler yastıklama etkisi göstermekte ve kırılabilirliği azaltmaktadır. Ancak kaba daneler arasında kalan ve kaba danelerin oluşturduğu iskeleti destekleyen inceler, kırılabilirliğe katkıda bulunmaktadır.

Yükarıdaki paragraftaki bilgilere dayanarak yapılan içyapı sınıflandırması, Şekil 2.8 'de verilmiştir. Sınıflandırma genel olarak üç kategoride yapılmıştır: (a) Şekil 2.8 a'da Durum i-ii-iii'de görülen kaba danelerin temasta olduğu yapı, (b) İnce danelerin teması Şekil 2.8 b, (c) tabakalı sistem (Şekil 2.8 c). Şekil 2.8a'daki birinci durumda inceler kaba daneler arasındaki boşluklar ile çevrelenmiştir ve kaba dane iskeletinin desteği oldukça azdır. Aynı şekilde ikinci durumda kaba danelerin oluşturduğu iskeleti kısmen taşımaktadır ve üçüncü durumda kaba daneleri kısmen ayırmaktadır. Şekil 2.8 c'de ise kaba daneli zeminler kendi aralarında ince içermemektedir (Thevanayagam ve diğ., 2002). Yazarlar, i. durumda kaba danelerin çapının (D) ince danelerin çapına (d) oranı 6.5'dan büyük iken ve daneler arası boşlukların inceler tarafından tamamen doldurulmadığı hallerde gözlenebileceğini iddia etmektedir. i. durum, ancak çok düşük ince içeriklerinde gözlenebilirken, durum ii ve iii'ün gözlenebilmesi daha olasıdır. Aynı boşluk oranında, durum i'den iii'e kadar gösterilmiş davranışlar, eşik ince içeriğinden düşük ince içeriklerinde gözlenebilmektedir (Thevanayagam ve diğ., 2002) .

Koester (1994), Şekil 2.8'de gözlenen durumların ve bu durumlara karşı gelen mekanik davranışların açıklanmasında global boşluk oranının uygun bir parametre olmadığını belirtmektedir. Farklı silt içeriklerinde aynı başlangıç boşluk oranında olsalar dahi, örneklerin farklı mekanik davranışlar gösterdiği, çalışmada belirtilmiştir.



Şekil 2.8. zemin karışımının daneler arası sınıflandırılması (s. Thevanayagam, vd.,2002)

Çabalar (2009) konsolidasyon deneylerinden elde edilen bulgular ışığında, daha küçük ve düz danelerden oluşan bir malzeme olan mikanın Leighton Buzzard kumuna eklenmesinin malzemenin sıkışabilirliğinde artışa neden olduğunu gözlemlemiştir. Üç eksenli basınç deneyleri ise tipik bir kum örneği olan Leighton Buzzard daneleri arasındaki ayrılmanın, eklenen mika kum daneleri ile birlikte yerini sıkışılabilirliğe bıraktığını göstermiştir.

Bokhtair vd.(1999)'e göre,mikalı kumun davranışı mineralojik bileşime, yük uygulama sırasında gerilme izine ve ek bir dizi faktöre bağlıdır. Yazar, etkiyen faktörlerin fazlalılığına rağmen, üç eksenli basınç deney sonuçlarının mikalı kum davranışının belirlenmesinde yeterli olabileceğini ifade etmiştir. Kazılar, istinat duvarları gibi uygulamalarda toprak kademeli yanal basınç ve kayma gerilmelerine maruz kalır ve düşey basınç esasen sabit kalmaktadır. Bu çalışma mikalı kumlar üzerinde yapılan bir araştırmayı gerilme izi ile sunmaktadır.

- Hidrostatik basınç $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$
- Konvansiyonel üç eksenli basınç $\sigma_3 = 0$
- $\sigma_3 = \text{sabit.}$
- $\Delta \sigma_1 = \Delta \sigma_3$

Hidrostatik basınçtan elde edilen elastik ve plastik deformasyon kumlardaki mika muhtevasının artması ile artış göstermektedir. Görülüyor ki içsel sürtünme açısı ve başlangıç tanjant modülü gerilme izine bağlıdır. Kırılma anındaki eksenel gerilme ve hacimsel deformasyon da gerilme izine bağlılığı göstermektedir.

Bokhtair vd. (2000) laboratuvar ortamında değişik mika içeriğindeki kumlar üzerinde farklı çevre basınçları altında drenajlı üç eksenli basınç deneyleri yapmış ve kumun fiziksel özellikleri üzerinde mika içeriğinin etkisi incelenmiştir. Numunenin minimum ve maksimum birim hacim ağırlığı, artan mika içeriği ile azalma göstermektedir. Mika içeriğinin artması ile içsel sürtünme açısının değeri azalmaktadır. Mika oranı azaldıkça başlangıç tanjant modülünün arttığı bulunmuştur. Aynı zamanda eksenel ve hacimsel gerilme üzerinde, mikanın hemen hemen hiç etkisi olmadığı görülmektedir.

Drenajsız şartlar altında siltli kumların davranışı ve ince dane içeriğinin etkisini araştırmak için yapılan çalışmalar doğadaki kaba daneli zeminlerin önemli miktarda ince malzeme içerdiğini göstermektedir. Bu doğal oluşum göz önünde bulundurularak ve son çalışmalar, ince malzemenin, kaba zeminlerin mühendislik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar sonucu literatürde ince malzemenin drenajsız ince malzemeli kumların drenajsız davranışı üzerindeki etkisi incelenmiş ve farklı konu aşağıdaki çalışmalarda görüleceği üzere farklı şekillerde yorumlanmıştır.

Kuerbis ve diğ. (1988) Brenda madeninden elde edilen 20/200 kum örneğini farklı yüzdelerde Kamloops silti ile karıştırarak hazırladığı örnekler üzerinde drenajsız üç eksenli deneyleri yapmıştır. Çalışmanın sonucunda, ince dane içeriği %20'ye kadar olan örneklerin hacminin artmasına yol açmaktadır (dilatasyonun armasına yol açmaktadır).

Üç eksenli basınç altında yapılan benzer bir çalışmada daneler arası boşluk oranı (IVR veya selekton void ratio) ki esas olarak kaba kısım matrisinin boşluk oranına eşdeğer olarak beyan edilmiş, temiz ve ince malzeme içeren kumların kesme mukavemetlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Kuerbis ve diğ.(1988); suda çökeltme yöntemini kullanarak örneklerini hazırlamışlardır. Bu yöntem (water pluvation) yöntemi ile kıyaslandığında daha homojen örnekler hazırlanabildiğini ifade etmiştir. Daneler arası boşluk oranı (IVR) çökeltme sonucu çok dar ve kısıtlı bir aralıkta yer almaktadır ve ince malzeme içeriği arttıkça numunelerin genişlemesi veya dilatasyonu artmaktadır. Numunelerin rölatif sıkışma oranı ince muhtevasının artması ile artmaktadır.

Pitman ve diğ.(1994) ince malzemenin siltli kumlarda varlığının siltli kumların stabilite kaybı potansiyelini azalttığını belirtmektedir. Ottawa kumuna değişik yüzdelerde ufalanmış kaolin-silis ekleyerek deney numunelerini ıslak tokmaktama yöntemi ile hazırlamıştır ve hazırladıkları örnekler üzerinde drenajsız üç eksenli deneyler yapmıştır. Bu yöntemle homojen bir numune hazırlamak zor ola bilir. Kaolinit ince malzemesi için konsolide boşluk oranı (hem genel boşluk oranı ve hemde taneler arası boşluk oranı) ince dane içeriği %20 e kadar azalma gösterip bu miktardan sonra artış göstermektedir. kırılmış silica cinsindeki ince malzeme türünde daneler arası boşluk oranı giderek artış göstermektedir, boşluk oranı ise kaolinittekine benzer bir davranış göstermektedir. Başka bir deyişle kumlu zeminlerde ince malzemenin şekli ve dane dağılımı, daneler

arası etkileşimi ve ince dane matrisinin durumunu etkilemektedir. Örneğin boşluk oranını değerlendirdiğimiz zaman benzer ince içeriğindeki kaolinitle hazırlanan numuneler, kırık silica içeren numunelerle kıyaslandığında çok daha düşük değerlere sahip olduklarını görüyoruz. Pitman et al 1994; bu durumu tanelerin farklı şekillerinin özelliklerine bağlamışlardır. Bu esasa kaolinitin düz ve uzun olan dane şekilleri boşluk oranının kırık silica içeren numunelerle kıyaslandığında daha düşük değerler almasını sağlamaktadır. Rölatif sıklık (density) her iki ince malzeme türünde (kaolinit ve kırık silica) ince malzeme muhtevasının %20'e artmasına kadar artış göstermektedir. Yapılan deneyler sonucu kumun dane boyu dağılımının (örneğin iyi veya kötü dane dağılımına sahip numuneler) drenajsız davranış üzerinde önemli bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Belli bir ince dane içeriğinde kırılma veya instabilite açısı, stabil durumda sürtünme açısı farklı ince malzeme türlerinde yaklaşık olarak aynı miktara sahiptir. (örneğin $\phi_c \approx 15$, $\phi_{ss} \approx 30$ ince malzeme türlerinden bağımsız ve belirli ince dane içeriğinde).

Buna benzer bir gözlem, stabil durumdaki sürtünme açısı konusunda Ni ve diğ.(2004) tarafından yapılmıştır.

Salgado ve diğ.(2000); izotropik olarak konsolide edilen Ottawa kumu üzerinde yaptıkları üç eksenli deneylerle, artan silt içeriğinin kumlarda dilatasyonu arttırdığını gözlemlemişlerdir. Deneyler sonucu (SP; 0%~20% Sil-Co-Sil #106)Gevşek örneklerde rölatif sıklığın aralığı çok yüksek gözlemlenmiştir. Örneğin 24.3% ~ 46.1% , $\sigma'_3 = 400 \text{ Kpa}$ için. Sıkı numunelerde ise rölatif sıklığın aralığının çok küçük olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin 74.1% ~ 80.3% , $\sigma'_3 = 100 \text{ Kpa}$ için. Deneylerde çökeltme (slurry deposition) yöntemi ile hazırlanan numuneler kullanılmıştır ve kritik stabil sürtünme açısı siltli kumlarda ince malzeme içeriğinin artması ile artış göstermektedir.

Georgiannou (2006); iki tür kum üzerinde UU üç eksenli deneyler yaparak nispeten iyi dane dağılımına sahip ve iri Jummana kumu, Ham river kumuna göre daha çok sıvılaşabilir olarak gözlemlenmiştir.

Georgiannou (2006) ve Lade and Yamamuro (1997); benzer çalışmalarda en gevşek haldeki birim hacim ağırlığı farklı olan zemin numunelerini karşılaştırmış, oranları doğala yakın boşluk oranının (quasi natural void ratio) mümkün olan en gevşek sıklığı

yansıtmaktadır. Georgianou'nın (2006) yaptığı deneyler sonucu siltli örneklerde her iki kum türünde sıvılaşma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Yamamuro ve Lade'ye göre (1997) çok gevşek siltli kumlarda çevre basıncının çok kısıtlı bir aralıkta artması ile dilatasyon derecesinde azalma gözlemlenebilir. Gevşek temiz kum ile kıyaslandığında, temiz gevşek kum örneklerinde çevre basıncı arttıkça dilatasyonun azaldığı gözlenmiştir, ama siltli kumların bu davranışı tamamen doğal olmayan bir davranıştır. Siltli kumların bu davranışı daha önceki çalışmalarda (Ng ve diğ., 2004) tarafındanda vurgulanmıştır. Bu ters davranış stabile benzer yapı esası ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu esasa göre silt taneleri kum tanelerinin temas noktalarında yer almaktadır ve yerleştirildikten veya çökeldikten sonra silt daneleri, daneler arası boşluklara yönelmektedirler. (numunelerin izotropik konsolide olması durumunda) (Yamamuro ve Lade 1997).

Yerleştirme yöntemlerinde düşük enerji kullanımı stabil bir yapı elde edilmesi için kullanılmalıdır, , stabil durumun benzeri bir yapı elde etmekte önemli gözükmemekte. Bu durumda kum tanelerinin yükü başlangıçta ayrılmış silt taneleri tarafından taşınmaktadır.

Lade ve Yamamuro (1997); artan ince dane içeriğinde efektif gerilmenin azaldığını ve deviatör gerilme maximum değerlerine ulaştığını rapor etmiştir. Çalışmada çıkan başka bir sonuç ise, zeminin minimum eksenel deformasyon değerinde sıvılaşmıştır. Görüldüğü üzere, statik sıvılaşma potansiyeli ince malzeme içeriği arttıkça tüm kumlarda (Nevada kumu 50/80 , 50/200- Ottawa kumu 50/200 – Ottawa F-95 kumu) artmaktadır. Yoğunluklar genel anlamda ince malzeme içeriği arttıkça artmakta olsada esas kumun (temiz kumun) etkisi daha önemli rol oynamaktadır.

Thevanayagam 1998; çalışmasında ince malzemenin ve çevre gerilmesinin etkilerini kuru yağmurlama yöntemi ile hazırladığı siltli kum örnekler üzerinde yaptığı drenajsız deneylerle araştırmıştır ve drenajsız üç eksenli basınç deneylerini %2 doğal ince malzeme içeren kum üzerinde, plastik özelliği olmayan iki farklı ince malzeme ile karıştırarak yapmıştır. (Sil-Co-Sil #40 ve Kaolin silt fines.KS)

10% ve 20% KS ince malzeme ile yapılan deneyler, 10% Sil-Co-Sil#40 ile yapılan deneylere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Thevanayagam 1998; deneylerinde sabit ince içeriğinde farklı durumlarda davranışları incelemiştir.

1.durum : yoğunluğun yüksek olduğu durumlar, $e_s < e_{max-host sand}$, ince malzemenin kayma mukavemet üzerinde çok az veya hiç etkisi yok.

2.durum : orta yoğunluktaki durumlar, e_s çok yakın veya eşittir $e_{max-host sand}$

3.durum : yoğunluğun düşük olduğu durumlar, $e_s > e_{max-host sand}$, ince malzeme kayma mukavemetini etkilemektedir.

3.durumu elde etmek için ince malzemenin stabil duruma benzer bir durumda yapılanması gerekmektedir. Yamamuro ve Lade 1997 ;'de soylendiği gibi.

Thevanayagam 1998; in soylediğine göre eğer 1.durumdan 3.duruma doğru hareket edersek, daneler arası iletilimler gittikçe azalmaktadır ama daneler arası aktif temasların hassasiyeti çevre gerilmeleri altında artmaktadır. $e_s < e_{max-host sand}$ olduğu durumlarda çevre gerilmelerinin konsolide olmuş numuneler üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı açıkça görülmektedir. $e_s > e_{max-host sand}$ olduğu durumlarda çevre gerilmelerinin etkisi açıkça görülmektedir.(Thevanayagam 1998)

Thevanayagamin açıkça bahs etmediği ve başkaları tarafından onun deneyleri sonucu ortaya konulan durum, benzer nisbi kompaksiyon değerlerine sahip örneklerde ince malzeme miktarının artması ile drenajsız kayma mukavemetinin azalmakta olduğu görülmüştür.

Nurty et al 2007; drenajsız üç eksenli deneylerini Ottawa temiz kumu ve Ottawa-Sil.Co.Sil 06 karışımı numune üzerinde yaparak silt miktarının numunelerde artması ile siltli kumların dengesizlik potansiyelinin artmasını gözlemlemiştir.

Drenajsız siltli kumların davranışları üzerinde etkin diğer etkenleri böylece sıralayabiliriz, konsolidasyon tarihi geçmişi - deformasyon hızı ve yerleştirme yöntemleri.

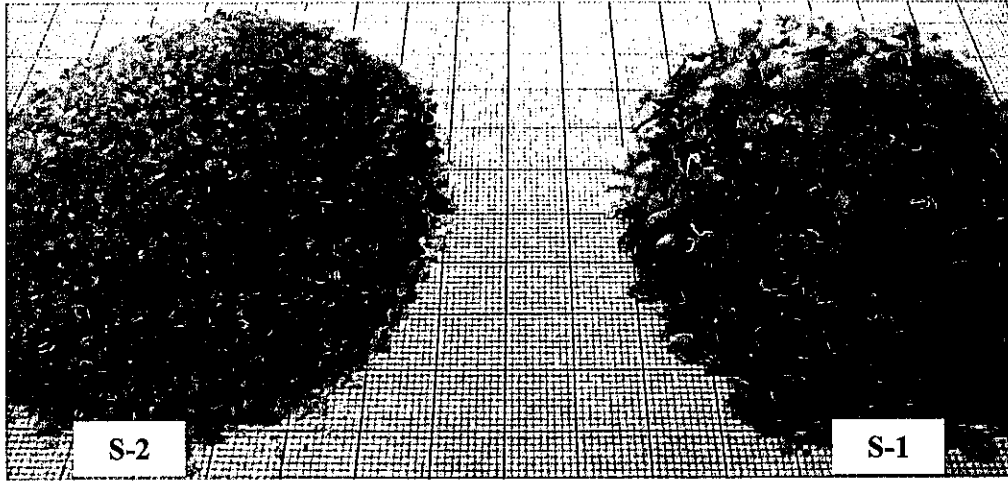
İzotropik olmayan konsolidasyonlar zeminlerin dengesizlik sürtünme açılarını etkilemezler ancak eğerki konsolidasyon yönü, dengesizlik çizgisi açısından daha şiddetli ise zeminlerin dengesizlik sürtünme açısını etkilemektedirler. (Vaid et al 1989; Doanh et al 1997; Imam et al 2004)

Geçmiş araştırmalar gösteriyorki şekil değiştirme (strain) hızı arttıkça kumların drenajsız davranışını etkilemektedir. Örneğin q_{max} artış ve Φ' azalma göstermektedir. (Whitman and Healy 1962; Yamamuro and Lade 1993)

Şekil değiştirme (strain) hızının artması siltli kumların (anlaşmalı hacmini) azaltmaktadır. Bu yüzden deformasyon hızının düşük olmasının control edilmesi drenajsız siltli kumların analizinde güven yönünde hareket etmemiz tarafından önerilmiştir. (Yamamuro and Lade 1998)

Yerleştirme yöntemleri laboratuvar ortamında yapılan deneyler için numune hazırlamada, numunelerin gerilme-deformasyon davranışları üzerinde önemli etkileri olduğu tesbit edilmiştir. Bu yöntemlerden önemli olan ve literatürde Kullanılan bir kaç tanesine değinilmiştir.

Bu yöntemlerden kuru olanları contractive numuneler için ıslak yöntemlerle kıyasladığımızda daha iyi olmaktadırlar.



Şekil 3.2.Deneysel çalışmada Kullanılan kumunboyutu.

Çizelge 3.1'de S1 ve S2 kumlarına ait fiziksel özellikleri belirlemek amacı ile yapılan deney sonuçları görülmektedir. Deney programı hazırlamak için kuru birim hacim ağırlık, minimum ve maksimum boşluk oranları ve ASTM 5550-00 (2003) standardı kullanarak özgül ağırlık değerleri bulunmuştur ve görülmektedir .

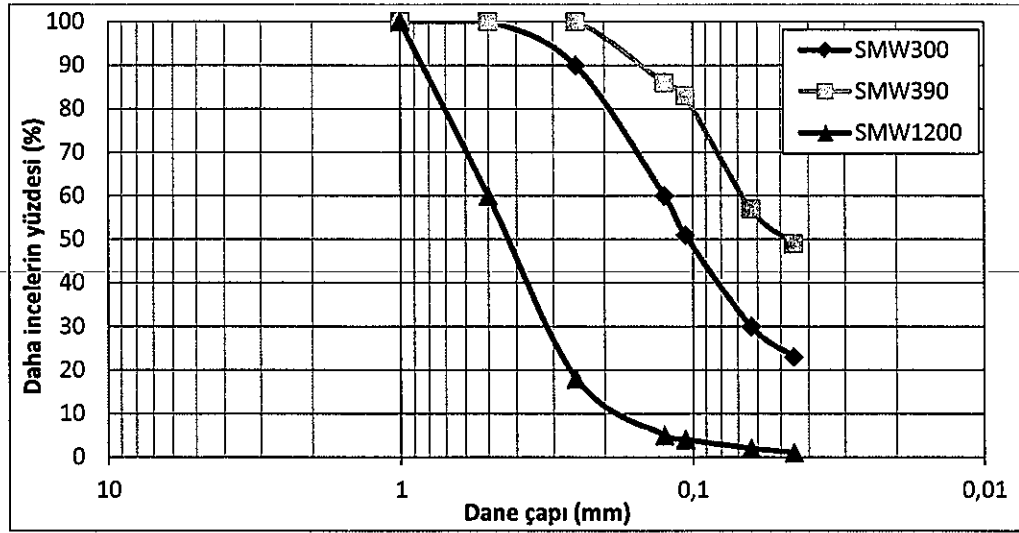
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kumların fiziksel özellikleri

Zemin tipi	S1	S2
Kuru birim hacim ağırlık γ_d (kN/m ³)	26.09	
Özgü ağırlık, G_s	2.65	
Maksimum boşluk oranı, e_{max}	1.128	1.140
Minimum boşluk oranı, e_{min}	0.721	0.761
Zemin sınıfı	SP	SP

3.2. Çalışmada Kullanılan mikaların özellikleri

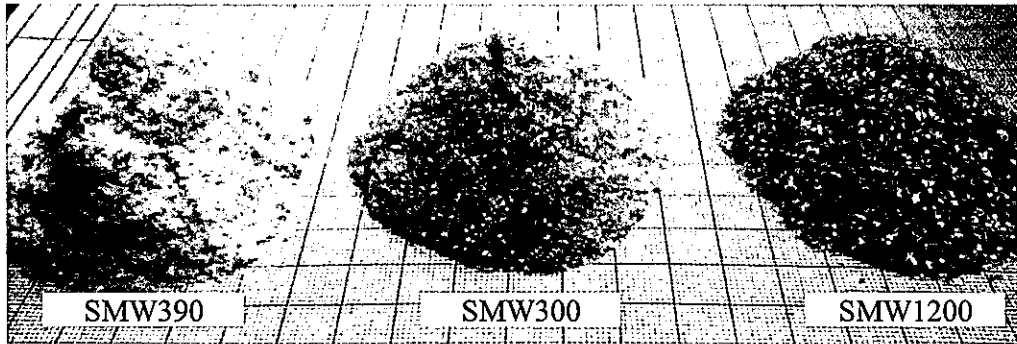
Kullanılan mika KALTUN MADENCİLİK SAN. VE TİC. A.Ş. tarafından seramik, cam, porselen, boya ve kaplama sanayiinde kullanma amaçlı üretilmiştir. Üç çeşit mikanın dane boyu dağılımları Şekil 3.3'de verilmiş olup, SMW 1200 en kaba, SMW390 ise en ince mikayı göstermektedir. Dane boyu dağılım eğrileri incelendiğinde, kabadan inceye doğru sıralandığında, bu mikaların % 1, % 22 ve % 50 ince içeriği

olduğu söylenebilir. Bu ince içeriklerinin su ile ilişkisinden ve görsel incelemelerden silt miktarının baskın olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 3.3.Çalışmada Kullanılan mika dane boyu dağılım eğrileri.

Boyutsal bir karşılaştırma yapabilmek için, mika katkıları Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneyisel çalışmada Kullanılan mikaların boyutlarının karşılaştırılması

Mikanın kimyasal formülü ($\text{Al}_6\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{24}\text{Si}_6$) olarak verilmiştir. Kimyasal analiz ve mineralojik analiz firma laboratuvarında yapılmış ve mika içerisindeki minerallerin türü ve yüzde içerikleri sırası ile Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir. Analizlerden, mikanın SiO_2 ve Al_2O_3 baskın bir malzeme olduğu görülmekte, mineralojik anlamda muskovitin baskın olduğu gözlenmektedir. Ürünün asidik/bazik anlamda nötr olduğu bilgisi yine firmadan alınmıştır. Mika, suda çözünmemektedir. Ancak mika-zemin bondu su mevcudiyetinde çabuk çözünmektedir.

Çizelge 3.2. Çalışmada Kullanılan mikanın kimyasal analizi

Kimyasal analiz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	NaO ₂	K ₂ O	Kızdırma kaybı
%	50	33	0.90	0.30	0.30	1.50	1.00	9.00	4.00

Çizelge 3.3. Çalışmada Kullanılan mikanın mineralojik analizi

Mineralojik Analiz	Muskovit	Kuvars	Kaolinit	Feldspat	Diğer
%	90.00-96.00	2.0-6.0	2.0-4.0	0.5-1.3	0.2-0.5

Çalışma öncesinde firmadan alınan depolama tavsiyeleri gereğince, mikalar, serin ve kuru bir yerde ve ağzı kapalı kaplarda saklanmıştır.

3.3. Örnek hazırlama yöntemi ve isimlendirme

Bu deneysel çalışmada iki tür örnek hazırlama yöntemi kullanılmıştır. Ödometre deneyleri için kuru yağmurlama yöntemi, üç eksenli basınç deneylerinde kullanılacak örnekler için ise ıslak yerleştirme yöntemi kullanılmıştır (Ishihara,2003 ; Ladd, 1977 ; Mulilis vd., 1975).

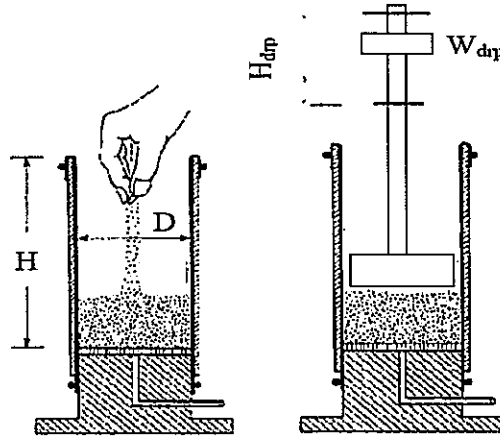
3.3.1. Kuru yağmurlama yöntemi

Bu yöntemde, fırında 105 derece sıcaklıkta ve 24 saat süre ile kurutulmuş mika-kum karışımı, çapı 8.0 mm olan bir huni yardımı ile mold içine yerleştirilir. Bu yöntemde mika-kum karışımı huniden yağmurlama şeklinde sabit bir yükseklikten (7.0 - 8.0 cm) kalıp içine dökülerek numune hazırlanır. Bu kurallara uyarak hazırlanan numuneler gevşek bir yapıya sahip olacaktır ve bu yöntemle kalıbın içine yerleştirilen malzemenin ağırlığı Çizelge 3.4’de verilmiştir. Çizelge 3.4. kuru yağmurlama yöntemi ile hazırlanan numunelerin ağırlıkları.

	%0 mika	%5 mika	%10 mika	%15 mika	%20 mika
S ₁ – SMW ₁₂₀₀	100 gr	100 gr	105 gr	107 gr	108 gr
S ₂ – SMW ₁₂₀₀	100 “	100 “	100 “	100 “	100 “
S ₁ – SMW ₃₀₀	100 “	100 “	105 “	107 “	108 “
S ₂ – SMW ₃₀₀	100 “	100 “	105 “	105 “	107 “
S ₁ – SMW ₃₉₀	100 “	100 “	105 “	107 “	108 “
S ₂ – SMW ₃₉₀	100 “	100 “	105 “	107 “	105 “

3.3.2. Islak yerleştirme yöntemi

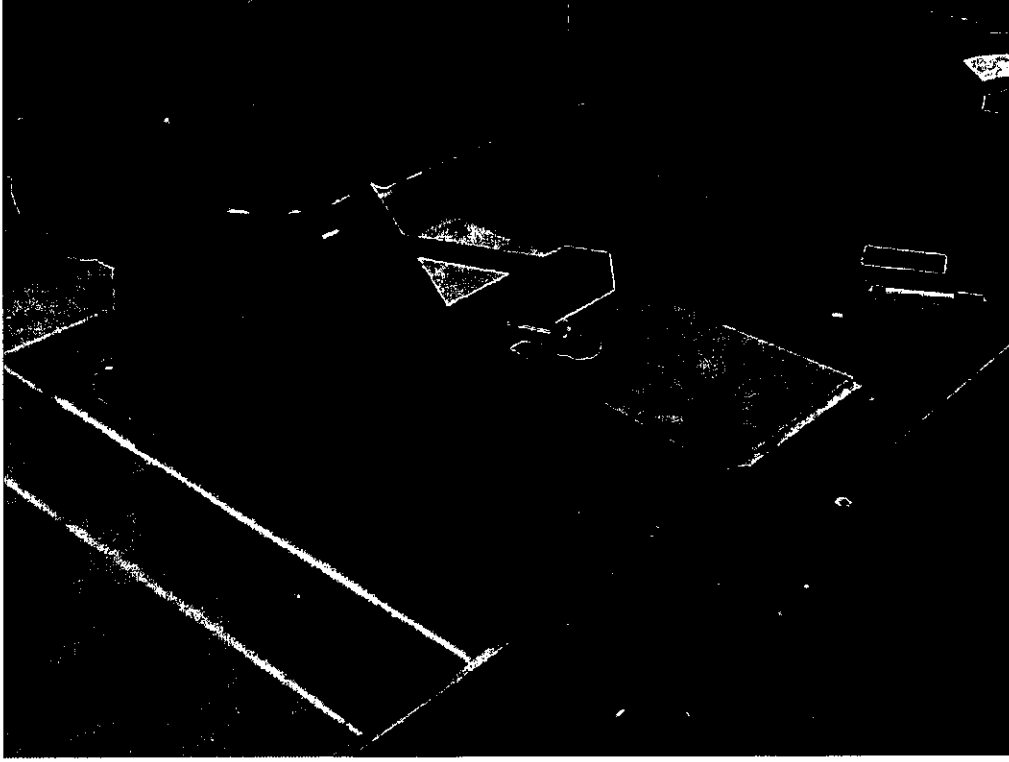
Bu yöntemde mika kum karışımı fırında 105 derece sıcaklıkta ve 24 saat süre ile kurutulduktan sonra, $D_r = \%30$ için gerekli olan karışım miktarı altı eşit aşamada mold içine yerleştirilmek üzere hazırlanır, her aşamada mika-kum karışımı 5% oranında havası alınmış su ile iyice karıştırıldıktan sonra karışım parmaklar yardımı ile Şekil 3.5 'de gösterildiği gibi kalıp içine yerleştirilir ve her aşama sonrası tabanı düz olan küçük bir sıkıştırıcı yardımı ile yerleştirilir.



Şekil 3.5. ıslak yerleştirmeyöntemi (mulilis ve dig. 1975)

3.4. Çalışmada yapılan deneyler

3.4.1. Ödometre deneyi



Şekil 3.6.Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan ödometre cihazı

Ödometre deneyi geoteknik mühendisliğinde zeminlerin sıkışma davranışının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ödometre deneyinde zemine tek eksenli gerilme, sıfır yanal deformasyon oluşturacak şekilde uygulanır.

3.4.1.1. Gerekli Araçlar ve Malzemeler

Ödometre cihazı (ASTM D 2435), konsolidasyon hücresi, standart ağırlık serisi, konsolidasyon ringi, su içeriği belirlemede kullanılacak araç gereçler, 0.01 gr hassaslığında hassas terazi, zemin numunelerinin kesilmesi ve düzeltilmesi için gereken araç gereçler, deformasyon saati, filtre kağıtları, poroz taşlar, etüv, kumpas.

3.4.1.2. Numunelerin Deneye Hazırlanması

Deney programımızın bu kısmında mika-kum karışımları farklı mika içerikleri ile hazırlandıktan sonra, bu karışım fırında kurutulmuş bir halde Kuru yağmurlama yöntemi kullanılarak, 8.0 mm çapasahip bir huni yardımı ile (7.0 - 8.0 cm) yükseklikten yağmurlama şeklinde odometre numune ringinin içine yerleştirilir.

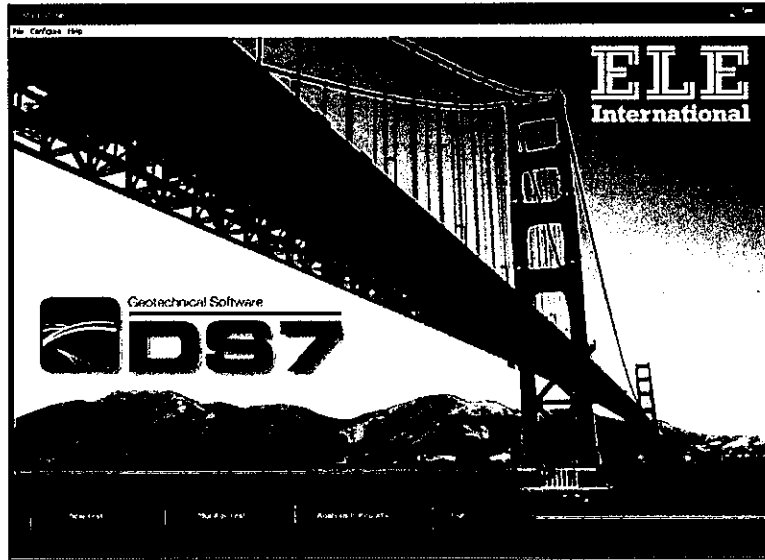


Şekil 3.7.Ödometre deneyi hücresi,ring,poroz taşlar

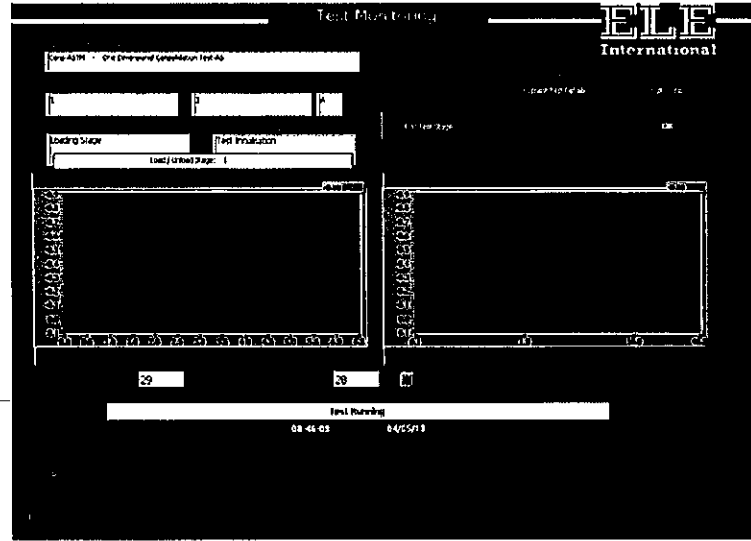
3.5. Ödometre Deneyin Yapılışı

Deneyler ASTM D2435 standardına göre yapılmıştır. Zemin numunesi ince daneli olması durumunda alt ve üst yüzeylerde kullanılan poroz taşlarla numune arasına filtre kağıdı konulmuştur. Böylece poroz taşlarının gözeneklerinin dolması engellenmiştir. Konsolidasyon halkası içinde zemin numunesi ile ödometrenin içine yerleştirilir. Yükleme boyunduruğu yerine koyulur. Deneye başlanmadan önce numunenin yüklenmemesi için gerekli önlemler alınır. Standartlarda belirtilen ağırlık konsolidasyon askısına takılır. Deformasyon saati ayarlanır. Daha sonra ödometre cihazının kilidi açılarak deney başlatılır. Deformasyonlar sabit bir değere eriştiğinde, yük artırılarak bu işleme devam edilir. Son yükleme de tamamlanınca okuma kaydı alınır, cihaz sökülerek, yüklemesi tamamlanan numune çıkartılır.

Konsolidasyon deneyinde başlangıç değerlerinin girişi ve deformasyon-zaman verilerinin toplanması için Ele International firmasına ait DS7 adlı bilgisayar program kullanılmıştır. Veriler ise deformasyon ölçerden veri edinim ünitesine aktararak bilgisayarda (.ini) uzantılı dosyaya kaydedilmiştir. Daha sonra (.ini) uzantılı bu dosyalardaki veriler Excel'e girilip istenilen grafikler elde edilmiştir. Programın başlangıç ekranı ve ölçümlerden bir görünüm sırası ile Şekil 3.8 ve Şekil 3.9da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Programın ilk açılışında karşılaşılan ara yüzün ekran görüntüsü.



Şekil 3.9. İlk yükleme sonrası alınan zaman-1D deformasyon grafiği örneği.

3.6. CU Üç eksenli basınç deneyleri

3.6.1. Deneyin amacı

Bu deney örselenmiş ve örselenmemiş silindirik örneğin dayanım ve gerilme-birim şekildeğiştirme arasındaki ilişkinin elde edilmesini sağlamaktadır. Numuneler izotropik olarak konsolide edildikten sonra drenaja izin verilmeden sabit hızla eksenel deformasyon (birim şekil değıştirme kontrollü) olarak eksenel basıncın yükseltilmesi ile kesilirler.

Bu deney metodu toplam ve efektif gerilmelerin, ve eksenel sıkıştırma basıncı ile eksenel yük, eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı ölçümlerinin hesaplanmasını sağlar. Bununla birlikte, Mohr zarfı ve Young modülü gibi zeminlerin mukavemet ve deformasyon özellikleri hakkında yararlı bilgiler sağlar. Genel olarak üç adet zemin numunesi, farklı efektif konsolidasyon gerilmesine tabii tutularak, mukavemet zarfını belirlemek için deneye tabii tutulur.

3.6.2. Deneyde Kullanılan bazı terimler

Bu standarttaki tanımlar ASTM-D653 ile uyumlu olmalıdır.

3.6.3. Geri basınç

Numunede boşluk suyuna, numunenin boşluklarında bulunan havanın sıkıştırılmasıyla su içerisine solusyon olarak katılması, böylece numunenin doygunluk yüzdesinin artırılması için uygulanan basınç.

3.6.4. Efektif konsolidasyon basıncı

Hücre basıncı ile numunenin kesilmesi esnasında ölçülen boşluk suyu basıncı arasındaki farkı ifade etmektedir.

3.6.5. Kırılma

Kırılma genellikle en yüksek asal gerilme farkı (en yüksek deviatör gerilme) veya %15-20 civarı birim şekil değiştirmeye karşı gelen deviatör gerilmeden hangisi ilk önce elde edilmişse o değer alınır. Zemin davranışına ve arazi uygulamalarına bağlı olarak başka kırılma kriterleri de tanımlanabilir.

3.6.6. Önem ve kullanım

Üç eksenli basınç deneyinde doymuş örneklerin kayma mukavemeti, uygulanan gerilmeye, konsolidasyon süresine, birim şekil değişim hızına ve zeminin geçmişte maruz kaldığı gerilmelere bağlıdır.

Bu deneyde zemin örneğinin dayanım özellikleri drenajsız olarak ölçülür. Arazideki belli gerilmeler altında konsolide olmuş örneklerin drenajsız yükleme koşulları altında davranışları bu deneyle belirlenebilir. Deneyde boşluk suyu basıncının ölçülmesi ile belirlenen kayma dayanımı değeri, efektif gerilmeler cinsinden de ifade edilebilir. Belirlenen parametreler arazideki tam drenaj geliştiği koşulları veya yükleme sonucu boşluk suyu basıncının azaldığı koşulları temsil etmektedir. Deney sonunda kayma dayanımı toplam gerilme (drenajsız) veya efektif gerilme (drenajlı) olarak bulunur ve genellikle stabilite analizlerinde, toprak basıncı hesaplamalarında ve temel tasarımında kullanılır (ASTM D 3740).

3.6.7. Kullanılan cihazlar

Deneylerin yapılabilmesi için aşağıda verilen ekipman gereklidir

3.6.8. Eksenel yükleme cihazı

Elektrik motoru ile çalışan bir pres (değişken hızlı bir hidrolik yükleme sistemi) veya herhangi bir sıkıştırma aygıtı olabilir. Burada önemli olan aygıtın yeterli kapasitede olması ve eksenel birim şekil değiştirme (yükleme) hızının kontrol altında tutulabilmesidir. Yükleme sırasında uygulanan yük seçilen değerden $\pm$ %1 den fazla sapmamalıdır. Deney sırasında sistemde gelişen titreşim, numune boyutlarında herhangi bir değişmeye sebep olmayacak kadar küçük olmalıdır. Ayrıca cihazın titreşimi drenaj vanaları kapalıyken gelişen boşluk suyu basıncını da etkilememelidir.

3.6.9. Eksenel yükölçüm cihazı

Ölçme aleti, yük halkası, elektronik yük hücresi veya hidrolik yük hücresi olabilir. Baska tür bir yükölçme aleti kullanılacak hassasiyet derecesi yüksek olmalıdır. Kırılma anında uygulanan yükü %1 hassasiyetle ölçebilmelidir ve çevre basıncının şiddetinden etkilenmeyecek hassasiyetle olmalıdır.

3.6.10. Üç eksenli basınç hücresi

Üç eksenli hücre kapasitesinin, efektif konsolidasyon gerilmesi ile geri basınç toplamının verilen çalışma basıncına eşit olması sağlanmalıdır. Hücre, silindir ile ayrılmış birmetal plaka ve taban plakası içermelidir. Silindir, uygulanacak basınçlara dayanabilecek özellikteki herhangi bir malzemeden yapılabilir. Numune davranışının gözlemlenmesi için saydam olmalıdır. Taban plakasında hücre içine basınç sıvısının uygulanması için giriş bulunmalıdır. Ayrıca numunenin boşluk suyu basıncını ölçmek için, drenaj ve doyurulma işlemleri için de girişler bulunmalıdır. Bunların mumune başlığı ile bağlantıları olmalıdır.

3.6.11. Eksenel yük pistonu

Hücrenin tepesinde eksenel yük piston ve contası, sürtünmeden dolayı eksenel yükte oluşacak ek eksenel yük, kırılma anındaki eksenel yükün %0.1'ini geçmeyecek şekilde yapılmış olmalıdır. Pistonun yatay yöndeki eğilmesi de ihmal edilebilecek kadar küçük olmalıdır.

3.6.12. Basınç ve vakumkontrol cihazları

Hücre ve geri basınç kontrol cihazları, etkili konsolidasyon basıncının 200 KPa'dan düşük olduğu durumlarda, ± 2 KPa, 200 KPa'dan büyük olduğu durumlarda ± 1 KPa duyarlılıkta basınç uygulayabilmeli ve bu basınçlar sabit tutulabilmeli.

3.6.13. Basınç ve vakum aygıtları

Hücrebasıncı geri basınç ve vakum ölçme aygıtları bourdon manometresi, basınç manometresi, elektronik basınç transdüseri, veya herhangi bir basınç ölçeri olabilir. Önemli olan aygıtlara verilen toleranslara uygun ölçüm yapabilmesidir.

3.6.14. Boşluk suyu basıncıölçüm sistemleri

Drenajsız kayma deneyinde boşluk suyu basıncı ölçülürken numune içine ve dışına su kaçaşı en küçük seviyede olmalıdır. Bunu sağlayabilmek için katı diyaframli elektronik basınç transdüseri veya sıfır göstergeli aygıt kullanılmalıdır.

3.6.15. Hacim değisimi ölçüm aygıtları

Numune içine giren veya dışına cikan suyun miktarı, toplam numune hacminin $\pm \%0.05$ hassaslığıda ölçülebilmelidir. Hacim ölçme aygıtı genelde geri basınç sistemine bağlanmış bir burettir. En büyük geri basınça dayanabilecek özellikte olmalıdır.

3.6.16. Deformasyon komparatoru

Eksenel deformasyon genelde numunenin tepesinde bulunan pistonun aşağıya hareketinin ölçümü sonuçunda belirlenir. Bu hareket numunenin başlangıçtaki uzunluğunun en az $\% 0.25$ 'i hassasiyetinde ölçüm alabilmeli ve numunenin ilk yüksekliğinin en az $\%20$ 'si kadar ölçme aralığına sahip olmalıdır.

3.6.17. Numune başlığı ve tabanı

Başlıkve taban numunenin iki uçtan su alıp vermesini sağlayacak şekilde rijit, paslanmaz ve geçirimsiz bir malzemeden yapılmış olmalıdır. Başlığın ağırlığının mumkun olduğu ölçüde az olması gerekir. Başlık ve taban plakasının toplam ağırlığı kopma anındaki eksenel yükün $\%10$ 'u kadar olabilir.eğer bu miktar $\%5$ 'ten fazla veya 50 g dan fazla ise uygulanan eksenel yüke, boşluk ve taban plakası ağırlığı için düzeltme yapılmalıdır. Başlık ve taban plakasının çapı numunenin çapına eşit olması gerekmektedir.

3.6.18. Poroz taşlar

Numunenin her iki ucundan drenajı sağlamak için poroz diskler kullanılmalıdır. Bu disklerin geçirimsizliği ince kum düzeyinde olmalıdır. (10^{-4} cm/s). disklerin tıkanmaması için bunlar düzgün olarak ultrasonik kaynatma ve fırçalama ile temizlenmelidir.

3.6.19. Filter kağıtları bantları ve diskleri

Filtre kağıdı bantları deneyde gerekli olan zamanı azaltmak için bir çok laboratuvar tarafından kullanılmaktadır. Filter kağıdı diskleri, numuneyle eşit çaptaki poroz taş ile numune arasına yerleştirilir. Böylece poroz disklerin tıkanması önlenecektir. Suda erimeyen tipte ve 550 KPa normal basınca dayanıklı filtrekağıdının geçirimsizlik katsayısı 10^{-5} cm/s den az olmamalıdır.

3.6.20. Membran

Hücre sıvısının numune içine sızmasını önlemek için kullanılır. Membranın apı numune boyutunun $\%90$ ile $\%95$ 'i arasında, kalınlığı ise numune çapının $\%1$ 'ini geçmemelidir.

3.6.21. Vanalar

Vanaların açılıp kapanması sırasında belirlenen hacim değişimleri, numunenin hacim değişimine ve boşluk suyu basınçlarının ölçümü sırasında hatalı okumalar alınmasına neden olabilir. Bu nedenle drenaj sistemindeki vanalar, kullanımları sırasında numunede çok küçük hacim değişimleri oluşturacak tipte olmalıdır. Açıp kapama esnasında basınç değişimi 0.7 KPa'dan büyük olmayan vanalar uygundur.

3.6.22. Su havası alma aygiti

Numuneyi doyurmak için kullanılan suda çözülmüş hava, kaynatma veya vakum ortamına püskürtme ile veya numuneyi yeterli derecede doyurmayı sağlayabilecek başka bir metodla alınabilir.

3.6.23. Deneyin yapıldığı ortam

Deney ortamı, ısı değişimini ± 4 °C'den fazla olmadığı ve doğrudan güneş ışığına maruz kalmamalıdır.

3.6.24. Yardımcı aletler

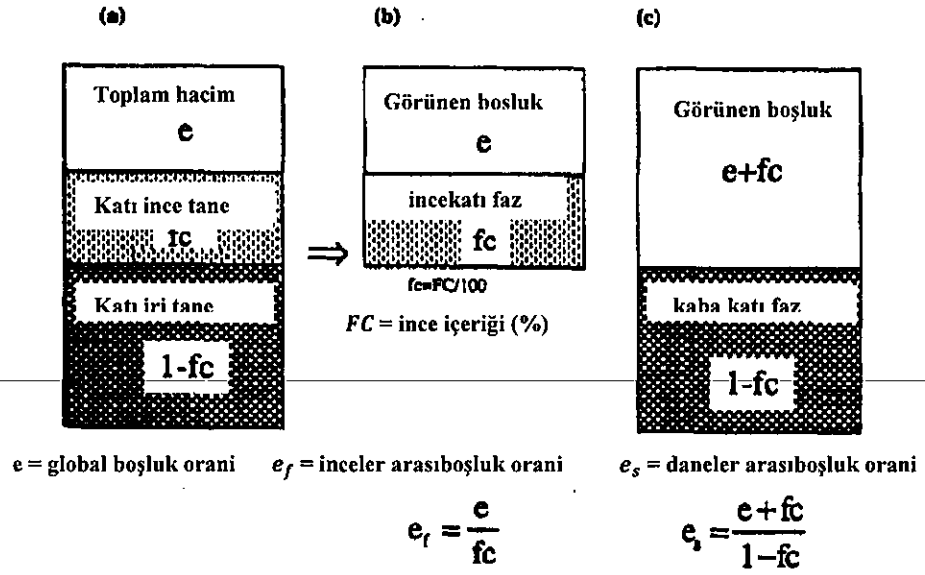
Terazi (0.01 g duyarlılıkta), kronometre (sureyi saniye mertebesinde ölçebilen), traşlama bıçağı, O-ring. Yükseklik ve çap ölçümünde Kullanılan aletler (toplam boyun $\pm$ % 0.1 hassasiyetinde) .

4. Deneylerden elde edilen sonuçlar

4.1. Ödometre deneylerinde elde edilen sonuçlar

Önceki çalışmalar ışığında ve Terzaghi tarafından önerilen $e-\log p$ ilişkisi göz önünde bulundurularak, boşluk oranının (e) granüler zeminlerin davranışını temsil eden en önemli parametrelerden biri olduğu belirtilmiştir (Roscoe vd., 1958,1963) Çizelge 2.1

Zemin yapısının doğası ve mühendislik tepkisi üzerine yapılan son çalışmalar, zeminin davranışını organize bir şekilde farklı ölçekteki danelerin toplu hareketlerine bağımlı olduğunu göstermiştir (Thevanayagam, 1997; Thevanayagam ve Nesarajah, 1998). Bu çalışmalarda vurgulandığı üzere belli bir ince malzeme içeriğine kadar, ince malzemeler, daneler arası sürtünme kuvvetinin dağılımında etkin olarak devreye girmemekte, bir başka deyişle etkileri ikinci sırada kalmaktadır. Bu kabule istinaden, teorik olarak, ince danelerin boşluksuz halde kaba taneler matrisinde yer aldığı düşünülür. Başka bir varsayımda da ince ve kaba danelerin özgül ağırlıkları aynı olduğu kabulünden yola çıkarak, katı birim hacim her iki dane türünün katı hacmini temsil ettiğini vurgulayabiliriz. İnce malzeme içeriği (FC) katı birim hacim ağırlığının bir yuzdesi olarak ele alınır. İnce malzeme ve kaba malzeme hacmi hacimleri sırası ile (FC/100) ve $(1 - FC/100)$ 'a eşittir. Bu düşüncelerden yola çıkarak, kaba daneler arası boşluklar e_s , kaba danelerin orjinal matrisinin boşlukları olarak, ince malzemenin bu matristen ayrı tutulması koşulu ile tanımlanmıştır. (Kenny, 1977; Mitchell, 1993). Şekil 4.1.de görüldüğü gibi kaba dane matrisinde boş alanların hacmi ve katı kısmının hacmi belirtilmiştir.



Şekil 4.1.şematik faz diyagramları, a) siltli kum; b) silt matrisi; c) kum matrisi

Kaba dane matrisindeki görülen boşlukların hacmi ve kaba danelerin katı hacmi Şekil 4.1 de sirasi ile $(e + FC/100)$ ve $(1 - FC/100)$ ve e global boşluk oranı olarak açıklanmıştır. Bu doğrultuda,

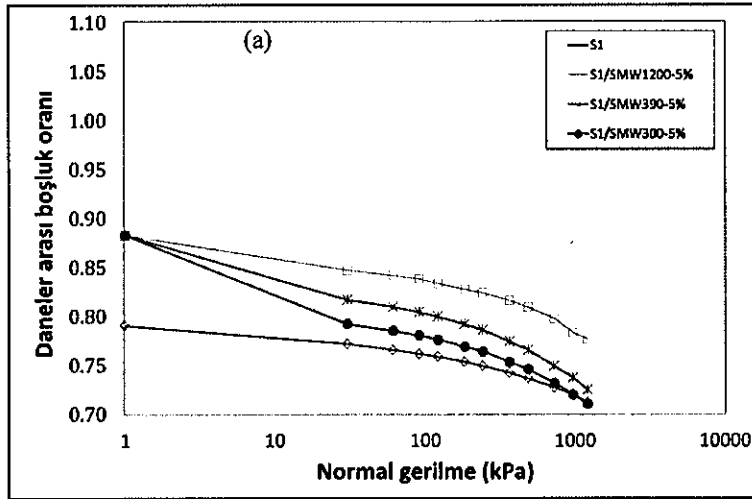
$$e_s = \frac{(e + \frac{FC}{100})}{(1 - \frac{FC}{100})} \quad (1)$$

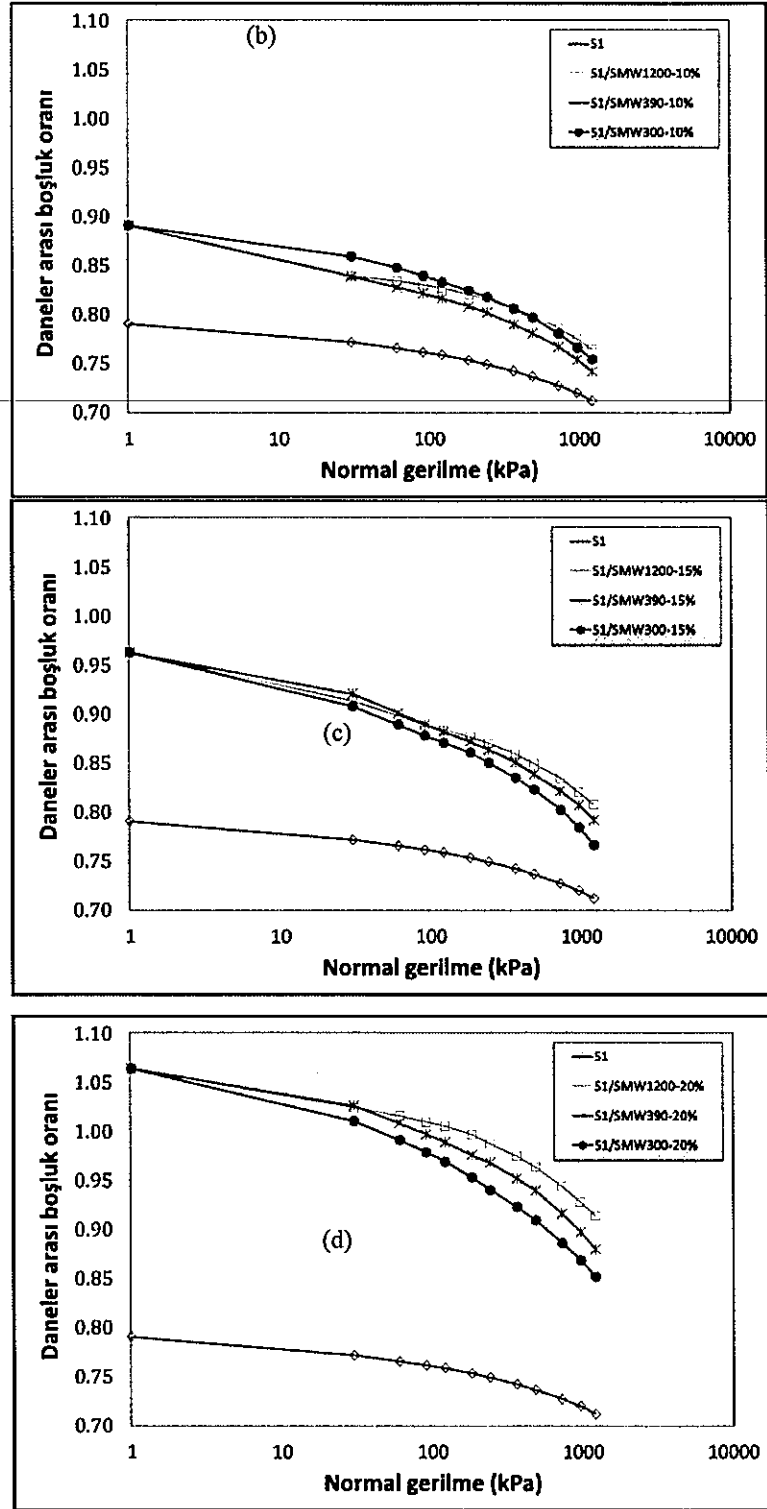
Taneler arası boşluk oranı e_s taneler arası iletişimin bir göstergesi olarak kabul edilir ve normal ve kesme gerilmeleri karşısında etkin rol oynamaktadır.

Eğer ince malzeme içeriği önemli bir oranda artırılırsa, kaba danelerin tamamen ince malzemeler arasında çevrenmesi durumunda zemin davranışı tamamen ince taneler arası bağlantılar ile yönetilecektir. Yükün aktarımında etkili olmayan kaba daneler ikinci olarak ince malzemeler arasında aktarımda rol alacaktır. Bunların boşluk oranı olmadığından ve yük aktarımında etkili olmadıklarından, bu hacmin gözardı edilmesi büyük bir yanlış olmaz (Şekil 4.1b).

Bu bilgilere istinaden, ödometre deneyleri ile, değişik yüzdelerde mika içeren karışımlar oluşturulmuştur. S1 ve S2 kumların içerisine, % 0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında 3 değişik boyutta mika karıştırılarak, ödometrik davranışlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu karışımlar hazırlanırken, L_{50}/d_{50} oranları değişik karışımlar elde edilip, mika ve kumun medyan çaplarının oranının, mika miktarının, ödometrik basıncın etkileri ayrı ayrı

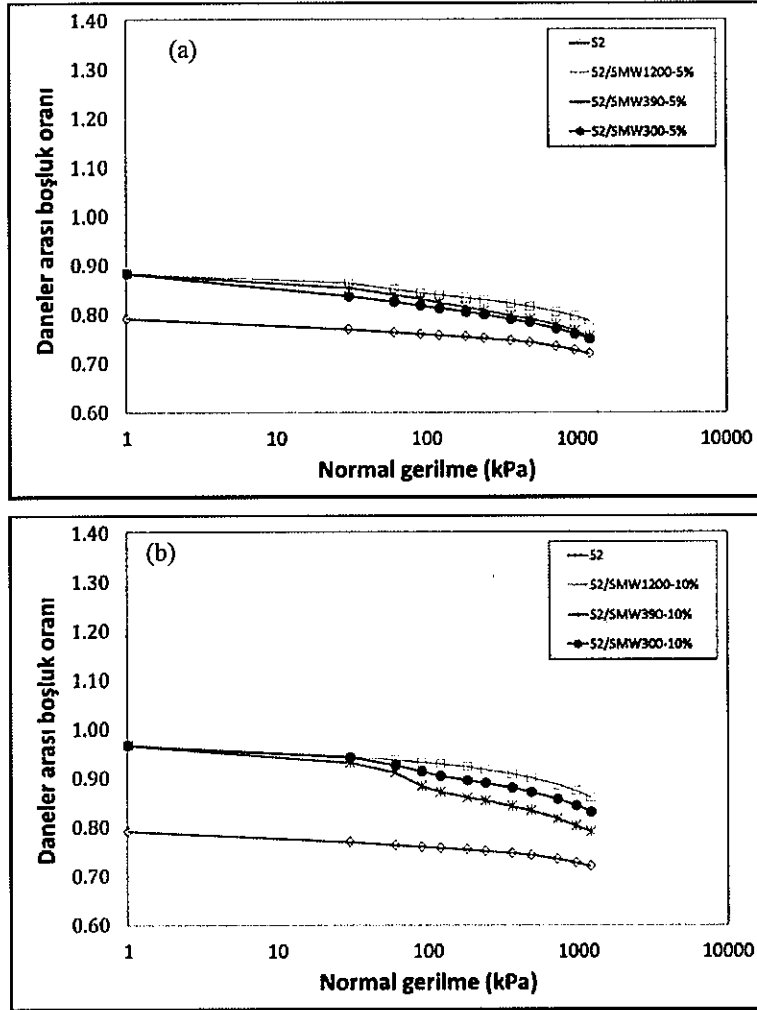
değerlendirilmeye çalışmıştır. Örnekler kuru yağmurlama tekniği ile hazırlanmıştır. Normal gerilme 1 kPa'dan başlayarak, 30.49, 60.99, 91.48, 121.98, 182.97, 243.95, 365.93, 487.91, 731.86, 975.82, 1219.77 kPa'a kadar artırılarak, daha sonra normal gerilme tekrar 1 kPa'a düşürülerek örnek boşaltılmış, bu sayede deformasyon sonucu oluşan elastik ve maksimum plastik boşluk oranı değişimleri elde edilmiştir. Şekil 4.2 Şekil 4.2 a,b,c ve d'de kaba kuma mika eklenmesi ile daneler arası boşluk oranındaki değişimler gösterilmektedir. SMW 390, SMW 300 ve SMW 1200'ün ince malzeme oranları sırası ile %50, %22 ve %1 idi. Bu bilgiden hareketle, daha ince mikanın eklenmesi ile boşlukların doldurulma yeteneği artmıştır. Sonuçların görece olarak yakın olarak elde edildiği ve tekrar deneylerle kesinliği onaylanan Şekil 4.2b'de gösterilen % 10 mika içeriği dışında, % 5, 15 ve % 20 mika içeriklerinde daha ince mika eklenmesi ve artan yük miktarlarında daneler arası boşluk oranındaki (e_s) azalmalar artmaktadır. e_s 'nin ilk değerleri, mika içeriği arttıkça artmaktadır. Buna bağlı olarak, sıkışma miktarlarında da mika içeriği arttıkça artışlar gözlenmiştir. Genel olarak, mika içeriği % 20'ye doğru ilerledikçe, değişik incelikte mika kullanımı ile, farklı yük seviyelerindeki boşluk oranları arasındaki farklar artmıştır.

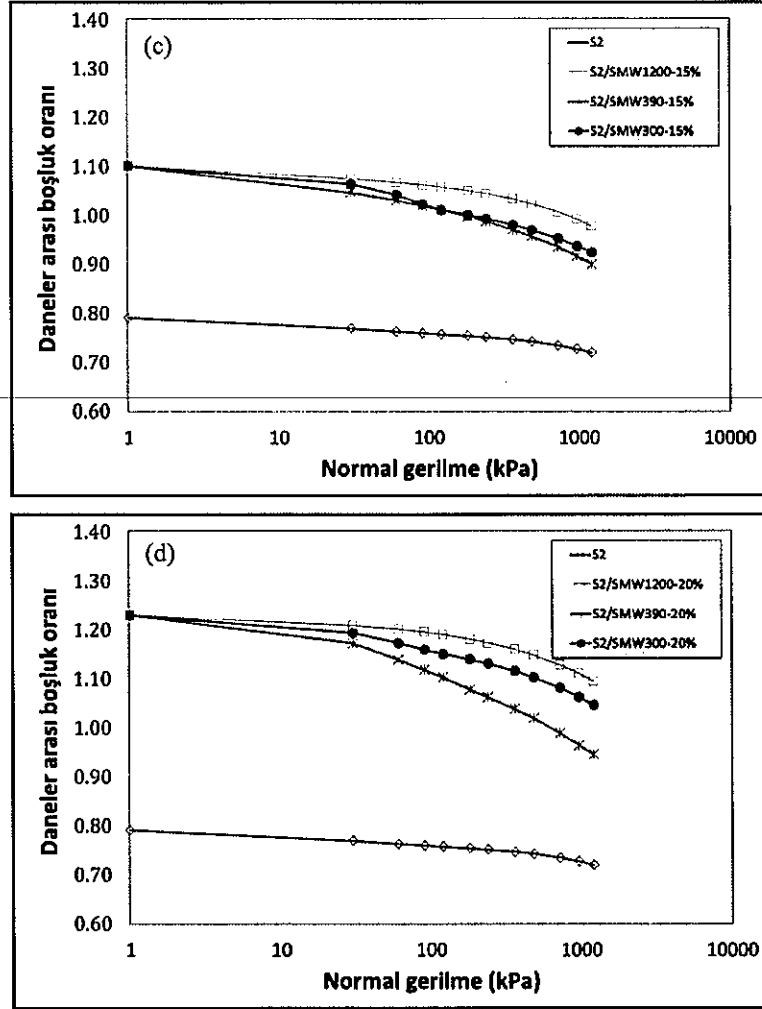




Şekil 4.2. Sıfır yanıl deformasyon halinde daneler arası boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (kaba kum) a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) %20 mika içeriği.

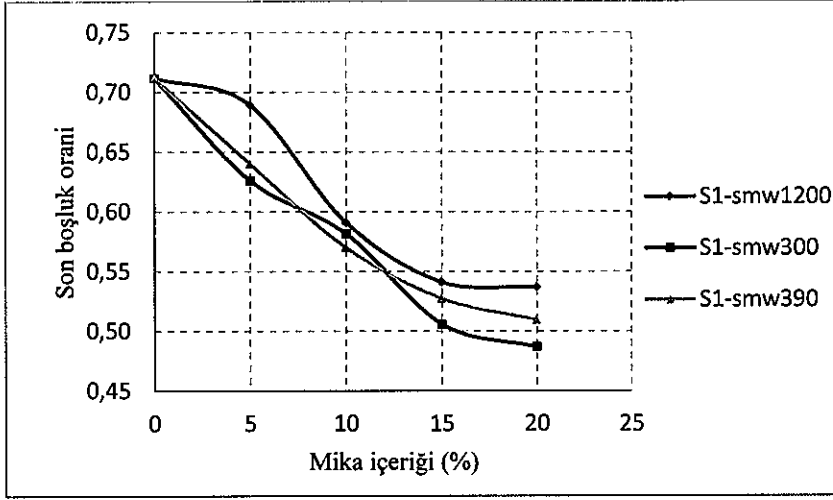
Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere S2 kumunun farklı mika türleri ve farklı mika içeriğindeki karışımlarda sıralama S1 kumundaki gibi olmadığı görülmektedir. %5, 10, 15 ve % 20 mika içeriklerinde mika içeriği arttıkça ve artan yük miktarlarında daneler arası boşluk oranındaki (e_s) azalmalar artmaktadır. e_s ' nin ilk değerleri, mika içeriği arttıkça artmaktadır. Buna bağlı olarak, sıkışma miktarlarında da mika içeriği arttıkça artışlar gözlenmiştir. Daha ince mikanın eklenmesi ile S1 numunesindeki sıkışma sıralaması gözlenmemektedir.



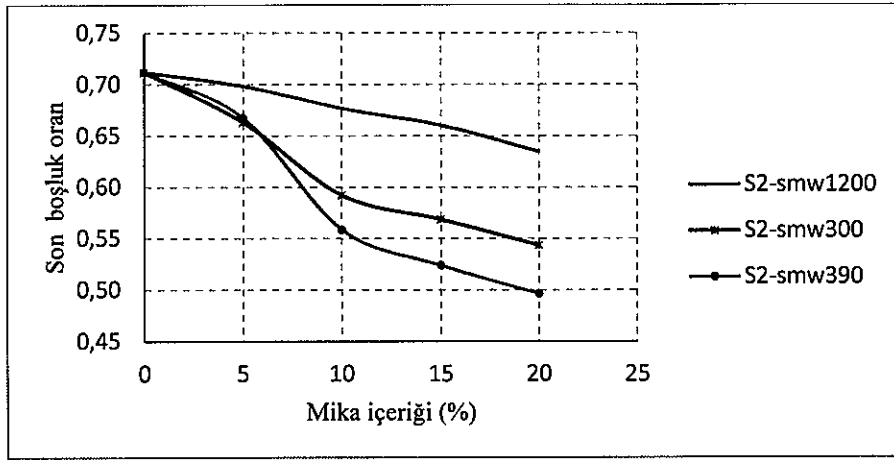


Şekil 4.3. Sıfır yanal deformasyon halinde daneler arası boşluk oranının mika içeriği ile değişimi (orta kum) a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) % 20 mika içeriği.

Daneler arası boşluk oranı-normal gerilme değişimleri incelendiğinde boşluk oranının köprüleme etkisi ile mika miktarı arttıkça, arttığı görülmektedir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de nihai boşluk oranları farklı mika içeriklerinde ve incelikleri için verilmiştir. Şekiller, daha ince mika kullanımı ile daha kesif yapıların elde edildiğini göstermektedir. Boşluk oranlarında azalmalar % 10 mika içeriğinden sonra daha fazla hissedilmektedir.



Şekil 4.4.Boşlukoranının mika içeriği ile değişimi (S1)



Şekil 4.5.Boşlukoranının mika içeriği ile değişimi (S2)

Geçmiş çalışmalarda L/D oranındaki artışların köprüleme etkisinde artışa sebep olduğu görülmüştür. bir başka deyişle, boşluk oranı örneklerde L/D arttıkça artmıştır(Lee vd., 2007). Çizelge 4.1’de seçilen L/D oranlarında ve mika içeriklerinde nihai yükleme sonrasında elde edilen boşluk oranları verilmektedir. Çizelgeden gözleneceği üzere, aynı L/D oranlarında, beklendiği gibi son boşluk oranları, artan mika içeriği ile azalmaktadır. Yine çizelgeden gözleneceği gibi, azalan L/D oranlarında örneklerin son boşluk oranlarında azalım gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Değişik mika içeriklerinde ve seçilen L/D oranlarında son yükleme sonrasında elde edilen boşluk oranları

Boşluk oranı	L/D	Mika içeriği (%)			
		5	10	15	20
e	0.39	0.6981	0.6766	0.6859	0.6817
	0.2	0.6893	0.5911	0.541	0.537
	0.1	0.6692	0.592	0.5684	0.5433
	0.05	0.6259	0.5815	0.5056	0.4867
	0.04	0.6671	0.5583	0.5236	0.4961
	0.02	0.6401	0.5701	0.5272	0.5094

Ödometre deneyleri öncesi ve sonrasında dane boyu dağılım eğrilerini belirlemek için elek analizi yapılmış, sonuçlardan elde edilen bilgiler ışığında deneylerdeki farklı gerilme seviyeleri uygulanması sonrası önemli miktarda dane kırılması olmadığı tespit edilmiştir.

Deneylerin sonrasında, yüklemenin boşaltılmasından sonra geri dönen deformasyon ($\Delta e_{elastik}$) verileri (0% - 20%) aralığında değişen mika içerikleri için hesaplanmıştır. Çizelgeden daha ince kum ile mikanın karışımının, danelerin üzerine daha fazla yük bindirdiğinin, köprüleme etkisinin yük kaldırılması ile bozulduğunun ve deformasyonların bir miktarının geri döndüğü görülmektedir. Daha fazla ince içeriği, genelde, daha fazla geri dönen deformasyon anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.2. Deneyisel çalışmada son yükleme sonrasında yük kaldırıldıktan sonra geri dönen deformasyon miktarları.

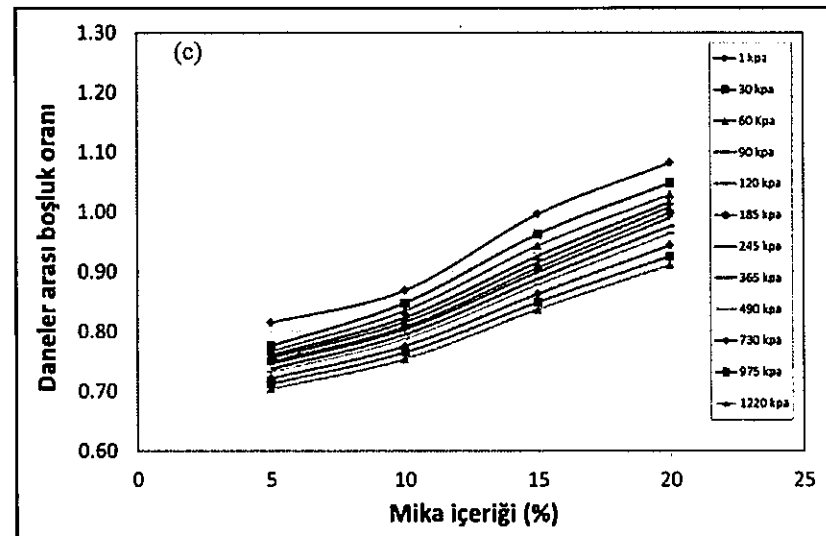
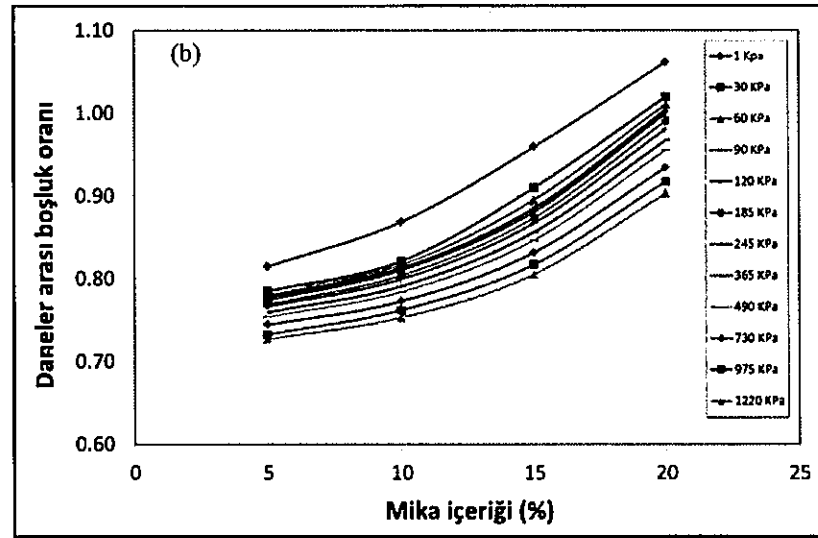
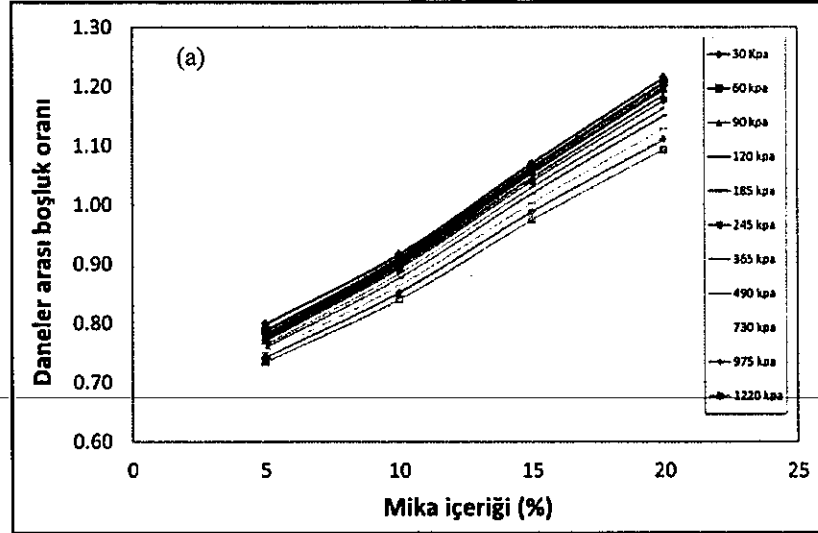
Mika içeriği (%)			5	10	15	20
$\Delta e_{elastik}$	S1	Mika-1	0.0922	0.1051	0.0894	0.0582
		Mika-2	0.0337	0.0439	0.0491	0.0455
		Mika-3	0.0337	0.0360	0.0512	0.0622
	S2	Mika-1	0.0497	0.0472	0.0431	0.0491
		Mika-2	0.0442	0.0512	0.0311	0.0444
		Mika-3	0.0354	0.0542	0.0618	0.0656

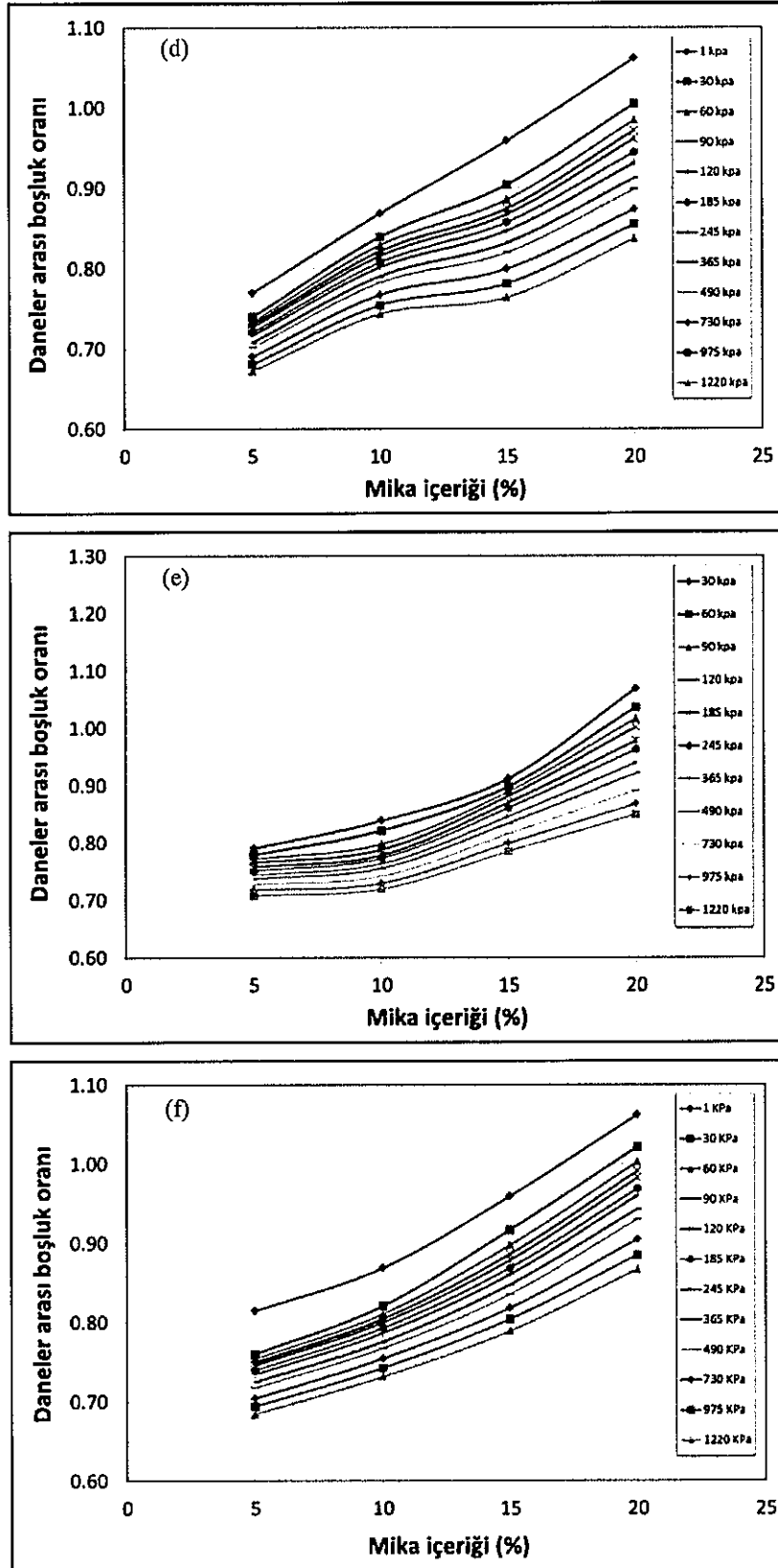
Değerlere bakıldığında mika içeriği arttıkça kum-mika karışımının elastisitesi artmakta ve karışımların daha elastik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere, toplam $e_0 - e_{11}$ farkları ele alındığında, hem farklı mika türleri hemde mika yüzdeleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde oturma miktarları, mika yüzdeleri ve L/D oranı ile ilgili şunları söyleyebiliriz: L/D oranının artması ile sıkışma miktarlarında bir miktar azalma gözlenmektedir bu davranışı danelerarası köpürüleme etkisi ile açıklayabiliriz, mika içeriğinin artması ile de ani oturma miktarında bir artış görülmektedir zira numunenin sıkışabilirliği mika içeriği arttıkça artmaktadır.

Çizelge 4.3. $e_0 - e_{11}$ farklarının, hem farklı L/D ve hemde farklı mika yüzdeleri ile değişimi

Boşluk oranı	Karışım	L/D	Mika içeriği (%)				
			0	5	10	15	20
$e_0 - e_{11}$	S2-Mika 1	0.39	-	0.0922	0.0959	0.1043	0.1085
	S1-Mika 1	0.2	-	0.101	0.1139	0.1321	0.1207
	S2-Mika 2	0.1	-	0.1274	0.113	0.1366	0.1299
	S1-Mika2	0.05	-	0.1122	0.1235	0.1675	0.1709





Şekil 4.6. Değişik mika/zemin ortalama çaplarına göre ödometre deney sonuçları a) $L_{50}/D_{50}=0.33$ b) $L_{50}/D_{50}=0.2$ c) $L_{50}/D_{50}=0.10$ d) $L_{50}/D_{50}=0.05$ e) $L_{50}/D_{50}=0.04$ f) $L_{50}/D_{50}=0.020$.

Bununla birlikte, mika inceldikçe toplam sıkışma miktarları artmaktadır. Aynı karışım tipleri için, büyük sıkışma miktarları L/D nin çok düşük değerlerinde gözlenmiştir. Daneler arası boşluk oranı, mika içeriği ve yük ilişkileri incelendiğinde, mika içeriğinin artması ile beraber daneler arası boşluk oranında bir artım göze çarpmaktadır. Yine beklendiği üzere yük seviyesinin artırılması ile beraber, boşluk oranları mika içeriği arttıkça artan oranlarda almaktadır.

Mikanin boşluk doldurma etkisi altında, daha kaba olan mika-1 (SMW1200) katkılı kum, diğer iki mika türü katkılı kuma göre daha yüksek boşluk oranları vermiştir. Bu davranış hem S1, hem S2 kumlarda, özellikle S2 de mika inceliğinin artması ile beraber daha alenidir.

4.1.1. Daneler arası boşluk oranı ve global boşluk oranı arasında elde edilen ampirik bağıntılar

Doğrusal olsun ya da olmasın, çok değişkenli regresyon modellerinin belli girdi ve çıkıt parametreleri arasındaki ilişkileri ortaya koyduğu bilinmektedir. Bu denklemlerin amacı, istenen girdi parametreleri kullanılarak çıktıların kabul edilebilir bir doğrulukta hesaplanmasıdır. Girdi ve çıktı arasında kurulacak ilişkiler, ancak analizi yapılan örnek toplumu temsil edebilmeli, değişkenlerin hatasız olması ve hataların var yansının veriler içinde düzgün olarak dağıtılmış olması gerekmektedir. Regresyon denklemlerinin genel formu aşağıdaki denklemde verilmiştir:

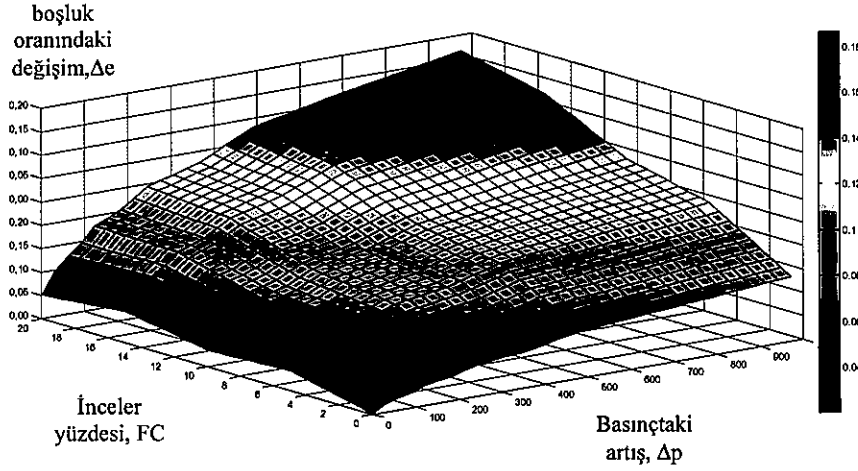
$$y = f(x, \alpha) \quad (2)$$

Buraday, bağımlı değişken, x , bağımsız girdi, ve α ise bilinmeyenleri göstermektedir. Genellikle, doğrusal regresyon ile elde edilen denklemler en küçük kareler yöntemi ile oluşturulmaktadır, ancak, maksimum olabilirlik, uyarlamalı tahmin, araç değişkenlerin regresyonu v.b. gibi başka yöntemler de bulunmaktadır. Öte yandan, doğrusal olmayan regresyon denklemlerinin oluşturulmasında, doğrusal regresyon denklemlerinin aksine, bilinmeyenlerin elde edilmesi için sayısal optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Burada şunu belirtmek gerekir ki, birçok optimizasyon probleminde karşılaşılan yerel minimum problemi, en iyi

doğrusal olmayan regresyon denkleminin elde edilmesindeki tuzaklardan biri olarak göze çarpmaktadır.

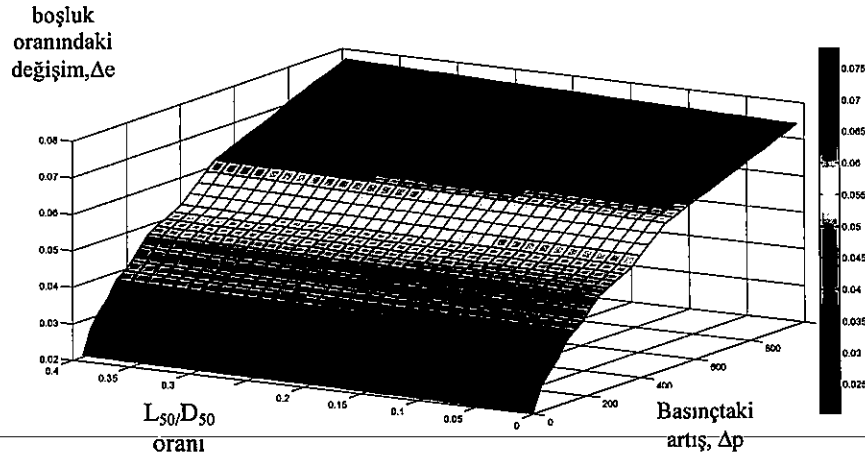
Yükarıda bahsi geçen parametrelerin arasında ampirik bağıntıların elde edilebilmesi için, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon denklemleri araştırılmıştır.

Bununla birlikte, mikanın medyan çapının kaba zeminin medyan çapına oranı olan L_{50}/D_{50} ile gösterilen değer ile zeminin ölçülen boşluk oranındaki artışlar arasında ilişkiler araştırılmıştır. Şekil 4.7’de boşluk oranındaki artışın ince malzeme içeriği ve ödometrik basınç ile değişimi görülmektedir. Şekilden net olarak görüleceği üzere, boşluk oranındaki değişimler, artan mika oranında ve basınç değerinde daha da yüksek değerler almaktadır.



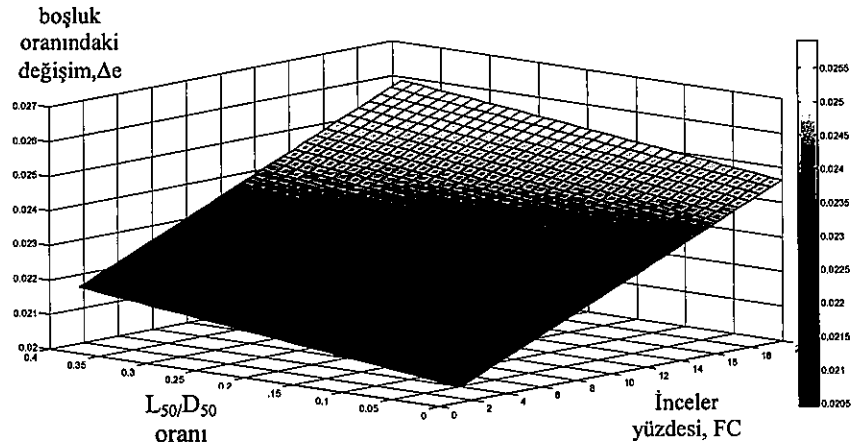
Şekil 4.7. Boşluk oranındaki artışın ince malzeme içeriği ve ödometrik basınçtaki artış ile değişimi

Şekil 4.8’de ise boşluk oranındaki değişimlerin L_{50}/D_{50} oranı ve ödometrik basınçtaki artış ile değişimi gösterilmektedir. Şekilden, L_{50}/d_{50} değerlerinin, bu çalışma kapsamındaki limitlerde boşluk oranındaki değişimlere katkısının yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Boşluk oranındaki artışın L_{50}/D_{50} oranı ve ödometrik basınç ile değişimi

Şekil 4.9 incelendiğinde, artan L_{50}/D_{50} oranının, artan inceler yüzdesi ile birlikte bir miktar Δe değerlerini arttırdığı görülse de, bu artışların çok düşük değerler olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısı ile bu çalışmadaki L_{50}/D_{50} oranlarındaki değişimin, bir boyutlu sıkışma davranışına etkisinin zayıf olduğu söylenebilir.



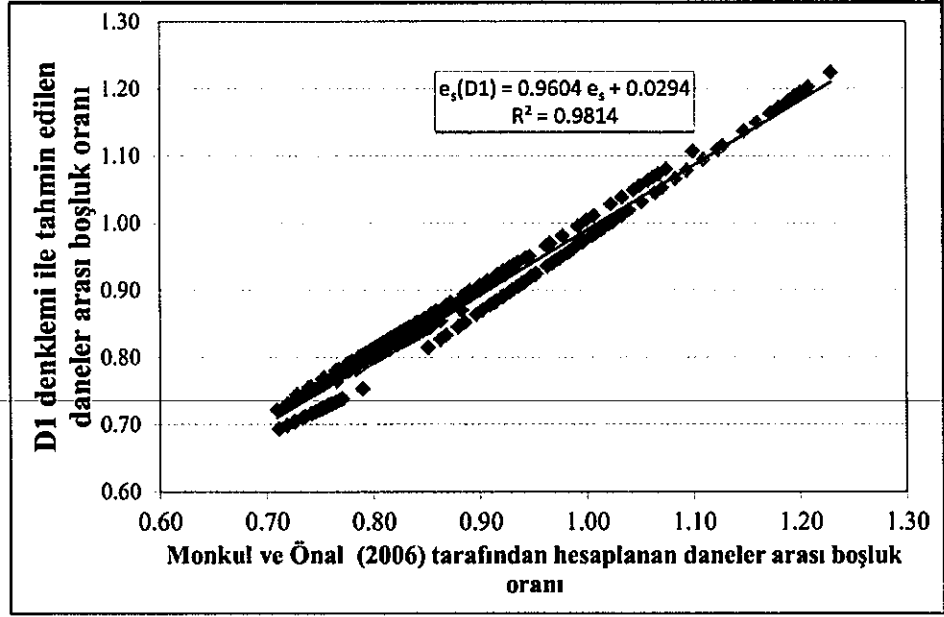
Şekil 4.9. Boşluk oranındaki artışın mika içeriği ve L_{50}/D_{50} oranı ile değişimi

Bu amaçla, Çabalar (2010) tarafından önerilen ampirik bağıntıya ek olarak, regresyon analizi sonuçları Çizelge 4.4’de ortaya konulmuştur. Tablodaki denklemler gözlemlendiğinde, elde edilen katsayılar Çabalar (2010) tarafından elde edilen bağıntıya çok yakındır, bu çalışmanın deney sonuçları

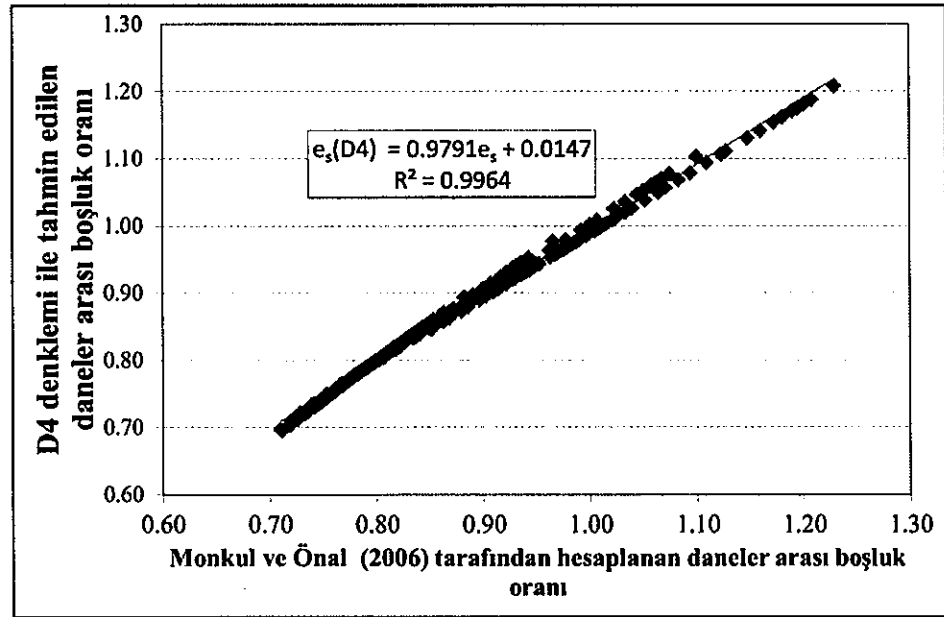
Çizelge 4.4. Daneler arası boşluk oranının elde edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri

Kod	Denklem	R ²	RSS
D1	$e_s = 0.156 + e \left(0.030 \cdot FC \cdot \frac{2.0}{G} \right)$	0.981	0.067
D2	$e_s = \exp(1.248.e + 6.25.10^{-7}.FC + -1.25.10^{11}.G + 3.31.10^{11})$	0.998	0.007
D3	$e_s = 1.192.e + 1.34.10^7.FC - 2.683.10^{10}.G + 7.11.10^{10}$	0.997	0.012
D4	$e_s = 1.192.e + 0.021.FC - 0.058 \cdot G$	0.997	0.012

Çizelge 4.4 'te R², determinasyon katsayısı, RSS ise kalıntıların kareleri toplamını ifade etmektedir. Denklemler incelendiğinde, kullanım kolaylığı açısından, katsayıları çok küçük bir miktarda değişen Çabalar'ın (2010) önerdiği D1 denklemi ile D4 denklemi, bu çalışmadaki deney sonuçları için daneler arası boşluk oranı ile global boşluk oranı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. D2 ve D3 denklemleri de gayet makul sonuçlar verse de, kullanım kolaylığı açısından D1 ve D4 daha doğru olacaktır. Şekil 4.10'da regresyon denklemleri ile elde edilen daneler arası boşluk oranları ile Monkul ve Önal'ın (2006) denklemi ile elde edilen boşluk oranları arasındaki ilişkiler sunulmuştur. D1 ve D4 denkleminde elde edilen e_s değerleri, Monkul ve Önal (2006) tarafından verilen boşluk oranları ile arasındaki ilişkilere ait R² değerleri sırası ile 0.981 ve 0.996 olarak elde edilmiştir, ki bu değerler 1'e oldukça yakın olduğundan, regresyon denklemlerinin başarısından söz etmek mümkündür.

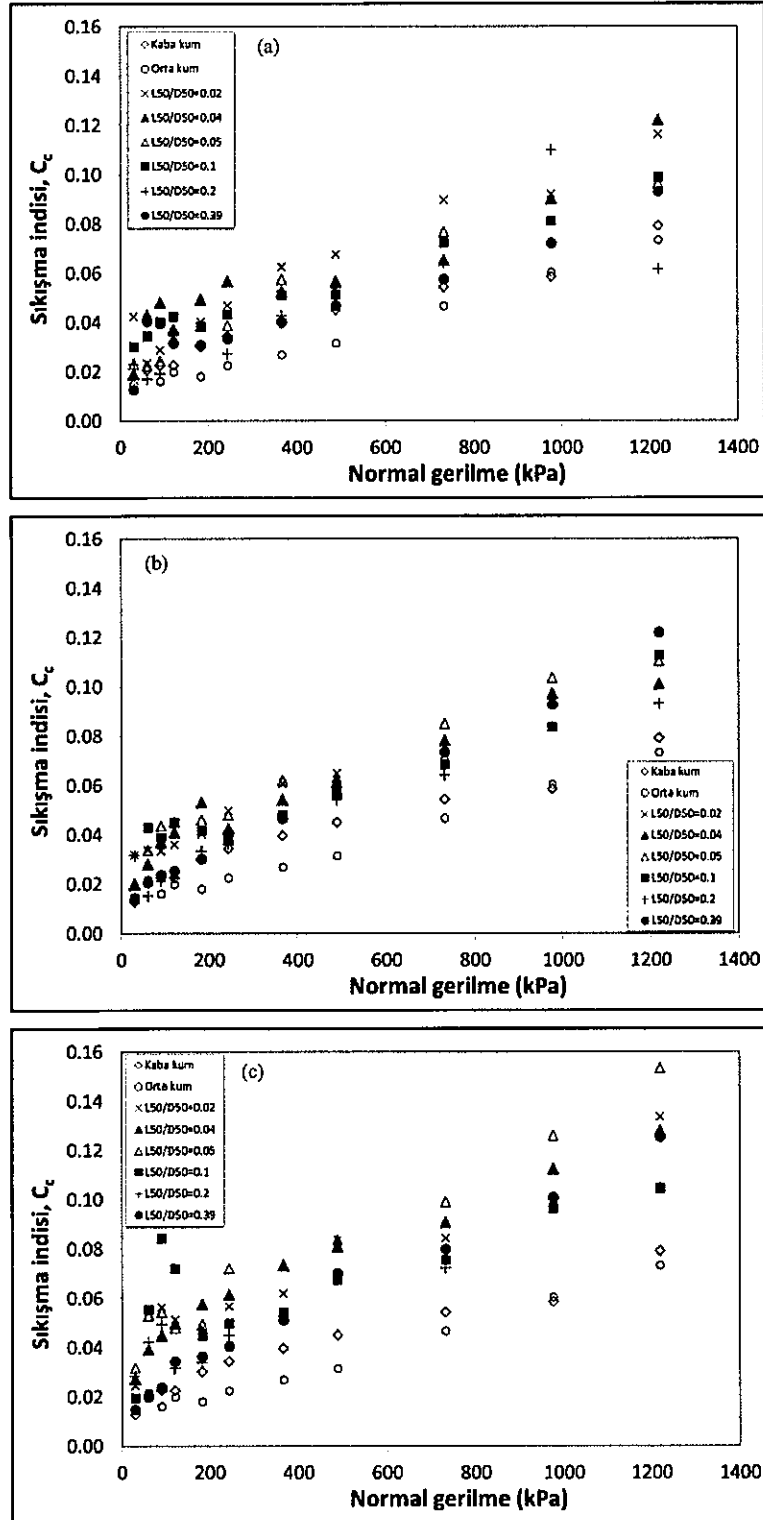


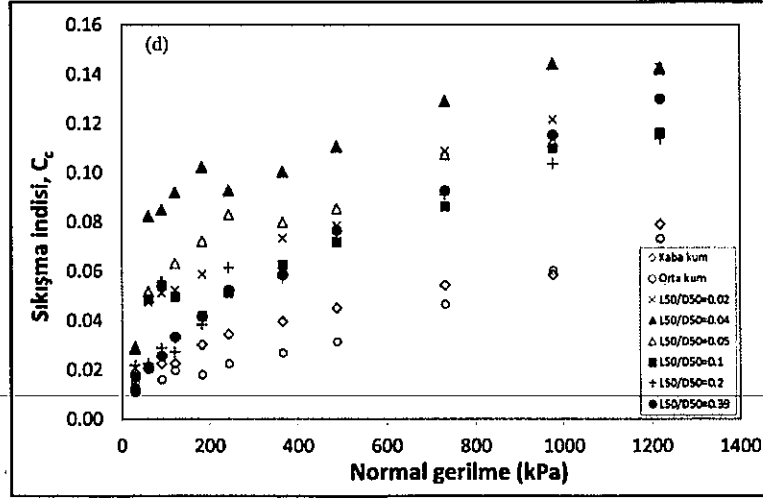
(a)



(b)

Şekil 4.10.Regresyon denklemleri ile elde edilen daneler arası boşluk oranı ile Monkul ve Önal (2006) denkleminde elde edilen daneler arası boşluk oranı arasındaki ilişkiler.





Şekil 4.11. Değişik L/D oranlarında kumların sıkışma indisleri a) % 5 mika içeriği b) % 10 mika içeriği c) % 15 mika içeriği d) % 20 mika içeriği

Sıkışma indisleri, L/D den bağımsız olarak mika içeriği arttıkça artmaktadır. Daha fazla mika içeriği ile boşluk oranlarında artışa sebep olduğu yukardaki satırlarda verilmiştir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada geçmiş çalışmalar ile karşılaştırıldığında küçük L/D değerlerinin sıkışma davranışına etkisi incelendiğinden, köpürüleme etkisinin L/D oranında kaynaklanan etkisinden ziyade artan mika içeriğinin ve artan kaba dane miktarının şekil2.3 deki dizilime yol açtığı düşünülmektedir. Belirlendiği üzere mika içeriği arttıkça, sıkışma indislerinde hissedilir bir artış gözlenmektedir.

Sıkışma indisi, normal gerilme arasındaki ilişkiler irdelendiğinde kumun boyutlarından bağımsız olarak, L/D miktarı 0.04 – 0.05 olan, en büyük sıkışma indislerini verdiği gözlenmiştir. Özellikle yüksek normal gerilmelerde bu etki daha net gözükmemektedir ve bu etki tüm mika yüzdelerinde gözlenmiştir.

%5 den %20 ye kadar artan mika içeriklerinde sıkışma indislerini normal gerilme ile değişimleri 0.009 ve 0.158 arasında verilmiştir.

4.2. Üç eksenli basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar

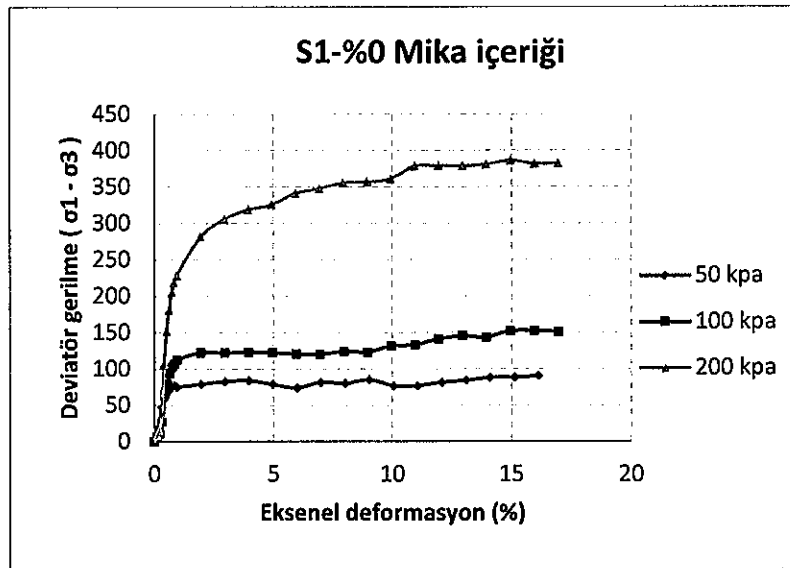
Kullanılan S1, S2 kötü derecelenmiş temiz kumlar, ince malzemesiz ve farklı oranlarda mika ile izotropik karışımlar olarak, 30% rölatif sıkılıkta numuneler şeklinde değişik efektif konsolidasyon basınçlarına maruz bırakılarak, konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar öncelikle %0 mika içeriği durumu için ve ardından %10 ve %20 mika içeriklerdeki durumlar için üç bölümde değerlendirilip, bu durumlardaki değişkenlerle deviatör gerilme ve eksenel deformasyon, boşluk suyu basıncı ve eksenel deformasyon değişimleri ele alınmıştır. Son olarak, tüm durumlardaki mika içeriğinin etkisine değinilmiştir.

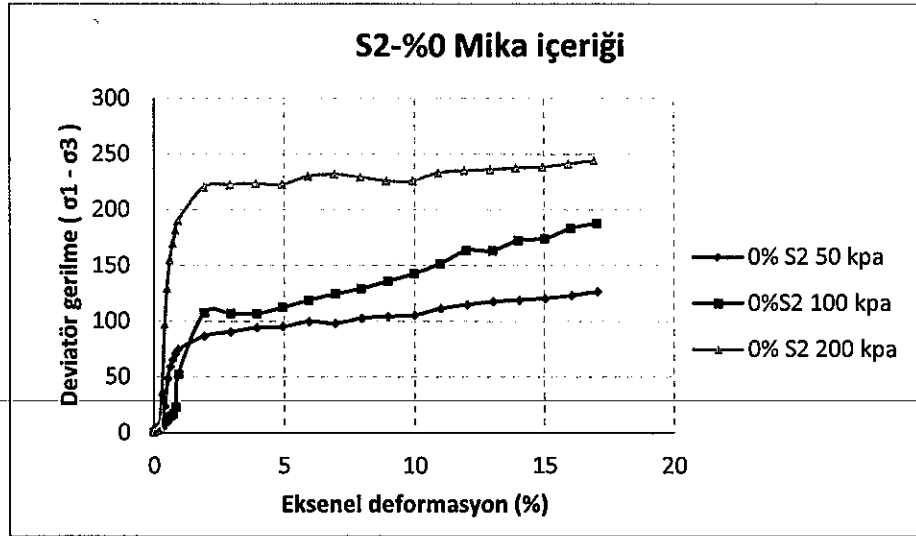
4.2.1. %0 Mika içeriği durumu

30% sıkılıkta hazırlanan kötü derecelenmiş S1, S2 kumları 50, 100, 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncına maruz bırakılarak deviatör gerilme-eksenel deformasyon, boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon değişimleri değerlendirilerek yorumlanmıştır.

4.2.1.1. Deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafikleri

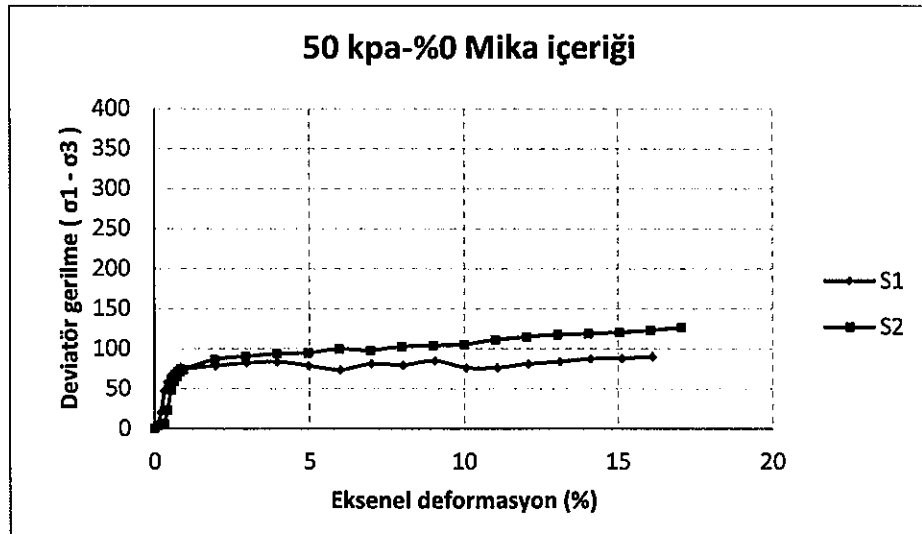
Deviatör gerilme-eksenel deformasyon davranışı, efektif konsolidasyon basıncı ve zemin cinsi değişkenleri için incelenmiştir.

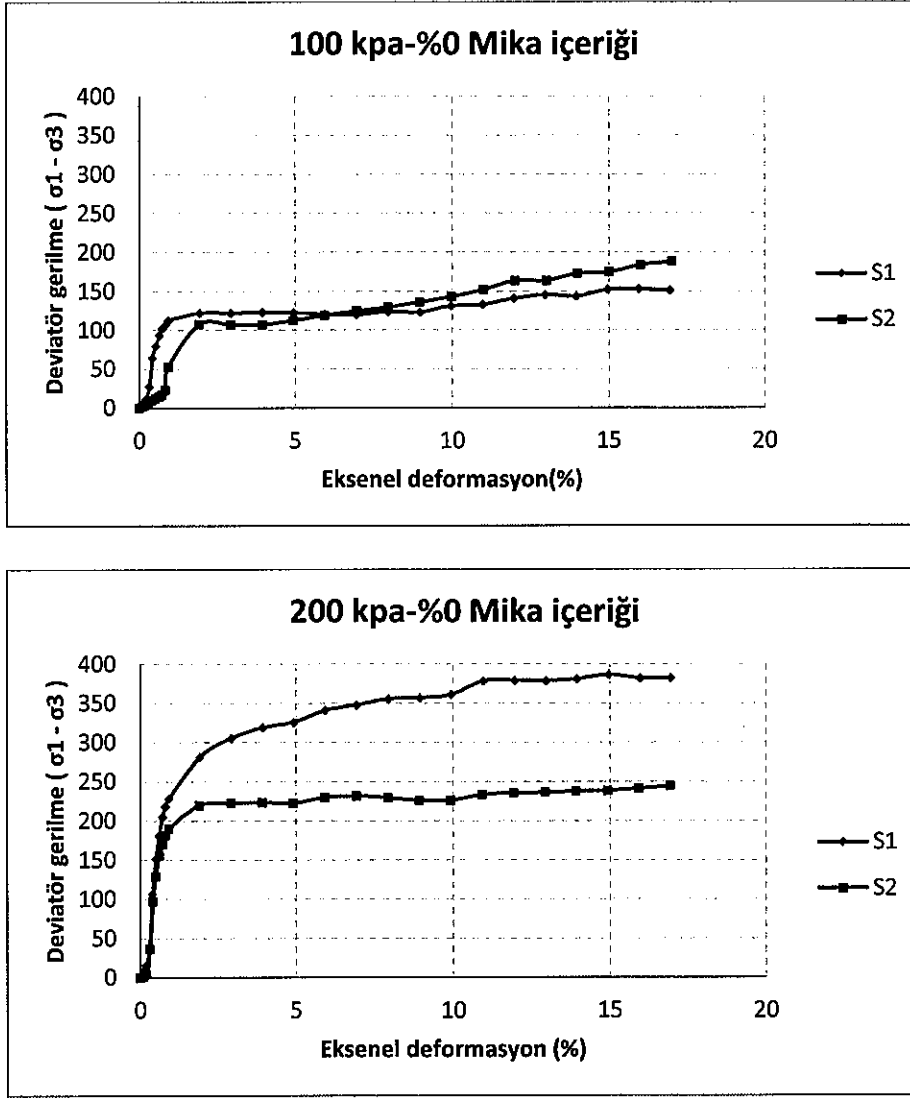




Şekil 4.12. Mikasız durumda sabit zemin cinsi, farklı efektif konsolidasyon basınçları için düzeltilmiş deviator gerilme-eksenel deformasyon davranışları

Zemin cinsi, sıklık ve mika içeriği sabit tutularak efektif konsolidasyon basıncı 50, 100, 200 Kpa olarak değiştirilmiştir. Genel olarak efektif konsolidasyon basıncı arttıkça deviator gerilme artmıştır. S1 numunesi, S2 numunesine oranla efektif konsolidasyon basıncı artışında daha fazla deviator gerilme artışı göstermiştir.



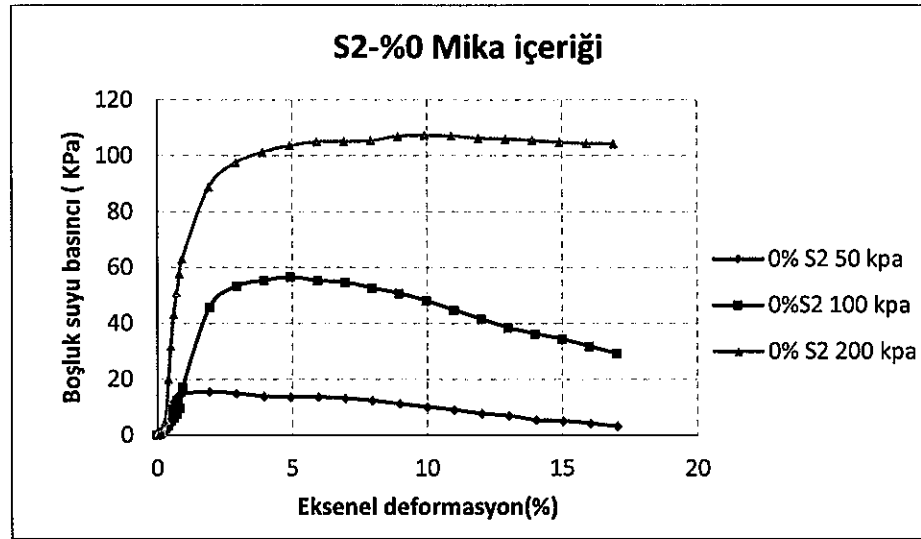
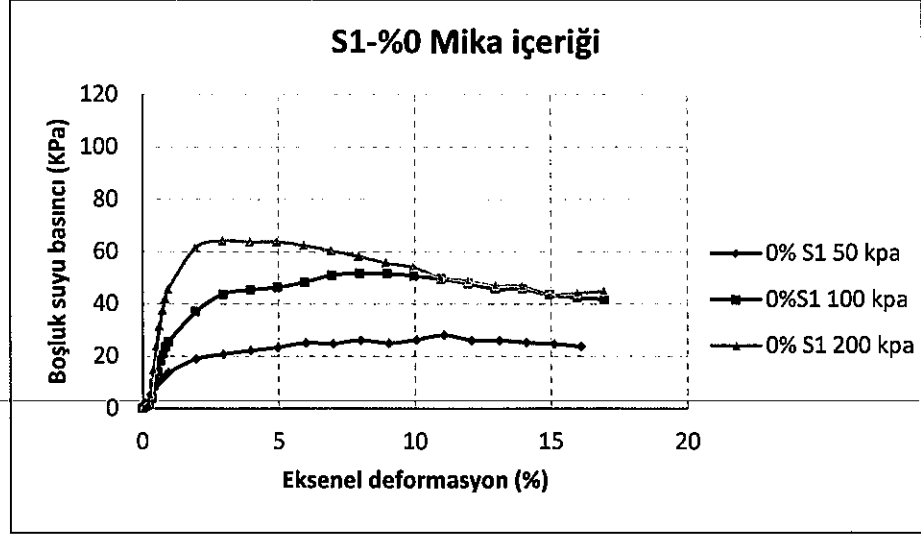


Şekil 4.13. Mikasız durumda sabit efektif konsolidasyon basınçlarında, farklı zemin cinsi için düzeltilmiş deviator gerilme- eksenel deformasyon davranışları. Efektif konsolidasyon basıncı, sıkılık ve mika içeriği sabit tutulup, zemin cinsi S1, S2 olarak değiştirilmiştir. 50 Kpa dışında 100 ve 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncında yapılan deneylerde S1 numunesi S2 numunesinden daha yüksek deviator gerilme değerlerine sahiptir.

Yüksek efektif konsolidasyon basınçlarında deviator gerilme farkı en büyük değerlerine ulaşmıştır.

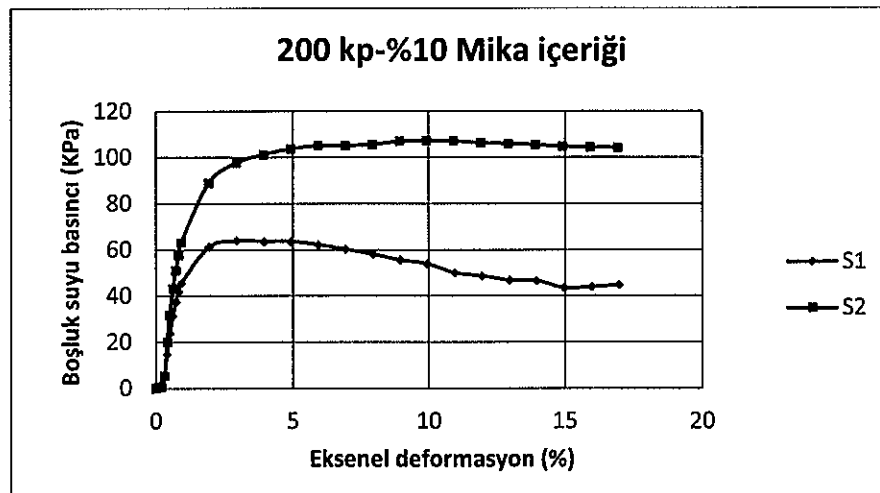
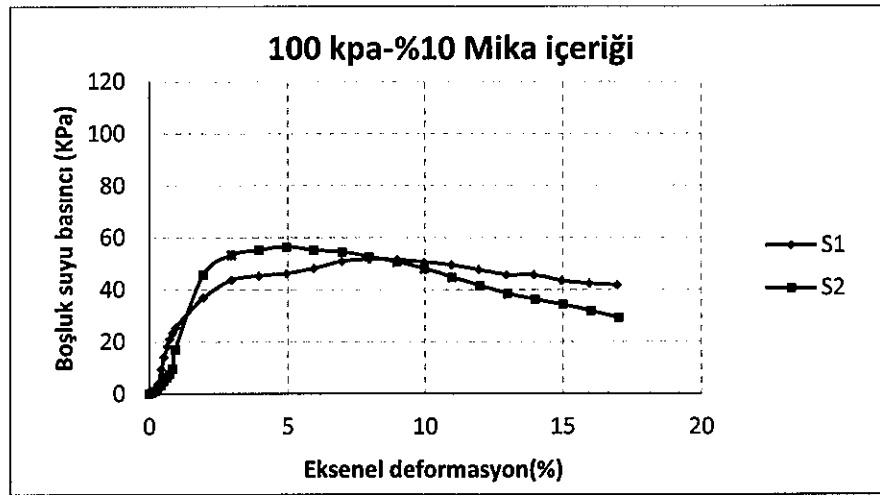
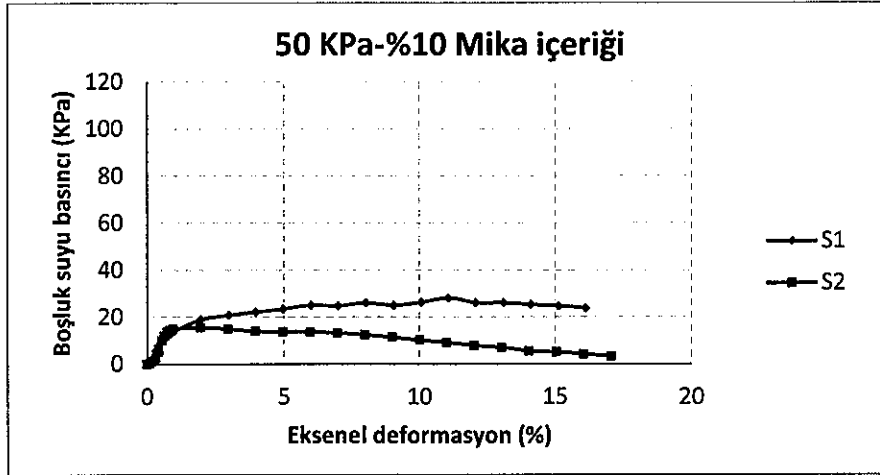
4.2.1.2. Boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon grafikleri

Boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon davranışı, efektif konsolidasyon basıncı ve zemin cinsi değişkenleri için incelenmiştir.



Şekil 4.14. Mikasız durumda sabit zemin cinsinde, farklı efektif konsolidasyon basınçları için boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon davranışları

Görüldüğü üzere her iki S1 ve S2 kumlarla hazırlanan numunelerde efektif konsolidasyon basıncının artması ile boşluk suyu basıncının değişimi artmıştır.



Şekil 4.15.Mikasız durumda sabit efektif konsolidasyon basınçlarında, farklı zemin cinsi için boşluk suyu basıncı- eksenel deformasyon davranışları

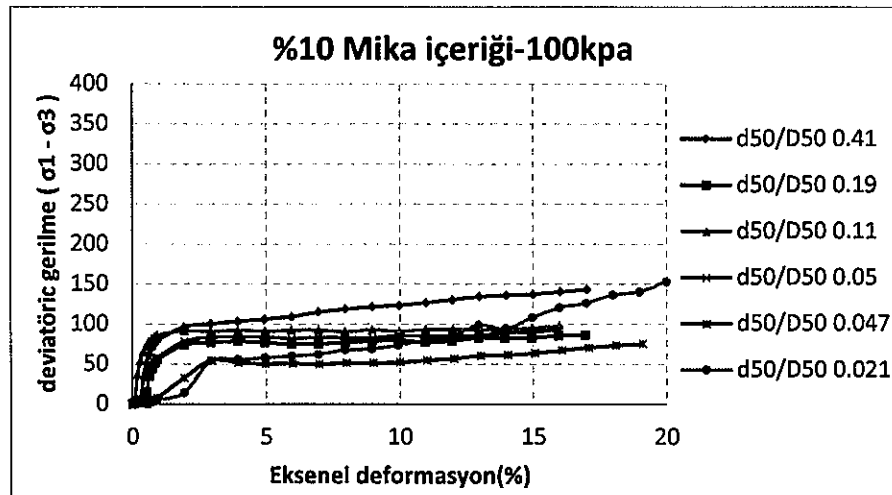
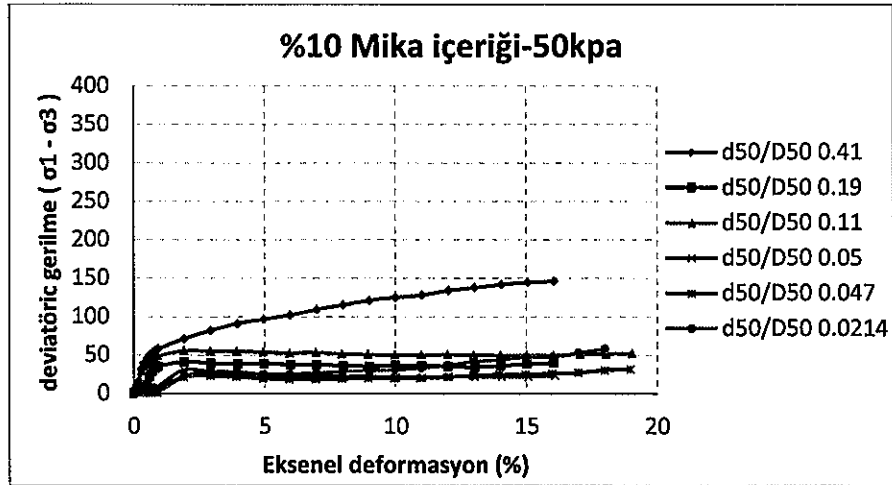
50 Kpa dışında 100 ve 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncında yapılan deneylerde S2 numunesi S1 numunesine göre daha fazla boşluk suyu basıncı değişimi göstermiştir.

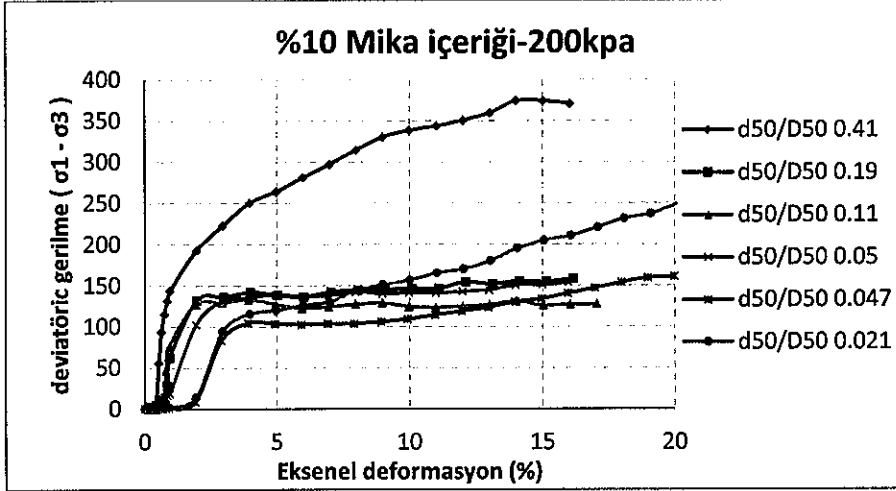
4.2.2. %10 mika içeriği durumu

%30 sıklıkta S1, S2 kumları %10 üç farklı mika türü ile izotropik olarak karıştırılarak 50, 100, 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncı etkisinde, deviatör gerilme-eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon değişimleri incelenerek yorumlanmıştır.

4.2.2.1. Deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafikleri

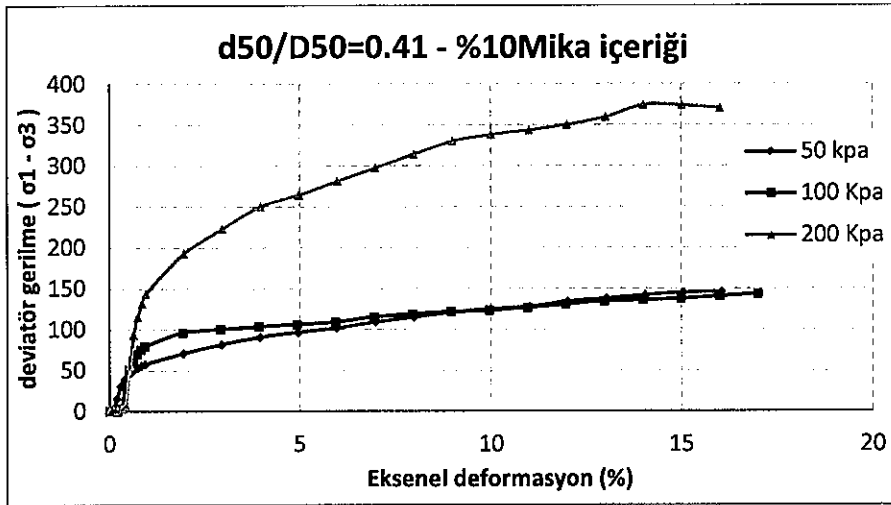
%10 mika içeriği durumunda deviatör gerilme-eksenel deformasyon basıncı zemin cinsi ve mika cinsi değişkenleri için incelenmiştir.

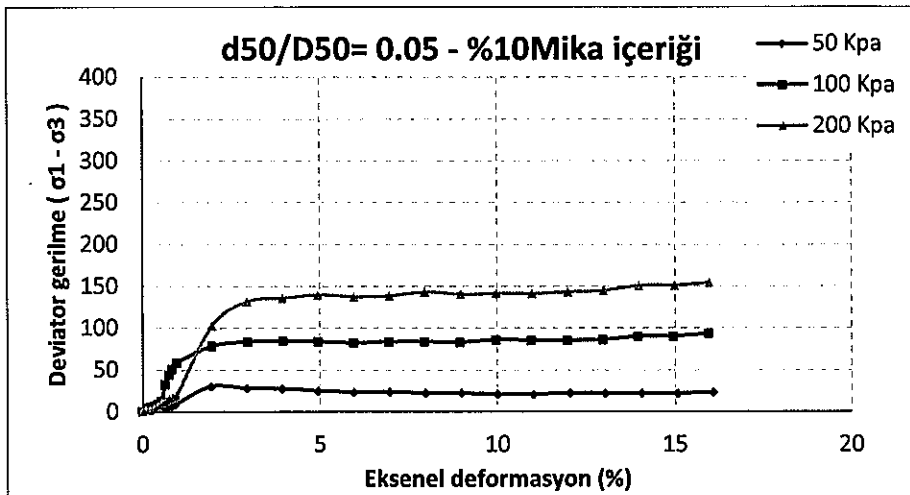
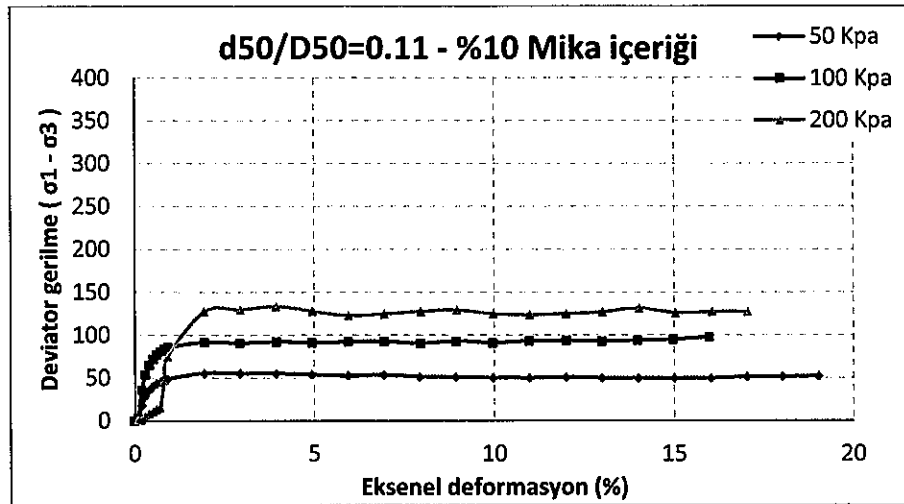
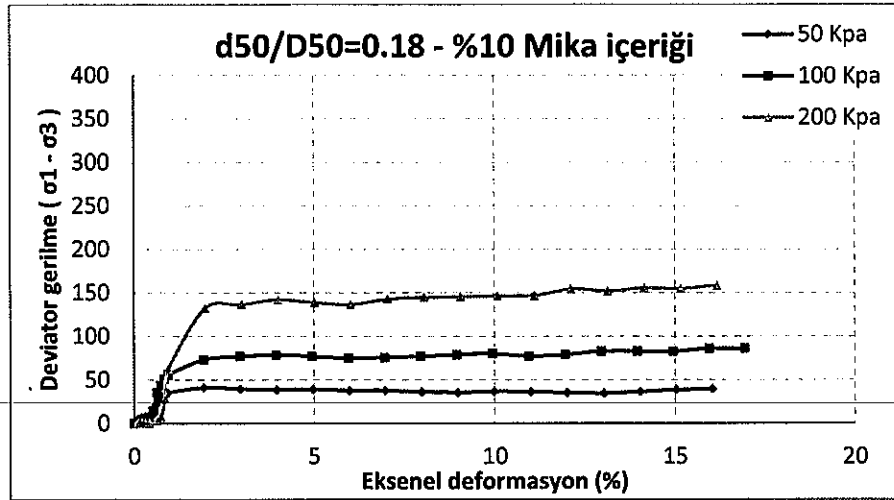


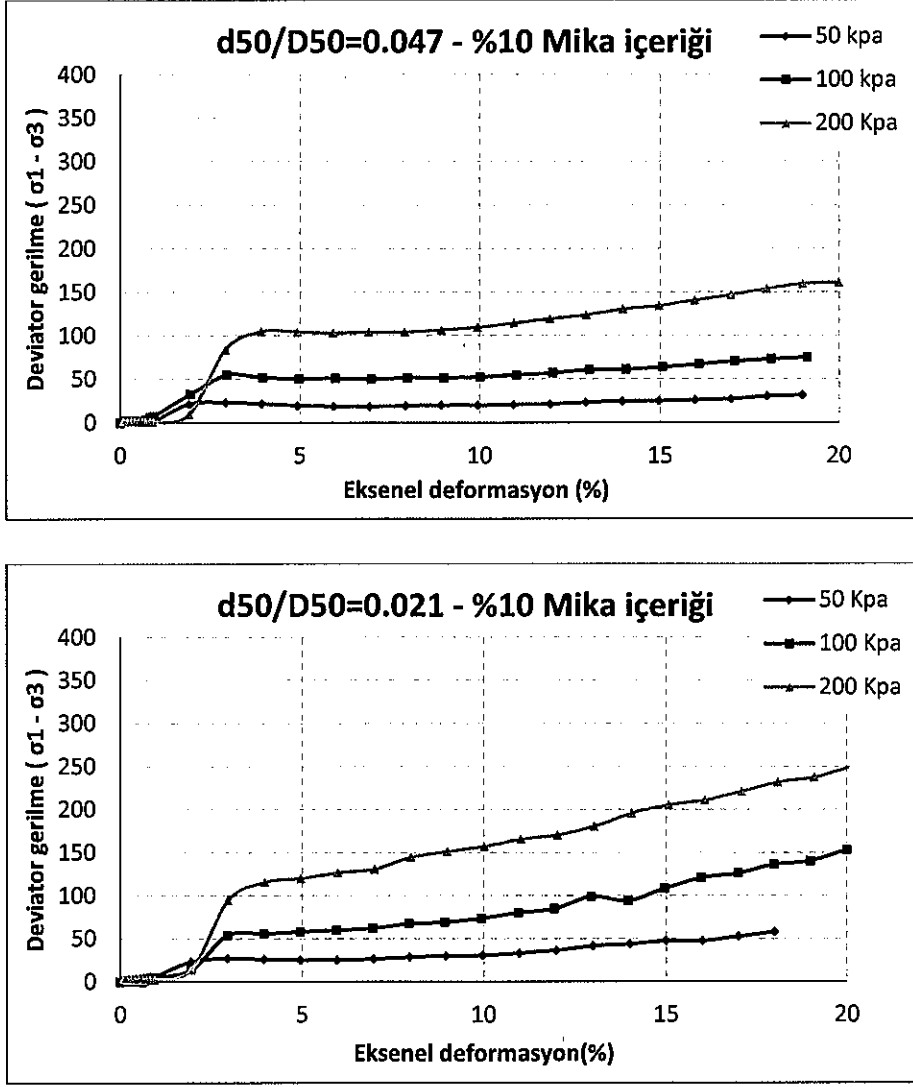


Şekil 4.16.%10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon basıncında, farklı d50/D50 oranları için deviatör gerilme - eksenel deformasyon davranışları.

Sıkılık, efektif konsolidasyon basıncı ve mika içeriği sabit tutulup zemin cinsi ve mika cinsi değiştirilmiştir. Genel olarak yüksek D/L değerlerine sahip numuneler daha yüksek deviator gerilme değerlerine sahiptirler. D/L oranı düşük değerler aldıkça numunelerin deviator gerilme değerleri arasındaki fark görüldüğü gibi azalmaktadır, mikasız durumla kıyasen deviator gerilme değerlerinde ortalama %25 bir düşüş görülmektedir.





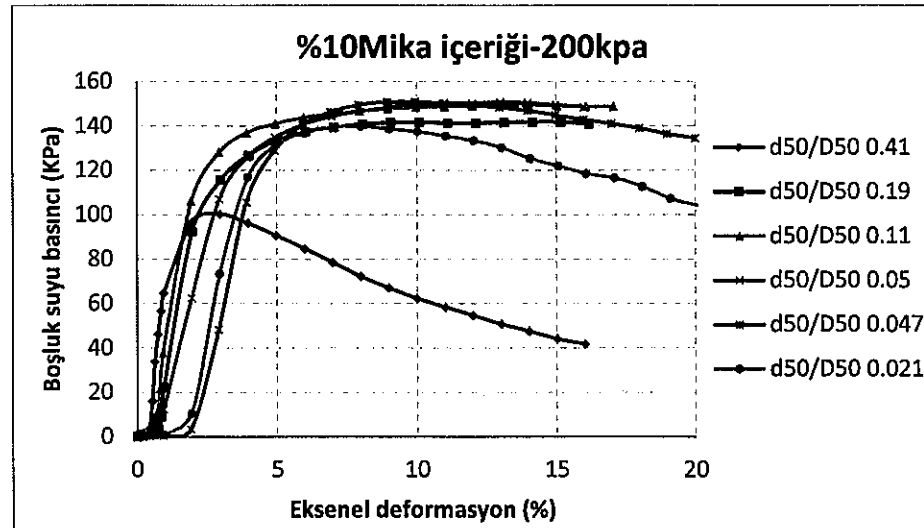
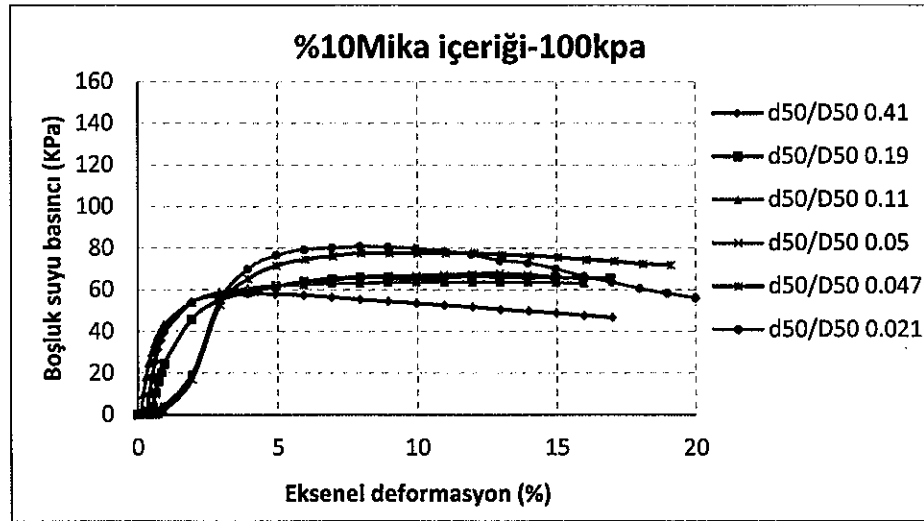
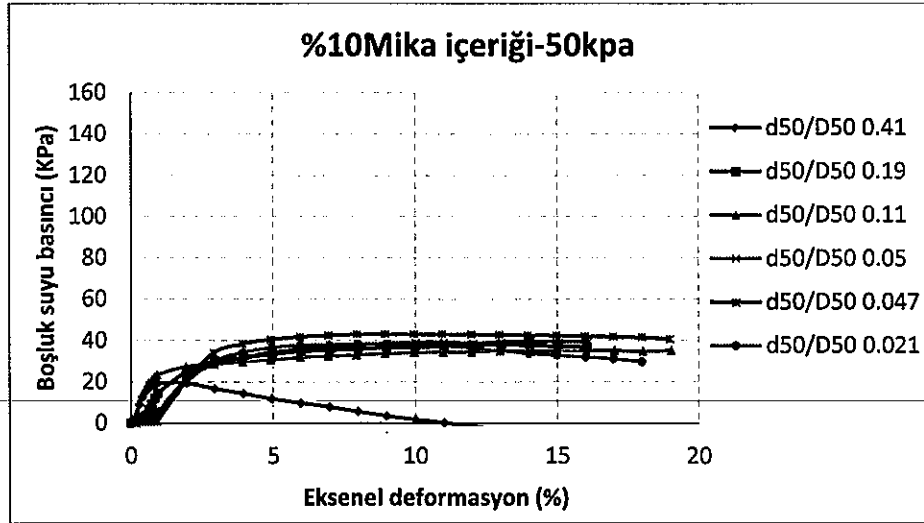


Şekil 4.17.%10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri, sıklık ve d50/D50 oranlarında, farklı efektifkonsolidasyon basıncı için deviatör gerilme - eksenel deformasyon davranışları

Sıklık, efektif konsolidasyon basıncı ve mika içeriği sabit tutulup zemin ve mikaların dane dağılımları değiştirilerek farklı D/L oranlarında numuneler elde edilmiştir. Genel olarak efektif konsolidasyon basıncı arttıkça deviatör gerilme artmıştır.

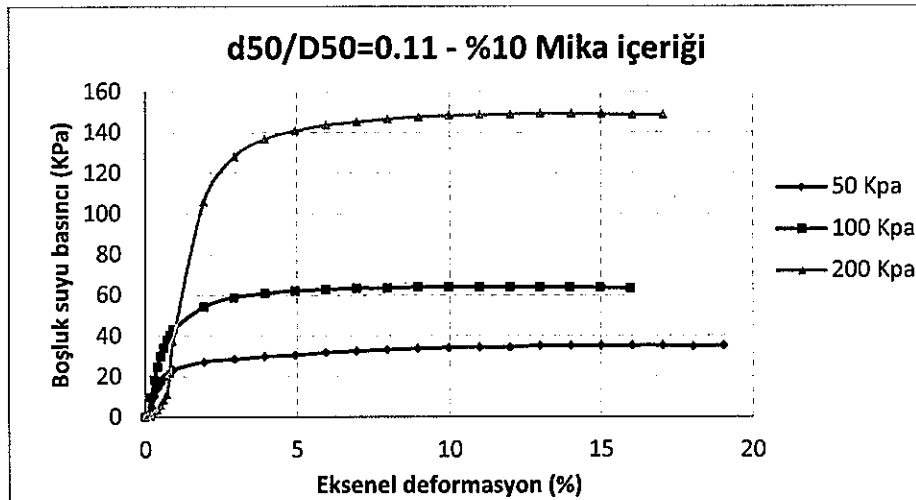
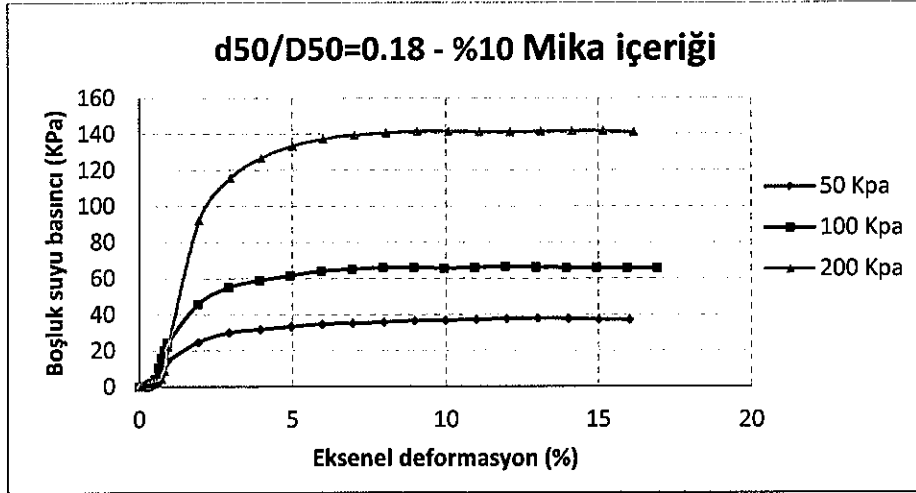
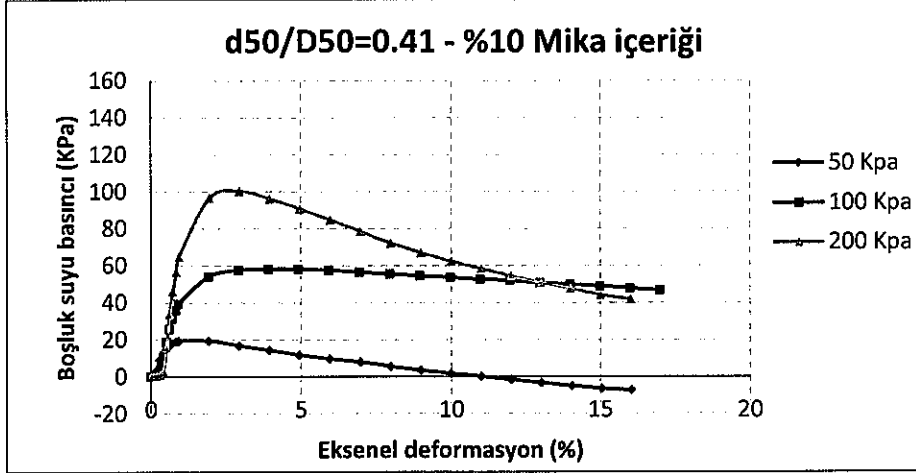
4.2.2.2. Boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon grafikleri

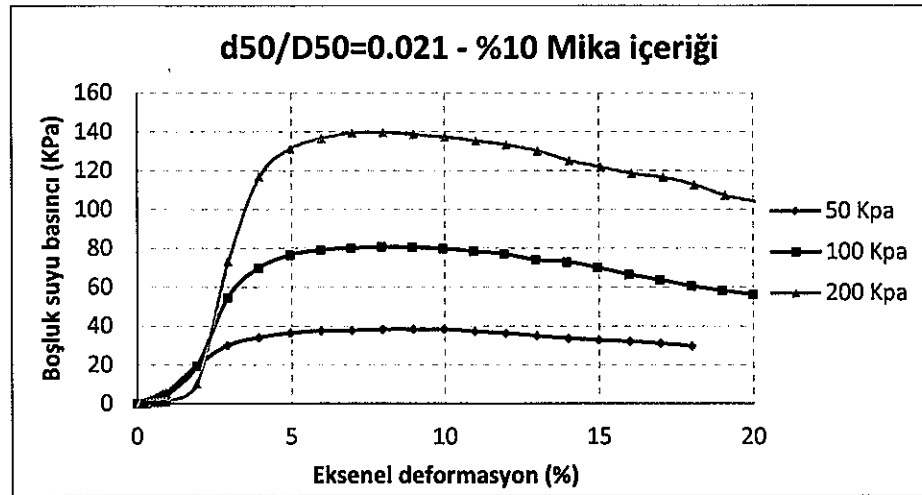
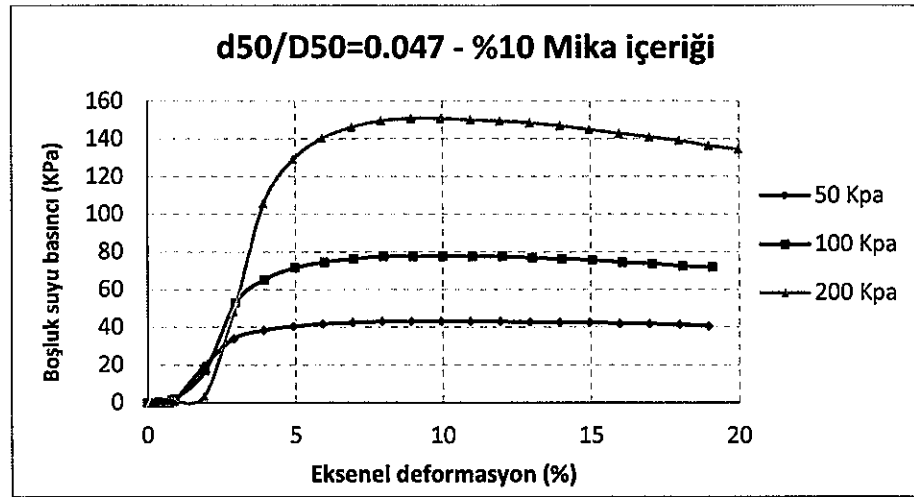
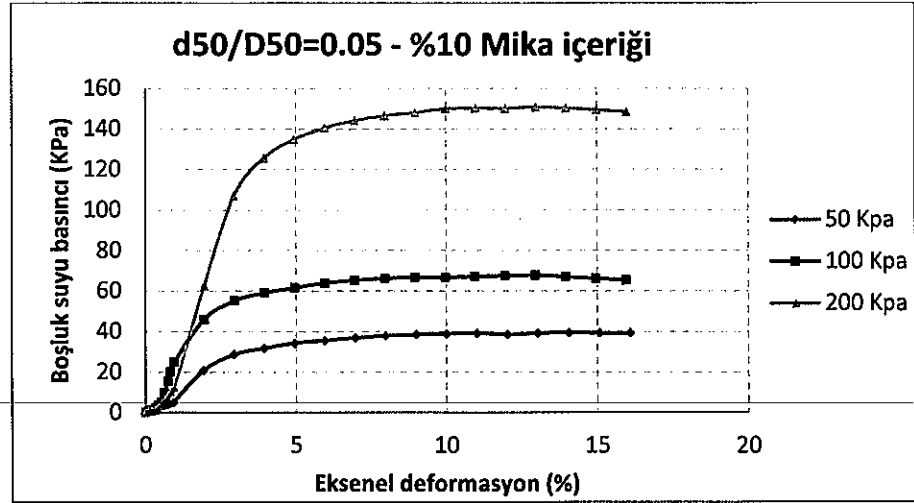
%10 içeriği durumunda, boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon davranışı efektif konsolidasyon basıncı, zemin ve mika türleri (D/L) değişkenleri için incelenmiştir.



Şekil 4.18.%10 Mika içeriği durumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon basıncında, farklı d50/D50 oranları için boşluk suyu basıncı - eksenel deformasyon davranışları.

d_{50}/D_{50} değerlerinin birbirine yakın olduğu için ve deneylerimizin düşük olduğu için d_{50}/D_{50} nin 0.41 - 0.11 ve 0.021 değerleri ele alınarak yukardaki grafikler yorumlanmıştır. Grafiklere bakıldığında 50 -100 ve 200 Kpa çevre basınçları altında d_{50}/D_{50} değeri arttıkça boşluk suyu basıncı değişimleri düşük değerler almaktadır.





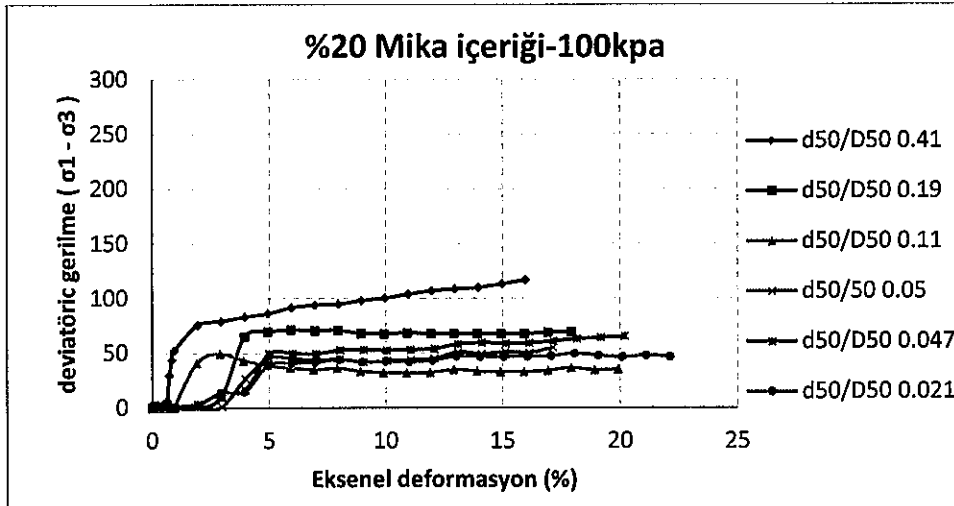
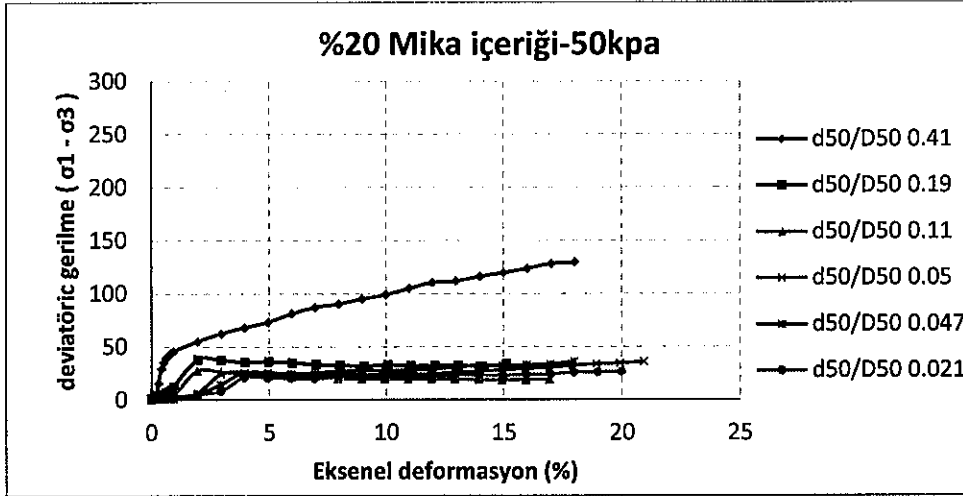
Şekil 4.19. %10 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve d50/D50 oranlarında, farklı efektif konsolidasyon basıncı için boşluk suyu basıncı - eksenel deformasyon davranışları.

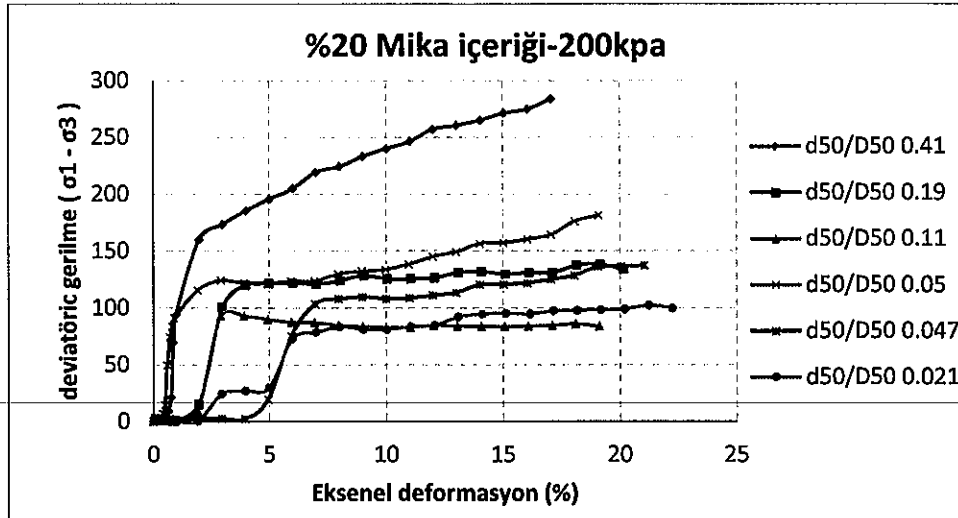
10% Mika içeriğindeki farklı d_{50}/D_{50} değerleri göz önüne alınarak boşluk suyu basıncının değişimi farklı çevre basınçları altında değerlendirilmiş ve çevre basınçları 50 – 100 ve 200 Kpa olarak artması ile boşluk suyu basıncı değişimlerinde yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır.

4.2.3. %20 mika içeriği durumu

Aynı sıklıkta ve farklı d_{50}/D_{50} oranlarında hazırlanmış %20 mika içeren numuneler, 50, 100, 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncı etkisinde deviatör gerilme-eksenel deformasyon ve boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon değişimleri incelenerek yorumlanmıştır.

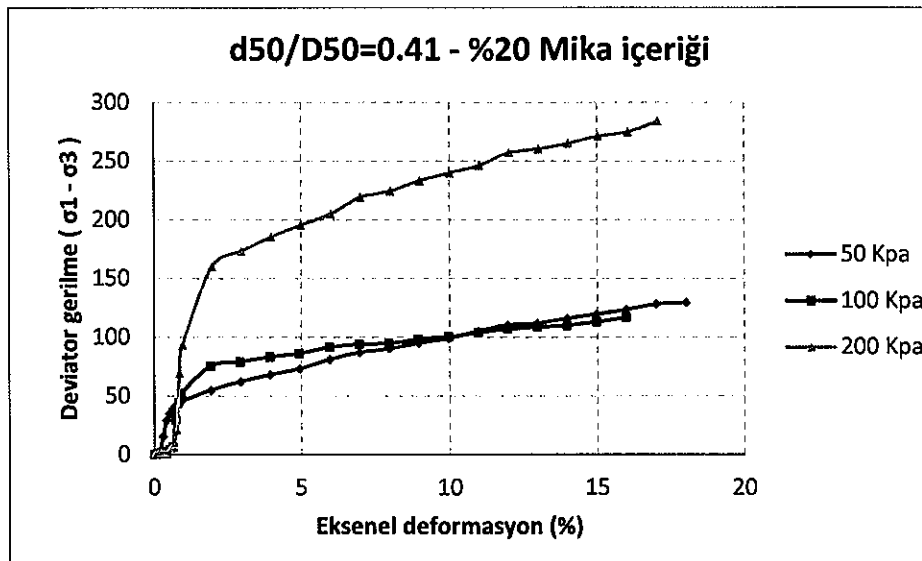
4.2.3.1. Deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafikleri

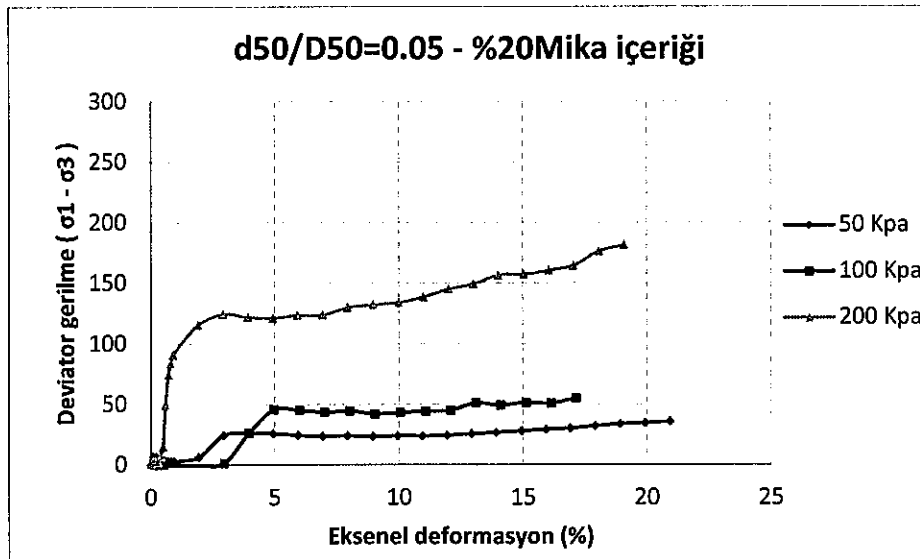
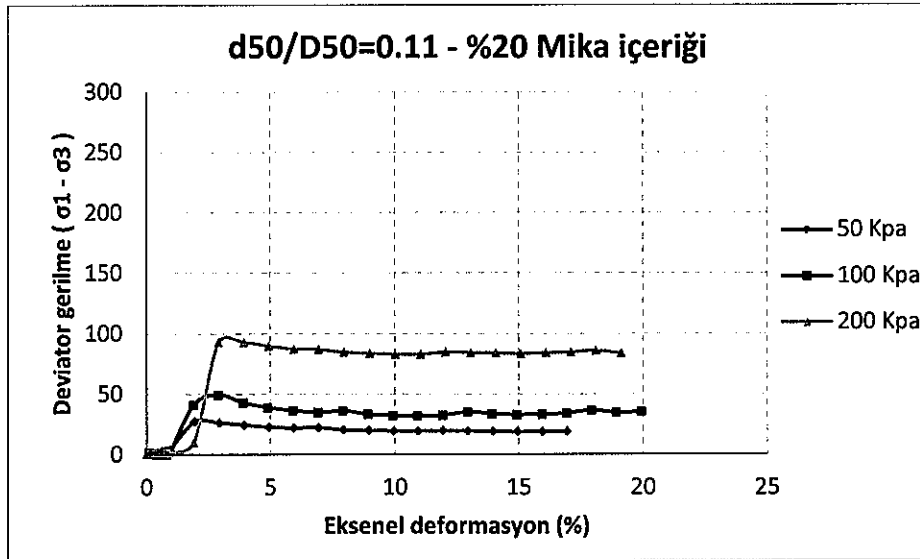
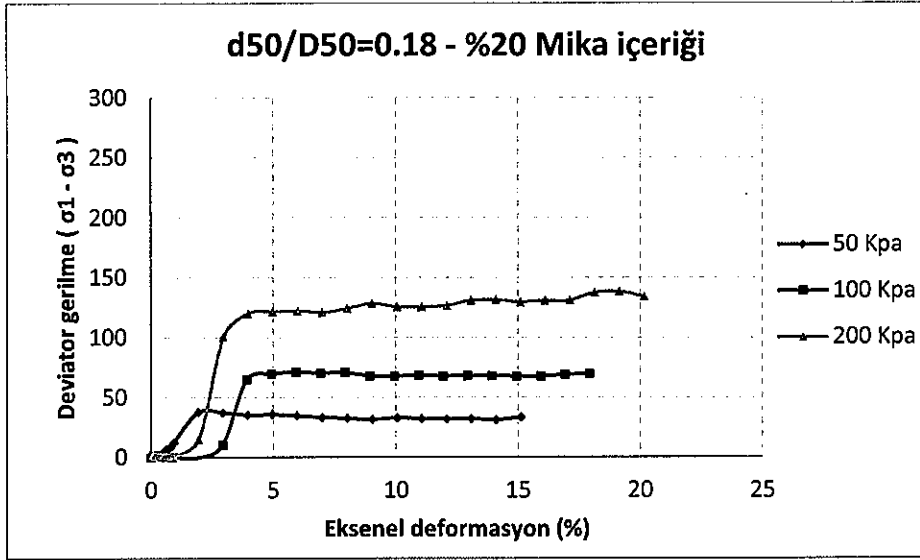


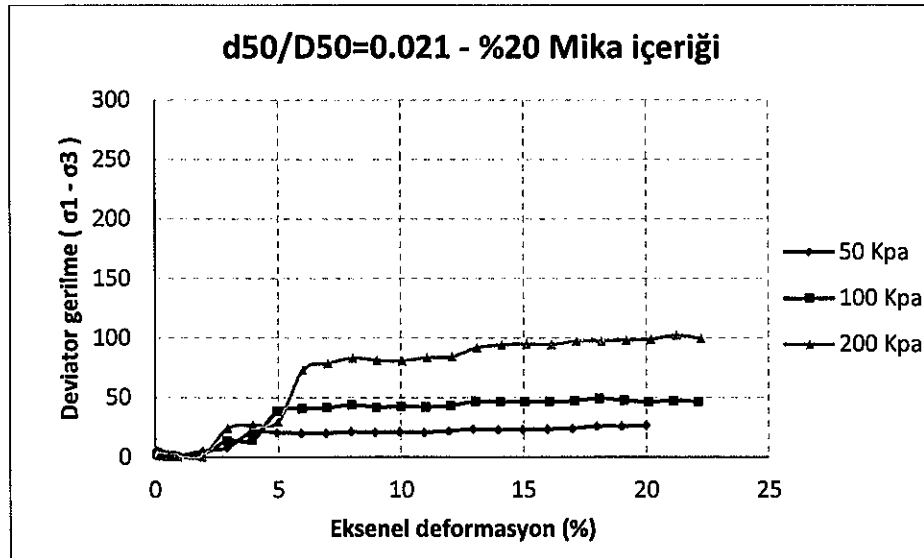
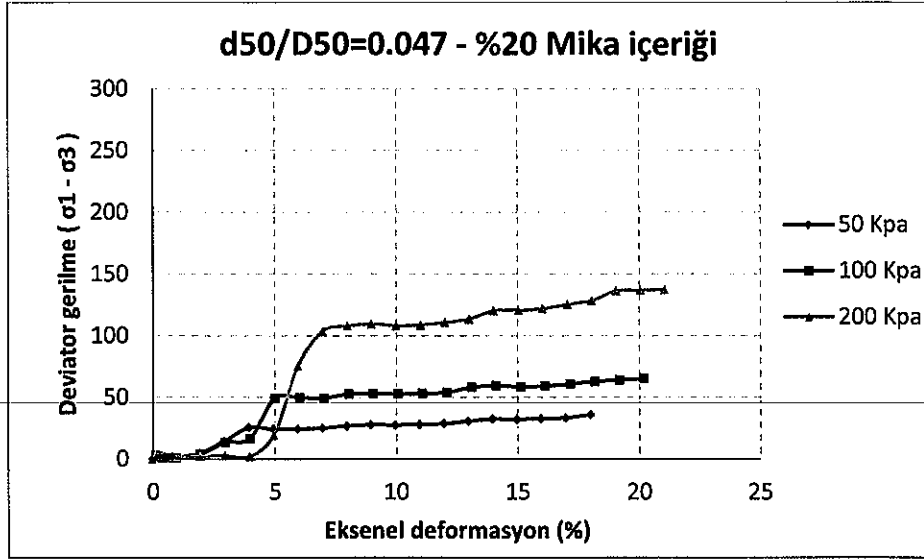


Şekil 4.20.%20 Mika içeriğidurumunda sabit efektif konsolidasyon basıncında, farklı d50/D50 oranları için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.

Genel olarak yüksek d50/D50 değerlerine sahip numuneler diğer numunelerden daha yüksek deviator gerilme değerlerine sahiptirler.Mikasız ve %10 mika içeriğindeki duruma oranla %20 mika içeriğindeki numuneler arasındaki dayanım farkı%10 la kıyaslandığında yaklaşık olarak % 25-30 azalmıştır.





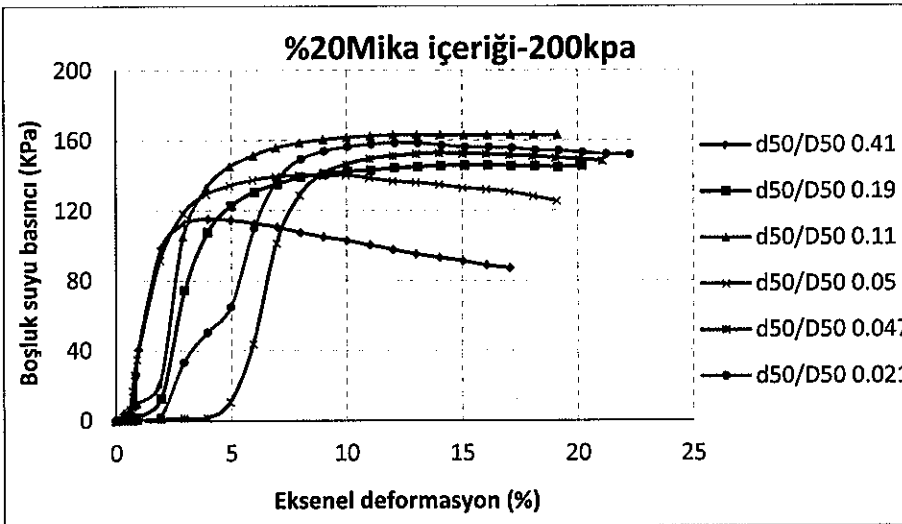
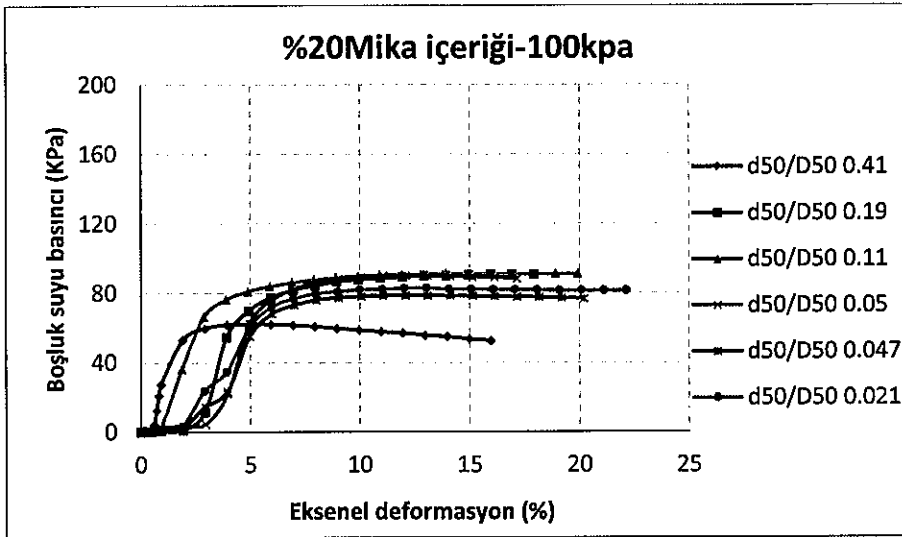
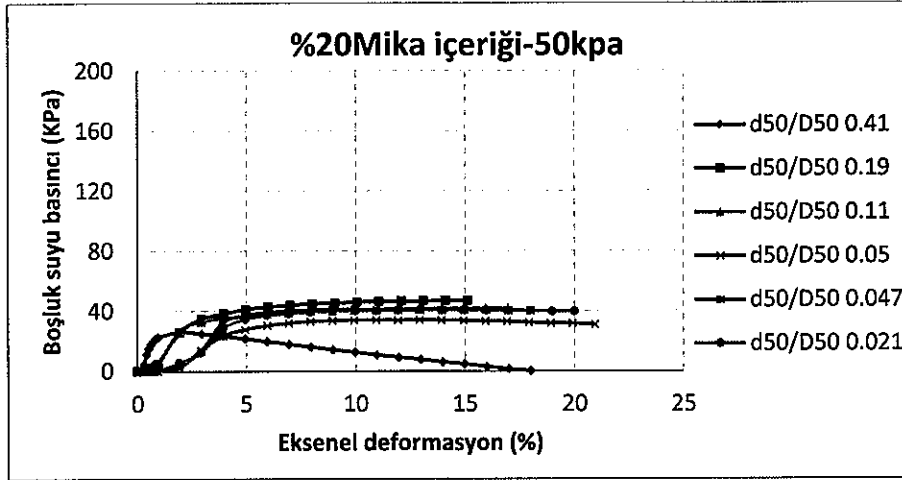


Şekil 4.21. %20 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri, sıklık ve d50/D50 oranlarında, farklı efektif konsolidasyon basıncı için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.

Zemin cinsi, sıklık ve mika içeriği sabit tutulup efektif konsolidasyon basıncı 50, 100, 200 Kpa olarak değiştirilmiştir. Genel olarak efektif konsolidasyon basıncı arttıkça deviator gerilme artmıştır.

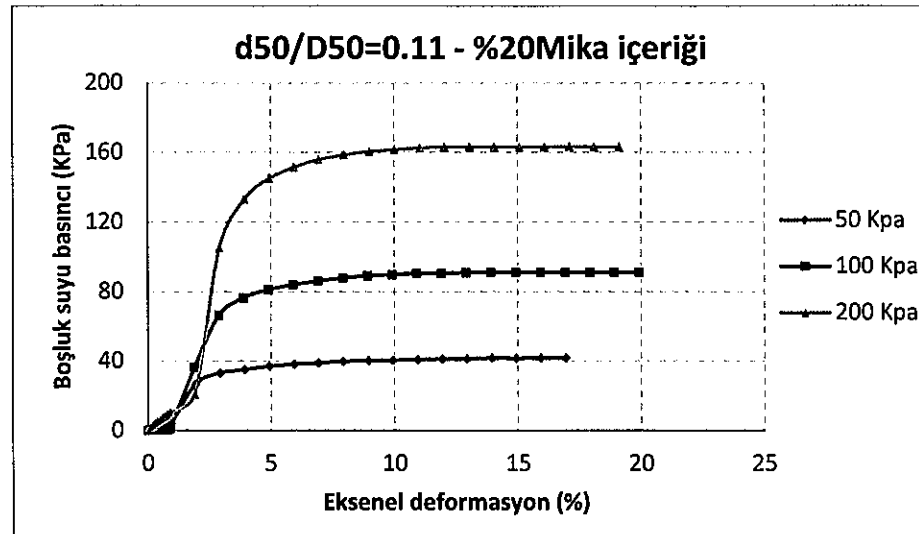
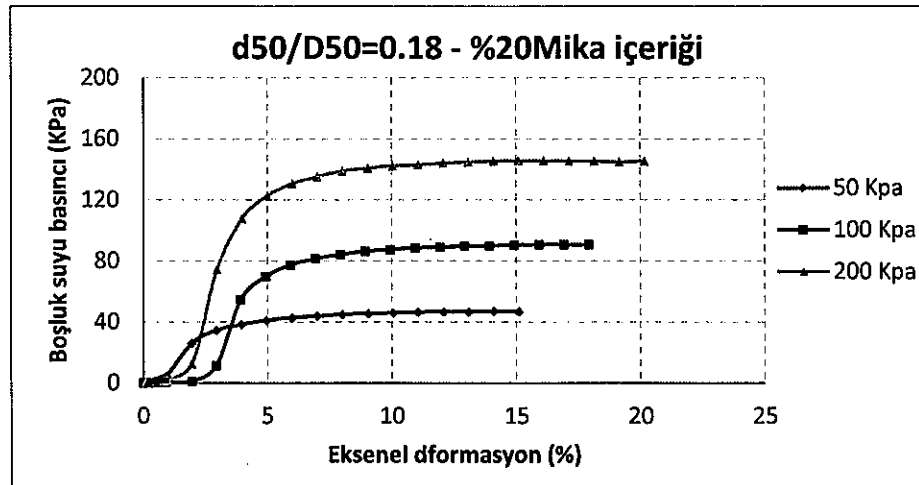
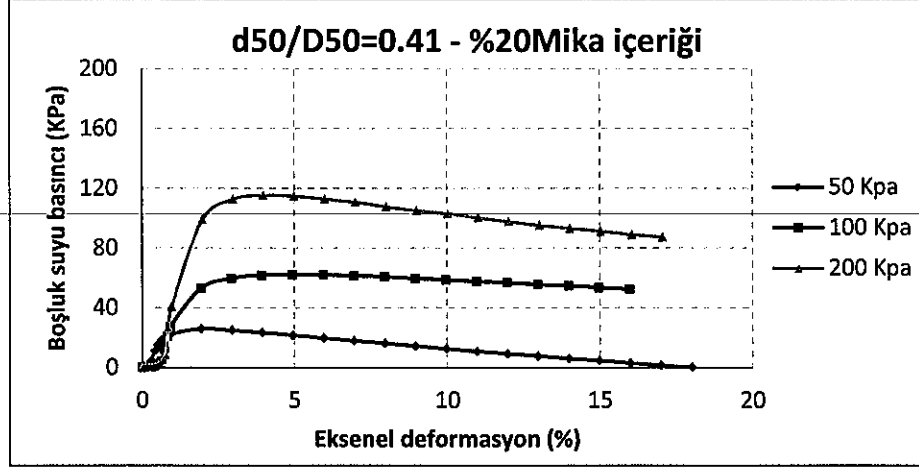
4.2.3.2. Boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon grafikleri

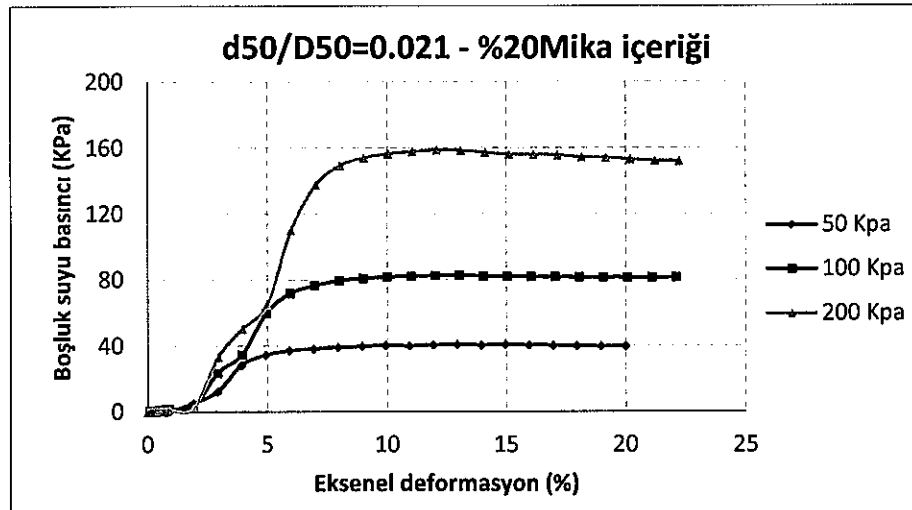
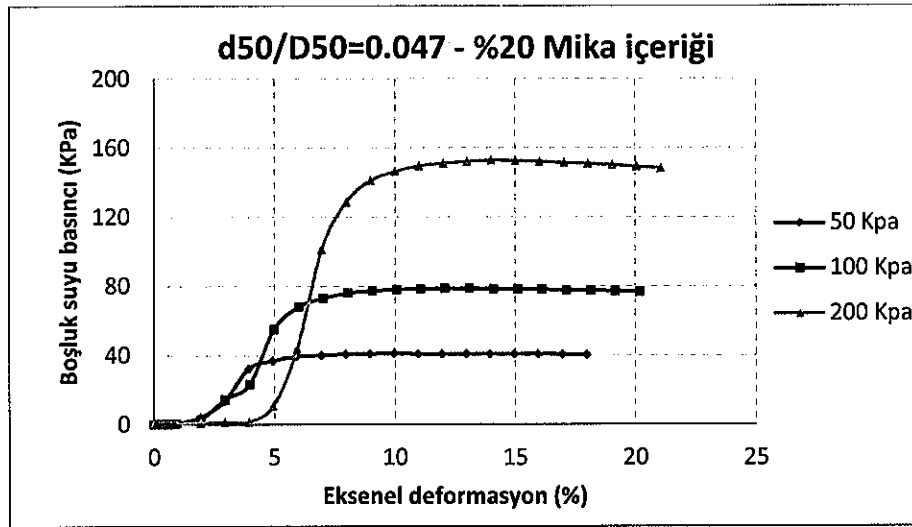
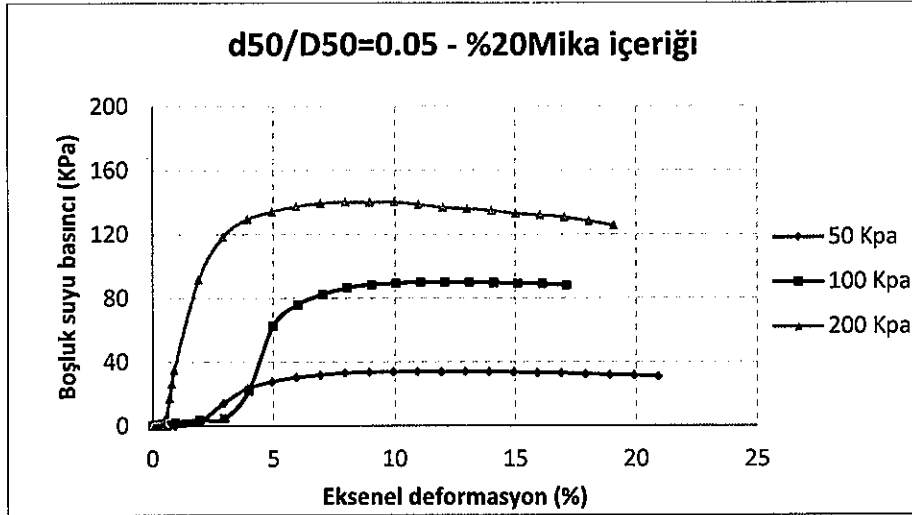
%20 mika içeriğindeki durumda boşluk suyu basıncı-eksenel deformasyon davranışı efektif konsolidasyon basıncı, zemin ve mika cinsi (d50/D50) değişkenleri için incelenmiştir.



Şekil 4.22.%20 Mika içeriğidurumunda sabit zemin cinsleri ve efektif konsolidasyon basıncında, farklı d50/D50 oranları için boşluk suyu basıncı - eksenel deformasyon davranışları.

%20 mika içeriği durumu için bir önceki (%10 mika içeriği) durumdaki gibi bir yorum yapılabilir. Grafikler incelendiğinde 50 -100 ve 200 Kpa çevre basınçları altında d_{50}/D_{50} değeri arttıkça boşluk suyu basıncı değişimleri düşük değerler almaktadır.

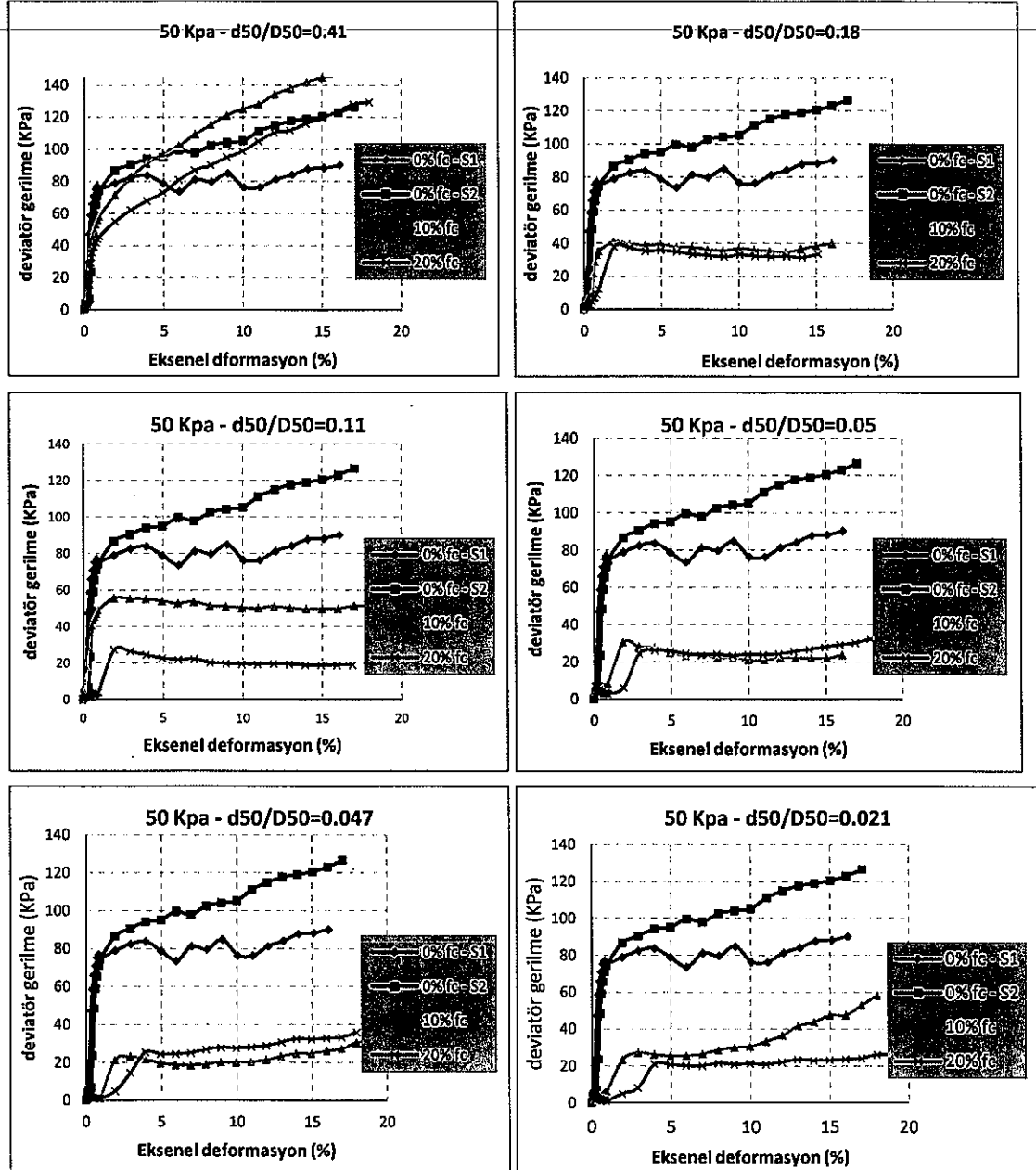




Şekil 4.23.%20 Mika içeriği durumunda sabit zemin cinsleri ve d_{50}/D_{50} oranlarında, farklı efektif konsolidasyon basıncı için boşluk suyu basıncı - eksenel deformasyon davranışları.

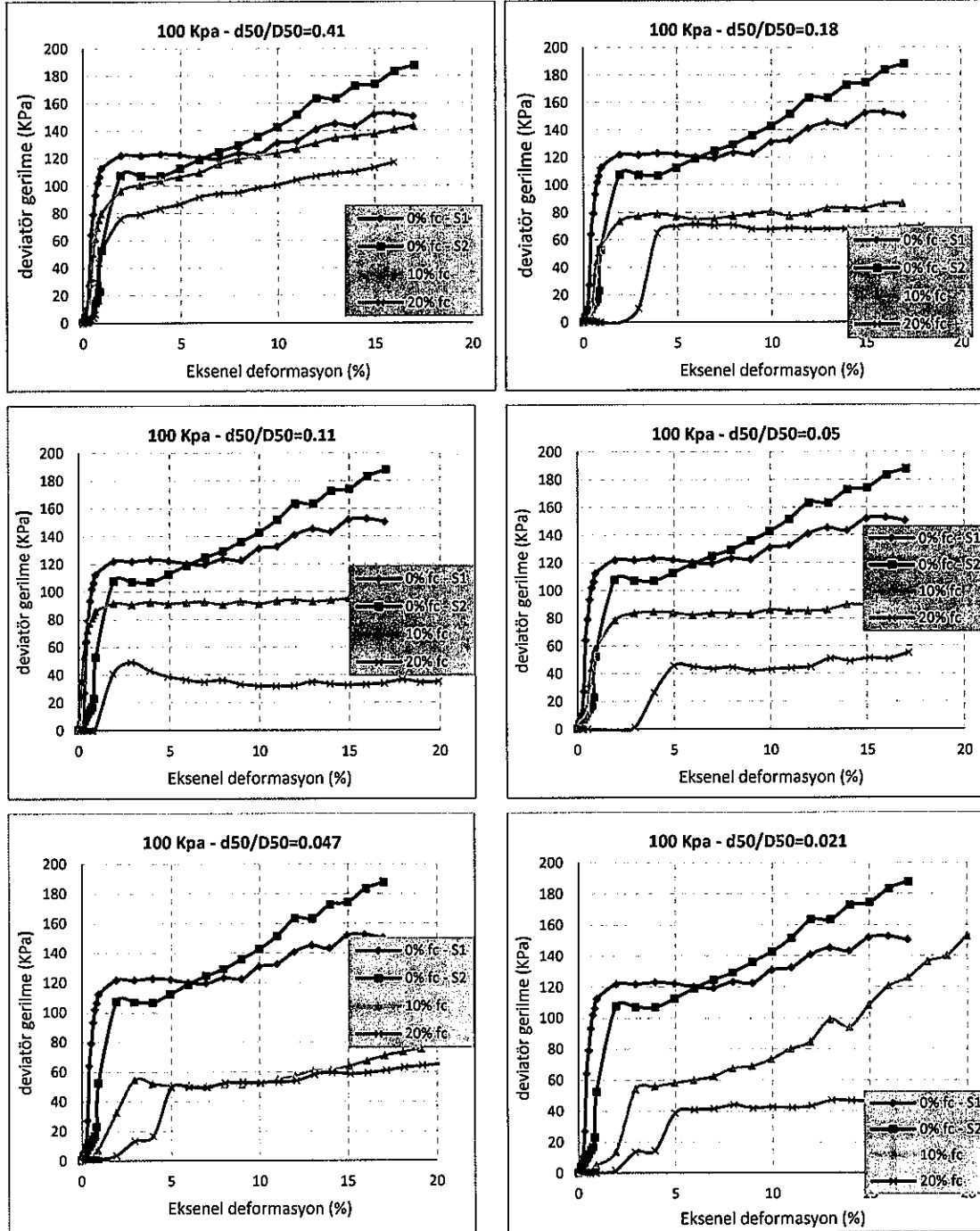
Bir önceki duruma benzer olarak %20 mika içeriğindeki farklı d_{50}/D_{50} değerleri göz önüne alınarak boşluk suyu basıncının değişimi farklı çevre basınçları altında değerlendirilmiş ve çevre basınçları 50 – 100 ve 200 Kpa olarak artması ile boşluk suyu basıncı değişimlerinde yaklaşık olarak iki katına yükselmiştir.

4.2.4. %0- 10 ve 20 mika içeriği durumu karşılaştırılması

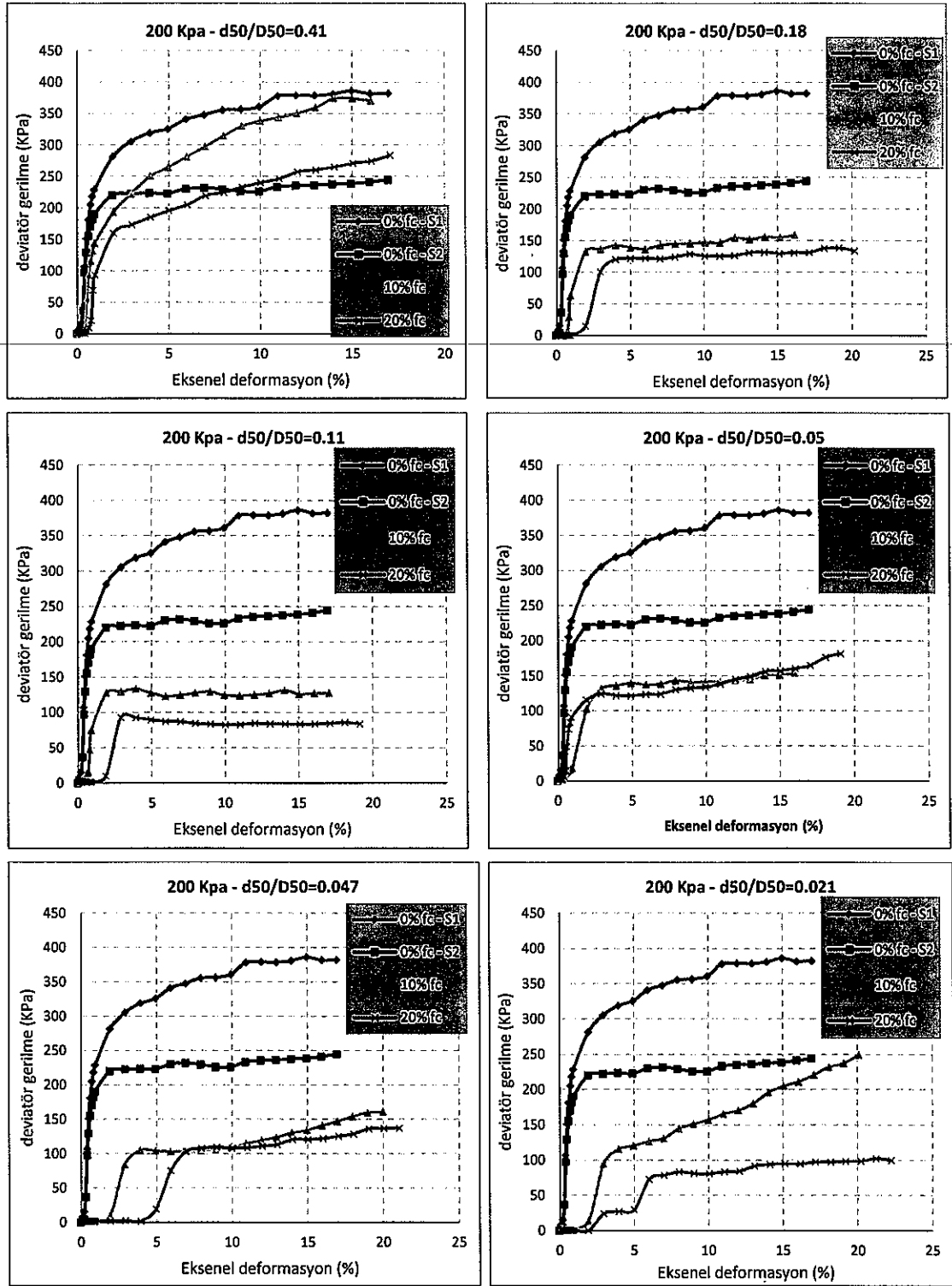


Şekil 4.24.farklı d_{50}/D_{50} oranlarındaki kumun, 50 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.

%30 sıkılıktaki kumun 50 kpa efektif konsolidasyon basıncı altındaki %10 mika içeriği durumda deviator gerilme değeri, mikasız duruma göre yaklaşık olarak % 50-60 düşmüştür. Şekil4.24. Mika içeriği aynı koşullarda %20 seviyesine çıkartıldığında gerilme değerlerindeki düşüş miktarı çok azalmıştır.

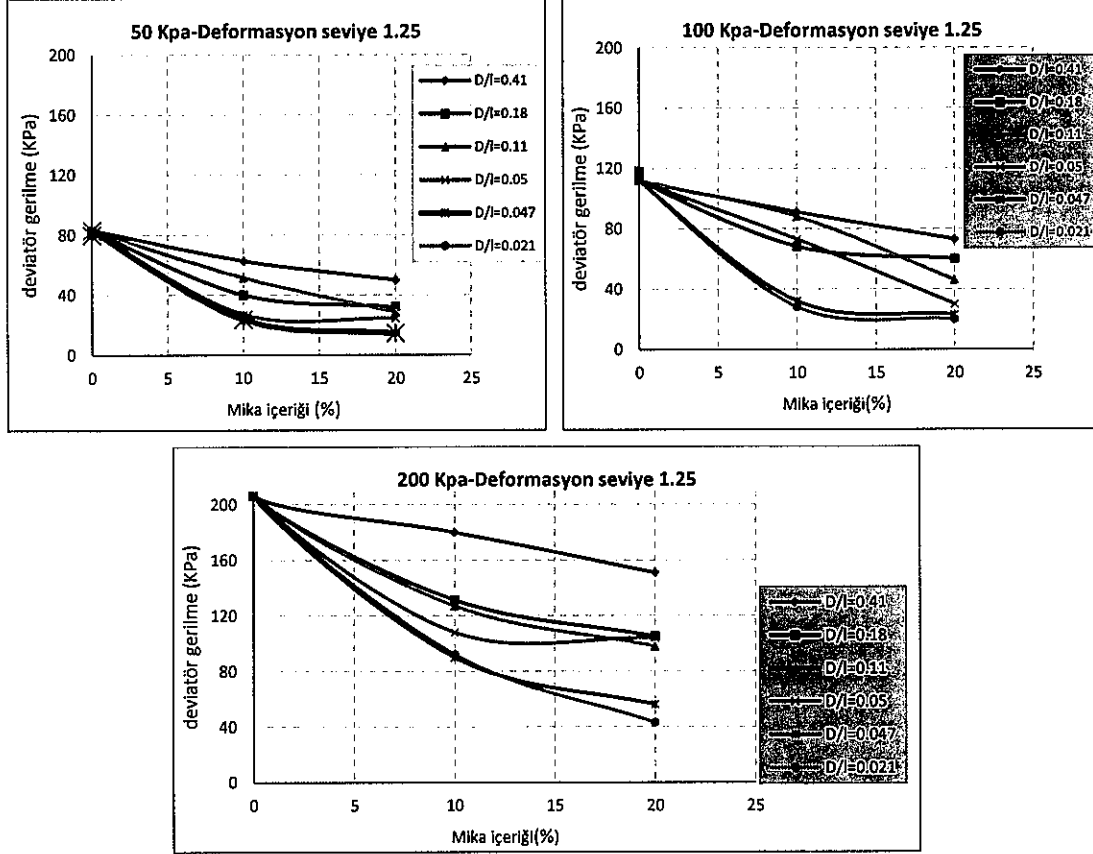


Şekil 4.25.farklı d_{50}/D_{50} oranlarındaki kumun, 100 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.



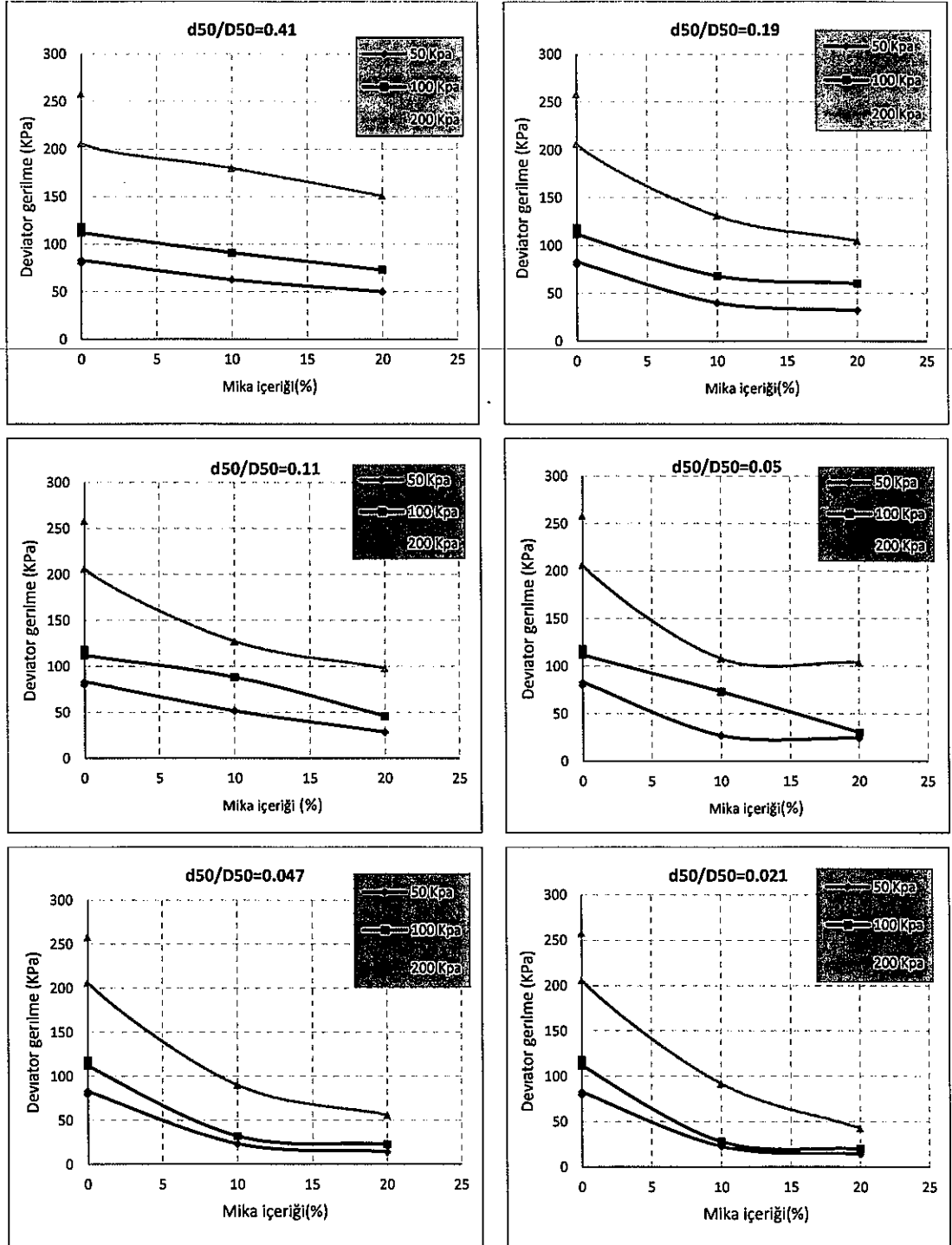
Şekil 4.26.farklı d_{50}/D_{50} oranlarındaki kumun, 50 kPa efektif konsolidasyon basıncı altında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme - eksenel deformasyon davranışları.

Numunelerin 100 ve 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncı altındaki %10 ve %20 mika içeriği durumundaki deviator gerilme değeri mikasız duruma göre 50 Kpa durumundakine benzer olarak davranış göstermektedir,



Şekil 4.27.sabit konsolidasyon basıncı altında, sabit eksenel deformasyonda, mikasız, %10 mikali ve %20 mikali durum için deviator gerilme değerlerinin değişimi.

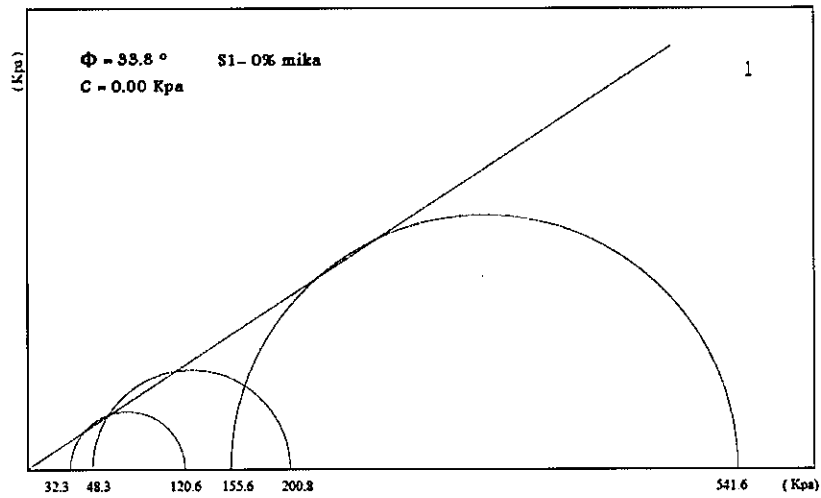
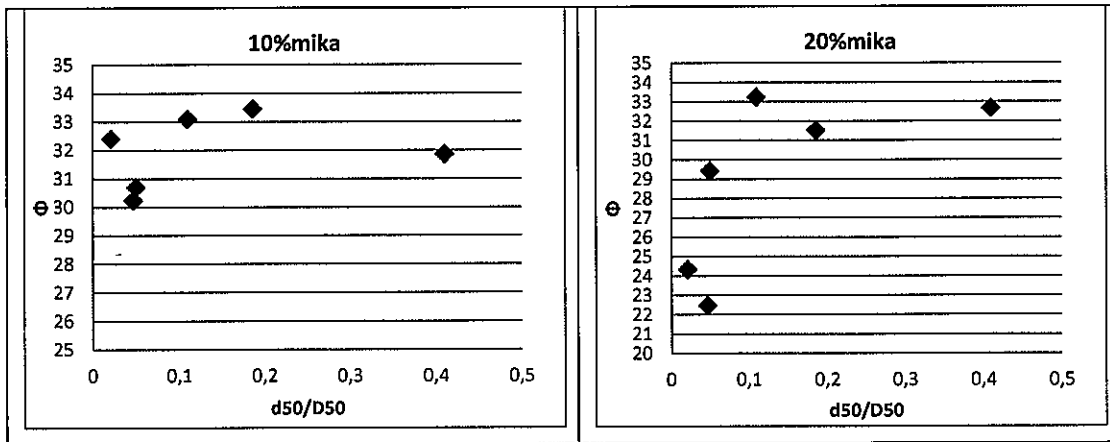
%30 sıklıktaki numuneler düşük efektif konsolidasyon basıncı etkisinde, mika içeriği artışından yüksek konsolidasyon basıncı etkisine oranla daha az etkilenmişlerdir. Örneğin numuneler 50 kPa efektif konsolidasyon basıncı etkisi altında iken mikasız duruma oranla %10 mika içeriği durumunda %30 dayanım azalması gösterirken, 200 Kpa efektif konsolidasyon basıncı etkisi altında bu azalma miktarı %60a kadar artmaktadır. d_{50}/D_{50} oranının artması ile mika içeriğinin numuneler üzerindeki etkisi azalma göstermektedir.Şekil 4.27.

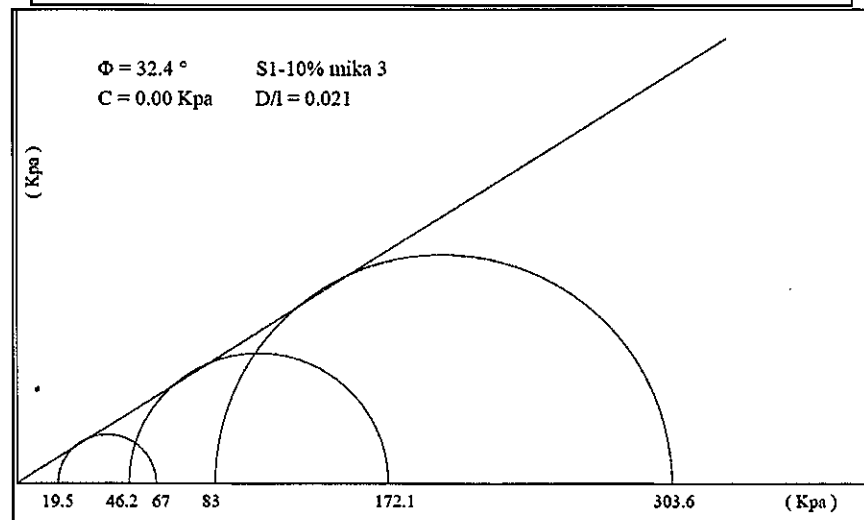
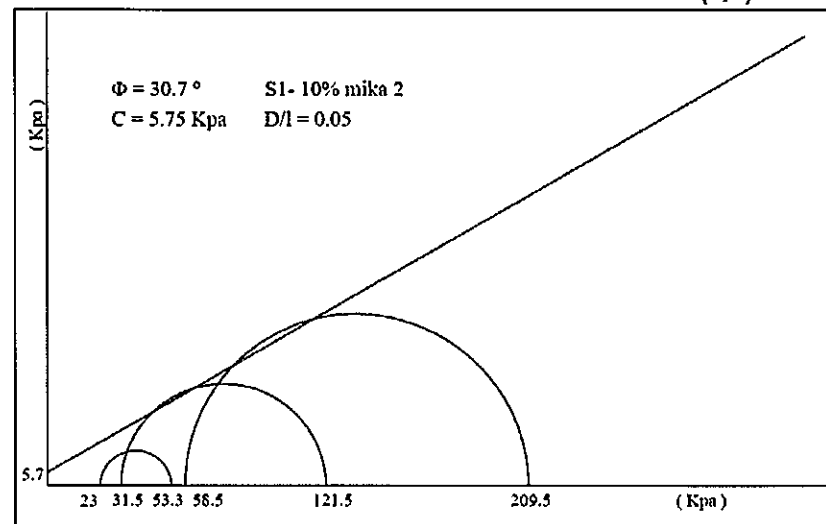
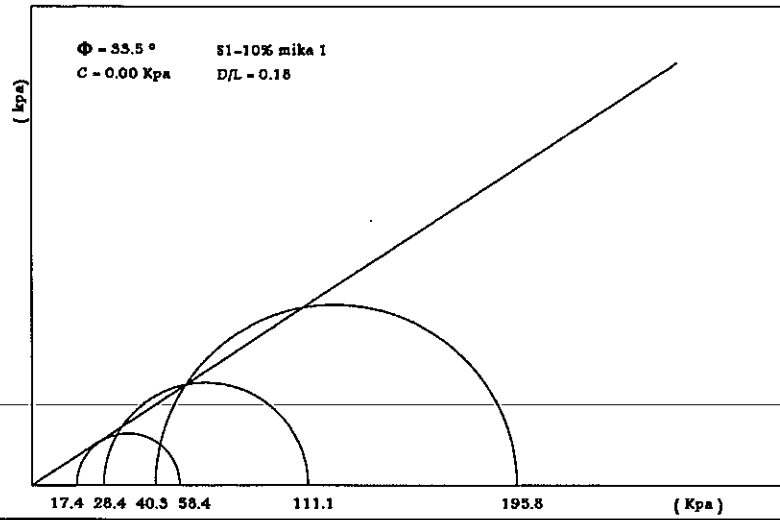


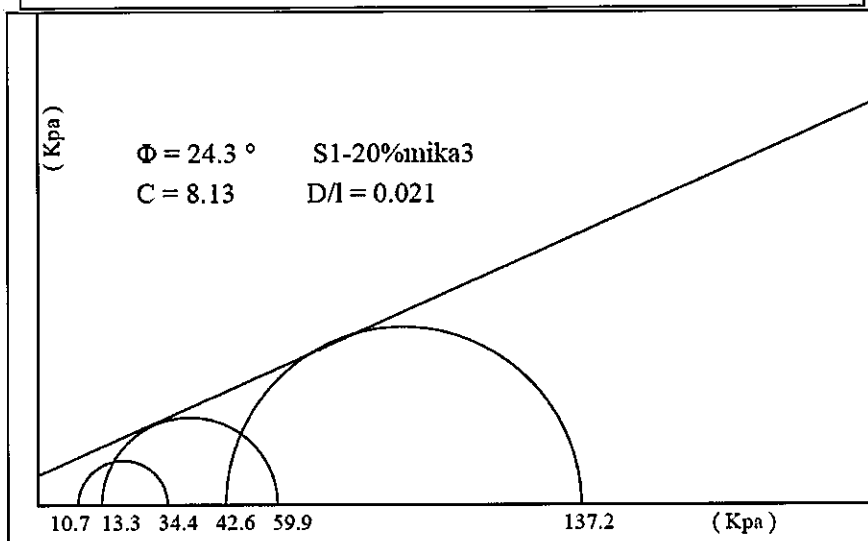
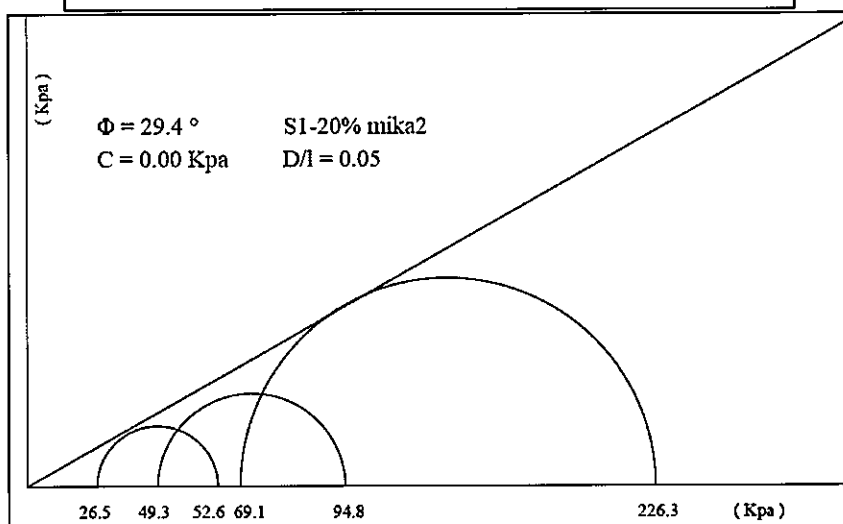
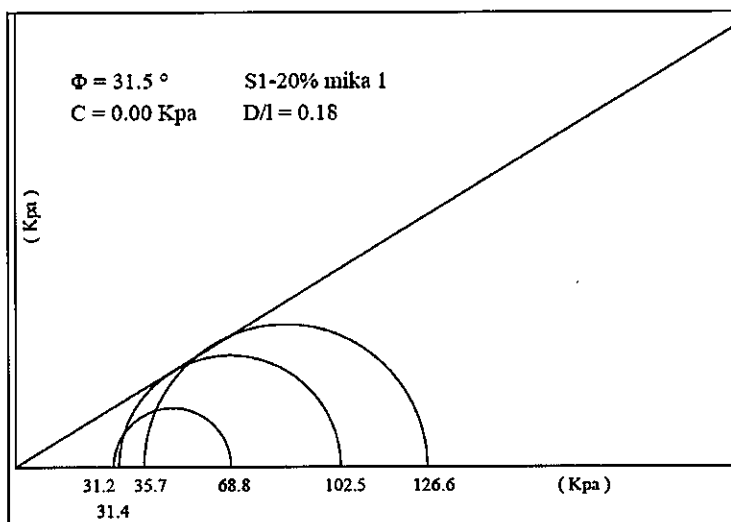
Şekil 4.28.farklı konsolidasyon basıncı altında, sabit d_{50}/D_{50} oranlarında, mikasız, %10 mikalı ve %20 mikalı durum için deviator gerilme değerlerinin değişimi.

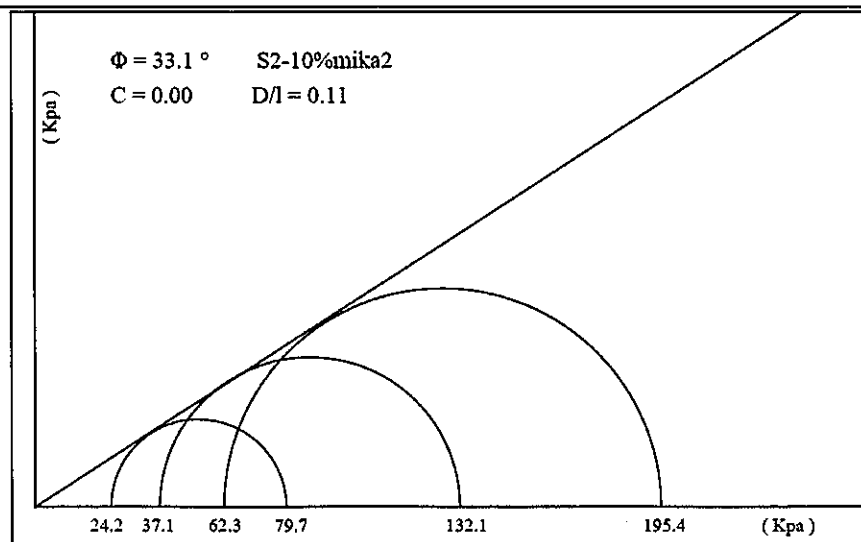
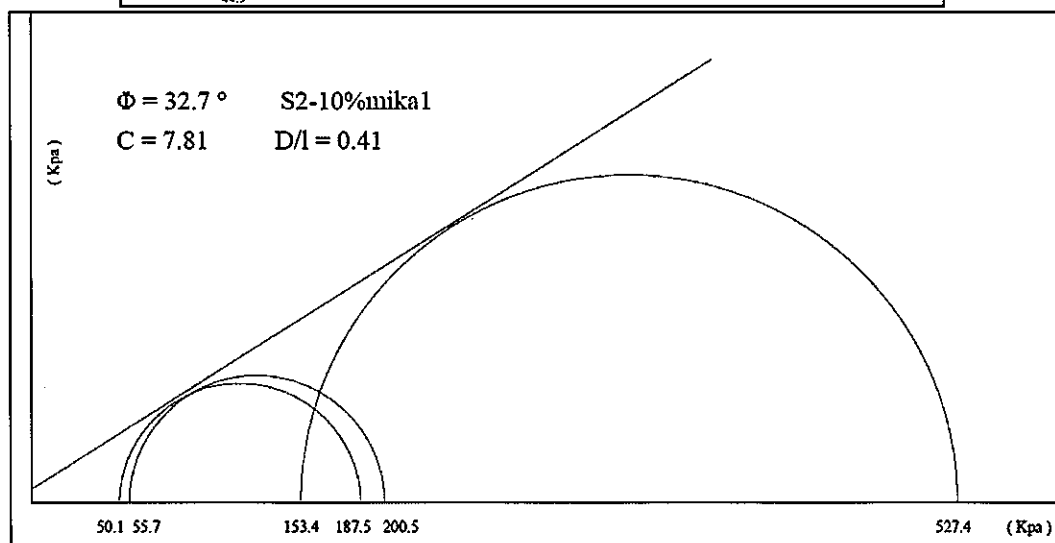
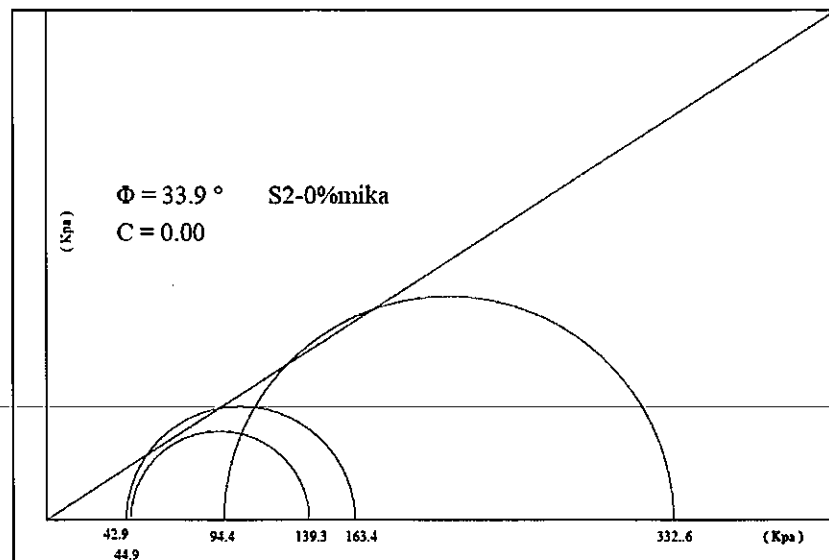
Çizelge 4.5. Mohr dairelerinden elde edilen Φ'_p ve c' parametreleri.

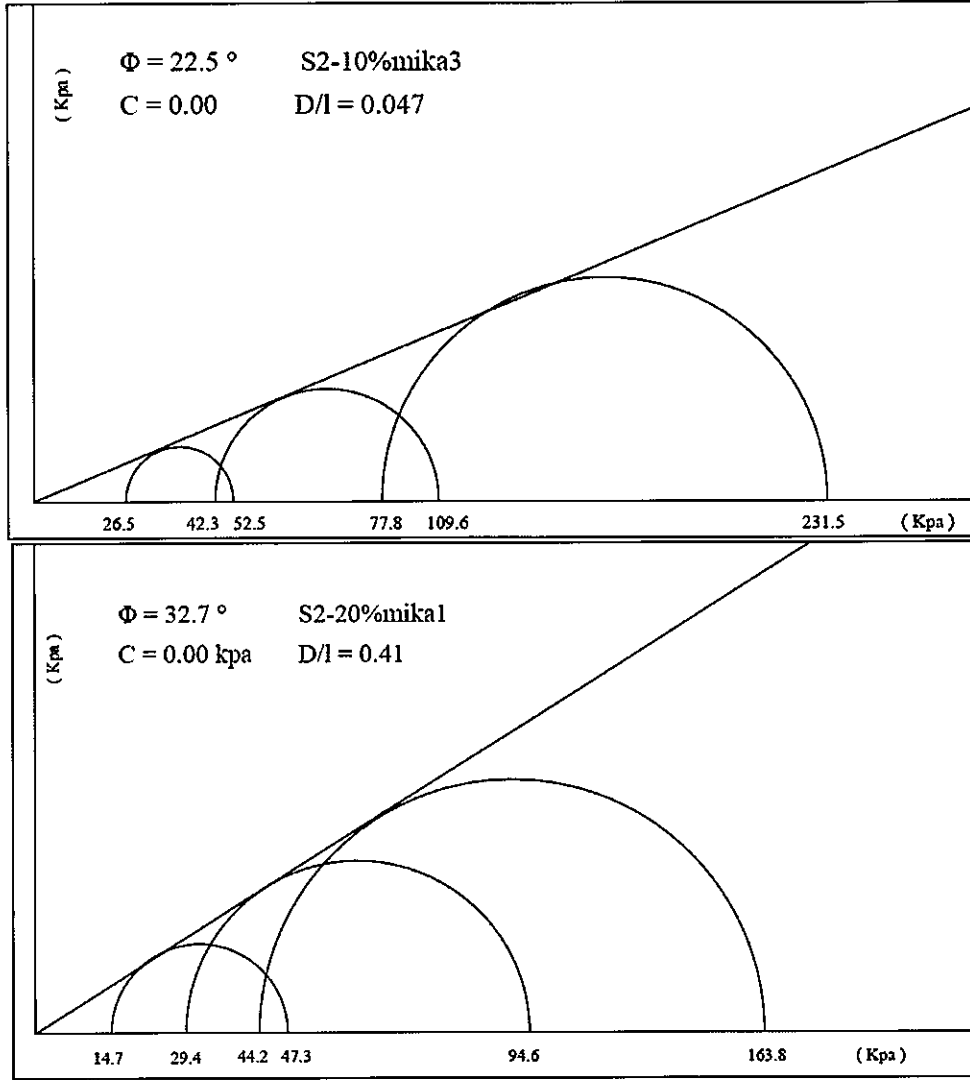
D/L	% 0		%10		%20	
	Φ	C	Φ	C	Φ	C
S1-0%	33.8	-				
S2-0%	33.9	-				
0.41			31.9	-	32.7	-
0.19			33.5	-	31.5	-
0.11			33.2	-	33.1	-
0.05			30.7	-	29.4	-
0.047			30.2	-	22.5	-
0.021			32.4	-	24.3	-





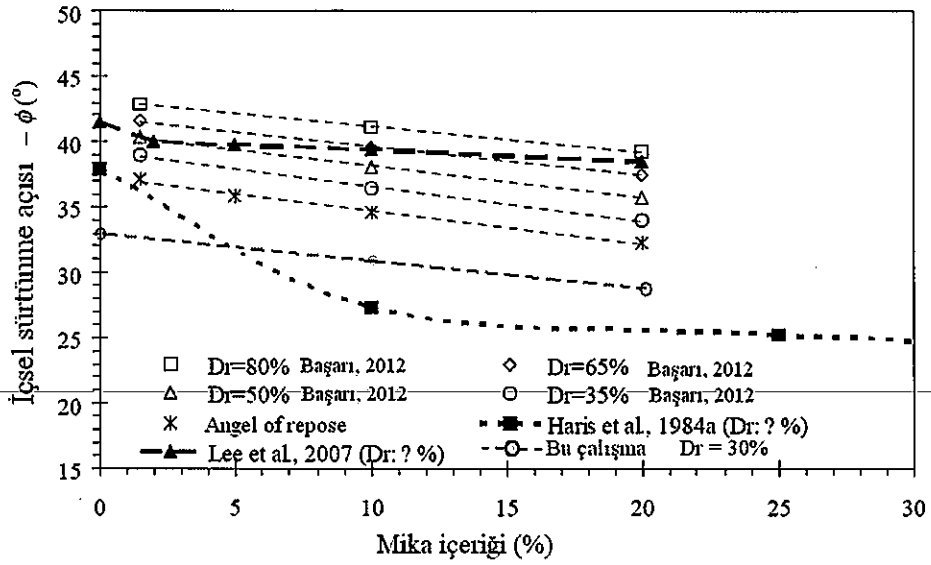






Şekil 4.29.farklı mika içeriklerinde, içsel sürtünme açısı parametresinin farklı d50/D50 oranları ile değişimi ve mohr dayereleri

Mika içeriğinin artmasıyla genel olarak içsel sürtünme açısı değerlerinde düşüş görülmüştür. Genel olarak farklı d50/D50 değerlerindeki numunelerden elde edilen içsel sürtünme açıları d50/D50 değerinin artması ile düşüş göstermiştir. Genel olarak numuneleri değerlendirdiğimizde %30 sıklıkta ve mika içermeyen örneklerde 33.9° olan içsel sürtünme açısı, %10 mika içeriğinde 31.9° ye, %20 mika içeriğinde ise 29° ye düşmüştür.



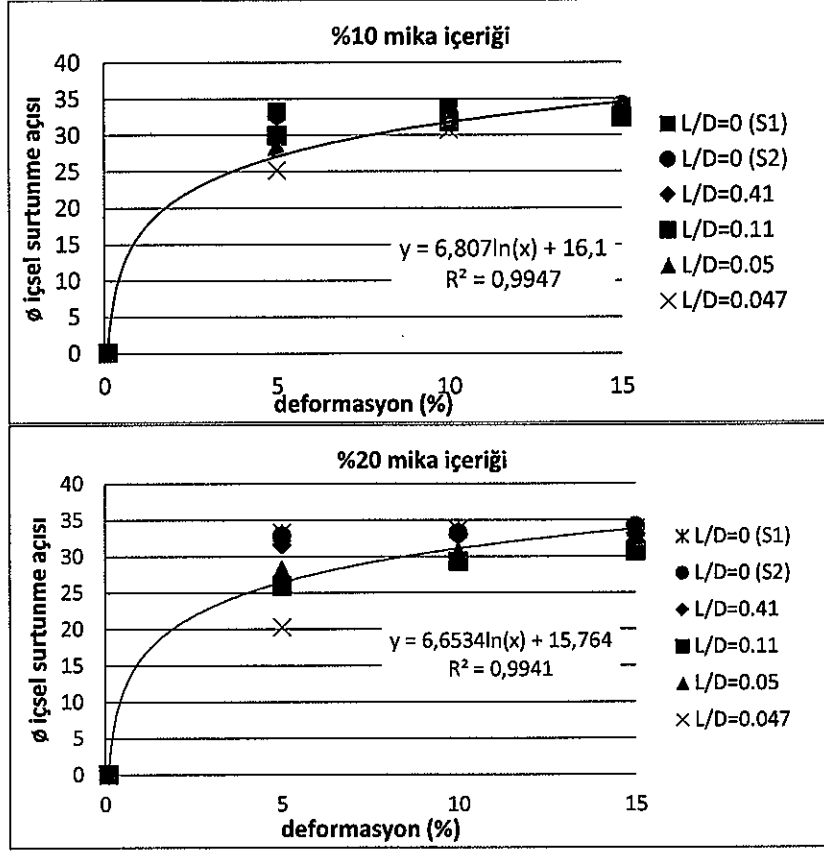
Şekil 4.30. içsel sürtünme açısının mika içeriği ile değişimi

Farklı L/D oranlarında ve mika içeriklerindeki numunelerle yaptığımız üç eksenli basınç deneylerinde %5 - %10 ve %15 deformasyonlardaki içsel sürtünme açıları çizelge 4.6 da görülmektedir. Deformasyon değerlerindeki artışlar içsel sürtünme açıları değerlerinin artmasına neden olduğu açıkça görülmektedir. Çünkü mika içeriğinin artması zemindeki sıkışabilirliğin artmasına neden olduğunu çalışmanın ilk bölümünde yaptığımız ödometre denenleri ile kanıtlamıştı.

Çizelge 4.6. İçsel sürtünme açılarının farklı deformasyonlardaki değerleri

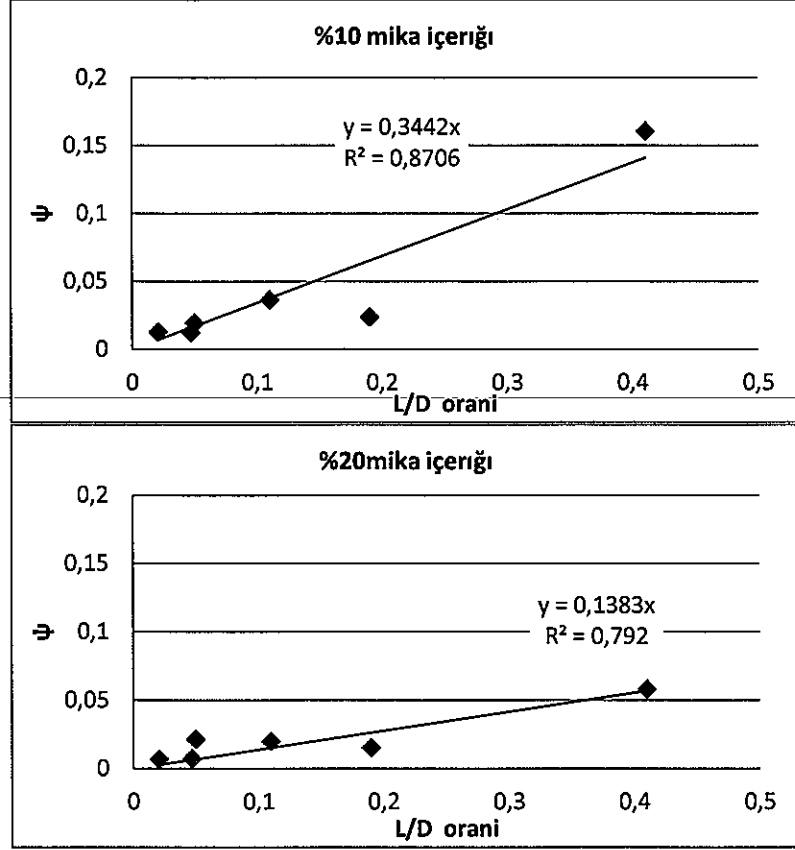
İçsel sürtünme açısı					
Mika içeriği	L/D	%5 Deformasyon	%10 Deformasyon	%15 Deformasyon	Ψ
0%	0	33.29	33.69	33.86	0.166407
	0	32.85	33.17	34.11	0.073438
10%	0.41	32.61	33.07	33.13	0.160626
	0.19	27.15	30.12	30.92	0.023887
	0.11	29.94	31.86	32.45	0.036431
	0.05	28.44	32.06	33.19	0.019286
	0.047	25.2	30.76	32.64	0.012427
	0.021	27.88	33.66	34.54	0.01272
20%	0.41	31.66	32.92	33.11	0.05837
	0.19	26.71	31.34	32.51	0.015413
	0.11	25.96	29.29	30.71	0.019976
	0.05	28.18	30.7	32.8	0.021586
	0.047	20.32	29.19	33.27	0.007385
	0.021	16.34	26.32	29.46	0.006989

Şekil 4.31 de görüldüğü gibi içsel sürtünme açılarının deformasyona karşı olan değerleri %10 ve %20 mika içerikli durumlar için verilmiştir. Görüldüğü gibi bu parametrelerin değerleri arasında bir düzgün logaritmik bağ bulunmaktadır. Aradaki bu ilişki tüm L/D oranlarındaki numuneler için geçerli olmaktadır.



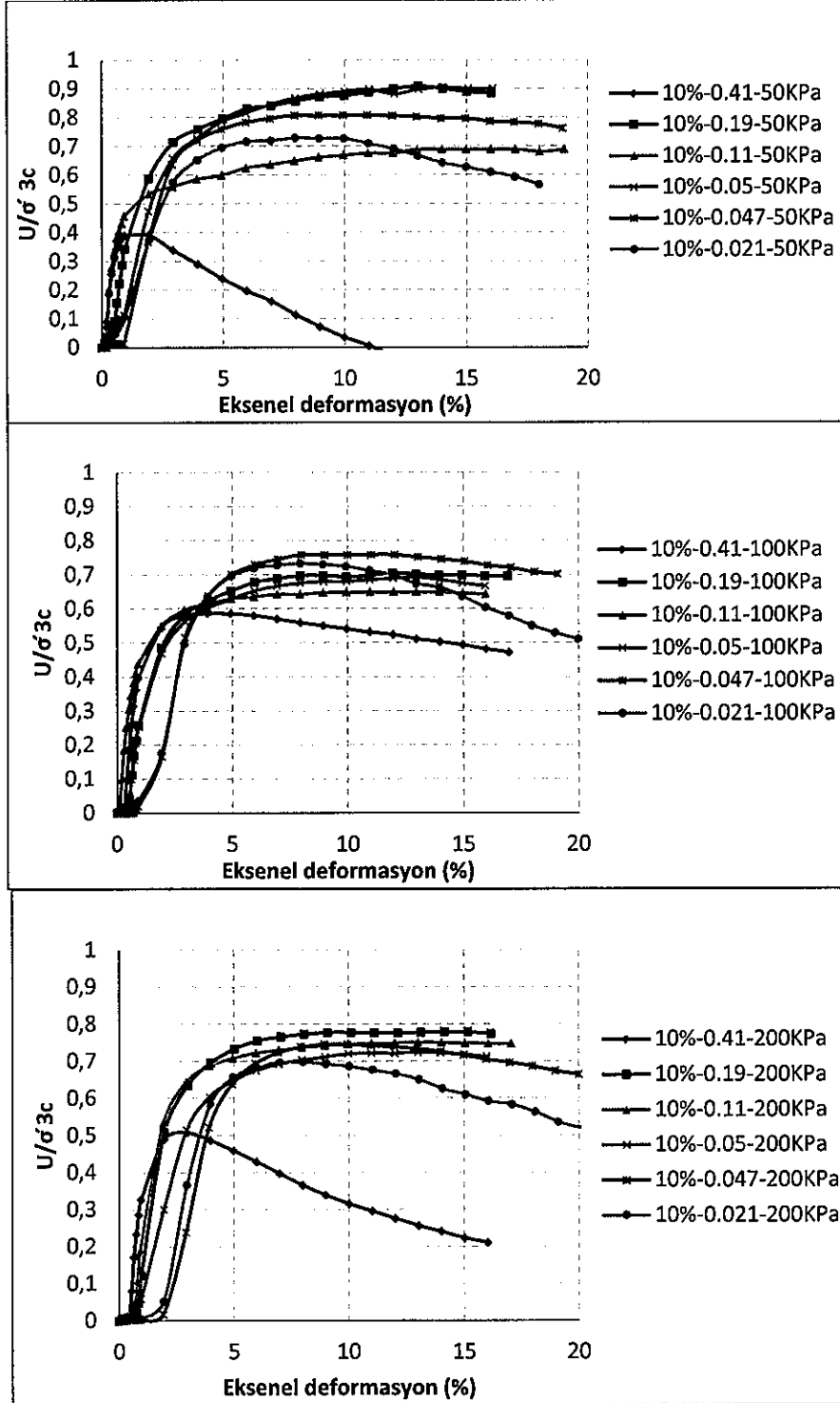
Şekil 4.31. %10 ve %20 mika içeriklerindeki pik içsel sürtünme açılarının farklı deformasyonlardaki değeri ve L/D=0.05 durumu için aralarındaki ilişkiler

Çalışmanın bu kısmında pik içsel sürtünme açılarının deformasyonla olan değişimlerine bakıldığında bu değişim grafiklerinin eğimi Ψ olarak tanımlanıp ve bu parametrenin L/D oranı ile olan ilişkisi %10 ve %20 mika içeriği durumları için şekil 4.32 de görülmektedir. L/D oranlarının Ψ parametresi üzerindeki etkisi grafiklere bakıldığında %10 mika içeriklerindeki durumda %20 e göre daha fazla etkilenmektedir.



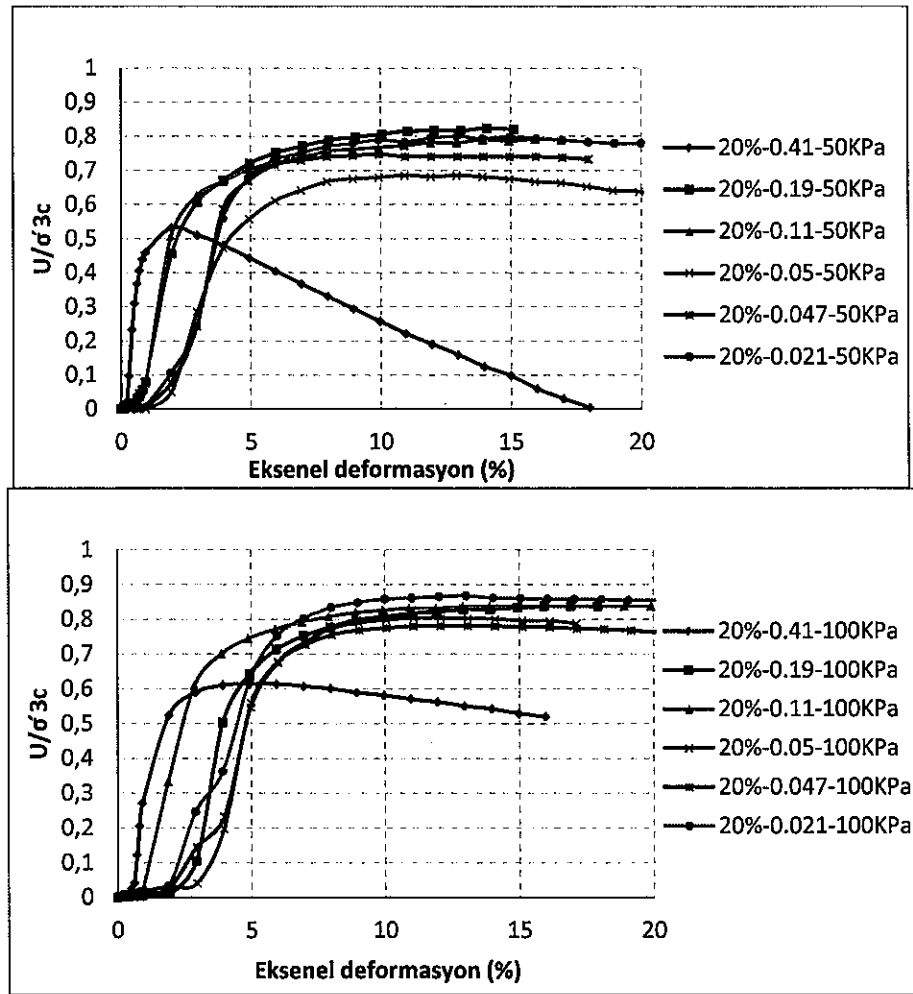
Şekil 4.32. %10 ve %20 mika içeriklerindeki Ψ ve L/D oranı değerleri arasındaki ilişkiler

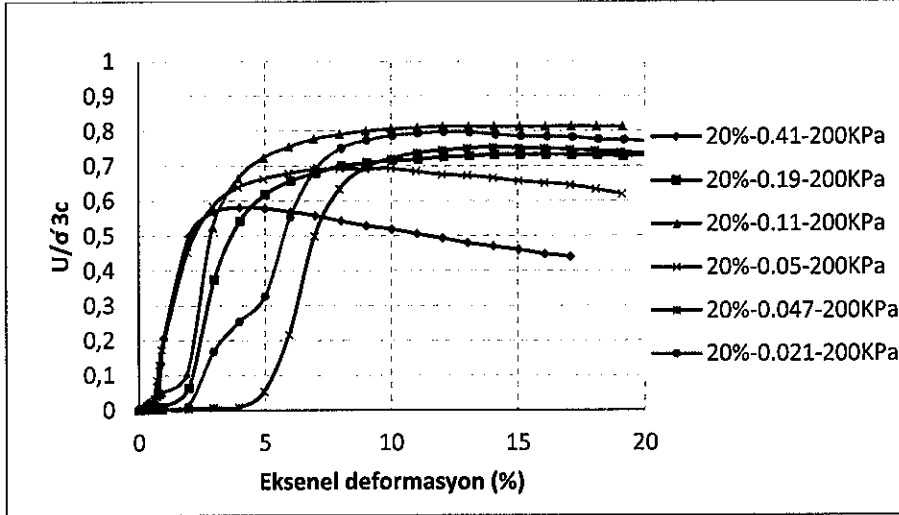
4.3. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere bağlı olarak değişimi



Şekil 4.33. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere (farklı d_{50}/D_{50} oranları-%10 mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi

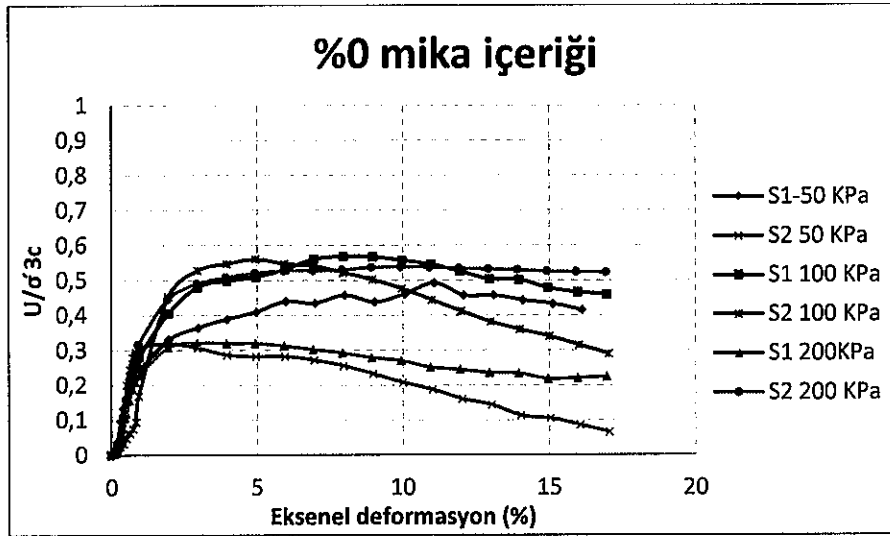
Şekil 4.33 da görüldüğü üzere %10 mika içeren örneklerde boşluk suyu basıncının efektif konsolidasyon basıncına olan oranının davranışı eksenel deformasyona karşı ele alınmıştır ve elde edilen sonuçlar d_{50}/D_{50} oranının 0.41 durumunda numunede kırılma anından sonra boşluk suyu basıncının sonumlanması ile zeminde sertleşme meydana gelmiştir. Bu olay istatistik sıvılaşma koşullarında avantaj yönünde bir davranıştır. Diğer d_{50}/D_{50} oranlarındaki örnekler bakıldığında bu davranış gözlenmemekte ve örnekler kırılma anından sonra yumuşamaya yönelik bir davranış göstermektedir.





Şekil 4.34.Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere (farklı d_{50}/D_{50} oranları-%20 mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi

gorulduğu üzere şekil 4.34'de %20 mika içeren örneklerde boşluk suyu basıncının efektif konsolidasyon basıncı olan oranının davranışı eksenel deformasyona karşı %10 daki duruma benzer bir davranış sergilemektedir. Ancak boşluk suyu basıncının sonumlenmesi %10 durumdakinden daha az ve bu %10 durumunun daha avantajlı olduğunun gerekçesidir.



Şekil 4.35. Boşluk suyu basıncı/efektif konsolidasyon basıncı oranının bağımlı değişkenlere (farklı d_{50}/D_{50} oranları-%0mika içeriği ve eksenel deformasyon) bağlı olarak değişimi

%0 mika içeren örneklerde boşluk suyu basıncının efektif konsolidasyon basıncı olan oranının davranışını eksenel deformasyona karşı ele aldığımızda gorulen S1 ve S2

kumlarının davranışları zeminin yumuşama yönünde olmasıdır. çok belirgin olmasada S2 kumunun S1'e göre avantaj yönünde olmasıdır. Şekil 4.35

4.4. Hiperbolik model yardımı ile elde edilen elastisite modülü ve değerlendirilmesi

Çalışmanın bu kısmında Duncan ve Chang 1970; in önerdiği hiperbolik model kullanılarak zemin numunelerinin üç eksenli basınç deneyleri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu modelde gerilme deformasyon eğrisinin eğimine, tanjant deformasyon modülü adı verilmiştir.

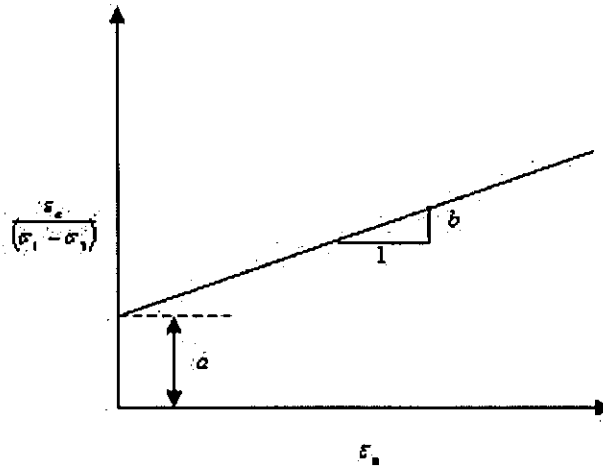
$$E_t = \left\{ 1 - \frac{R_f(1-\sin \phi)(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2C \cos \phi + 2\sigma_3 \sin \phi} \right\}^2 K P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n$$

ϕ =içsel sürtünme açısı ; C=kohezyon ; K=modül sayısı ; n=katsayı ; R_f =kırılma oranı ; P_a =atmosfer basıncı olarak tanımlanmışlardır.

K, n ve R_f parametreleri genelde üç eksenli basınç deneylerinden lineer olmayan gerilme deformasyon davranışlarından elde edilir. Hiperbolü denklemi Konder 1963;

$$\frac{\varepsilon_a}{\sigma_1 - \sigma_3} = a + b \varepsilon_a$$

σ_1 =maksimum asal gerilme ; σ_3 =minimum asal gerilme ; ε_a =eksenel deformasyon ; a ve b= başlangıç elastisite modülü ve nihai deviatör gerilme; bu parametreler şekil 4.36 de önerilen test sonuçları çizgisi ile hesaplanabilir.



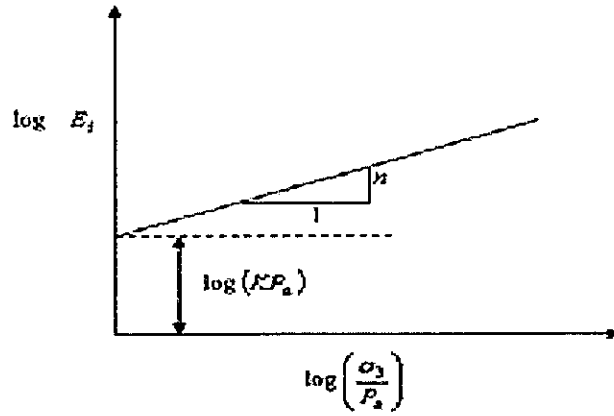
Şekil 4.36.sabit a ve b değerlerinin üç eksenli deneylerden elde edilmesi

$$R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}} \leq 1.0$$

$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ kırılma anındaki deviator gerilmedir. Zeminlerdeki ilksel elastisite modülü Janbu 1963; tarafından alttaki gibi önerilmiştir,

$$E_i = K P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n$$

n , σ_3 un E_i üzerindeki üssel etkiyi göstermektedir. n ve K üç eksenli deney sonuçlarından öne sürülen şekil 4.37 den elde edilir. Buradan yola çıkarak elde edilen K ve n değerleri çizelge 4.7 de verilmiştir.

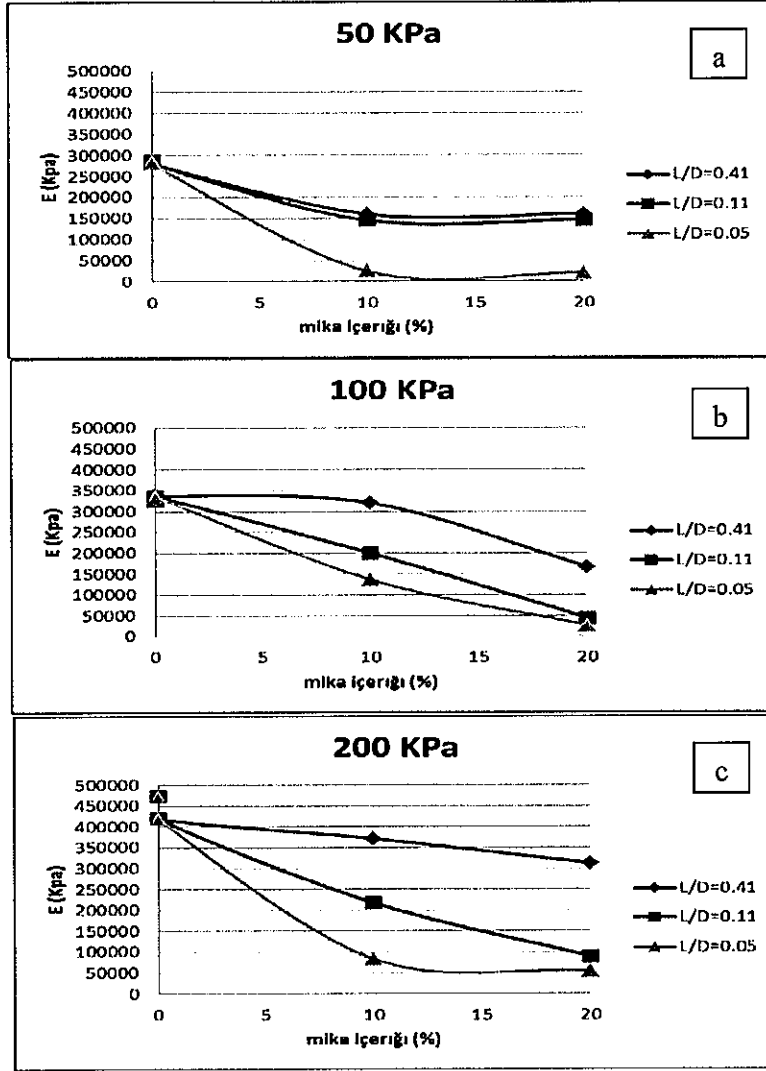


Şekil 4.37. sabit n ve K değerlerinin üç eksenli deneylerden elde edilmesi

Çizelge 4.7. K ve n ve elastisite modüllerinin değerleri

%10 mika içeriği					%20 mika içeriği			
I/D	k	n	E	σ_3	K	n	E	
0.41	1579	0.09948	160000	50	2666.018	1	160000	
0.19	2909.08	0.009	145454	50	581.8039	1.309589	145454	
0.11	2666.6	0	133333	50	581.8039	1	133333	
0.05	480	1	24000	50	400.0027	1	24000	
0.047	480	1.3030	24000	50	228.6015	1	24000	
0.021	387	1.3302	19350	50	0	4	19350	
0.41	3200	1	320000	100	1666.011	1	166600	
0.19	1999.9	1	200000	100	666.0045	1	66600	
0.11	1999.9	1	200000	100	444.003	1	44400	
0.05	1360	1	136000	100	266.0018	1	26600	
0.047	1360	1	136000	100	260.0017	1	26000	
0.021	1360	1	136000	100	238.0016	1	23800	
0.41	1857.14	1	371428	200	1562.499	1	312500	
0.19	1093.5	0.999996	218700	200	446.403	0.999996	89280	
0.11	1090	0.999996	218000	200	446.403	0.999996	89280	
0.05	416.50	0.999996	83300	200	446.4001	1	89280	
0.047	380.50	0.999996	76100	200	277.5019	0.999996	55500	
0.021	380.00	0.999996	76000	200	256.5017	0.999996	51300	
S1	5599.9	1	280000	50	S2	5760.000415	1	288000
S1	3359.9	1	336000	100	S2	3249.996977	1	325000
S1	2099.9	0.999998	420000	200	S2	2360.0014	1	472000

Elastisite modülü değerlerinin elde edilmesi sonucu farklı efektif konsolidasyon basınçlarında ve farklı mika içeriklerinde değişimleri incelenmiştir ve şekil 4.38 de görüldüğü gibi elastisite modülü mika içeriğinin artması ile düşüş göstermektedir ve bu zemin örneğinin mika içeriğinin artması ile sıkışabilirliğinin artması anlamına gelmektedir. Efektif konsolidasyon basınçlarının artması genel olarak elastisite modülünde bir artışa yol açmaktadır.



Şekil 4.38 50-100-200 Kpa konsolidasyon basınçlarındaki elastisite modülünün farklı mika içerikleri ile değişimi (a) 50 Kpa konsolidasyon basıncı (b) 100 Kpa konsolidasyon basıncı (c) 200 Kpa konsolidasyon basıncı

n değeri Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde denklemden de görüldüğü üzere σ_3 un elastisite üzerindeki katsayı etkisini göstermektedir. Kaya dolgulu zeminler ve kumlu zeminlerdeki n değerleri ele alındığında ve taneler arasındaki kırılma kaya dolgulu zeminlerde kumlu zeminlere göre daha fazla olduğundan ortalama n değeri kaya dolgulu zeminlerde kumlu zeminlere göre daha düşük olmaktadır. Çizalge 4.8 de önceki ve bu çalışmadaki ortalama n ve k değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Zemin türleri ile yapılan çalışmalarda bulunan ortalama n değerleri

Zemin turu	Nispeten köşeli kumlar	Nispeten yuvarlak kumlar	Gevşek kumlar	Mikalı kumlar		
				%0	%10	%20
n	0.085	0.29	0.65	1	0.98	1
K	2004	700	300	3738	1234	681

yukardaki çizelgede geçmiş çalışmalara ek olarak bu çalışma kapsamındaki değerlerin incelenmesi sonucu farklı mika içerikli zeminlerde kullanılmak üzere ortalama K ve n değerleri önerilmiştir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Ödometre deneyleri ile değişik yüzdelerde mika içeren karışımlar oluşturulmuştur. S1 ve S2 kumların içerisine, % 0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında 3 değişik boyutta mika karıştırılarak, ödometrik davranışlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Kaba kuma S1 mika eklenmesi ile daneler arası boşluk oranındaki değişimler göstermiştir ki daha ince mikanın eklenmesi ile boşlukların doldurulma yeteneği artmıştır. % 10 mika içeriği dışında, % 5, 15 ve % 20 mika içeriklerinde daha ince mika eklenmesi ve artan yük miktarlarında daneler arası boşluk oranındaki (e_s) azalimler artmaktadır. e_s ' nin ilk değerleri, mika içeriği arttıkça artmaktadır. Buna bağlı olarak, sıkışma miktarlarında da mika içeriği arttıkça artışlar gözlenmiştir. Genel olarak, mika içeriği % 20'ye doğru ilerledikçe, değişik incelikte mika kullanımı ile, farklı yük seviyelerindeki boşluk oranları arasındaki farklar artmıştır.

S2 kumunun farklı mika türleri ve farklı mika içeriğindeki karışımlarda sıralama S1 kumundaki gibi olmadığı görülmektedir. %5, 10, 15 ve % 20 mika içeriklerinde mika içeriği arttıkça ve artan yük miktarlarında daneler arası boşluk oranındaki (e_s) azalimler artmaktadır. e_s ' nin ilk değerleri, mika içeriği arttıkça artmaktadır. Buna bağlı olarak, sıkışma miktarlarında da mika içeriği arttıkça artışlar gözlenmiştir. Daha ince mikanın eklenmesi ile S1 numunesindeki sıkışma sıralaması gözlenmemektedir.

Daneler arası boşluk oranı-normal gerilme değişimleri incelendiğinde boşluk oranının köprüleme etkisi ile mika miktarı arttıkça, arttığı görülmektedir. daha ince mika kullanımı ile daha kesif yapıların elde edildiğini göstermektedir. Boşluk oranlarındaki azalimler % 10 mika içeriğinden sonra daha fazla hissedilmektedir.

Geçmiş çalışmalarda L/D oranındaki artışların köprüleme etkisinde artışa sebep olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle, boşluk oranı kullanılan örneklerde L/D arttıkça artmıştır(Lee vd., 2007) Seçilen L/D oranlarında ve mika içeriklerinde nihai yükleme sonrasında elde edilen boşluk oranlarından gözleneceği üzere, aynı L/D oranlarında, beklendiği gibi son boşluk oranları, artan mika içeriği ile

azalmaktadır. Yine gözleneceği gibi, azalan L/D oranlarında örneklerin son boşluk oranlarında azalım gözlenmiştir.

Deneylerin sonrasında, yüklemenin boşaltılmasından sonra geri dönen deformasyon($\Delta e_{elastik}$) verileri (%0 - %20) aralığında değişen mika içerikleri için hesaplanmıştır. Daha ince kum ile mikanın karışımının, danelerin üzerine daha fazla yük bindirdiğinin, köprüleme etkisinin yük kaldırılması ile bozulduğu ve deformasyonların bir miktarının geri döndüğü görülmektedir. Daha fazla ince mika malzemesi içeriği, genelde, daha fazla geri dönen deformasyon anlamına gelmektedir. Değerlere bakıldığında mika içeriği arttıkça kum-mika karışımının elastisitesi artmakta ve karışımların daha elastik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

L/D oranının artması ile sıkışma miktarlarında bir miktar azalma gözlenmektedir. Bu davranış danelerarası köpürülme etkisi ile açıklanabilir. Mika içeriğinin artması ile de ani oturma miktarında bir artış görülmektedir, zira numunenin sıkışabilirliği mika içeriği arttıkça artmaktadır.

Mikanın boşluk doldurma etkisi altında, daha kaba olan mika-1 (SMW1200) katkılı kum, diğer iki mika tülü katkılı kuma göre daha yüksek boşluk oranları vermiştir. Bu davranış hem S1, hem S2 kumlarda, özellikle S2 de mika inceliğinin artması ile beraber daha belirgindir.

Yükarıda bahsi geçen parametrelerin arasında ampirik bağıntıların elde edilebilmesi için, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon denklemleri araştırılmıştır.

Bununla birlikte, mikanın medyan çapının kaba zeminin medyan çapına oranı olan L_{50}/D_{50} ile gösterilen değer ile zeminin ölçülen boşluk oranındaki artışlar arasında ilişkiler araştırılmıştır. Boşluk oranındaki değişimler, artan mika oranında ve basınç değerinde daha da yüksek değerler almaktadır.

boşluk oranındaki değişimlerin L_{50}/D_{50} oranı ve ödometrik basınçtaki artış ile değiştiği görülmüştür. L_{50}/d_{50} değerlerinin, bu çalışma kapsamındaki limitlerde boşluk oranındaki değişimlere katkısının yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.

Artan L_{50}/D_{50} oranının, artan inceler yüzdesi ile birlikte bir miktar δe değerlerini arttırdığı görülse de, bu artımların çok düşük değerler olduğu göze çarpmaktadır. Dolayısı ile bu çalışmadaki L_{50}/D_{50} oranlarıdaki değişimin, bir boyutlu sıkışma davranışına etkisinin zayıf olduğu söylenebilir.

Bu amaçla, Çabalar (2010) tarafından önerilen ampirik bağıntıya ek olarak, regresyon analizi ortaya konulmuştur. Tablodaki denklem gözlemlendiğinde, elde edilen katsayılar Çabalar (2010) tarafından elde edilen bağıntıya çok yakındır

Çizelge 5.1. Daneler arası boşluk oranının elde edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri

Kod	Denklem	R^2	RSS
D1	$e_s = 0.156 + e \left(0.030 \cdot FC \cdot \frac{2.0}{G} \right)$	0.981	0.067
D2	$e_s = \exp(1.248 \cdot e + 6.25 \cdot 10^{-7} \cdot FC + -1.25 \cdot 10^{11} \cdot G + 3.31 \cdot 10^{11})$	0.998	0.007
D3	$e_s = 1.192 \cdot e + 1.34 \cdot 10^7 \cdot FC - 2.683 \cdot 10^{10} \cdot G + 7.11 \cdot 10^{10}$	0.997	0.012
D4	$e_s = 1.192 \cdot e + 0.021 \cdot FC - 0.058 \cdot G$	0.997	0.012

Bu çalışmadaki deney sonuçları, Sıkışma indislerinin, L/D den bağımsız olarak mika içeriği arttıkça arttığını göstermiştir.

Sıkışma indisi, normal gerilme arasındaki ilişkiler irdelendiğinde kumun boyutlarından bağımsız olarak, L/D miktarı 0.04 – 0.05 olan, en büyük sıkışma indislerini verdiği gözlenmiştir. özellikle yüksek normal gerilmelerde bu etki daha net gözükmemektedir ve bu etki tüm mika yüzdelerinde gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında ağırlıkça farklı oranlardaki mika türleri (SMW 1200-300-390) kotu derecelendirilmiş kum zeminlerin mekanik özelliklerine etkisini inceleme amacıyla bir seri konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyi ve odometer deneyi yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada öncelikle mikasiz, ağırlıkca %10 ve %20 mikali durumlar için ayrı ayrı değerlendirme yapılmış ve tüm durumlar karşılaştırılmıştır.

Mikasiz ve %10 mikali durumda, efektif konsolidasyon basıncı arttıkça deviator gerilme artmıştır. D/L oranının değeri 0.41 ile 0.021 aralıklarında ele alındığında, bu oranin değeri azaldıkça numunelerin dayanımı düşmüştür. %20 mikali durumda ise efektif konsolidasyon basıncı arttıkça deviator gerilme artmıştır. Bu durumda D/L değerinin değişimi ile numunelerin dayanımı yukardaki durumdaki gibi düşüş göstermektedir.

Kötü derecelenmiş kumlarda genel olarak mika içeriği artışıyla deviator gerilme değeri düşmüştür. Örneğin kötü derecelenmiş gevşek kumun %10 mikali durumda 50 KPa efektif konsolidasyon basıncı altındaki deviator gerilme değeri mikasiz duruma göre %182 artmıştır.

Mika içeriği en çok, yüksek efektif konsolidasyon basıncı etkisindeki kötü derecelenmiş gevşek kumlarda dayanım azalmasına neden olmuştur.

Mika oranının artmasıyla genel olarak pik içsel sürünme açısı ϕ_p değerlerinde düşüş görülmüştür. Ancak bu düşüş genel olarak %10 mika içeriklerinde 2-3°'yi geçmemiştir. %20 mika içeriğinde ise bu aralık 6-7° arasında değişmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bahadori, H., Ghalandarzadeh, A. and Towhata, I. (2008).**Effect of non plastic silt on the anisotropic behavior of sand. *Soils and Foundations*, JGS, 48(4), 531-545.pp
- Brandon, T. L., Clough, G. W. and Rahardjo, P. P. (1991).** Fabrication of silty sand specimens for large and small scale tests.*Geotechnical Testing Journal*, 14(1), 46-55.pp
- Bray, J. D., Sancio, R.B., Durgunoglu, T., Onalp, A., Youd, T. L., Stewart, J.P., Seed, R.B., Cetin, O. K., Bol, E., Baturay, M.B., Christensen, C. and Karadayilar, T. (2004).** Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari, Turkey. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130(7), 673-685.pp
- Cabalar, A.** "Applications of the oedometer, triaxial and resonant column tests to the study of micaceous sands", *Engineering Geology* 112 (2010) 21–28.pp
- Doanh, T., Ibraim, E. and Mاتيotti, R. (1997).** Undrained instability of very loose Hostun sand in triaxial compression and extension. Part 1: experimental observations. *Mechanics of Cohesive-Frictional Materials*, 2(1), 47-70.pp
- Georgiannou, V.N. (2006).** The undrained response of sands with additions of particles of various shapes and sizes. *Geotechnique*, 56 (9), 639–649.pp
- Gilboy, G., 1928.** The compressibility of sand–mica mixtures. *Proceedings of the A.S.C.E.*2, 555–568.pp
- Harris, W.G., Parker, J.C. and Zelazny, L.W., 1984.** Effects of mica content on the engineering properties of sand. *Soil Science Society of America Journal* 48 (3), 501–505.pp
- Harris, W.G., Parker, J.C. and Zelazny, L.W., 1984.** Effects of mica content on the engineering properties of sand. *Soil Science Society of America Journal* 48 (3), 501–505.pp
- Hight, D.W., Georgiannou, V.N., Martin, P.L. and Mundegar, A.K. 1998.** Flow slides in micaceous sand. *Problematic soils*, Yanagisawa, E., Moroto, N. and Mitachi, T. eds., Balkema, Rotterdam, Sendai, Japan, 945–958.pp
- Imam, S.M.R., Morgenstern, N.R., Robertson, P.K. and Chan, D.H. (2002).** Yielding and flow liquefaction of loose sand. *Soils and Foundations*, 42(3), 19–31.pp
- Kenney, T. C. (1977).** "Residual strength of mineral mixtures." *Proc., 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.*, 1, 155-160.pp
- Koester, J. P. ~1994!** "The influence of fines type and content on cyclic strength." *Ground failures under seismic conditions, Geotech. Spec. Publ.* 44, ASCE, New York, 17–33.pp

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kramer, S. L. (1996).** Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc.
- Kuerbis, R. and Vaid, Y. P. (1988).** Sand sample preparation-the slurry deposition method. *Soils and Foundations*, 28(4), 107-118. pp
- Kuerbis, R., Negussey, D. and Vaid, Y. P. (1988).** Effect of gradation and fines content on the undrained response of sand. *Hydraulic fill structures*, ASCE
- Ladd, R.S. (1978).** Preparing test specimens using undercompaction. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 1(1), 16-23.pp
-
- Lade, P. V. and Yamamuro, J. A. (1997).** Effects of nonplastic fines on static liquefaction of sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(6), 918-928. pp
- Lade, P. V., Liggió, C. D. and Yamamuro, J. A. (1998).** Effects of nonplastic fines on minimum and maximum void ratios of sand. *Geotechnical Testing Journal*, 21(4), 336-347.pp
- Lupini, J.F., Skinner, A.E. and Vaughan, P.R., (1981).** The drained residual strength of cohesive soils. *Geotechnique*, 31(2), 181–213.pp
- McCarthy, D.F. and Leonard, R.J., 1963.** Compaction and compression characteristics of micaceous fine sands and silts. *Highway Research Record 22*. Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 23–37.pp
- Mitchell, J. K. (1993).** *Fundamentals of soil behavior*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.
- Monkul, M.M. and Ozden, G., 2004.** Intergranular and interfine void ratio concepts. 10th Turkish Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering /ZM10), TNCSMFE, Istanbul, pp. 3–12. in Turkish.
- Monkul, M.M. and Ozden, G., 2005.** Effect of intergranular void ratio on one-dimensional compression behaviour. *Proceedings of International Conference on Problematic Soils, International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus 3, 1203–1209.pp
- Monkul, M.M. and Ozden, G., 2007.** Compression behavior of clayey sand and transition fines content. *Engineering Geology* 89, 195–205.pp
- Mundegar, A.K., 1997.** An investigation into the effects of platy mica particles on the behaviour of sand. M.Sc, Thesis, Imperial College, London.
- Murthy, T. G., Loukidis, D., Carraro, J. A. H., Prezzi, M. and Salgado, R. (2007).** Undrained monotonic response of clean and silty sands. *Geotechnique*, 57(3), 273–288.pp
- Naeini, S.A. and Baziar, M.H., 2004.** Effect of fines content on steady state strength of mixed and layered samples of sand. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24, 181–187.pp

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ni, Q., Tan, T. S., Dasari, G. R. and Hight, D. W. (2004).** Contribution of fines to the compressive strength of mixed soils. *Geotechnique*, 54(9), 561–569.pp
- Olson, R.E. and Mesri, G.,1970.** Mechanisms controlling the compressibility of clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E.*, 96 (SM6), Proc. Paper7649, November, pp. 1863–1878.pp
- Önalp.** "geoteknik bilgisi I , zeminler ve mekanigi", Istanbul-Birsen 2007.
- Özaydin, K.,** zemin mekanigi ,Birsen yayinevi 2008.
- Thevanayagam, S. (1998).**Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 124(6), 479-491. pp
- Thevanayagam, S. and Mohan, S. (2000).**Intergranular state variables and stress-strain behaviour of silty sands. *Geotechnique*, 50(1), 1-23.pp
- Thevanayagam, S., Shenthan, T., Mohan, S. and Liang, J. (2002).**Undrained fragility of clean sands, silty sands, and sandy silts. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 128(10), 849-859.pp
- Vaid, Y. P., Chung, E. K. F. and Kuerbis, R. H. (1989).** Preshearing and undrained response of sand. *Soils and Foundations*, 29(4), 49-61.pp
- Whitman, R. V. and Healy, K.A. (1962).** Shear strength of sands during rapid loadings. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 88, SM2, 99-132.pp
- Yamamuro, J.A. and Covert, K. M. (2001).** Monotonic and cyclic liquefaction of very loose sands with high silt content. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 127(4), 314-324.pp
- Yamamuro, J. A. and Lade, P. A. (1998).** Steady state concepts and static liquefaction of silty sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 124(9), 868-877.pp
- Yamamuro, J.A. and Lade, P.V. (1993).** Effects of strain rate on instability of granular soils. *Geotechnical Testing Journal*, 16(3), 304-313.pp
- Zlatovic', S. and Ishihara, K. (1995).**On the influence of non-plastic fines on residual strength. *Proc. IS-Tokyo '95, First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, 1 ,239-244.pp
- Zlatovic', S. and Ishihara, K. (1997).** Normalized behavior of very loose non-plastic soils: effects of fabric. *Soils and Foundations, JGS*, 37(4), 47-56.pp
- Thevanayagam, S. (1997).**"Dielectric dispersion of porous media as a fractal phenomenon."*J. Appl. Phys.*, 82(5), 2538-2547.pp

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Xenaki, V. C. and Athanasopoulos, G. A. (2003).** "Liquefaction resistance of sand-silt mixtures: an experimental investigation of the effect of fines." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 23, 183-194.pp
- Theron, M.2004.** The Effect of Particle Shape on the Behaviour of Gold Tailings. PhD thesis, University of Southampton, U.K.
-
- Rawlings, J.O.,1998.** Applied regression analysis: a research tool. Springer-Verlag, New York.
- Salgado, R., Bandini, P. and Karim, A.,2000.** Shear strength and stiffness of silty sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE 126 (5), 451-462.pp
- Lade, P.V., Ligio Jr., C.D. and Yamamuro, J.A.,1998.** Effects of nonplastic fines on minimum and maximum void ratios of sand. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM 21 (4),336-347.pp
- Zlatovic, S. and Ishihara, K. (1995).** "On the influence of nonplastic fines on residual strength." *Proc., IS-TOKYO '95, 1st Int. Conf. on Earthquake Geotech. Engrg.*, K. Ishihara, ed., A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 239-244.pp
- Vaid, Y. P., Chung, E. K. F. and Keurbis, R. H. (1990).** "Stress path and steady state." *Can. Geotech. J.*, 27(1),1-7.pp
- Thevanayagam, S., Ravishankar, K. and Mohan, S. (1996a).** "Steady state strength, relative density and fines content relationship for sands. " *Transp. Res. Record* 1547,61-67.pp
- Roscoe, K. H., Schofield, A. N. and Thurairajah, A. (1963).** "Yielding of clays in states wetter than critical." *Geotechnique*, 13, 211-240.pp
- Roscoe, K. H., Schofield, A. N. and Wroth, C. P. (1958).** "On the yielding of soils." *Geotechnique*, 8, 22-52.pp
- Poulos, S. J. (1981).** "The steady state of deformation." *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, 107(5),553-562.pp
- Poulos, S. J. (1988).** "Chapter 9: liquefaction and related phenomena." *Advanced dam engineering for design, construction and rehabilitation*, Robert Janson, ed., Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Poulos, S. J., Castro, G. and France, J. W. (1985). "Liquefaction evaluation procedure." *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE, 111(6), 772-791.pp

Pitman, T. D., Robertson, P. K. and Sego, D. C. (1994). "Influence of fines on the collapse of loose sands." *Can. Geotech. J.*, 31, 728-739.pp

Dry funnel deposition: Ishihara 1993; Zlutovic,Ishihara 1995; Lade,Yamamuro 1997; Yamamuro,Wood 2004; Bahadori et al 2008; Sitharam,Dash 2008

Dry air pluviation: Thevanayagam,Mohan 2000

Moist tamping: Shen et al 1977; Pitman et al 1994; Erten,Maher 1995; Zlatovic,Ishihara 1995; Ni et al 2004; Hazirbaba,Rathje 2009; Polito,Martin II 2003; Papado poulou,Tika 2008.

Water sedimentation: Zlatovic,Ishihara 1997; Vaid et al 1999; Yamamuro,Wood 2004.

Slurry deposition: Kuerbis et al 1988; Salgado et al 2000; Murthy et al 2007; Carraro and Prezzi 2008.

ÖZGEÇMİŞ

SHAHAB EBRAHIMZADEH 1985 yılında İranın kuzey batısında,KHOY şehrinde doğdu. İlk , orta ve lise öğrenimini Khoy'da tamamladıktan sonra 2003 yılında Salmas şehrinin İslami Azad Üniversitesi-İnsaat mühendisliğini kazandı ön lisans ve lisans eğitim dönemlerini bu üniversitede sırası ile 2005 ve 2008 yıllarında bitirdi ve mezun oldu.2010 yılında Ege Üniversitesiyüksek lisans programına başladı ve halen Ege Üniversitesi İnsaat Mühendisliği bölümünde öğrenimine devam etmektedir.
