

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem MISIR

**GRANÜLER STABİLİZE DOLGU İLE İYİLEŞTİRİLEN
YUMUŞAK KİL ZEMİNLERE OTURAN
TEMELLERİN ANALİZİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GRANÜLER STABİLİZE DOLGU İLE İYİLEŞTİRİLEN
YUMUŞAK KİL ZEMİNLERE OTURAN TEMELLERİN
ANALİZİ**

Gizem MISIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/...../.... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....

İmza.....

İmza.....

Prof. Dr. Mustafa LAMAN
DANIŞMAN

Prof. Dr. M. Arslan TEKİNSOY
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇANAKÇI
ÜYE

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr Aziz Ertunç
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

**Bu Çalışma TÜBİTAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 106M496**

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GRANÜLER STABİLİZE DOLGU İLE İYİLEŞTİRİLEN
YUMUŞAK KİL ZEMİNLERE OTURAN TEMELLERİN
ANALİZİ**

Gizem MISIR

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Yıl : 2008 Sayfa : 124

Jüri : Prof. Dr. Mustafa LAMAN
: Prof. Dr. M. Arslan TEKİNSOY
: Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇANAKÇI

Dünyada yerleşime açılan pekçok bölgede yumuşak zemin içeren birimler bulunmaktadır. Yüzeysel temeller, yumuşak kil birimler üzerine inşaa edildiğinde düşük taşıma gücü ve büyük oturma değerleri vermektedir. Gevşek veya yumuşak zemin koşullarında yapılaşma, genelde uygun bir zemin iyileştirme tekniği kullanmadan mümkün olmamaktadır. Yumuşak kil davranışı, zayıf olan yumuşak kil zeminin yerine sıkıştırılmış granüler dolgu yerleştirilmesi ile kısmen yada tamamen geliştirilebilir. Bu çalışmada, sıkıştırılmış granüler dolguyla desteklenen dairesel yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışının iyileştirilmesini incelemek amacıyla laboratuvar ve arazi model deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deneylerinden sonra, Sonlu Elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS 2D bilgisayar yazılımı ile sayısal analizler yapılmıştır. Deney sonuçları sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney ve sayısal analiz sonuçları granüler dolgunun, dairesel yüzeysel temelin taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüzeysel Temeller, Yumuşak Kil, İyileştirme, Taşıma Kapasitesi, PLAXIS

ABSTRACT

MSc THESIS

ANALYSIS OF FOOTING ON SOFT CLAY STABILIZED WITH A GRANULAR SOIL

Gizem MISIR

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Year : 2008 Pages : 124

Jury: Prof. Dr. Mustafa LAMAN

: Prof. Dr. M. Arslan TEKİNSOY

: Assist. Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI

Most of the residential areas in the world consist of soft clay deposits. Shallow foundations, when built on soft clay deposit, exhibit low load-bearing capacity and undergo large settlements. Construction in loose or soft subsurface soil conditions may not sometimes be possible without using a suitable soil improvement technique. The soft clay behavior can be improved by totally or partially replacing inadequate soft soils with granular fill and geogrid being compacted in layers. In the present study, laboratory and in situ model tests were carried out to determine the improvement of bearing capacity and settlement behavior of circular shallow foundations supported by a compacted granular fill with and without geogrid. After laboratory tests, numerical analyses were conducted using geotechnical computer software PLAXIS 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis). Test results were compared with numerical results. The results of the test and numerical studies indicate that the granular fill and geogrid have considerable effects on the bearing capacity and settlement behavior of the circular shallow foundations.

KeyWords: Shallow Foundations, Soft Clay, Stabilization, Bearing Capacity, PLAXIS

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda beni yönlendiren, kıymetli bilgilerini paylaşan, yardımlarını esirgemeyen, başta değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Mustafa LAMAN olmak üzere, değerli katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Abdülazim YILDIZ, Arş. Gör. Ahmet DEMİR ve Arş. Gör. Murat ÖRNEK' e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; bu tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarıma, yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Bu tezin oluşmasında sağladığı maddi destekten ötürü, TÜBİTAK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak, hayatımın her anında yanımda oldukları, destek ve ilgilerini esirgemedikleri için annem, babam ve biricik kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Giriş	3
2.2. Deneysel Çalışmalar	3
2.2.1. Mandal ve Sah (1992).....	3
2.2.2. Shin ve Arkadaşları (1993).....	4
2.2.3. Das ve Arkadaşları (1994).....	4
2.2.4. Alawaji (2001)	5
2.2.5. Fonseca (2001).....	5
2.2.6. Zhu ve Arkadaşları (2001)	6
2.2.7. Bergado ve Arkadaşları (2001).....	6
2.2.8. Dash ve Arkadaşları (2003).....	7
2.3. Teorik Çalışmalar	7
2.3.1. Madhav ve Vitkar (1978)	7
2.3.2. Otani ve Arkadaşları (1998)	7
2.3.3. Erickson ve Drescher (2002)	8
2.3.4. Thome (2005)	9
2.3.5. Deb ve Arkadaşları (2007)	9
2.3.6. Deb ve Arkadaşları (2007)	10

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	12
3.1. Giriş	12
3.2. Zemin Özellikleri	12
3.2.1. Kil Zemin	13
3.2.1.1. Arazi Çalışmaları.....	14
3.2.2. Granüler Stabilize Zemin	19
3.3. Laboratuar Model Deneyleri	20
3.3.1. Deney Düzeni	20
3.3.1.1. Deney Kasası	20
3.3.1.2. Model Temel Plakaları	21
3.3.1.3. Titreşim Cihazı	22
3.3.1.4. ADU (Veri Kaydetme Ünitesi)	22
3.3.1.5. Yük Halkası	22
3.3.1.6. Yükleme Sistemi	22
3.3.1.7. Düşey Deplasman Transducere	23
3.3.2. Aletlerin Kalibrasyonu	23
3.3.3. Deney Programı	24
3.3.4. Kil Numunelerin Hazırlanması	25
3.3.5. Granüler Stabilize Malzemenin Hazırlanması	27
3.3.6. Sadece Kil Durumunda Yapılan Deneyler	27
3.3.7. Granüler Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler	30
3.3.8. Laboratuar Model Deney Sonuçları	32
3.3.8.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler	33
3.3.8.2. Stabilize Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler	36
3.4. Arazi Model Deneyleri	41
3.4.1. Deney Düzeni	42
3.4.1.1. Yükleme Düzeneği.....	42
3.4.1.2. Model Temel Plakaları	43
3.4.1.3. Yük Halkası	43
3.4.1.4. Yükleme Sistemi	43
3.4.1.5. Düşey Deplasman Transducere	43

3.4.2. Aletlerin Kalibrasyonu	43
3.4.3. Deney Programı	44
3.4.4. Sadece Kil Durumunda Yapılan Deneyler	44
3.4.5. Arazi Model Deney Sonuçları	48
3.4.5.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler	49
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ	50
4.1. Giriş	50
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	50
4.3. PLAXIS Bilgisayar Yazılımı	51
4.3.1. Eleman Tipleri	52
4.3.2. Kiriş Elemanlar	52
4.3.3. Zemin Modelleri	52
4.3.3.1. Lineer Elastik Zemin Modeli	53
4.3.3.2. Mohr-Coulomb Zemin Modeli	53
4.3.3.3. Hardening Zemin Modeli	53
4.3.3.4. Soft Soil-Crep Modeli	53
4.4. Sonlu Elemanlar Analizi	54
4.4.1. Laboratuar Deneylerinin Modellenmesi	54
4.4.1.1. Sonlu Elemanlar Ağı	55
4.4.1.2. Ağ Etkisi	55
4.4.1.3. Model Temeller	56
4.4.1.4. Malzeme Özellikleri	56
4.4.1.5. Sadece Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi	57
4.4.1.6. Stabilize Katkısıyla Yük-Oturma İlişkisi	58
4.4.2. Arazi Deneylerinin Modellenmesi	62
4.4.2.1. Sonlu Elemanlar Ağı	62
4.4.2.2. Model Temeller	63
4.4.2.3. Malzeme Özellikleri	63
4.4.2.4. Sadece Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi	64

5. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	65
5.1. Giriş	65
5.2. Model Deneylerin Karşılaştırılması	65
5.2.1. Laboratuar Model Deneylerinde Ölçek Etkisi.....	65
5.2.2. Arazi ve Laboratuar Deneylerinin Karşılaştırılması	70
5.3. Teorik Çözümlerle Model Deneylerinin Karşılaştırılması	71
5.3.1. Laboratuar Deneyleri ve Teorik Çözümlerin Karşılaştırılması	71
5.3.2. Arazi Model Deneyleri ve Teorik Çözümlerin Karşılaştırılması	78
5.3.2. Teorik sonuçlarla Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması	79
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	86
EKLER	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler.....	24
Çizelge 3.2. Stabilize Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler.....	24
Çizelge 3.3. Laboratuar Model Deneylerine Ait Toplu Gösterim.....	33
Çizelge 3.4. 6 cm Çaplı Temele Ait Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi	39
Çizelge 3.5. 9 cm Çaplı Temele Ait Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi	41
Çizelge 3.6. Arazi Model Deneylerine Ait Toplu Gösterim.....	49
Çizelge 4.1. Sayısal Modellemelere Ait Toplu Gösterim	54
Çizelge 4.2. MCC Model Parametreleri.....	57
Çizelge 4.3. MC Model Parametreleri	57
Çizelge 4.4. MCC Model Parametreleri.....	64
Çizelge 5.1. Laboratuar Model Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi	69
Çizelge 5.2. 6 cm Çaplı Temel İçin TKO Değerleri	74
Çizelge 5.3. 9 cm Çaplı Temel İçin TKO Değerleri	77
Çizelge 5.4. Hesaplamalarda Kullanılan Parametreler.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Deney Düzeneği	6
Şekil 2.2. Temsili Zemin Profili	10
Şekil 3.1. Kil Zeminin Alındığı Arazi	13
Şekil 3.2. Arazide Muayene Çukuru Açılması.....	14
Şekil 3.3. Arazide Sondaj Kuyusu Açılması.....	15
Şekil 3.4. SK1 ve SK2'ye Ait Blok Diyagramı.....	16
Şekil 3.5. Araziden Alınan Örselenmiş ve Örselenmemiş Zemin Numuneleri	16
Şekil 3.6. Standart Proctor Deney Sonucu.....	19
Şekil 3.7. Elek Analizi Sonucu.....	20
Şekil 3.8. Laboratuar Model Deney Düzeneği.....	21
Şekil 3.9. Dairesel Model Temeller (Ölçeksiz).....	21
Şekil 3.10. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi	23
Şekil 3.11. Numunelerin Etüvde Kurutulması	25
Şekil 3.12. Numunelerin Öğütülmesi	26
Şekil 3.13. Zemin Numunelerinin Kür Odasında Bekletilmesi	26
Şekil 3.14. Granüler Dolgu Malzemesinin Hazırlanması	27
Şekil 3.15. Laboratuar Model Deney Düzeneği.....	28
Şekil 3.16. Kil Zemin Tabakalarında Mukavemet Kontrolü	29
Şekil 3.17. Sistemin Yüklemeye Hazır Hale Getirilmesi	30
Şekil 3.18. Stabilizeli Deneyler İçin Yükleme Düzeneği	30
Şekil 3.19. Sistemin Yüklemeye Hazır Hale Getirilmesi	32
Şekil 3.20. 6 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği	34
Şekil 3.21. 6 cm Çaplı Temele Ait İstatistiksel Analiz.....	34

Şekil 3.22. 9 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği.....	35
Şekil 3.23. 9 cm Çaplı Temele Ait İstatistiksel Analiz.....	35
Şekil 3.24. 6 ve 9 cm Çaplı Temellerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	36
Şekil 3.25. Stabilizeli Durumda Deney Düzeneği.....	37
Şekil 3.26. LM-6-0.25D'ye Ait Yük-Oturma Grafiği	37
Şekil 3.27. LM-6-0.25D'ye Ait İstatistiksel Analiz	38
Şekil 3.28. 6 cm Çaplı Temelde Stabilize Katkılı Deney Sonuçları	38
Şekil 3.29. LM-9-0.25D'ye Ait Yük-Oturma Grafiği	39
Şekil 3.30. LM-9-0.25D'ye Ait İstatistiksel Analiz	40
Şekil 3.31. 9 cm Çaplı Temelde Stabilize Katkılı Deney Sonuçları	40
Şekil 3.32. Model Deneylerin Yapıldığı Arazi	42
Şekil 3.33. Model Deneylerde Kullanılan Deney Düzeneği.....	42
Şekil 3.34. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi	44
Şekil 3.35. Çalışma Alanının JCB ile Açılması	45
Şekil 3.36. Arazi Model Deneyleri.....	45
Şekil 3.37. Çalışma Alanının Deneye Hazır Hale Getirilmesi	46
Şekil 3.38. Yükleme Anı	47
Şekil 3.39. Deney Sonu	47
Şekil 3.40. Deney Sonunda Alınan Kontrol Numuneleri	48
Şekil 3.41. 9 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği.....	49
Şekil 4.1. Üçgen Elemanlar.....	52
Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Ağı	55
Şekil 4.3. Ağ Etkisi.....	56
Şekil 4.4. 6 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi	58

Şekil 4.5. 9 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi	58
Şekil 4.6. 6 cm Çaplı Temelde TKO-H/D İlişkisi	59
Şekil 4.7. 6 cm Çaplı Temelde Yük-Oturma İlişkisi	60
Şekil 4.8. 9 cm Çaplı Temelde TKO-H/D İlişkisi	61
Şekil 4.9. 9 cm Çaplı Temelde Yük-Oturma İlişkisi	61
Şekil 4.10. Sonlu Elemanlar Ağı	63
Şekil 4.11. 9 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi	64
Şekil 5.1. $H/D=0.0D$ İçin Ölçek Etkisi	66
Şekil 5.2. $H/D=0.25D$ İçin Ölçek Etkisi	66
Şekil 5.3. $H/D=0.50D$ İçin Ölçek Etkisi	67
Şekil 5.4. $H/D=1.0D$ İçin Ölçek Etkisi	67
Şekil 5.5. $H/D=1.5D$ İçin Ölçek Etkisi	68
Şekil 5.6. Stabilize Kalınlığının Oturmaya Etkisi	69
Şekil 5.7. Saf Kilde IM ve LM Deneylerinin Karşılaştırılması	70
Şekil 5.8. $H/D=0.0D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	71
Şekil 5.9. $H/D=0.25D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	72
Şekil 5.10. $H/D=0.50D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	72
Şekil 5.11. $H/D=1.0D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	73
Şekil 5.12. $H/D=1.5D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	73
Şekil 5.13. TKO Değerlerinin Karşılaştırılması	74
Şekil 5.14. $H/D=0.0D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	75
Şekil 5.15. $H/D=0.25D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	75
Şekil 5.16. $H/D=0.50D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	76
Şekil 5.17. $H/D=1.0D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	76
Şekil 5.18. $H/D=1.5D$ İçin Yük-Oturma İlişkisi	77

Şekil 5.19. TKO Değerlerinin Karşılaştırılması	78
Şekil 5.20. Saf Kile Ait Arazi ve Laboratuar Deneylerinin Karşılaştırılması.....	79
Şekil 5.21. 6 cm Çaplı Temelde Deney ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması	80
Şekil 5.22. 9 cm Çaplı Temelde Deney ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması	81

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen yapım teknikleri ve yapısal analiz yöntemleri ile kapsamlı ve özellikli yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Yapım teknikleri ve yapım teknolojisindeki gelişmeler ile kentlerde yapılaşma hızla gelişmiş ve buna bağlı olarak yapıların inşa edilmesi için uygun arazilerin bulunmasında sıkıntılar doğmuştur. Kent merkezlerinde yer alan, ancak taşıma gücü ve oturma açısından, problemli olan arazilerin, yapılaşmaya uygun hale gelmesi için bu alanlarda çok katlı ve özellikli yapıların temel sistemi derin temele dönüştürülmekte ya da zeminlerini iyileştirilmesi yoluna başvurulmaktadır.

Yapılar, yapısal analizlere göre sınıflandırılırsa, üst yapı ve temel analizi olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Üst yapı analizlerinde malzeme ve yapı davranışı, daha rahat kontrol edilebildiğinden, analiz yöntemlerinde oluşabilecek hatalar önceden tahmin edilebilmekte ve önlemler alınarak yapı davranışı inşa aşamasında kontrol edilebilmektedir. Ancak, yapıların temel analizine (zemin açısından) girildiğinde yapının etkileşim içinde bulunduğu zeminin davranışı tam olarak tahmin edilemediğinden, doğru analiz yönteminin kullanılması ve tasarımda alınacak parametrelerin seçimi zorlaşmaktadır.

Yapı arazisi zemin profilinin belirlenmesi ve zemine ait endeks özelliklerinin belirlenmesi için arazi çalışmaları yapılması gerekmektedir. Arazide yapılan sondaj çalışmaları ile zeminin düşey profili çıkarılabilmekte, aynı zamanda laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınabilmektedir.

Bir zemin profilinin sayısal analizinin yapılabilmesi için, uygun parametrelerin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, bu özelliklerin belirlenmesi yanında, bu özelliklere uygun zemin modelinin belirlenmesi de projelendirmede yapılan sayısal analizlere önemli derecede etki etmektedir. Taşıma gücü ve oturma açısından, problem yaratan zeminlerde kullanılan iyileştirme yöntemleri sayısal analizde doğru olarak modellenmelidir. Zeminlerin iyileştirilmesi için, granüler stabilize dolgu yöntemi uygulamada kullanılan alternatif iyileştirme yöntemlerinden biridir.

Granüler dolgu ile iyileştirme yönteminde zemin, özellikleri ve davranışı önceden yapılan laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş olduğundan, bir bakıma iyileştirme yapılan, sorunlu bölge kontrol altına alınmış olmaktadır. Bu bakımdan projelendirmede kullanılan sayısal analiz sonuçları ile uygulama sonrası davranış arasında istenilen uyum sağlanabilmektedir.

Stabilize dolgu ile yapılan iyileştirme ile elde edilen sonuçlar, beklenen davranışa uygun olmasına rağmen, iyileştirme derinliğinin artması durumunda granüler dolgu ile iyileştirme yöntemi ekonomikliğini ve uygulanabilirliğini yitirebilir. Ancak, özellikle otoyollar, barajlar, havalimanları, limanlar gibi yapıların zeminlerinin iyileştirmelerindeki maliyet ve zaman faktörleri göz önünde bulundurulduğunda granüler dolgu ile iyileştirme uygun bir iyileştirme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemin ekonomikliğinin yanı sıra kontrol edilmesinin kolay olması en önde gelen avantajıdır.

Bu çalışmada, granüler dolgu ile iyileştiren yumuşak kil zeminlere oturan temellerin taşıma kapasitesi, model deneyler ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Plaxis (Finite Element Code for Soil Rock Analysis) paket programı kullanarak incelenmiştir. Model deneylerde; yüzeysel temel olarak 6 ve 9 cm çaplarında dairesel model temeller kullanılmıştır. Zemini güçlendirmek amacıyla temel çapına bağlı olarak farklı kalınlıklarda (0.25D, 0.50D, 1.0D, 1.5D) stabilize dolgu kullanılmıştır. Çalışmada stabilize dolgu ile iyileştirilen zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasiteleri ve oturma davranışları, arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Yapılan deneyler Plaxis bilgisayar yazılımı ile modellenerek, elde edilen sayısal sonuçlar, deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölümde, yumuşak kil zeminlerin granüler stabilize dolgu ile iyileştirilmesini konu alan yayınlar özetlenmiştir. Kaynaklarda bu konuda son yıllarda çok sayıda ve çok yönlü çalışmalar yer almaktadır. Araştırmamızda, killi zeminler kullanıldığından, aşağıda sadece kil zeminler üzerine oturan, yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışını konu alan yayınlar sunulmuştur.

2.2. Deneysel Çalışmalar

2.2.1. Mandal ve Sah (1992)

Kil zemin tabakalarına yatay olarak yerleştirilen geogrid donatılarla, kare temellerin taşıma gücü model deneylerle araştırılmıştır. Model deneyler, 46x46x46 cm boyutlarında çelik kasa içerisinde yapılmıştır. Model temel olarak 10 cm boyutlarında ahşap malzeme kullanılmıştır. Kasa boyutları, model temel genişliğinin 4 katı seçilerek sınır etkisi minimuma indirilmiştir. Donatı olarak çift yönlü geogridler kullanılmıştır. Deneylerde ilk donatı oranları $u/B=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0$ alınmıştır. Kıyaslamalar, temel genişliğinin %11'ine ait oturmalara karşılık gelen taşıma kapasiteleri ile (q ve q_0) yapılmıştır. Kare temelde u/B oranı 0.175 olduğunda taşıma kapasitesinde %36 artış, $u/B=0.25$ için ise oturmadaki % azalmayı simgeleyen $(PRS)_{max}$ değerini ise %45 bulmuştur. İyileştirme tüm oturma oranlarında gözlenmiş ve $u/B=0-0.25$ aralığında iyileşme faktöründe oldukça belirgin iyileşmeler gözlenmiştir.

2.2.2. Shin ve ark. (1993)

Geogrid donatılarla güçlendirilen suya doymun killi zemin üzerine oturan şerit temellerin taşıma kapasiteleri laboratuvar deneyleri ile araştırmışlardır. Deneyler tek tip bir kil üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalama su muhtevasının değişimi drenajsız kayma mukavemetinde değişmelere sebep olmuştur.

Model kasa 1.09 m uzunluğunda, 30.48 cm genişliğinde ve 0.91 m yüksekliğindedir. Kullanılan model şerit temel ise 7.62 x 30.48 boyutundadır. Belirli su muhtevasında hazırlanan zemin 2.54 cm kalınlıklarda serilip sıkıştırılmıştır. Yüklemelerin ardından drenajsız kayma mukavemeti c_u her bir deney için vane aleti ile yapılmıştır. 7 seri deney yapılmıştır. Seri A'da donatısız deneyler, Seri B, C, D, E kritik $(u/B)_{cr}$ oranlarını, Seri F ve G ise kritik $(d/B)_{cr}$ oranlarını bulmak için yapılmıştır.

Şerit temeller için kullanılan $(q_u = c_u * N_c)$ ifadesinde deneylerden elde edilen q_u ve c_u değerleri yerine konulmuş ve N_c 'nin teorik değeri olan $N_c = 5.14$ ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Herhangi bir b/B oranı için Bearing Capacity Ratio (BCR) değeri $u/B \leq (u/B)_{cr}$ değerine kadar artarken, bu değerden sonra azalmaktadır. $(u/B)_{cr} = 0.4$ olarak (tüm b/B değerleri için) elde edilmiştir.

2.2.3. Das ve ark. (1994)

Geogrid ile güçlendirilmiş kum ve suya doymun kil zemin üzerine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Model deneyler esas alınarak, her iki tip zemin için, optimum ilk donatı derinliği, optimum toplam donatı derinliği ve genişliği tanımlanarak karşılaştırılmıştır. Kumlarda efektif olarak çalışan toplam donatı derinliği $2B$, killerde ise $1.75B$ olarak bulunmuştur. Maksimum taşıma kapasitesini veren ilk donatı derinliği ise kumlarda $0.30 B$, killerde ise $0.40B$ olarak bulunmuştur.

2.2.4. Alawaji (2001)

Çalışmada, su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen çökme oturmasına maruz kalan, çökebilen kum zeminlerin geogrid donatılarla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Model yükleme deneylerini, 10 cm çapında dairesel plaka ve Tensar SS2 geogridler kullanarak yapmıştır. Geogrid genişlik ve yerleştirilme derinlikleri, bu parametrelerin göçme oturması, deformasyon modülü ve taşıma kapasitesi oranları üzerindeki etkilerini göstermek için değiştirilmiştir.

Yapılan analizler; geogrid donatılı zeminlerde, oturmada %95 azalma, elastik modülde %2000, taşıma kapasitesinde %320 artış olduğunu göstermiştir. Sonuçta; göçebilen zeminde en verimli donatı tasarımının, geogrid genişliğinin, yüklenmiş alan çapının 4 katı ve temel çapının %10'u derinlikte olduğu durum için bulmuştur.

2.2.5. Fonseca (2001)

Bu çalışmada amaç; yükleme deneyleri ile elde edilen sonuçları, kaynaklarda mevcut olan bir takım tasarım yöntemleri ile karşılaştırmaktır. Bunun için gerçek boyutlardaki dairesel temellere, arazi ve laboratuvar ortamlarında, yükleme deneyleri yapılmıştır.

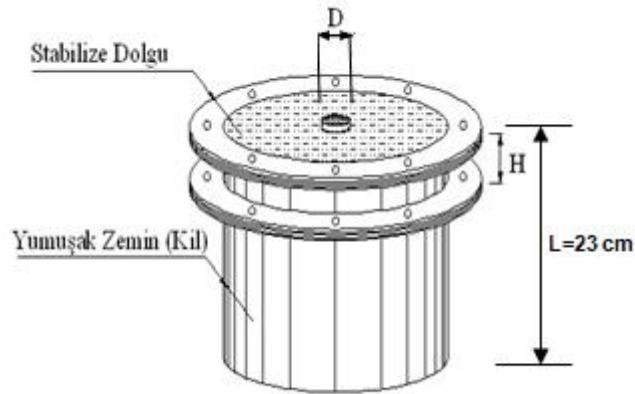
Mukavemet ve rijitlik parametreleri elastisite teorisi yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmada, bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılan üç eksenli deneyler ile plaka yükleme deneyleri, koni penetrasyon deneyleri ve standart penetrasyon deneyleri sonuçlarına dayanan, yarı ampirik yöntemler üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak, her bir yöntemle ilgili yapılan kıyaslamaların uyumluluk derecesinden bahsedilmiştir.

2.2.6. Zhu ve ark. (2001)

Sıkı kuru kum üzerindeki şerit ve dairesel temellerin taşıma kapasitelerindeki boyut etkisini ve temellerin şekil faktörü s_f 'yı sayısal ve deneysel çalışmalarla araştırmıştır. Sayısal sonuçlar, taşıma kapasitesinin temel boyutuyla birlikte üstel arttığını göstermiştir. Şerit temeller için temel genişliği 0.1 m'den 10 m'ye çıktığında, taşıma kapasitesi 620'den 12300 kPa'a çıkmaktadır. Dairesel temel içinse, temel çapındaki aynı artıma karşılık, taşıma kapasitesi 290'dan 6730 kPa'a çıkmıştır. Bu durum için şekil faktörü 0.47'den 0.56'ya çıkmıştır.

2.2.7. Bergado ve ark. (2001)

Çalışmalarında, hem deneysel hem de sayısal analizlerle, geotekstil'le güçlendirilmiş yumuşak kil zeminlerin taşıma gücü artışlarını karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmasında modifiye edilmiş CBR deney düzeneğini kullanmıştır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Deney Düzeneği

Boyutları $D=30$ cm ve $L=23$ cm olan bu düzenekte, üstteki 5cm stabilize malzeme altında, iki ayrı kil durumu donatılı ve donatısız durumlar için araştırılmıştır. CBR deneyi için sürşarj yükü 5.3 kPa uygulanmıştır. Donatılı çalışmalarında, farklı rijitlikte üç ayrı donatı ile çalışmışlardır.

Yapılan modellemelerde kil zeminlere ait elastisite modülleri, drenajsız kayma mukavemetinin 315 katı olarak alınmıştır. Bu modellemelerde kullanılan parametrelerle, deneysel sonuçlara oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

2.2.8. Dash ve ark. (2003)

Yumuşak kil zemin üzerindeki granüler dolgu tabakasına yerleştirdiği geocelin sisteme olan etkilerini küçük ölçekli model deneyler üzerinde araştırmıştır. Sonuçta geocelin uygun yerleşimi ile dairesel temelin taşıma kapasitesinin 7 kat arttırılabileceğini belirlemiştir.

2.3. Teorik Çalışmalar

2.3.1. Madhav ve Vitkar (1978)

Yumuşak kil zeminler üzerine oturan sürekli temellerin altında, granüler bir dolgu tabakası serilmesi durumunda, temelin taşıma kapasitesindeki değişimlerini teorik olarak araştırmışlardır. Bu durum için göçme mekanizmasını esas alan, sürekli temelin taşıma kapasitesi için, bir bağıntı önermişlerdir. Bağıntıda geçen taşıma kapasitesi parametrelerini (N_q , N_γ , N_c), granüler tabaka genişliğinin temel genişliğine oranından yararlanarak, belirlemiştir. Maksimum taşıma kapasitesi değerinin elde edileceği, minimum granüler dolgu yüksekliğinin $2.5B - 3B$ arasında olduğunu öne sürmüşlerdir.

2.3.2. Otani ve ark. (1998)

Geosentetiklerle güçlendirilmiş, kohezyonlu zeminlere oturan üniform yükle yüklenmiş esnek şerit temelin taşıma kapasitesini, rijit plastik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, donatılı ve donatısız durumlar için, sayısal olarak analiz etmişlerdir. Alt tabakadaki yumuşak zemin tamamen kohezyonlu kabul edilmiştir. Donatılı zemin ile yumuşak zemin Von-Mises göçme kriterine göre modellenmiştir.

Sonuçta, donatısız hal için plastik akmanın, yükün uygulandığı köşede yoğunlaştığı görülürken, donatılı halde akma daha geniş bir alanı kaplamaktadır ve taşıma kapasitesi daha fazladır. Çalışmasında optimum donatı tabaka sayısını 5, toplam donatı derinliğini ise 0.4B olarak bulmuştur.

2.3.3. Erickson ve Drescher (2002)

Çalışmasında, FLAC programı ile, pürüzlü ve pürüzsüz dairesel temellerin taşıma kapasitelerini sayısal analizlerle araştırmışlar ve kaynaklarda önerilmiş yaklaşımlarla karşılaştırmışlardır. Göçme yüzeyi ile yenilme yüzeylerinin farklı olduğu zeminlerdeki etkileri araştırmışlardır.

Sürşarj etkisinde bulunmayan dairesel pürüzlü ve pürüzsüz temellerde, N_c ve N_γ taşıma gücü parametrelerini, içsel sürtünme açısı (ϕ)= 20° , 35° , 40° ve 45° arasında değiştirken, bunlara karşılık dilatasyon açılarını (ψ)= ϕ , $\phi/2$ ve 0 gibi içsel sürtünme açısı cinsinden belirleyip, Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) programı ile sayısal analizlerini yapmışlardır. Sonuçlara etkisini görmek için kohezyon değerini (c) 0.1 ve 100 kPa olarak iki değişik değer girmişlerdir.

Sonuç olarak, N_c ve N_γ taşıma gücü parametreleri dilatasyon açısına bağlıdır. Bu bağıllık ϕ 'nin yüksek olduğu durumlarda daha da etkilidir. Dilatasyon açısındaki (ψ) azalma, taşıma gücü parametrelerinde %40'a varan bir azalmaya neden olmaktadır. Pürüzlü dairesel temellerde ψ 'nin 0 olduğu durumda N_γ değeri, de Beer'in model deneyler ile elde ettiği aralığa düşmektedir. $\psi=\phi$ durumu için N_γ değerleri Bolton ve Lau tarafından önerilen yaklaşıma göre daha küçüktür. Bu fark pürüzlü temeller ve $\phi=45^\circ$ olduğu durum için yaklaşık %75 civarındadır.

2.3.4. Thome (2005)

Bu çalışma ile yüksek boşluk oranına sahip, zayıf bağlı residüel kil üzerine yerleştirilmiş, çimentolanmış birime oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitelerinin tahmin edilmesine ilişkin bir yöntem tasarlanmıştır. Çalışma bir seri arazi yükleme deneyi ve sayısal modelleme sonuçlarını içermektedir.

Sonuçlar, iki tabakalı zeminler üzerine oturan yüzeysel temeller için, yarı ampirik bir yöntem geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yöntem arazi yükleme deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Model parametreleri, drenajlı üç eksenli basınç deneyinden elde edilmiştir.

Sayısal analizlerde, dairesel temelin çapları (D) 0.3m ile 2.4 m arasında, üstteki çimentolanmış birimin derinliği (H) 0.15m ile 0.60m arasında ve modellemeler H/D oranları 0.25-0.5 ve 1.0 olacak şekilde seçilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan malzemelerin, temel parametrelerine (c, ϕ, E) ilişkin etkilerini, çoklu regresyon analizi ile araştırmıştır. İstatistiksel olarak üstteki tabakaya ait young modülü (E_1) ve içsel sürtünme açısının (ϕ_1) limit basınca önemli bir katkısının olmadığını göstermiştir. Bu iki parametre dışındaki (c_1, c_2, ϕ_2, E_2) parametrelerden yararlanarak, temel çapının %2' sine karşılık gelen, rölatif oturma değerindeki taşıma gücü için bir formül türetmiştir. Hesaplanmış değerlerin, deneysel sonuçlara oranı yaklaşık olarak %95 civarındadır.

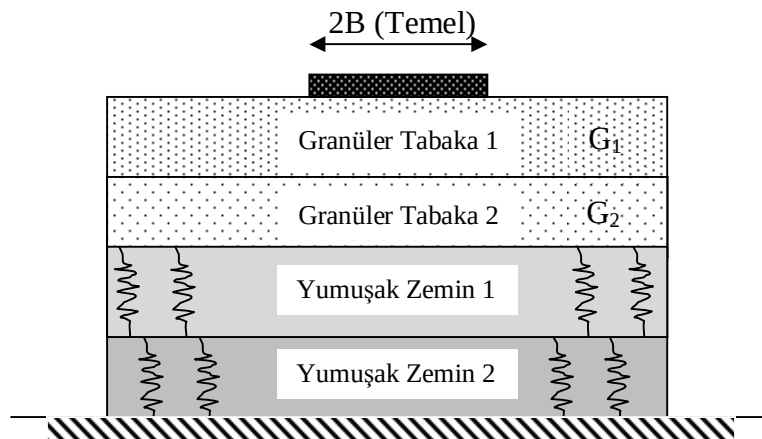
2.3.5. Deb K. ve ark (2007/a)

Çalışmasında, düzlem deformasyon koşullarında, yumuşak zemin üzerine yerleştirilen donatılı granüler tabakanın, taşıma gücüne etkisi FLAC programı ile araştırılmıştır. Granüler dolgu, yumuşak zemin ve geosentetik donatılar lineer elastik malzemeler olarak modellenmiştir. Problem, 6m derinliğindeki yumuşak zemin üzerinde yer alan 1m kalınlığında granüler donatılı dolgu için tasarlanmıştır. Donatılar bu 1m derinlik içine 0.25m düşey aralıklarla, donatı sayısı 1'den 3'e değiştirilerek tasarlanmıştır.

Taşıma gücü ve oturma değerleri, toplu parametrelili model ve sonlu farklar yöntemi ile hesap yapan FLAC programı ile karşılaştırılmıştır. FLAC programıyla yapılan analizlerde, oturmada meydana gelen azalmalar; tek, çift ve üç sıralı donatı dizaynı için sırasıyla %8.5, %12.2 ve %14.5 olarak bulunmuştur. Toplu parametrelili model yardımıyla yapılan analizlerde ise, oturmada meydana gelen azalmalar; donatısız, tek, çift ve üç sıralı donatı dizaynı için sırasıyla %18.2, %25.4 ve %29.2 ve %32 olarak bulunmuştur. Bu da göstermektedir ki; her iki yaklaşımda da donatı tabaka sayısı arttıkça meydana gelen oturmalar daha da azalmaktadır. Temel merkezi hizasında ve z/B oranı 0.375 değerinden daha küçük olduğu durumda, meydana gelen düşey gerilmeler, tüm donatılı kombinasyonlar için donatı tabaka sayısı arttıkça azalmaktadır. Temel merkezinden uzaklaştıkça donatısız durum en düşük düşey gerilme değerini verirken, z/B oranının 1.6 değerinden büyük olduğu durumda ise, düşey gerilme donatı tabaka sayısının artmasıyla azalmaktadır.

2.3.6. Deb K. ve ark. (2007/b)

Çalışma, tabakalı zemin sistemlerinin davranışını temsil eden basit temel modelinin geliştirilmesine aittir. İki farklı granüler ve yumuşak zemin tabakası, farklı kayma modülleri ve farklı rijitlikteki yay sabitleri ile temsil edilmiştir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Temsili Zemin Profili

Zemin tabakalarının gerilme-deformasyon ilişkileri lineer olarak kabul edilmiştir. Yükleme ve zemin profili düzlem-deformasyon koşulları altında düşünülmüştür. Sayısal çözümler ise, sonlu farklar ile elde edilmiş ve sonuçları boyutsuz olarak verilmiştir. Yumuşak zemin üzerine, granüler bir zemin tabakası yerleştirildiğinde, yüklü bölgedeki düşük kayma modülüne sahip granüler malzemede daha büyük oturmaların meydana geldiği görülmüştür.

Granüler tabakadaki boyutsuz kayma modülünün 0.1'den 1'e çıkması durumunda, yüklü bölgenin merkezinde meydana gelen oturma %41.3 oranında azalmıştır. Göz önüne alınan zemin bölgesi genişliği, temel genişliğinin 3 katından daha büyükse oturma miktarı üzerinde herhangi bir etki görülmemiştir. Yumuşak zeminlerden birinin rijitliği diğerine göre 20 kat daha büyük\küçükse oturmanın etkilendiği, bu değer ötesinde ise bu yumuşak zemin tabakalarının rijitliklerinin oturma değerleri üzerinde hiç etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Deneysel çalışmalar, yumuşak kil zemin durumunda ve yumuşak kilin granüler stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilmesi durumunda yapılan model plaka yükleme deneylerini içermektedir. Deneyler, hem laboratuvar ortamında, doğal su içeriğinde hazırlanan numuneler üzerinde, hem de arazide doğal zeminler üzerinde yapılmıştır.

Model temel olarak, değişik çaplarda rijit dairesel temel plakaları kullanılmıştır. Deneylerde kil tabakası üzerine farklı derinliklerde yerleştirilen granüler stabilize dolgu tabakasının kil zeminin taşıma gücü ve oturma davranışına olan etkileri araştırılmıştır.

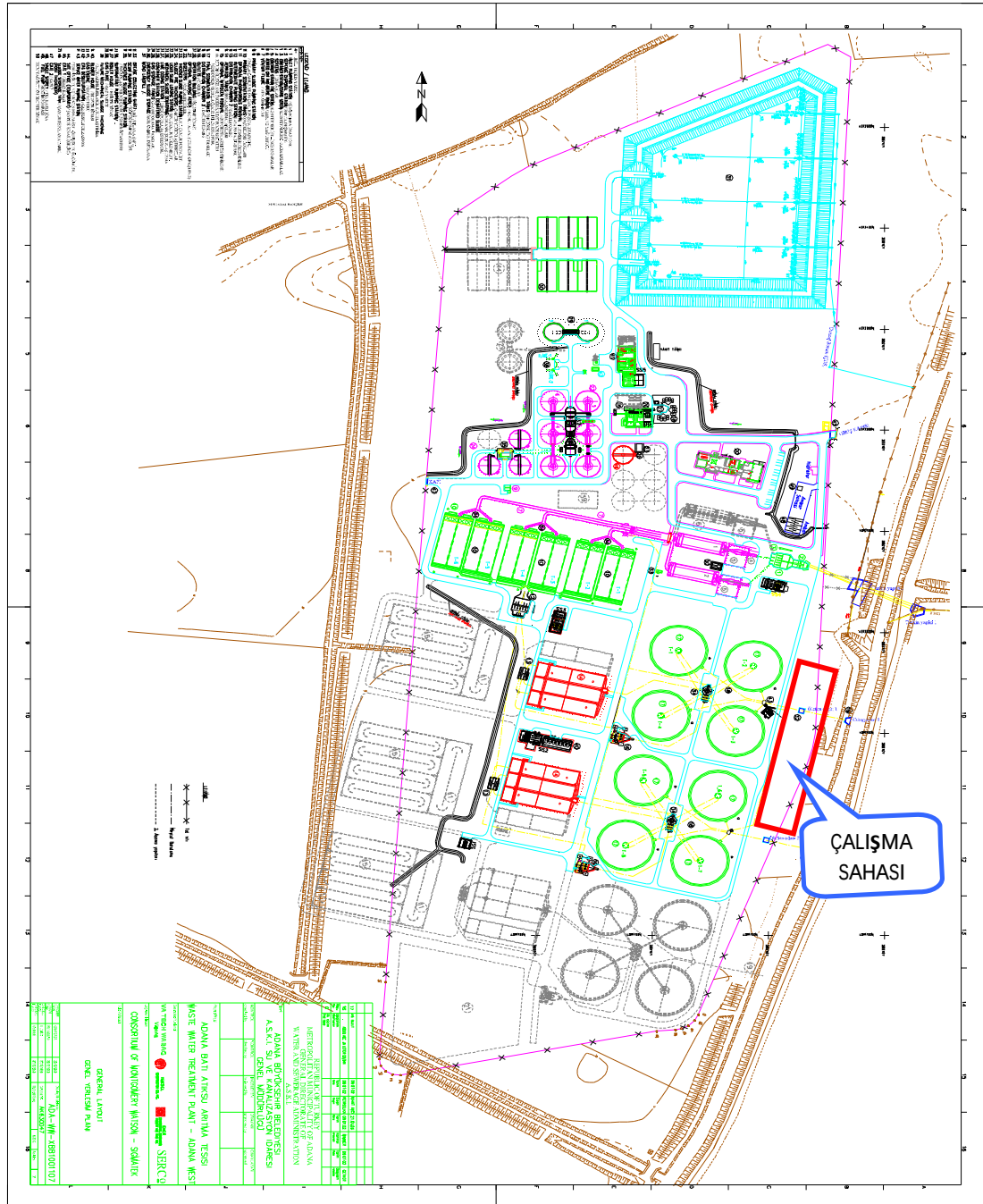
3.2. Zemin Özellikleri

Model deney çalışmalarında kullanılan killi zemin, Adana İli, Seyhan İlçesi, Yenidam Köyü Mevkiinden, granüler dolgu için kullanılan stabilize malzeme ise, Adana İli Kabasakal Mevkiinden getirilmiştir. Söz konusu arazide açılan muayene çukuru ve sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri alınarak laboratuvara getirilmiştir.

Araziden alınan killi zeminler ve ocaktan getirilen stabilize malzeme üzerinde endeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Kil Zemin

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar iki ayrı grup deney programı ile gerçekleştirilmiştir. Laboratuarda kullanılan killi zemin, arazi deneylerinin yapıldığı mevkiiden alınmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kil Zeminin Alındığı Arazi

Arazide yapılan deneylerde yerinde doğal zemin kullanılırken, laboratuvar ortamında ise, araziden getirilen numuneler öğütülerek, doğal su içeriğinde hazırlanarak kullanılmıştır. Böylece laboratuvar model deneylerinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemin geçerliliği bu çalışmada irdelenmiştir.

3.2.1.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma sahasındaki zemin özelliklerinin belirlenmesi için arazide 2.00-2.50 m derinlikte iki adet muayene çukuru (Şekil 3.2) ve 13-20m arasında değişen derinliklerde 4 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 3.3).

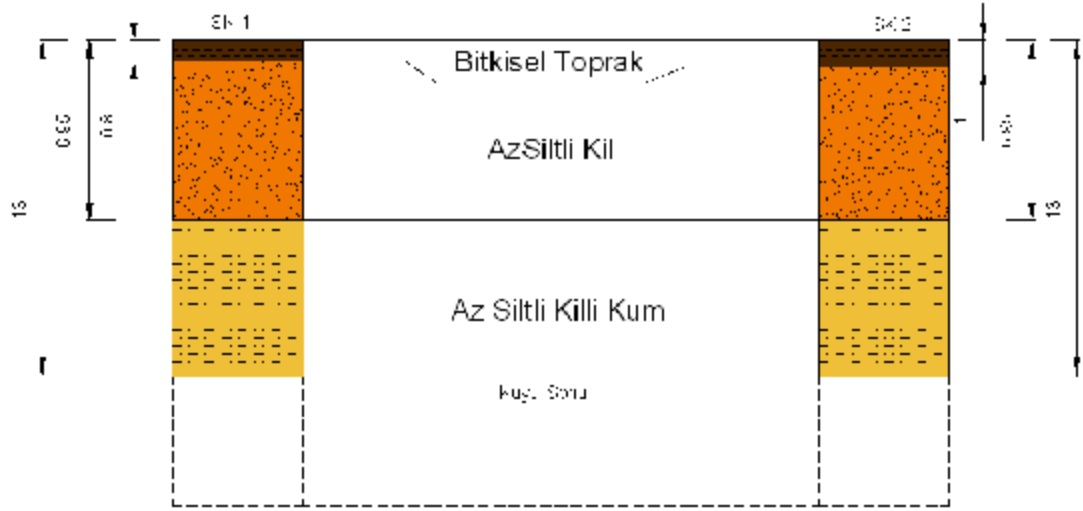


Şekil 3.2. Arazide Muayene Çukuru Açılması



Şekil 3.3. Arazide Sondaj Kuyusu Açılması

Yapılan incelemelerde, zeminde yüzeyden itibaren en üstte 75 - 100cm kalınlıkta bitkisel toprak tabakası ve bunu takip eden az siltli kil tabakası yer aldığı görülmüştür. Az siltli kil tabakası SK1 ve SK2 sondaj kuyularında, yaklaşık 6.00m kalınlıkta iken, SK3 ve SK4 sondaj kuyularında bu derinlik 7.50m olarak gözlenmiştir. SK1 ve SK2 sondaj kuyularında az siltli kil tabakasını 13.00m'ye kadar az siltli, killi kum tabakası takip etmektedir. SK3 sondaj kuyusunda ise, bu birim yaklaşık 1.50m olarak geçilmektedir. SK4 sondaj kuyusunda 10. metreden sonra 1.50m'lik koyu kahverengi kil tabakasına geçilmiş ve ardından bu tabakayı kuyunun bitim derinliğine kadar (14.0m) kil bantlı kalker tabakası takip etmiştir. Muayene çukurları ve sondaj kuyularında geçilen zemin katmanlarını gösteren loglar Ek 1'de verilmiştir.



Şekil 3.4. SK1 ve SK2'ye ait Blok Diyagramı

Arazi çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş kil zemin numuneleri (Şekil 3.5) üzerinde, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda gerekli tüm deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.5. Araziden Alınan Örselenmiş ve Örselenmemiş Zemin Numuneleri

Alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan piknometre ve su muhtevası deneylerinden, zemin dane birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Ek 2).

Kıvam limitlerini belirlemek üzere yapılan Atterberg limitleri deney sonuçları Ek 3'te, elek analizleri ve bunlardan elde edilen granülometrik eğriler Ek 4'te verilmiştir.

Zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek üzere araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan serbest basınç deney sonuçları Ek 5'te, Ayrıca, zeminlerin serbest basınç mukavemetlerini kontrol etmek amacıyla örselenmemiş numuneler üzerinde el penetrometresi ile okumalar yapılmıştır.

Temel zemini olarak daha fazla oranda kullanılacak olan üst tabaka kil zeminlerin konsolidasyon parametrelerini belirlemek amacı ile, sondaj kuyularından alınan karotlardan ve muayene çukurlarından alınan zemin bloklarından elde edilen, örselenmemiş numuneler üzerinde ödometre deneyleri yapılmıştır.

Killi zeminlerin aşırı konsolidasyon oranını belirlemek amacıyla zeminlerin ön konsolidasyon basınçları hesaplanmıştır. İlgili grafikler Ek 6'da verilmektedir. Bu sonuçlardan, arazideki kil zeminin, genelde normal konsolide (yer yer aşırı konsolide kil) olduğu anlaşılmıştır.

Arazideki yükleme deneyleri açısından; zemin profilinin ilk 5m'lik bölümü, daha çok önem arz ettiği için, laboratuvar deneyleri özellikle ilk 5m için yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ilk 5.0 metredeki zemin profili 3 tabakaya ayrılmıştır. Her bir tabaka için endeks, mukavemet ve oturma deney sonuçları değişim aralıkları verilmiştir.

1.Tabaka (0.00-2.20 m arası)

Bu tabakada su muhtevası değerleri %20-21, doğal birim hacim ağırlıkları 1.95-2.05 t/m³, dane birim hacim ağırlıkları 2.57-2.60 t/m³, likit limit değerleri %51-69 ve plastik limit değerleri ise, %21-30 arasında değişmektedir. Bu tabakanın zemin sınıfı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak bulunmuştur.

Mukavemet ve oturma deneylerinden elden edilen sonuçlara göre, serbest basınç mukavemeti 0.60-0.90 kg/cm², drenajsız kohezyon değerleri ise 0.30-0.45 kg/cm² aralığında elde edilmiştir. Ön konsolidasyon basınç değerleri ise, 0.48-1.30 kg/cm² aralığında bulunmuştur. Buna göre, zemin aşırı konsolide kil olarak tanımlanmıştır. Üst 2m'lik bu birim, alt birimlere göre daha genç bir birim olmasına rağmen, arazide tesisin kurulumu sırasında, bünyesine aldığı (iş makinesi, depolanmış malzemeler vb.) yüklerin etkisiyle bu birimin ön konsolidasyon basıncı alt birimlere göre daha yüksektir.

2. Tabaka (2.20-3.50 m arası)

Bu tabakada su muhtevası değerleri %22-24, doğal birim hacim ağırlıkları 1.93-2.25 t/m³, dane birim hacim ağırlıkları 2.60-2.69 t/m³, likit limit değerleri %28-54 ve plastik limit değerleri ise, %19-22 arasında değişmektedir. Bu tabakanın zemin sınıfı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak bulunmuştur.

Mukavemet ve oturma deneylerinden elden edilen sonuçlara göre, serbest basınç mukavemeti 0.30-0.54 kg/cm², drenajsız kohezyon değerleri ise 0.15-0.27 kg/cm² aralığında elde edilmiştir. Ön konsolidasyon basınç değerleri ise, yer yer 0.44-0.67 kg/cm² aralığında değişmekte iken, zeminin normal konsolide kil olduğu belirlenmiştir.

3. Tabaka (3.50-5.00 m arası)

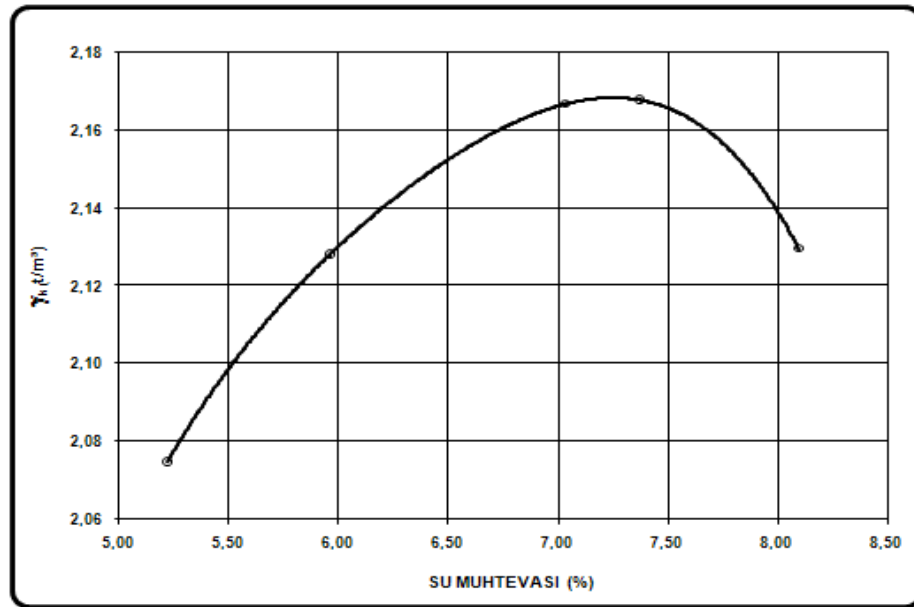
Bu tabakada su muhtevası değerleri %22-24, doğal birim hacim ağırlıkları 2.08-2.15 t/m³, dane birim hacim ağırlıkları 2.57-2.66 t/m³, likit limit değerleri %37-44 ve plastik limit değerleri ise, %20-25 arasında değişmektedir. Bu tabakanın zemin sınıfı birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak bulunmuştur.

Mukavemet ve oturma deneylerinden elden edilen sonuçlara göre, serbest basınç mukavemeti $1.00-1.30 \text{ kg/cm}^2$, drenajsız kohezyon değerleri ise $0.50-0.65 \text{ kg/cm}^2$ aralığında elde edilmiştir. Ön konsolidasyon basınç değerleri ise, yer yer $0.30-0.60 \text{ kg/cm}^2$ aralığında değişmekte iken, zeminin normal konsolide kil olduğu belirlenmiştir.

3.2.2. Granüler Stabilize Zemin

Adana İli, Kabasakal Mevkiindeki ocaktan getirilen stabilize malzeme üzerinde, elek analizi, su muhtevası, birim hacim ağırlığı, kesme kutusu ve Standart Proctor deneyleri yapılmıştır.

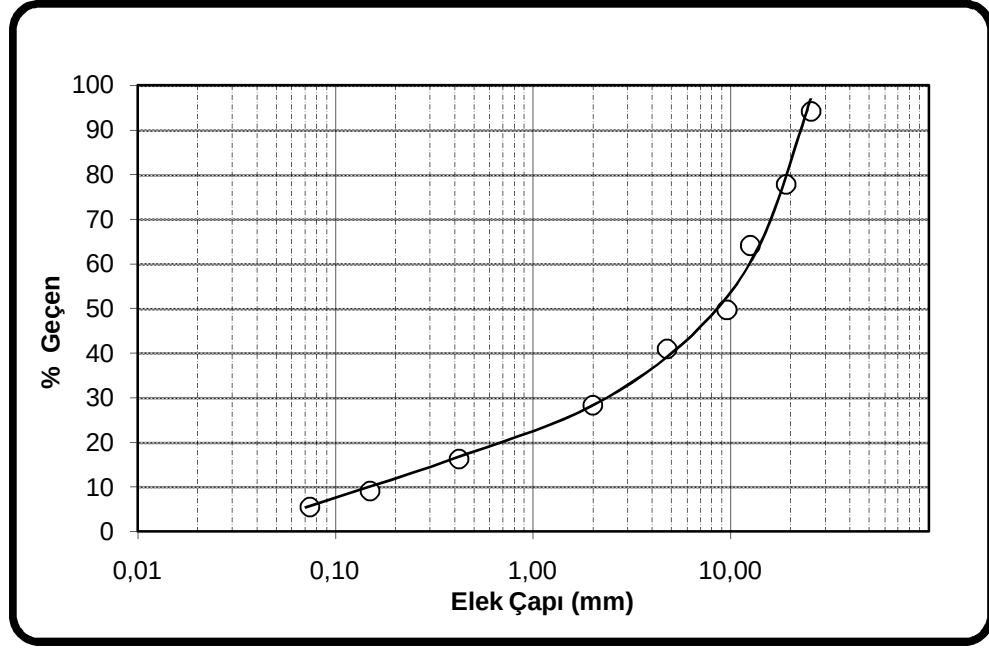
Standart Proctor deneyinden, zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 2.17 gr/cm^3 , optimum su içeriği ise, %7 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Standart Proctor Deney Sonuçları

Granüler stabilize malzeme üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi ile zeminin içsel sürtünme açısının 42° metebelerinde olduğu bulunmuştur.

Stabilize malzeme üzerinde yapılan Piknometre deneyi ile zemin dane birim hacim ağırlığı 2.64 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre stabilize malzeme iyi derecelenmiş çakıl-siltli çakıl (GW-GM) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.7).



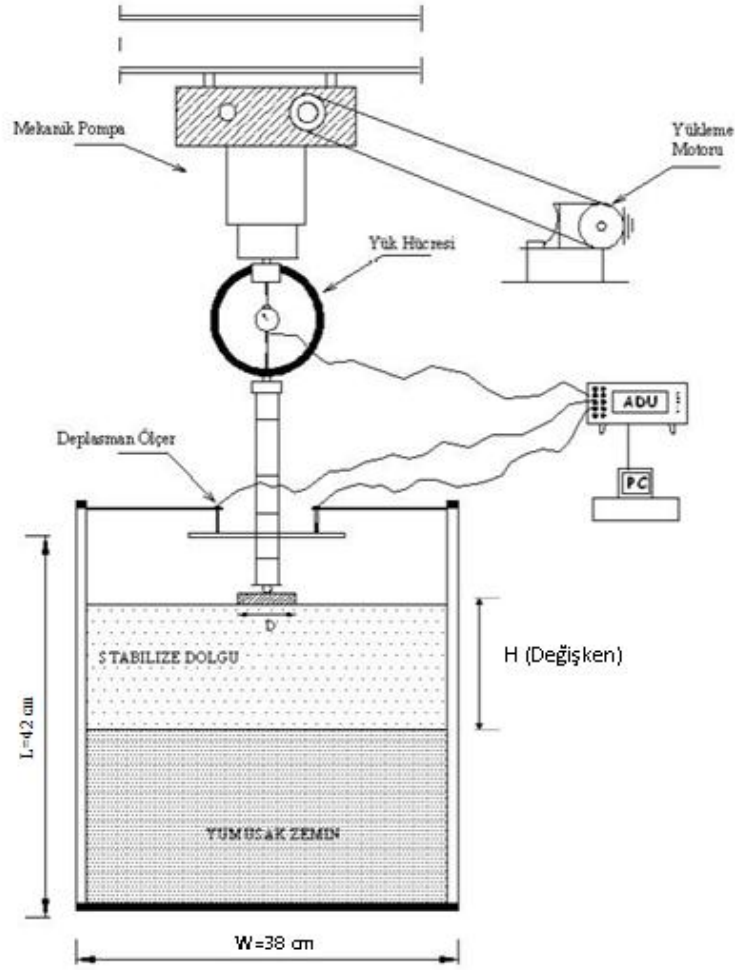
Şekil 3.7. Elek Analizi Sonucu

3.3. Laboratuvar Model Deneyleri

3.3.1. Deney Düzeni

3.3.1.1. Deney Kasası

Yapılan deneysel çalışmalar Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında özel olarak hazırlanmış 38 cm çapında ve 42 cm derinliğinde dairesel rijit bir kasa ve motorlu yükleme düzeneği kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Laboratuar Model Deney Düzeneği

3.3.1.2. Model Temel Plakaları

Laboratuar deney çalışmalarında, model temel olarak 6 ve 9 cm çaplarında, 2 cm kalınlığındaki rijit dairesel metal plakalar kullanılmıştır (Şekil 3.9). Deney sırasında yükün temel plakasına normal kuvvetin dik olarak etkimesi için yük, temele çelik bilye vasıtasıyla aktarılmıştır.



Şekil 3.9. Dairesel Model Temeller (Ölçeksiz)

3.3.1.3. Titreşim Cihazı

Granüler stabilize malzeme kasa içerisine tabakalar halinde ve belirlenen sıklık oranında yerleştirilmiştir. Bu amaçla dinamik etki vere bir titreşim cihazı kullanılarak stabilize tabakası önceden belirlenen derinliğe ulaşmaya kadar sıkıştırılmıştır. Geliştirilen titreşim cihazının tabanında 13x13 cm boyutlarında ve 20 mm kalınlığında merlin malzemeden imal edilmiş plaka bulunmaktadır.

3.3.1.4. ADU (Veri Kaydetme Ünitesi)

Deney sırasında ortaya çıkan oturma ve yük değerleri, deplasman ölçerler yardımıyla, veri yükleme cihazına (ADU) aktarılmıştır. Bu veriler daha sonra bilgisayar ortamında DIALOG programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

3.3.1.5. Yük Halkası

Deneylerde sisteme uygulanan yük değerlerini okumak için 2.5 kN kapasiteli yük halkası kullanılmıştır. Okumalar yük halkasına yerleştirilen transducer yardımıyla veri yükleme cihazına aktarılmıştır.

3.3.1.6. Yükleme Sistemi

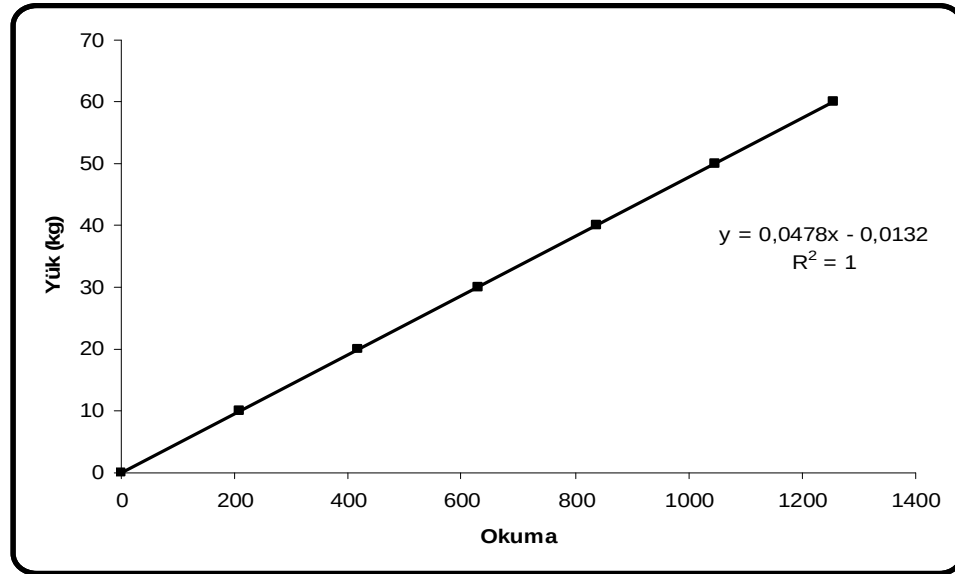
Deneylerde kullanılan yükleme sistemi; İnşaat Mühendisliği Laboratuarındaki yükleme iskeletine, CONTROLS firması tarafından imal edilen 45 kN kapasiteli T112 model, mekanik krika monte edilerek oluşturulmuştur.

3.3.1.7. Düşey Deplasman Transducere

Yükleme nedeniyle temel tabanında meydana gelen oturmaları ölçmek için en az 1 cm kapasiteli 3 adet deplasman ölçer kullanılmıştır. Bu sayede oturmalar 3 farklı noktada ölçülebilmektedir.

3.3.2. Aletlerin Kalibrasyonu

Deneyler sırasında, yük ve oturma ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için, yük halkasının kalibrasyonu yapılmıştır. Yük halkasının kalibrasyonuna ait grafik Şekil 3.10'da sunulmuştur.



Şekil 3.10. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi

3.3.3. Deney Programı

Laboratuar model deneylerinde; sadece kil zemin durumunda ve belli bir kalınlıkta, stabilize dolgu takviyeli durumda deneyler yapılmış ve bu deney serilerinde 6 ve 9 cm çaplı rijit, dairesel temel plakaları kullanılmıştır. Elde edilen iyileşmelere referans olması açısından, sadece kil zemin durumundaki, bu deneyler yapılmıştır (Çizelge 3.1). Stabilize dolgu katkısı ile yapılan deneylerde, farklı stabilize kalınlıklarının (H), sistemin taşıma kapasitesine ve oturma davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Stabilize dolgu kalınlıkları için $H=0.25D$ ile $H=1.50D$ arasında değişken kabul edilerek, toplam 10 deney yapılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler

Temel Çapı (D)	9cm	6cm
Deney Sayısı	1	1

Çizelge 3.2. Stabilize Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler

Temel Çapı (D)	9cm	6cm
Granüler Stabilize Dolgu Kalınlığı (H)	0.25D	0.25D
	0.50D	0.50D
	1.00D	1.0D
	1.50D	1.50D
Deney Sayısı	4	4

Deneylerden yük-oturma eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler üzerinden de nihai taşıma kapasiteleri (q_u) ve göçme anındaki oturma miktarları belirlenmiştir.

Stabilize dolgu katkısının sistemin taşıma kapasitesinde meydana getirdiği artışları ifade etmek üzere, Taşıma Kapasitesi Oranı TKO değeri (Binget ve Lee, 1975) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1).

$$TKO = \frac{q_R}{q_0} \quad (3.1)$$

q_R : Stabilize Katkısıyla Elde Edilen Taşıma Gücü

q_0 : Sadece Kil Zeminde Elde Edilen Taşıma Gücü

3.3.4. Kil Numunelerin Hazırlanması

Araziden alınan kil zeminler üzerinde geleneksel laboratuvar deneyleri yapılarak, endeks ve mühendislik özellikleri belirlendikten sonra, laboratuvar model deneylerinde kullanılmak üzere, doğal su içeriğinde numuneler hazırlanmıştır.

Numune hazırlama aşamasında, araziden getirilen blok numuneler küçük parçalara ayrılıp, $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sabit sıcaklıktaki etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Numunelerin Etüvde Kurutulması

Kuru numuneler, Maden Mühendisliği Bölümüne ait öğütme makinesinde öğütölüp, No 10 eleğinden elenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Numunelerin Öğütölmesi

Öğütölün kuru zemin numuneleri arazideki ortalama su içeriğı olan %23'te hazırlanıp, homojen bir su dağılımı oluşuncaya kadar yoğrulmuştur. Hazırlanan numuneler, eşit ağırlıklarda (5 kg) poşetlendikten sonra, nem kaybını önlemek için kür odasında 24 saat süreyle bekletilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Zemin Numunelerinin Kür Odasında Bekletilmesi

3.3.5. Granüler Stabilize Malzemenin Hazırlanması

Granüler stabilize malzeme üzerinde yapılan elek analizi, proktor ve kesme kutusu deneylerinden sonra, stabilize katkılı model deneyler için numuneler hazırlanmıştır.

Bu amaçla etüvde $105\pm5^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulan stabilize dolgu malzemesi, No 4 eleğinden elenmiştir. Standart proktor sonucu elde edilen optimum su içeriği olan %7 su içeriğinde yoğrularak hazırlanmıştır (Şekil 3.14). Homojen bir su dağılımı oluşması için, zeminler kür odasında 24 saat süreyle bekletilmiştir.



Şekil 3.14. Granüler Dolgu Malzemesinin Hazırlanması

3.3.6. Sadece Kil Durumunda Yapılan Deneyler

Laboratuar model deneylerinde; deney kasası içerisindeki sınır etkisinin oluşmaması için, 6 ve 9 cm çapındaki temeller için, özel bir deney kasası oluşturulmuştur. 38 cm çapında ve 42 cm derinlikteki bu rijit dairesel kasa üzerine özel bir yükleme düzeneği yerleştirilmiştir (Şekil 3.15). Zeminin kasa içerisine homojen bir şekilde yerleştirilmesinde yardımcı olmak üzere, kasa iç yüzeyinde 5 cm' lik dilimler işaretlenmiştir.



Şekil 3.15. Laboratuvar Model Deney Düzeneği

Deneylerde izlenen yöntem aşağıda sıralanmaktadır:

1. Homojen su dağılımından emin olunan kil numuneler, kür odasından alınıp, sabit tabaka kalınlığına düşen malzeme miktarı hesaplanmıştır (Eşitlik 3.2)

$$\gamma_n = \frac{\gamma_s(1+\omega)}{1+e} \quad W_{yaş} = \gamma_n * V \quad (3.2)$$

2. Kil numuneler, hazırlanan kalıba, sabit kalınlıkta tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Zemin kalıba boşaltıldıktan sonra, özel olarak hazırlanmış tokmak ile, sabit standart bir enerji altında sıkıştırılmıştır (Dash, 2003). Kullanılan tokmak 2 kg ağırlıkta olup, düşme yüksekliği 20 cm tutulmuştur. Sabit kalınlıktaki tabaka için ortalama olarak 80 düşüş ile sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır.
3. Sıkıştırma esnasında; her sabit kalınlık için, gerekli zemin numunesinden su muhtevası örnekleri alınmış ve sıkıştırılan her 5 cm tabaka için, el penetrometresi ile mukavemet kontrolü yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Kil Zemin Tabakalarında Mukavemet Kontrolü

4. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra temeller, üst tabakanın ortasına yerleştirilerek su terazisi ile dengesi kontrol edilmiştir. Yükleme elemanları monte edildikten sonra yük, yük halkasından temele aktarılmıştır. Yükün temele dik olarak etkimesi için temelle yükleme elemanı arasına çelik bilye konulmuştur.
5. Yükleme elemanları monte edildikten sonra, üç adet deplasman ölçer kasa üzerine sabitlenmiştir (Şekil 3.17). Deneyde yük-deplasman okumaları, ADU (Veri Kaydetme Ünitesi) ile kaydedilmiş ve DIALOG yazılımı ile, bu okumalar sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Yüklemeye, önemli bir oturma (temel çapının en az %20'si) meydana gelinceye kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.17. Sistemin Yüklemeye Hazır Hale Getirilmesi

3.3.7. Granüler Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler

Stabilize katkılı deneylerin hazırlanma aşamaları, yalnızca kil durumunda yapılan deneylerin hazırlanma aşamalarıyla hemen hemen aynıdır. Stabilizeli durumlarda da aynı çelik kasa ve temeller kullanılmıştır (Şekil 3.18). Farklı olan aşamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Şekil 3.18. Stabilizeli Deneyler İçin Yükleme Düzeneği

1. Saf kil durumunda olduğu gibi hazırlanan kil numune, kasa içerisine (Eşitlik 3.2) hesaplanan miktarda zemin yerleştirilmiş ve her 2.5 cm kalınlıktaki tabaka için sabit enerji ile homojen olarak, saf kil durumunda belirtilen değerler baz alınarak sıkıştırılmıştır.
2. Kil zemin kasa içerisine belirlenen seviyede yerleştirildikten sonra, stabilize katkılı deneyler için, temel çapına bağlı olarak, yerleştirilecek stabilize malzeme miktarları ayarlanmıştır. Optimum su içeriği olan %7’de hazırlanan malzeme, homojen bir su dağılımı oluşuncaya kadar yoğrulmuştur.
3. Sabit bir kalınlık için gereken stabilize malzeme kasa içerisine boşaltılmış ve dinamik bir sıkıştırıcı ile istenilen kalınlığına erişilene kadar, üniform bir enerji uygulanarak, üst tabaka stabilize dolgu tabakalar halinde oluşturulmuştur.
4. Üst tabaka stabilize dolgu tabakası yerleştirildikten sonra, temeller kasanın orta kısmında, zemin yüzeyine yerleştirilip, su terazisi ile yataylığı kontrol edilmiştir. Yükleme elemanları ile yük, yük halkasından temele kadar aktarılmıştır. Yükün temele üniform olarak etkimesi için temelle yükleme elemanı arasında çelik bilye kullanılmıştır (Şekil 3.19).
5. Sadece kil zemin durumunda olduğu gibi, yükleme elemanları ve deplasman ölçerler kasa üzerine sabitlenmiş ve deneyde yüklemeye, önemli bir oturma (temel çapının en az %20’si) meydana gelene kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.19. Sistemin Yüklemeye Hazır Hale Getirilmesi

3.3.8. Laboratuvar Model Deney Sonuçları

Laboratuvar deneylerinde, 6 ve 9 cm çaplı dairesel temel plakaları kullanılmış ve deneyler iki grup altında toplanmıştır. Stabilize katkısız ve katkılı olarak ayrılan deney gruplarında, temel çapına bağlı olarak, bir seri stabilize dolgulu deneyler yapılmıştır. Bu seri deneyleri sembolize etmek amacıyla kodlamalar yapılmıştır (Çizelge 3.3).

Yapılan tüm deneyler için, kullanılan iki farklı çaptaki dairesel temellere ait yük – oturma oranı grafikleri elde edilmiş ve bu grafiklerden yararlanılarak göçme yükleri belirlenmiştir. Grafiklerdeki oturma oranı değerleri (s/D), oturma miktarının (s), temel çapına (D) bölünerek, boyutsuz bir değere dönüştürülmesi ile elde edilmiştir. Taşıma kapasitesi değeri ise, yük – oturma oranı eğrisi üzerindeki noktaların sıklaşıp doğrusal olarak arttığı başlangıç kısmından çizilen teğet ile, eğrideki noktaların dikleştiği ve yine doğrusal olarak arttığı bitiş kısmından çizilen teğetin kesim noktası olarak alınmıştır (Adams ve Collin, 1997).

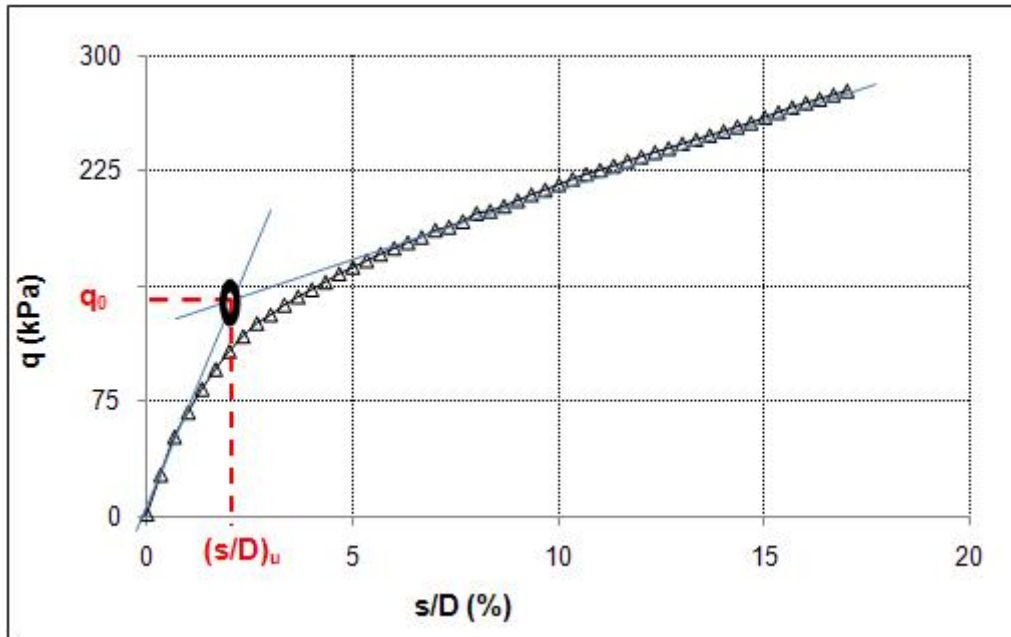
Çizelge 3.3. Laboratuvar Model Deneylerine Ait Toplu Gösterim

Deney Grupları	Arazi Durumu	Deney Kodu	Temel Çapı (D), cm	Stabilize Kalınlığı (H), cm
I. Grup Deneyler	Sadece Kil	LM-6-0.0D	6	-
	Sadece Kil	LM-9-0.0D	9	-
II. Grup Deneyler	Stabilize Katkılı	LM-6-0.25D	6	0.25 D
	Stabilize Katkılı	LM-6-0.50D	6	0.50 D
	Stabilize Katkılı	LM-6-1.00D	6	1.00 D
	Stabilize Katkılı	LM-6-1.50D	6	1.50 D
	Stabilize Katkılı	LM-9-0.25D	9	0.25 D
	Stabilize Katkılı	LM-9-0.50D	9	0.50 D
	Stabilize Katkılı	LM-9-1.00D	9	1.00 D
	Stabilize Katkılı	LM-9-1.50D	9	1.50 D

3.3.8.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler

Laboratuvar ortamında hazırlanan özel deney kasasında, 6 ve 9 cm çaplı rijit dairesel temel plakaları kullanılarak, deneyler gerçekleştirilmiştir. Sadece kil zeminde yapılan deneyler, stabilize dolgu katkısıyla yapılan iyileştirmelere referans olmaları için yapılmıştır. İki farklı temel çapı için; yük-oturma değerleri Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmektedir. Taşıma gücü değerleri de bu grafikler yardımı ile belirlenmiştir.

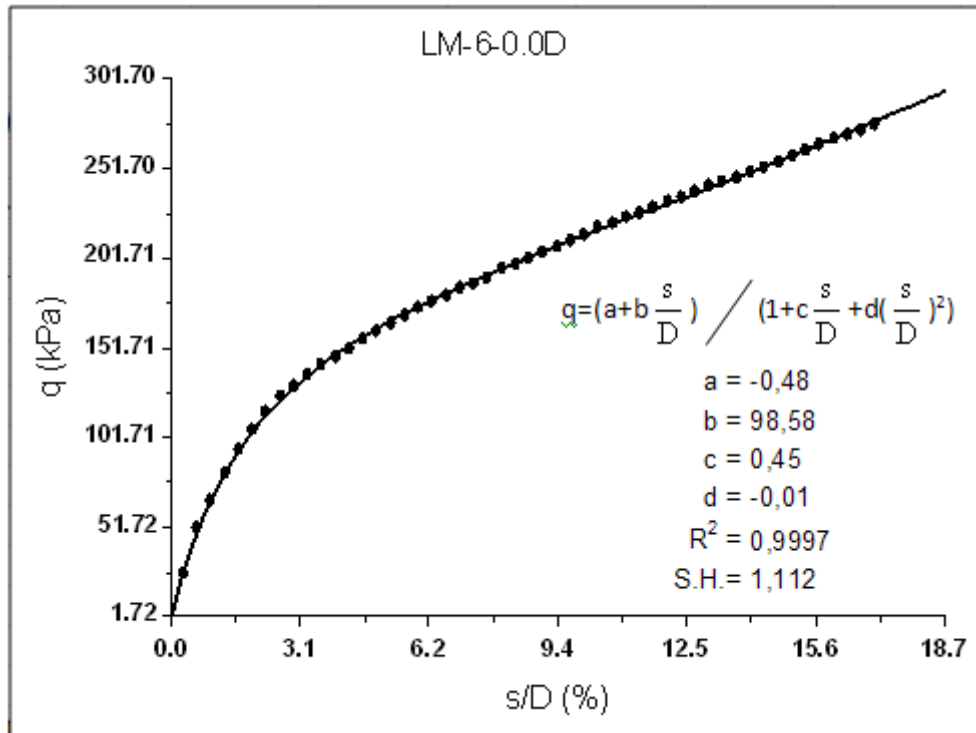
Şekil 3.20 ve Şekil 3.22’de görüldüğü gibi yük arttıkça oturma değerleri de artmakta ve yük-oturma eğrileri genellikle non-lineer bir davranışı temsil etmektedir. Bu davranışı, en iyi Rasyonel fonksiyonun yansıttığı tespit edilmiştir. (Şekil 3.21 ve 3.23). Bu dağılıma uygun denklem parametreleri, Standart Hata ve R^2 değerleri grafikler üzerinde verilmiştir.



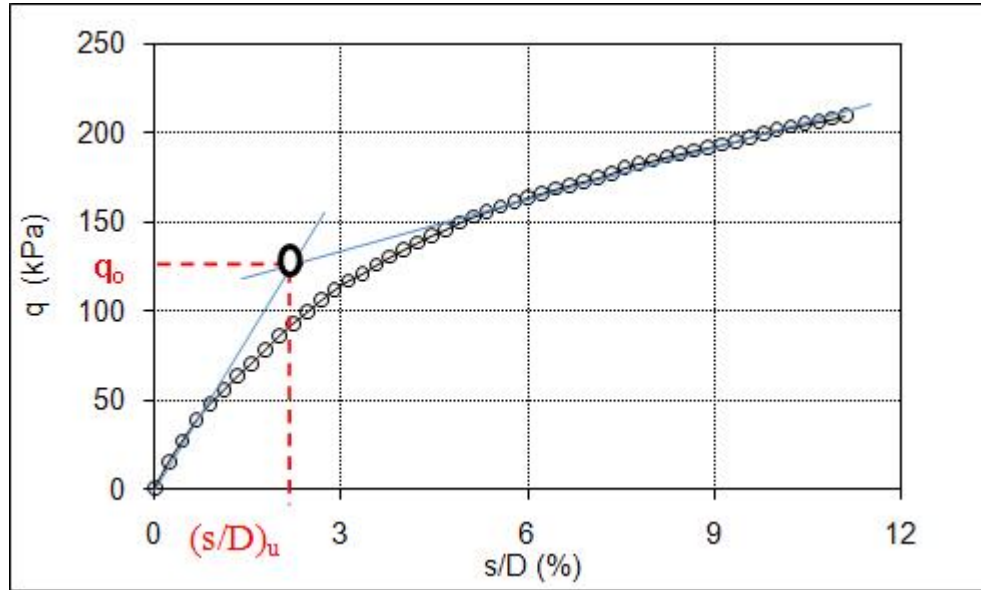
Şekil 3.20. 6 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği

Taşıma Kapasitesi (q_0) = 140 kPa

Oturma Oranı $(s/D)_u = 2.0$



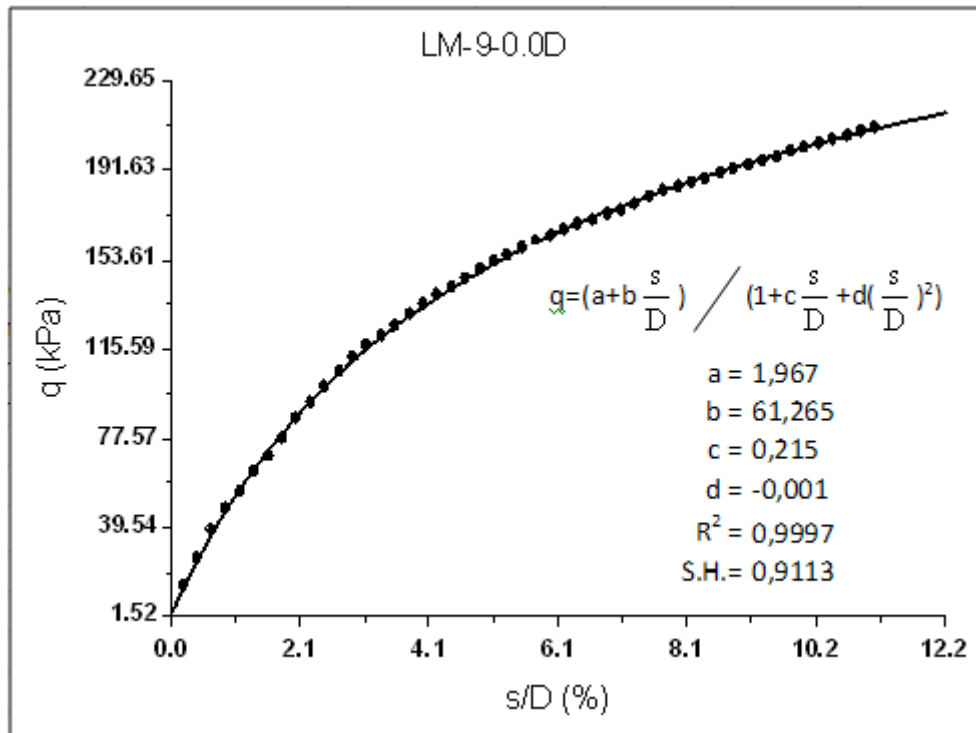
Şekil 3.21. 6 cm Çaplı Temele Ait İstatistiksel Analiz



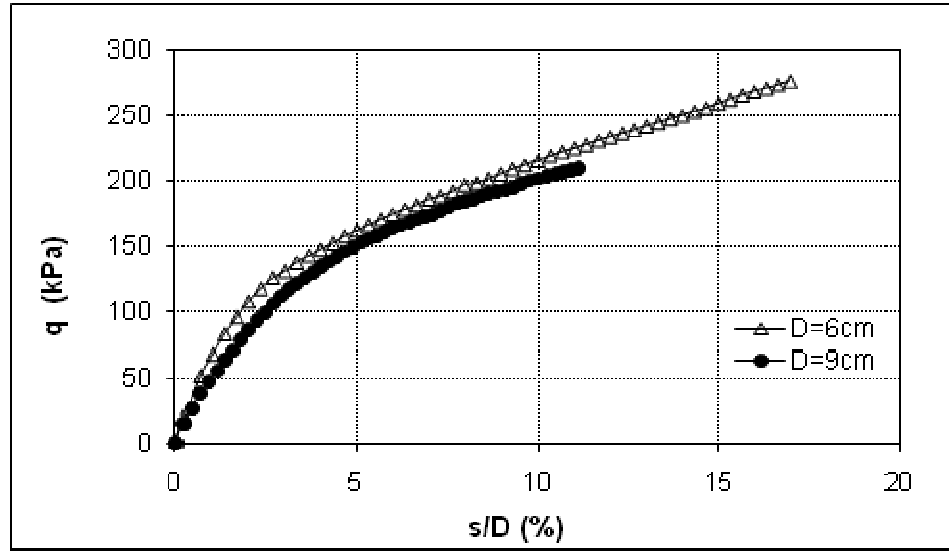
Şekil 3.22. 9 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği

Taşıma Kapasitesi (q_0) = 135 kPa

Oturma Oranı $(s/D)_u$ = 3.10



Şekil 3.23. 9 cm Çaplı Temele Ait İstatistiksel Analiz



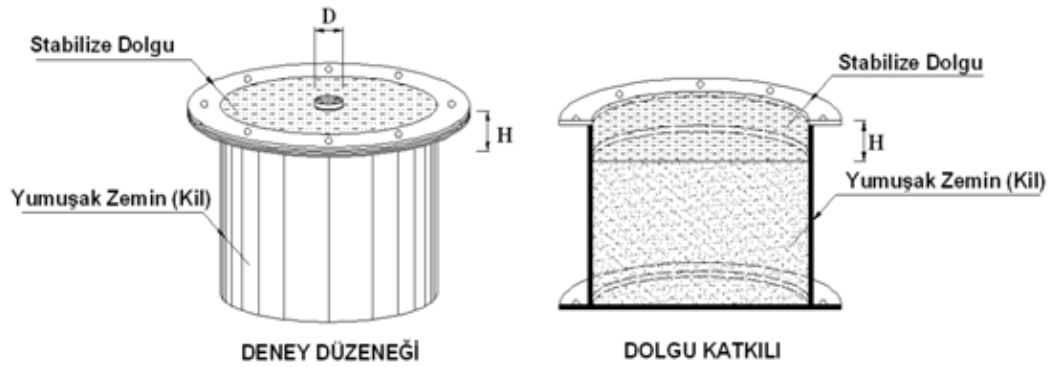
Şekil 3.24. 6 ve 9 cm Çaplı Temellerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 3.24'ten görüldüğü gibi iki farklı temel çapında yük-oturma davranışı benzer karakterde olup, boyut etkisinin olmadığı görülmektedir.

3.3.8.2. Stabilize Dolgu Katkısıyla Yapılan Deneyler

Dolgu katkısıyla yapılan deneylerde, optimum su içeriğinde hazırlanan stabilize zemin, kullanılan temel çapına bağlı olarak, yumuşak kil zemin üzerine 0.25D, 0.50D, 1.00D ve 1.50D kalınlıklarda yerleştirilmiştir. Farklı çaplardaki iki dairesel temel için, her bir farklı dolgu kalınlığında, deney düzenekleri tekrar hazırlanmıştır. Hazırlanan deney düzeneği şematik olarak Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

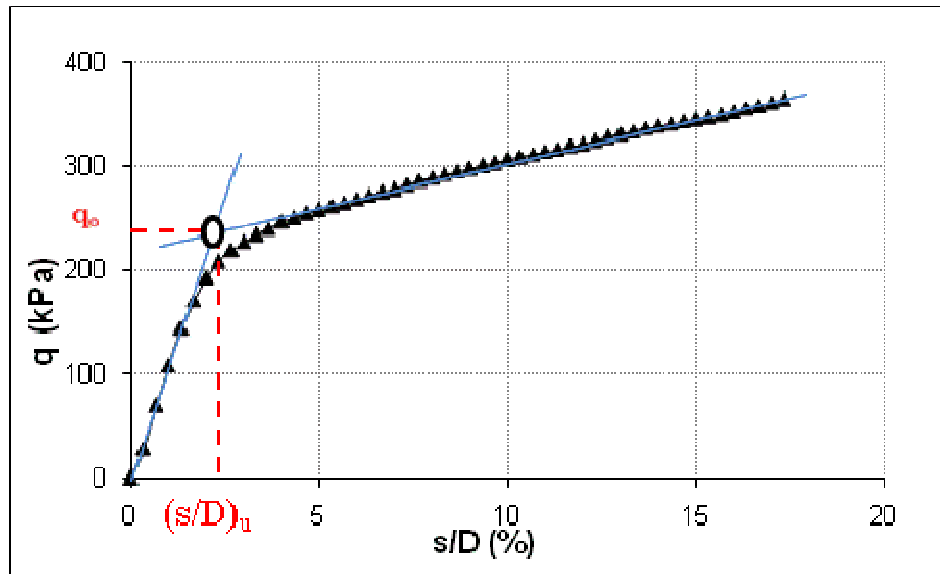
Deneylerin sonucunda elde edilen yük- deplasman ilişkisini stabilizeli durumda da en iyi rasyonel fonksiyonunun yansıttığı belirlenmiştir. Tipik olarak, LM-6-0.25D ve LM-9-0.25D için istatistiksel analiz sonuçları Şekil 3.27 ve Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.25. Stabilizeli Durumda Deney Düzeneği

a) 6 cm Çaplı Temeller için Stabilize Katkısı

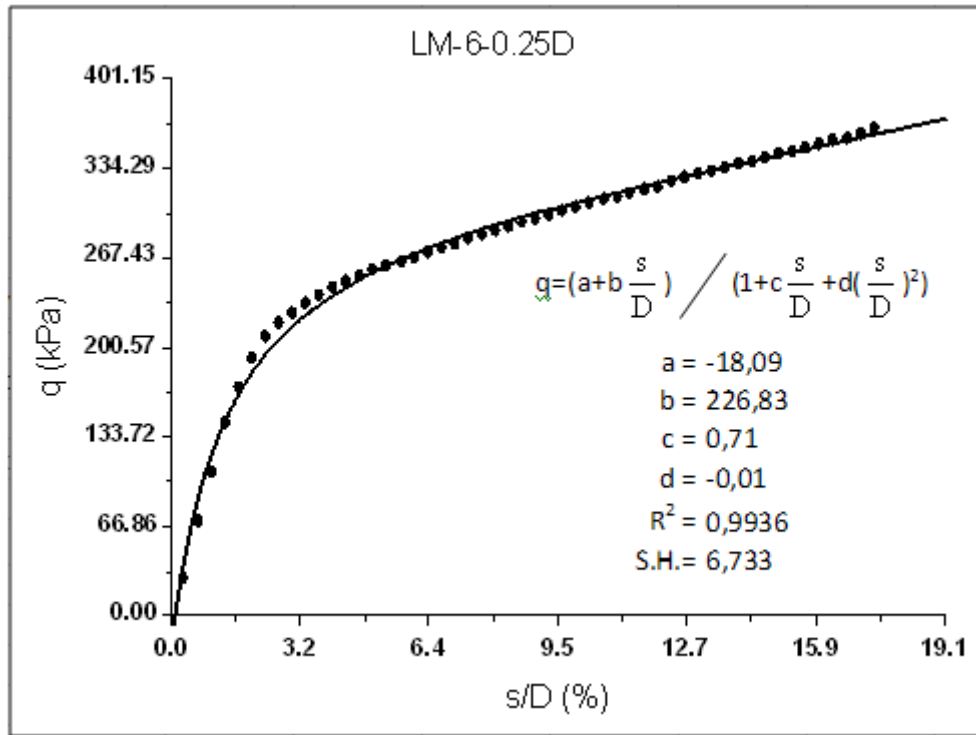
6 cm çaplı temelde yapılan deneylerden elde edilen yük-oturma grafiklerinden tipik bir örnek Şekil 3.26'da verilmiştir. Ayrıca tüm deney sonuçları da toplu halde Şekil 3.28'de görülmektedir.



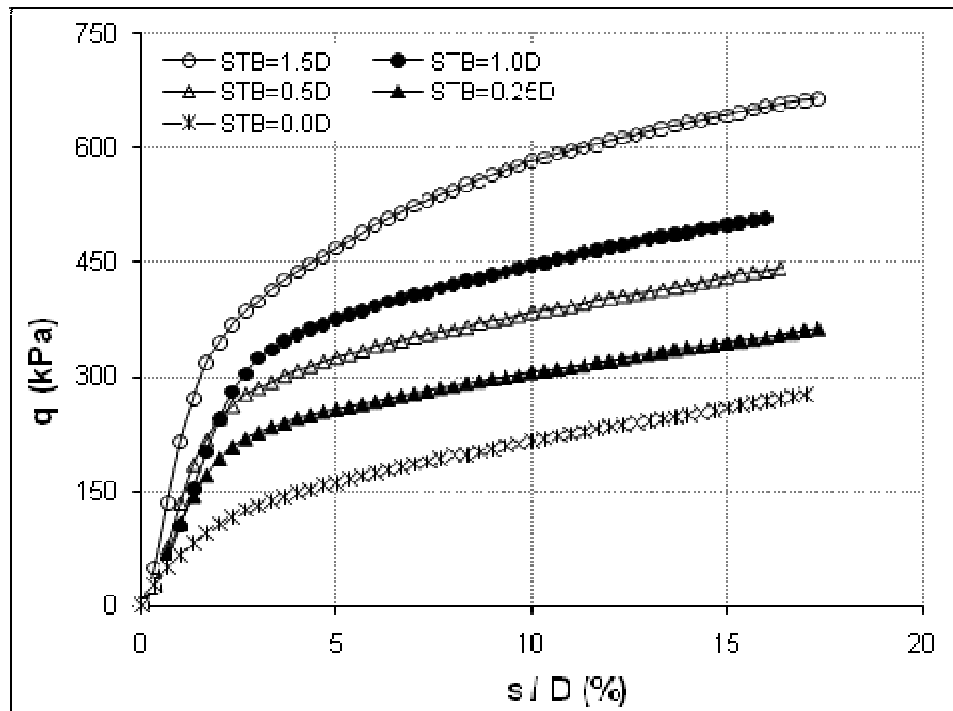
Şekil 3.26. LM-6-0.25D'ye Ait Yük-Oturma Grafiği

Taşıma Kapasitesi (q_0) = 230 kPa

Oturma Oranı (s/D) = 2.2



Şekil 3.27. LM-6-0.25D'ye Ait İstatistiksel Analiz



Şekil 3.28. 6 cm Çaplı Temelde Stabilize Katkılı Deney Sonuçları

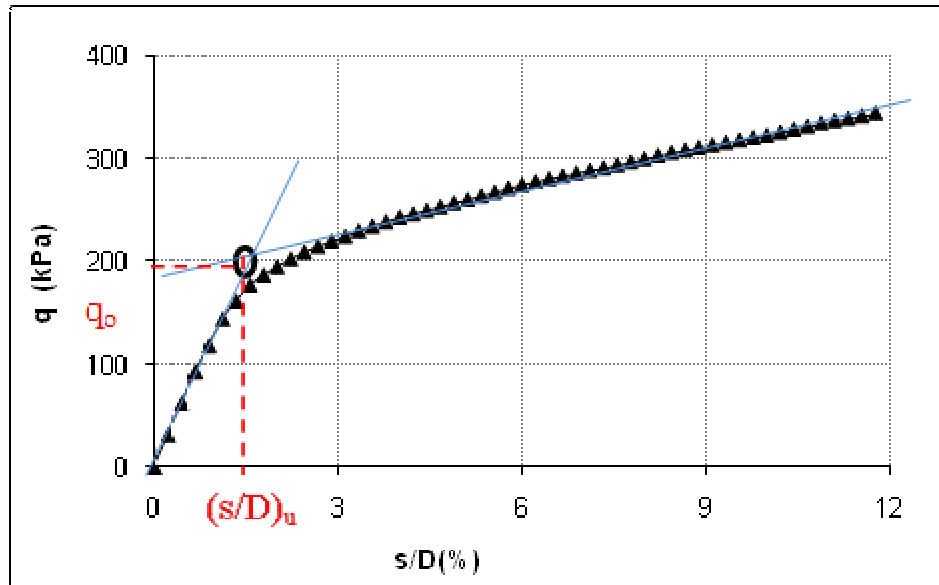
6 cm çaplı temelde yük oturma eğrilerinden elde edilen taşıma gücü (q_u) ve oturma değerleri (s/D) ile bu deneylere ait su içerikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. 6 cm Çaplı Temele Ait Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi

Deney Grupları	Deney Kodu	Taşıma Gücü (q_u)	s/D (%)	Su İçeriği (w)
I. Grup Deneyler	LM-6-0.0D	140	2.00	22.55
	LM-6-0.25D	230	2.20	24.18
II. Grup Deneyler	LM-6-0.50D	284	1.90	22.01
	LM-6-1.00D	362	2.90	24.53
	LM-6-1.50D	404	1.60	26.92

b) 9 cm Çaplı Temeller için Stabilize Katkısı

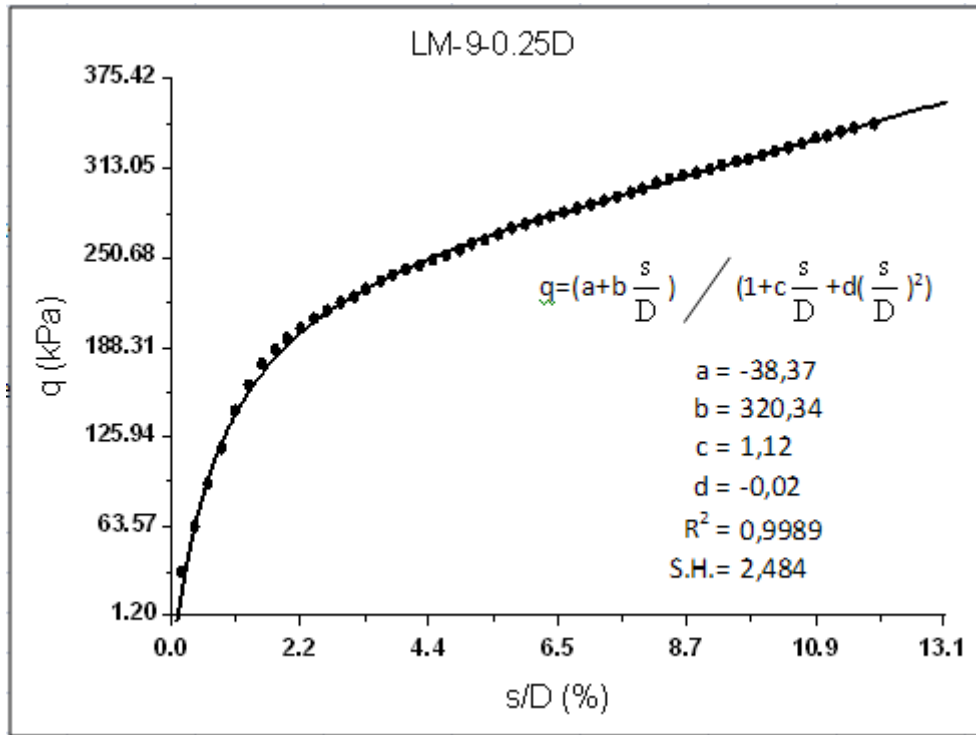
9 cm çaplı temelde yapılan deneylerden elde edilen yük-oturma grafiklerinden tipik bir örnek Şekil 3.29'da verilmiştir. Ayrıca tüm deney sonuçları da toplu halde Şekil 3.31'de görülmektedir.



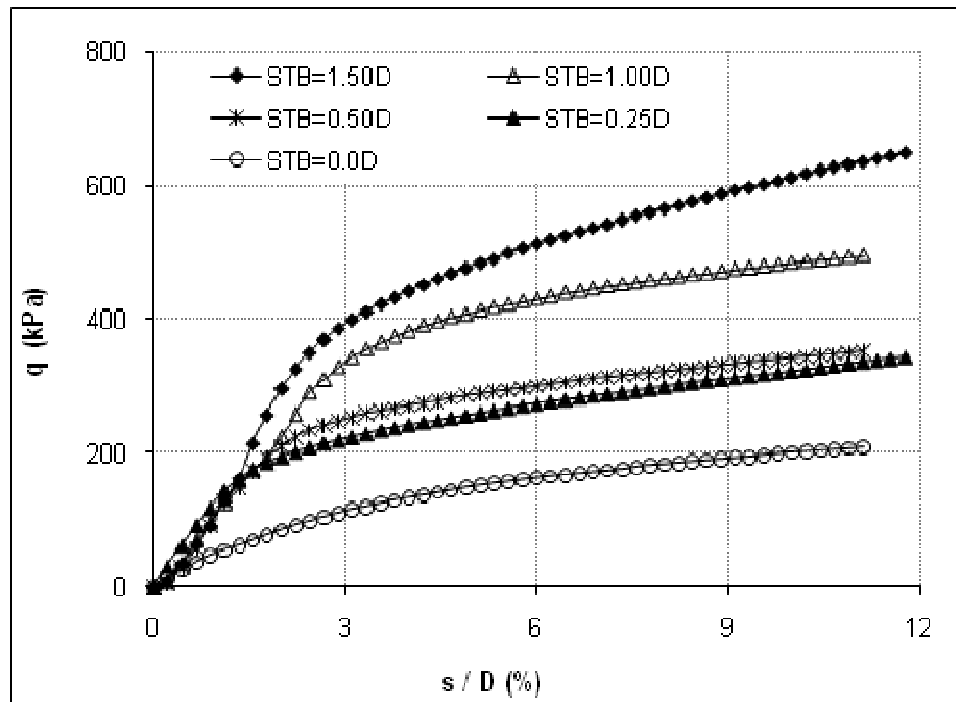
Şekil 3.29. LM-9-0.25D'ye Ait Yük-Oturma Grafiği

Taşıma Kapasitesi (q_0) = 195 kPa

Oturma Oranı (s/D) = 1.70



Şekil 3.30. LM-9-0.25D'ye Ait İstatistiksel Analiz



Şekil 3.31. 9 cm Çaplı Temelde Stabilize Katkılı Deney Sonuçları

Yük oturma eğrilerinden yararlanılarak 9 cm çaplı temel için elde edilen taşıma gücü (q_u) ve oturma oranı değerleri (s/D) ve her deney seti için kil zeminin ihtiva ettiği su içeriği değeri, toplu olarak Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.5. 9 cm Çaplı Temele Ait Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi

Deney Grupları	Deney Kodu	Taşıma Gücü (q_u)	s/D (%)	Su İçeriği (w)
I. Grup Deneyler	LM-9-0.0D	135	3.10	26.53
	LM-9-0.25D	195	1.70	27.55
II. Grup Deneyler	LM-9-0.50D	265	2.35	27.20
	LM-9-1.00D	387	3,30	27.25
	LM-9-1.50D	415	3,50	24.37

3.4. Arazi Model Deneyleri

Araziden getirilen kil numuneler, laboratuvar ortamında arazi doğal koşullarına yakın olarak hazırlanıp, oluşturulan numuneler üzerinde deneyler tamamlanmıştır. Bu çalışmalar, küçük ölçekli model deneyleri için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışma kapsamında yapılan arazi deneyleriyle amaç, laboratuvar ortamında yapılan model deney sonuçlarının, doğal arazi koşullarını, ne derecede yansıttığını irdelemektir.

Model deney çalışmalarında kullanılan kil, Adana İli, Seyhan İlçesi, Yenidam Köyü Mevkiinden alınmıştır. Yapılan arazi model deneyleri, numunelerin getirildiği arazi üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Model Deneylerin Yapıldığı Arazi

3.4.1. Deney Düzeni

3.4.1.1. Yükleme Düzeneği

Arazi deneyleri için I profillerden hazırlanmış, çelik bir yükleme düzeneği oluşturulmuştur (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Model Deneylerde Kullanılan Deney Düzeneği

3.4.1.2. Model Temel Plakaları

Arazi model deneylerinde de, model temel olarak 9 cm çapında, 2 cm kalınlığındaki rijit dairesel metal plaka kullanılmıştır.

3.4.1.3. Yük Halkası

Deney sırasında sisteme uygulanan yük değerlerini okumak için 10 kN kapasiteli yük halkası kullanılmıştır.

3.4.1.4. Yükleme Sistemi

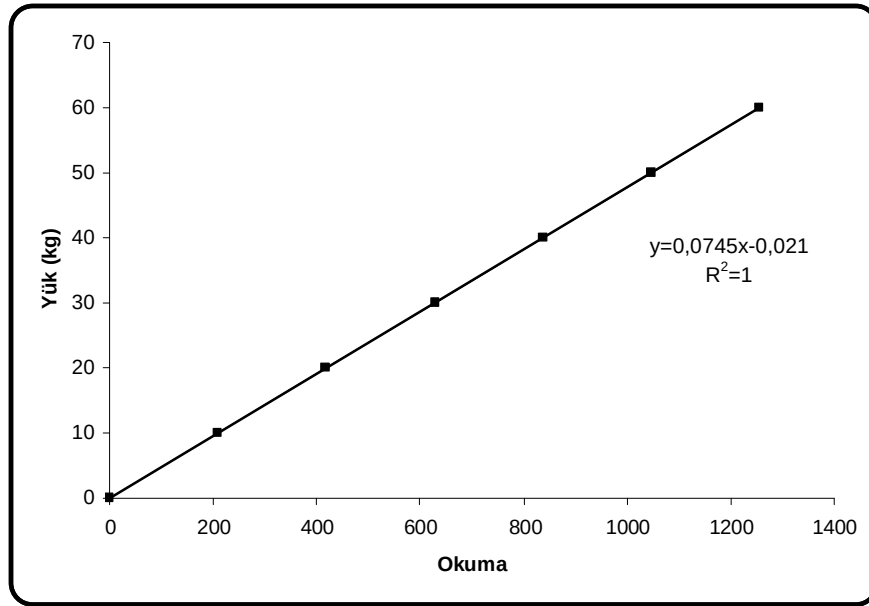
Arazi koşullarında sistem elle, yükleme kolu vasıtası ile yüklenmiştir. Yük kontrollü olarak yapılan deneylerde, yük artımları yük halkasından yararlanılarak kontrol edilmiştir.

3.4.1.5. Düşey Deplasman Transducerei

Yükleme nedeniyle temel tabanında meydana gelen deplasmanları ölçmek için, 2 adet 1.5 cm kapasiteli deplasman ölçerler kullanılmıştır. Bu sayede oturmalar 3 farklı noktada ölçülebilmektedir.

3.4.2. Aletlerin Kalibrasyonu

Deneyler sırasında yük ve deplasman ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için, yük halkasının kalibrasyonu yapılmıştır. Özel yükleme düzeneğinin yük halkasına ait kalibrasyon grafiği Şekil 3.34'da sunulmuştur.



Şekil 3.34. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi

3.4.3. Deney Programı

Arazi model deneylerinde; sadece kil zemin durumunda deney yapılmış ve bu deneyde 9 cm çaplı; rijit dairesel temel plakası kullanılmıştır. Bu deney, laboratuvar model deneylerinin, doğal arazi koşullarını yansıtıp yansıtmadığını göstermek amacı ile yapılmıştır.

Deneyden yük-oturma eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri üzerinden de nihai taşıma kapasitesi (q_u) ve göçme anındaki oturma miktarı belirlenmiştir.

3.4.4. Sadece Kil Durumunda Yapılan Deneyler

1. Arazide yapılan araştırmalardan kil birimin derinliği bilindiğinden, zemin yüzeyinden itibaren yaklaşık 2.00-2.10 m derinlere inilmiştir. Deneylerde yer altı suyunun etkisini görebilmek ve yumuşak zemin davranışını tespit edebilmek için, olabildiğince bu seviyeye yakın çalışılmıştır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Çalışma Alanının JCB ile Açılması

2. Deneylerin gerçekleştirilmesi için açılan çukur, 2m genişlikte ve yaklaşık 2.10 – 2.30 m derinliktedir. Bir doğrultuda uzayıp giden bu çukur içerisinde deneylerin yapılacağı, örselenmemesi gereken, bölge kireç ile belirlenmiş ve bu alana herhangi bir etki verilmemesine dikkat edilmiştir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Arazi Model Deneyleri

3. Deney düzeneğinin basacağı bölgeler yatay ve aynı kota gelene kadar tıraşlanmıştır (Şekil 3.37). Düz bir yüzey elde edildikten sonra, deneyin yapılacağı orta bölge, herhangi bir baskı verilmeksizin titizlikle tıraşlanıp, su içeriğini yitirmeden en kısa zamanda deney düzeni oluşturulmuştur.



Şekil 3.37. Çalışma Alanının Deneye Hazır Hale Getirilmesi

4. Düzenek ayaklarının basacağı bölgeler tıraşlanıp, yatay konuma getirildikten sonra, düzenek zemine 1'er m uzunluğundaki toplam 8 adet ankraj çubuğu ile zemine sabitlenmiştir.
5. Sistemin yatay ve düşey dengesi, su terazisi ile kontrol edildikten sonra, yükleme elemanları ve temel dengeye getirilerek yerleştirilmiş ve deplasman ölçerlerin monte edilmesi ile sistem yüklemeye hazır hale getirilmiştir.
6. Yük, temel plakası merkezine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır (Şekil 3.38). Deneyler gerilme kontrollü olarak yapıldığı için, yük kademeli ve elle artırılmış ve deney sırasında yükleme hızının sabit tutulmasına gayret gösterilmiştir. Her yük kademesinde meydana gelen deplasmanlar iki deplasman ölçerden de okunarak doğrulanmıştır.

Okumalar, deplasmanlar sabit kaldığında alınmıştır. Göçme yüküne yaklaşıldığında, büyük oturmalar meydana geldiğinden, yük artım değerleri azaltılmıştır.



Şekil 3.38. Yükleme Anı

7. Her deney sonunda derlenen okumalarla, gerilme-deformasyon eğrileri çizilerek göçme yükleri belirlenmiştir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39. Deney Sonu

8. Yine her deney sonunda, deneyin gerçekleştirildiği bölgeden; su muhtevası, serbest basınç ve konsolidasyon deneyleri için numuneler alınmıştır. Alınan bu numuneler, su içeriklerini kaybetmemeleri için, paketlenip, etiketlenerek laboratuara getirilmiştir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40. Deney Sonunda Alınan Kontrol Numuneleri

3.4.5. Arazi Model Deney Sonuçları

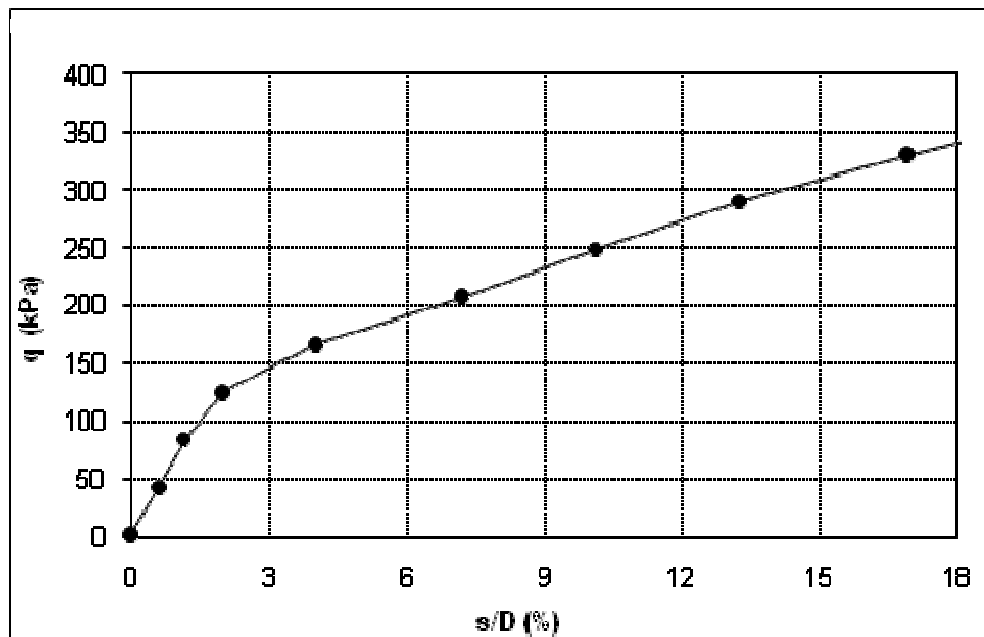
9 cm temel çaplı deney seti olan, sadece kil durumuna ait, yükleme deneyinden yük-oturma grafiği elde edilmiştir. Bu grafiklerden yararlanılarak göçme yükü değeri (q_u) ve bunlara karşılık oturma oranı (s/D) belirlenmiştir. Göçme yükü değeri laboratuvar deney sonuçlarında olduğu gibi yük – oturma eğrisi üzerindeki noktaların sıklaşıp doğrusal olarak arttığı başlangıç kısmından çizilen teğet ile eğrideki noktaların dikleştiği ve yine doğrusal olarak arttığı bitiş kısmından çizilen teğetin kesim noktası olarak alınmıştır (Adams ve Collin). Gerçekleştirilen deneye ait kodlama Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Arazi Model Deneylerine Ait Toplu Gösterim

Deney Grupları	Arazi Durumu	Deney Kodu	Temel Çapı (D), cm	Stabilize Kalınlığı (H)
I. Grup Deneyler	Saf Kil	IM-9-0.0D	9	-

3.4.5.1. Sadece Kil Zeminde Yapılan Deneyler

Bu çalışmada yapılan deney, laboratuvar model deneylerine referans olması amacıyla yapılmıştır. 9 cm çaplı temel plakası için oturma değeri ve buna karşılık taşıma gücü değeri Şekil 3.41'deki grafik yardımı ile belirlenmiştir.



Şekil 3.41. 9 cm Çaplı Temele Ait Yük-Oturma Grafiği

Taşıma Kapasitesi (q_0) = 140 kPa

Oturma Oranı (s/D) = 2.2

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

4.1. Giriş

Arazi ve laboratuvar deneylerinin yapılmasının ardından, gerçekleştirilen deneyler, PLAXIS bilgisayar yazılımı ile modellenip, sayısal analizleri yapılmıştır. Modellemelerde ilk olarak, yumuşak kil zeminin taşıma gücü ve oturma değerleri analiz edilip, farklı kalınlıklardaki stabilize dolguların yerleştirilmesi durumunda, meydana gelecek iyileşmeler, sayısal analizlerle irdelenmiştir.

Bu amaçla, deneysel çalışmalardaki deney düzeneği, yükleme koşulları ve kullanılan malzeme özellikleri PLAXIS bilgisayar yazılımı ile birebir modellenmiş ve sayısal analizler yürütülmüştür.

4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Son yıllarda; bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, kuramsal irdemelerde sayısal çözümlerin önemi artmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal çözüm yöntemlerinden en efektif ve sistematik olanıdır. Bu yöntemde, sürekli ortamlardan oluşan sistemler üzerinde, sonlu eleman ağı ile hayali düğümler oluşturulur. Düğümlerde denge, süreklilik ve uygunluk şartları ile eleman rijitlik ve kütle matrisleri ve yük vektörleri ile oluşturulur. Kodlama tekniği ile sistem kütle ve rijitlik matrisleri oluşturularak, sistem hareket denklemi elde edilir. Sistem hareket denklemi ise, uygun bir yöntemle çözülerek deplasmanlar ve gerilmeler hesaplanır.

Sonlu elemanlar yönteminde, ağ modelindeki her eleman komşusu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlı olmasına rağmen bu yöntemde sadece düğüm noktaları vasıtasıyla bağlanır. Böylece; deplasmanların uygunluğunun sadece bu noktalarda sağlanması yeterli olacaktır. Yöntemin sistematikliği ve her türlü yapıya aynı işlemlerle uygulanması en önemli avantajlarındanır.

İşlem hacminin büyümesi dezavantaj olarak görünse de bu olumsuzluk bilgisayar yardımı ile aşılmaktadır. Son yıllarda, yeterli hassasiyette sonuçlar veren ve bu tez kapsamında da kullanılan PLAXIS gibi sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir çok hazır paket program mevcuttur.

4.3. PLAXIS Bilgisayar Yazılımı

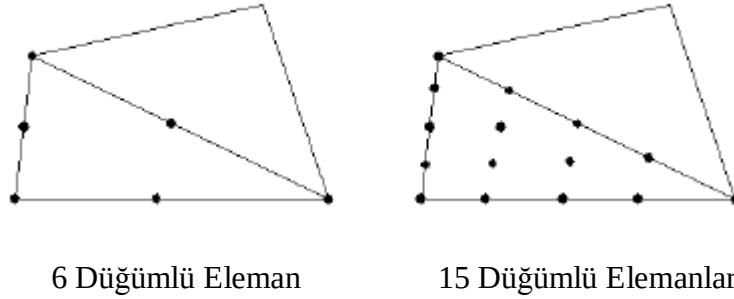
PLAXIS (Finite Element for Soil and Rock Analysis) geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir.

Bu çalışmada PLAXIS 8.2 versiyonu kullanılmıştır. Program, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Analizlerde, problemler 2 boyutlu olarak ve eksenel simetrik geometri koşullarında analiz edilmiştir. Programda, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir.

1. Problemin çözüm aşamasında geometrik model oluşturulurken, ortamın zemin yapısı, mevcut yük durumu ve sınır şartları kolayca tanımlanmaktadır.
2. Zemin ortamı 2 boyutlu üçgen elemanlar yardımıyla tanımlanmaktadır.
3. Programda, duvar, plak ve temel gibi yapı elemanlarını kolayca tanımlayabilecek kiriş elemanları mevcuttur.
4. Program, zemin davranışlarını modellemek için birden fazla zemin modeline sahiptir.

4.3.1. Eleman Tipleri

Plaxis programında zemin ortamı 6 ve 15 düğüm noktalı, iki boyutlu üçgen elemanlar yardımıyla oluşturulmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Üçgen Elemanlar

4.3.2. Kiriş Elemanlar

Kiriş elemanlar temelin modellenmesi için kullanılır. Programda 3 ve 5 düğüm noktasına sahip iki farklı kiriş eleman tanımlanmıştır. Analizler yapılırken, 6 düğümlü zemin elemanı kullanıldığında 3 düğümlü kiriş elemanı, 15 düğümlü zemin elemanı kullanıldığında 5 düğümlü kiriş elemanı kullanılmaktadır. Temele ait eğilme rijitliği (EI) ve eksenel rijitlik (EA) değerleri girilerek kiriş eleman paket programda tanımlanmaktadır.

4.3.3. Zemin Modelleri

PLAXIS Programında, yukarıda sözü edildiği gibi, zemin davranışını modellemek amacıyla kullanılan dört farklı zemin modeli aşağıda kısaca özetlenmiştir.

4.3.3.1. Lineer Elastik (LE) Zemin Modeli

Bu modelde, zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve zeminin izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilir. Zemini tanımlamak için elastisite modülü, E ve poisson oranı, ν değerleri kullanılır. Bu model, kaya gibi rijit ve büyük zemin kütlelerini modellemek için daha elverişlidir.

4.3.3.2. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli

Bu model, Elasto-Plastik bir zemin modelidir. Bu modelde, zeminin, Elastisite modülü, E , poisson oranı, ν , kohezyonu, c , sürtünme açısı, ϕ , ve dilatasyon açısı, ψ gibi 5 ayrı parametre kullanılmaktadır. Zemin rijitliği için kullanılan E parametresi, tüm zemin tabakaları için sabittir.

4.3.3.3. Hardening-Zemin (HZ) Modeli

Farklı tipteki zemin davranışını modellemekte kullanılan bir zemin modelidir. Mohr-Coulomb modeline göre çok daha gelişmiş bir modeldir. MC modelde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile sınırlandırılmıştır. HZ model, gerilme bağımlı rijitlik modülünü dikkate almaktadır. Yani, zemin rijitliği basınçla birlikte artmaktadır.

4.3.3.4. Soft-Soil-Crep (SSC) Modeli

Zemin mekaniğinde normal konsolide killer, killi siltler ve turba zeminler yumuşak zemin olarak kabul edilmektedir. Bu tür zeminler, yüksek mertebedeki sıkışabilirlik özelliğine bağlı olarak, farklı özellikler göstermektedirler. HZ model, tüm zeminler için uygun bir model olmasına rağmen yumuşak zeminlerdeki büzülme ve gerilme gevşemesi gibi viskoz etkiler ile normal konsolide killerde gözlenen zamana bağlı sıkışma davranışını dikkate almamaktadır.

Bu nedenle, bu tür zeminlerde SSC modeli kullanılır. Özellikle, temel ve dolgulardaki zamana bağlı oturma problemleri ile tüneller ve derin kazı gibi zemindeki yük boşalması problemlerinde bu model kullanılmaktadır.

4.4. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizlerinde, Bölüm 3'te ifade edilen deneysel çalışma programına benzer olarak, stabilize dolgu ile güçlendirilen yumuşak kil zeminler üzerine oturan dairesel yüzeysel temellerin taşıma gücü, PLAXIS bilgisayar paket programı kullanılarak araştırılmıştır. Analizlerde zemin, çevre, sınır ve yükleme koşulları deneysel çalışmadakiler ile aynı tutulmaya çalışılmıştır.

4.4.1. Laboratuvar Deneylerinin Modellenmesi

Laboratuvar model deneylerinde iki farklı çapta temel plakaları kullanılarak hem kil zeminde hem de stabilize katkısı durumunda yük-oturma eğrileri elde edilmiş ve taşıma gücü ve oturma değerleri bu eğriler yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

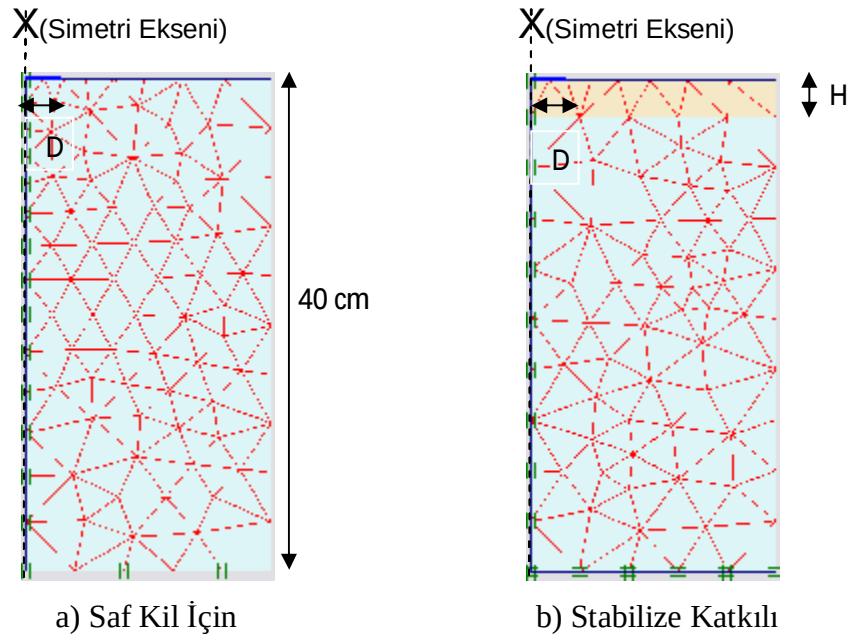
Bu çalışmalara paralel olarak, PLAXIS programı yardımı ile laboratuvardaki zeminle aynı koşullar çalışılarak bu bölüm kapsamında sunulan parametreler ve sınır şartları altında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan modellemeler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sayısal Modellemelere Ait Toplu Gösterim

Deney Grupları	Arazi Durumu	Deney Kodu	Temel Çapı (D), cm	Stabilize Kalınlığı (H), cm
I. Grup Deneyler	Sadece Kil	PL-6-0.0D	6	-
	Sadece Kil	PL-9-0.0D	9	-
II. Grup Deneyler	Stabilize Katkılı	PL-6-0.25D	6	0.25D
	Stabilize Katkılı	PL-6-0.50D	6	0.50 D
	Stabilize Katkılı	PL-6-1.00D	6	1.00 D
	Stabilize Katkılı	PL-6-1.50D	6	1.50 D
	Stabilize Katkılı	PL-9-0.25D	9	0.25 D
	Stabilize Katkılı	PL-9-0.50D	9	0.50 D
	Stabilize Katkılı	PL-9-1.00D	9	1.00 D
	Stabilize Katkılı	PL-9-1.50D	9	1.50 D

4.4.1.1. Sonlu Elemanlar Ağı

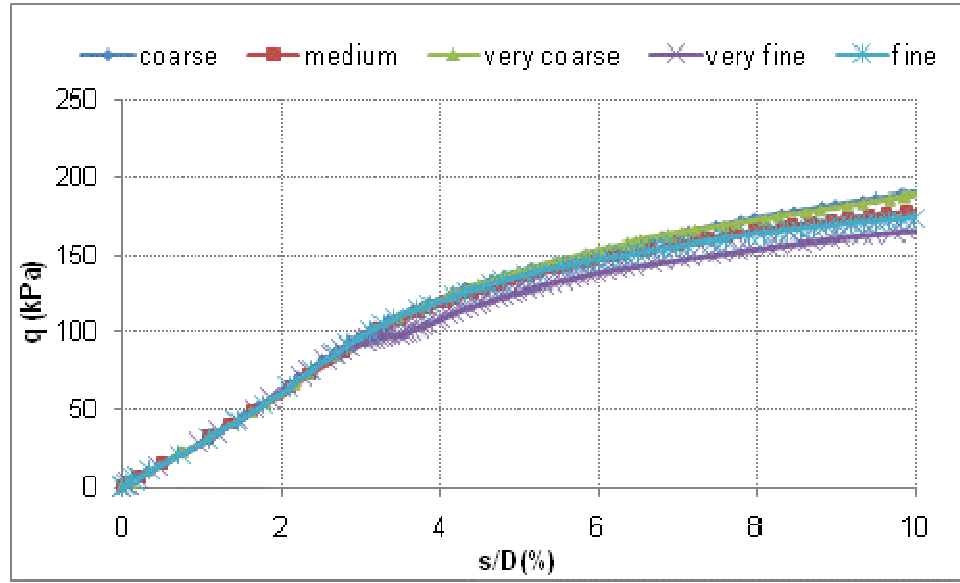
Bu bölümde laboratuvar model deneylerine bağlı kalınarak, deney kasasının geometrik modeli, iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak oluşturulmuştur. Sadece kil ve stabilize katkılı deney serilerinin sonlu elemanlar ağı sırası ile Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b’de verilmiştir. Geometrik modelin genişliği eksenel simetrik koşullarda 20cm ve toplam zemin yüksekliği 40cm’dir. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Ağı

4.4.1.2. Ağ Etkisi

Modellemelerde kullanılan ağ sıklığını belirlemek için, saf kil üzerinde tüm ağ sıklıkları denenerek ağ etkisinin sonuçlar üzerinde bir etkisi olup olmadığına bakılmıştır. Bunun için 9 cm çaplı laboratuvar model deneyinden yararlanılmış ve yük-oturma eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Grafikten de görüldüğü gibi Ağ sıklığının sistemin taşıma gücüne önemli bir etkisi olmadığından tüm sayısal analizlerde Kaba sıklıktaki (Coarse) ağ kullanılmıştır.



Sekil 4.3. Ağ Etkisi

4.4.1.3. Model Temeller

Analizlerde model temel plakaları kiriş eleman olarak modellenmiştir. Kiriş elemanın malzeme özellikleri $EI=8500 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ ve $EA= 5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$ olarak alınmıştır.

4.4.1.4. Malzeme Özellikleri

Analizlerde Elasto-plastik model olan Modifiye Cam kili modeli (MCC) yumuşak kil zemini, Mohr-Coulomb (MC) zemin modeli ise granüler dolguyu tanımlamak için seçilmiştir. MCC ve MC model parametreleri sırası ile Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. MCC model parametrelerini elde etmek için konsolidasyon deney sonuçları kullanılmıştır.

MCC model parametreleri arasında yer alan M değeri için önerilmiş olan formülasyon kullanıldığında elde edilen değerlerle analizler gerçekleştirildiğinde sonuçlar arasında ciddi farklılıklar görülmüştür. Bu nedenle bu değerlerin seçiminde, 1.1 ile 1.6 arasında değerler alınabildiği belirlenmiştir (Karstunen, 2005).

Çizelge 4.2. MCC Model Parametreleri

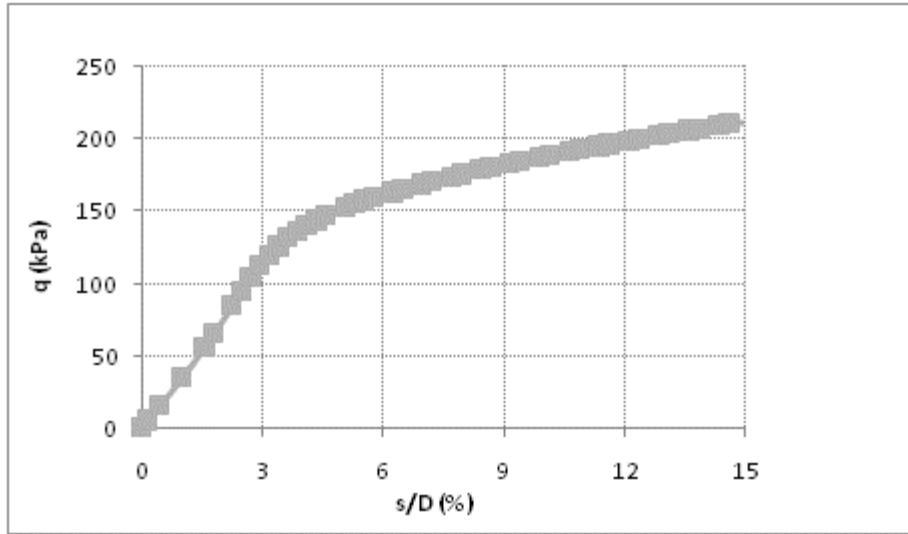
Parametreler	Sembol	Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	18 kN/m ³
Şişme İndeksi	κ	0.009
Poisson Oranı	ν	0.10
Şıkışma İndeksi	λ	0.17
Kritik Durum Çizgisinin Eğimi	M	1.30
Başlangıç Boşluk Oranı	e_0	1.38

Çizelge 4.3. MC Model Parametreleri

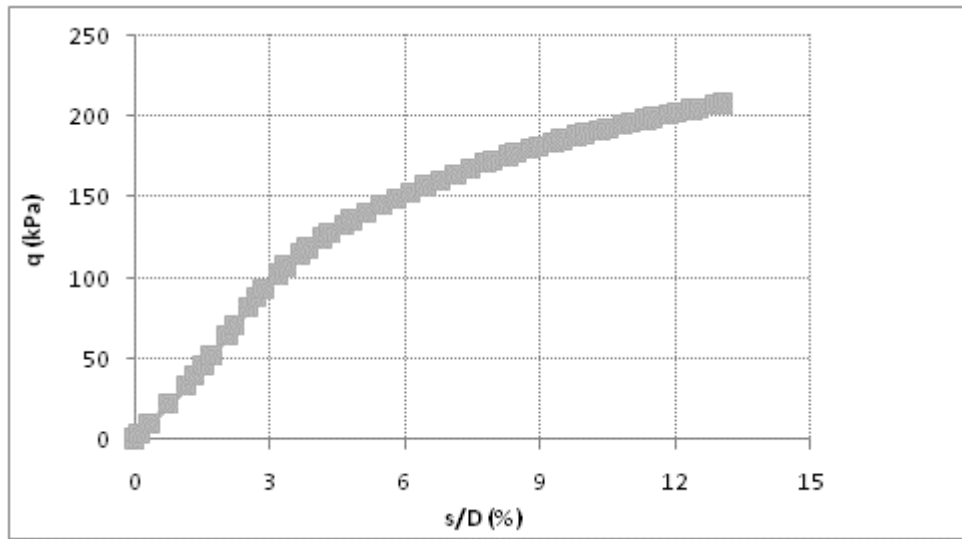
Parametreler	Sembol	Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	18 kN/m ³
Yüklemeye Rijitliği	E_{ref}	40000
Poisson Oranı	ν	0.33
Kohezyon	C	3 kN/m ²
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	42°
Dilatasyon Açısı	ψ	11

4.4.1.5. Sadece Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi

Saf, yumuşak kil zeminler üzerine oturan farklı çaplardaki dairesel temellerin, PLAXIS programı ile analizinde Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görülen taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Bu grafiklerden saf kilin, 6 cm çaplı temelde, nihai taşıma kapasitesi $q_u=155$ kPa, 9 cm çaplı temelde nihai taşıma kapasitesi ise $q_u=140$ kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. 6 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi



Şekil 4.5. 9 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi

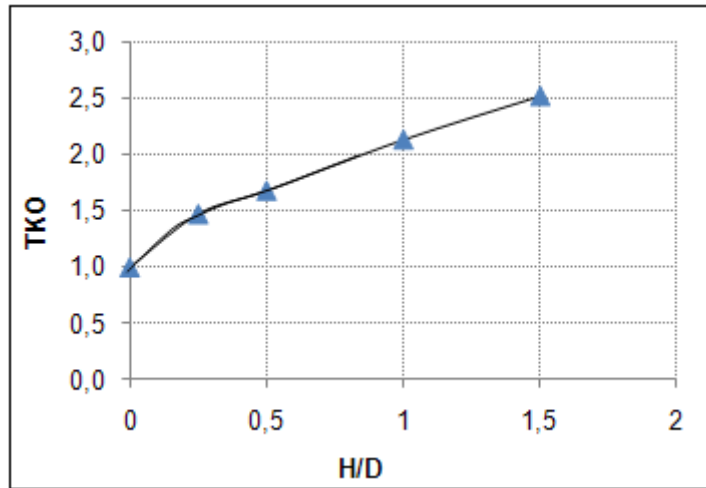
4.4.1.6. Stabilize Katkısıyla Yük-Oturma İlişkisi

Stabilize katkılı kil zeminler üzerinde, PLAXIS bilgisayar yazılımı ile, yapılan sonlu elemanlar analizlerinde, deneysel çalışma programına benzer olarak, hem 6 cm hemde 9 cm çaplı temeller için, stabilize katkısının taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır.

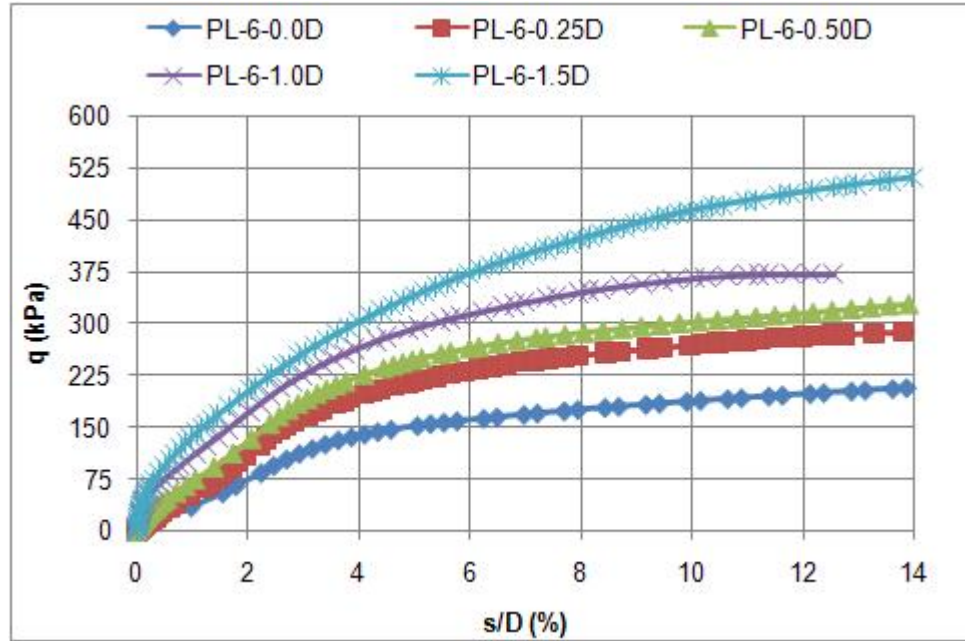
a) 6 cm Çaplı Temele ait Yük-Oturma İlişkisi

Bu seri analizlerde, deneysel çalışmada olduğu gibi, farklı kalınlıklardaki stabilize dolgu tabakasının yumuşak kil zeminin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Bunun için stabilize kalınlıkları, temel çapına bağlı olarak, 0.25D, 0.50D, 1.00D ve 1.50D alınarak modellemeler yapılmıştır.

Analizlerde stabilize kalınlığı dışında, zemin ve yükleme koşulları gibi diğer tüm parametreler sabit alınmıştır. Analizler sonucunda, stabilize kalınlığına bağlı olarak elde edilen TKO değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.6’te verilmiştir. Tüm stabilize kalınlıklarına ait yük-oturma ilişkisi eğrileri ise Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. 6 cm Çaplı Temelde TKO-H/D İlişkisi



Şekil 4.7. 6cm Çaplı Temelde Yük-Oturma İlişkisi

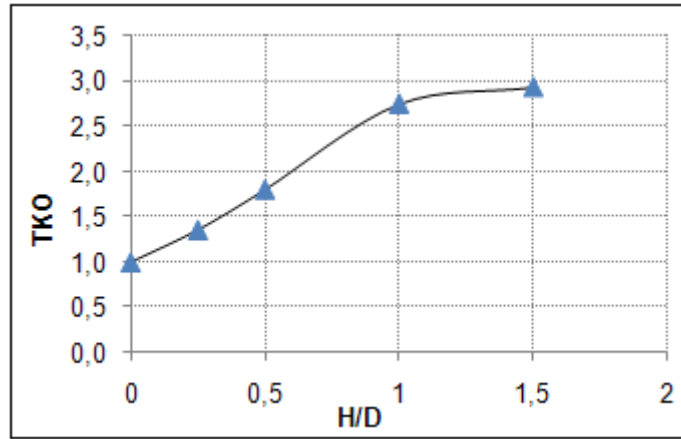
Farklı H/D oranları için yapılan analizlerde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Yumuşak kil zemin üzerine yerleştirilen stabilize malzemenin kalınlığı arttıkça taşıma gücü de artmaktadır. Özellikle stabilize kalınlığı 0.25D alındığında dairesel temelin taşıma kapasitesinde belirgin bir artış görülmektedir.
- 2) Saf kile göre taşıma kapasitesinde, stabilize katkısına bağlı olarak, sırası ile 1.47, 1.68, 2.13 ve 2.52 katlık artışlar görülmektedir.

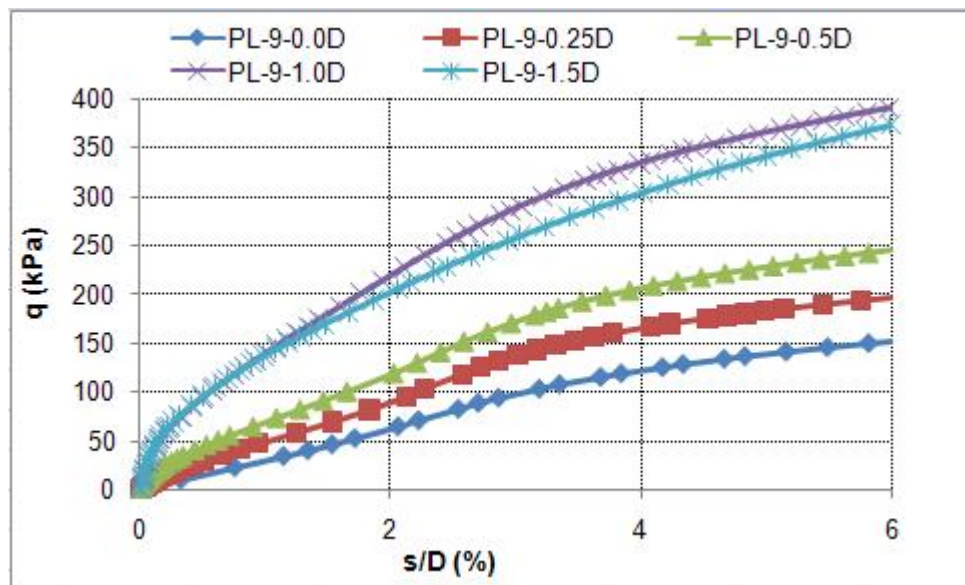
b) 9 cm Çaplı Temele ait Yük-Oturma İlişkisi

Aynı seri analizler 9 cm çaplı temel için de tekrarlanmıştır. Stabilize kalınlıkları, temel çapına bağlı olarak, 0.25D, 0.50D, 1.00D ve 1.50D alınarak yapılan modellemelerde taşıma kapasitesi değişimleri irdelenmiştir.

Analizler sonucunda, stabilize kalınlığına bağlı olarak elde edilen TKO değerlerinin değişim grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir. Tüm stabilize kalınlıklarına ait yük-oturma ilişkisi eğrileri ise, Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8. 9 cm Çaplı Temelde TKO-H/D İlişkisi



Şekil 4.9. 9 cm Çaplı Temelde Yük-Oturma İlişkisi

Farklı H/D oranları için yapılan analizlerde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Yumuşak kil zemin üzerine yerleştirilen stabilize malzemenin kalınlığı arttıkça taşıma gücü de artmaktadır. Özellikle stabilize kalınlığı 1.00D alındığında dairesel temelin taşıma kapasitesinde belirgin bir artış görülmektedir
- 2) Saf kile göre taşıma kapasitesinde stabilize katkısına bağlı olarak sırası ile 1.36, 1.80, 2.74 ve 2.93 katlık artışlar görülmektedir.

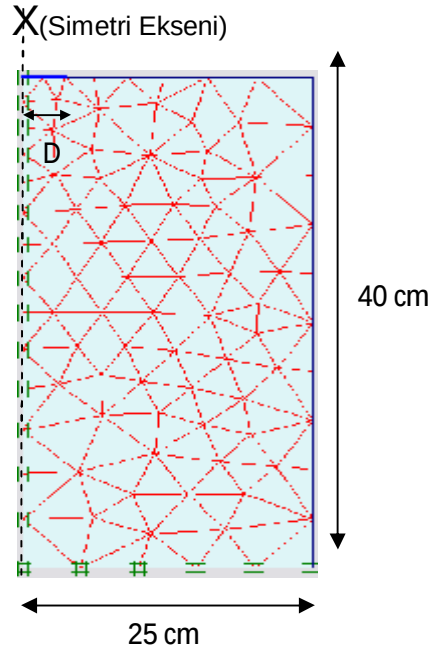
4.4.2. Arazi Deneylerinin Modellenmesi

Arazi deneylerinin modellenmesinde, laboratuvar deneylerinden farklı olarak sadece kil zeminde, yük-oturma eğrileri elde edilmiş ve taşıma gücü ve oturma değerleri bu eğriler yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

PLAXIS programında arazi koşulları sağlanmaya çalışılarak bu bölüm kapsamında sunulan parametreler ve sınır şartları altında sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

4.4.2.1. Sonlu Elemanlar Ağı

Bu bölümde arazi model deneylerine bağlı kalınarak, zemin modeli iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak oluşturulmuştur. Sadece kil için oluşturulan sonlu elemanlar ağı Sekil 4.10'da verilmiştir. Geometrik modelin genişliği, sınır etkisi olmayacak şekilde, eksenel simetrik koşullarda 25cm ve toplam zemin yüksekliği 40cm'dir. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir.



Sekil 4.10. Sonlu Elemanlar Ağı

4.4.2.2. Model Temeller

Analizlerde model temel plakaları kiriş eleman ile modellenmiştir. Kiriş elemanın malzeme özellikleri $EI=8500 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ ve $EA= 5 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$ olarak alınmıştır.

4.4.2.3. Malzeme Özellikleri

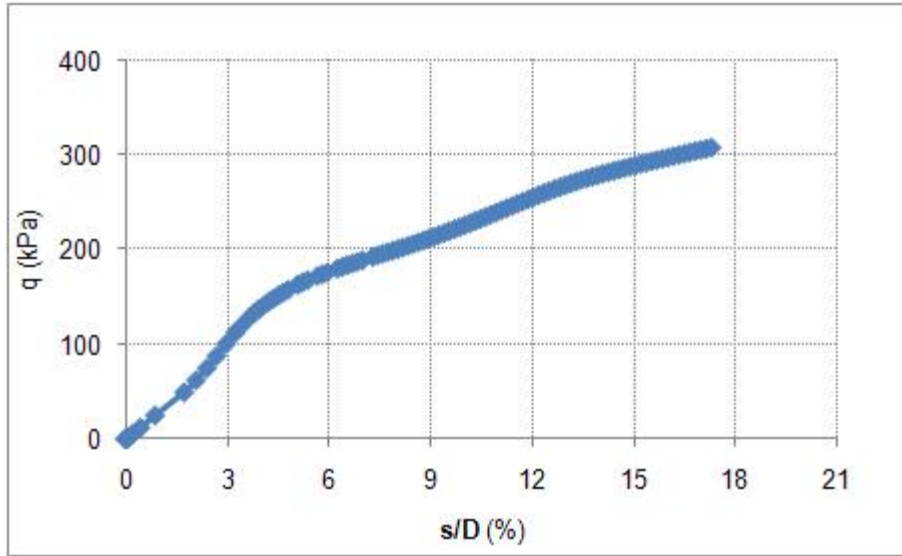
Analizlerde yumuşak kil zemini tanımlamak için Elasto-plastik model olan Modifiye Cam kili modeli (MCC) seçilmiştir. MCC model parametreleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. MCC model parametrelerini elde etmek için konsolidasyon deney sonuçları kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. MCC Model Parametreleri

Parametreler	Sembol	Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	18
Şişme İndeksi	κ	0.004
Poisson Oranı	ν	0.15
Şıkışma İndeksi	λ	0.12
Kritik Durum Çizgisinin Eğimi	M	1.2
Başlangıç Boşluk Oranı	e_o	0.8

4.4.2.4. Sadece Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi

Saf, yumuşak kil zeminler üzerine oturan 9 cm çapındaki dairesel temellerin, PLAXIS programı ile arazi koşulları altındaki analizinde, Şekil 4.11’da görülen taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Bu grafiklerden saf kilin 9 cm çaplı temelde nihai taşıma kapasitesi $q_u=150$ kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. 9 cm Çaplı Temelin Saf Kil Durumunda Yük-Oturma İlişkisi

5. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Giriş

Bu bölümde yapılan karşılaştırmalar iki ana başlık altında yapılmıştır.

1. Model Deneylerin Karşılaştırılması

- a) Laboratuar model deneylerinde ölçek etkisinin araştırılması
- b) Sadece kil zemin için arazi ve laboratuar deneylerinin uyumluluğunun irdelenmesi

2. Teorik Çözümlerle Model Deneylerin Karşılaştırılması

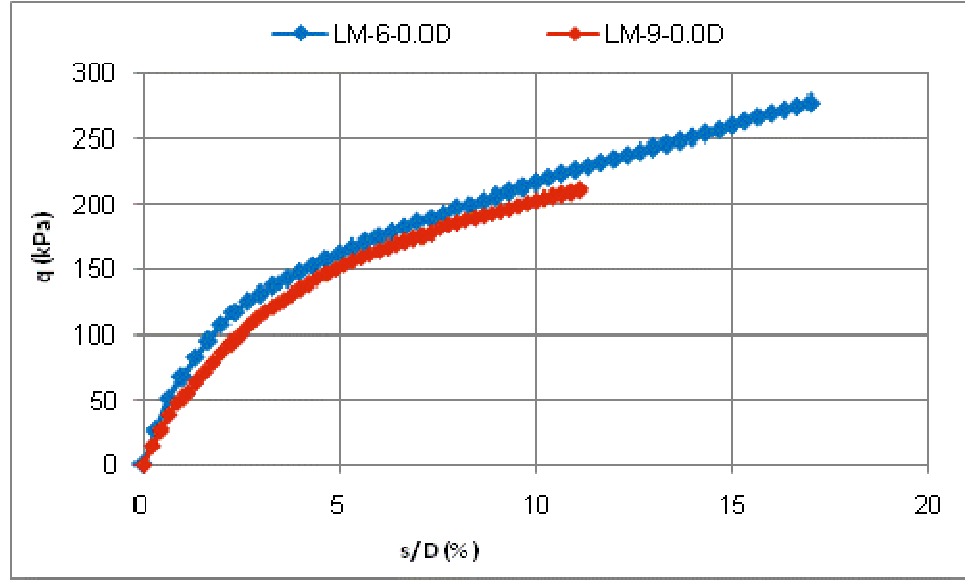
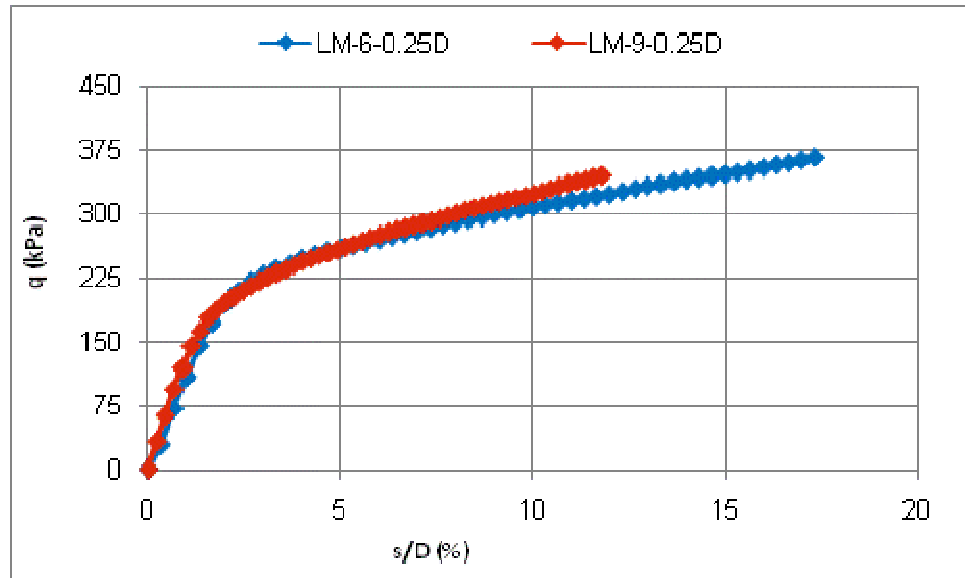
- a) PLAXIS ile Laboratuar model deneylerinin karşılaştırılması
- b) Sadece Kil Zemin İçin PLAXIS ile Arazi model deneylerinin karşılaştırılması
- c) Teorik Sonuçlarla, Deneysel Çalışmaların Yapılması

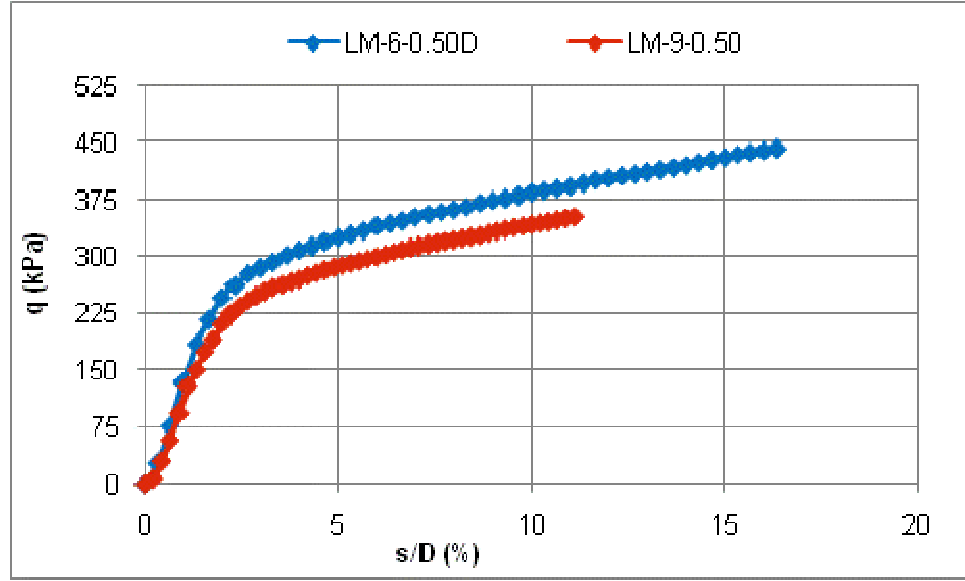
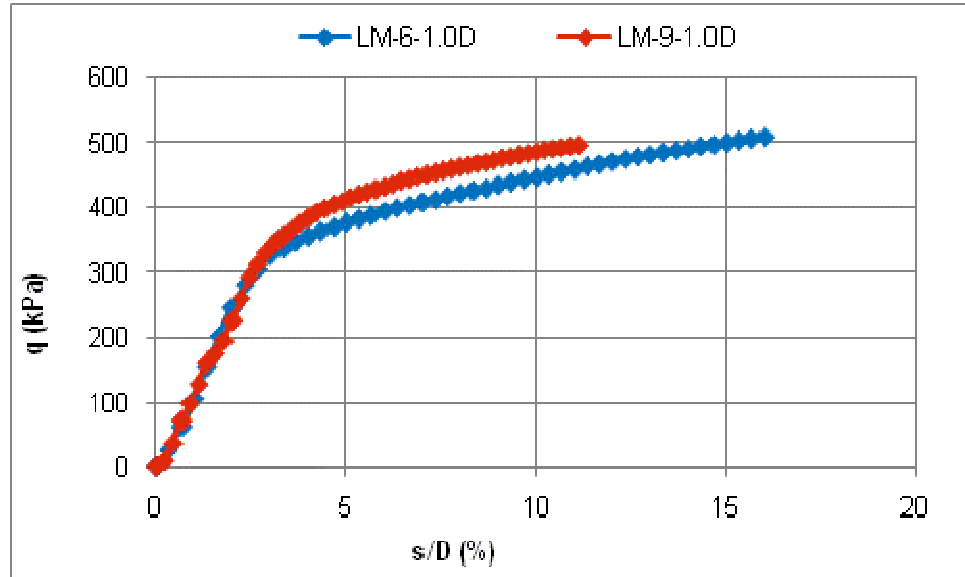
Yapılan karşılaştırmalarda, hem yük oturma eğrileri karşılaştırılmış hem de taşıma kapasitesi oranları (TKO) karşılaştırılmıştır.

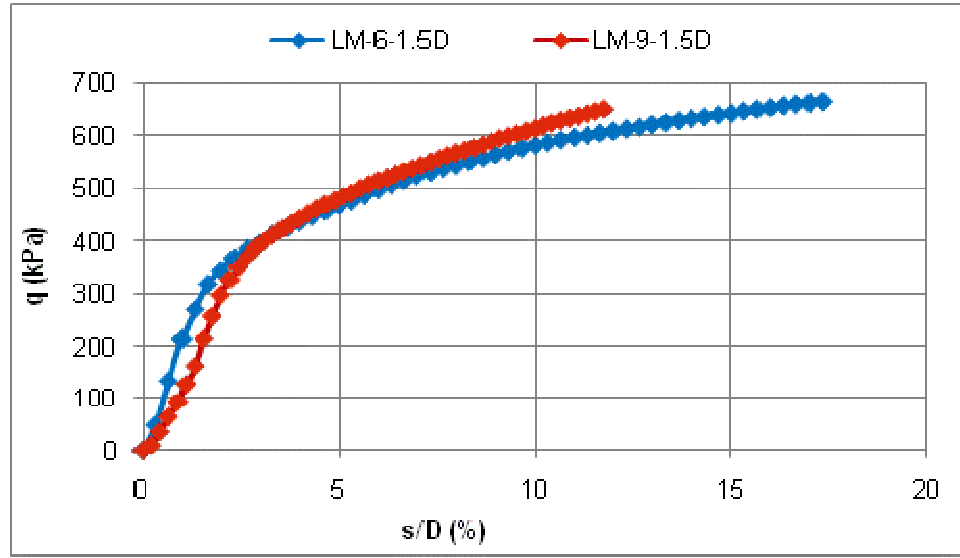
5.2. Model Deneylerin Karşılaştırılması

5.2.1. Laboratuar Model Deneylerinde Ölçek Etkisi

Bu seri çalışmada, laboratuar model deneyleri kapsamında, çalışılan iki farklı temel çapında, elde edilen yük-deplasman eğrilerinden yararlanılarak ölçek etkisinin olup olmadığı, sunulan yük-oturma eğrileri yardımı ile araştırılmıştır.

Şekil 5.1. $H/D=0.0D$ için Ölçek EtkisiŞekil 5.2. $H/D=0.25D$ için Ölçek Etkisi

Şekil 5.3. $H/D=0.50D$ için Ölçek EtkisiŞekil 5.4. $H/D=1.0D$ için Ölçek Etkisi



Şekil 5.5. H/D=1.5D için Ölçek Etkisi

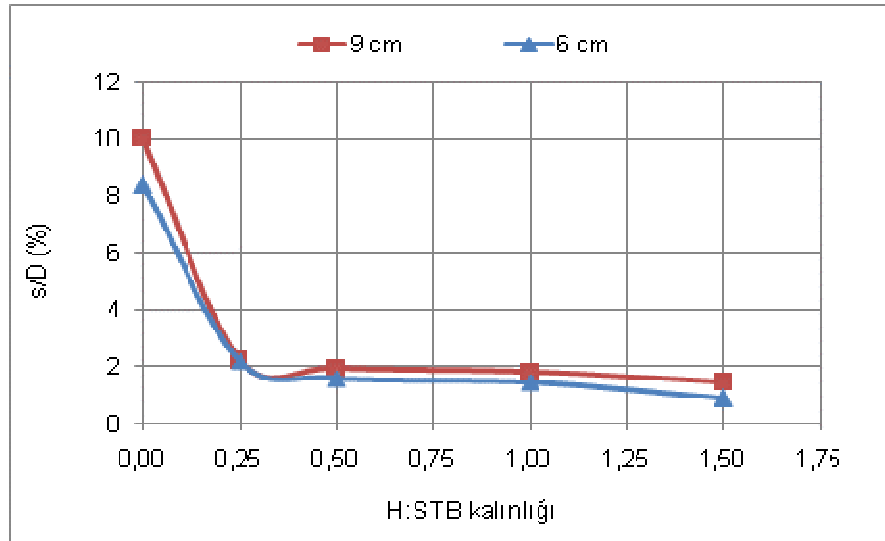
Ölçek etkisinin araştırıldığı temel çapları birbirine çok yakın olduğundan, belirgin bir ölçek etkisinden bahsetmek zor olsa da, saf kıl ve farklı stabilize kalınlıkları altında, 6 ve 9 cm çaplı temeller arasında, herhangi bir ölçek etkisinin olmadığı görülmüştür. Meydana gelen farklılıklar ise, özellikle laboratuvar deneylerinde, hazırlanan su içeriklerinin $\pm \%3$ değer aralığında değişmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin; ölçek etkisinin araştırıldığı saf kile ait deneysel çalışmalarda 6 cm çaplı temelde su içeriği $\%22.55$ iken 9 cm çaplı temel için hazırlanan killi zeminin su içeriği $\%26.53$ değerindedir.

Laboratuvar model deneyler başlığı altında yapılan tüm deney setlerinden su muhtevası, kohezyon değeri, göçme yükü ve Taşıma Kapasitesi Oranı belirlenmiş ve Çizelge 5.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Laboratuar Model Deney Sonuçlarının Toplu Gösterimi

Deney No	Temel Çapı (D)	Stabilize Kalınlığı (H)	Su Muh. (%)	Lab. Veyn c (kg/cm ²)	El Pen. c (kg/cm ²)	Göçme Yükü (kPa)	TKO
1	6	0.00 D	22,55	0,706	0,634	140	1.00
2	6	0.25 D	24,18	0,691	0,767	230	1.64
3	6	0.50 D	22,01	0,774	0,869	284	2.03
4	6	1.00 D	24,53	0,786	0,809	362	2.59
5	6	1.50 D	26,92	0,660	0,599	404	2.89
6	9	0.00 D	26,53	0,696	0,727	135	1.00
7	9	0.25 D	27,55	0,628	0,727	195	1.44
8	9	0.50 D	27,20	0,776	0,685	270	2.00
9	9	1.00 D	27,25	0,598	0,626	387	2.87
10	9	1.50 D	24,37	0,825	0,739	440	3.26

Taşıma gücü değerleri araştırıldıktan sonra, laboratuar model deneylerinde, her temel çapı için yapılan toplam 5 deneyden yararlanılarak, bu temel çapı için stabilize katkısıyla kilin oturma davranışında meydana gelen azalmalar Şekil 5.6'da verilmiştir. Çalışmada, 200 kPa'lık bir taban basıncı için oturma değerleri belirlenmiştir.

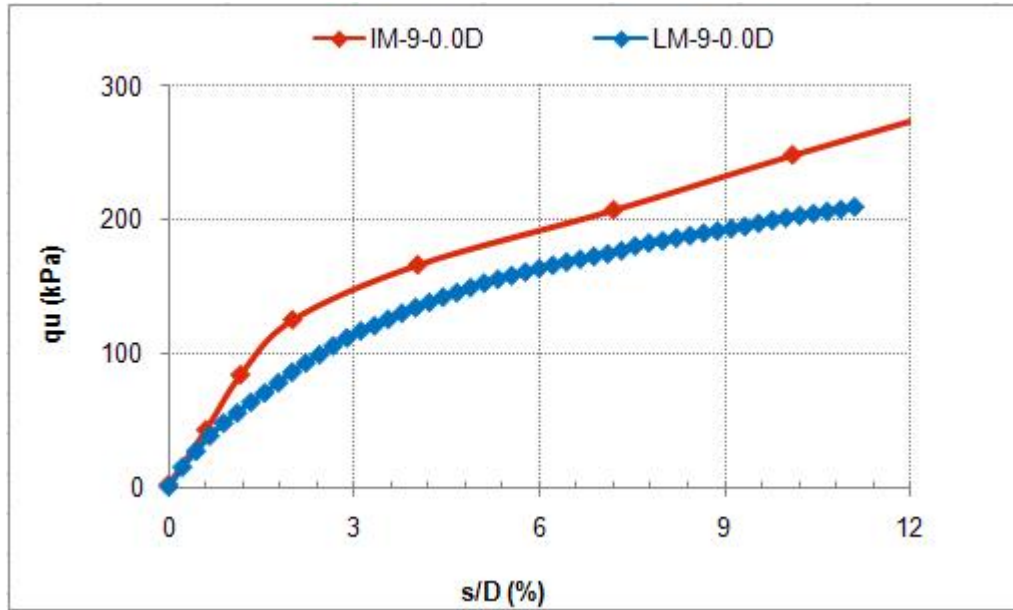


Şekil 5.6. Stabilize Kalınlığının Oturmaya Etkisi

Grafikten de görüldüğü gibi her iki temel çapı için de stabilize katkısının oturmaya olan etkisi benzer şekildedir. Oturma davranışını etkileyen optimum stabilize kalınlığı $0.25D$ olarak belirlenebilmektedir. Bu stabilize katkısıyla 6 cm çaplı temel için oturma oranı %8.4'ten %2.2'ye, 9 cm temelde ise bu oran %10'dan %2.2'ye düşmüştür.

5.2.2. Arazi ve Laboratuar Deneylerinin Karşılaştırılması

Arazi koşullarının, laboratuar ortamında hazırlanan kil zeminle benzer özellikleri yansıtip yansıtmadığının belirlenmesi amacı ile, saf kil durumu için yük-oturma eğrileri Şekil 5.7' de karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.7. Saf Kilde IM ve LM Deneylerinin Karşılaştırılması

Yük-oturma eğrilerinin davranış benzer karakterde olup, arazi deneyi daha yüksek taşıma gücü değeri vermiştir. Meydana gelen farklılık, laboratuar deneyine ait su içeriğinin %26'yı bulurken arazide bu değer ortalama %23 değerinde olmasından kaynaklanmaktadır.

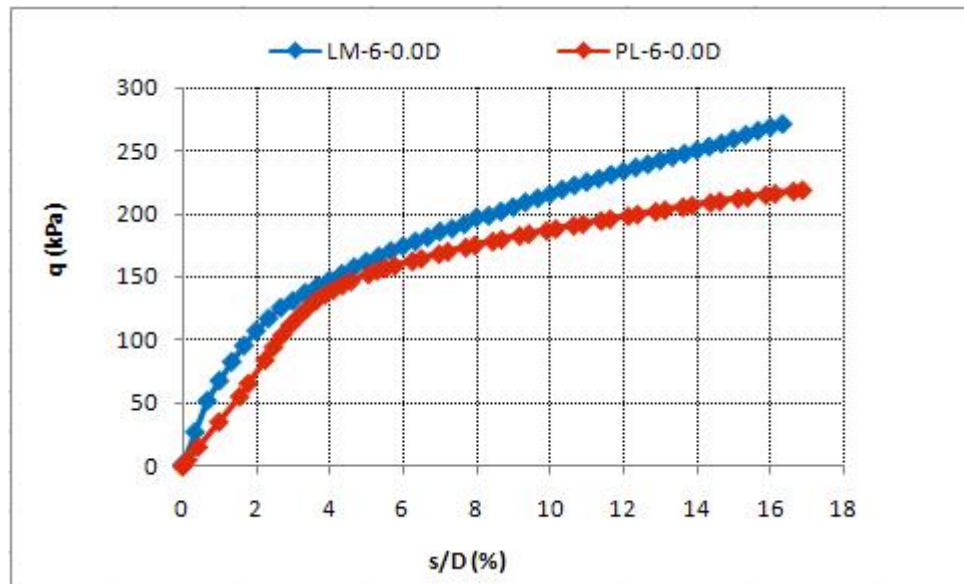
5.3. Teorik Çözümlerle Model Deneylerin Karşılaştırılması

5.3.1. Laboratuvar Deneyleri ve Teorik Çözümlerin Karşılaştırılması

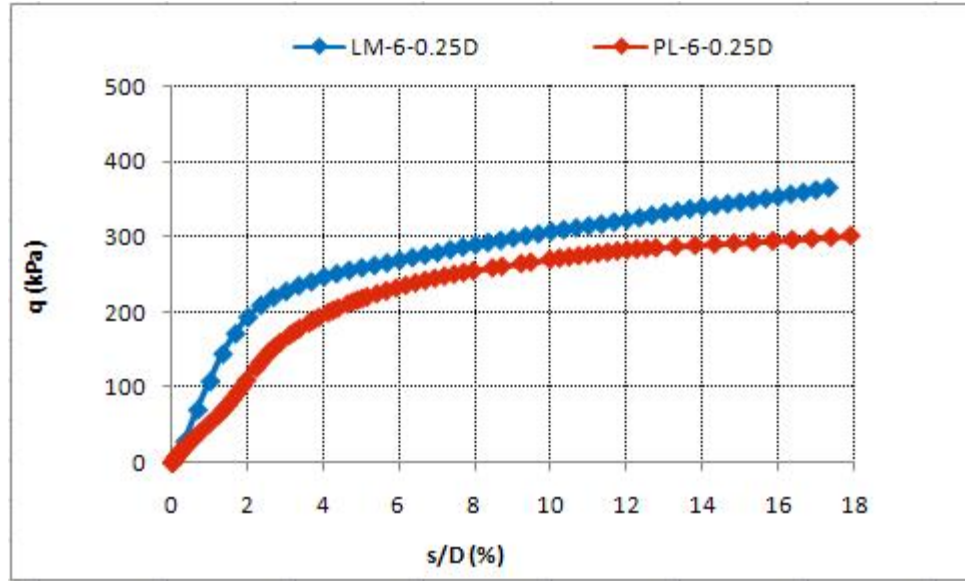
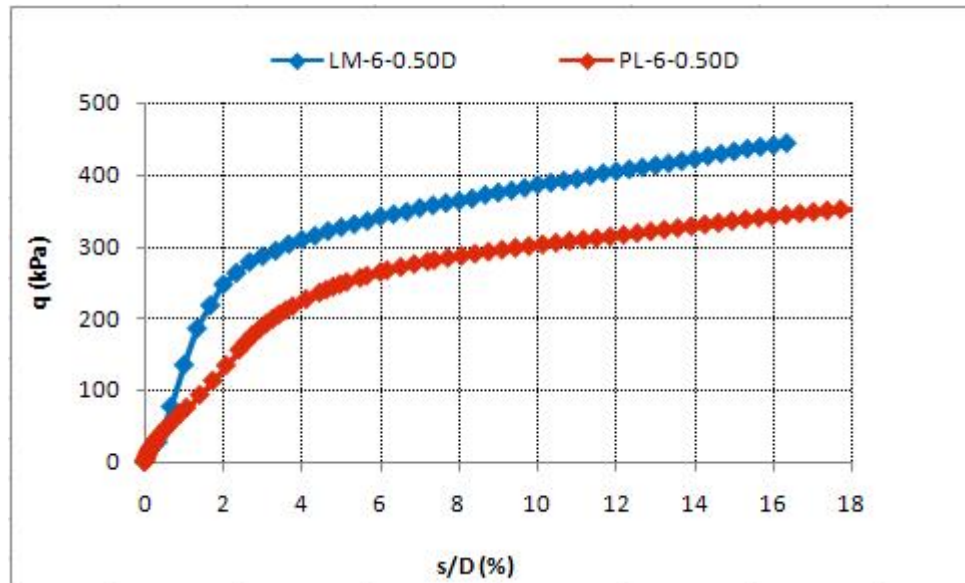
Laboratuvar deneyleri için yapılan sayısal analizlerde, kil zemine ait model parametreler, saf kilin taşıma gücü değerini ve oturma davranışını deneyle uyumlu olarak yakalamıştır. Stabilizeli deneylerde ise, PLAXIS programı, deneysel sonuçlara oranla daha güvenilir yönde kalarak daha küçük taşıma gücü değeri vermiştir.

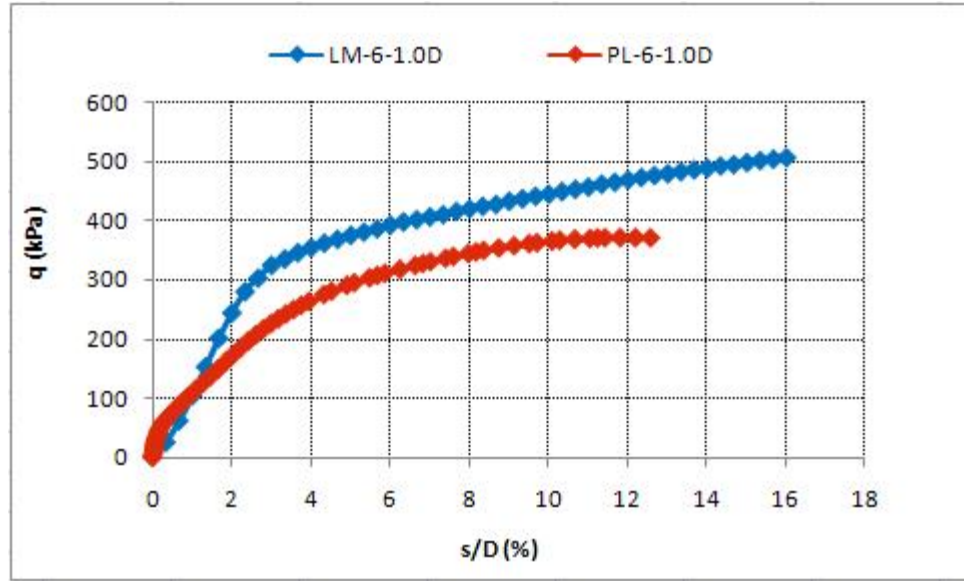
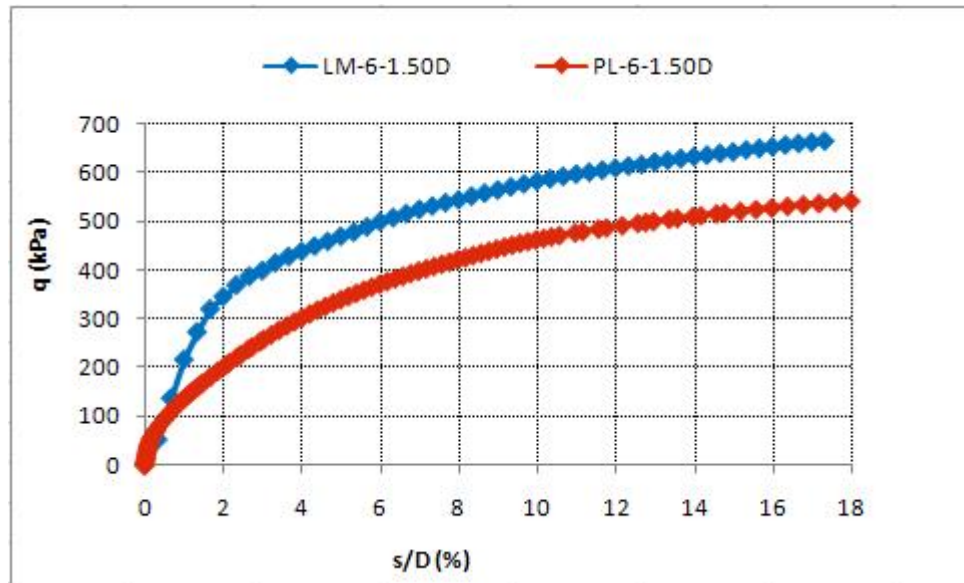
a) 6 cm Çaplı Temel Plakası İçin

6 cm temel çapı için deney ve sayısal analiz sonucu elde edilen yük-oturma eğrileri grafiklerde sunulmuştur (Şekil 5.8-5.12).



Şekil 5.8. H/D=0.0D için Yük-Oturma İlişkisi

Şekil 5.9. $H/D=0.25D$ için Yük-Oturma İlişkisiŞekil 5.10. $H/D=0.50D$ için Yük-Oturma İlişkisi

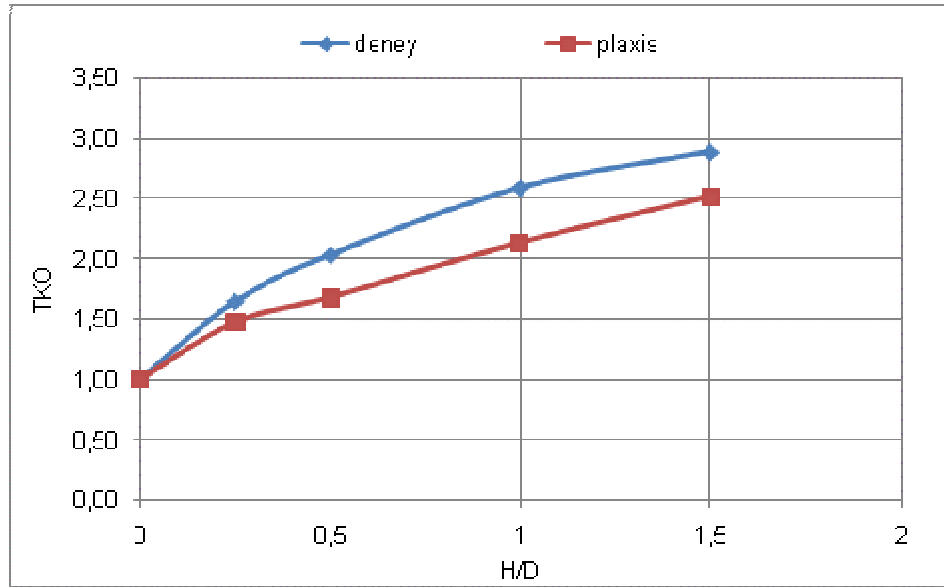
Şekil 5.11. $H/D=1.00D$ için Yük-Oturma İlişkisiŞekil 5.12. $H/D=1.50D$ için Yük-Oturma İlişkisi

Hazırlanan eğriler yardımı ile göçme yükleri ve bunlara bağlı taşıma kapasitesi oranları hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). PLAXIS ve deneylerden elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırıldığında, PLAXIS programı daha düşük değerler vermektedir. Bu değerler incelendiğinde; Stabilize kalınlığı ile birlikte TKO

değerleri de artmaktadır. Şekil 5.13'deki grafik yardımıyla optimum stabilize kalınlığı, deney sonuçlarına göre, 1.00D olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. 6 cm Çaplı Temel İçin TKO Değerleri

DENEY			PLAXIS (2BOYUT)	
H/D	qu (kPa)	TKO	qu (kPa)	TKO
0	140	1,00	155	1,00
0,25	230	1,64	228	1,47
0,5	284	2,03	260	1,68
1	362	2,59	330	2,13
1,5	404	2,89	390	2,52



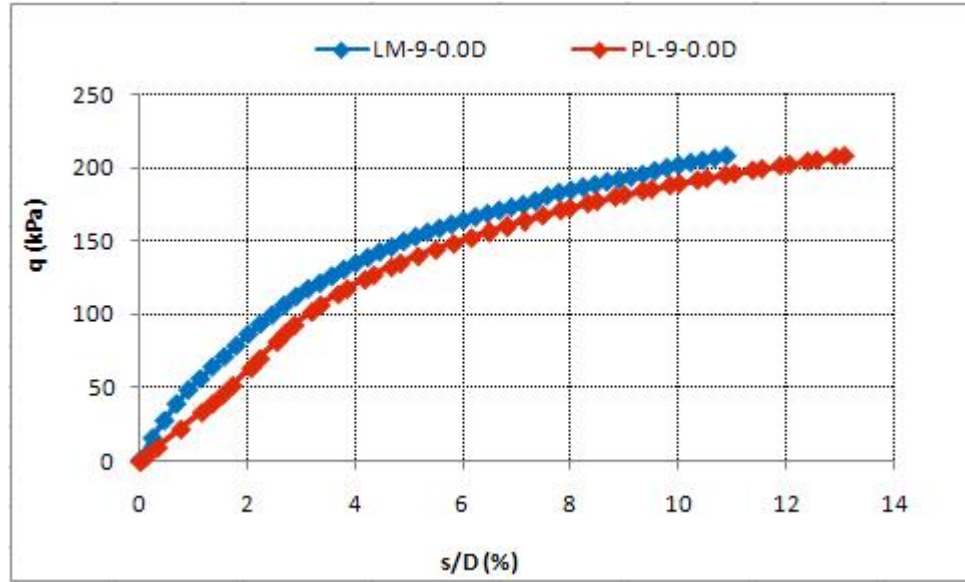
Şekil 5.13. TKO Değerlerinin Karşılaştırılması

6 cm çaplı temel için deney ve PLAXIS sonuçlarından elde edilen TKO değerleri eşitlik 5.1 yardımıyla her farklı stabilize katkısı durumunda karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre PLAXIS değerleri arasında ortalama %14,54'lük bir fark ortaya çıkmıştır.

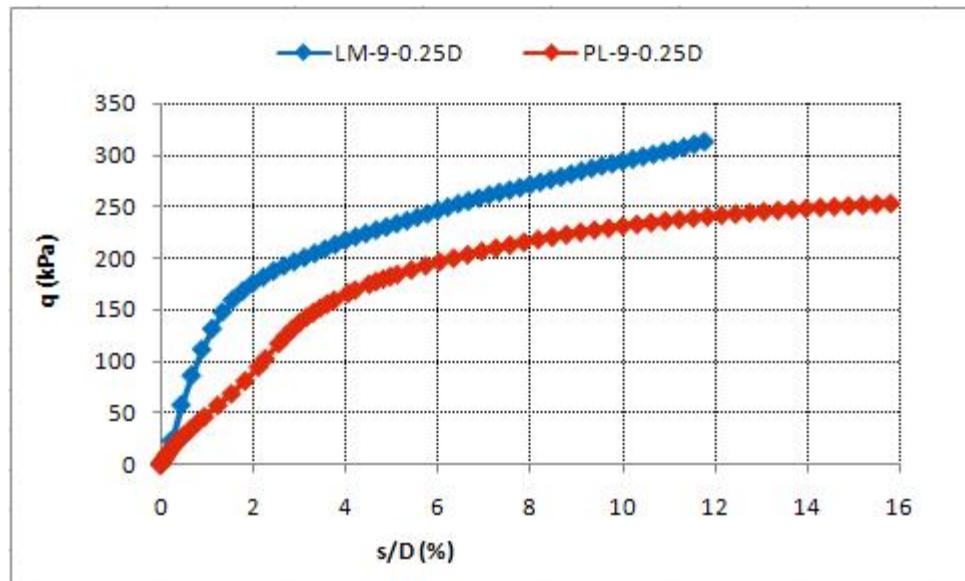
$$\text{Hata Payı} = \frac{\text{TKO}_{\text{deney}} - \text{TKO}_{\text{teorik}}}{\text{TKO}_{\text{deney}}} * 100 \quad (5.1)$$

b) 9 cm Çaplı Temel Plakası İçin

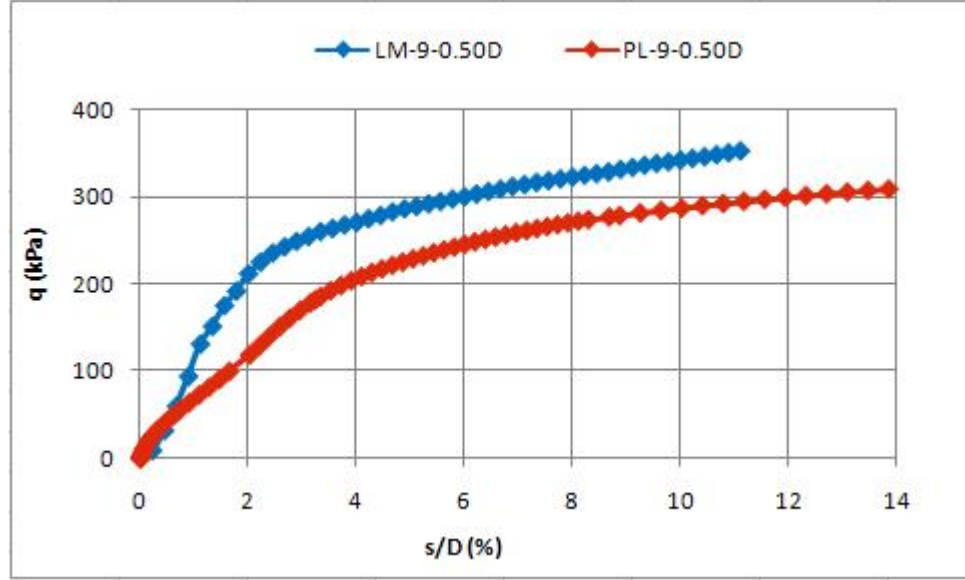
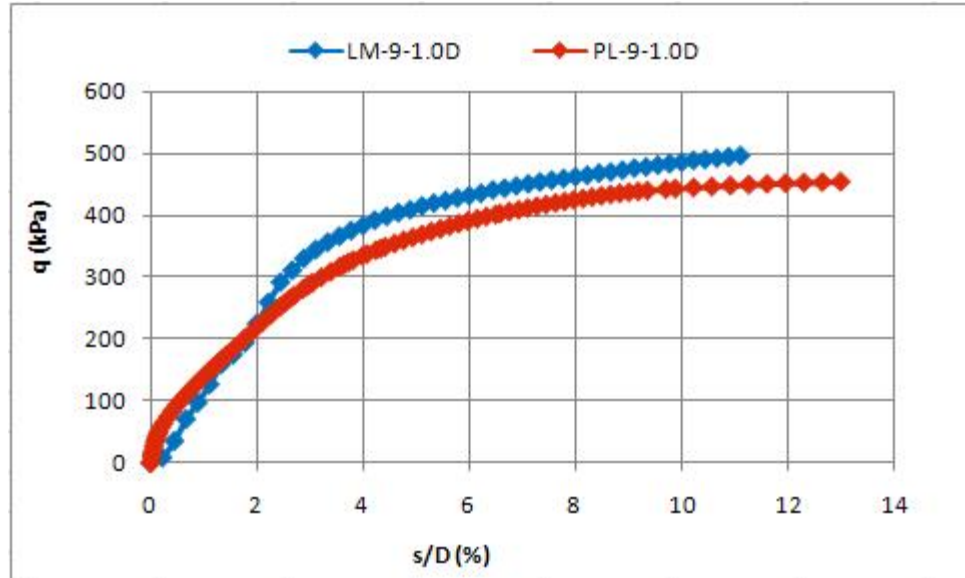
9 cm temel çapı için deney ve sayısal analiz sonucu elde edilen yük-oturma eğrileri grafiklerde sunulmuştur (Şekil 5.14-5.18).

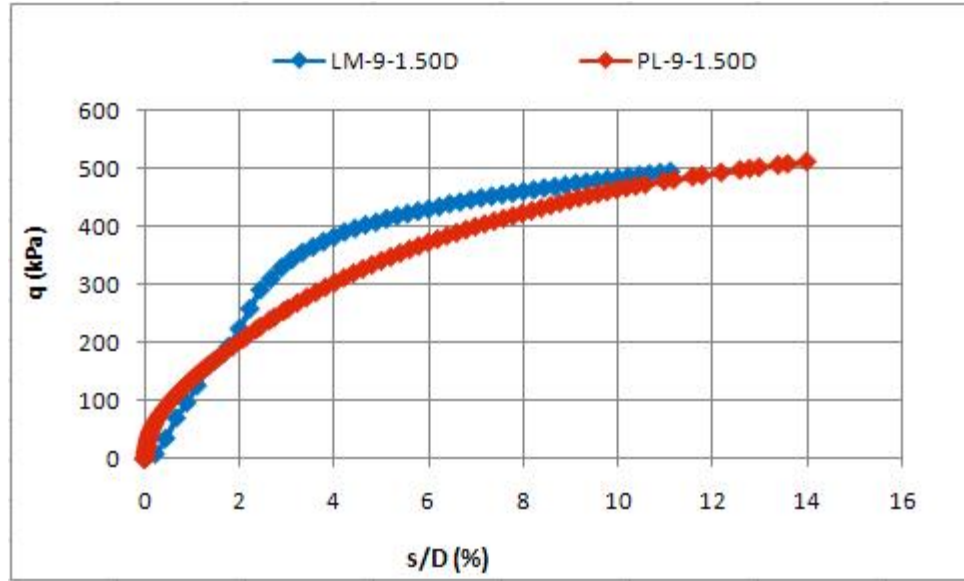


Şekil 5.14. H/D=0.0D İçin Yük-Oturma İlişkisi



Şekil 5.15. H/D=0.25D için Yük-Oturma İlişkisi

Şekil 5.16. $H/D=0.50D$ için Yük-Oturma İlişkisiŞekil 5.17. $H/D=1.00D$ için Yük-Oturma İlişkisi

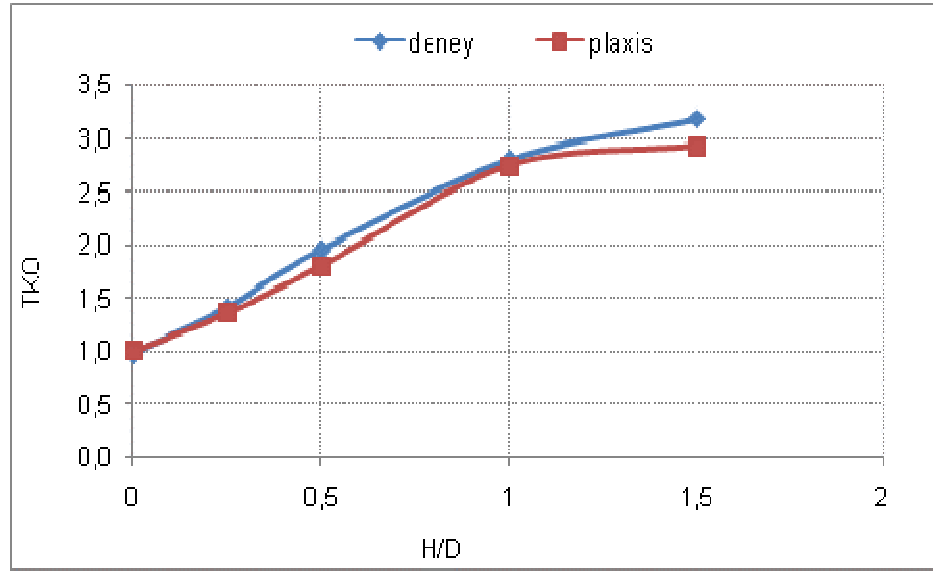


Şekil 5.18. H/D=1.50D için Yük-Oturma İlişkisi

9 cm çaplı temel için hesaplanan Taşıma gücü ve TKO değerleri, Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde; Stabilize kalınlığı ile birlikte TKO değerleri de artmaktadır. Şekil 5.19'daki grafik yardımıyla hem deney hem de PLAXIS sonuçlarından optimum stabilize kalınlığı 1.00D olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. 9 cm Çaplı Temel İçin TKO Değerleri

H/D	DENEY		PLAXIS (2 BOYUT)	
	qu (kPa)	TKO	qu (kPa)	TKO
0	135	1.00	140	1,00
0,25	195	1.44	190	1,36
0,5	270	2.00	252	1,80
1	387	2.87	384	2,74
1,5	440	3.26	410	2,93

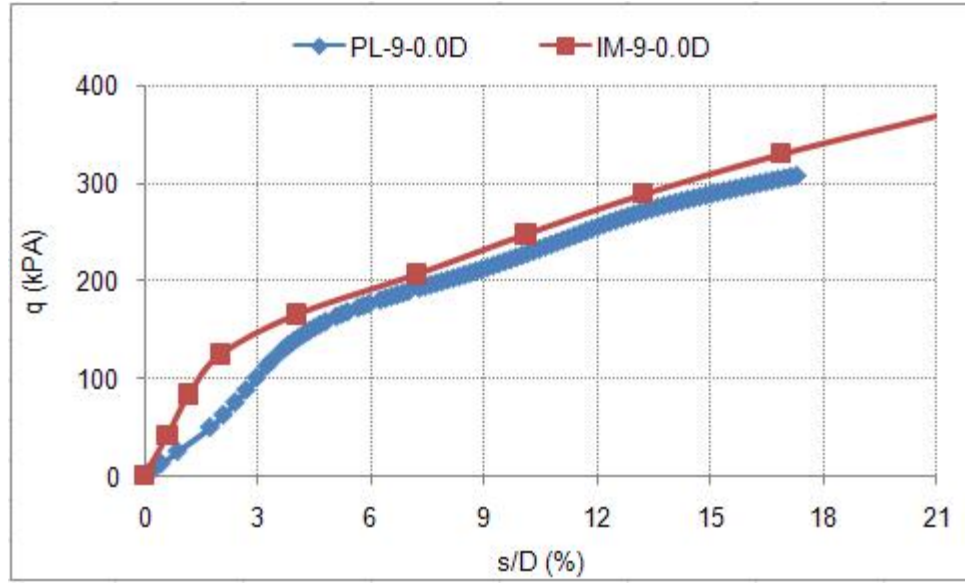


Şekil 5.19. TKO Değerlerinin Karşılaştırılması

9 cm çaplı temel için deney ve PLAXIS sonuçlarından elde edilen TKO değerleri eşitlik 5.1. yardımıyla her farklı stabilize katkısı durumunda karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre PLAXIS değerleri arasında ortalama %7,55'lik bir fark çıkmıştır.

5.3.2. Arazi Model Deneyleri ve Teorik Çözümlerin Karşılaştırılması

9 cm çaplı temel için arazide doğal zemin koşullarında yapılan deney ve PLAXIS sonuçları uyumlu çıkmıştır (Şekil 5.20). Arazi deneyinden elde edilen taşıma gücü değeri 140 kPa, PLAXIS analizinde ise, taşıma gücü değeri 150 kPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.20. Saf Kile Ait Arazi ve Laboratuvar Deneylerinin Karşılaştırılması

5.3.3. Teorik Sonuçlarla Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

Bu bölümde, yapılan stabilize katkılı deneysel çalışmaların, doğruluğunu karşılaştırmak için teorik yöntemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Burada tabakalı zeminlere ait taşıma gücü yöntemlerinden (Önalp,2007) tarafından önerilmiş olan bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre; sorunlu bir kil tabakası üstüne oturan kumun taşıma gücü aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.2).

$$q_u = \left[1 + 2 \frac{H}{B} \tan \alpha_c \right] (S_u N_c + \rho' D_f + \rho' H) + \left[\frac{K_p \sin(\phi' - \alpha_c)}{\cos \phi' \cos \alpha_c} \right] \cdot \left(\frac{H}{B} \right) (\rho' D_f + \rho' H) - \rho' H \left[1 + 2 \frac{H}{B} \tan \alpha_c \right] \quad (5.2)$$

$$\alpha_c = \tan^{-1} \left[\frac{(\sigma_{mc} / S_u) - (\sigma_{ms} / S_u) * (1 + \sin^2 \phi')}{\cos \phi' * \sin \phi' * (\sigma_{ms} / S_u) + 1} \right]$$

$$\sigma_{mc} / S_u = N_c S_u \left(1 + \frac{1}{\lambda_c} \frac{H}{B} \frac{\lambda_p}{\lambda_c} \right)$$

$$\sigma_{ms} / S_u = \frac{\sigma_{mc} / S_u - \sqrt{(\sigma_{mc} / S_u)^2 - \cos^2 \phi' ((\sigma_{mc} / S_u)^2 + 1)}}{\cos^2 \phi'}$$

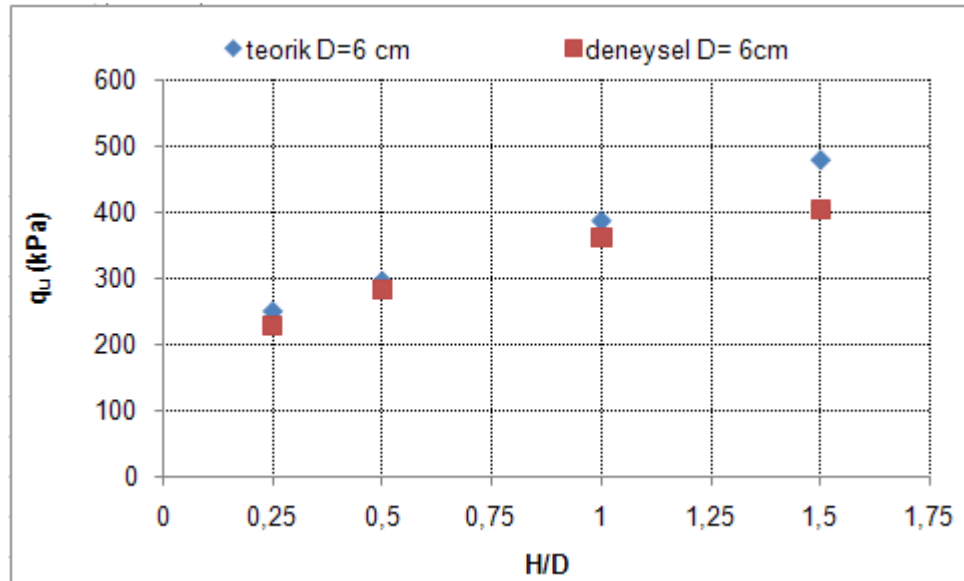
$$\lambda_p = \frac{\rho' D_f}{\rho' B} \quad \lambda_c = \frac{S_u N_c}{\rho' B}$$

Bu hesaplarda kullanılacak parametreler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

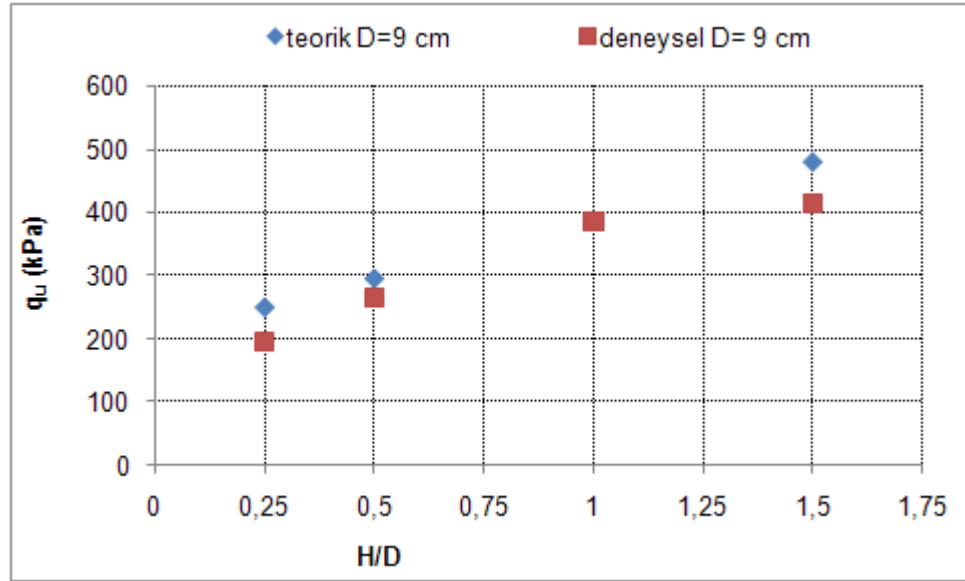
Çizelge 5.4. Hesaplamalarda Kullanılacak Parametreler

Temel Derinliği	D_f:	0
Temel Çapı	D:	0,09
İçsel Sürtünme Açısı	F:	42
Drenajsız Kayma Mukavemeti	c_u:	40
Birim Hacim Ağırlığı	r :	16
Su Altında Birim Hacim Ağırlığı	r' :	6,19
Taşıma Gücü Parametresi	N_c:	5,14
Temel Altından Stb. Kalınlığı	H:	0,0225

Kullanılan bu parametreler ile yumuşak kil zeminlerin farklı stabilize dolgu ile güçlendirilmesi durumunda elde edilecek taşıma gücü değerleri, 6 ve 9 cm çaplı temeller için sırasıyla Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.21. 6 cm çaplı Temelde Deney ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 5.22. 9 cm çaplı Temelde Deney ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması

Sonuçlar karşılaştırıldığında; deneysel çalışmalarla genel bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında öncelikle, yumuşak kil zeminlerin granüler dolgu ile iyileştirilmesi ile ilgili kaynaklarda bulunan deneysel ve teorik çalışmalar irdelenmiştir. Ön çalışmanın ardından, ilk olarak farklı çaplardaki dairesel temeller kullanılarak, laboratuvar model deneyleri gerçekleştirilmiş, ardından arazide doğal zemin üzerinde, aynı çalışmalar tekrarlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda; granüler dolgu yerleştirilmesi ile, sistemin taşıma kapasitesinin arttırıldığı ve oturma davranışının kontrol altına alındığı gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ø Arazi ve laboratuvar; saf kil zemin üzerinde yapılan model deney sonuçlarının karşılaştırılması ile, laboratuvarda yapılan deneylerin arazi zemin koşullarını büyük ölçüde yansıttığı görülmüştür.
- Ø Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, hazırlanan kil numunelerine ait su içeriklerinin, sistemin taşıma gücüne çok ciddi etkileri olduğu görülmüştür.
- Ø Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, 6 ve 9 cm çaplı temeller için, optimum stabilize kalınlığı 1.00D olarak belirlenmiştir.
- Ø Laboratuvar model deneyleri; iki farklı temel çapında, yük-oturma davranışının benzer karakterde olduğunu ve bu temeller arasında boyut etkisinin olmadığını göstermiştir.
- Ø Laboratuvar model deneylerinde, stabilize katkısı ile saf kilin taşıma kapasitesinde 6 cm çaplı temel için sırasıyla 1.64, 2.03, 2.59, 2.89; 9 cm çaplı temel için ise sırasıyla 1.44, 1.96, 2.87, 3.07 katlık artışlar gözlenmiştir.

- Ø 200 kPa taban basıncı için, 6 ve 9 cm çaplı temellerdeki oturma davranışı benzer karakterde olup, oturma davranışını kontrol altına alan optimum iyileşme, her iki temel çapı için de 0.25D olarak bulunmuştur.
- Ø Laboratuar model deneylerinde 6 ve 9 cm çaplı temel plakaları için, stabilize katkısının oturmaya olan etkisi incelendiğinde, oturmada sırasıyla 4 ve 5 kata varan bir azalma gözlenmiştir.
- Ø Laboratuar deney sonuçlarına uygulanan istatistiksel analizlerde, Rasyonel fonksiyon, deneysel çalışmalara en fazla uyum gösteren fonksiyon olarak saptanmıştır.
- Ø PLAXIS programı ile elde edilen taşıma gücü değerleri, deney sonuçlarıyla genelde uyum içerisindedir.
- Ø Sayısal analizlerde, stabilize katkısı ile saf kilin taşıma kapasitesinde, 6 cm çaplı temel için sırasıyla 1.47 2.68, 2.13, 2.52; 9 cm çaplı temel için ise sırasıyla 1.36, 1.80, 2.74, 2.93 katlık artışlar gözlenmiştir.
- Ø Taşıma kapasitesindeki artışlar yanında, oturma davranışı da incelendiğinde, ek yüklemeler nedeniyle gerilme bölgesi dolgu tabakasını geçip, yumuşak birime etki edebilir. Bu durumda stabilize katkısının oturma davranışında yetersiz kalabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- Ø Elde edilen sonuçlardan anlaşıldığı üzere, beklendiği gibi, stabilize kalınlığına bağlı olarak elde edilen TKO değerleri, saf stabilizeli durumda ulaşılabilecek taşıma gücüne yaklaşmaktadır.

KAYNAKLAR

- ADAMS, M.T. ve COLLIN, J. G., 1997. "Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundation", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 123 (1), 66-72
- ALAWAJI, H. A., 2001. "Settlement and Bearing Capacity of Geogrid – Reinforced Sand over Collapsible Soil" Geotextiles and Geomembranes, 19, 75-88
- BERGADO D. T., YOUWAI S., HAI C. N., VOOTTIPRUEX P., 2001. "Interaction of Nonwoven Needle-Punched Geotextiles Under Axisymmetric Loading Conditions" Geotextiles and Geomembranes, 19, 299-328
- BINQUET, J., ve LEE, K. L., 1975. "Bearing capacity tests on reinforced earth slabs", ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol 101(12), 1241–1255
- DAS, B. M., SHIN, E. C. and OMAR, M. T., 1994. "The Bearing Capacity of Surface Strip Foundations on Geogrid Reinforced Sand and Clay" Geotechnical and Geological Engineering, 12(1), 1-14
- DASH S. K., SIREESH S. and SITHARAM T. G., 2003. "Model Studies on Circular Footing Supported on Geocell Reinforced Sand Underlain by Soft Clay"
- DEB K., DEY A. ve CHANDRA, S., March 2007/a. "Modeling of Layered Soil System" 1st Indian Young Geotechnical Engineers Conference, Hyderabad, India, 2-3rd, pp: 50-55, 25:11–23
- DEB K., SIVAKUGAN N., CHANDRA, S. ve BASUDHAR P. K., 2007/b. "Numerical Analysis of Multi Layer Geosynthetic-Reinforced Granular Bed over Soft Fill" Geotechnical and Geological Engineering, 25, 639-646,
- ERICKSON H. L., DRESCHER A., January 2002. "Bearing Capacity of Circular Footings" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,
- FONSECA V., October 2001."Load Tests on Residual Soil and Settlement Prediction on Shallow Foundation" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127, No10, 869-883

- KARSTUNEN, M., KRENN, H., ve AALTO, A., 2005. "Recent Advances In Numerical Modelling of Deep-Stabilized Soil AMIGSS" , Starnet
- MADHAV, M. R. and VITKAR P. P., 1978. "Strip Footing on Weak Clay Stabilized with a Granular Trench or Pile", Canadian Geotechnical Journal, 15(4), 605
- MANDAL, J. N. and SAH, H. S., 1992. "Bearing capacity tests on geogrid-reinforced clay" Geotextiles and Geomembranes, Volume 11, Issue 3, Pages 327-333
- OTANI J., HIDETOSHI O. and YAMAMOTO K., 1998. "Bearing Capacity Analysis of Reinforced Foundations on Cohesive Soil" Geotextiles and Geomembranes 16, 195-206
- ÖNALP A. Ve SERT S., 2006. "Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri", Birsen Yayınevi, 375
- SHIN E., DAS B., PURI S., YEN S., COOK E., 1993. "Bearing Capacity of Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Clay" Tech. Note, American Society for Testing and Materials, 534-541
- THOME A., DONATO M., CONSOLI N. C., GRAHAM J., 2005. "Circular Footings on a Cemented Layer Above Weak Foundation Soil" Canadian Geotechnical Journal, 42, 1569-1584
- ZHU F., CLARK, J. I. and PHILIPS, R., 2001. "Scale Effect of Strip and Circular Footings Resting on Dense Sand" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, July

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Mersin’inde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Mersin’de tamamladım. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdim. 2006 yılında fakülte birincisi olarak mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimime başladım.

EK 1

SONDAJ VE MUAYENE ÇUKUR LOGLARI

  		ZEMAR ZEMİN ETÜD VE PROJE MERKEZİ Zeynepaşağı Bulvarı 22/52 Erdolun Ağıt. 102. SA/28 TEL. 0 (312) 458 18 18 FAKS: 0 (312) 458 1887 SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDAJ NO	SK1													
				Boring No														
				SAYFA NO														
				Page No	1													
PROJE ADI		(Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı ile Güçlendirilmesi) 106M496 No'lu Tübitak Projesi																
SONDAJ YERİ		ADANA-SEYHAN (ADANA BATI ATIKSU ARITMA TESİSİ SINIRLARI İÇERİSİNDE)		BAŞ. BİT. TARİHİ	22.05.2007													
SONDAJ DERİNLİĞİ		13.00 m		RAKIM (m)														
SONDAJ KOTU		-		KOORDİNAT (X)														
YER ALTİ SUYU		2.40m		KOORDİNAT (Y)														
DERİNLİK (m)	MANİNGA RANCI	Kazı (%) Core recovery	RQD (%)	Dayanıklılık Strength	Numune cinsi Sample type	JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL (PROFILE)	SPT				GRAFİK (GRAPH)						
								15	30	45	N	0	10	20	30	40	50	R
0																		
1	00.00-00.80 m	80				Birkisel Toprak												
2	00.80-01.50 m	70			D1													
	01.50-01.95 m	45			SPT1			4	7	8	15							
	01.95-02.50 m	55			D2													
3	02.50-03.00 m	50			UD1													
	03.00-03.45 m	45			SPT2			6	6	7	13							
4	03.45-04.50 m	95			D3	Az Silili Kil												
5	04.50-05.00 m	50			UD2													
	05.00-05.45 m	45			SPT3			7	7	8	15							
6	05.45-06.02 m	15			U4													
	06.02-06.50 m	10			UD3													
7	06.50-08.05 m	45			SP14			5	5	7	12							
8	08.05-08.50m	115			U5													
9	08.50-09.90m	45			SP15			4	4	6	10							
10																		
11	09.90-12.00m	40			U6	Az Silili Kili Kum												
12																		
13																		
14						KILIN SONU : 13 m												
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		

Kaya Dayanıklılığı - Strength	Kayma Direnci - c (kPa)	Kayma Direnci / c (tan) - ϕ (derece)	İstifli Zemin - Coarse grained
R1 Çok zayıf (very weak) R2 Zayıf (weak) R3 Az dayanıklı (moderate) R4 Orta (medium) R5 Çok dayanıklı (very strong) R6 Ağır dayanıklı (extremely strong)	0-10 Zayıf (very weak) 10-20 Zayıf (weak) 20-30 Orta (moderate) 30-40 Orta (medium) 40-50 Orta (medium) 50-100 Çok iyi (excellent)	0-10 Zayıf (very weak) 10-20 Zayıf (weak) 20-30 Orta (moderate) 30-40 Orta (medium) 40-50 Orta (medium) 50-100 Çok iyi (excellent)	

EK 1.a. SK-1'e Ait Araştırma Logu

  		ZEMAR ZEMİN ETÜD VE PROJE MERKEZİ Ziyapaşa Bulvarı 22.58 Erdiş (Jeo. Ağı: 300, 3A/20 TEL: 0 (312) 498 18 18 FAKS: 0 (312) 498 1887 SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDAJ NO SK2 Boring No SAYFA NO 1 Page No														
PROJE ADI	(Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı ile Güçlendirilmesi) 106M496 No'lu Tubitak Projesi																	
SONDAJ YERİ	ADANA-SEYHAN (ADANA BATI ATIKSU ARITMA TESİSİ SINIRLARI İÇERİSİNDE)		BAŞ. BİT. TARİHİ	23.05.2007														
SONDAJ DERİNLİĞİ	13.00 m		RAKIM (m)															
SONDAJ KOTU	-		KOORDİNAT (X)															
YER ALTI SUYU	2.50m		KOORDİNAT (Y)															
DERİNLİK (m)	MANİPÜLASYON RANJ (m)	Karot (s) Core recovery	ROD (%)	Dayanıklılık Strength	Numune Cinsi Sample type	JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL (PROFILE)	SPT				GRAFİK (GRAPH)						
								15	30	45	N	0	10	20	30	40	50	R
0																		
1	00.00-01.00 m	100				Bitkisel Toprak												
2	01.00-01.50 m																	
	01.50-02.00 m	50				UD1												
	02.00-02.45 m	45				SPT1		8	9	9	18							
3	02.45-03.00 m	55				D2												
	03.00-03.50 m	50				UD2												
4	03.50-03.95 m	95				SPT2		7	7	9	16							
	03.95-04.50 m	55				D3												
5	04.50-05.00 m	50				UD3												
	05.00-05.45 m	45				SPT3		6	6	8	14							
6	05.45-06.00 m	15				U4												
	06.00-06.50 m	10				UD4												
7	06.50-07.05 m	45				SP14		5	5	7	12							
8	07.05-08.50m	115				U5												
9	08.50-09.90m	45				SP15		3	4	6	10							
10																		
11	09.90-13.00m	425				U6												
12																		
13																		
14						KUYU SONU : 13 m												
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
Kısa Dayanıklılık - Strength		Kısa Dayanıklılık - (N/30)		Orta Dayanıklılık - (N/60)		Uzun Dayanıklılık - (N/120)		İfadenin detaylı - Coarse gradation										
R1 Çok zayıf (very weak) R2 Zayıf (weak) R3 Az dayanıklı (moderately weak) R4 Orta dayanıklı (moderate) R5 Çok dayanıklı (very strong) R6 Aşırı dayanıklı (extremely strong)		95-100 Çok iyi (very good) 90-95 İyi (good) 85-90 Orta (fair) 80-85 Zayıf (weak) 75-80 Çok zayıf (very weak)		N=10 Çok yumuşak (very soft) N=15 Yumuşak (soft) N=20 Orta Kırı (medium) N=25-30 Kırı (hard) N=35-40 Çok Kırı (very hard) N=45-50 Sert (hard)		N=10 Çok yumuşak (very loose) N=15 Yumuşak (loose) N=20 Orta Kırı (medium loose) N=25-30 Kırı (medium) N=35-40 Çok Kırı (very dense) N=45-50 Sert (very dense)												

EK 1.b. SK-2'ye Ait Araştırma Logu

 		ZEMAR ZEMİN ETÜD VE PROJE MERKEZİ Zıyapaşa Bulvarı 22/52 Erdolun Apt. 102-5A/25 TEL: 0 (312) 458 18 18 FAKS: 0 (312) 458 1887 SONDAJ LOGU / BORING LOG		SONDAJ NO	SK3													
				Boring No														
				SAYFA NO														
				Page No	1													
PROJE ADI	(Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı ile Güçlendirilmesi) 105M495 No'lu Tübitak Projesi																	
SONDAJ YERİ	ADANA-SEYHAN (ADANA BATI ATIKSU ARITMA TESİSİ SINIRLARI İÇERİSİNDE)			BAŞ. BİT. TARİHİ	24.05.2007													
SONDAJ DERİNLİĞİ	20.00 m			RAKIM (m)														
SONDAJ KOTU	-			KOORDİNAT (X)														
YER ALTİ SUYU	2.40m			KOORDİNAT (Y)														
DERİNLİK (m)	MANEVRİA RİNGİ	Karelik (%) Core recovery	ROD (%)	Dayanıklılık Strength	Numune cinsi Sample type	JEOTEKNİK TANIMLAMA GEOTECHNICAL DESCRIPTION	PROFİL (PROFILE)	SPT				GRAFİK (GRAPH)						
								15	30	45	N	0	10	20	30	40	50	R
0																		
1	00.00-01.00 m	100				Bitkisel Toprak												
2	01.00-01.50 m					D1												
	01.50-02.00 m	50				UD1												
	02.00-02.45 m	45				SPT1		8	9	8	17							
3	02.45-03.00 m	55				D2												
	03.00-03.50 m	50				UD2												
4	03.50-03.95 m	95				SPT2		6	9	7	16							
	03.95-04.50 m	55				D3												
5	04.50-05.00 m	50				UD3												
	05.00-05.45 m	45				SPT3		5	7	8	15							
	05.45-06.00 m	55				D4												
	06.00-06.50 m	10				UD4												
7	06.50-06.95 m	40				SPT4		4	5	6	12							
	06.95-07.50 m	10				UD5												
9	07.50-08.50 m	40				SPT5		3	6	4	10							
	08.50-10.50 m	10				UD6												
11	10.50-11.00 m	10				UD5												
12	11.00-12.00 m	100				D7												
	12.00-12.40 m	40				SPT6		32	44	17	8							
13																		
14																		
	12.40-16.00 m	30				UD8												
15																		
16																		
17																		
18	16.00-20.00 m	400				UD9												
19																		
20																		
						KUYU SONU : 20 m												
Kıyı Dayanıklılığı - Strength		Kıyı Sıkılığı - Density		Kıyı Tane Ölçüsü - Fine grain size		Kıyı Tane Ölçüsü - Coarse grain size												
R1 Çok zayıf (very weak) R2 Zayıf (weak) R3 Orta zayıf (moderately weak) R4 Orta (medium) R5 Orta güçlü (strong) R6 Çok güçlü (very strong) R7 Ağır (heavy)		95-100 Çok iyi (very good) 85-95 İyi (good) 75-85 Orta (medium) 65-75 Zayıf (weak) 55-65 Zayıf (very weak)		N=0-5 Çok zayıf (very weak) N=5-10 Zayıf (weak) N=10-15 Orta (medium) N=15-20 Orta güçlü (strong) N=20-30 Çok güçlü (very strong) N=30-40 Ağır (heavy)		N=0-5 Çok zayıf (very weak) N=5-10 Zayıf (weak) N=10-15 Orta (medium) N=15-20 Orta güçlü (strong) N=20-30 Çok güçlü (very strong) N=30-40 Ağır (heavy)												

EK 1.c. SK-3'e Ait Araştırma Logu

[illegible]

  			NUMUNE ÇUKUR NO TEST PIT NO	MÇ-1	SAYFA NO PAGE NO:	1	
PROJE PROJECT			(Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi) 106M496 No'lu Tübitak Projesi				
YER (Km) LOCATION			X: KUZAY Y:				
ARAŞTIRMA ÇUKUR LOGU/TEST PIT LOG							
KOT(m) ELEVATION							
OPERATÖR OPERATOR							
GÖREVLİ MÜHENDİS PROFESSIONAL ENGINEER							
KAZI TANIMLAMASI DESCRIPTION OF THE EXCAVATION			KAZI YÖNTEMİ/EXCAVATION METHOD JCB	SÜRE(dak.)/TIME(min.) 30			
TARİH DATE			26.02.2007				
UD:UNDISTURBED SAMPLE/ÖRSELENMİŞ NUMUNE							
D:DISTURBED SAMPLE/ÖRSELENMİŞ NUMUNE							
SAMPLE/NUMUNE			DERİNLİK DEPTH (m)	ZEMİN TARİFİ VE SINIFLANDIRMASI DESCRIPTION OF SOIL AND SOIL CLASSIFICATION			
NO	DERİNLİK DEPTH(m)	YASS(m) GWL(m)		MALZEME CİNSİ CLASSIFICATION OF MATERIAS	ASSHTO	SOIL PROFILE	GENEL DÜŞÜNCELER GENERAL REMARKS
			0,00				
			0,50	BİTKİSEL TOPRAK			
			0,60				
			1,00				
			1,50	AZ SİLTİLİ KİL			
			2,00				
			2,50				
			2,60	KUYU SONU : 02.60 m			
			3,00				
			4,00				

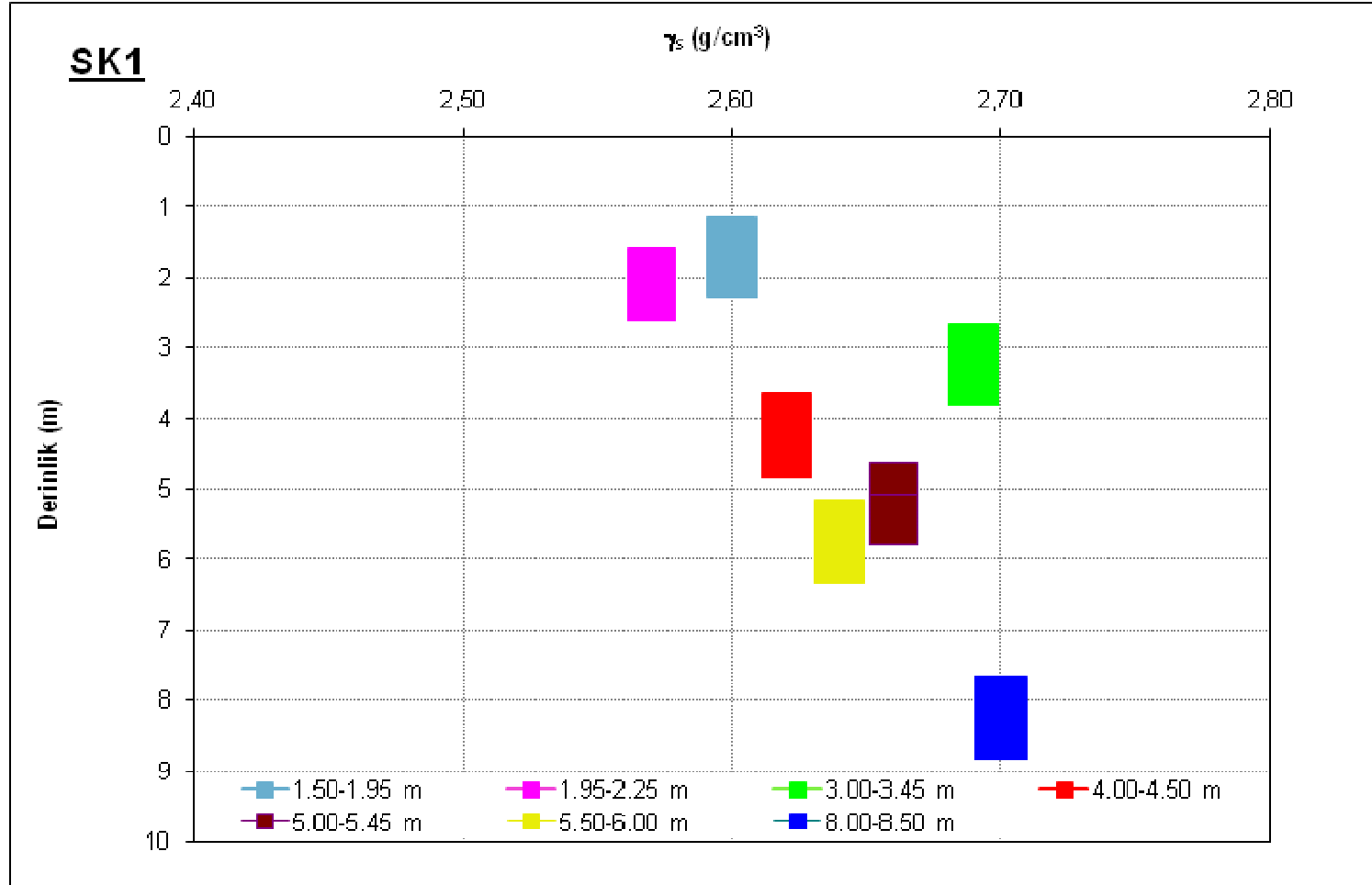
EK 1.e. MÇ-1'e Ait Araştırma Logu

  			NUMUNE ÇUKUR NO TEST PIT NO	MÇ-2	SAYFA NO PAGE NO :	1	
PROJE PROJECT			(Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi) 106M496 No'lu Tübitak Projesi				
YER (Km) LOCATION			X: GÜNEY		Y:		
ARAŞTIRMA ÇUKUR LOGU/TEST PIT LOG							
KOT(m) ELEVATION							
OPERATÖR OPERATOR							
GÖREVLİ MÜHENDİS PROFESSIONAL ENGINEER							
KAZI TANIMLAMASI DESCRIPTION OF THE EXCAVATION			KAZI YÖNTEMİ/EXCAVATION METHOD JCB	SÜRE(dak.)/TIME(min.) 30			
TARİH DATE			26.02.2007				
UD:UNDISTURBED SAMPLE/ÖRSELENMİŞ NUMUNE							
D:DISTURBED SAMPLE/ÖRSELENMİŞ NUMUNE							
SAMPLE/NUMUNE			ZEMİN TARIFI VE SINIFLANDIRMASI DESCRIPTION OF SOIL AND SOIL CLASSIFICATION				
NO	DERİNLİK DEPTH(m)	YASS(m) GWL(m)	DERİNLİK DEPTH (m)	MALZEME CİNSİ CLASSIFICATION OF MATERIAS	ASSHTO	SOIL PROFILE	GENEL DÜŞÜNCELER GENERAL REMARKS
			0,00				
			0,50	BİTKİSEL TOPRAK			
			0,60				
			1,00				
			1,50	AZ SİLTİLİ KİL			
			2,00				
			2,40				
			2,50	KUYU SONU : 02.50 m			
			3,00				
			4,00				

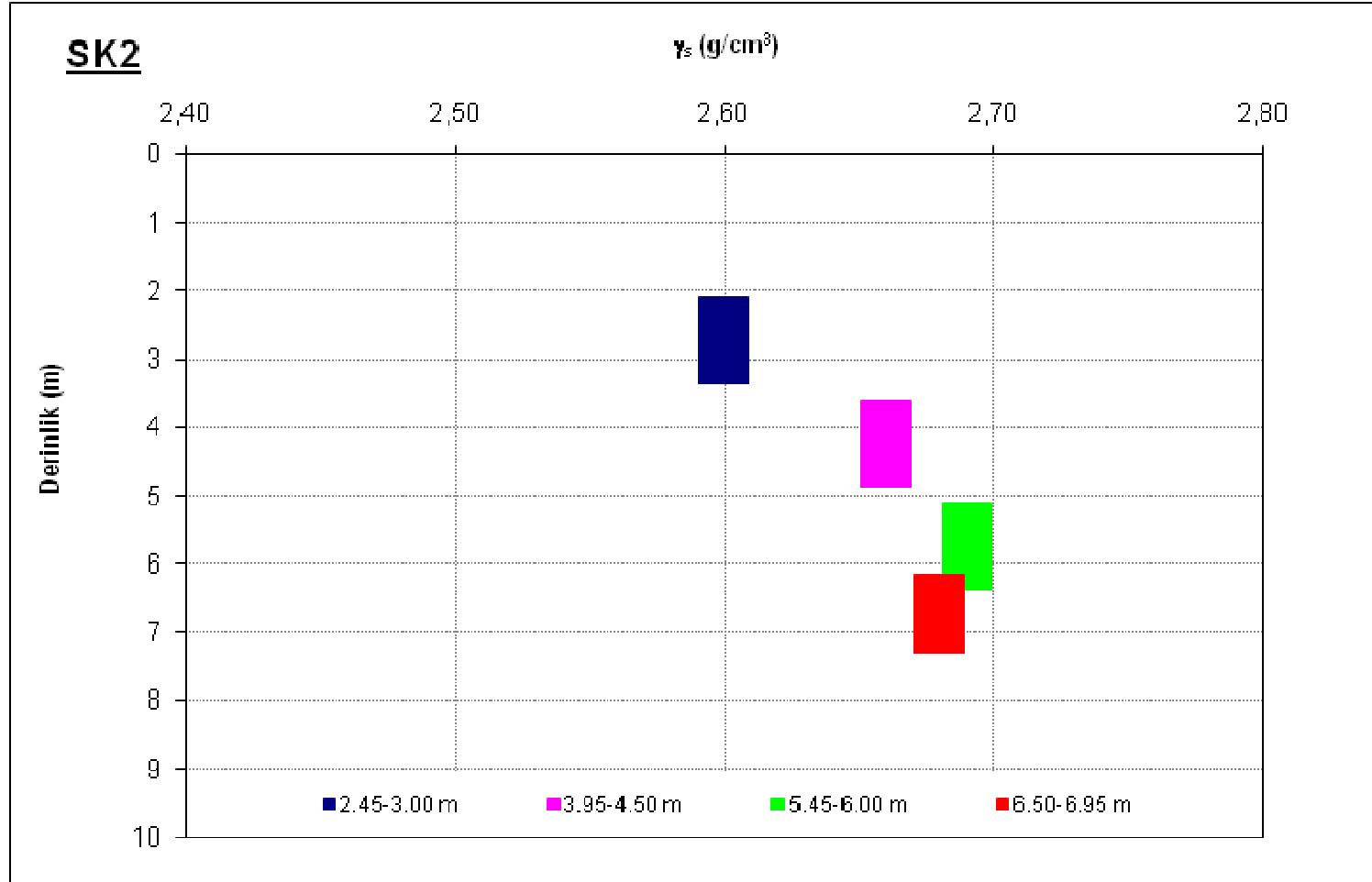
EK 1.f. MÇ-2'ye Ait Araştırma Logu

EK 2

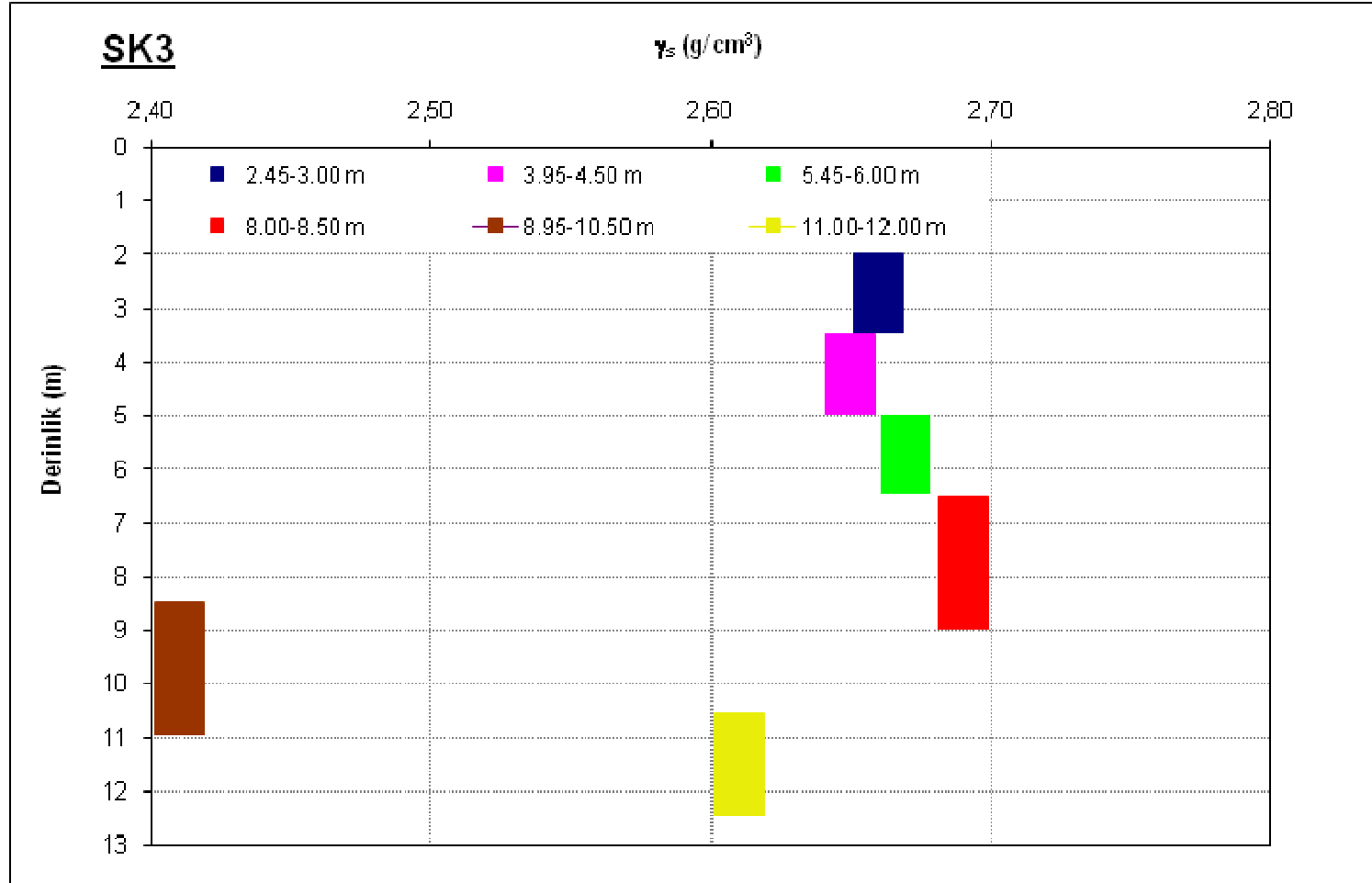
PİKNOMETRE DENEY SONUÇLARI



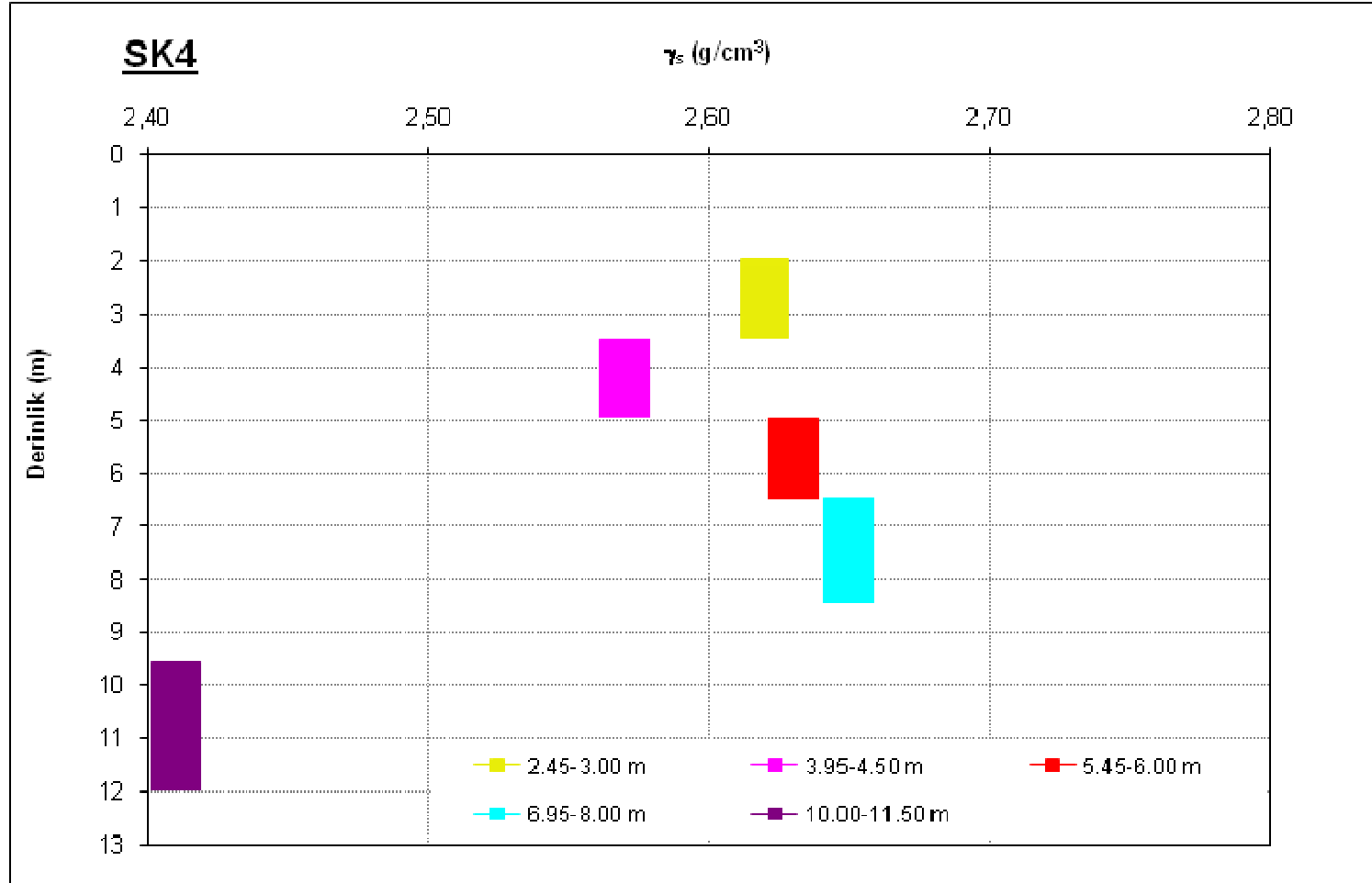
EK 2.a. SK1 Sondajına Ait Piknometre Deney Sonuçları



EK 2.b. SK2 Sondajına Ait Piknometre Deney Sonuçları



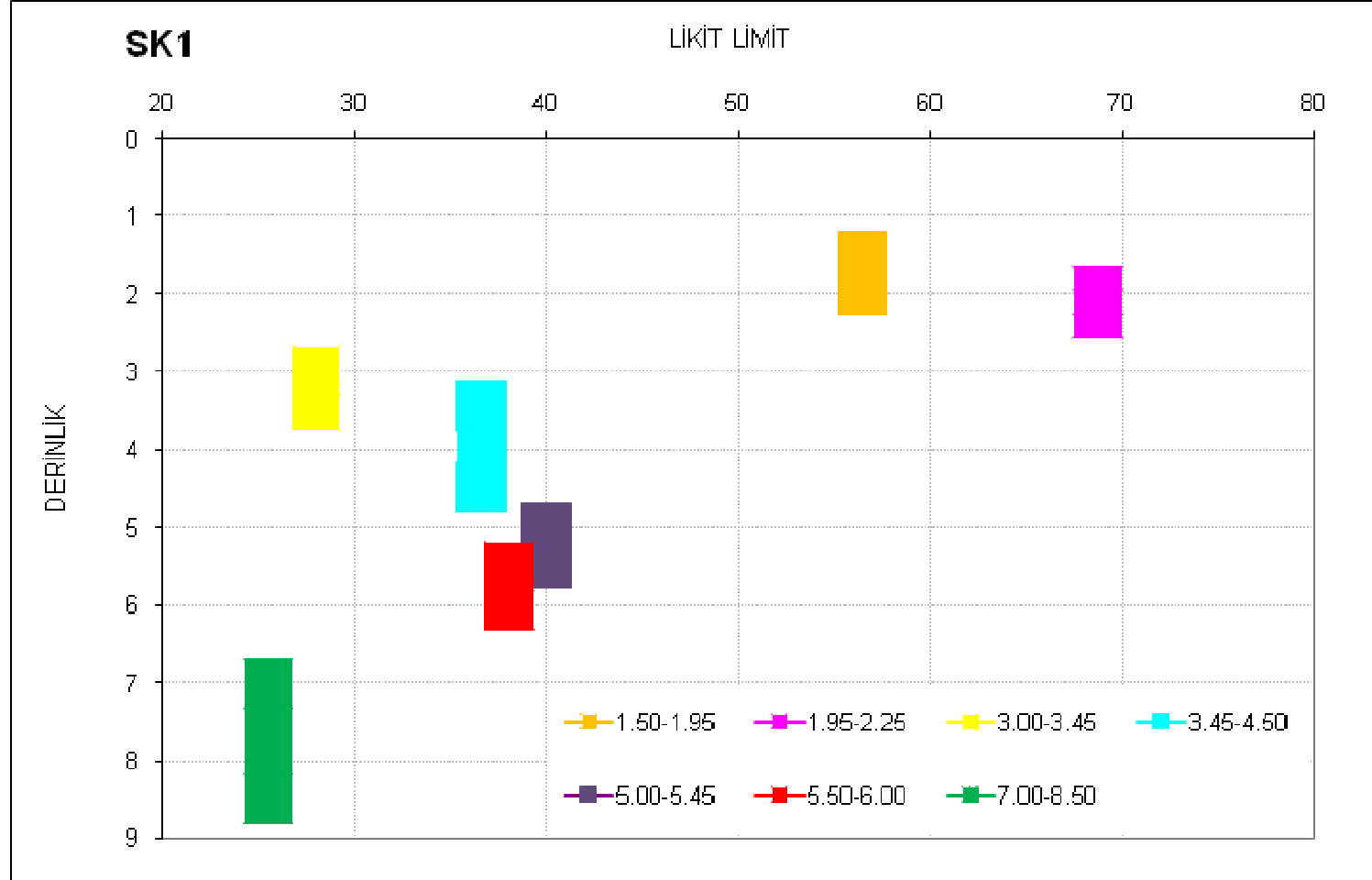
EK 2.c. SK3 Sondajına Ait Piknometre Deney Sonuçları



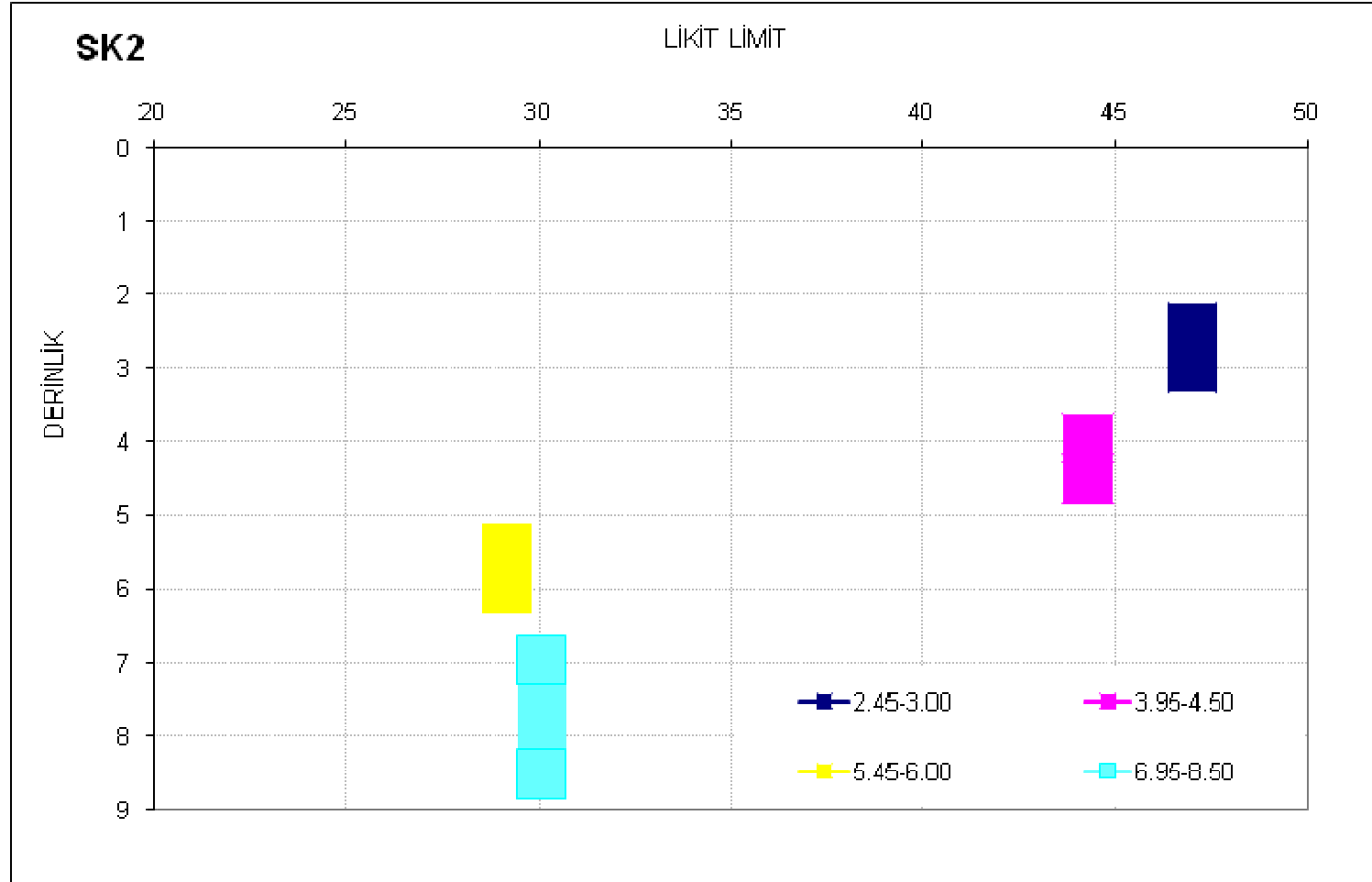
EK 2.d. SK4 Sondajına Ait Piknometre Deney Sonuçları

EK 3

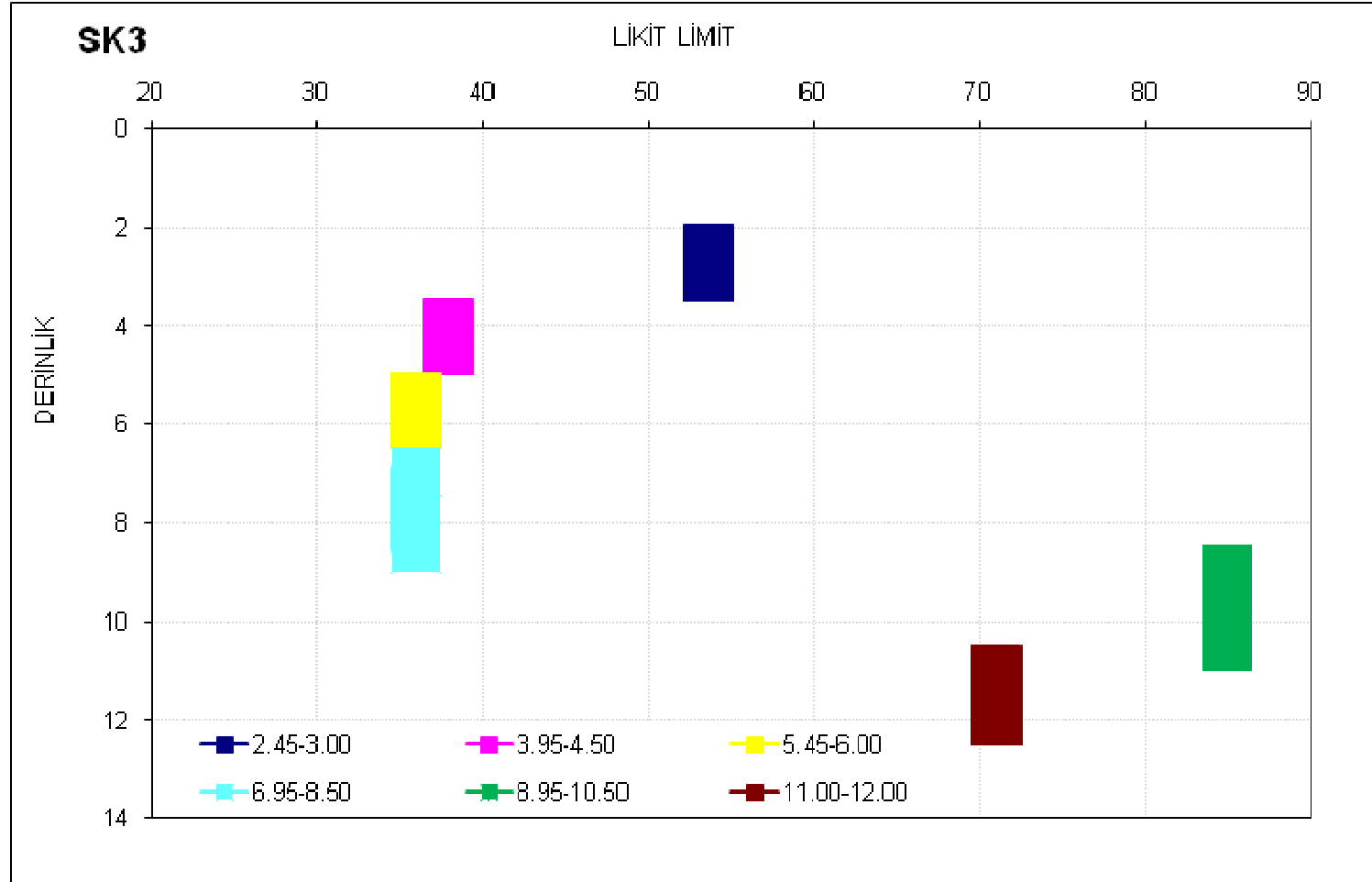
KIVAM LİMİTLERİ DENEY SONUÇLARI



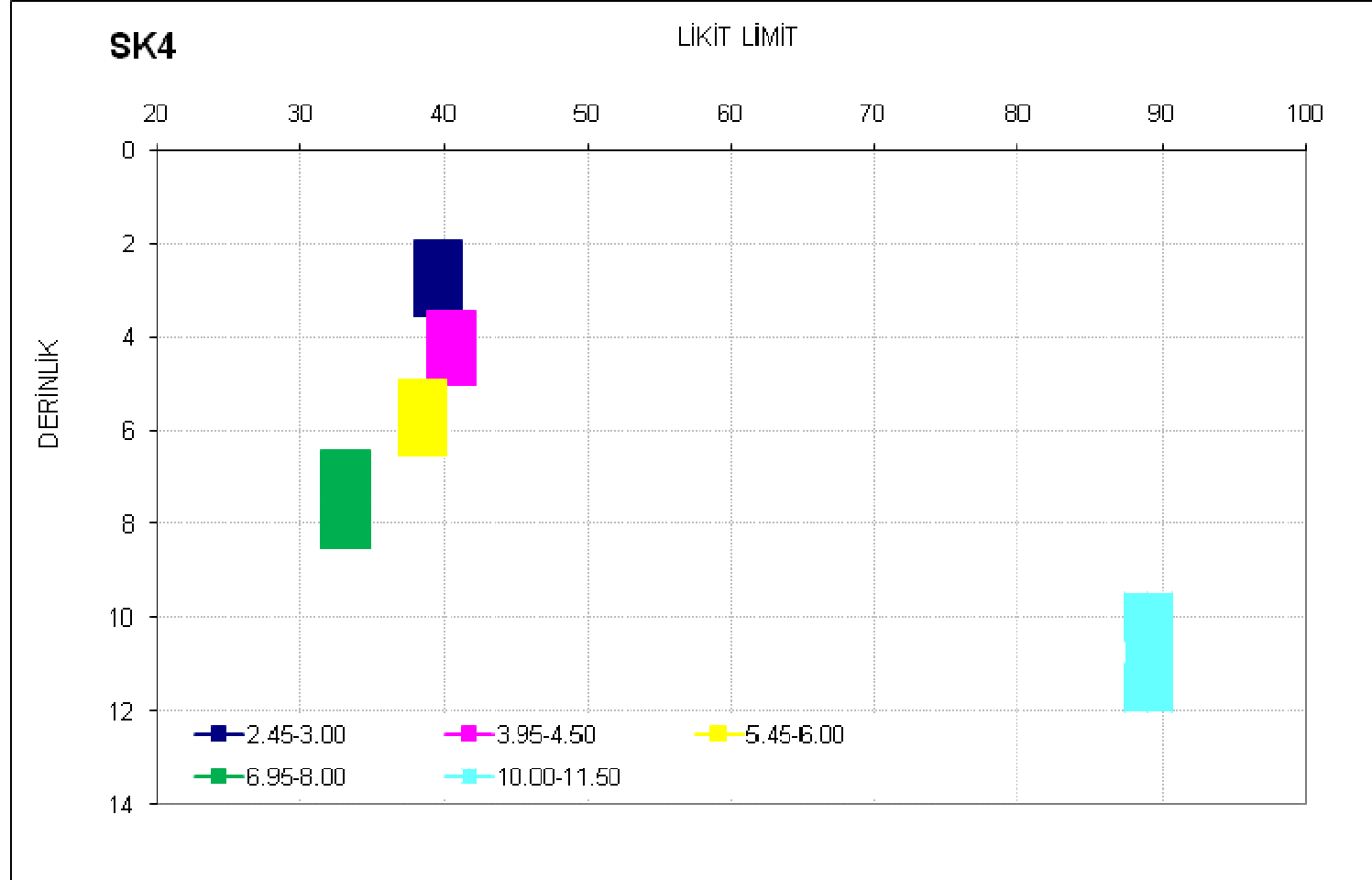
EK 3.a. SK1 Sondajına Ait Likit Limit Deney Sonuçları



EK 3.b. SK2 Sondajına Ait Likit Limit Deney Sonuçları



EK 3.c. SK3 Sondajına Ait Likit Limit Deney Sonuçları



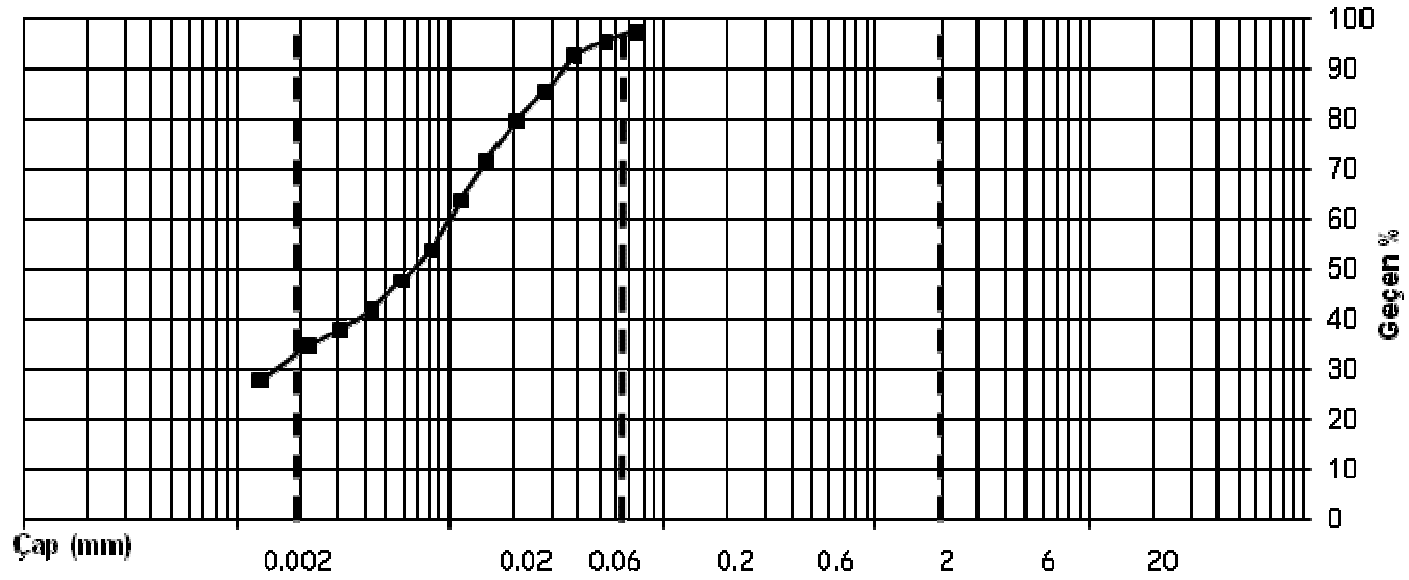
EK 3.d. SK4 Sondajına Ait Likit Limit Deney Sonuçları

EK 4

ELEK ANALİZİ DENEY SONUÇLARI

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE)

Proje : 106M496	Sondaj No	SK - 1	Derinlik	1.50-1.95
Zemin Cinsi : CH	Numune No	SPT-1	Tarih	12.06.2007

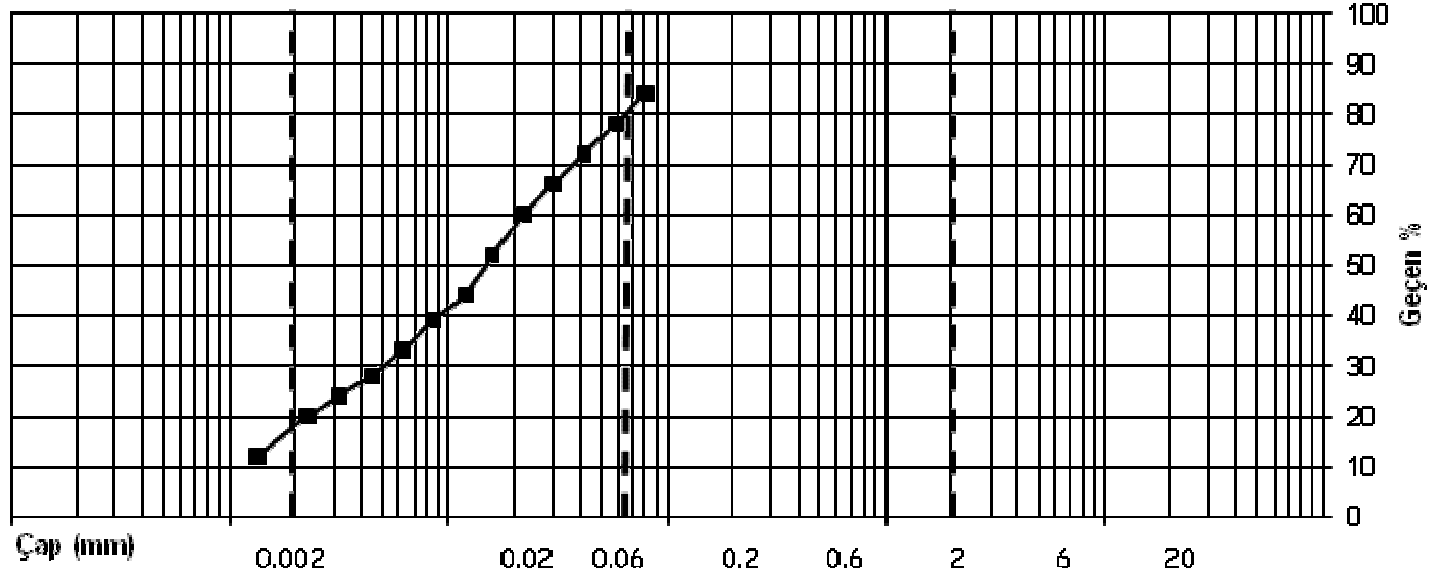


Kl	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.a. SK1 Sondajına Ait Hidrometre Deney Sonuçları

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE ANALİZİ)

Proje : 106M496	Sondaj No	SK - 2	Derinlik	2.45 - 3.00
Zemin Cinsi : CL	Numune No	D2	Tarih	13.06.2007

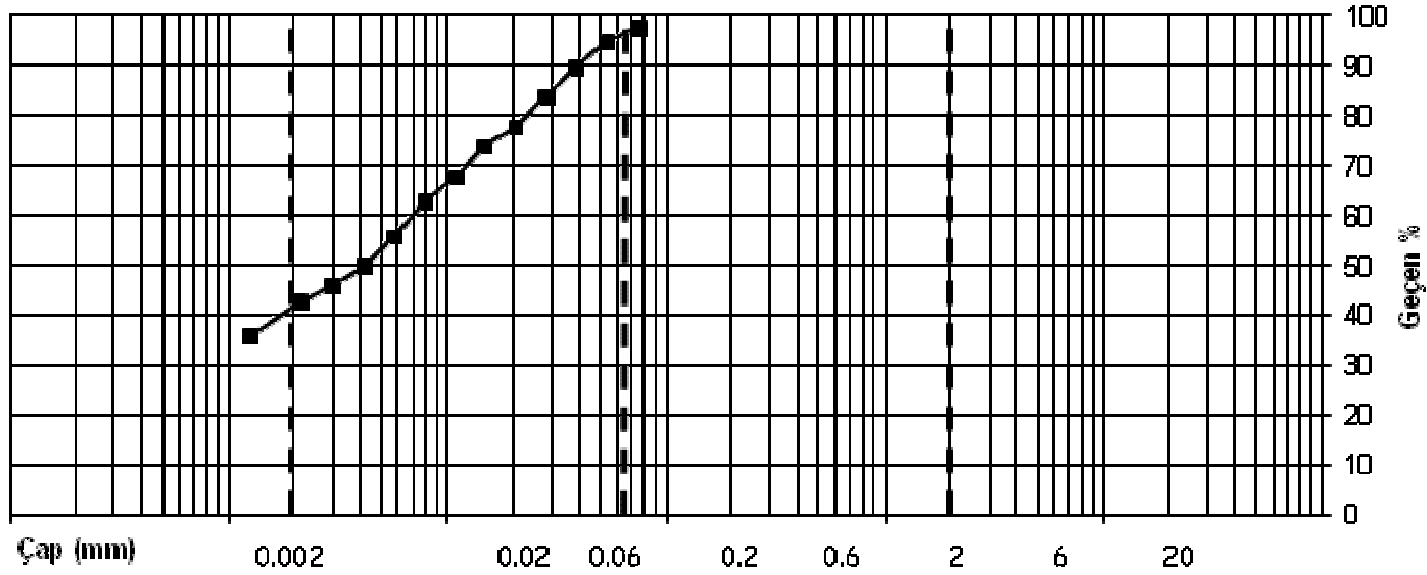


Kil	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.b. SK2 Sondajına Ait Hidrometre Deney Sonuçları

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE ANALİZİ)

Proje : 106M496	Sondaj No	SK - 3	Derinlik	2.45 - 3.00
Zemin Cinsi : CH	Numune No	D2	Tarih	14.06.2007

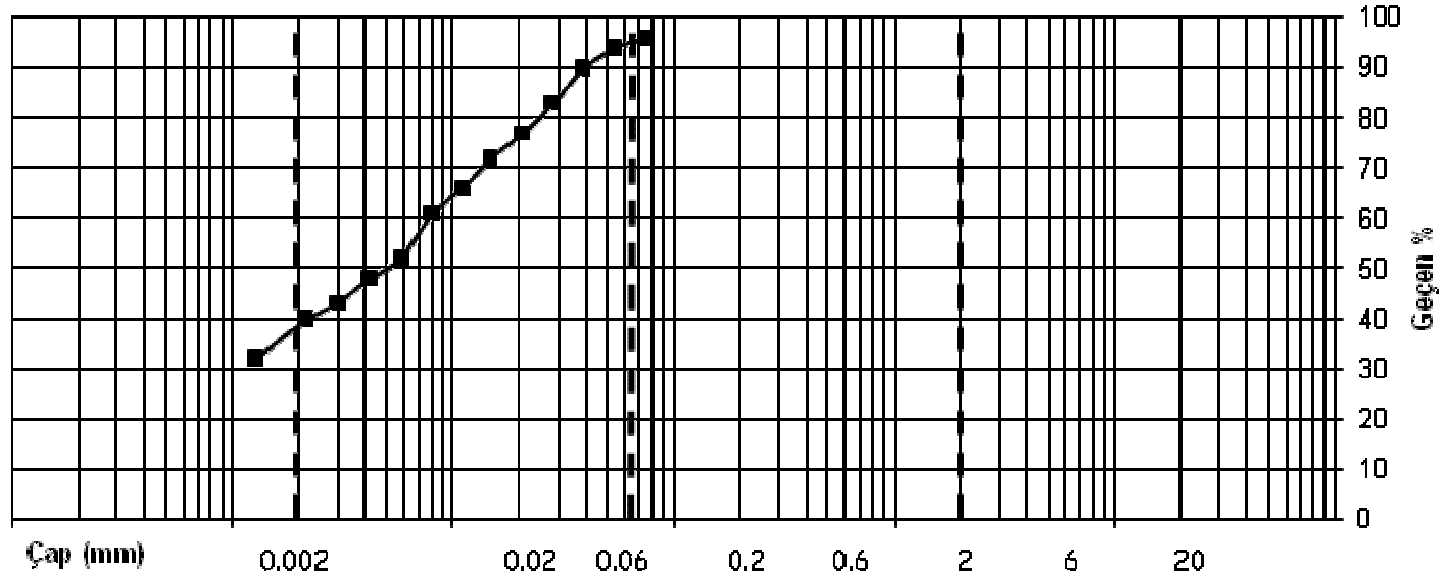


Kl	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.c. SK3 Sondajına Ait Hidrometre Deney Sonuçları

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE ANALİZİ)

Proje : 106M496	Sondaj No	SK - 4	Derinlik	2.45 - 3.00
Zemin Cinsi : CL	Numune No	D2	Tarih	15.06.2007

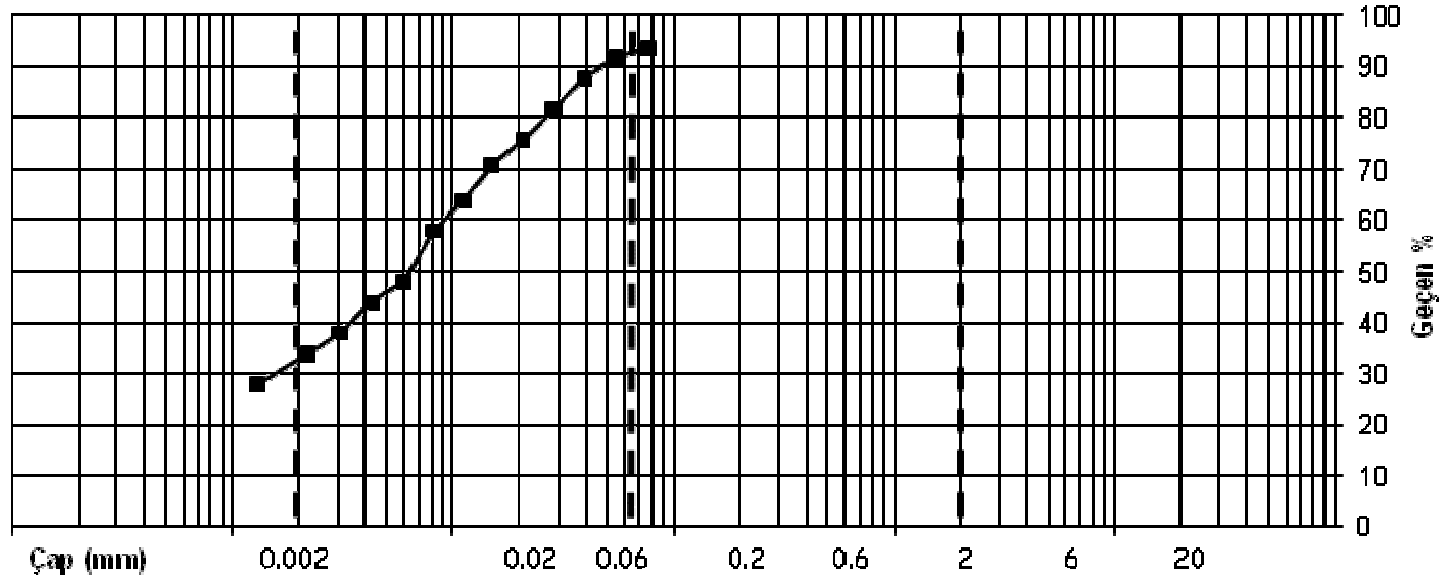


Kil	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.d. SK4 Sondajına Ait Hidrometre Deney Sonuçları

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE ANALİZİ)

Proje : 106M496	Çukur No	MÇ-1	Derinlik	1.80 - 2.20
Zemin Cinsi : CH	Numune No	1	Tarih	20.03.2007

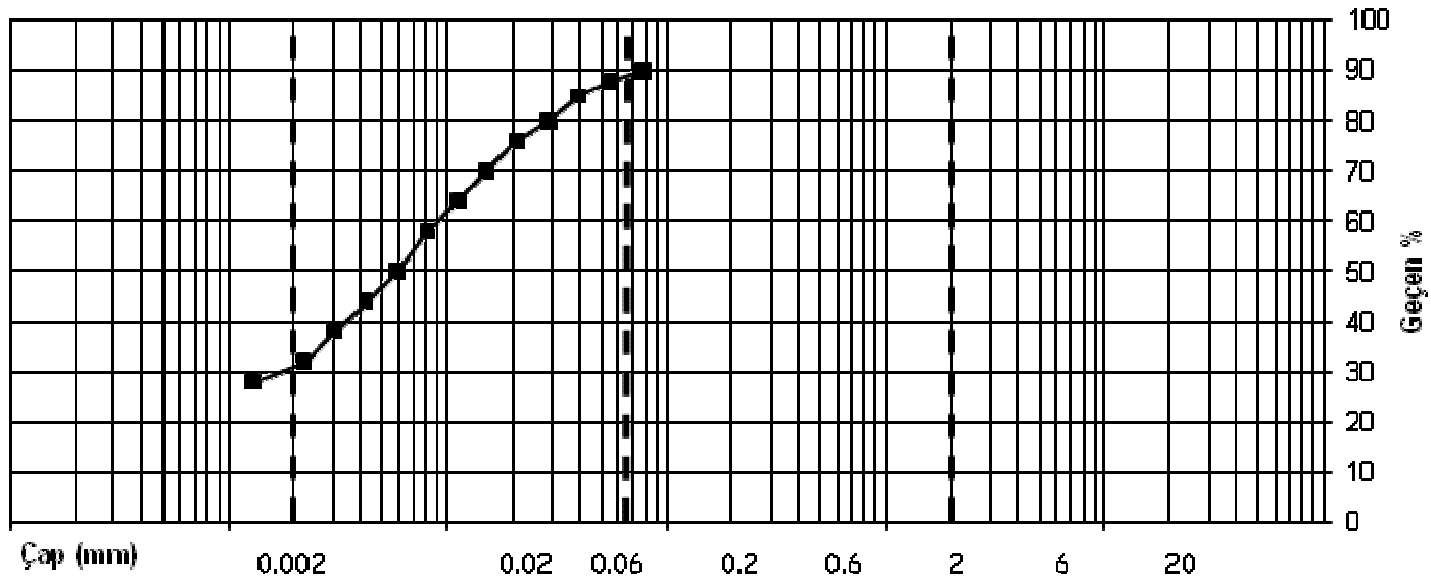


Kl	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.e. MÇ1 Muayene Çukuruna Ait Hidrometre Deney Sonuçları

GRANÜLOMETRİ EĞRİSİ (HİDROMETRE ANALİZİ)

Proje : 106M496	Çukur No	MÇ - 2	Derinlik	1.80-2.20
Zemin Cinsi : CH	Numune No	1	Tarih	21.03.2007



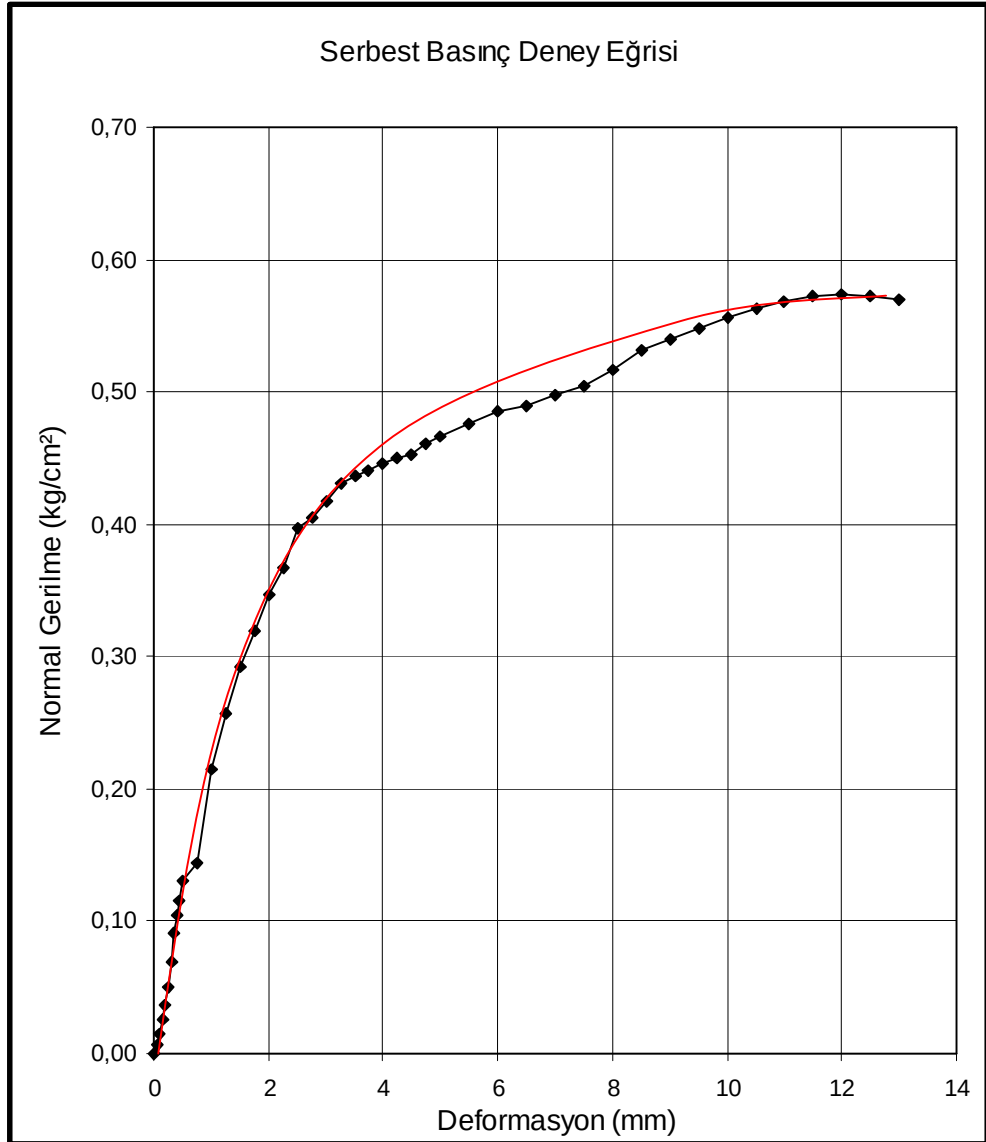
Kil	Silt			Kum			Çakıl		
	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba	İnce	Orta	Kaba

EK 4.f. MÇ2 Muayene Çukuruna Ait Hidrometre Deney Sonuçları

EK 5

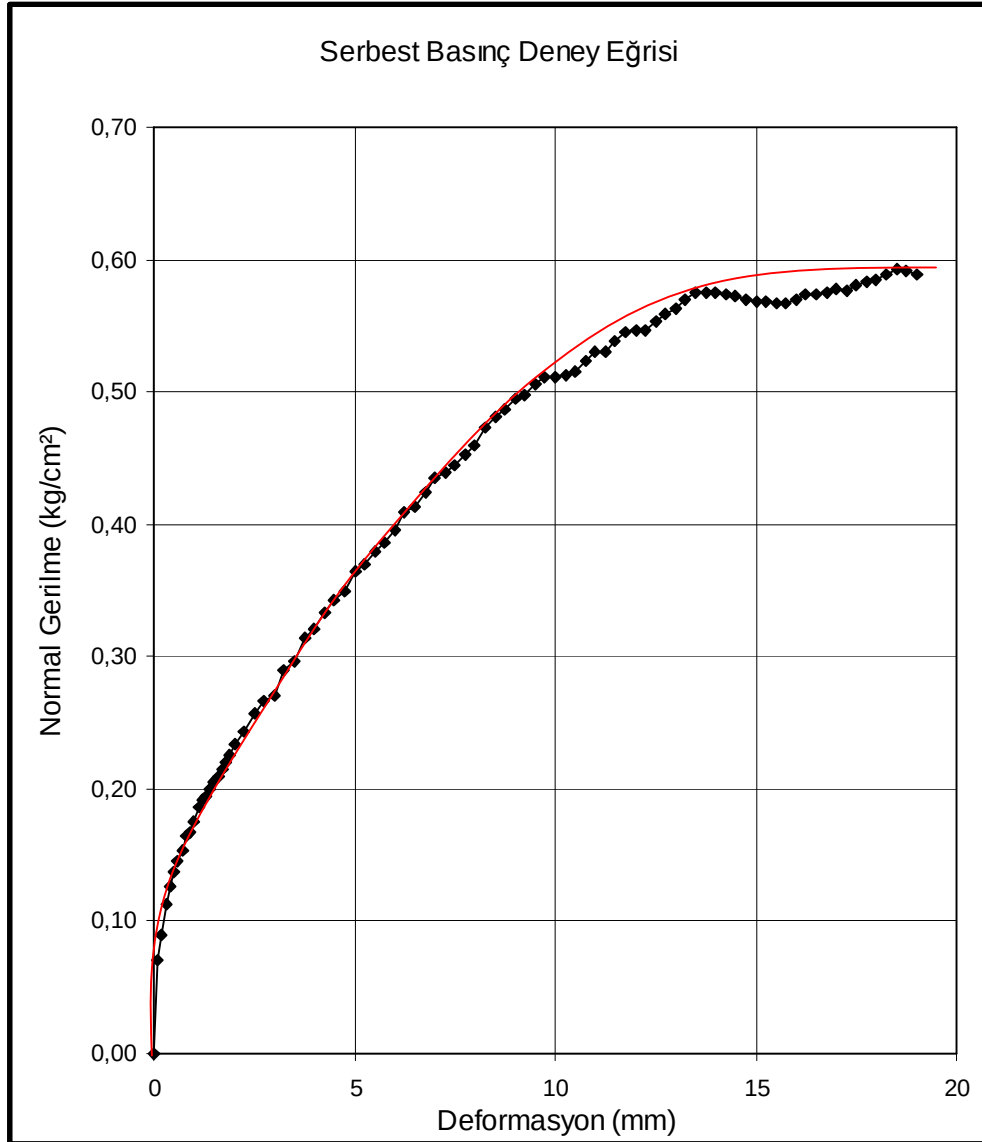
SERBEST BASINÇ DENEY SONUÇLARI

Proje :	106M496	Numune No:	SK1-1
Tarih:	04.06.2007	Derinlik:	2.50-3.00 m
H0 (mm):	70	W (%):	21
D0 (mm):	35	$g_n (g/cm^3)$	2.25
$q_u (kg/cm^2)$:	0.57	$c_u (kg/cm^2)$:	0.29



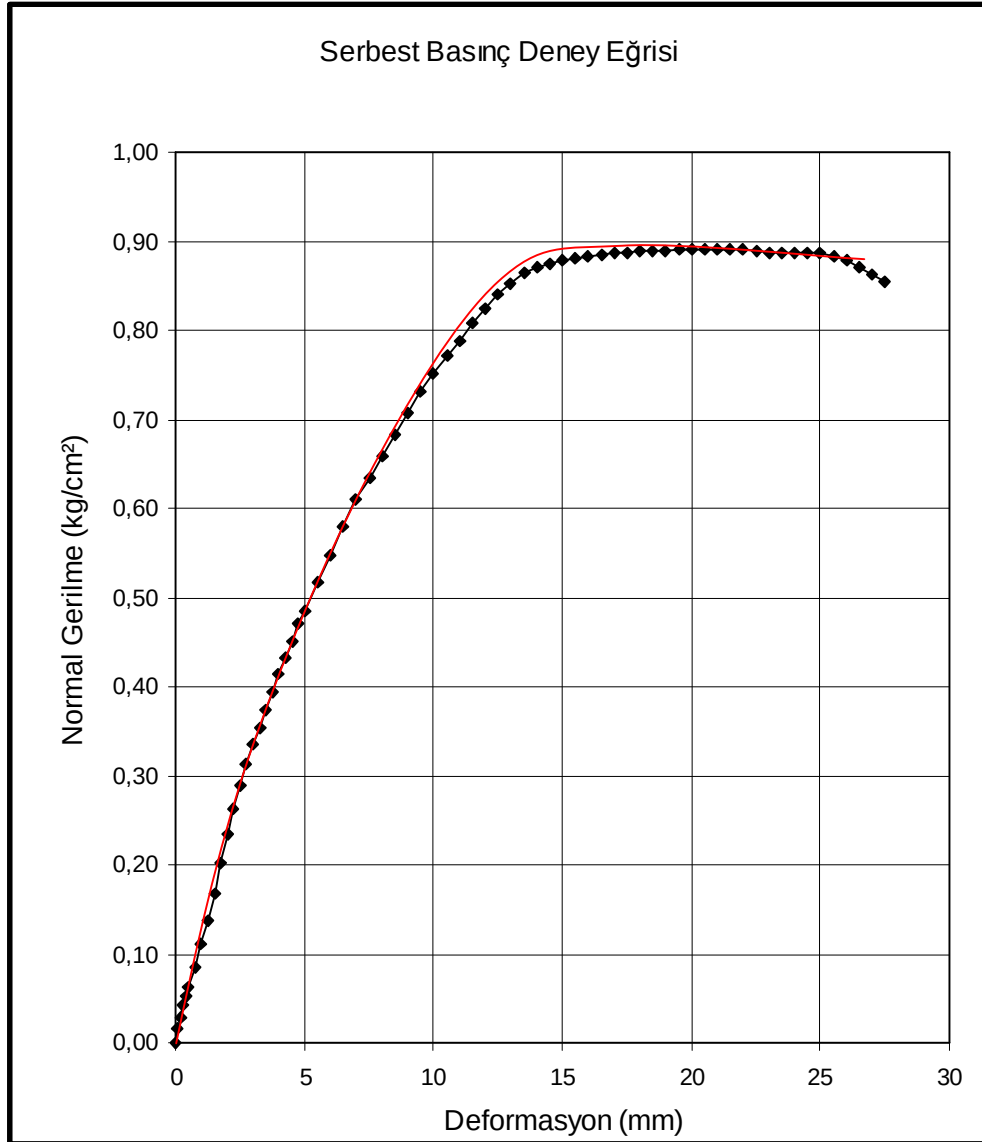
EK 5.a.1. SK1'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK1-2
Tarih:	04.06.2007	Derinlik:	2.50-3.00 m
H0 (mm):	76	W (%):	22
D0 (mm):	37	$g_n (g/cm^3)$	2.03
$q_u (kg/cm^2)$:	0.59	$c_u (kg/cm^2)$:	0.30



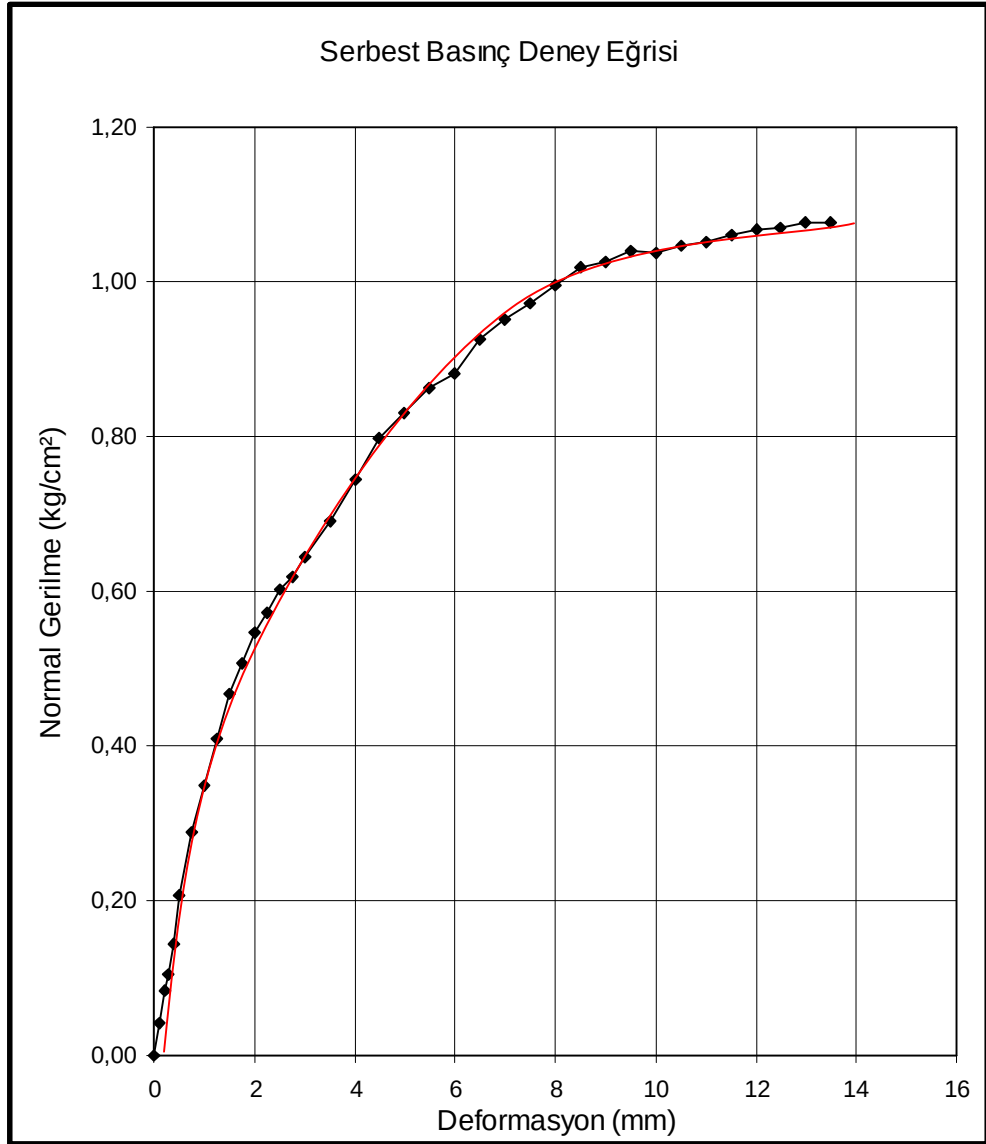
EK 5.a.2. SK1'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK2-1
Tarih:	05.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
H0 (mm):	100	W (%):	20
D0 (mm):	50	$g_n (g/cm^3)$	2.08
$q_u (kg/cm^2)$:	0.89	$c_u (kg/cm^2)$:	0.45



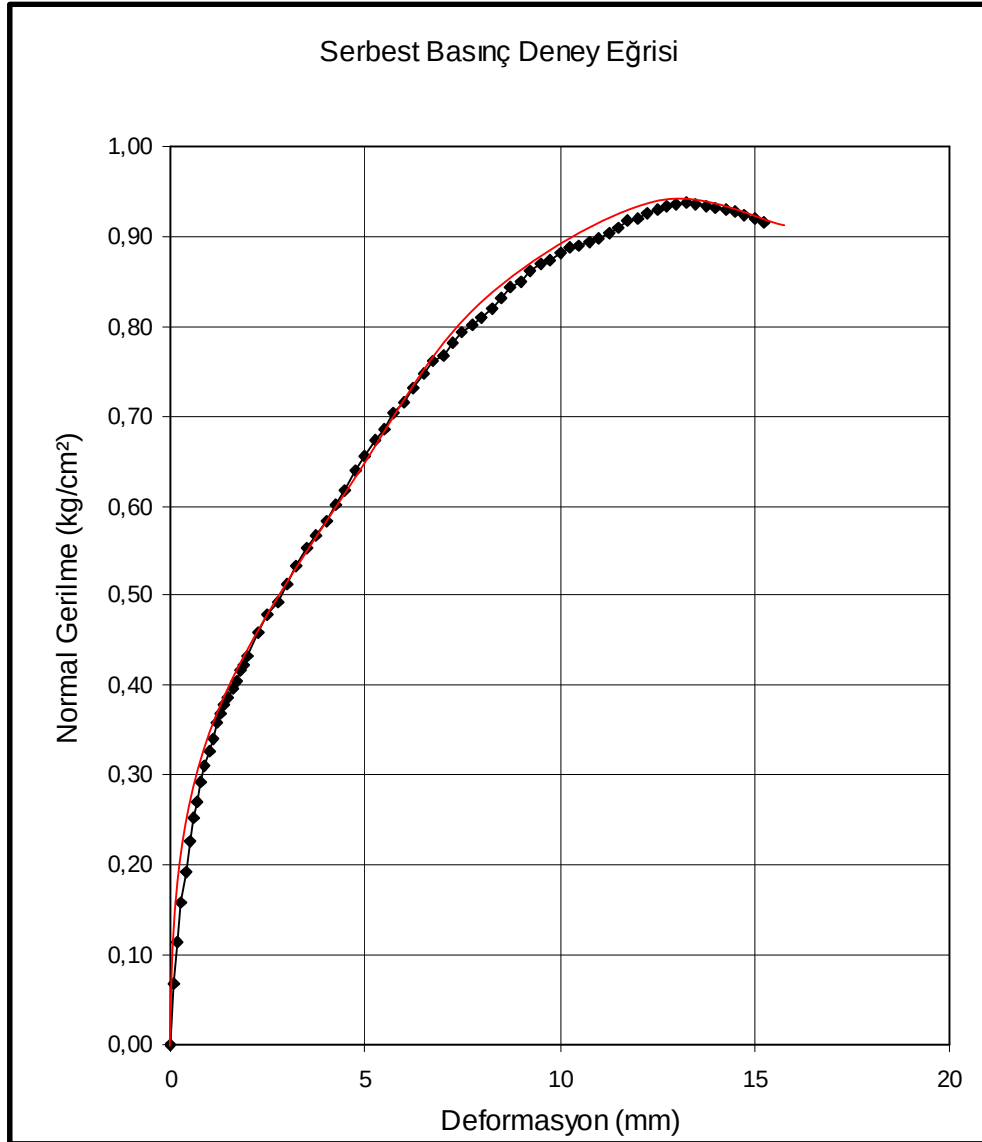
EK 5.b.1. SK2'ye Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK2-2
Tarih:	05.06.2007	Derinlik:	4.50-5.00 m
H0 (mm):	70	W (%):	24
D0 (mm):	35	g_n (g/cm ³)	2.20
q_u (kg/cm ²):	1.08	c_u (kg/cm ²):	0.54



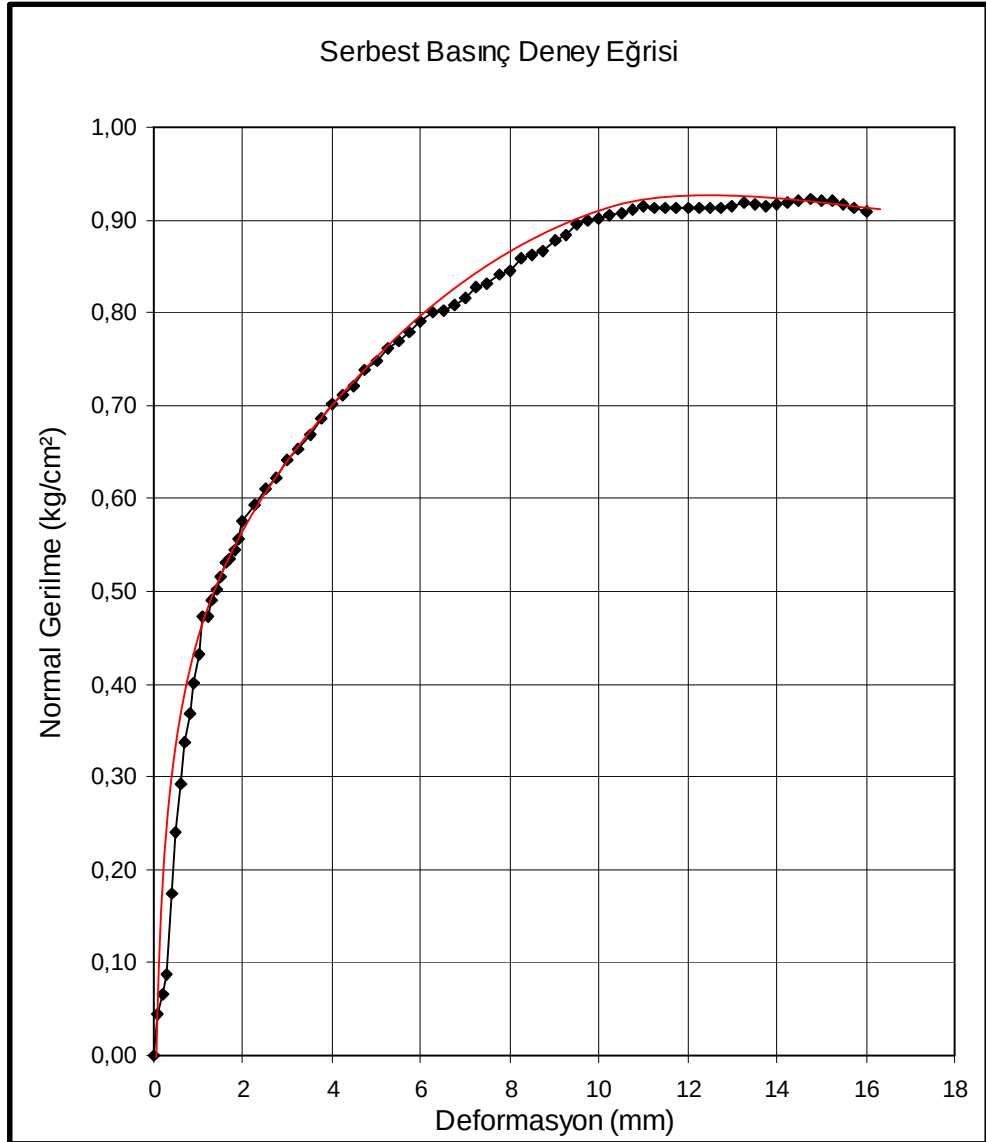
EK 5.b.2. SK2'ye Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK3-1
Tarih:	07.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
H0 (mm):	74	W (%):	22
D0 (mm):	37	$g_n (g/cm^3)$	1.98
$q_u (kg/cm^2)$:	0.94	$c_u (kg/cm^2)$:	0.47



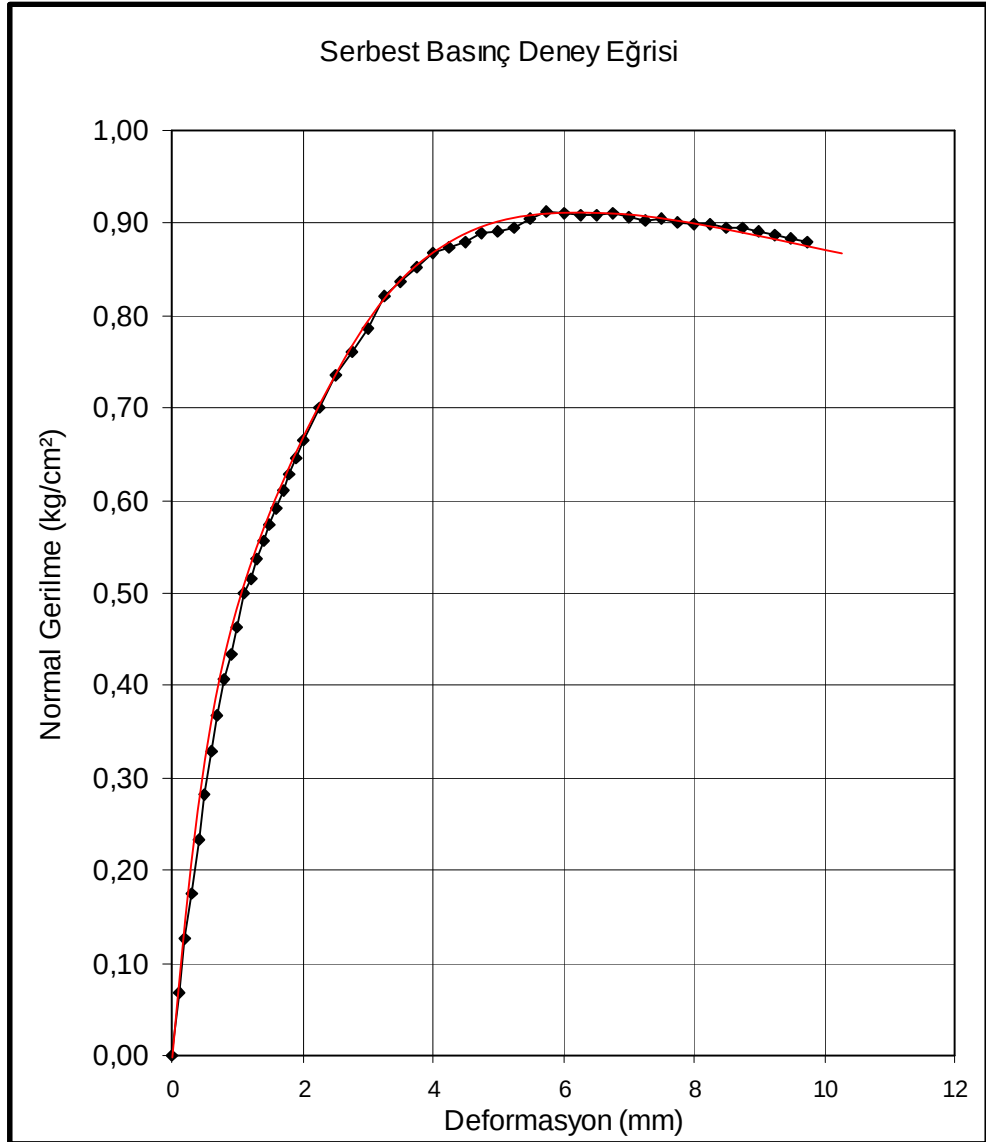
EK 5.c.1. SK3'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK3-2
Tarih:	07.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
H0 (mm):	75	W (%):	20
D0 (mm):	37	$g_n (g/cm^3)$	2.02
$q_u (kg/cm^2)$:	0.92	$c_u (kg/cm^2)$:	0.46



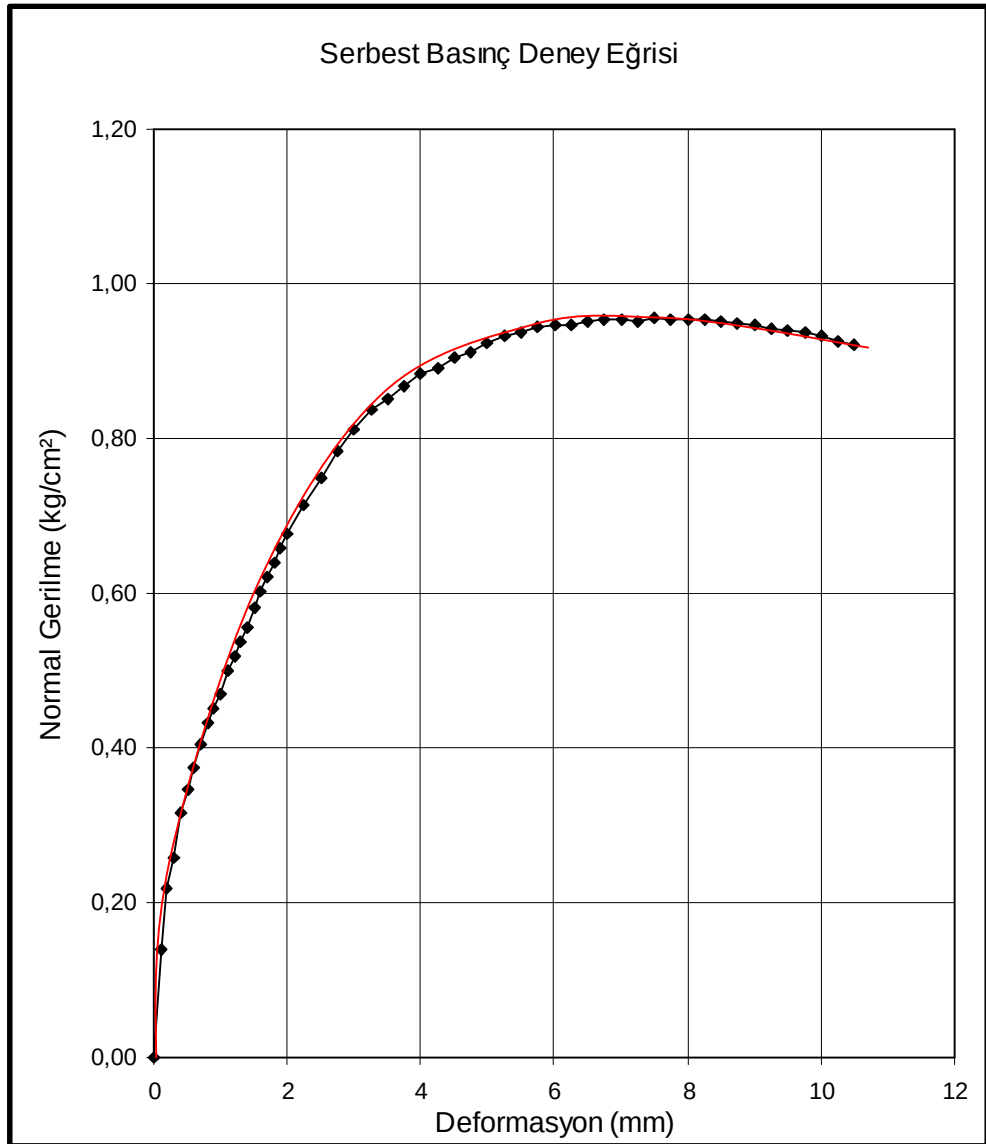
EK 5.c.2. SK3'e 'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK4-1
Tarih:	07.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
H0 (mm):	71	W (%):	21
D0 (mm):	36	$g_n (g/cm^3)$	1.90
$q_u (kg/cm^2)$:	0.91	$c_u (kg/cm^2)$:	0.46



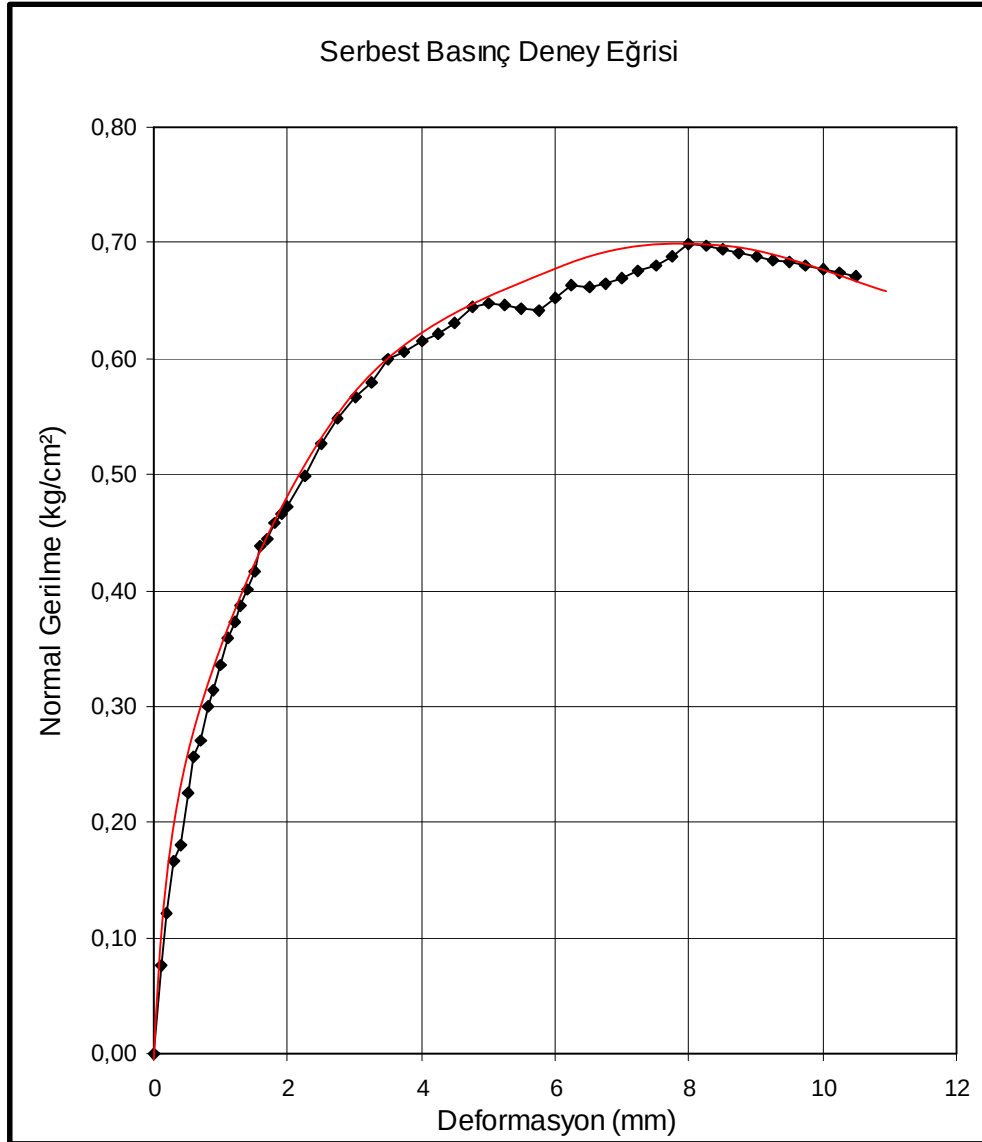
EK 5.d.1. SK4'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	SK4-2
Tarih:	07.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
H0 (mm):	74	W (%):	21
D0 (mm):	36	$g_n (g/cm^3)$	2.00
$q_u (kg/cm^2)$:	0.96	$c_u (kg/cm^2)$:	0.48



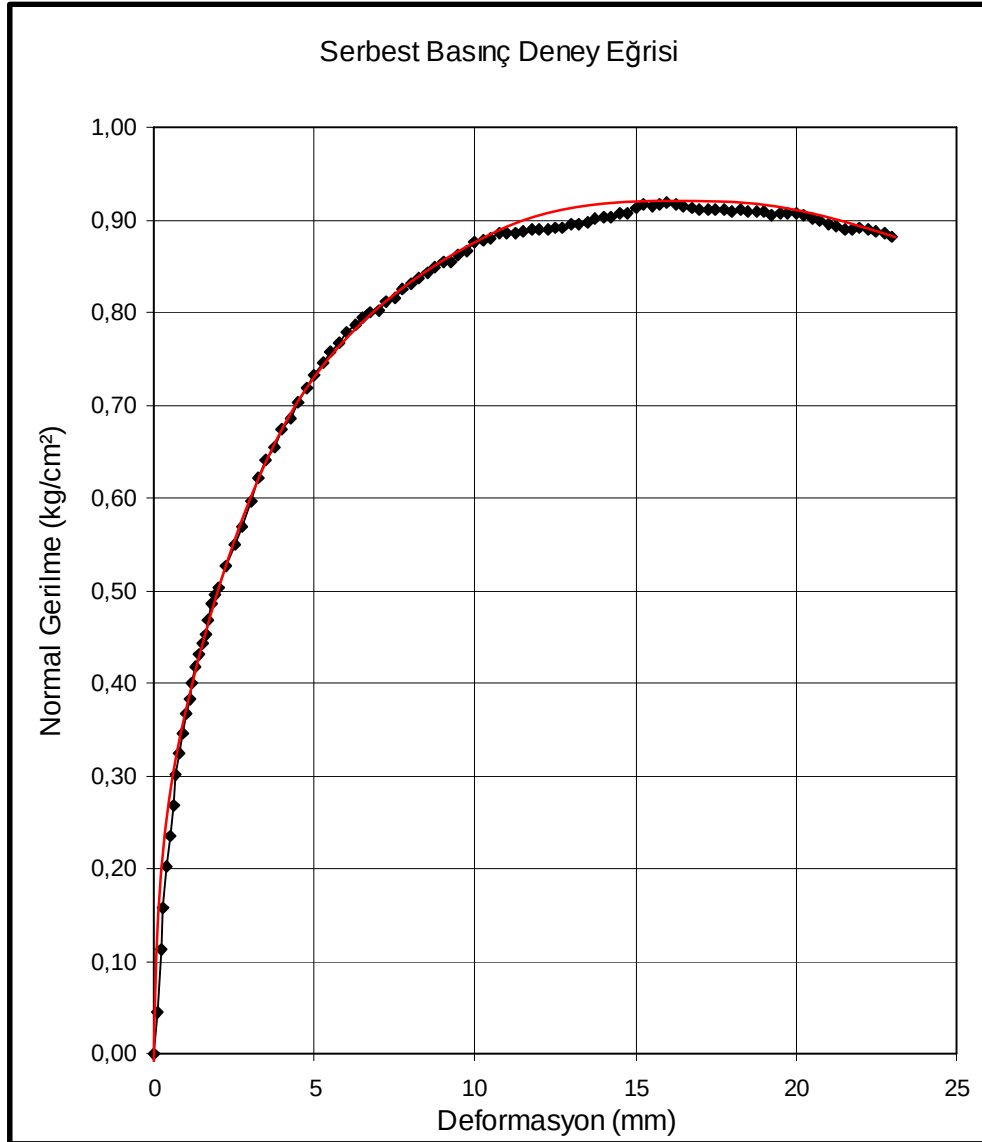
EK 5.d.2. SK4'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	MÇ1-1
Tarih:	06.03.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
H0 (mm):	71	W (%):	20
D0 (mm):	36	g_n (g/cm ³)	2.24
q_u (kg/cm ²):	0.70	c_u (kg/cm ²):	0.35



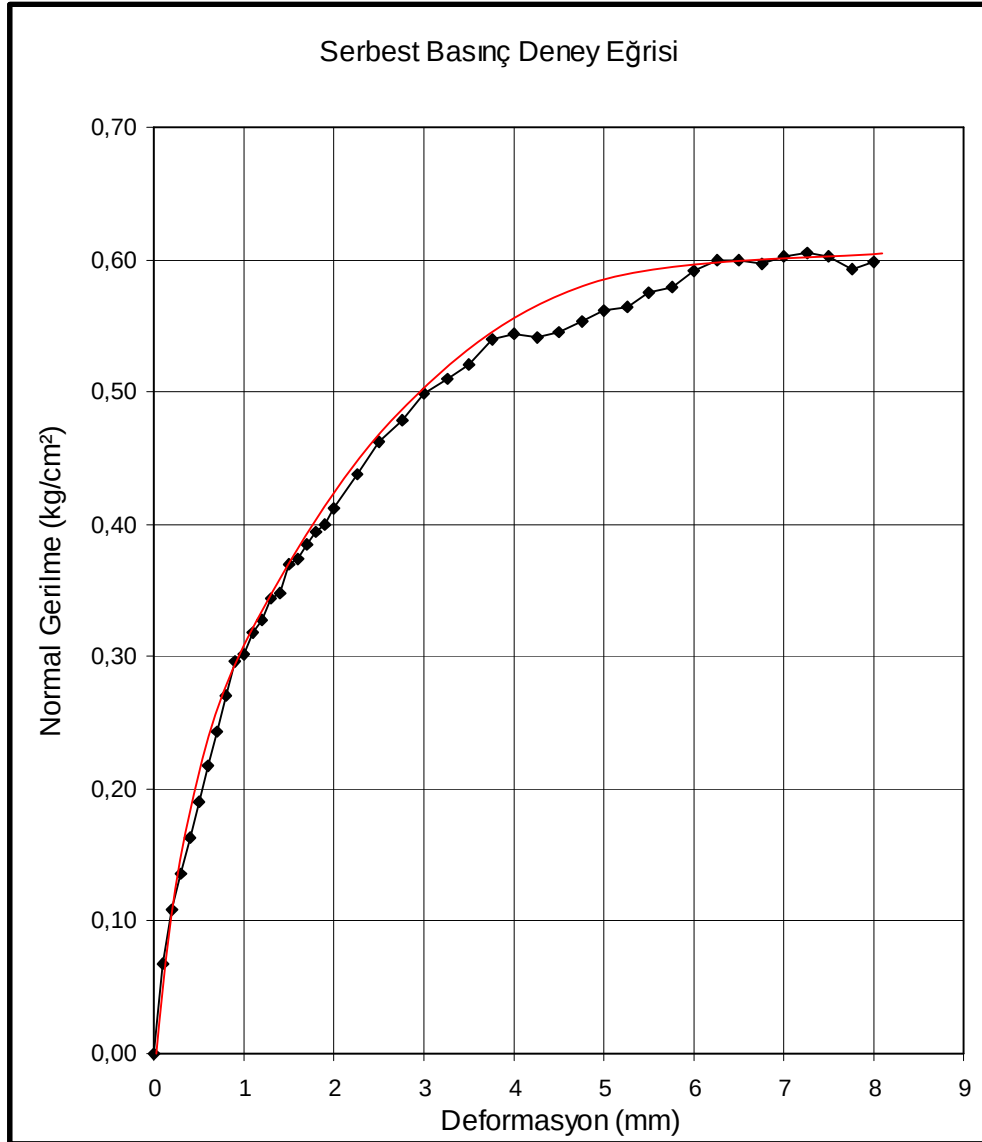
EK 5.e.1. MÇ1'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	MÇ1-2
Tarih:	06.03.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
H0 (mm):	75	W (%):	21
D0 (mm):	37	g_n (g/cm ³)	1.96
q_u (kg/cm ²):	0.92	c_u (kg/cm ²):	0.46



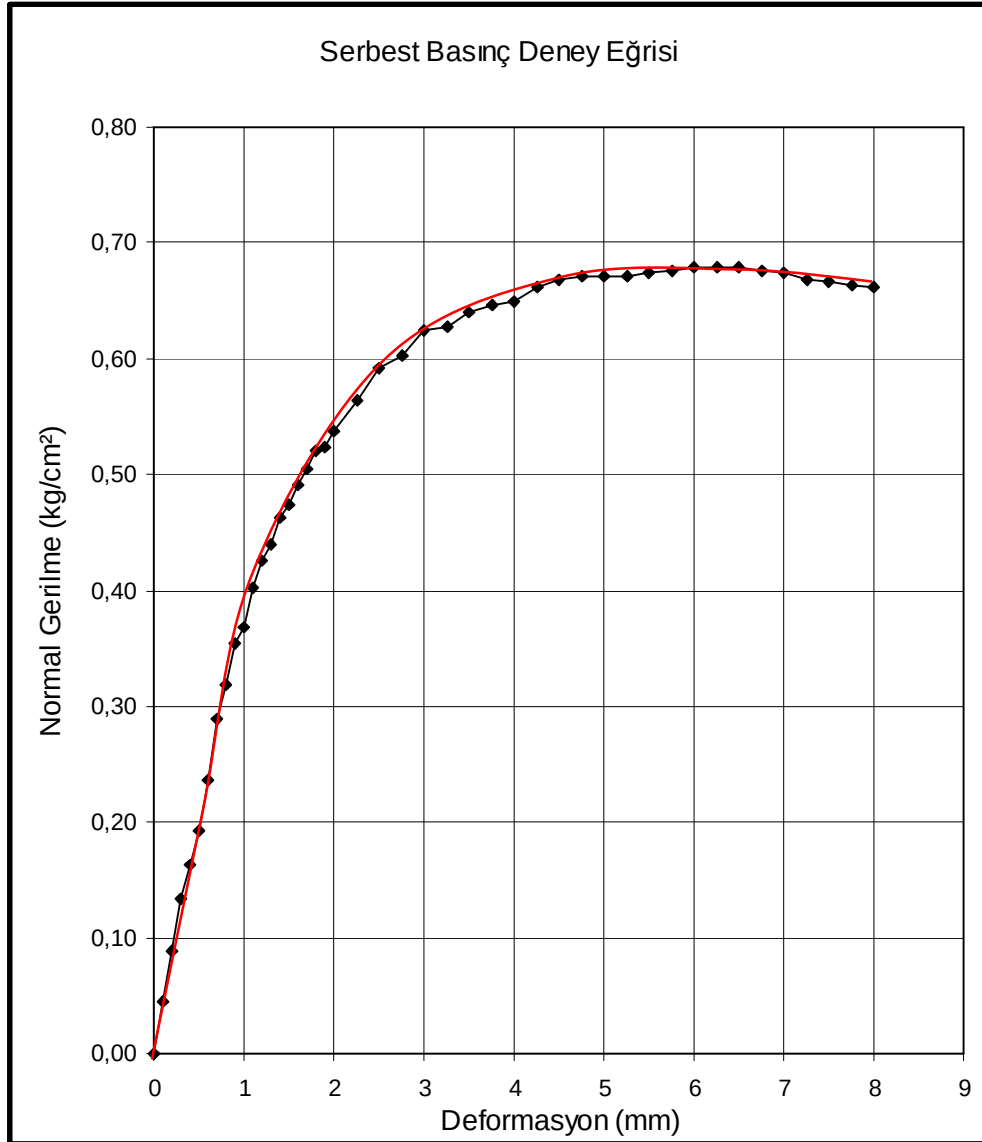
EK 5.e.2. MÇ1'e Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	MÇ2-1
Tarih:	06.03.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
H0 (mm):	75	W (%):	22
D0 (mm):	37	g_n (g/cm ³)	1.87
q_u (kg/cm ²):	0.60	c_u (kg/cm ²):	0.30



EK 5.f.1. MÇ2'ye Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

Proje :	106M496	Numune No:	MÇ2-2
Tarih:	06.03.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
H0 (mm):	76	W (%):	22
D0 (mm):	36	$g_n (g/cm^3)$	2.01
$q_u (kg/cm^2)$:	0.68	$c_u (kg/cm^2)$:	0.34



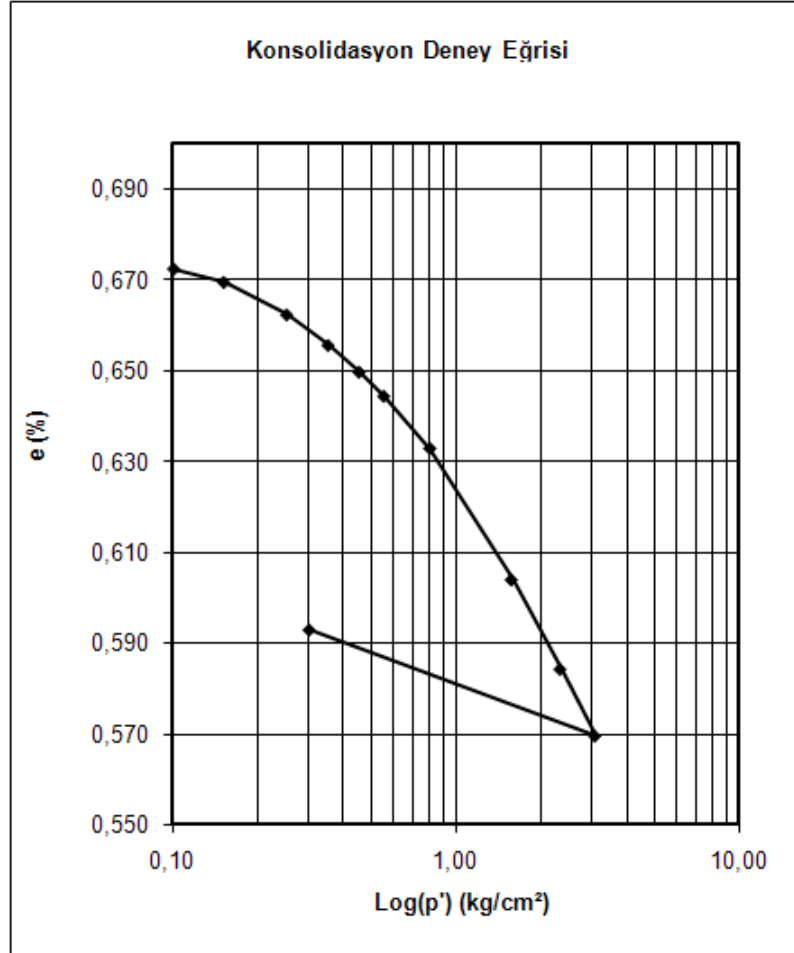
EK 5.f.2. MÇ2'ye Ait Serbest Basınç Deney Sonuçları

EK 6

KONSOLİDASYON DENEY SONUÇLARI

Proje:	106M496	Numune No:	SK-1
Tarih:	07.06.2007	Derinlik:	2.50-3.00 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.67 kg/cm ²	

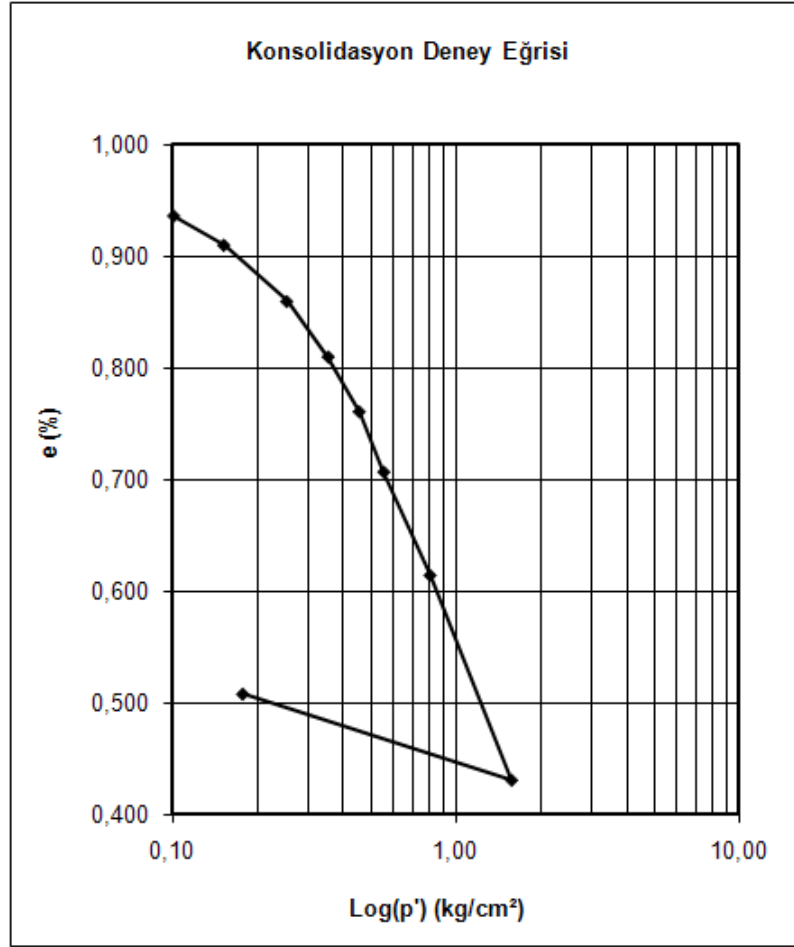
P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	0,682	0,00	0,00
0,10	0,10	11,50	11,50	19,89	0,010	0,672	0,095	0,057
0,15	0,05	15,00	3,50	19,85	0,003	0,669	0,058	0,035
0,25	0,10	23,50	8,50	19,77	0,007	0,662	0,070	0,042
0,36	0,10	31,50	8,00	19,69	0,007	0,655	0,066	0,040
0,46	0,10	38,50	7,00	19,62	0,006	0,650	0,058	0,035
0,56	0,10	44,80	6,30	19,55	0,005	0,644	0,052	0,032
0,81	0,25	58,50	13,70	19,42	0,012	0,633	0,045	0,028
1,58	0,76	92,90	34,40	19,07	0,029	0,604	0,038	0,024
2,34	0,76	116,30	23,40	18,84	0,020	0,584	0,026	0,016
3,11	0,76	133,80	17,50	18,66	0,015	0,569	0,019	0,012
0,31	-2,80	106,00	-27,80	18,94	-0,023	0,593	0,008	0,005



EK 6.a. SK1 Sondajına ait Konsolidasyon Deney Sonuçları

Proje:	106M496	Numune No:	SK-2
Tarih:	11.06.2007	Derinlik:	3.00-3.50 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.45 kg/cm ²	

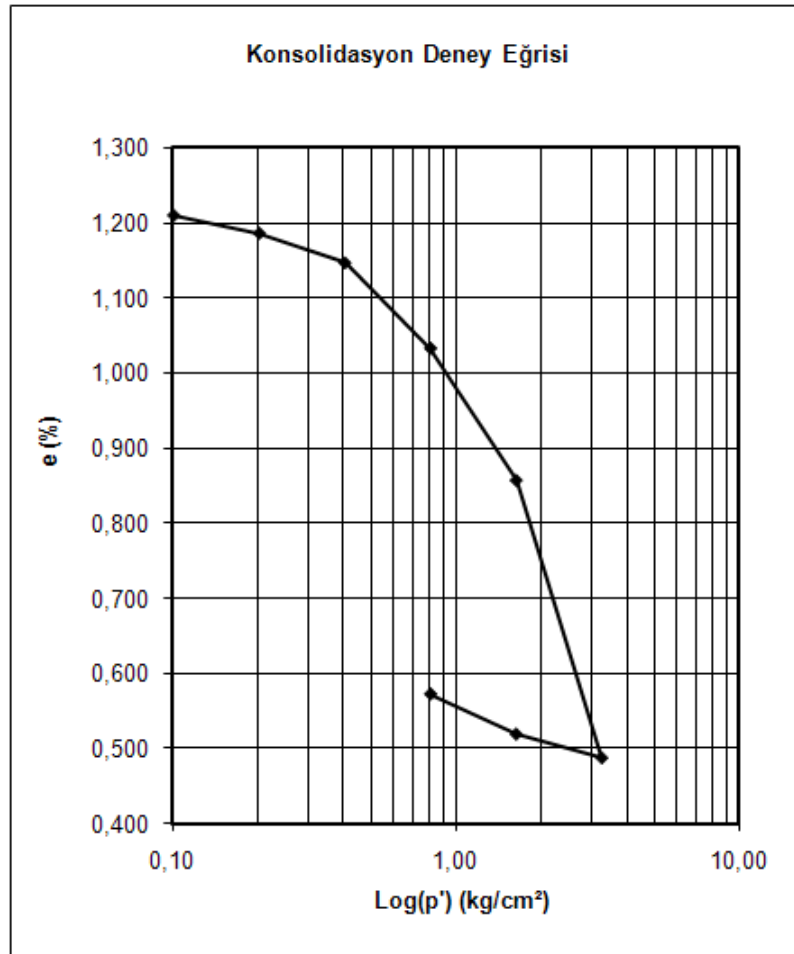
P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	0,966	0,00	0,00
0,10	0,10	30,50	30,50	19,70	0,030	0,936	0,294	0,152
0,15	0,05	57,20	26,70	19,43	0,026	0,910	0,515	0,270
0,25	0,10	108,50	51,30	18,92	0,050	0,860	0,495	0,266
0,36	0,10	159,00	50,50	18,41	0,050	0,810	0,487	0,269
0,46	0,10	209,00	50,00	17,91	0,049	0,761	0,483	0,274
0,56	0,10	264,00	55,00	17,36	0,054	0,707	0,531	0,311
0,81	0,25	358,20	94,20	16,42	0,093	0,614	0,364	0,225
1,58	0,76	545,00	186,80	14,55	0,184	0,430	0,240	0,168
0,18	-1,40	466,50	-78,50	15,34	-0,077	0,508	0,055	0,037



EK 6.b. SK2 Sondajına ait Konsolidasyon Deney Sonuçları

Proje:	106M496	Numune No:	SK-3
Tarih:	11.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.95 kg/cm ²	

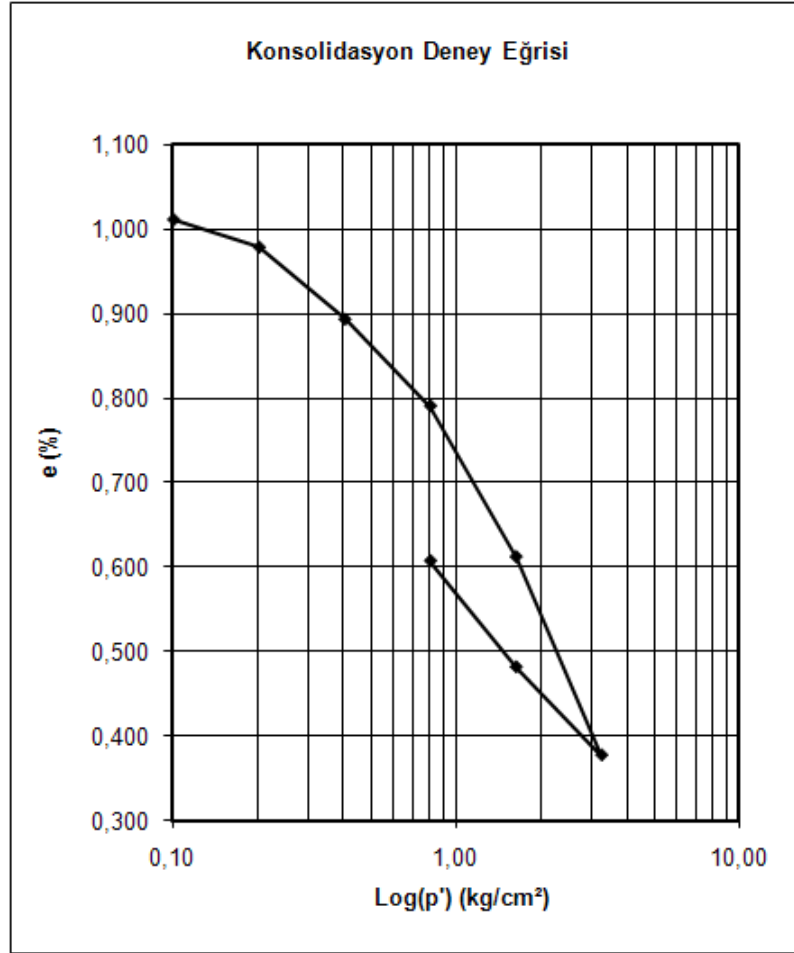
P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	1,224	0,00	0,00
0,10	0,10	13,20	13,20	19,87	0,015	1,209	0,144	0,065
0,20	0,10	34,60	21,40	19,65	0,024	1,185	0,234	0,107
0,41	0,20	70,00	35,40	19,30	0,039	1,146	0,193	0,090
0,81	0,41	172,10	102,10	18,28	0,114	1,032	0,279	0,137
1,63	0,81	330,00	157,90	16,70	0,176	0,857	0,215	0,116
3,26	1,63	662,00	332,00	13,38	0,369	0,488	0,226	0,152
1,63	-1,63	633,50	-28,50	13,67	-0,032	0,519	0,019	0,013
0,81	-0,81	585,50	-48,00	14,15	-0,053	0,573	0,065	0,042
0,00	-0,81	0,00	-585,50	20,00	-0,651	1,224	0,799	0,359



EK 6.c. SK3 Sondajına ait Konsolidasyon Deney Sonuçları

Proje:	106M496	Numune No:	SK-4
Tarih:	18.06.2007	Derinlik:	1.50-2.00 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.80 kg/cm ²	

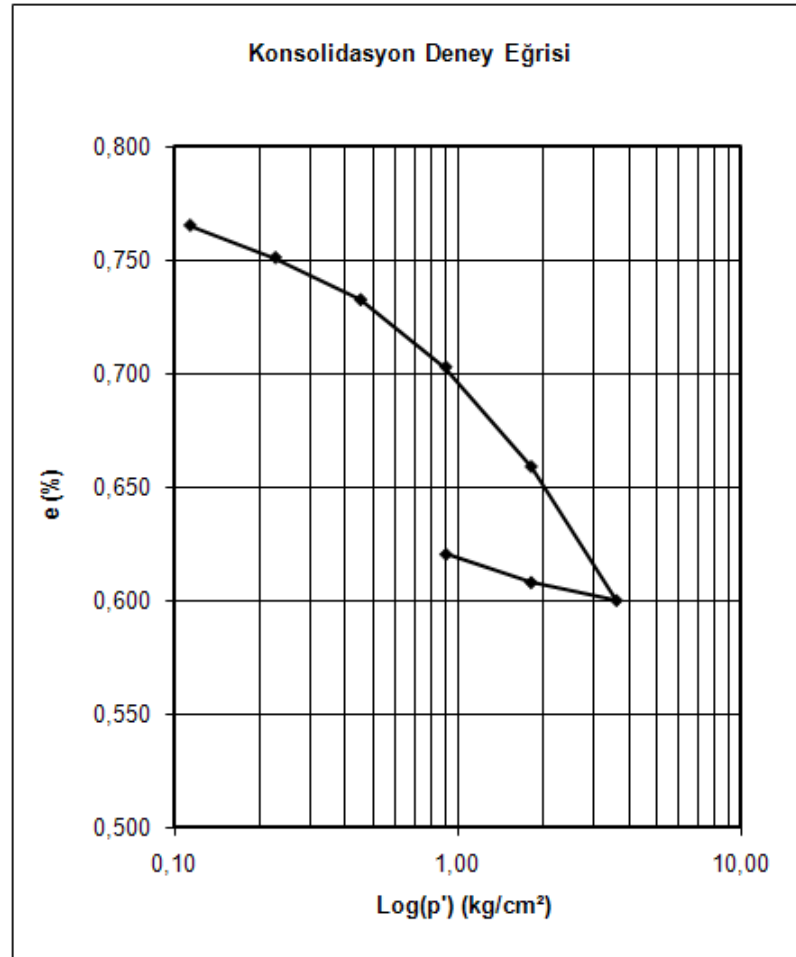
P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	1,046	0,00	0,00
0,10	0,10	34,50	34,50	19,66	0,035	1,011	0,347	0,172
0,20	0,10	66,40	31,90	19,34	0,033	0,978	0,320	0,162
0,41	0,20	149,70	83,30	18,50	0,085	0,893	0,418	0,221
0,81	0,41	250,00	100,30	17,50	0,103	0,790	0,252	0,141
1,63	0,81	424,50	174,50	15,76	0,179	0,612	0,219	0,136
3,26	1,63	654,00	229,50	13,46	0,235	0,377	0,144	0,105
1,63	-1,63	552,00	-102,00	14,48	-0,104	0,481	0,064	0,043
0,81	-0,81	429,20	-122,80	15,71	-0,126	0,607	0,154	0,096
0,00	-0,81	0,00	-429,20	20,00	-0,439	1,046	0,539	0,263



EK 6.d. SK4 Sondajına ait Konsolidasyon Deney Sonuçları

Proje:	106M496	Numune No:	MÇ1-1
Tarih:	26.03.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.85 kg/cm ²	

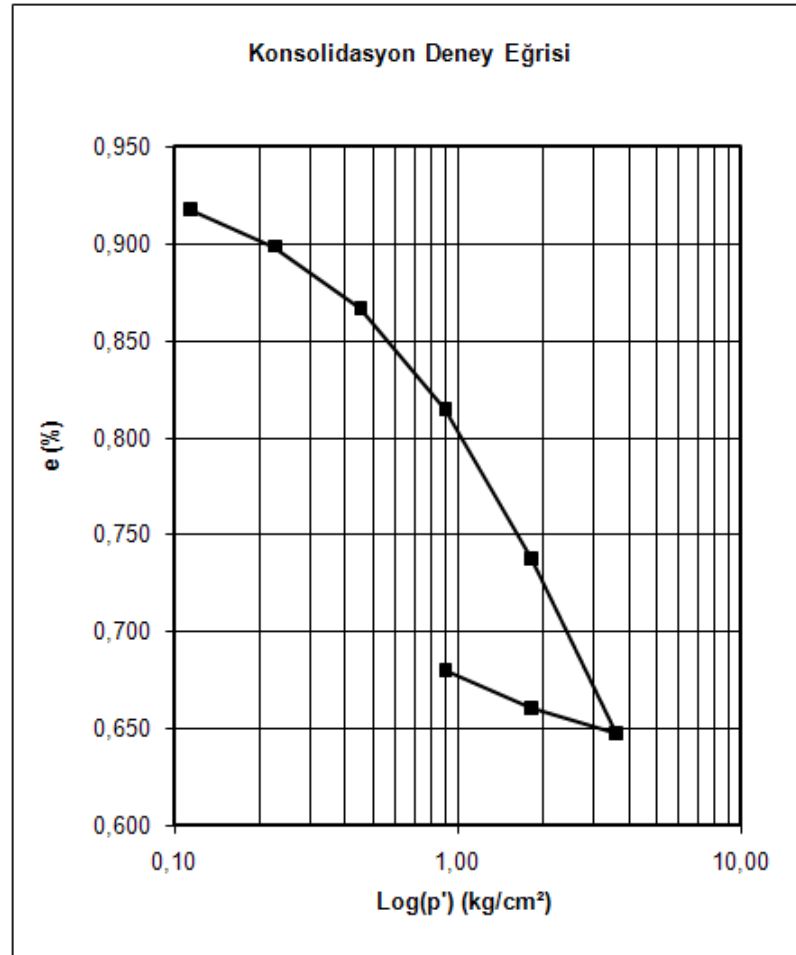
P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	0,780	0,00	0,00
0,11	0,11	15,90	15,90	19,84	0,014	0,766	0,125	0,071
0,23	0,11	31,90	16,00	19,68	0,014	0,751	0,126	0,072
0,45	0,23	52,80	20,90	19,47	0,019	0,733	0,082	0,047
0,91	0,45	86,10	33,30	19,14	0,030	0,703	0,065	0,038
1,81	0,91	135,50	49,40	18,65	0,044	0,659	0,049	0,029
3,62	1,81	201,90	66,40	17,98	0,059	0,600	0,033	0,020
1,81	-1,81	193,00	-8,90	18,07	-0,008	0,608	0,004	0,003
0,91	-0,91	179,00	-14,00	18,21	-0,012	0,620	0,014	0,008



EK 6.e. MÇ1'e Ait Konsolidasyon Deney Sonuçları

Proje:	106M496	Numune No:	MÇ2-1
Tarih:	02.04.2007	Derinlik:	1.80-2.20 m
Ön Konsolidasyon Basıncı Değeri (p') :		0.70 kg/cm ²	

P (kg/cm ²)	DP (kg/cm ²)	Okuma (1/100mm)	DH (1/100mm)	H mm	De	e	a_v (cm ² /kg)	m_v (cm ² /kg)
0,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,000	0,931	0,00	0,00
0,11	0,11	14,00	14,00	19,86	0,014	0,918	0,119	0,062
0,23	0,11	34,00	20,00	19,66	0,019	0,898	0,171	0,090
0,45	0,23	67,20	33,20	19,33	0,032	0,866	0,142	0,076
0,91	0,45	121,20	54,00	18,79	0,052	0,814	0,115	0,063
1,81	0,91	200,40	79,20	18,00	0,076	0,738	0,084	0,049
3,62	1,81	294,10	93,70	17,06	0,090	0,647	0,050	0,030
1,81	-1,81	280,20	-13,90	17,20	-0,013	0,661	0,007	0,004
0,91	-0,91	260,00	-20,20	17,40	-0,020	0,680	0,022	0,013



EK 6.f. MÇ2'ye Ait Konsolidasyon Deney Sonuçları