

**DEĞİŞİK ŞEKİLLERDEKİ TEMELLERİN GERİLME DAĞILIMI İLE
OTURMA PROFİLLERİNİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

SALİH BABAGİRAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2012

ANKARA

Salih BABAGİRAY tarafından hazırlanan “DEĞİŞİK ŞEKİLLERDEKİ TEMELLERİN GERİLME DAĞILIMI İLE OTURMA PROFİLLERİNİN DENEYSEL VE SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Özgür ANIL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Nejan Huvaj SARIHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Tarih: 31/08/2012

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesine onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Salih BABAGİRAY

DEĞİŞİK ŞEKİLLERDEKİ TEMELLERİN GERİLME DAĞILIMI İLE OTURMA PROFİLLERİNİN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Salih BABAGİRAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2012

ÖZET

Kohezyonsuz zeminler üzerindeki temellerin taşıma gücü, oturma profili değişimi ve bu değişimin yapı-zemin etkileşimine etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmada ise, kohezyonsuz zeminler üzerine oturan farklı şekillere sahip (kare, ortası boşluklu, L ve U) yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasiteleri, oturma davranışları ve temellerin altlarında oluşan gerilme dağılımları incelenmiştir. Temel şeklinin, taşıma gücü kapasitesi ve farklı oturma davranışı üzerindeki etkileri deneysel çalışma yapılarak ve sonlu eleman analizleri ile araştırılmıştır. Söz konusu etkilerin araştırılması amacıyla, temelleri temsil eden, boyutları farklı çelik levhalar ile, iyi derecelenmiş kum zemin üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmada kontrol elemanı olarak seçilen kare temel, $B=400$ mm ve $L=400$ mm boyutlarındadır. Deney elemanlarının iki adedi ortası boşluklu kare, iki adedi L şeklinde ve bir adedi ise U şeklinde seçilmiştir. Çalışma içeriğinde, deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmak üzere sonlu eleman analizi yapılarak her bir temelin eksenel yük-oturma grafikleri, gerilme dağılımları ve oturma profilleri araştırılmıştır. Model deneylerinden elde edilen sonuçlar, sonlu eleman analizleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı geometrilerdeki temeller üzerine üst

yapıdan gelen yükler sebebiyle oluşan farklı oturmaların, üst yapının kesit tesirleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.144

Anahtar Kelimeler : Yüzeysel (Sığ) Temeller, Taşıma Gücü, Oturma Profili, Gerilme Dağılımı, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sayfa Adeti : 91

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Özgür ANIL

Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

**INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION AND SETTLEMENT
PROFILES OF DIFFERENT SHAPED FOUNDATIONS WITH
EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENTS ANALYSIS METHOD**

(M. Sc. Thesis)

Salih BABAGIRAY

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

August 2012

ABSTRACT

The bearing capacity of the foundations on cohesionless soil, settlement profile variation and the effect of this variation on structure-soil interaction have been the subject of many investigations. In this study, it has been examined the bearing capacity of different-shaped (square, square with mid opening, U and L) shallow foundations which settled on cohesionless soil, the settlement forms and the stress distribution which became under the foundations. It was investigated that the effects of foundation geometry on the bearing capacity and on the different settlement forms by experimentations and finite element analysis. For the purpose of examining these effects, tests were implemented on well-graded sand by using different type of steel plates which represent the foundations. In the test, a square foundation was chosen as the control element ($B=400$ mm and $L=400$ mm). The shapes of the test elements were chosen as follows: 2 square with mid opening, 2 L-shaped and one U-shaped. In this study, it was investigated that settlement profiles, stress distribution and axial load-settlement graphs of each foundations by using finite element analysis for comparing with test results. The results of the model experiments were compared to the results of the finite element analysis. Also the effects of different settlements, which occur due to the superstructure loadings on

different geometric foundations, on the internal forces of the superstructure were examined.

Science Code : 911.1.144
Keywords : Shallow Foundations, Bearing Capacity, Settlement
Profile, Stress Distribution, Finite Element Method
Page Number : 91
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Özgür ANIL
Assoc. Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanlarım Doç. Dr. Özgür ANIL ve Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAS'a,

Yardımlarıyla bana her zaman destek olan çok değerli eşim, İnş. Yük. Müh. Güneş BABAGİRAY'a,

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve eşimin ailesine,

Desteklerinden ötürü çalışma arkadaşlarıma, teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xviii
SİMGELER ve KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Taşıma Gücü Belirleme Yöntemleri	7
2.2. Kohezyonsuz Zeminler Üzerinde Oturma	12
2.3. Temeller Altındaki Gerilme Dağılımı.....	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	21
3.1. Deney Düzeneği.....	21
3.2. Zemin özellikleri	23
3.3. Temeller	25
4. DENEYLER.....	28
4.1. Deney Elemanı 1	28
4.2. Deney Elemanı 2	30
4.3. Deney Elemanı 3	33

Sayfa

4.4. Deney Elemanı 4	35
4.5. Deney Elemanı 5	38
4.6. Deney Elemanı 6	40
4.7. Deney Sonuçları	43
5. ANALİZ SONUÇLARI İLE DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	48
5.1. Giriş	48
5.2. Modellerde Kullanılan Malzemelere Ait Özellikler	48
5.3. Deney Elemanı 1 İçin Elde Edilen Sonuçlar	51
5.4. Deney Elemanı 2 İçin Elde Edilen Sonuçlar	55
5.5. Deney Elemanı 3 İçin Elde Edilen Sonuçlar	60
5.6. Deney Elemanı 4 İçin Elde Edilen Sonuçlar	64
5.7. Deney Elemanı 5 İçin Elde Edilen Sonuçlar	67
5.8. Deney Elemanı 6 İçin Elde Edilen Sonuçlar	71
5.9. Değerlendirme ve Sonuçlar	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	87
EKLER	89
EK-1. Deney Düzeneği Fotoğrafları	90
ÖZGEÇMİŞ	91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kumun granülometrik özellikleri	23
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan temellerin şekil ve boyutları	26
Çizelge 4.1. Deney elemanı 1'in maksimum yük ve oturma değerleri.....	30
Çizelge 4.2. Deney elemanı 2'nin maksimum yük ve oturma değerleri.....	33
Çizelge 4.3. Deney elemanı 3'ün maksimum yük ve oturma değerleri	35
Çizelge 4.4. Deney elemanı 4'ün maksimum yük ve oturma değerleri	38
Çizelge 4.5. Deney elemanı 5'in maksimum yük ve oturma değerleri.....	40
Çizelge 4.6. Deney elemanı 6'nın maksimum yük ve oturma değerleri.....	43
Çizelge 4.7. Oturmanın 10 mm, 25 mm ve 40 mm olduğu andaki ortalama gerilmeler	43
Çizelge 4.8. Taşıma gücü hesabında kullanılan değerler	46
Çizelge 4.9. Taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması	46
Çizelge 5.1. Zemin malzemesinin özellikleri.....	49
Çizelge 5.2. Deney elemanı 1'in köşelerindeki gerilme değerleri	53
Çizelge 5.3. Deney elemanı 2'nin köşelerindeki gerilme değerleri	58
Çizelge 5.4. Deney elemanı 3'ün köşelerindeki gerilme değerleri	62
Çizelge 5.5. Deney elemanı 4'ün köşelerindeki gerilme değerleri	65
Çizelge 5.6. Deney elemanı 5'in köşelerindeki gerilme değerleri	69
Çizelge 5.7. Deney elemanı 6'nın köşelerindeki gerilme değerleri	73
Çizelge 5.8. Farklı oturma ve gerilme karşılaştırması	76
Çizelge 5.9. Farklı yöntemlerle hesaplanmış gerilme değerleri.....	76

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.10. Modellerden elde edilen oturma değerleri	79
Çizelge 5.11. Kolonlara etkitilen yer değiştirme sonucu, kirişte oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri.....	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Göreceli oturma	5
Şekil 2.2. Farklı geometrideki temellerde şekil etkisi.....	7
Şekil 2.3. Terzaghi taşıma gücü teorisine göre rijit sürekli temel altındaki zeminde taşıma gücü yenilmesi	9
Şekil 2.4. Tipik bir kum için sıkışma-zaman ilişkisi.....	14
Şekil 2.5. Düşey gerilmenin derinliğe bağlı değişiminde 2:1 yaklaşımı	16
Şekil 2.6. Üniform yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme için etki değeri	18
Şekil 2.7. Yatay düzlemler üzerindeki düşey gerilme için etki grafiği (Newmark, 1942)	19
Şekil 3.1. Model yükleme deneylerinde kullanılan deney tankı	22
Şekil 3.2. Elek analizi sonucu elde edilen granülometri eğrisi	24
Şekil 4.1. Deney elemanı 1'in ağırlık merkezi.....	28
Şekil 4.2. Deney elemanı 1'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	29
Şekil 4.3. Deney elemanı 1'e ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	29
Şekil 4.4. Deney elemanı 2'ye yüklemenin uygulandığı noktalar	31
Şekil 4.5. Deney elemanı 2'nin köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	32
Şekil 4.6. Deney elemanı 2'ye ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	32
Şekil 4.7. Deney elemanı 3'e yüklemenin uygulandığı noktalar	34
Şekil 4.8. Deney elemanı 3'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	34
Şekil 4.9. Deney elemanı 3'e ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Deney elemanı 4'ün ağırlık merkezi.....	36
Şekil 4.11. Deney elemanı 4'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	37
Şekil 4.12. Deney elemanı 4'e ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	37
Şekil 4.13. Deney elemanı 5'in ağırlık merkezi.....	39
Şekil 4.14. Deney elemanı 5'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	39
Şekil 4.15. Deney elemanı 5'e ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	40
Şekil 4.16. Deney elemanı 6'nın ağırlık merkezi.....	41
Şekil 4.17. Deney elemanı 6'nın köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler	42
Şekil 4.18. Deney elemanı 6'ya ait oturma-eksenel yük grafikleri.....	42
Şekil 4.19. Deneylerde kullanılan bütün elemanların ortalama oturma-eksenel yük grafikleri	45
Şekil 4.20. Deneylerde kullanılan bütün elemanların ortalama oturma-gerilme grafikleri	45
Şekil 4.21. Taşıma gücü değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri	47
Şekil 5.1. 15-düğüm noktalı eleman	50
Şekil 5.2. Zemin parçacığının boyutları ve sonlu eleman ağı	50
Şekil 5.3. Sonlu eleman ağlarının sıkılık durumları için yük-oturma grafikleri	51
Şekil 5.4. Deney elemanı 1'in sağ-ön yük-oturma grafikleri.....	52
Şekil 5.5. Deney elemanı 1'in sağ-arka yük-oturma grafikleri.....	52
Şekil 5.6. Deney elemanı 1'in sol-ön yük-oturma grafikleri	52
Şekil 5.7. Deney elemanı 1'in sol-arka yük-oturma grafikleri.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Deney elemanı 1'in 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	53
Şekil 5.9. Deney elemanı 1'e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	54
Şekil 5.10. Deney elemanı 1'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	55
Şekil 5.11. Deney elemanı 1'in A-A' kesitindeki oturma profili	55
Şekil 5.12. Deney elemanı 2'nin sağ-ön yük-oturma grafikleri	56
Şekil 5.13. Deney elemanı 2'nin sağ-arka yük-oturma grafikleri	56
Şekil 5.14. Deney elemanı 2'nin sol-ön yük-oturma grafikleri	57
Şekil 5.15. Deney elemanı 2'nin sol-arka yük-oturma grafikleri	57
Şekil 5.16. Deney elemanı 2'nin 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	57
Şekil 5.17. Deney elemanı 2'ye yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	58
Şekil 5.18. Deney elemanı 2'ye yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	59
Şekil 5.19. Deney elemanı 2'nin A-A' kesitindeki oturma profili	59
Şekil 5.20. Deney elemanı 3'ün sağ-ön yük-oturma grafikleri	60
Şekil 5.21. Deney elemanı 3'ün sağ-arka yük-oturma grafikleri	60
Şekil 5.22. Deney elemanı 3'ün sol-ön yük-oturma grafikleri	61
Şekil 5.23. Deney elemanı 3'ün sol-arka yük-oturma grafikleri	61
Şekil 5.24. Deney elemanı 3'ün 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	61
Şekil 5.25. Deney elemanı 3'e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	62
Şekil 5.26. Deney elemanı 3'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.27. Deney elemanı 3'ün A-A' kesitindeki oturma profili	63
Şekil 5.28. Deney elemanı 4'ün sağ-ön yük-oturma grafikleri	64
Şekil 5.29. Deney elemanı 4'ün sağ-arka yük-oturma grafikleri	64
Şekil 5.30. Deney elemanı 4'ün sol-arka yük-oturma grafikleri.....	65
Şekil 5.31. Deney elemanı 4'ün 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	65
Şekil 5.32. Deney elemanı 4'e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	66
Şekil 5.33. Deney elemanı 4'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	66
Şekil 5.34. Deney elemanı 4'ün A-A' kesitindeki oturma profili	67
Şekil 5.35. Deney elemanı 5'in sağ-ön yük-oturma grafikleri.....	67
Şekil 5.36. Deney elemanı 5'in sağ-arka yük-oturma grafikleri.....	68
Şekil 5.37. Deney elemanı 5'in sol-arka yük-oturma grafikleri.....	68
Şekil 5.38. Deney elemanı 5'in 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	68
Şekil 5.39. Deney elemanı 5'e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	69
Şekil 5.40. Deney elemanı 5'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	70
Şekil 5.41. Deney elemanı 5'in A-A' kesitindeki oturma profili	70
Şekil 5.42. Deney elemanı 6'nın sağ-ön oturma grafikleri	71
Şekil 5.43. Deney elemanı 6'nın sağ-arka yük-oturma grafikleri.....	71
Şekil 5.44. Deney elemanı 6'nın sol-ön yük-oturma grafikleri	72
Şekil 5.45. Deney elemanı 6'nın sol-arka yük-oturma grafikleri.....	72
Şekil 5.46. Deney elemanı 6'nın 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri	72

Şekil	Sayfa
Şekil 5.47. Deney elemanı 6'ya yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı	73
Şekil 5.48. Deney elemanı 6'ya yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma	74
Şekil 5.49. Deney elemanı 6'nın A-A' kesitindeki oturma profili	74
Şekil 5.50. Yatay mesafeye bağlı olarak elde edilen gerilme dağılımı ($Z=1,0B$)...	75
Şekil 5.51. Yataydaki gerilme dağılımını göstermek için kullanılan eksenler	75
Şekil 5.52. Küçük L temelin gerçek ölçüleri.....	77
Şekil 5.53. Kare temelin gerçek ölçüleri.....	78
Şekil 5.54. Zemin boyutları.....	78
Şekil 5.55. L şekilli temeğe yapılan yükleme	79
Şekil 5.56. Kare temeğe yapılan yükleme.....	79
Şekil 5.57. L şekilli temelden alınan kolonlara yapılan deplasman yüklemeleri....	80
Şekil 5.58. Kare temelden alınan kolonlara yapılan deplasman yüklemeleri	80
Şekil 5.59. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişindeki kesme kuvveti diyagramı.....	81
Şekil 5.60. Kare temelden alınan çerçevenin kirişindeki kesme kuvveti diyagramı.....	81
Şekil 5.61. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişindeki moment diyagramı ...	82
Şekil 5.62. Kare temelden alınan çerçevenin kirişindeki moment diyagramı.....	82

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney düzeneğini gösteren bir fotoğraf.....	22
Resim 3.2. LVDT ölçümlerini kaydeden bilgisayar	23
Resim 3.3. Kum tankın harmanlanması	25
Resim 3.4. Kare deney elemanın pürüzlü yüzeyi.....	25
Resim 4.1. Deney elemanı 1’e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	28
Resim 4.2. Deney elemanı 2’ye yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	31
Resim 4.3. Deney elemanı 3’e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	33
Resim 4.4. Deney elemanı 4’e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	36
Resim 4.5. Deney elemanı 5’e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	38
Resim 4.6. Deney elemanı 6’ya yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Temelin taban alanı
B	Temelin genişliği
b_c, b_γ, b_q	Taban eğim faktörleri
c	Zeminin kohezyonu
cm	Santimetre
C_c	Eğrilik katsayısı, Sıkışma indisi
C_u	Üniformluk katsayısı
C_r	Yeniden sıkışma indisi
COV_E	Varyasyon katsayısı
D	Temelin derinliği
D_{10}	Ağırlıkça %10'dan daha ince malzeme için çap
D_{50}	Ağırlıkça %50'den daha ince malzeme için çap
D_r	Rölatif yoğunluk
d_c, d_γ, d_q	Derinlik faktörleri
e_{min}	Minimum boşluk oranı
e_{max}	Maksimum boşluk oranı
E	Elastisite modülü
F	Kuvvet
f_s	Şekil faktörü
f_d	Derinlik düzeltme faktörü
G_s	Özgül ağırlık
g	Yer çekim ivmesi
g_c, g_γ, g_q	Yer eğim faktörleri

Simgeler**Açıklama**

H	Temel ile rijit tabaka arasındaki katman kalınlığı, Yatay kuvvet
i_c, i_γ, i_q	Yük eğim faktörleri
K	Temelin rijitlik katsayısı
K_p	Pasif zemin basınç katsayısı
kPa	Kilopascal
kN	Kilonewton
L	Temelin uzunluğu
m	Metre
mm	Milimetre
N_c, N_q, N_γ	Taşıma kapasitesi faktörleri
I_c	Sıkışma indisi
Q	Yük değeri
q	Temel yüzeyindeki sürüş gerilmesi
q_c	Uç direnci
$q_ö$	Deneyler sonucu ölçülen taşıma gücü
P_p	Pasif şartlarda bir duvar üzerine etkiyen normal kuvvet
s	Oturma miktarı
s_c, s_γ, s_q	Şekil faktörleri
V	Dikey kuvvet
X	Yataydaki uzunluk
Z	Temel derinliği
α	Sömel tabanının eğimi, temele etkiyen bileşke kuvvetin düşeyle yaptığı açı, kama ile olan açı
β	Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı
γ	Zeminin su yüzeyi üzerindeki birim hacim ağırlığı

Simgeler**Açıklama**

γ'	Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
π	Pi sayısı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ψ	Dilatasyon Açısı
Σ	Toplam İşareti
ν	Poisson oranı
θ_E	Dalgalanmanın farklı ölçekleri
∞	Sonsuz
ρ_{min}	Minimum yoğunluk
ρ_{max}	Maksimum yoğunluk
δ	Toplam oturma
δ_a	İzin verilebilir toplam oturma
δ_D	Farklı oturma
δ_{Da}	İzin verilebilir farklı oturma
σ	Normal gerilme
σ_z	Düşey toplam gerilme
τ	Kayma gerilmesi

Kısaltmalar**Açıklama**

ASTM	American Society for Testing and Materials
CPT	Koni Penetrasyon Testi
FE	(Finite Elements) Sonlu Elemanlar
FD	(Finite Differences) Sonlu Farklar
LA	Limit Analiz
LVDT	(Linear Variable Displacement Transducer) Elektronik Doğrusal Deplasman Ölçer

Kısaltmalar	Açıklama
Maks.	Maksimum Değer
Min.	Minimum Değer
Ort.	Ortalama
PMT	Presiyometre Testi
SPT	Standart Penetrasyon Testi
TS	Türk Standartları
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

1. GİRİŞ

Bu çalışma, kohezyonsuz zeminler üzerine oturan farklı şekillere sahip (kare, ortası boşluklu, L ve U) yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasiteleri, oturma davranışları ve gerilme dağılımları ile ilgili değerlendirmeleri içermektedir. Temeller altındaki gerilme dağılımı Plaxis 3D Foundation bilgisayar programı kullanılarak araştırılacaktır. Yine bu programdan elde edilen yük-oturma çıktıları ile deneylerden elde edilen sonuçlar kıyaslanacaktır. Temel şeklinin, taşıma gücü kapasitesi üzerindeki etkileri deneysel çalışma yapılarak ve Plaxis 3D Foundation programı kullanılarak araştırılacaktır. Ayrıca farklı geometrilerdeki temeller üzerine üst yapıdan gelen yükler sebebiyle oluşan farklı oturmaların, üst yapının kesit tesirleri üzerindeki etkileri irdelenecektir.

Temellerin tasarımı, taşıma gücü ve oturma şartlarını sağlamak üzere yapılır. Taşıma gücü, üst yapının temele aktardığı yüklerin, temel zemininde yarattığı en yüksek gerilmeyi bir kayma göçmesi meydana gelmeksizin taşıyabilmesi için, zeminin sahip olması gereken direnç miktarıdır [1]. Bina temelleri, oturma veya farklı oturmalarından ötürü üst yapıda hasara neden olmayacak biçimde, oturdukları zeminin özellikleri göz önüne alınarak, zemin mekaniği ve temel inşaatı ilkelerine göre yapılmalıdır [2].

Çalışmanın ikinci bölümde araştırma kapsamında incelenen konulara benzer özellikte olan literatürdeki bazı çalışmalar özetlenmiştir. Ayrıca taşıma gücünden, oturma hesaplarından ve oturmayı hesaplarken kullanılan gerilme dağılımından bahsedilerek literatürde kabul görmüş çeşitli teorik hesap yöntemlerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümünde ise, deneysel çalışma hakkında gerekli bilgiler verilmiştir. Deney düzeneği ve işleyişi etraflica anlatılarak deneylerde kullanılan temellerin ve zemin malzemesinin özellikleri detaylı olarak açıklanmıştır.

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında, farklı geometrik şekillere sahip temeller ile yapılmış olan temel

yükleme testleri dördüncü bölümde anlatılmıştır. Temelleri temsil eden, boyutları ve şekilleri farklı çelik levhalar kullanılarak altı adet deney yapılmıştır. Deneyde kontrol elemanı olarak, $B=400$ mm ve $L=400$ mm boyutlarında bir model temel seçilmiştir. Diğer deney elemanları ise; iki adet ortası boşluklu kare, iki adet L ve bir adet U şekilli temellerdir. Yine bu bölümde; tüm deneysel çalışmalara ait sonuçlar çizelge ve tablolar halinde sunulmuştur.

Beşinci bölümde, temel yüklem testlerinin, Plaxis 3D Foundation bilgisayar programı yardımıyla modellenmesi anlatılmıştır. Böylelikle deneysel çalışmalar, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak hesap yapan bir bilgisayar programı ile de desteklenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri ile Plaxis 3D Foundation bilgisayar programı analizi ile elde edilen yük-oturma grafikleri karşılaştırılarak deney sonuçlarının sonlu elemanlar yöntemi ile uyumu irdelenmiştir. Yine kullanılan bilgisayar programından elde edilen, elemanların yüklem etkisi ile oluşan gerilme dağılımlarını gösteren şekiller verilmiştir. Ayrıca farklı oturmanın üst yapıya olan etkisini araştırmak amacıyla Sap2000 programı kullanılarak model çerçeveler oluşturulmuş ve modellerden elde edilen sonuçlar çizelge ve şekiller halinde sunulmuştur.

Analiz sonuçları ile deney sonuçları arasında uyumlu davranışların elde edildiği bu çalışmada, elemanların taşıma gücü performansları genel olarak incelendiğinde sonuçlar birbirlerine yakın değerler vermiştir. Bilgisayar modelinden alınan gerilme dağılımlarına bakıldığında, ortasında boşluğa sahip olan Küçük Boşluklu Kare ve Büyük Boşluklu Kare temelde, boşluk etrafında gerilme yığılmaları oluşmuştur. Yapı temellerinde meydana gelen farklı oturmaların üst yapıya olan etkisini incelendiğinde ise, temel şeklinin üst yapıya olan etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kohezyonsuz zeminler üzerindeki temellerin taşıma gücü, oturma profili değişimi ve temellerin altlarında oluşan gerilme dağılımı birçok araştırmaya konu olmuştur. Fakat farklı şekil ve geometrilere sahip temellerin altında meydana gelen üniform olmayan gerilme dağılımları ve farklı oturmaları üzerine literatürde çok da fazla araştırma mevcut değildir. Temeller altındaki gerilme dağılımını, zeminin taşıma gücü parametrelerini ve yapı-zemin etkileşimi gibi konuları araştıran önemli çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Temel tasarımı yapılırken hem yapısal olarak hem de temelin üzerine oturduğu zemin açısından güvenilirliğin sağlanması gerekmektedir. İstenilen bu güvenilirliğin sağlanması için, zeminin taşıma gücü ve oturmasına göre temel tasarımı yapılmaktadır.

Üst yapıdan iletilen ve temelin kendi ağırlığından kaynaklanan yükler sebebiyle zeminde oluşan gerilmeler belirli bir değeri aşmamalıdır. Oluşması muhtemel aşırı gerilmeler zeminde kayma gerilmesine ve aşırı oturmalara sebep olabilmektedir [3].

Bu bölümde, önce çalışma konularına benzer nitelikte olan bazı çalışmalar özetlenmiş, sonrasında; temelin emniyetli olarak tasarlanması için bilinmesi gereken taşıma gücünden, oturma hesaplarından ve oturmayı hesaplarken kullanılan gerilme dağılımından bahsedilmiştir. Bu bağlamda, literatürde kabul görmüş çeşitli teorik hesap yöntemlerine yer verilmiştir.

Girgin S.C. vd.(2008) Çalışması;

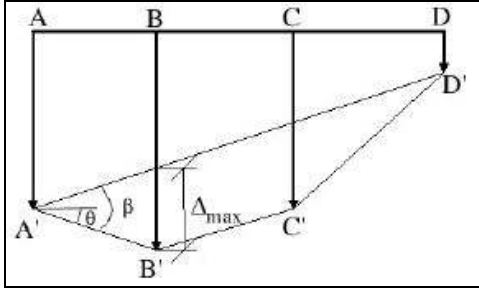
Girgin S.C. vd. (2008); zemine aktarılan yükler nedeniyle zemin tabakalarında oluşan deformasyonların, temel elemanının ve taşıyıcı sistemin iç kuvvetleri üzerinde bir etkisi olduğunu ve bu etkinin hesaba katılması gerektiğini vurgulamışlardır. Radye temele sahip sekiz katlı bir betonarme yapının kullanıldığı örnek bir analiz çalışması yapılmıştır. Rijit yapı-zemin, sabit yatak katsayısı (Winkler modeli) ve

değişken yatak katsayısı (Daloğlu-Vallabhan yaklaşımı) yöntemleri kullanılarak üç farklı yapı-zemin modeli oluşturulmuş ve betonarme kolon kesitlerindeki donatı oranları hesabı yapıp yapı-zemin etkileşiminin yapısal tasarımdaki etkisi araştırılmıştır [4].

Çalışma sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldığında, rijit temel-zemin birleşimi kullanılarak oluşturulan modeldeki perde ve kolonlarda, deprem yüklerinin paylaşımının diğer modellerden farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca, değişken yatak katsayısı kullanılarak yapılan modelde bazı kolon kesitlerindeki boyuna donatı oranları, yapı-zemin etkileşiminin rijit olduğu kabulü ile yapılan modelde elde edilen değerlerin yaklaşık üç katına ulaşmaktadır. Bu nedenle de betonarme yapı tasarımında temel sistemlerinin projelendirilmesinde, yatak katsayısının tanımlanma şeklinin önemi ortaya çıkmakta, temel tasarımının yapıdan bağımsız gerçekleştirilmesi durumunda, yalnız zeminin değil üstyapı taşıyıcı sisteminin etkilerinin de dikkatten kaçabileceği anlaşılmaktadır [4].

Birand A.'nın (2007) Çalışması;

Birand A. (2007) çalışmasında; yapılarda yapısal hasar oluşturan oturma limitlerine ilişkin çalışmalar hakkında bilgiler vermiş ve 0,80 m kalınlığında, 32,4 x 26,4 m boyutlarındaki bir radye temelin oturma değerleri ile ilgili örnek bir çalışma yapmıştır. Söz konusu oturma değerleri Brown, Hudson-Shephard ve “ayrık elastik eleman” yöntemleri kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan toplam ve farklı oturmaların yapı hasarı oluşturma potansiyeli değerlendirilmiştir. Skempton ve McDonald'ın (1956) çalışmasında, oturma nedeniyle yapıda oluşacak mimari hasar (binadaki duvar ve bölmelerde çatlama vb.) oluşturan açısız çarpılma (Şekil 2.1.) değeri için 1/300 sınırı öngörüldüğü ve bu değer hiçbir zaman 1/500'ü geçmemesi gerektiğinden bahsedilmiş, yine aynı çalışmada yapısal hasar (yapının taşıyıcı elemanlarında oluşan çatlamlar) oluşturan açısız çarpılma değeri için 1/150 değerinin verildiği söylenmiştir [5].



Şekil 2.1. Göreceli oturma [5]

Çalışma sonucunda; dikdörtgen radye temeli eşdeğer daire radye temele çevirerek hesap yapan Brown yöntemiyle, elastik oturmanın toplam oturmaya oranı 0,56 olarak hesaplanmıştır. Radyenin rijitlik katsayısının (K) artması ile farklı oturmaların kritik olduğu vurgusu yapılmıştır. Bir radyenin merkezindeki oturma miktarı ile merkez-köşeler arasındaki farklı oturma miktarlarını hesaplamak için bir yöntem öneren Hudson-Shephard yöntemine göre elastik oturmanın toplam oturmaya oranı 0,54 olarak hesaplanmıştır. Ayrık elastik eleman yöntemiyle ise, söz konusu bu değer 0,55 bulunmuştur. Ayrı ayrı hesap yapılan bu üç yöntemin de yakın değerler verdiği görülmüştür [5].

Laman M. ve Keskin M.S.'nin (2004) Çalışması;

Laman M. ve Keskin M.S. (2004) çalışmalarında; kumlu zeminler üzerine oturan kare temellerden dolayı zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değerlerini, deneysel çalışma yaparak incelemişlerdir. Zemin tabakalarının kendi ağırlıkları ve uygulanan dış yükler, zemin içerisinde gerilmelere sebep olurlar. Oluşan bu gerilmelerin dağılımının bilinmesi, birçok problemin çözümü ve projelerin tasarımında bizlere yol gösterir. Bu sebeple, zeminde oluşan gerilme dağılımlarını incelemek amacıyla çelik profillerden üretilen bir tank içerisinde gerçekleştirilen deneylerde, gerilme değerleri basınçölçerler yardımıyla bulunmuştur. Deneyler, iki farklı sıkılıktaki kum zeminler üzerinde gerçekleştirilmiş ve sıkılığın ilave düşey gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca yapılan deneyler, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis paket programı ile modellenmiştir. Yapılan

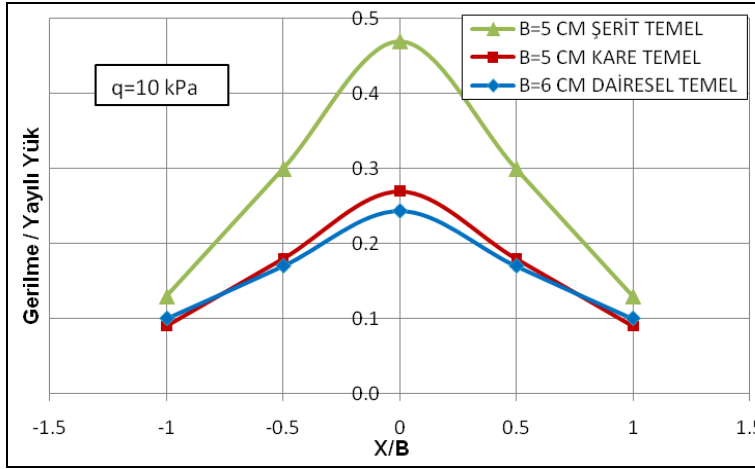
modellerin analiz sonuçları, deneylerden elde edilen değerler ve mevcut teorik yöntemlerle bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır [6].

Çalışma sonucunda; kare temel altında iki farklı sıklıkta üç farklı derinlikte, aynı yükleme kademeleri için deneysel olarak ölçülen düşey gerilme değerleri verilmektedir. Sıklığın artması ile düşey gerilme değerlerinin arttığı, derinliğin artmasına bağlı olarak ise azaldığı gözlenmiştir. Numerik, teorik ve deneysel çalışmalar sonunda, üniform yüklü rijit bir temelin tabanından z kadar derinde bulunan yatay düzlemlerdeki gerilme dağılımlarının benzer yapıda olduğu, derinliğin artmasıyla temel plakası merkezi altında hesaplanan ve ölçülen basıncın azaldığı ve kum zeminin herhangi bir noktasındaki gerilme değerinin uygulanan yük ile orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Literatürde mevcut Westergaard, Boussinesq gibi pek çok teorik çözümlerde ilave düşey gerilmeler hesaplanırken, zeminin sıklık durumu göz önüne alınmamakta ve her sıklık değeri için aynı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak bu çalışmada yapılan deney sonuçlarından görülmüştür ki, sıklık değerinin artmasıyla aynı derinliklerde ve aynı yükler altında, ilave düşey gerilme değerleri önemli mertebelerde artmaktadır [6].

Bağrıaçık B. ve Laman M.'nin (2010) Çalışması;

Bağrıaçık B. ve Laman M. (2010) çalışmalarında; kumlu zeminler üzerine oturan farklı geometrilerdeki yüzeysel temellerden dolayı zemin içerisinde oluşan ilave düşey gerilme davranışlarını, deneysel çalışmayla araştırmışlardır. Bu amaçla deneylerde, dairesel ve kare tekil temeller ile şerit temel kullanılmış ve zemin içerisinde belirlenen derinlikteki ($Z=1,0B$) yatay düzlemler boyunca ($X=0,5B$ ve $X=1,0B$) meydana gelen ilave düşey gerilme değerleri basınçölçerler yardımıyla ölçülerek, temel şeklinin gerilme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir [7].

Çalışma sonucunda; Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, gerilme dağılımının daire ve kare temeller altında çok farklı olmadığı ancak daire ve kare temel ile şerit temel arasında gerilme davranışında temel şeklindeki değişimin önemli mertebelerde olduğu görülmüştür [7].



Şekil 2.2. Farklı geometrideki temellerde şekil etkisi [7]

Uygulanan farklı yükler için, temel altında oluşan gerilme değerlerinde kayda değer herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Uygulanan yüke bağlı olarak $Z=1,0B$ derinliğinde meydana gelen düşey gerilme değerleri, $B=5$ cm'lik şerit temelde en yüksek, $B=6$ cm'lik dairesel temelde ise, en düşük değeri vermiştir. Ayrıca $B=5$ cm'lik kare temelin gerilme değeri, $B=6$ cm çaplı dairesel temelin gerilme değerlerine oldukça yakın olduğu, ancak; $B=5$ cm'lik şerit temelden dolayı elde edilen gerilme değerinin, daire ve kare temel altında elde edilen gerilme değerlerinden %49 daha fazla olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, farklı geometrilerdeki temellerde, gerilme değerleri açısından şekil etkisinin önemli mertebelere çıkabildiği görülmüştür [7].

2.1. Taşıma Gücü Belirleme Yöntemleri

Taşıma gücü konusu üzerinde birçok araştırma yapılmış ve çok sayıda analiz yöntemi ortaya atılmıştır. Özünde benzerlik gösteren bu metotlar, zamanla araştırmacılar tarafından ortaya konulan faktörler ile birbirlerinden ayrılmıştır. Taşıma gücü hesaplamaları, temel derinliği sıfır ($D=0$) olacak şekilde yapıldığı için, derinlik faktörleri (d) dikkate alınmayacaktır. Deneylerde, eğimli olmayan yatay bir zemin yüzeyinde yer alan ve temel tabanı yatay konumda olan model temellerin ağırlık merkezlerine düşey olarak yüklemeler uygulanmıştır. Dolayısıyla, eğimli olmayan arazi yüzeyine sahip kohezyonsuz bir zemin üzerindeki, temel tabanı yatay

ve merkezinden düşey olarak yüklenmiş yüzeysel temeller dikkate alındığında; kohezyon (c), derinlik faktörleri (d), taban eğim faktörleri (b), yük eğim faktörleri (i) ve zemin eğim faktörleri (g) taşıma gücü eşitliğinde yer almayacaktır. Böylelikle taşıma gücü eşitliğine yalnız şekil faktörü s_γ ve taşıma gücü faktörü N_γ etki edecektir [8].

Yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabına, Terzaghi'nin (1943) orijinal çalışmalarından sonra birçok araştırmacı tarafından da geniş kapsamlı olarak devam edilmiştir. Meyerhof (1951, 1963), Hansen (1961, 1970) ve Vesic'in (1973, 1975) geliştirdiği yöntemler en çok kullanılan taşıma gücü yöntemleridir. Terzaghi'nin sunduğu en genel ifade üzerinde çeşitli etki faktörleri eklenmek suretiyle değişiklik yapmışlardır. Taşıma gücü hesaplarında kullanılan en kapsamlı formül Eş. 2.1'de verilmiştir [9].

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c + \gamma D N_q s_q d_q i_q b_q g_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad (2.1)$$

Temel ve zemin özellikleri en basit haliyle dikkate alınmak üzere, taşıma gücü kapasitesi (q_u) için kullanılacak eşitlik Eş. 2.2' de görülmektedir:

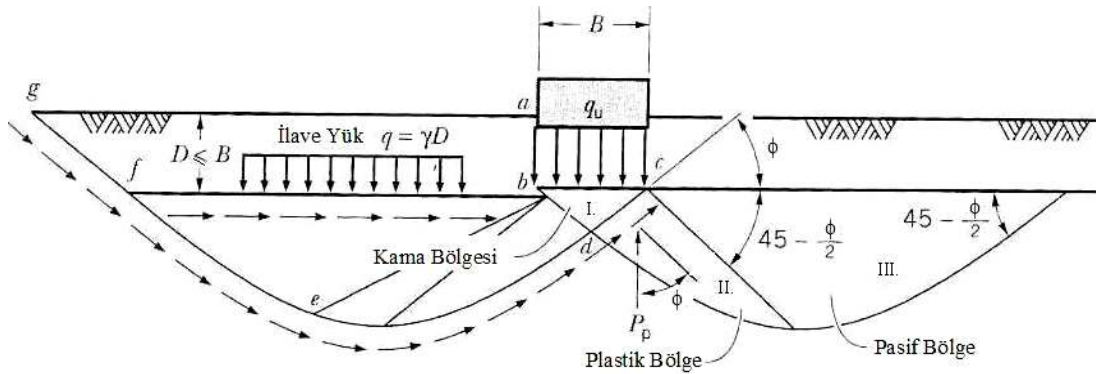
$$q_u = 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma \quad (2.2)$$

Terzaghi (1943), yüzeysel temellerin taşıma gücü kapasitesini hesaplamak için teori geliştirmiş olan ilk araştırmacılardan [10]. Fakat birçok sınır denge yönteminden en yaygın olarak kabul edilen Terzaghi yöntemi, çeşitli varsayımlar içerir. Buna göre, zemine kıyasla çok rijit olan temelin bulunduğu derinlik, genişliğinden küçük veya eşittir ($D \leq B$). Temelin ağırlık merkezine gelen yük düşey uygulanır, moment yükleri mevcut değildir [3].

Terzaghi, sonsuz uzunlukta ve birim genişlikte varsaydığı temelin tabanını kayma oluşmayacak gibi pürüzlü kabul etmiştir. Şekil 2.3'te temelin üzerinde $|gf|$ olarak görünen kısmın kayma dayanımını ihmal edip, sadece ilave bir sürşarj ($q = \gamma D$)

yükünün var olduğunu kabul etmiştir [11]. Terzaghi, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi üç bölgeyi dikkate almıştır:

- I. Temelin hemen altında kalan ve temel ile birlikte aşağı doğru hareket eden kama bölgesi denilen aktif bir üçgen bölge [3].
- II. Kamanın her bir kenarından uzanan, Terzaghi'nin kayma düzlemlerinin şeklini logaritmik spiral kabul ettiği plastik bölge [3].
- III. Zeminin düzlemsel yüzeyler boyunca kaydığı dış parça, yani pasif bölge. Teoriye göre, zemin yüzeyi ve D derinliği arasındaki zeminlerin kayma dayanımı yoktur, sadece ilave yük (sürşarj yükü) olarak görev yapar [3].



Şekil 2.3. Terzaghi taşıma gücü teorisine göre rijit sürekli temel altındaki zeminde taşıma gücü yenilmesi [11]

Pasif kuvvetler ve kohezyonu da içermek üzere temel altındaki kamada $\sum F_y = 0$ 'dan Eş. 2.3 elde edilmiştir. Terzaghi, P_p değerini kohezyonun, üst yükün ve bdef dörtgenindeki zemin ağırlığının bir bileşkesi olarak hesaba katmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır [11].

$$q_u B = 2 P_p + B c \tan \phi \quad (2.3)$$

Sürekli temel için Eş. 2.4, kare temel için Eş. 2.5, dairesel temel için ise Eş. 2.6 geliştirilmiştir [11].

$$q_u = c N_c + \gamma D N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (2.4)$$

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma \quad (2.5)$$

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \quad (2.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan taşıma kapasitesi faktörleri, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

$$N_c = \cot \phi \left[\frac{a^2}{2 \cos^2 (45 + \phi / 2)} - 1 \right] \quad (2.7)$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 (45 + \phi / 2)} \quad (2.8)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \tan \phi \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \quad (2.9)$$

$$a = e^{(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}) \tan \phi} \quad (2.10)$$

$$K_{p\gamma} = 3 \tan^2 \left[45 + \left(\frac{\phi + 33}{2} \right) \right] \quad (2.11)$$

Taşıma gücü yöntemlerinde, araştırmacıların zamanla geliştirdikleri eşitliklerden de görüleceği gibi, temel veya zemin yapısındaki özelliklerden dolayı değişiklikler olmuştur. Meyerhof (1951, 1963) ise çalışmalarında, Terzaghi'nin taşıma gücü ifadesi esas olmak üzere; şekil ve derinlik faktörlerini de hesaba katmıştır [11]. Uygulanan yük dik ise Eş. 2.12 kullanılmaktadır.

$$q_u = c N_c s_c d_c + \gamma D N_q s_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2.12)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan taşıma kapasitesi faktörleri, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunmaktadır.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45 + \phi / 2) \quad (2.13)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.14)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1,4 \phi) \quad (2.15)$$

Herhangi bir içsel sürtünme açısı (ϕ) değeri için elde edilecek şekil (s_c) ve derinlik (d_c) faktörleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$s_c = 1 + 0,2 K_p B/L \quad (2.16)$$

$$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} (D/B) \quad (2.17)$$

İçsel sürtünme açısı $\phi \geq 10^\circ$ ise; elde edilecek şekil ve derinlik faktörleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0,1 K_p B/L \quad (2.18)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} (D/B) \quad (2.19)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (2.20)$$

Hansen (1961, 1970) denklemleri bir anlamda Meyerhof denklemlerinin uzantısı gibidir ve N_c ile N_q faktörleri Meyerhof denklemleri ile aynıdır [12]. Ancak, Hansen'in önerdiği N_γ faktörü Meyerhof'un önerdiğinden farklıdır. Yalnızca, içsel sürtünme açısının (ϕ) 35° olduğu durumda birbirlerine eşit olurlar. Hansen'in taşıma gücü faktörlerinden N_γ , Eş. 2.21'de verilmiştir [3].

$$N_\gamma = 1,50 (N_q - 1) \tan \phi \quad (2.21)$$

Vesic (1973, 1975), Terzaghi'nin esas formülüne sadık kalmak üzere şekil faktörü (s), derinlik faktörü (d), yük eğim faktörü (i), taban eğimi faktörü (b) ve zemin eğimi faktörü (g) üzerinde çalışmalar yapmıştır. Vesic'in geliştirdiği formül, Terzaghi

denklemine iyi bir alternatif olmuştur. Bu yaklaşım, çok daha geniş yükleme aralığına ve geometri koşullarına uygulanabilmektedir [3].

Şekil faktörleri (s_γ) için geliştirilen denklem (Eş. 2.22) aşağıda verilmiştir.

$$s_\gamma = 1 - 0,4(B/L) \quad (2.22)$$

Taşıma kapasitesi faktörleri için geliştirilen denklemler (Eş. 2.23, Eş. 2.24 ve Eş. 2.25) aşağıda verilmiştir.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (2.23)$$

$$N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} \quad (2.24)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (2.25)$$

2.2. Kohezyonsuz Zeminler Üzerinde Oturma

Oturma, zemin hacminin azalmasının sonucu olarak ortaya çıkar. Zemin hacmindeki bu azalmanın üç ana sebebi vardır. Bunlar; su ve havanın boşluklardan kaçması, zemin parçalarının sıkışması, boşluklardaki su ve havanın sıkışması olarak tanımlanabilir [11].

Geçmişteki mühendislerin çoğu taşıma gücü yenilmesine karşı yeterli bir emniyetle tasarlanan herhangi bir temelin, aşırı oturma yapmayacağını varsaymışlardı. Ancak yapılan araştırmalar, temel tasarımında karşılaşılan oturma problemlerinin en az taşıma gücü problemleri kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, temel genişliği büyük olduğu zaman oturma genellikle yüzeysel temellerin tasarımına hâkim olmakta ve taşıma gücü analizi ikinci planda kalmaktadır [3].

Temellerin tasarımı belirli oturma şartlarını karşılamalıdır. Eş. 2.26'da görüldüğü gibi toplam oturma (δ), izin verilebilir toplam oturmaya (δ_a) eşit veya daha küçük

olmalıdır. Farklı oturma açısından bakacak olursak, Eş. 2.27’de verildiği gibi farklı oturma (δ_D), izin verilebilir farklı oturmaya (δ_{Da}) eşit veya daha küçük olmalıdır. Sonuç olarak, tasarım bu şartların ikisini de karşılamalıdır [3].

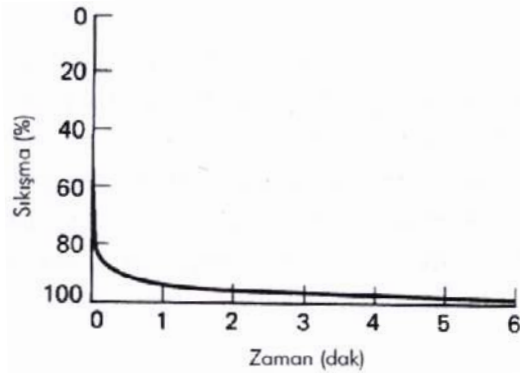
$$\delta \leq \delta_a \quad (2.26)$$

$$\delta_D \leq \delta_{Da} \quad (2.27)$$

Toplam oturma, yapının tüm temellerinde aynı olacak şekilde tasarlanır. Bu nedenle, teoride farklı oturma olmamalıdır. Ancak, gerçekte yine de farklı oturmalar oluşmaktadır. Bu farklı oturmalar; zemin profilindeki değişimler, yapısal yüklerdeki değişimler ve temelin yalnızca taşıma gücüne göre tasarlanması gibi sebeplerden dolayı meydana gelebilir [3]. Bu nedenle, toplam oturmaları (δ)(yanında farklı oturmalar (δ_D) ve açısal deformasyonlar (δ_D/L) da oldukça önemlidir [9].

Yapısal süreklilikleri sebebiyle, radye temellerde farklı oturmalarla daha az karşılaşılır. Farklı oturmalar meydana gelse bile, daha uzun bir mesafeye yayıldığı için daha az sorunludur. Ayrıca, farklı oturmalar radyenin yapısal rijitliği ile kontrol edildiği için, radye temellerdeki farklı oturmalar rasyonel analize daha uygundur [3].

Granüler zeminlerde deformasyon, oldukça yüksek permeabiliteye bağlı olarak çok kısa zamanda meydana gelmektedir. Suyun veya havanın gözeneklerden kaçması çok kolaydır. Pratikte karşılaşılan pek çok durumda kumlardaki sıkışma henüz inşaat devam ederken meydana gelir ve oturmaların çoğu inşaat bitimine kadar gerçekleşmiş olur. Ancak, bu hızlı işleminden dolayı, granüler zeminde çok küçük toplam oturmalar bile özellikle çabuk oturmaya duyarlı yapılarda zararlı olabilmektedir. Kumlar için zamana bağlı sıkışma ilişkisi Şekil 2.4’de görülmektedir [13].



Şekil 2.4. Tipik bir kum için sıkışma-zaman ilişkisi [13]

Zeminin değişik yükler altındaki davranışını öğrenmek amacıyla siltli ve killi zeminlere yapılan konsolidasyon deneyini, kumlu ve çakıllı zeminlerde yapmak çok zordur. Çünkü kumlu zeminler örselenmeye çok duyarlıdır ve numune örselenmesinin deney sonuçları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çakıllı zeminlerde ise, benzer örselenme sorunlarına ek olarak tane boylarının iri olması nedeniyle daha büyük numunelere ve daha geniş konsolidometreye ihtiyaç duyulmaktadır [3]. Kohezyonsuz zeminlerde oturmalar; standart penetrasyon deneyi (SPT), konik penetrasyon deneyi (CPT) ve presiyometre deneyi (PMT) gibi arazi deneyleri ile elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmaktadır.

Konik penetrasyon deneyi (CPT) sonuçlarından yararlanılarak yapılan Schmertmann (1978) yöntemi, kumlu zeminlerde yüzeysel temellerin oturmasını hesaplamak için geliştirilmiştir. Bu yöntemde, hesaplanan oturma değerinin gerçeğe yaklaşması için eşdeğer elastisite modülü (E_s) kullanılır. E_s tasarım değeri dolaylı olarak zemindeki yanıl deformasyonları da yansıtır. Schmertmann, E_s ile CPT sonuçlarından elde edilen uç direnci (q_c) arasında amprık bağıntılar geliştirmiştir. CPT derinliğe bağlı sürekli bir q_c grafiği verdiği için, analizde E_s derinliğin bir fonksiyonu olarak modellenir. Bu yöntem, yüzeysel temeller için geliştirilmiş olduğu için radye temellerde de kullanılabilir. Ancak, radye temellerin etki derinlikleri daha büyüktür. Bu sebeple bu derinliklerdeki eşdeğer modül değerleri de daha büyük değerler verir. Sonuç olarak, bu yöntemle yapılan radye temellerin oturma değerleri daha fazla çıkar [3].

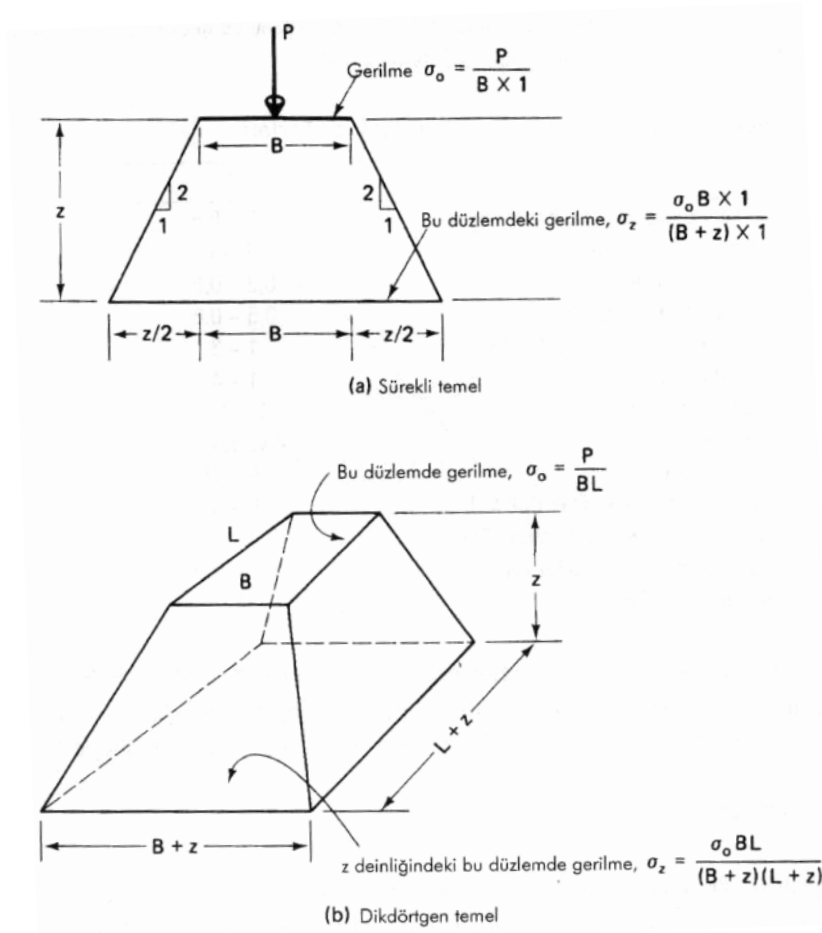
2.3. Temeller Altındaki Gerilme Dağılımı

Temel tasarımı yapılırken zemindeki gerilmelerle ilgili bilgilere ihtiyaç duyulur. Zemindeki gerilmeler, zemin kütlesi üzerine doğrudan etkiyen yerçekimi kuvveti ve temeller gibi dış yükler sebebiyle oluşur. Zeminde normal gerilme (σ) ve kayma gerilmesinin (τ) her ikisi de bulunabilir. Kendi kütlesi sebebiyle zemin içerisinde oluşan geostatik düşey toplam gerilme (σ_z) Eş. 2.28'deki gibi hesaplanır [3].

$$\sigma_z = \Sigma \gamma H \quad (2.28)$$

Herhangi bir dış yük etkidiği zaman zemin içindeki gerilmelerde, yükün etkidiği alanın altında daha fazla olacak şekilde değişimler meydana gelir. Bu gerilme değişimlerinin şiddetinin ve dağılımının bilinmesi temellerin projelendirilmesi bakımından gereklidir. Zira bu bilgilere dayanılarak oturmalar hesaplanır [9].

Yükleme yapılan bir alanda derinliğe bağlı olarak gerilme dağılımını hesaplamada kullanılan en basit yöntemlerden biri 2'ye 1 (2:1) yöntemidir. Bu yöntem, üzerine yük etkiyen alanın derinlikle birlikte sistematik olarak genişlediği varsayımına dayalı amprik bir yaklaşımdır. Aynı düşey yük giderek genişleyen alana dağılacağı için birim gerilme Şekil 2.5'te görüldüğü gibi azalacaktır [13].



Şekil 2.5. Düşey gerilmenin derinliğe bağlı değişiminde 2:1 yaklaşımı [8]

z derinliğinde temel alanı her bir tarafta $z/2$ kadar genişlemiştir. O halde z derinliğindeki genişlik $B+z$ ve bu derinlikteki gerilme Eş. 2.29'daki gibidir (bağıntıdaki σ_0 yüzey veya temas gerilmesidir) [13].

$$\sigma_z = \frac{\text{yük}}{(B+z) \times 1} = \frac{\sigma_0 (B \times 1)}{(B+z) \times 1} \quad (2.29)$$

Benzerlik kuralına göre, genişliği B ve uzunluğu L olan bir sölmin z derinliğindeki alanı Şekil 2.5'te görüldüğü gibi $(B+z)(L+z)$ 'ye eşittir. z derinliğindeki gerilme Eş. 2.30'daki gibidir [13].

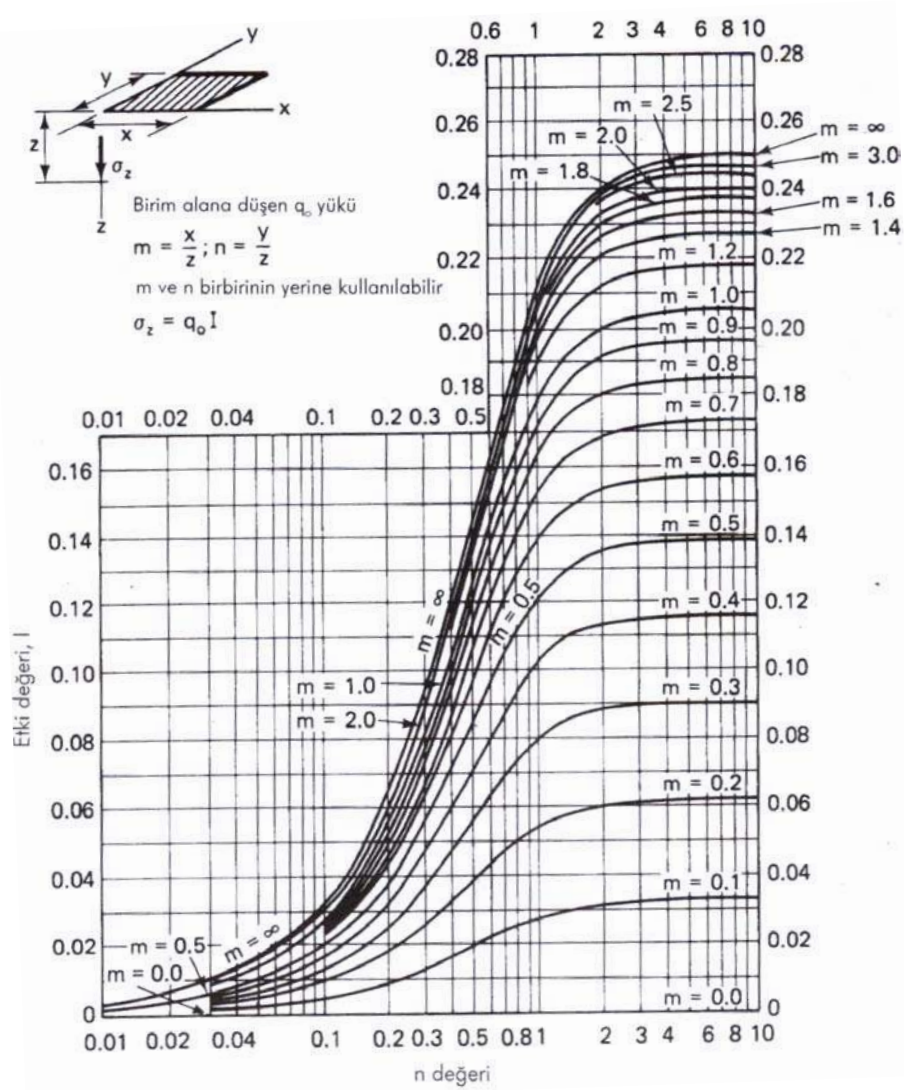
$$\Delta\sigma_z = \frac{yük}{(B+z)(L+z)} = \frac{\sigma_0(BL)}{(B+z)(L+z)} \quad (2.30)$$

Zemin kütlesi içindeki gerilmelerin, temel mühendisleri tarafından hesaplanmasında elastisite teorisi kullanılmaktadır. Teorinin kullanılabilmesi için zeminin, en azından düşey gerilmelerin hesabında, elastik olma şartı yoktur. Sadece gerilmelerin birim deformasyona oranı sabit olmalıdır. İlave edilen gerilmeler, yenilme değerinin altında olduğu sürece birim deformasyonlar ile gerilmeler yaklaşık olarak orantılı olacaktır [13].

Zemin içindeki tabakalarda meydana gelen gerilme artışları, çok defa yapı ağırlığının sebep olduğu temel taban basınçlarından doğar. Zemin içindeki noktalarda basınç artışları hesaplanırken, temele etkileyen tesirlerden doğan taban basıncının üniform veya lineer olarak değiştiği kabul edilir. Temel taban basınçları sebebiyle zemin içinde oluşan basınçların hesabında zemin için, yarı sonsuz homojen (noktadan noktaya özellikler aynı), izotrop (bir noktadan geçen bütün doğrultularda özellikler aynı) ve elastik varsayımı yapılır. Hooke kanunu geçerlidir [9]. Temel üzerine etkileyen nokta kuvvet tesiri için, Boussinesq formülünde düşey gerilme Eş. 2.31’de verilmiştir [13].

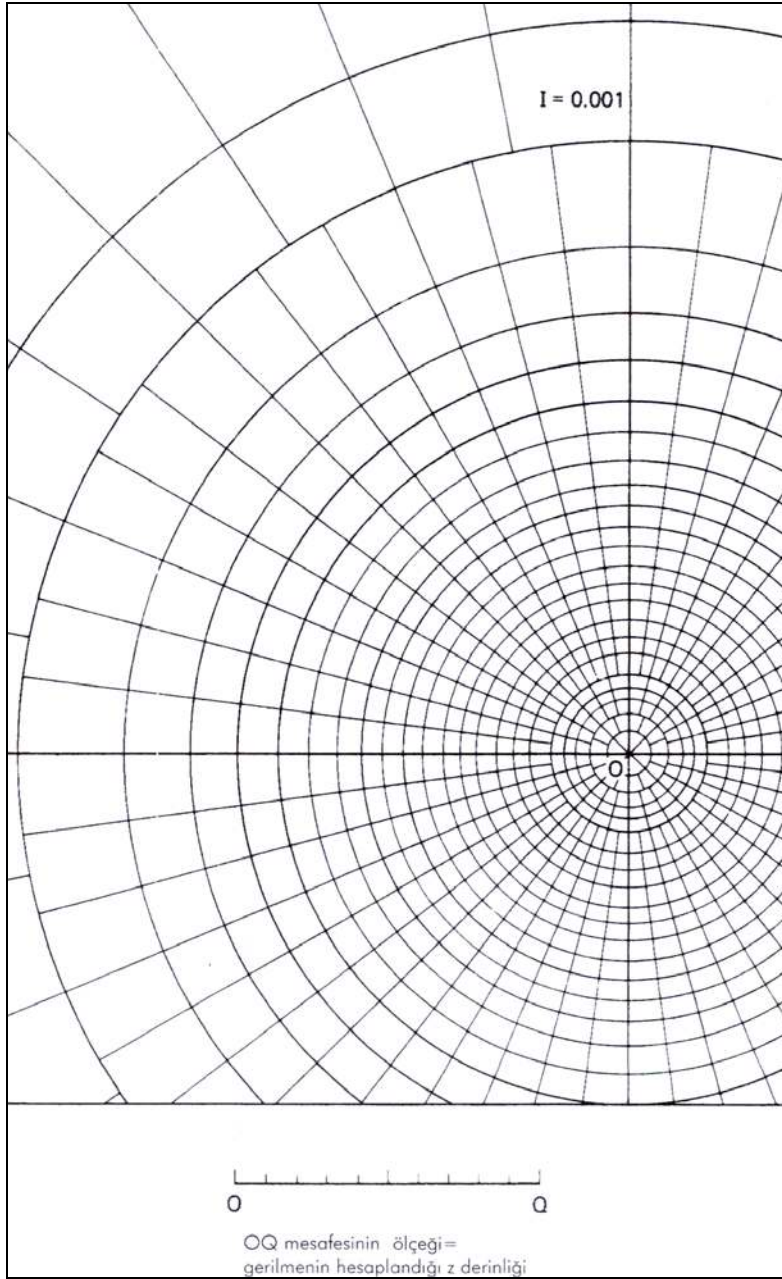
$$\sigma_z = q_0 I \quad (2.31)$$

İstenilen derinlikteki düşey basıncı elde etmek için, Şekil 2.6’da verilmiş olan m ve n değerleri hesaplanır ve yine aynı şekildeki abaktan I değeri okunur. Son olarak Eş 2.31’deki bağıntı kullanılarak üniform şekilde yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme elde edilir.



Şekil 2.6. Üniform yüklenmiş dikdörtgen alanın köşesi altındaki düşey gerilme için etki değeri [13]

Bu çalışmada irdelenen düzensiz şekilli temellerin olduğu durumlarda, yüklenen alanın içindeki veya dışındaki değişik noktalarda düşey gerilmeleri hesaplama ihtiyacı doğabilmektedir. Newmark (1942) düşey gerilmelerin (hatta yatay ve kesme gerilmelerinin) hesaplanmasına imkân veren etki abakları geliştirmiştir. Şekil 2.7’de görülen abak Newmark tarafından Boussinesq teorisine göre hazırlanmıştır. Abaktaki her bir dörtgen aynı yüzey alanına sahiptir (abaktaki şekil, ortası O noktası olan ve dışa doğru yükselen bir çukur olarak düşünülmeli) [13].



Şekil 2.7. Yatay düzlemler üzerindeki düşey gerilme için etki grafiği (Newmark, 1942) [13]

Her boyuttaki temel için kullanılabilen abaklar derinliğe göre ölçeklendirilmiştir. Abaktaki OQ çizgisi, zemin yüzeyinden düşey gerilme σ_v 'nin hesaplanacağı z derinliğine olan mesafeyi temsil eder ve ayrıca yüklenen alanın çizilmesinde ölçek olarak kullanılır. Yüklenen alanın ölçekli olarak ve düşey gerilmenin hesaplanacağı nokta, abağın merkezine gelecek şekilde çizilip, temelin içerisinde kalan dörtgenlerin

sayılması ile düşey gerilme hesaplanır. İstenilen derinlikteki düşey gerilmeyi bulmak için, alanların sayısı abak üzerinde belirtilen etki değeri (I) ve temas basıncı ile çarpılır [13].

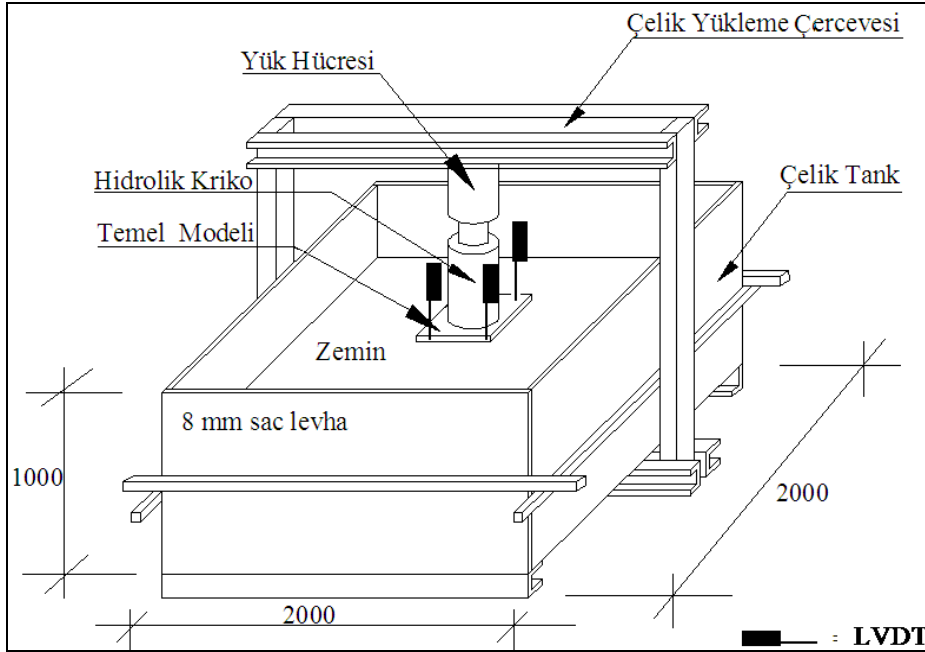
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Düzenegi

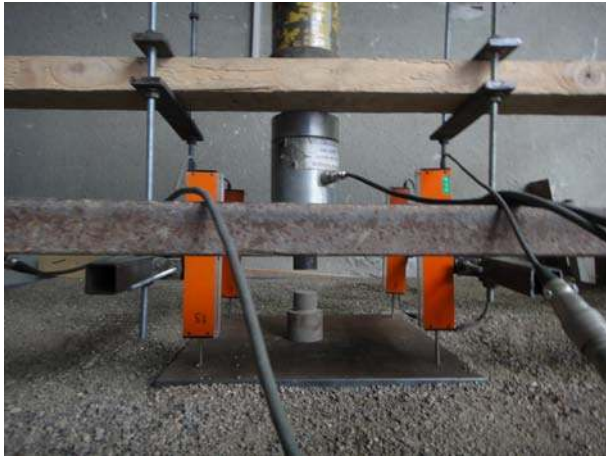
Farklı şekillerdeki temeller üzerinde eksenel yükleme deneyleri, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, 8 mm kalınlığında çelik sac levhalar kullanılarak önceden özel olarak üretilen, 2,00 x 2,00 x 1,00 m boyutlarında bir tank içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde temeller kum yüzeyinde yer almıştır ($D=0$). Oluşturulan kapalı çerçeve üzerine yerleştirilen ve 300 kN basınç uygulayabilen bir hidrolik krik ve hidrolik pompa ile yükleme uygulanmıştır. Yükleme, temel plakalarının ağırlık merkezlerine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır. Uygulanan yükleme 225 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür.

Testlerde, deney elemanlarına yüklemenin uygulanabilmesi amacıyla, kapalı bir yükleme çerçevesinden faydalanılmıştır. Bu yükleme çerçevesi 140 x 140 x 4 mm boyutlarındaki NPU çelik profillerinden üretilmiştir (Şekil 3.1).

Deney ve ölçüm düzeneği Şekil 3.1’de verilmiştir. Resim 3.1’de ise laboratuvar ortamında deneyler esnasında çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir. Deneyler ile ilgili diğer fotoğraflar ise EK-1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Model yükleme deneylerinde kullanılan deney tankı [8]



Resim 3.1. Deney düzeneğini gösteren bir fotoğraf

Test edilen temellerin oturma değerlerini ölçmek amacıyla dört adet düşey deformasyon Elektronik Doğrusal Deplasman Ölçer (LDVT: Linear Variable Displacement Transducer) kullanılmıştır. Kullanılan bu LVDT'ler elemanın sağ ön, sağ arka, sol ön ve sol arka deformasyonlarını bir veri kaydedici (data logger) yardımıyla bilgisayar ortamına aktarmıştır (Resim 3.2). Deney sonuçlarının daha verimli yorumlanabilmesi amacıyla, her deney için kaydedilen dört ayrı LVDT ölçümü ortalamasının yük-oturma grafiği de çizdirilmiştir.



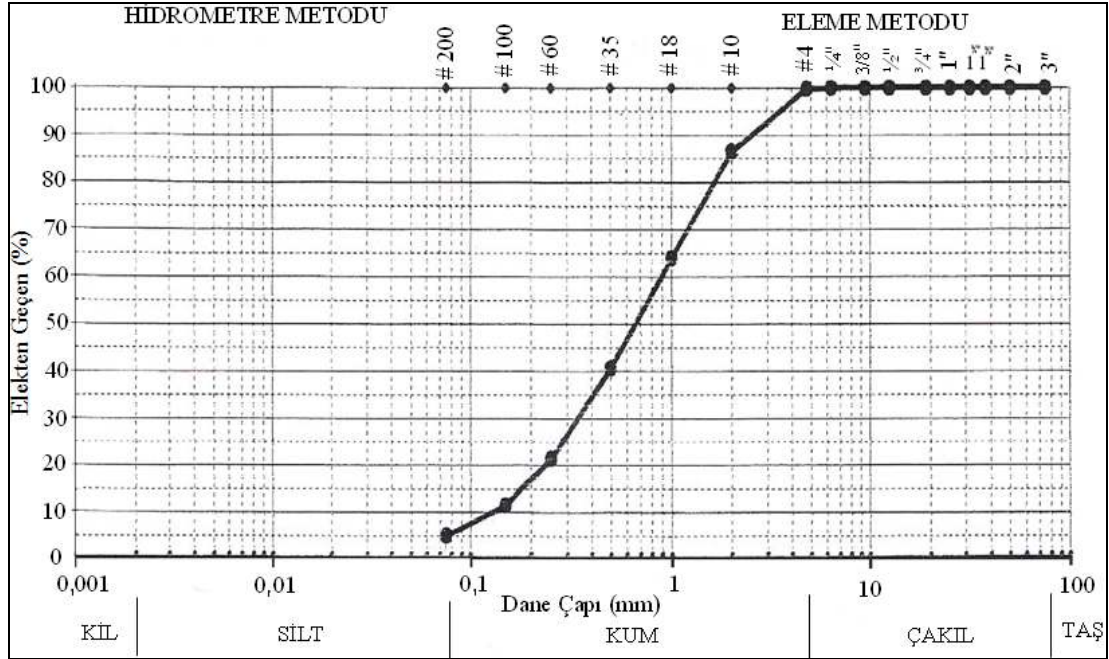
Resim 3.2. LVDT ölçümlerini kaydeden bilgisayar

3.2. Zemin Özellikleri

Deneyleerde kullanılan ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre iyi derecelenmiş kum (SW) olarak sınıflandırılan kum; özgül ağırlık, en yüksek ve en düşük yoğunluk ile tane dağılımı belirlenerek karakterize edilmiştir. Birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı, özgül ağırlık değerleri laboratuvar ortamında yapılan testler ile TS 1900-1, ASTM C29 ve TS 3529 standartlarına göre bulunmuştur. Deneyleerde kullanılan kumun granülometrik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Ayrıca, granülometri eğrisinin çizilmesi amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan kumun granülometrik özellikleri

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
G_s	Mg/m ³	2,71
ρ_{min}	Mg/m ³	1,55
ρ_{max}	Mg/m ³	1,82
e_{min}	-	0,48
e_{max}	-	0,75
D_{10} (mm)	mm	0,12
D_{50} (mm)	mm	0,62
C_c	-	1,00
C_u	-	7,50
İnce Malzeme Oranı	%	4,90



Şekil 3.2. Elek analizi sonucu elde edilen granülometri eğrisi

Rölatif sıkılığı, $D_r = \%55$ olan kum numuneleri üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerine göre, kumun efektif içsel sürtünme açısı $\phi = 39^\circ$ olarak belirlenmiştir. Söz konusu deneylerde normal gerilme 95 ile 500 kPa aralığında değişmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan zemin malzemesi, çelik tankın içerisine kontrollü biçimde doldurulmuştur. Sıkılık derecesi $D_r = \%55$ yani birim hacim ağırlığı $\gamma = 16,8 \text{ kN/m}^3$ olacak şekilde yerleştirilmiştir. Temellerin yerleştirildiği kum yüzeyi mala yardımıyla düzeltildikten sonra deney yapılacak temel, kum üzerine yerleştirilmiştir. Deneyin yapıldığı eleman kaldırıldıktan sonra çelik tankın içerisindeki kum tatmin edici bir derinliğe kadar kazılarak harmanlanmış ve sonraki deneyler için tekrar eski haline getirilmiştir (Resim 3.3). Bu işlem her deneyin ardından tekrarlanmıştır. Bahsedilen bu işlemin yapılmasının nedeni, yükleme etkisi ile kum zemine oturan temellerin mevcut zemini sıkıştırması nedeniyle kumun sıkılık değerinin değişmiş olmasıdır. Her deneyden sonraki bu karıştırma sayesinde deneyler, yaklaşık standart sıkılığa sahip olan bir kum zemin üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.3. Kum tankın harmanlanması

3.3. Temeller

Deney elemanı olarak, temelleri temsil eden farklı şekillere sahip 6 adet çelik levha hazırlanmıştır. St37 yapı çeliğinden imal edilen bu levhaların kalınlıkları 15 mm'dir. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan levhaların zemine oturtulacak yüzlerine elektronik zımpara makinesi ile belli aralıklarla izler yapılmış ve yapay biçimde pürüzlü hale getirilmiştir (Resim 3.4). Bu uygulama, imal edilen yapı temelleri ile temelin oturduğu zeminin arasındaki sürtünmenin deney ortamına taşınabilmesi amacıyla yapılmıştır.

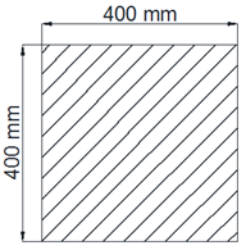
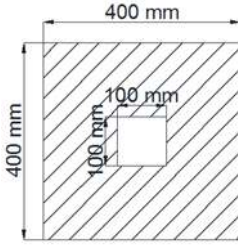
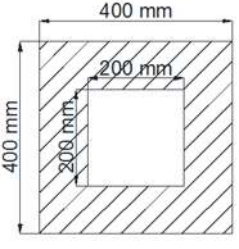
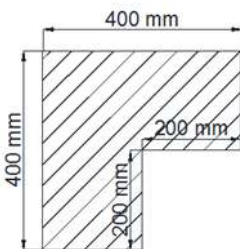
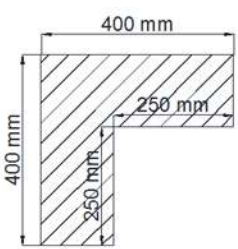
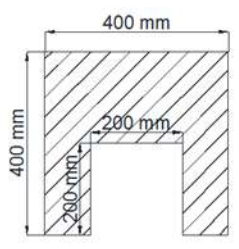


Resim 3.4. Kare deney elemanın pürüzlü yüzeyi

Deneylerde kontrol elemanı olarak $B=400$ mm ve $L=400$ mm boyutlarında bir kare temel kullanılmıştır. Deneysel programda; iki adet ortası boşluklu kare, iki adet L ve bir adet de U şekilli temel kullanılmıştır. Mimari olarak üst yapının farklı şekilde

olması sebebiyle temeller de farklı şekillerde imal edilebilmektedir. Bu sebeple farklı geometri ve şekillerdeki temellerin oturma davranışı oldukça önemlidir. Ayrıca, yapı temellerinin oturduğu zeminde, temellerin şekillerine bağlı olarak meydana gelen farklı gerilme dağılımları incelenmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, yapılan deneylerin esas değişkeni temel şekilleridir. Deneylerde kullanılan farklı şekillerdeki elemanların detaylı ölçüleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan temellerin şekil ve boyutları

Deney Elemanı	1	2	3
Şekil			
Deney Elemanı	4	5	6
Şekil			

Deney Elemanı 1: Deneyde kontrol elemanı olarak, $B=400$ mm ve $L=400$ mm boyutlarında kare temel seçilmiştir (Çizelge 3.2).

Deney Elemanı 2: Ortası küçük boşluklu kare temel deneylerde kullanılan ikinci elemandır. Söz konusu boşluk çelik levhanın tam ortasında yer almaktadır. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi temelin dıştan dışa ölçüleri $B=400$ mm ve $L=400$ mm’dir. Boşluk boyutları ise 100×100 mm’dir.

Deney Elemanı 3: Ortası büyük boşluklu kare temel deneylerde kullanılan üçüncü elemandır. Söz konusu boşluk çelik levhanın tam ortasında yer almaktadır. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi temelin dıştan dışa ölçüleri $B=400$ mm ve $L=400$ mm’dir. Boşluk boyutları ise 200×200 mm’dir.

Deney Elemanı 4: Küçük boşluklu “L” şeklindeki temel, deneylerde kullanılan dördüncü elemandır ve “Büyük L temel” olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi temelin dıştan dışa ölçüleri $B=400$ mm ve $L=400$ mm’dir. Boşluk boyutları ise 200×200 mm’dir.

Deney Elemanı 5: Büyük boşluklu “L” şeklindeki temel deneylerde kullanılan beşinci elemandır ve “Küçük L temel” olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi temelin dıştan dışa ölçüleri $B=400$ mm ve $L=400$ mm’dir. Boşluk boyutları ise 250×250 mm’dir.

Deney Elemanı 6: “U” şeklindeki temel deneylerde kullanılan altıncı elemandır. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi temelin dıştan dışa ölçüleri $B=400$ mm ve $L=400$ mm’dir. Boşluk boyutları ise 200×200 mm’dir.

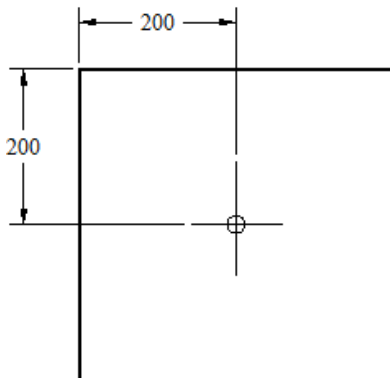
4. DENEYLER

4.1. Deney Elemanı 1

Deneyisel programda kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. Kare şeklindeki bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,16$ m²'dir. Hidrolik krika yardımı ile elemanın ağırlık merkezine ve aksel olarak etkitilen (Resim 4.1 ve Şekil 4.1) yük, deney elemanının yaptığı deplasman en az genişliğinin %10'una ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar uygulanmıştır.

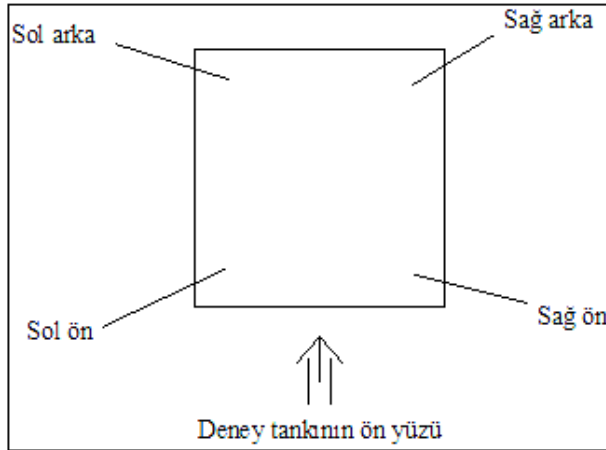


Resim 4.1. Deney elemanı 1'e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

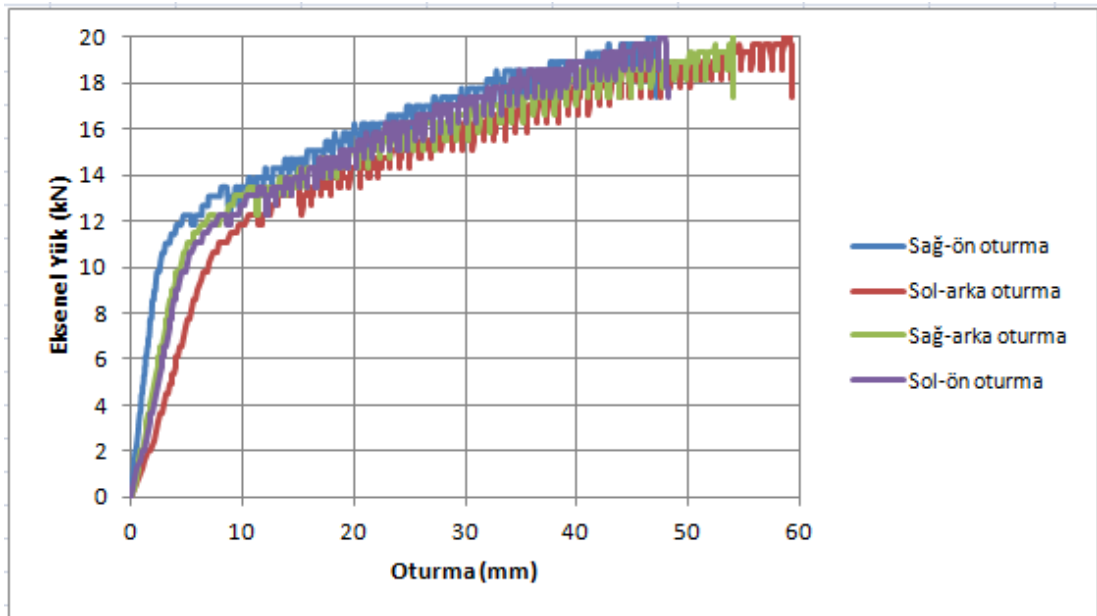


Şekil 4.1. Deney elemanı 1'in ağırlık merkezi

Deney elemanı 1'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.2'de ve bu LDVT'lerden alınan eksenel yük ve oturma değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Deney elemanının dört köşesinden alınan oturma değerleri birbirlerine oldukça yakın değerler vermiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Deney elemanı 1'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.3. Deney elemanı 1'e ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 1 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ile ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı düşünülen oturma değerinde

($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ölçülen yük Çizelge 4.1’de verilmiştir. İdeal durumda, dört köşeden alınan oturma değerlerinin birbirlerine eşit olarak ölçülmesi gerekmektedir. Burada alınan ölçümlerin birebir eşit çıkmamasının nedeni, oturma ölçümü almak için kullanılan LDVT aletlerinin, elemanın köşelerinin aynı noktalarına milimetrik hassasiyetle konulamaması ve temelin oturduğu zemin yüzeyinin sıklığının her yerde aynı olmamasıdır.

Çizelge 4.1. Deney elemanı 1’in maksimum yük ve oturma değerleri

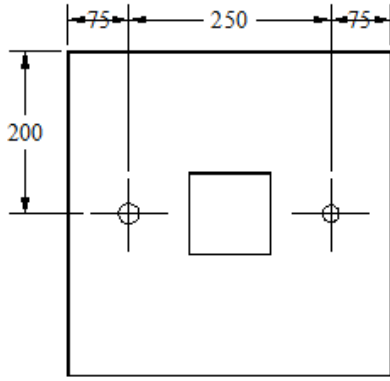
Kare Temel	
Maksimum Yük (kN)	20,05
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	18,77
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	47,22
Sağ arka oturma (mm)	54,04
Sol ön oturma (mm)	48,21
Sol arka oturma (mm)	59,42
Ortalama oturma (mm)	52,23

4.2. Deney Elemanı 2

İkinci deney elemanı olarak test edilen bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,15$ m²’dir. Elemanın tam ortasında 100×100 mm boyutlarında boşluk bulunmaktadır. Temelin ortasının boş olması nedeniyle, yükleme yapılabilmesi için çelik bir çubuktan faydalanılmıştır. Bu çelik çubuk elemanın orta noktasına yerleştirilmiş ve daha sonra yükleme yapılmıştır (Resim 4.2). Çelik çubuğun deney elemanına etki noktaları Şekil 4.4’de görülmektedir. Deney elemanının deplasmanı, en az genişliğinin $\%10$ ’una ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar yük uygulanmıştır.

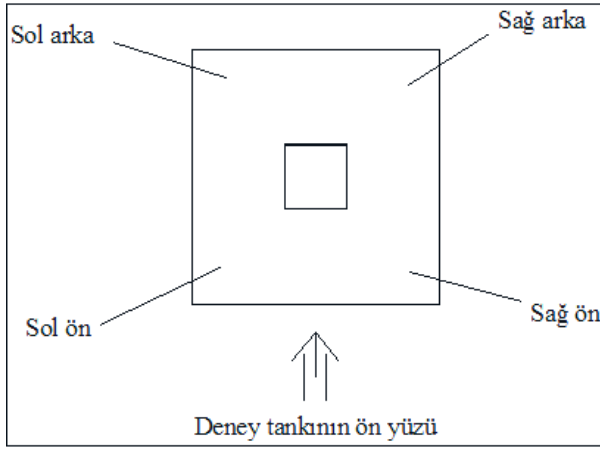


Resim 4.2. Deney elemanı 2'ye yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

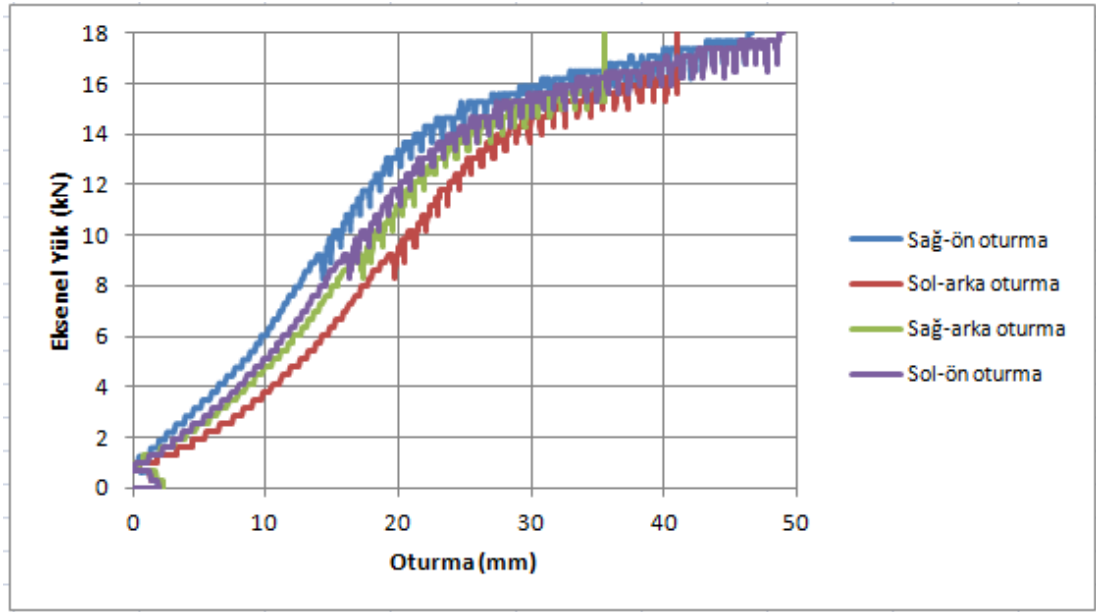


Şekil 4.4. Deney elemanı 2'ye yüklemenin uygulandığı noktalar

Deney elemanı 2'nin köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.5'te ve bu LDVT'lerden alınan eksenel yük ve oturma değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Deney elemanının dört köşesinden alınan yük-oturma grafiklerinin genel davranışları birbirleri ile uyumlu değerler vermektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Deney elemanı 2'nin köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.6. Deney elemanı 2'ye ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 2 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ile ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı düşünülen oturma değerinde ($s \approx 10B \approx 40$ mm) ölçülen yük Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deney elemanı 2'nin maksimum yük ve oturma değerleri

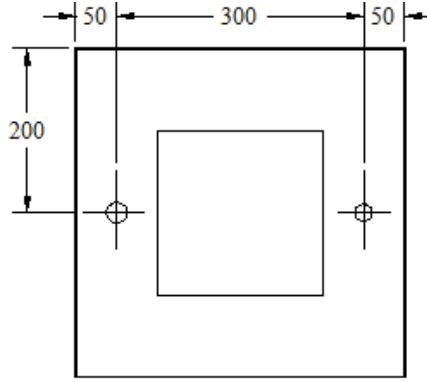
Küçük Boşluklu Kare Temel	
Maksimum Yük (kN)	17,99
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	17,29
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	46,63
Sol arka oturma (mm)	40,90
Sağ arka oturma (mm)	35,47
Sol ön oturma (mm)	48,93
Ortalama oturma (mm)	42,98

4.3. Deney Elemanı 3

Üçüncü deney elemanı olarak test edilen bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,12$ m²'dir. Elemanın tam ortasında 200×200 mm boyutlarında boşluk bulunmaktadır. Temelin ortasının boş olması nedeniyle, yükleme yapılabilmesi için çelik bir çubuktan faydalanılmıştır. Bu çelik çubuk elemanın orta noktasına yerleştirilmiş ve daha sonra yükleme uygulanmıştır (Resim 4.3). Çelik çubuğun deney elemanına etki noktaları Şekil 4.7'de görülmektedir. Deney elemanının deplasmanı, en az genişliğinin %10'una ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar yük uygulanmıştır.

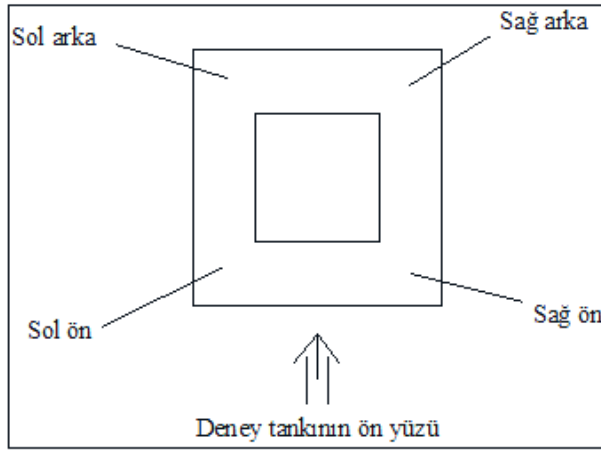


Resim 4.3. Deney elemanı 3'e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

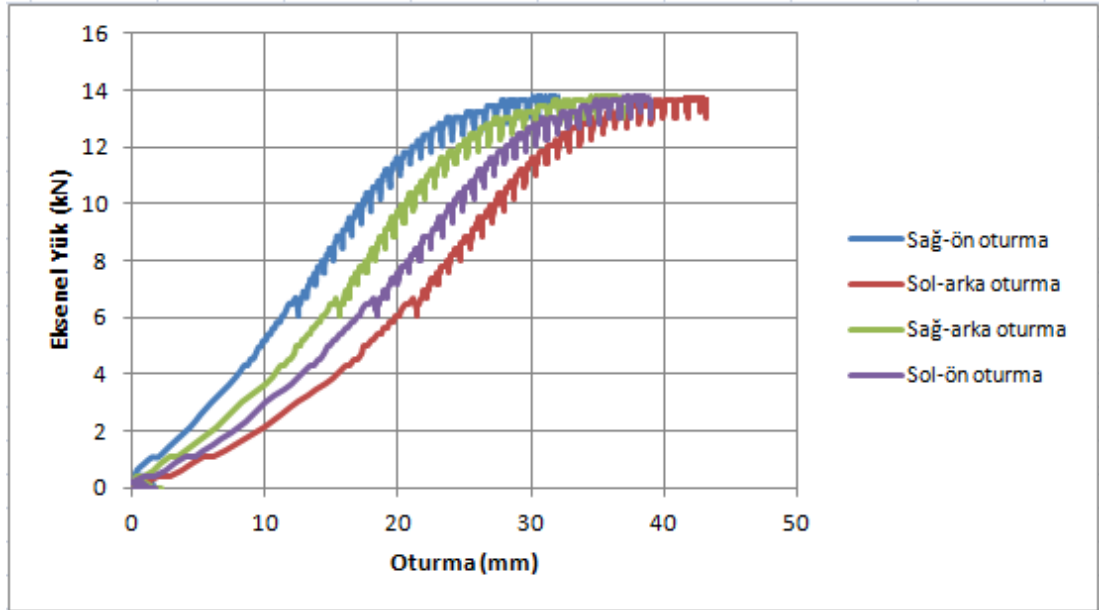


Şekil 4.7. Deney elemanı 3'e yüklemenin uygulandığı noktalar

Deney elemanı 3'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.8'de ve bu LDVT'lerden alınan aksenal yük ve oturma değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Deney elemanı 3'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.9. Deney elemanı 3'e ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 3 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ile ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı kabul edilen oturma değerinde ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ölçülen yük Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney elemanı 3'ün maksimum yük ve oturma değerleri

Büyük Boşluklu Kare Temel	
Maksimum Yük (kN)	13,80
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	13,80
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	32,23
Sol arka oturma (mm)	43,22
Sağ arka oturma (mm)	36,94
Sol ön oturma (mm)	39,08
Ortalama oturma (mm)	37,87

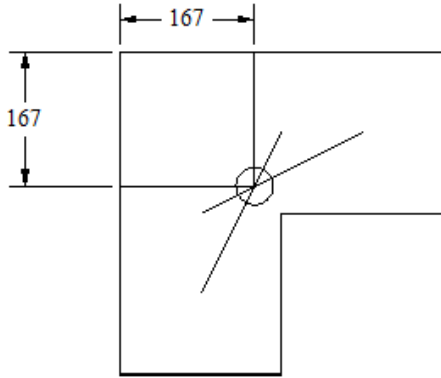
4.4. Deney Elemanı 4

Dördüncü deney elemanı olarak test edilen bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,12$ m²'dir. Deney elemanı L şeklinde olup boşluk boyutları 200 x 200 mm'dir. Hidrolik kriko yardımı ile elemanın ağırlık merkezine

ve aksenal olarak etkitilen (Resim 4.4 ve Şekil 4.10) yük, deney elemanının deplasmanı, en az genişliğinin %10'una ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar uygulanmıştır.

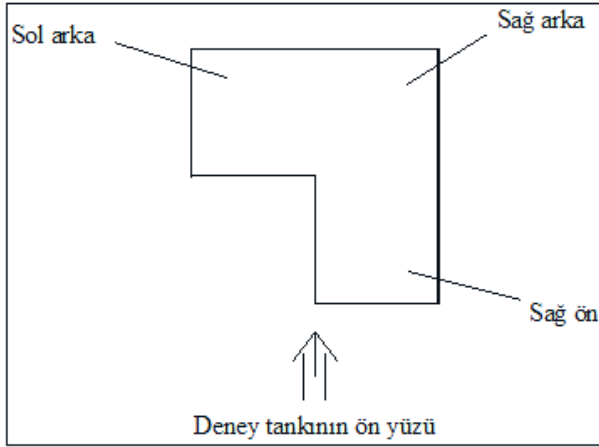


Resim 4.4. Deney elemanı 4'e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

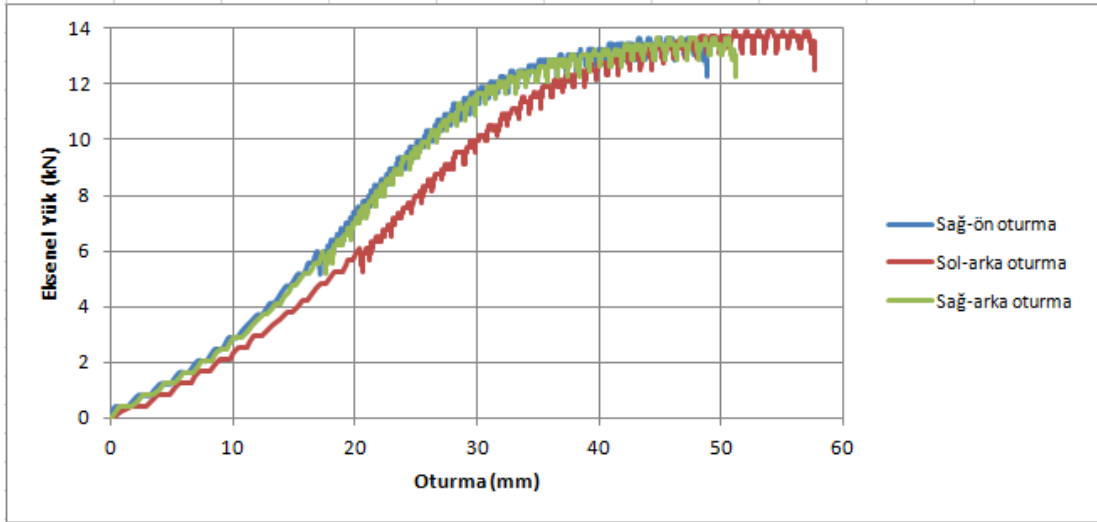


Şekil 4.10. Deney elemanı 4'ün ağırlık merkezi

Deney elemanı 4'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.11'de ve bu LDVT'lerden alınan aksenal yük ve oturma değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Deney elemanının üç köşesinden alınan oturma değerleri birbirlerine yakın değerler vermiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. Deney elemanı 4'ün köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.12. Deney elemanı 4'e ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 4 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ve ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı kabul edilen oturma değerinde ($\approx 10B \approx 40$ mm) ölçülen yük Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deney elemanı 4'ün maksimum yük ve oturma değerleri

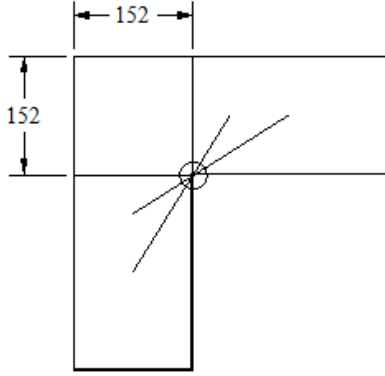
Büyük L Temel	
Maksimum Yük (kN)	13,92
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	12,90
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	48,87
Sol arka oturma (mm)	57,76
Sağ arka oturma (mm)	51,21
Ortalama oturma (mm)	52,61

4.5. Deney Elemanı 5

Dördüncü deney elemanı olarak kullanılan bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,0975$ m²'dir. Deney elemanı L şeklinde olup boşluk boyutları 250 x 250 mm'dir. Hidrolik krik o yardımı ile elemanın ağırlık merkezine ve eksenel olarak etkitilen (Resim 4.5 ve Şekil 4.13) yük, deney elemanının deplasmanı, en az genişliğinin %10'una ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar uygulanmıştır.

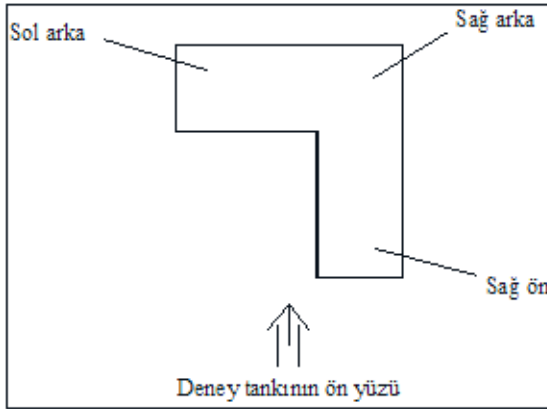


Resim 4.5. Deney elemanı 5'e yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

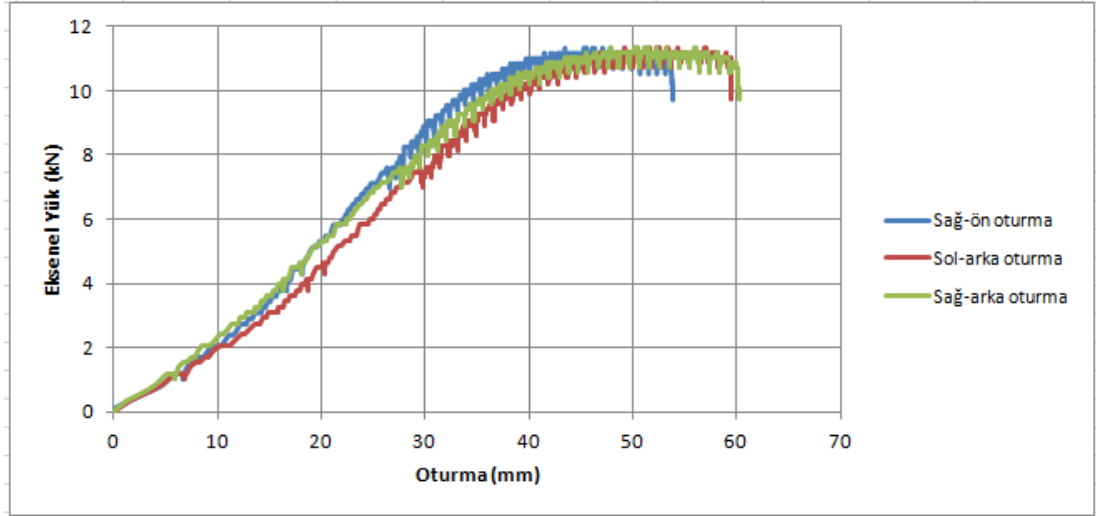


Şekil 4.13. Deney elemanı 5'in ağırlık merkezi

Deney elemanı 5'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.14'de ve bu LDVT'lerden alınan aksenal yük ve oturma değerleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Deney elemanının üç köşesinden alınan yük-oturma grafikleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Deney elemanı 5'in köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.15. Deney elemanı 5'e ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 5 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ve ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı kabul edilen oturma değerinde ($s \approx 10B \approx 40$ mm) ölçülen yük Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney elemanı 5'in maksimum yük ve oturma değerleri

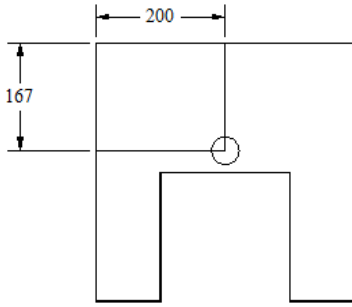
Küçük L Temel	
Maksimum Yük (kN)	11,36
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	10,24
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	53,83
Sol arka oturma (mm)	59,48
Sağ arka oturma (mm)	60,23
Ortalama oturma (mm)	57,85

4.6. Deney Elemanı 6

Altıncı deney elemanı olarak test edilen bu elemanın boyutları $B=400$ mm ve $L=400$ mm yüzey alanı ise $A=0,12$ m²'dir. Elemanın düzgün U şeklinde olup boşluk boyutları 200×200 mm'dir. Hidrolik kriko yardımı ile elemanın ağırlık merkezine ve eksenel olarak etkitilen (Resim 4.6 ve Şekil 4.16) yük, deney elemanının taşıma gücüne ulaştığı oturma değerine kadar uygulanmıştır.

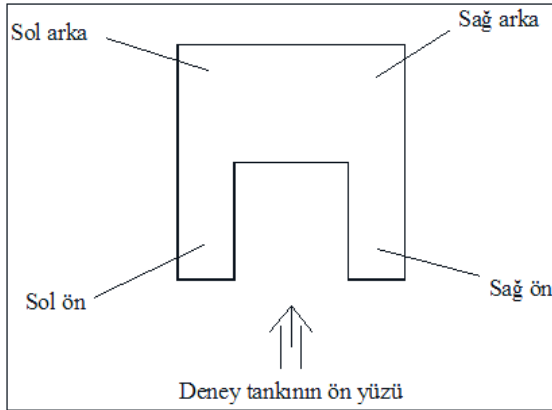


Resim 4.6. Deney elemanı 6'ya yapılan yüklemenin sona ermesinden sonra çekilmiş bir fotoğraf

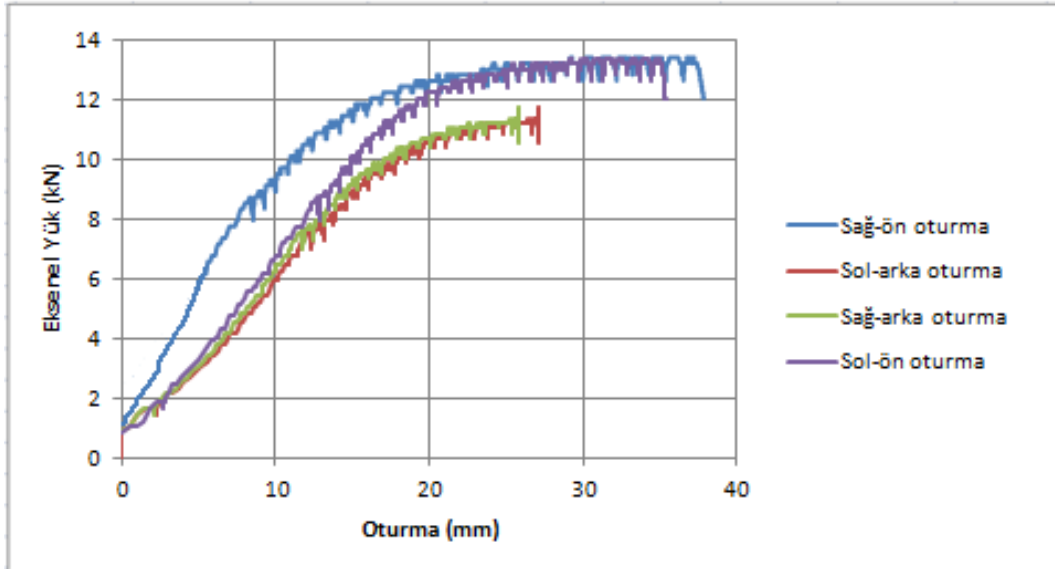


Şekil 4.16. Deney elemanı 6'nın ağırlık merkezi

Deney elemanı 6'nın köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler Şekil 4.17'de ve bu LDVT'lerden alınan eksenel yük ve oturma değerleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Deney elemanının dört köşesinden alınan yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında, boşluğun bulunduğu yerdeki köşelerde (sağ-ön ve sol-ön) ölçülen oturma değerlerinin daha az olduğu görülmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.17. Deney elemanı 6'nın köşelerine yerleştirilen LDVT'leri temsil eden isimler



Şekil 4.18. Deney elemanı 6'ya ait oturma-eksenel yük grafikleri

Deney elemanı 6 için uygulanan maksimum yük, ölçüm alınan dört ayrı oturma ile ortalama oturma değerleri ve taşıma gücüne ulaşıldığı düşünülen oturma değerinde (≈ 30 mm) ölçülen yük Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Deney elemanı 6'nın maksimum yük ve oturma değerleri

U Temel	
Maksimum Yük (kN)	13,42
Taşıma Gücü Değerindeki Yük (kN)	13,42
Açıklama	Maks. Oturma
Sağ ön oturma (mm)	35,90
Sol arka oturma (mm)	26,17
Sağ arka oturma (mm)	25,81
Sol ön oturma (mm)	35,38
Ortalama oturma (mm)	30,80

4.7. Deney Sonuçları

Deneylerde test edilen elemanların oturma değerinin 10 mm, 25 mm ve 40 mm'ye ulaştığı andaki ortalama gerilme değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu çalışmada deneysel olarak ölçülen taşıma gücü, temel genişliğinin %10'una eşit bir oturma ($s \approx \%10B \approx 40$ mm) meydana getiren yük kullanılarak hesaplanan gerilme olarak tanımlanmıştır. Genel olarak, 40 mm oturma değerinde elde edilen gerilmelerin birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Verilen bu gerilme değerleri incelendiğinde, en fazla gerilme referans elemanı olan ve en büyük yüzey alanına sahip Kare (Deney elemanı 1) temelde meydana gelmiştir. En az yüzey alanına sahip olan Küçük L (Deney elemanı 5) temel en kötü taşıma gücü performansı sergilemiş ve diğer temellere oranla daha düşük bir gerilme değerinde oturma değeri 40 mm'ye ulaşmıştır. Kare temelin taşıma gücü, Küçük L temelin taşıma gücünden yaklaşık %12 daha fazla ölçülmüştür (Çizelge 4.7).

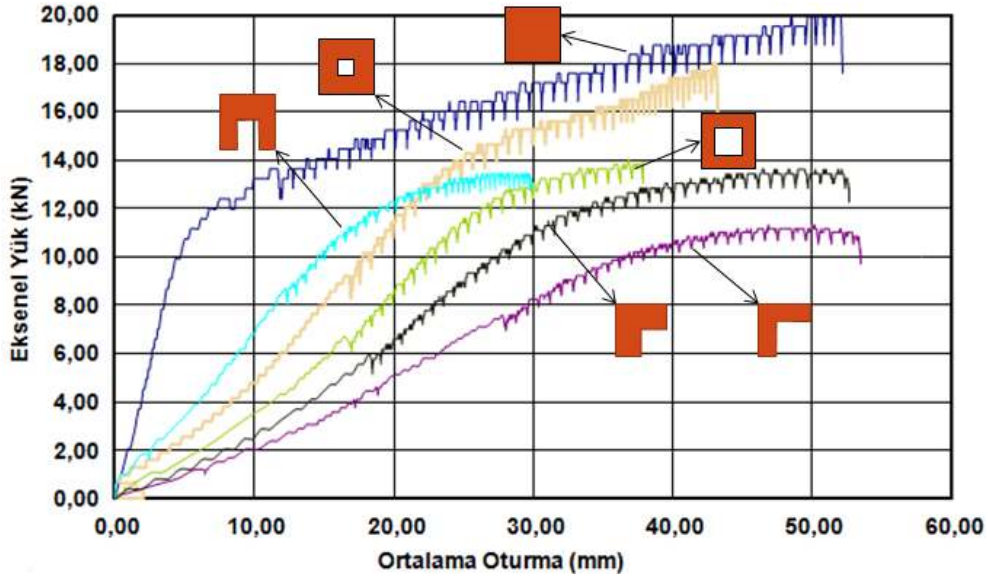
Çizelge 4.7. Oturmanın 10 mm, 25 mm ve 40 mm olduğu andaki ortalama gerilmeler

Temel Şekli	Alan (m ²)	10 mm'deki Gerilme (kPa)	25 mm'deki Gerilme (kPa)	40 mm'deki Gerilme (kPa)
Kare	0,16	82,75	102,72	117,31
Küçük Boşluklu Kare	0,15	31,85	95,47	115,27
Büyük Boşluklu Kare	0,12	27,96	93,00	115,00
Büyük L	0,12	21,23	69,82	108,25
Küçük L	0,0975	20,58	71,42	105,03
U	0,12	56,67	110,10	111,69

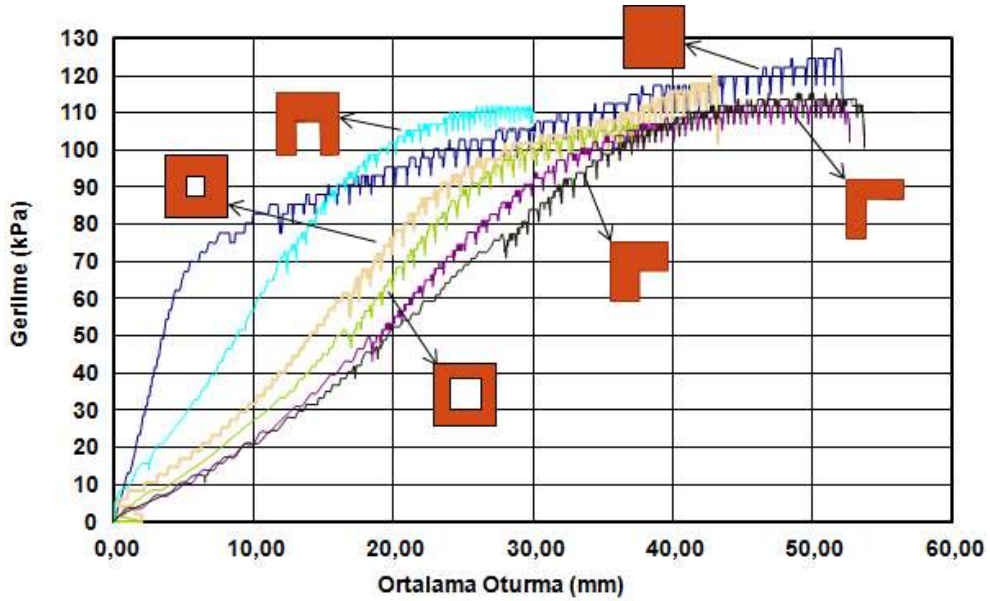
Yüzey alanları eşit olan Büyük Boşluklu Kare (Deney elemanı 3), Büyük L (Deney elemanı 4) ve U temelin (Deney elemanı 6) gerilme performansları incelendiğinde; temeldeki boşluğun, simetri eksenlerinin kesişimin bölgesinde olduğu Büyük Boşluklu Kare temelin performansı, boşluğun yerinin yalnızca bir simetri eksenini üzerinde olduğu U temelin performansından yaklaşık %3, boşluğun yerinin temelin köşesinde yer aldığı Büyük L temelin performansından ise yaklaşık %6 daha iyi olduğu görülmektedir. Boşluğun yerinin yalnızca bir simetri eksenini üzerinde olduğu U temelin performansı, boşluğun hiçbir simetri eksenini üzerinde yer almadığı Büyük L temelin performansından yaklaşık %3 daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bahsi geçen bu temellerin 40 mm'ye ulaştığı oturma anındaki gerilme değerlerinin yakın çıkması, temeldeki boşluğun yerinin taşıma gücü performansına etkisinin az olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.7).

Şekilleri aynı, fakat boşluk alanları farklı olan temellerin taşıma gücü değerleri incelendiğinde; Küçük Boşluklu Kare (Deney elemanı 2) temelin taşıma gücü, Büyük Boşluklu Kare temelin taşıma gücü değerinden yaklaşık %1, Büyük L temelin taşıma gücü ise, Küçük L temelin taşıma gücü değerinden yaklaşık %3 daha büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7).

Deneylerde kullanılan bütün elemanların ortalama oturma-eksenel yük grafikleri Şekil 4.19'da, ortalama oturma-gerilme grafikleri ise Şekil 4.20'de verilmiştir. Taşıma gücü performansları genel olarak incelendiğinde sonuçların birbirlerine yakın değerler verdiği görülmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.19. Deneylerde kullanılan bütün elemanların ortalama oturma-eksenel yük grafikleri



Şekil 4.20. Deneylerde kullanılan bütün elemanların ortalama oturma-gerilme grafikleri

Bu çalışmada deneysel olarak ölçülen taşıma gücü (q_0), temel genişliğinin %10'una eşit bir oturma ($s \approx \%10B$) meydana getiren yük kullanılarak hesaplanan gerilme olarak tanımlanmıştır. Cerato ve Lutenegger (2006) tarafından da belirtildiği üzere, bu seçimin herhangi bir teorik altyapısı bulunmamakla birlikte, kolay hatırlanabilir

bir rakam olması, göçme durumundaki ortalama zemin birim deformasyonuna yakın bir değer olması, q_0 değerini kesin ve sabit bir rakam olmaya zorlaması ve farklı boyutlardaki temelleri benzer şekilde değerlendirmesi açısından yararlı bir yaklaşım olduğu söylenebilir [14]. Taşıma gücü hesabında kullanılan gerekli değerler Çizelge 4.8’de verilmiştir. Hesaplarda kullanılan yükler $s \approx \%10B$ oturma değerlerinde ölçülen yük değerleridir. Temeller, hesaplamalarda kare şekilli kabul edilmiş ve eşdeğer temel genişliği (B) olarak alınmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Taşıma gücü hesabında kullanılan değerler

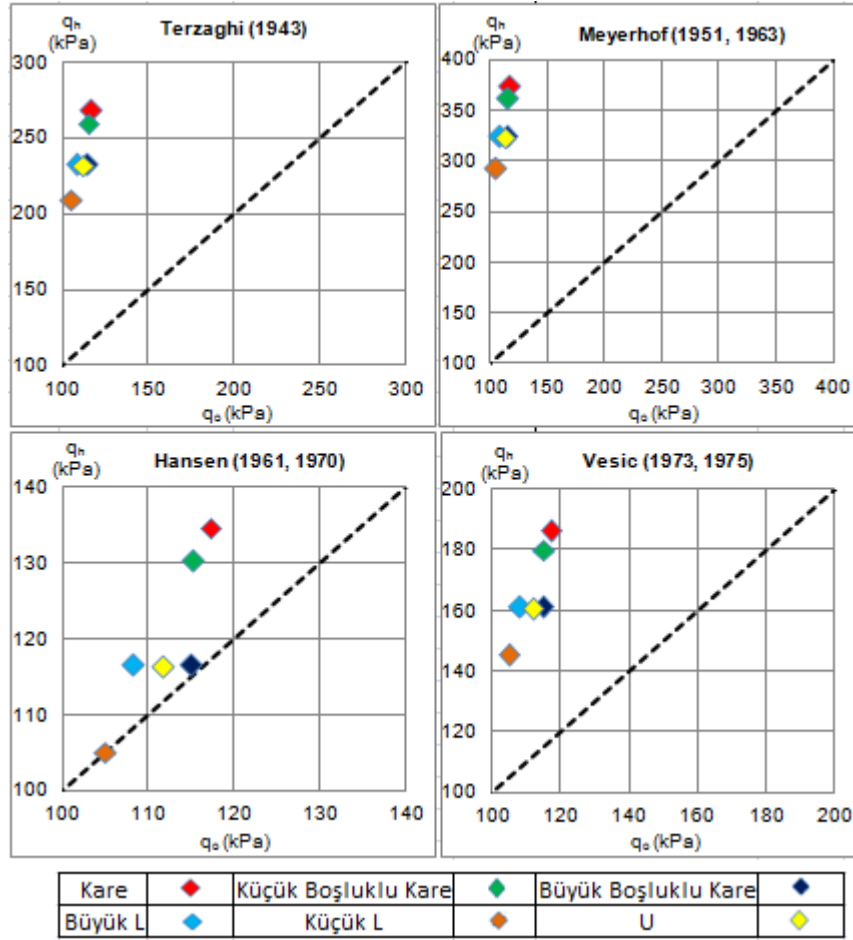
Temel Şekli	B (m)	D (m)	L/B	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	Yük (kN)
Kare	0,400	0	1	16,8	39	18,77
Küçük Boşluklu Kare	0,387	0	1	16,8	39	17,29
Büyük Boşluklu Kare	0,346	0	1	16,8	39	13,80
Büyük L	0,346	0	1	16,8	39	12,90
Küçük L	0,312	0	1	16,8	39	10,24
U	0,346	0	1	16,8	39	13,42

Her deney elemanının taşıma gücü değeri; Terzaghi’nin (1943), Meyerhof’un (1951, 1963), Hansen’in (1961, 1970) ve Vesic’in (1973, 1975) geliştirdiği taşıma gücü yöntemleri ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deneylerden elde edilen taşıma gücü değerleri ile teorik yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri Çizelge 4.9’da görülmektedir.

Çizelge 4.9. Taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Temel Şekli	Teorik Yöntemlerle Hesaplanan q_h (kPa)				q_0 (kPa)
	Terzaghi (1943)	Meyerhof (1951, 1963)	Hansen (1961, 1970)	Vesic (1973, 1975)	
Kare	268,02	374,05	134,58	185,97	117,31
Küçük Boşluklu Kare	259,31	361,89	130,21	179,92	115,27
Büyük Boşluklu Kare	231,84	323,55	116,41	160,86	115,00
Büyük L	231,84	323,55	116,41	160,86	108,25
Küçük L	209,06	291,76	104,97	145,06	105,03
U	231,84	323,55	116,41	160,86	111,69

Şekil 4.21'deki karşılaştırmalı grafiklerdeki sonuçlara genel olarak bakıldığında; deneylerde ölçülen taşıma gücü değerlerine en yakın sonuçlar, Hansen'in (1961, 1970) geliştirdiği taşıma gücü yöntemi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Taşıma gücü değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri

5. ANALİZ SONUÇLARI İLE DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Giriş

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan ve zeminin üç boyutlu olarak modellenenbildiği “Plaxis 3D Foundation” sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Plaxis programı yardımıyla üç boyutlu olarak oluşturulan bilgisayar modelinin analizi yapılmış ve deneysel çalışmadan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde; modellerde kullanılan malzemelere ait özellikler verilmiş ve daha sonra oluşturulan modellerden elde edilen veriler ile deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. Deney elemanlarının köşelerinde oluşan belirli oturma değerindeki gerilme değerleri çizelgeler halinde verilmiştir. Her deney elemanı için ayrı ayrı belirlenen bu oturma değeri, elemanların köşelerinden alınan karşılaştırma yapılabilecek en büyük oturma değerine göre belirlenmiştir. Bilgisayar programı ile modellenen elemanların köşelerinden elde edilen yük-oturma grafikleri ile deneysel çalışmalarda elemanların köşelerine yerleştirilen LDVT’lerden elde edilen yük-oturma grafikleri karşılaştırılmıştır. Yine bu bölümde; analizi yapılan modellerin oturma profilleri ve gerilme dağılımlarını gösteren şekillere yer verilmiştir. Ayrıca her deney elemanı için 0,5 B ve 1,0 B derinlikte yükün uygulandığı noktaya ait gerilme değerleri çeşitli hesap yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Son olarak; farklı oturmanın üst yapının kesit tesirleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla oluşturulan Sap2000 modellerinden elde edilen sonuçlar, çizelge ve şekiller halinde sunulmuştur.

5.2. Modellerde Kullanılan Malzemelere Ait Özellikler

Modellerde kullanılan zemin özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan zemin malzemesi kil içermediği için kohezyon değeri $c=0$ alınmıştır. Seçilen elastisite modülü değeri orta sıklıktaki kumun tipik bir değeridir. Malzeme modeli olarak ise “Hardening soil” modeli seçilmiştir. Temelin üzerine oturduğu

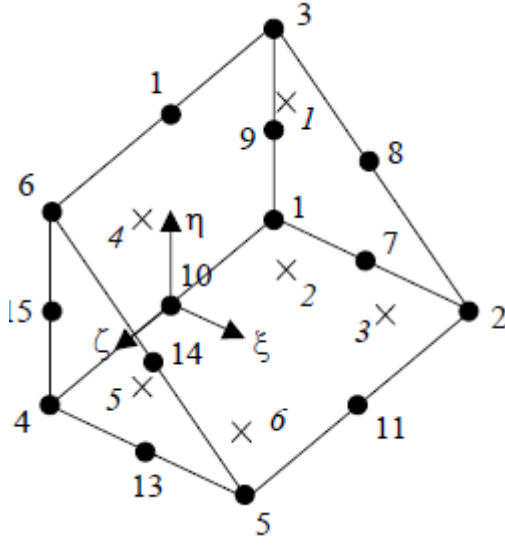
zeminin sınırları deney tankının boyutları ile aynı seçilmiştir (B=2 m, L=2 m, H=1 m).

Çizelge 5.1. Zemin malzemesinin özellikleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	16,8
Kohezyon	c	kN/m ²	0
Kayma Mukavemeti Açısı	ϕ	(°)	39
Dilatasyon Açısı	ψ	(°)	9
Elastisite Modülü	E	kN/m ²	10000

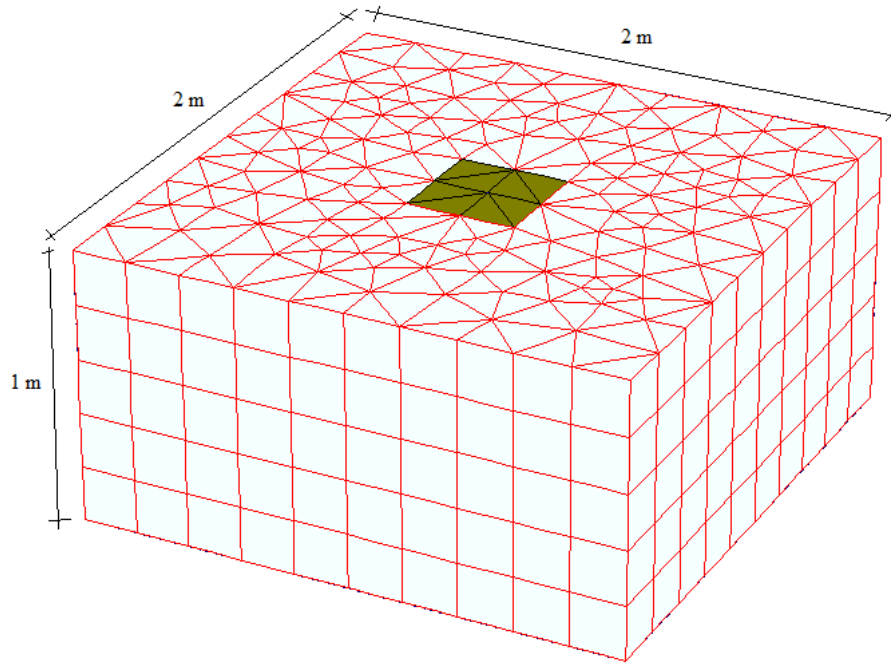
Deneylerde temelleri temsil elemanlar yapı çeliğinden imal edildiği için, modellerde de temel malzemesi olarak çelik seçilmiş ve $\gamma=78,5$ kN/m³ olarak tanımlanmıştır. Ayrıca temelin kalınlığı 15 mm alınmıştır.

Model geometrileri oluşturulup, malzeme özellikleri ve yüklemeler tanımlandıktan sonra, zemin iki boyutlu (2D mesh) olarak sonlu eleman ağına bölünmüştür. Program tarafından üçgensel (6-düğüm noktalı) olarak oluşturulan sonlu eleman ağı, modelde yer alan çizgi ve noktaları göz önünde bulundurmaktadır. Daha sonra modelin üç boyutlu (3D mesh) sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Modelin dikey ve yatay sınırları içerisinde, iki boyutlu üçgen sonlu eleman ağındaki elemanların köşelerine karşılık gelen uygun noktalar esas alınarak, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 15-düğüm noktalı elemanlar oluşturulmuş ve daha sonra çözüm basamağına geçilmiştir.



Şekil 5.1. 15-düğüm noktalı eleman [15]

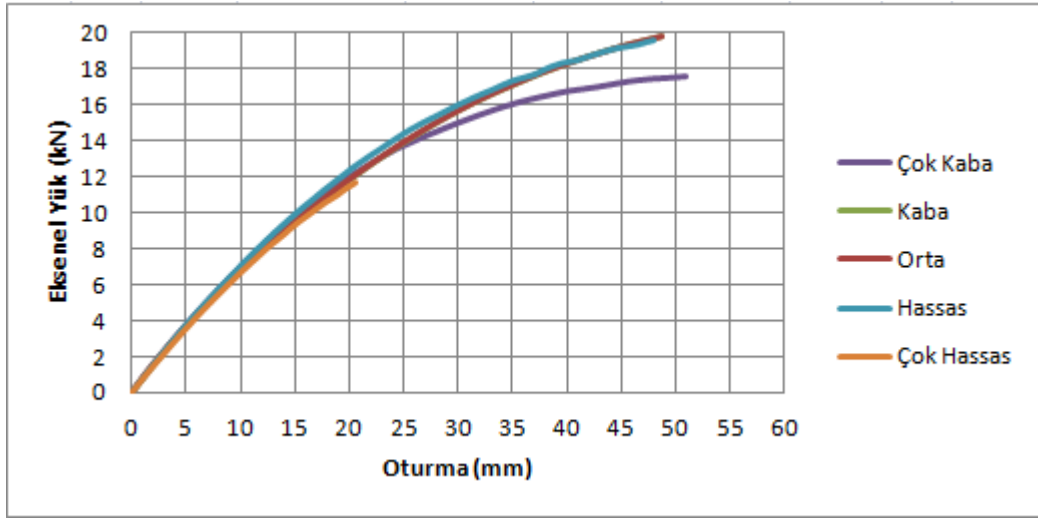
Şekil 5.2’de üç boyutlu olarak oluşturulan sonlu eleman ağı ve zemin parçacığının boyutları görülmektedir.



Şekil 5.2. Zemin parçacığının boyutları ve sonlu eleman ağı

Çalışmada kullanılan Plaxis 3D Foundation paket programında beş adet sonlu eleman ağı sıklığı (mesh coarseness) bulunmaktadır. Bunlar çok kaba (very coarse),

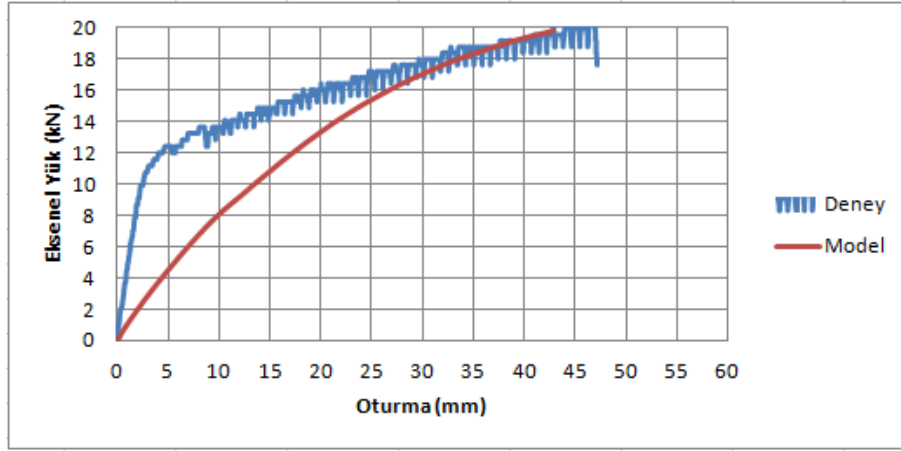
kaba (coarse), orta (medium), hassas (fine), çok hassas (very fine) olarak adlandırılmıştır. Bu sıklık derecelerinden hangisinin kullanılacağını belirlemek için Kare temel modelinde beş adet çözüm yapılmış ve Şekil 5.3'te görüldüğü gibi sıklık dereceleri arasında çok büyük farklar görülmemiş bu sebeple modellerde orta (medium) sıklık derecesindeki sonlu eleman ağı tercih edilmiştir.



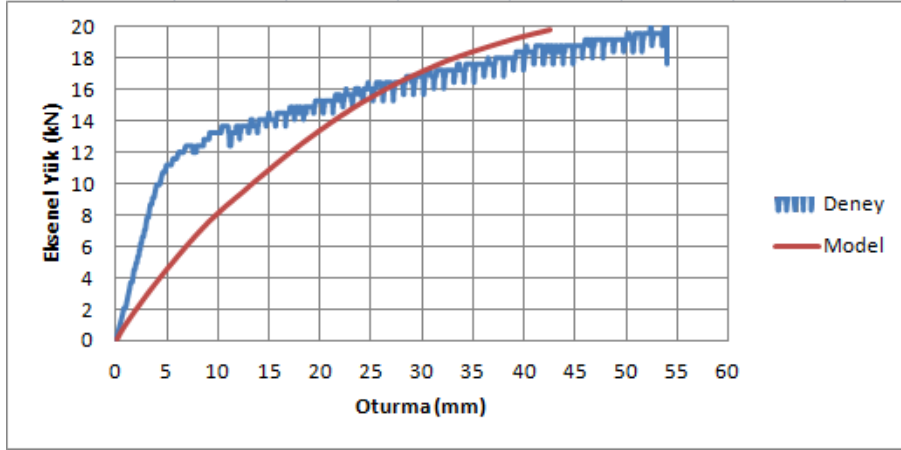
Şekil 5.3. Sonlu eleman ağlarının sıklık durumları için yük-oturma grafikleri

5.3. Deney Elemanı 1 İçin Elde Edilen Sonuçlar

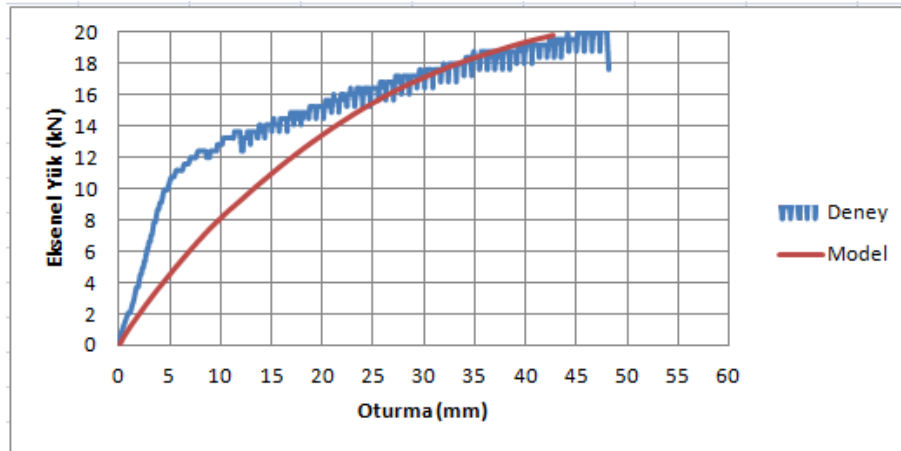
Deney elemanı 1'in köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.4-Şekil 5.7'de görülmektedir. Ayrıca, modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir. Yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında grafiklerin başlangıç eğimlerinin farklı olduğu ancak genel davranışlarının uyduğu görülmektedir (Şekil 5.4-Şekil 5.7).



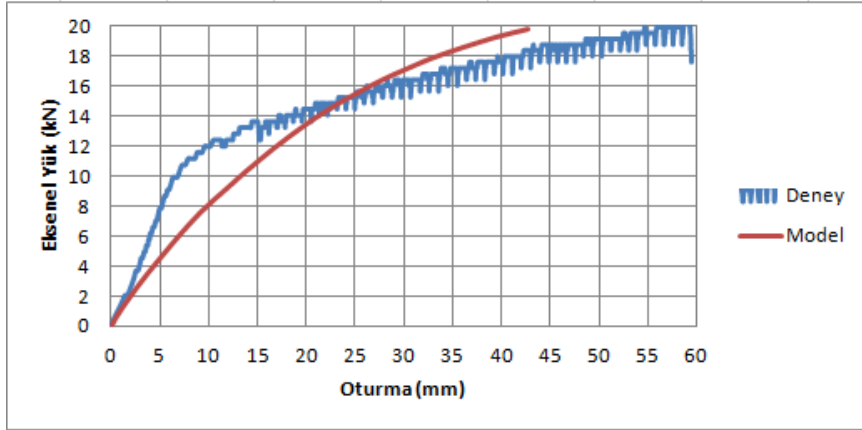
Şekil 5.4. Deney elemanı 1'in sağ-ön yük-oturma grafikleri



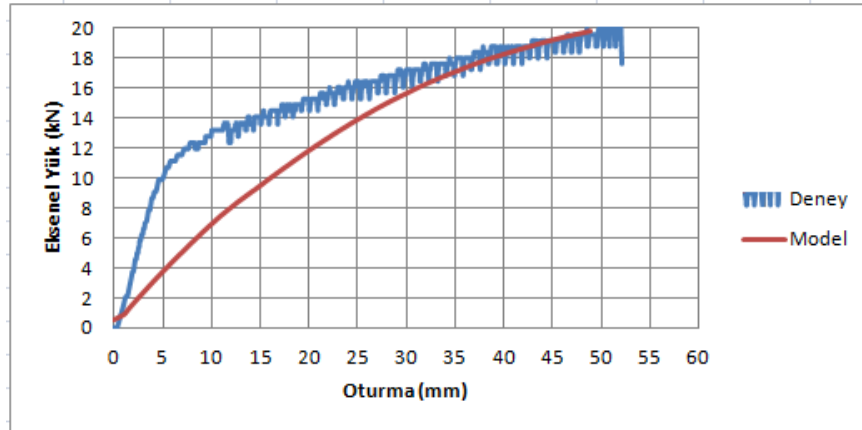
Şekil 5.5. Deney elemanı 1'in sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.6. Deney elemanı 1'in sol-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.7. Deney elemanı 1'in sol-arka yük-oturma grafikleri



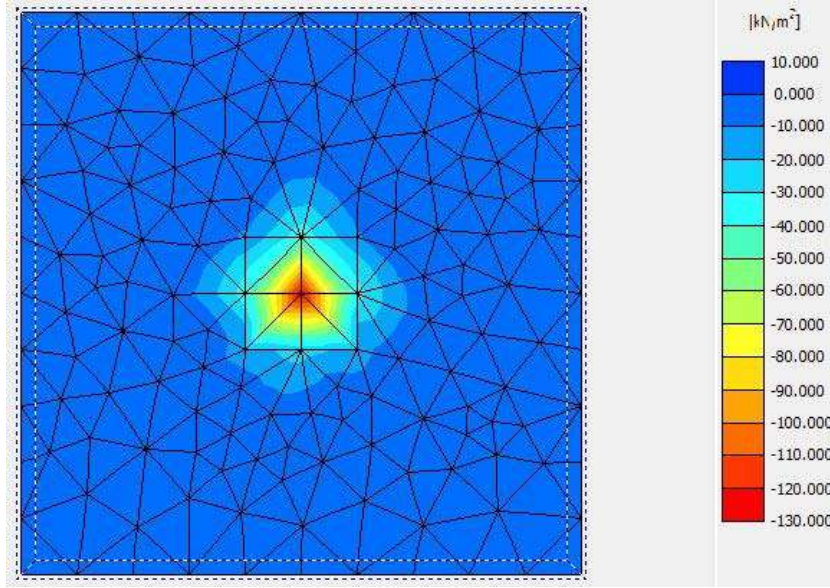
Şekil 5.8. Deney elemanı 1'in 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

Oturma değerinin 40 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.2'de verilmiştir. Model elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında, bilgisayar programının verdiği sonuçların deneyden elde edilen değerlerden yaklaşık %3 daha büyük olduğu görülmüştür (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Deney elemanı 1'in köşelerindeki gerilme değerleri

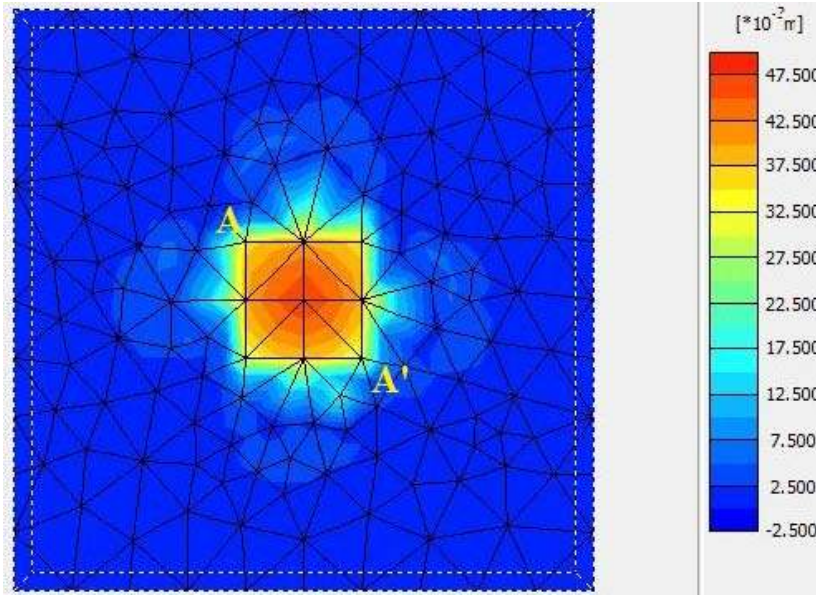
Oturmanın 40 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)					
	Sağ-ön	Sağ-arka	Sol-ön	Sol-arka	Ortalama
Deney	119,77	117,27	119,90	112,42	117,34
Model	121,31	120,94	120,56	120,69	120,88

Elemanın ağırlık merkezine uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilme dağılımı Şekil 5.9’da verilmiştir. Yükün uygulandığı noktadan uzaklaştıkça zeminde oluşan gerilme değerleri azalmıştır. Deneysel çalışmada basınç ölçer kullanılmadığı için gerilme dağılımı karşılaştırılamamıştır.

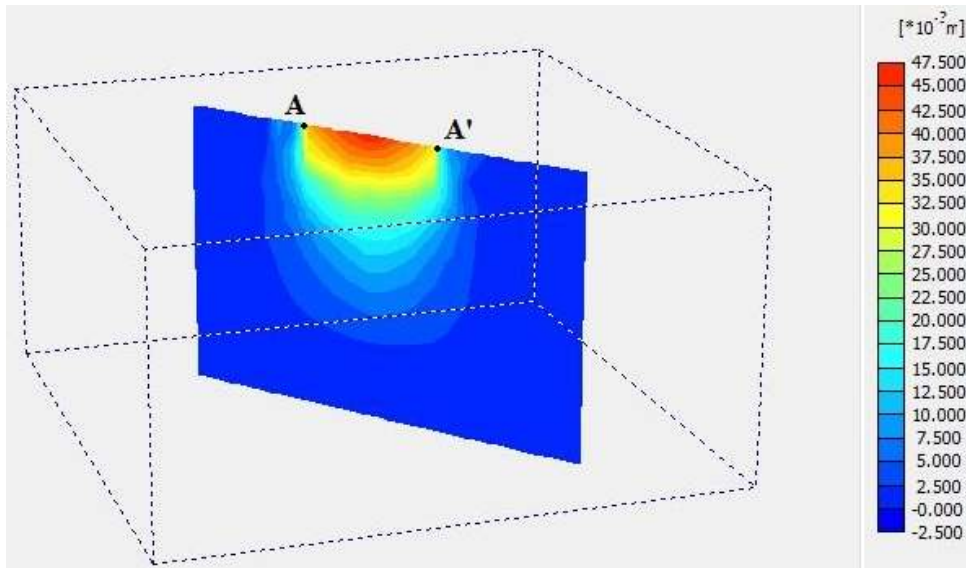


Şekil 5.9. Deneysel elemanı 1'e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir. Beklenildiği gibi en büyük oturma değeri yükün temele etkidiği nokta altında ölçülmüştür. Temelin orta noktasından uzaklaştıkça gerilme değerleri azalmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.10. Deney elemanı 1'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma

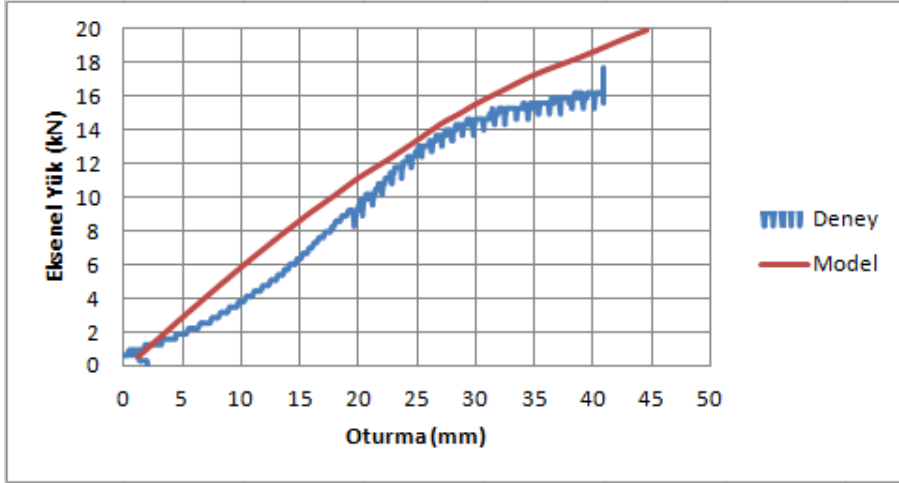


Şekil 5.11. Deney elemanı 1'in A-A' kesitindeki oturma profili

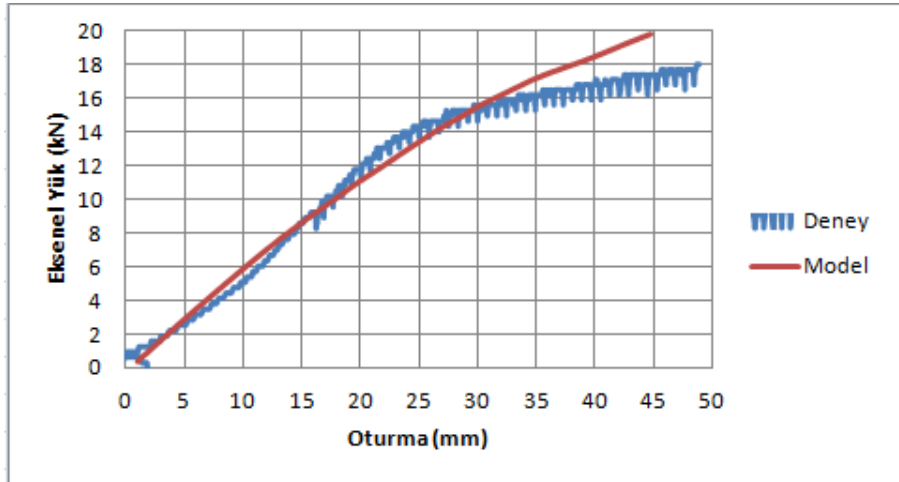
5.4. Deney Elemanı 2 İçin Elde Edilen Sonuçlar

Deney elemanı 2'nin köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.12-Şekil 5.15'de görülmektedir. Ayrıca, modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir. Yük-

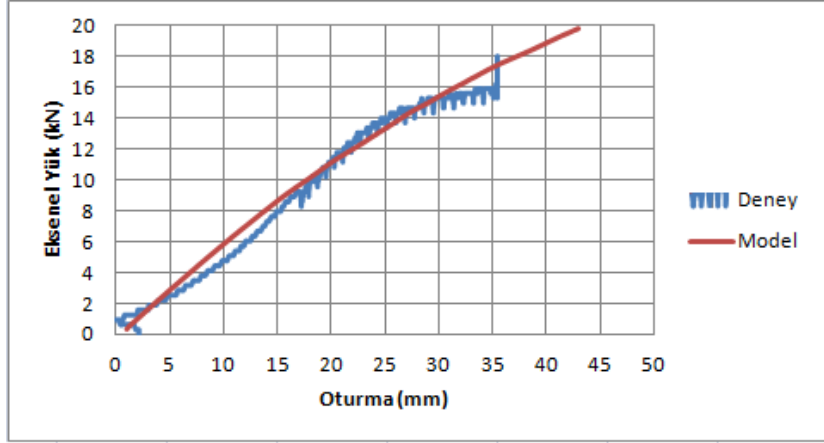
oturma grafikleri karşılaştırıldığında grafiklerin başlangıç eğimlerinin ve genel davranışlarının uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5.12-Şekil 5.15).



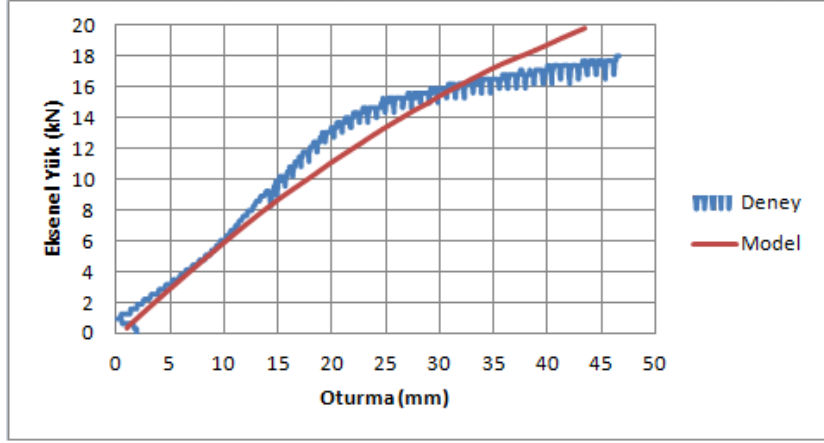
Şekil 5.12. Deney elemanı 2'nin sağ-ön yük-oturma grafikleri



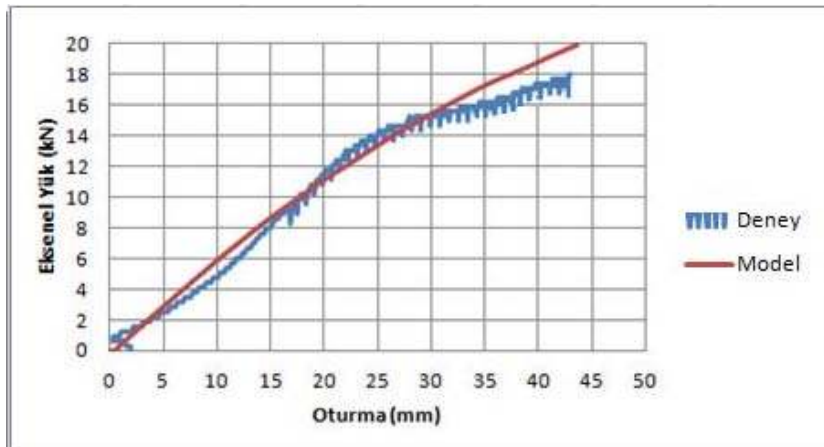
Şekil 5.13. Deney elemanı 2'nin sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.14. Deney elemanı 2'nin sol-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.15. Deney elemanı 2'nin sol-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.16. Deney elemanı 2'nin 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

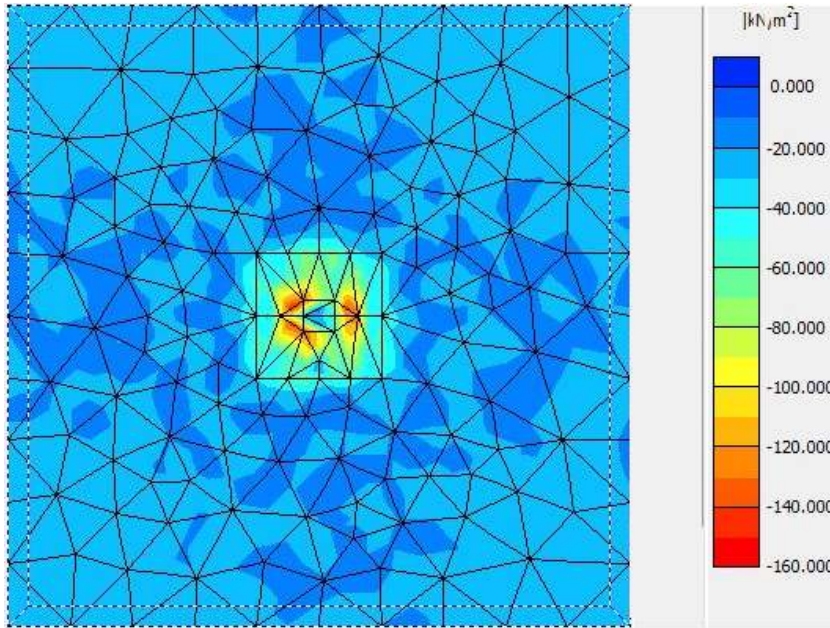
Oturma değerinin 40 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Model elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile deney sonuçları karşılaştırıldığında, bilgisayar programının verdiği sonuçların deneyden elde edilen değerlerden yaklaşık %8 daha büyük olduğu görülmüştür (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Deney elemanı 2'nin köşelerindeki gerilme değerleri

Oturmanın 40 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)					
	Sağ-ön	Sağ-arka	Sol-ön*	Sol-arka	Ortalama
Deney	107,94	113,96	105,98	115,92	110,95
Model	121,93	121,47	114,67	122,53	120,15

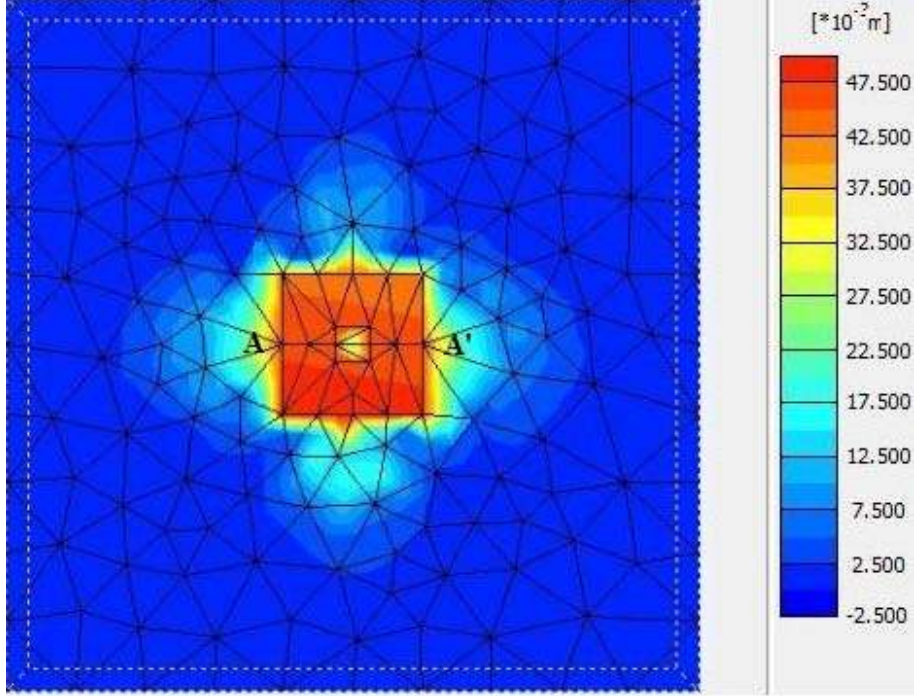
* Oturmanın 35 mm olduğu andaki gerilme değeri

Şekil 5.17'de uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilmelerin genel görünümü verilmiştir. Temelin ortasındaki boşluk sebebiyle düzgün olmayan bir gerilme dağılımı oluşmuş ve temeldeki sürekliliği bozan boşluk etrafında gerilme yığılması meydana gelmiştir (Şekil 5.17).

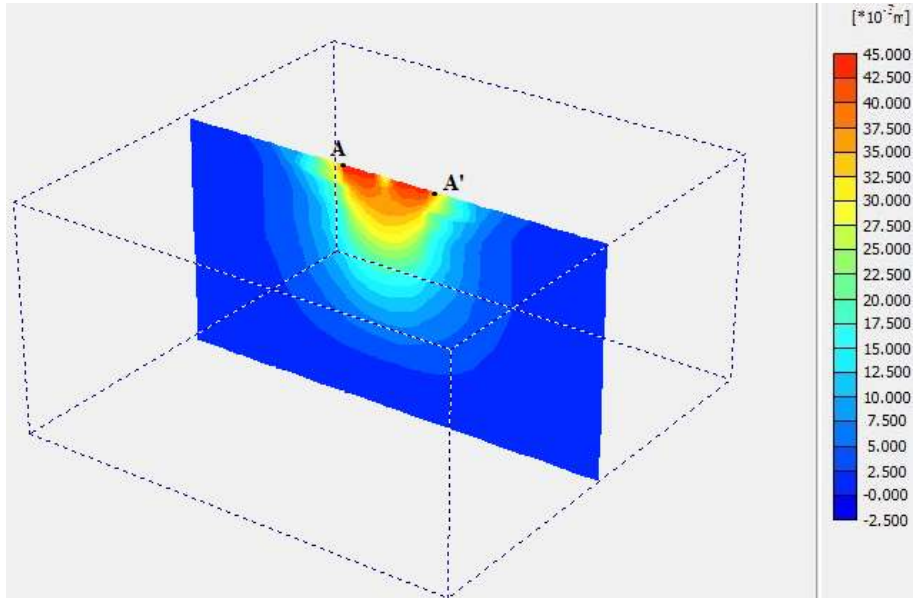


Şekil 5.17. Deney elemanı 2'ye yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da verilmiştir.



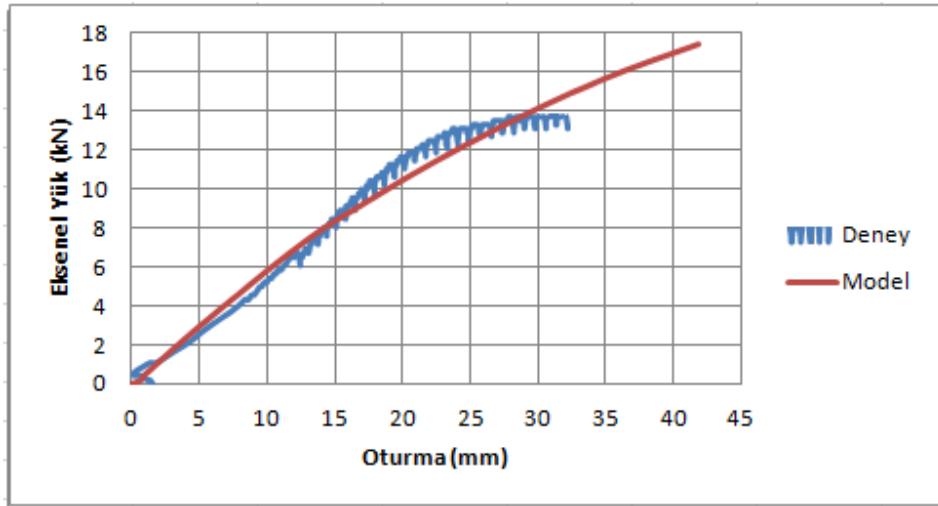
Şekil 5.18. Deney elemanı 2’ye yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma



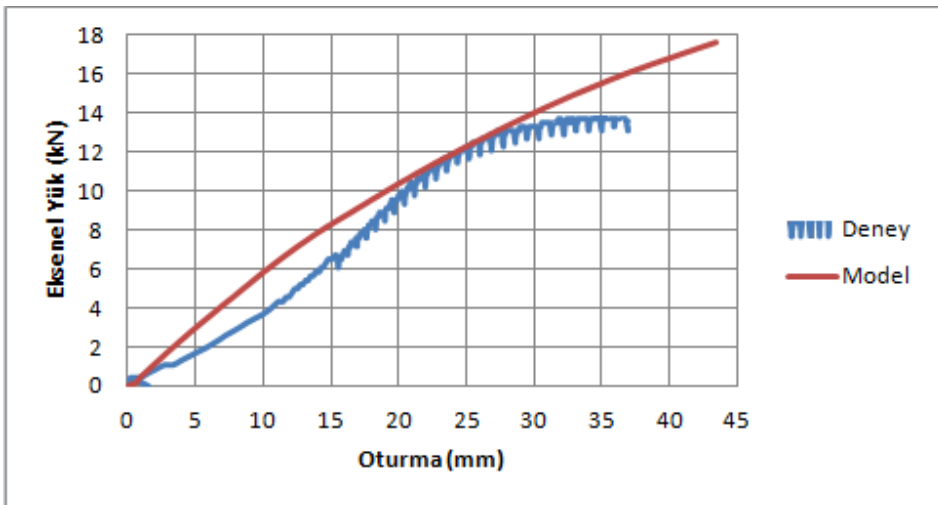
Şekil 5.19. Deney elemanı 2’nin A-A’ kesitindeki oturma profili

5.5. Deney Elemanı 3 İçin Elde Edilen Sonuçlar

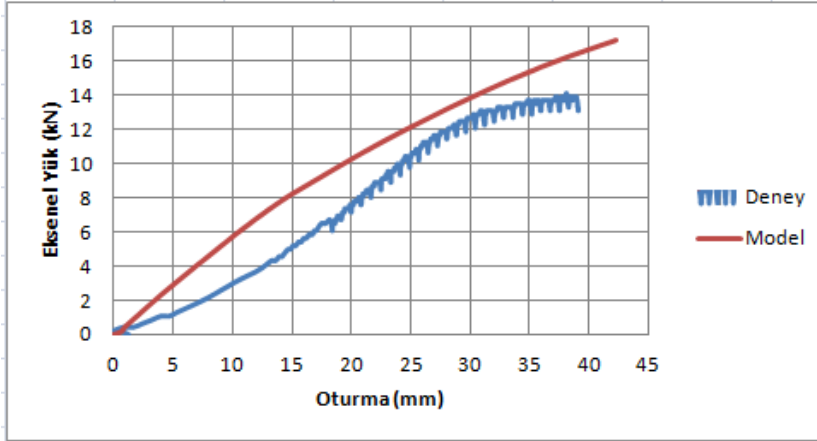
Deney elemanı 3'ün köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.20-Şekil 5.23'de görülmektedir. Ayrıca, modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.24'de verilmiştir. Yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında, grafiklerin genel davranışlarının uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5.20-Şekil 5.23).



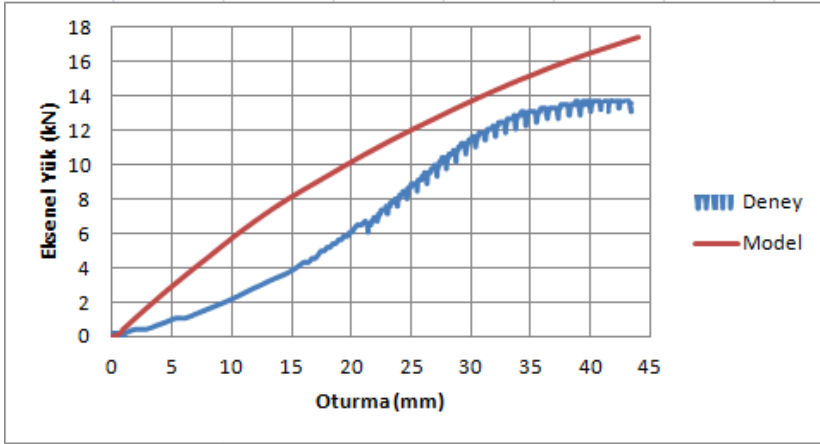
Şekil 5.20. Deney elemanı 3'ün sağ-ön yük-oturma grafikleri



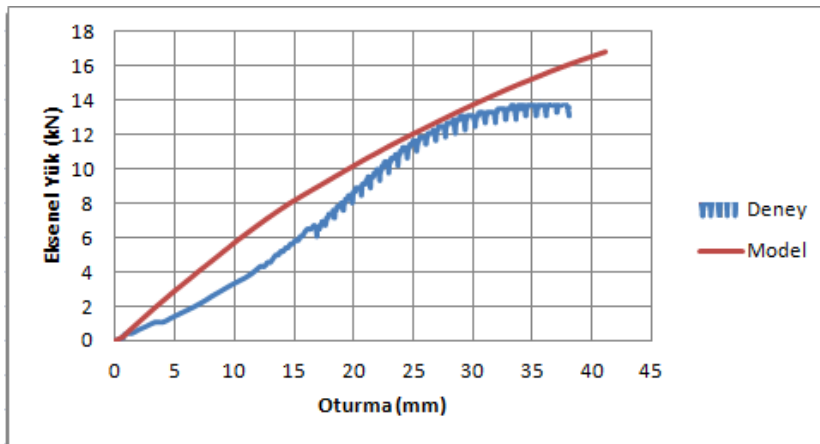
Şekil 5.21. Deney elemanı 3'ün sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.22. Deney elemanı 3'ün sol-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.23. Deney elemanı 3'ün sol-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.24. Deney elemanı 3'ün 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

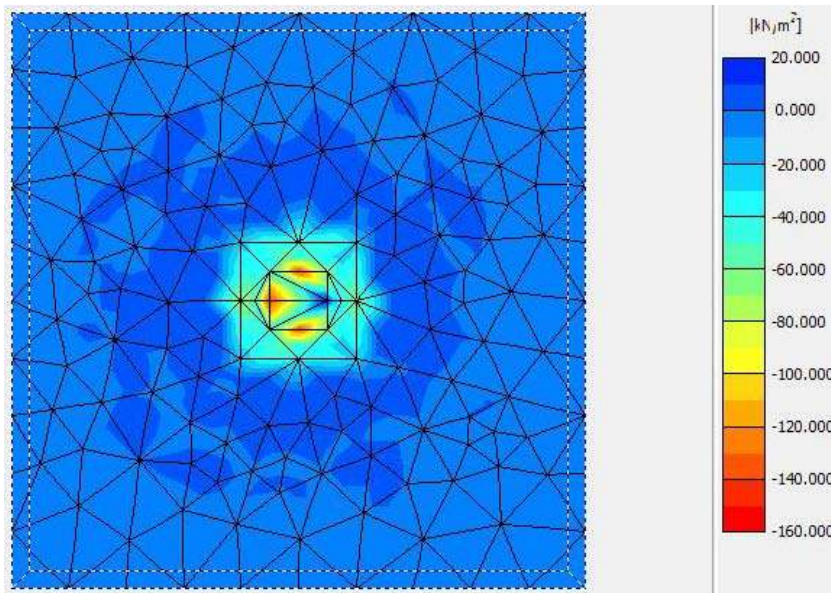
Oturma değerinin 35 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.4’de verilmiştir. Deney elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında, analiz sonuçlarının deneyden elde edilen sonuçlardan yaklaşık %9 daha büyük değerler verdiği görülmüştür (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Deney elemanı 3’ün köşelerindeki gerilme değerleri

Oturmanın 35 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)					
	Sağ-ön*	Sağ-arka	Sol-ön	Sol-arka	Ortalama
Deney	114,67	116,00	115,17	110,42	114,06
Model	116,17	128,25	127,33	127,92	124,92

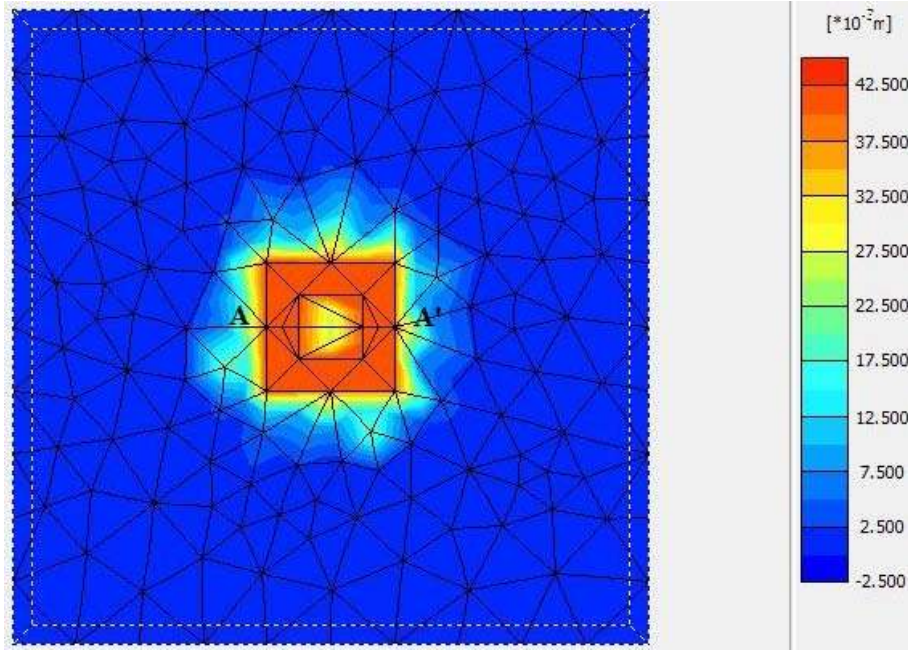
* Oturmanın 30 mm olduğu andaki gerilme değeri

Şekil 5.25’te uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilmelerin genel görünümü verilmiştir. Model elemanın ortasında boşluk bulunduğu için zeminde oluşan gerilme dağılımı düzgün çıkmamıştır. Temeldeki süreksizlik nedeniyle boşluğun etrafında gerilme yığılması meydana gelmiş ve daha yüksek gerilme değerleri ölçülmüş (Şekil 5.25).

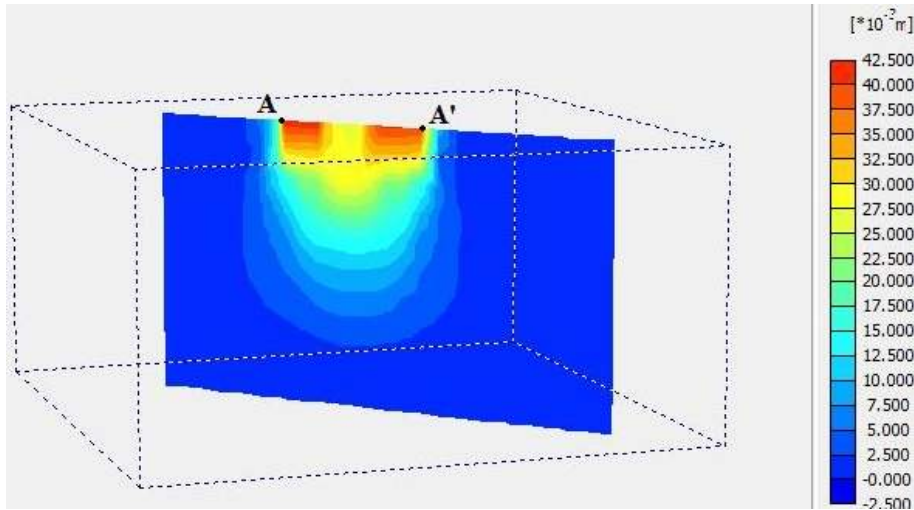


Şekil 5.25. Deney elemanı 3’e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de verilmiştir. Temelin ortasındaki boşluğun oturma profiline etkisi açıkça görülebilmektedir. Temelin temas ettiği zemin daha fazla oturmuştur (Şekil 5.27).



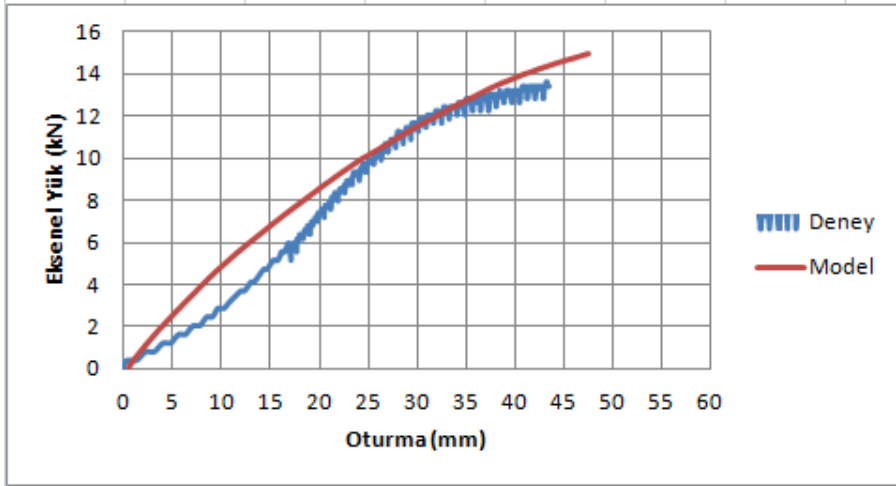
Şekil 5.26. Deney elemanı 3’e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma



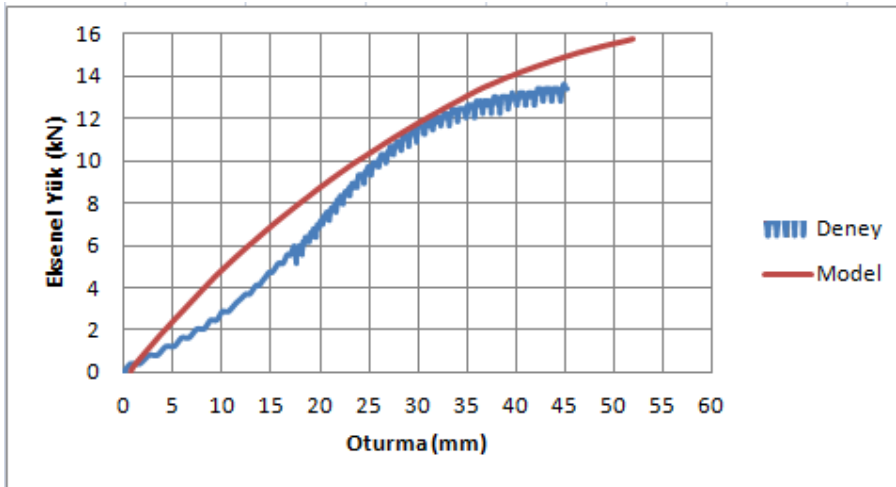
Şekil 5.27. Deney elemanı 3’ün A-A’ kesitindeki oturma profili

5.6. Deney Elemanı 4 İçin Elde Edilen Sonuçlar

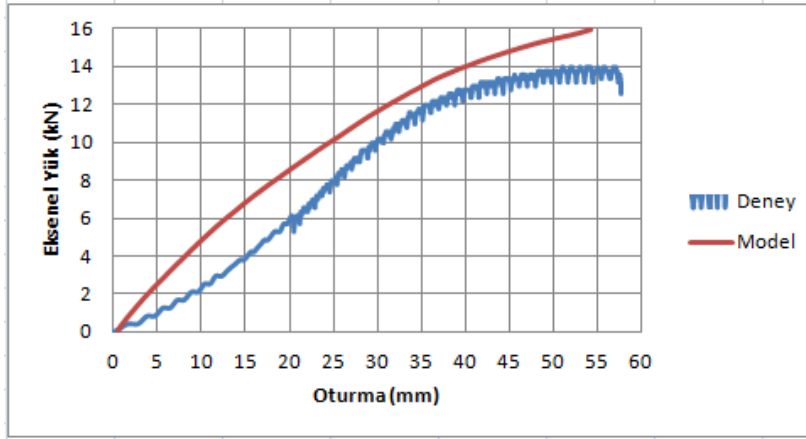
Deney elemanı 4'ün köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.28-Şekil 5.30'da görülmektedir. Ayrıca, modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.31'de verilmiştir. Yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında, grafiklerin genel davranışlarının uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5.28-Şekil 5.30).



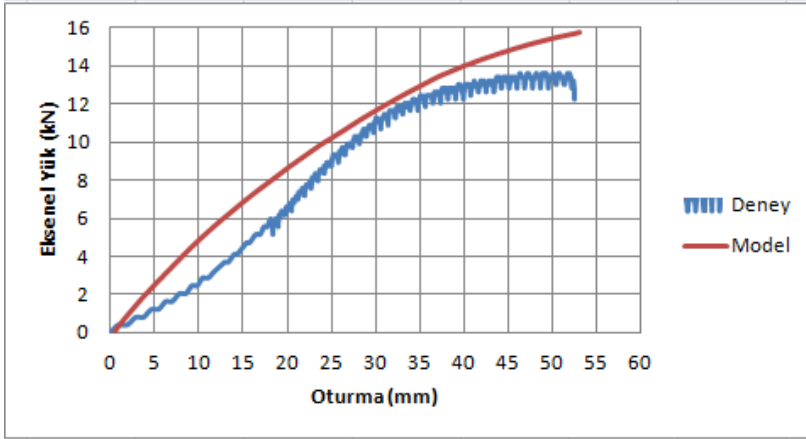
Şekil 5.28. Deney elemanı 4'ün sağ-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.29. Deney elemanı 4'ün sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.30. Deney elemanı 4'ün sol-arka yük-oturma grafikleri



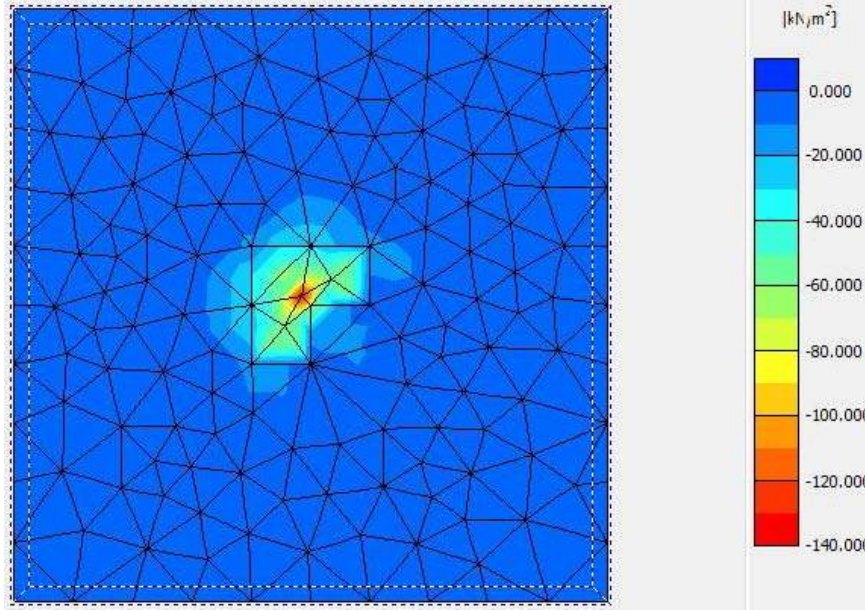
Şekil 5.31. Deney elemanı 4'ün 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

Oturma değerinin 40 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.5'te verilmiştir. Deney elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında, analiz sonuçlarının deneyden elde edilen sonuçlardan yaklaşık %7 daha büyük değerler verdiği görülmüştür (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. Deney elemanı 4'ün köşelerindeki gerilme değerleri

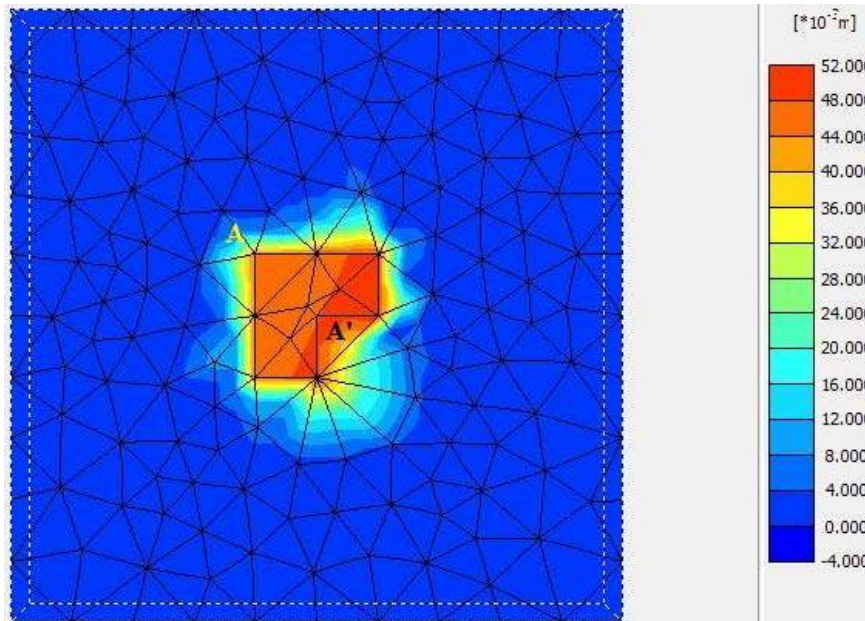
Oturmanın 40 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)				
	Sağ-ön	Sağ-arka	Sol-arka	Ortalama
Deney	108,17	106,67	107,67	107,51
Model	113,67	116,42	115,25	115,11

Şekil 5.32’de elemanın ağırlık merkezine uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilmelerin genel görünümü verilmiştir.

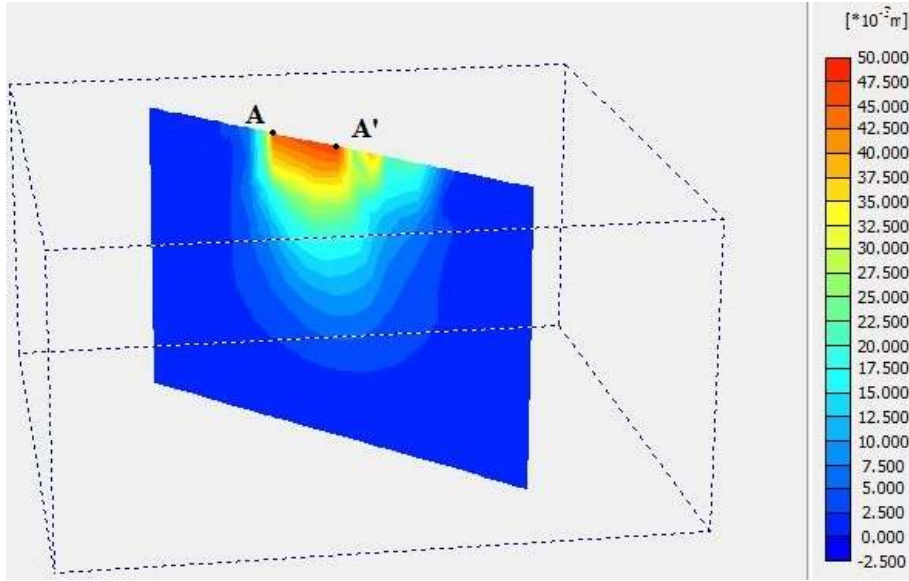


Şekil 5.32. Deney elemanı 4’e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de verilmiştir.



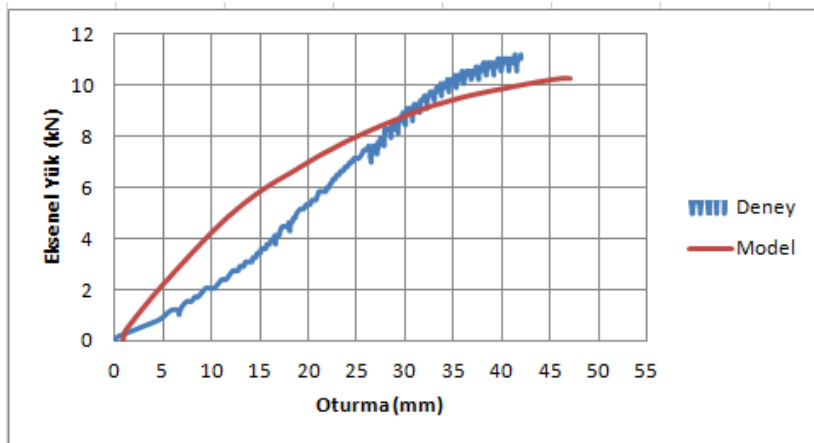
Şekil 5.33. Deney elemanı 4’e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma



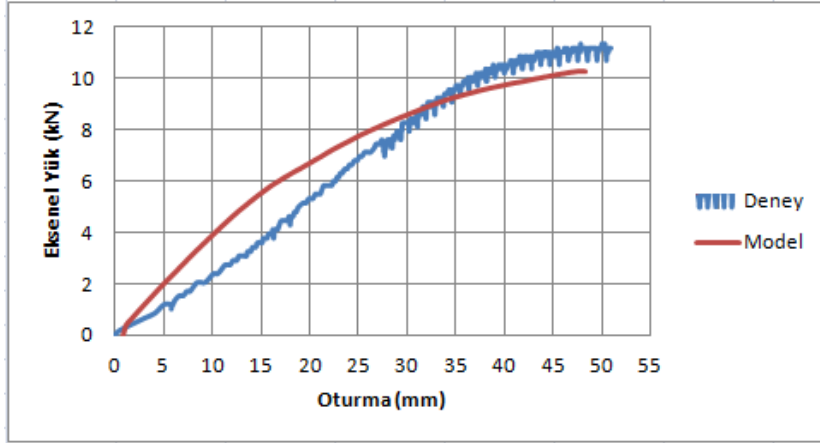
Şekil 5.34. Deney elemanı 4'ün A-A' kesitindeki oturma profili

5.7. Deney Elemanı 5 İçin Elde Edilen Sonuçlar

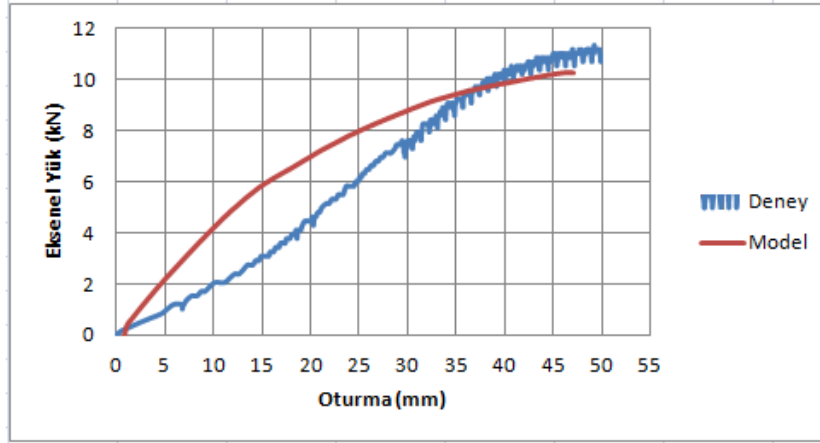
Deney elemanı 5'in köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.35-Şekil 5.37'de görülmektedir. Ayrıca, modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.38'de verilmiştir. Yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında, modelin deney elemanına göre daha erken taşıma gücüne ulaştığı görülmektedir (Şekil 5.35-Şekil 5.37).



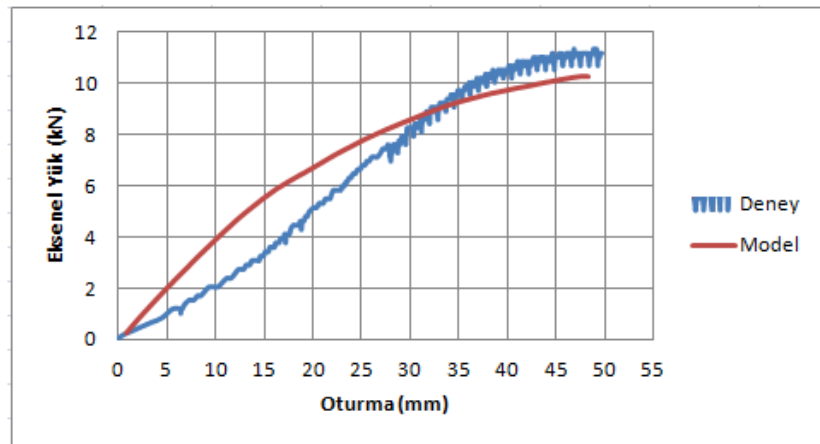
Şekil 5.35. Deney elemanı 5'in sağ-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.36. Deney elemanı 5'in sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.37. Deney elemanı 5'in sol-arka yük-oturma grafikleri



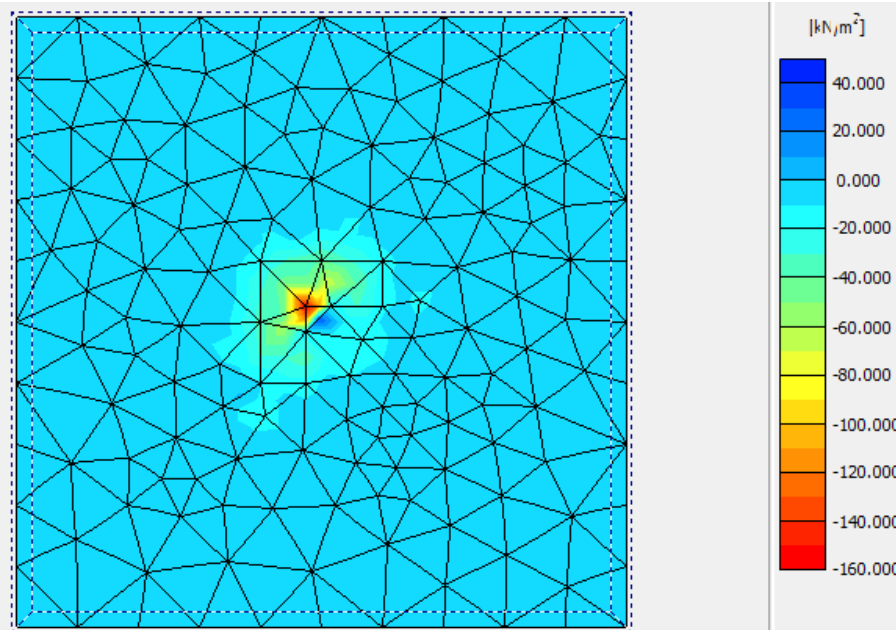
Şekil 5.38. Deney elemanı 5'in 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

Oturma değerinin 40 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.6’da verilmiştir. Deney elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında, deneyden elde edilen sonuçların analiz sonuçlarından yaklaşık %6 daha büyük değerler verdiği görülmüştür (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Deney elemanı 5’in köşelerindeki gerilme değerleri

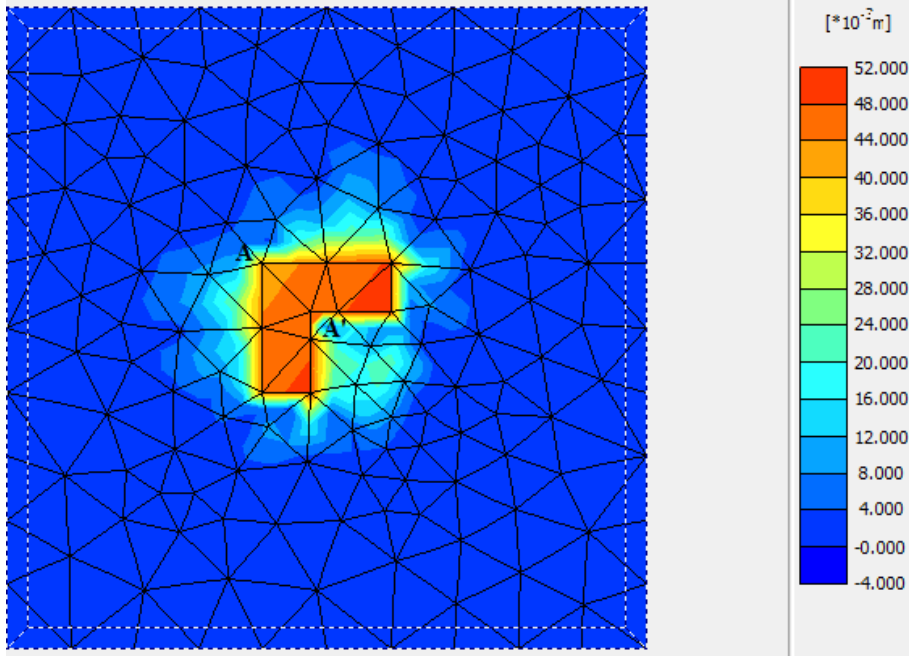
Oturmanın 40 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)				
	Sağ-ön	Sağ-arka	Sol-arka	Ortalama
Deney	106,50	103,09	108,15	105,91
Model	99,38	100,51	100,92	100,27

Şekil 5.39’da elemanın ağırlık merkezine uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilmelerin genel görünümü verilmiştir.

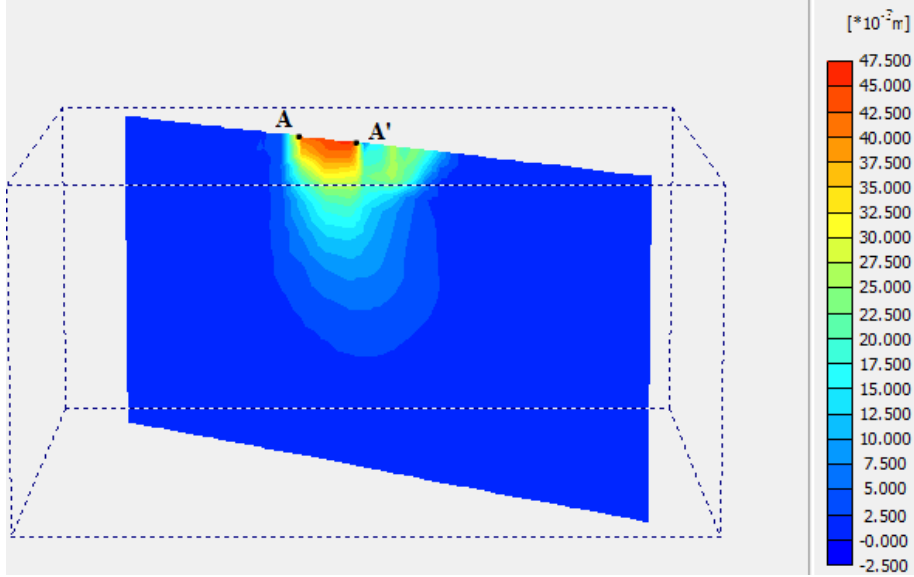


Şekil 5.39. Deney elemanı 5’e yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.40. Deney elemanı 5'e yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma

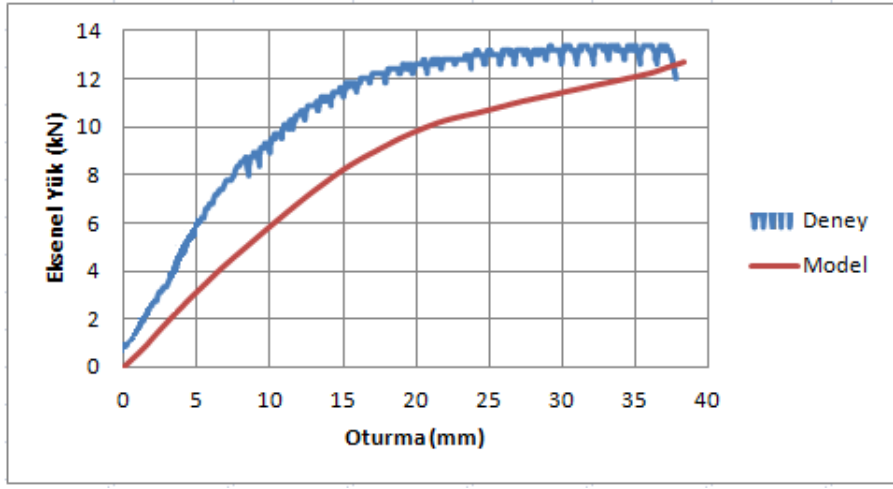


Şekil 5.41. Deney elemanı 5'in A-A' kesitindeki oturma profili

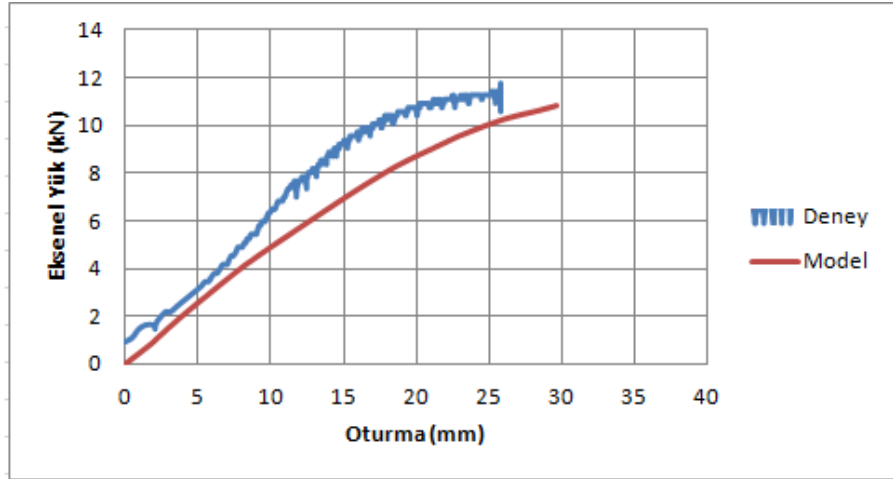
5.8. Deney Elemanı 6 İçin Elde Edilen Sonuçlar

Deney elemanı 6'nın köşelerindeki, Plaxis 3D modelinden ve deneysel çalışmadan elde edilen yük-oturma grafikleri Şekil 5.42-Şekil 5.45'te görülmektedir. Ayrıca,

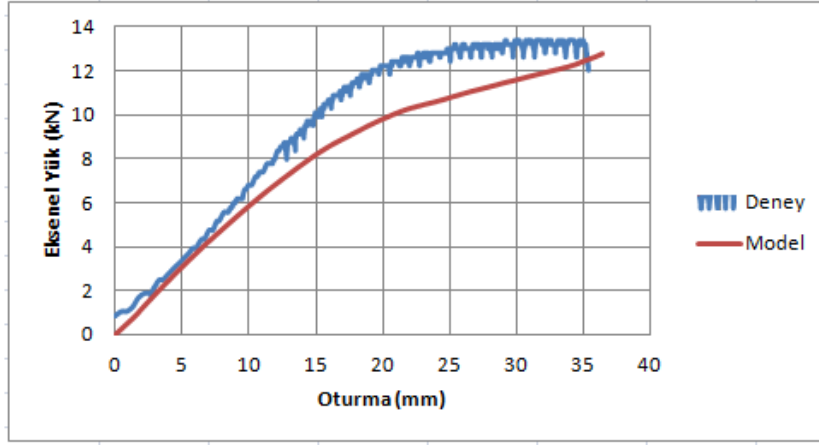
modelden elde edilen yükün uygulandığı noktadaki yük-oturma grafiği ile deneysel çalışmadan elde edilen ortalama yük-oturma grafiği Şekil 5.46’da verilmiştir. Yük-oturma grafikleri karşılaştırıldığında, deneylerden elde edilen değerlerin daha büyük değerler verdiği ancak genel davranışlarının uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5.42-Şekil 5.45).



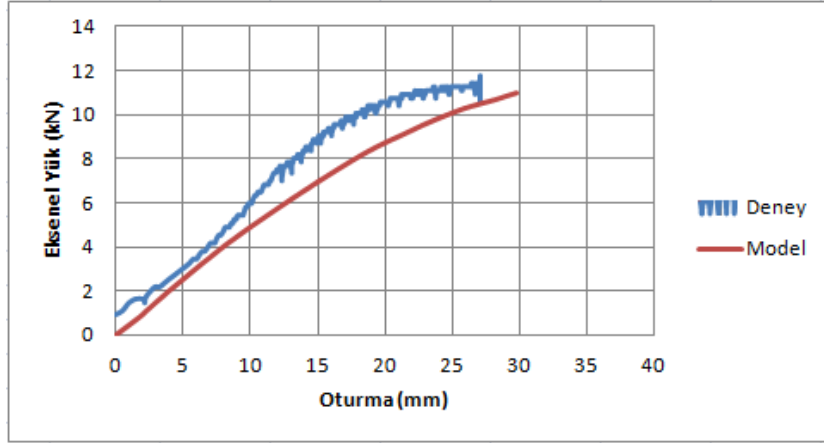
Şekil 5.42. Deney elemanı 6'nın sağ-ön oturma grafikleri



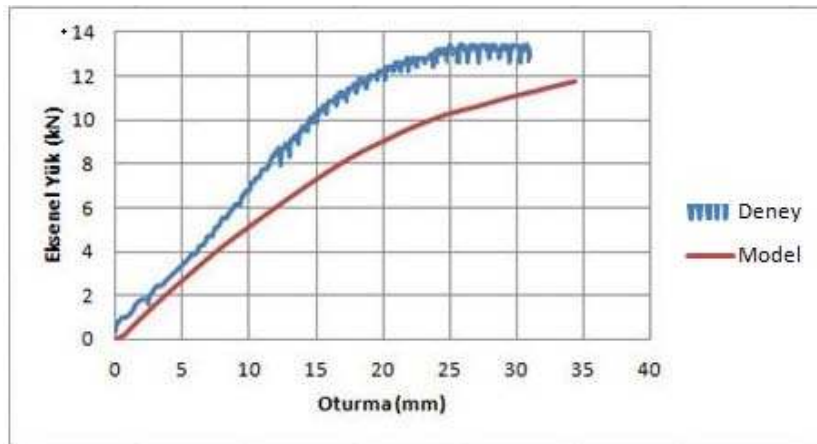
Şekil 5.43. Deney elemanı 6'nın sağ-arka yük-oturma grafikleri



Şekil 5.44. Deney elemanı 6'nın sol-ön yük-oturma grafikleri



Şekil 5.45. Deney elemanı 6'nın sol-arka yük-oturma grafikleri



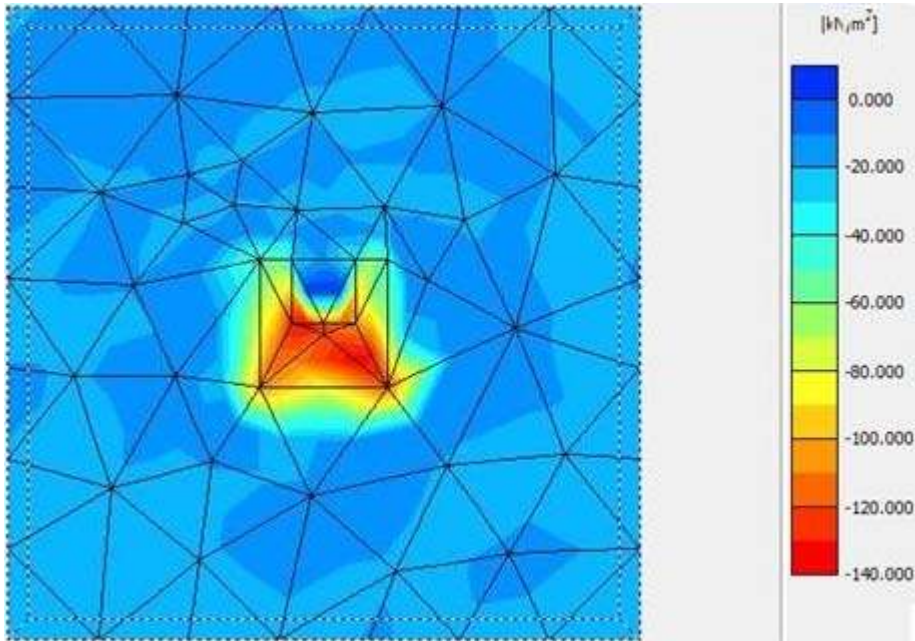
Şekil 5.46. Deney elemanı 6'nın 3D Plaxis modeli ve deneyler sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

Oturma değerinin 25 mm olduğu andaki, deneysel çalışmadan ve bilgisayar modelinden okunan yük değerleri kullanılarak elde edilen gerilmeler Çizelge 5.7’de verilmiştir. Deney elemanın köşelerindeki gerilme değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında, deneyden elde edilen sonuçların analiz sonuçlarından yaklaşık %19 daha büyük değerler verdiği görülmüştür (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Deney elemanı 6’nın köşelerindeki gerilme değerleri

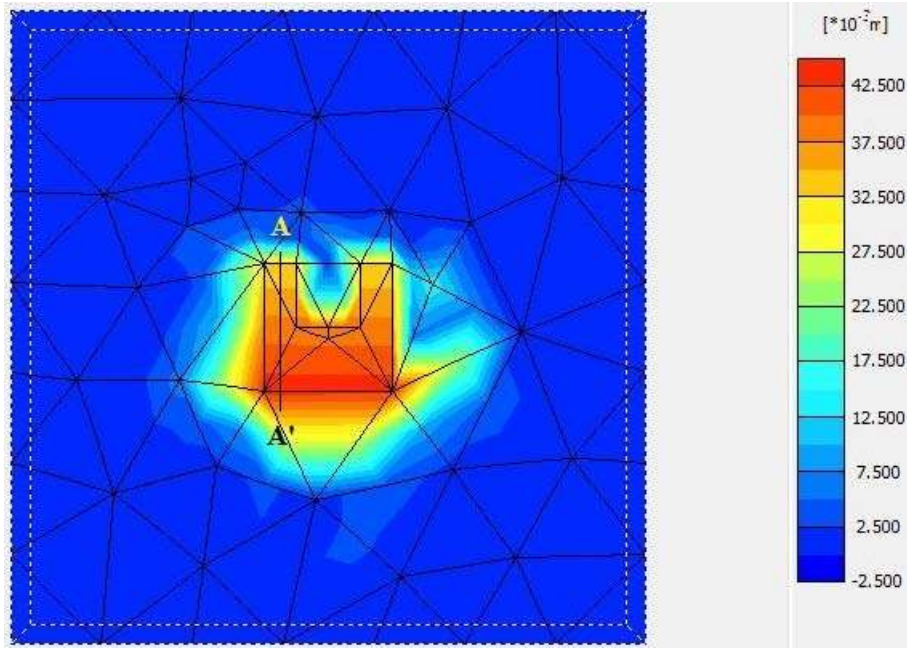
Oturmanın 25 mm Olduğu Andaki Gerilme Değerleri (kPa)					
	Sağ-ön	Sağ-arka	Sol-ön	Sol-arka	Ortalama
Deney	107,75	95,17	109,58	98,67	102,79
Model	88,67	83,50	89,17	83,50	86,21

Şekil 5.47’de elemanın ağırlık merkezine uygulanan yük sebebiyle zeminde oluşan gerilmelerin genel görünümü verilmiştir.

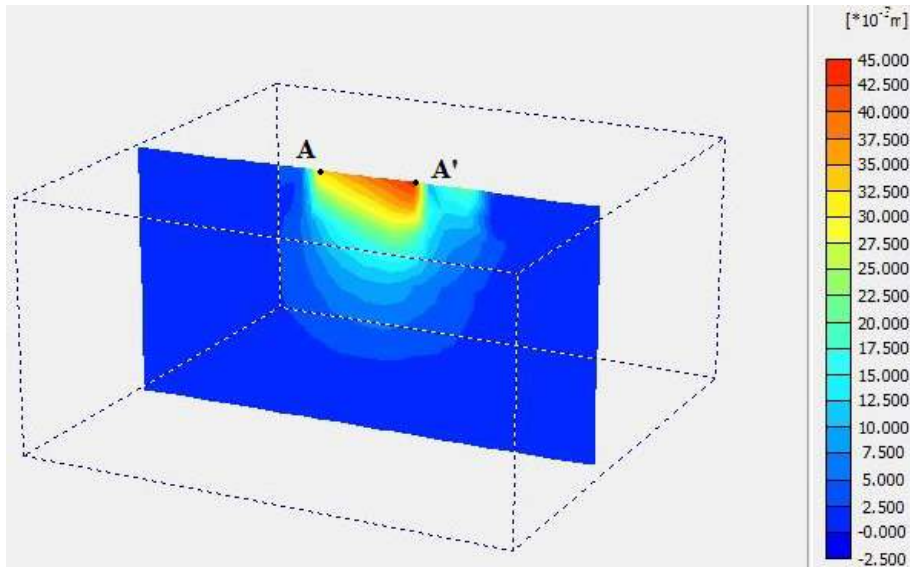


Şekil 5.47. Deney elemanı 6’ya yapılan yükleme sonucu zeminde oluşan gerilme dağılımı

Oturma profilinin görünümü Şekil 5.48 ve Şekil 5.49’da verilmiştir. Temelin, boşluğa uzak olan köşeleri daha fazla oturmuştur (Şekil 5.49).



Şekil 5.48. Deney elemanı 6'ya yapılan yükleme sonucu zemindeki oturma

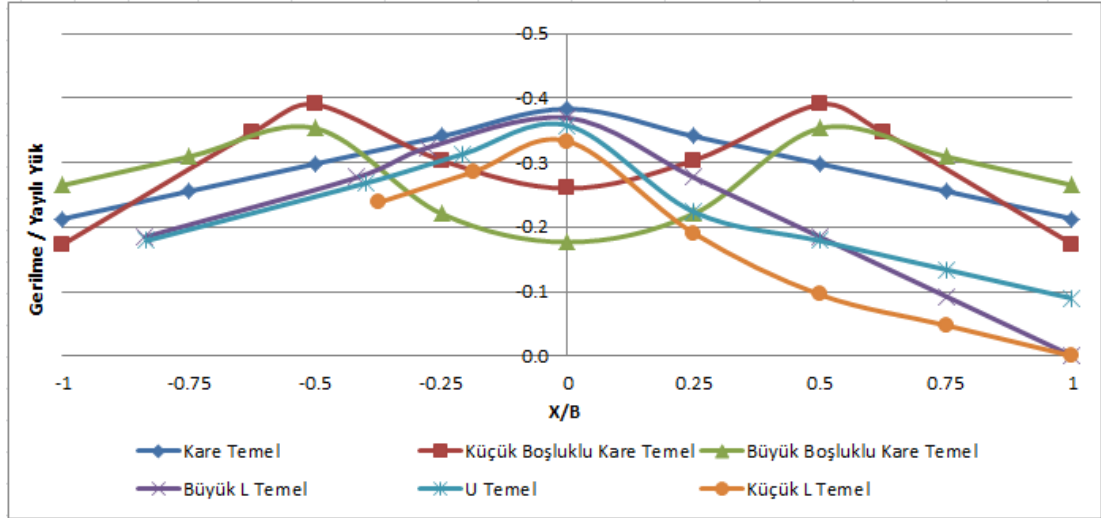


Şekil 5.49. Deney elemanı 6'nın A-A' kesitindeki oturma profili

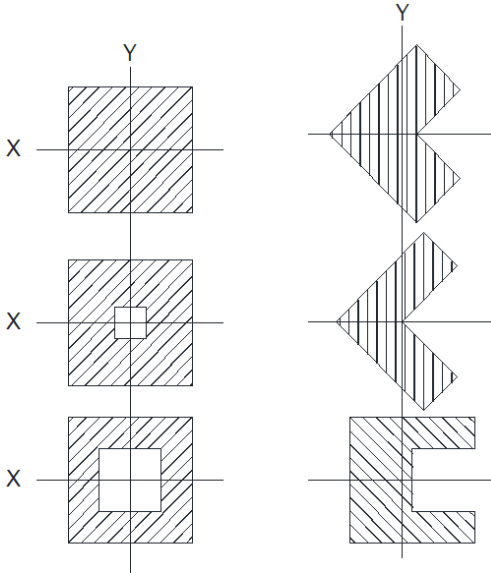
5.9. Değerlendirme ve Sonuçlar

Elemanların yatay mesafeye bağlı olarak sergiledikleri gerilme performanslarını araştırmak amacıyla hazırlanan grafikler Şekil 5.50'de topluca sunulmuştur. Bu grafikler oluşturulurken kullanılan eksenler elemanların ağırlık merkezlerinden

geçirilmiştir (Şekil 5.51). Ortasında boşluk bulunan elemanların gerilme dağılımına bakıldığında, boşlukların etrafında gerilme yığılmaları olduğu görülmektedir. L şekilli temeller ve U temel incelendiğinde, temelin temas ettiği yerdeki zeminde oluşan gerilmelerin, boşluğa doğru ilerledikçe azaldığı görülmektedir (Şekil 5.50).



Şekil 5.50. Yatay mesafeye bağlı olarak elde edilen gerilme dağılımı ($Z=1,0B$)



Şekil 5.51. Yataydaki gerilme dağılımını göstermek için kullanılan eksenler

Elemanların farklı oturma davranışlarını ve gerilme farklılıklarını incelemek amacıyla Çizelge 5.8 hazırlanmıştır. Her eleman için temel tabanındaki en fazla ve

en az oturma değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin farkı aralarındaki mesafeye bölünerek “ $(x_1-x_2)/L$ ” sütunu elde edilmiştir. Buradaki değerler incelendiğinde en az farklı oturma düzgün şekilli olan Kare temelde ölçülmüştür. En fazla farklı oturma değerinin Küçük L temelde ölçülmesi temel geometrisindeki düzensizliklerin farklı oturma üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ortasında boşluğu bulunan temellerin “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerleri, diğer temellerle kıyaslandığında daha büyük çıktığı görülmüştür. Bu durum, temelin ortasında yer alan boşluğun gerilme üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. Farklı oturma ve gerilme karşılaştırması

Temel Şekli	$(x_1-x_2)/L$ (%)	Maks. Gerilme/Ort. Gerilme
Kare	3,53	1,11
Küçük Boşluklu Kare	3,76	1,39
Büyük Boşluklu Kare	4,00	1,33
Büyük L	4,24	1,20
Küçük L	4,72	1,05
U	4,00	1,16

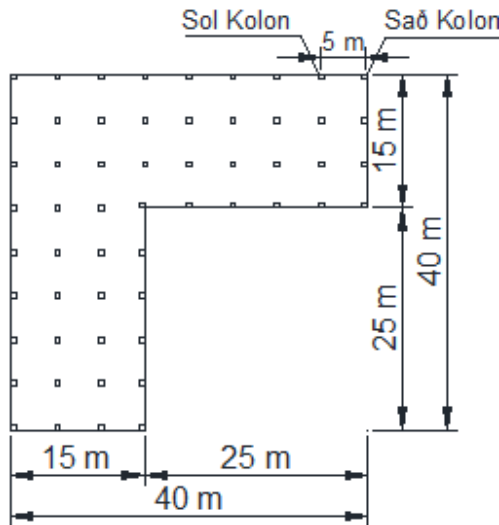
Çizelge 5.9’da; her deney elemanı için 0,5 B ve 1,0 B derinlikte yükün uygulandığı noktadaki gerilme değerleri 2:1, Boussinesq ve Newmark yöntemleriyle hesaplanarak verilmiştir. Ayrıca Plaxis modelinden elde edilen bu derinliklerdeki gerilme değerleri de çizelgeye eklenmiştir.

Çizelge 5.9. Farklı yöntemlerle hesaplanmış gerilme değerleri

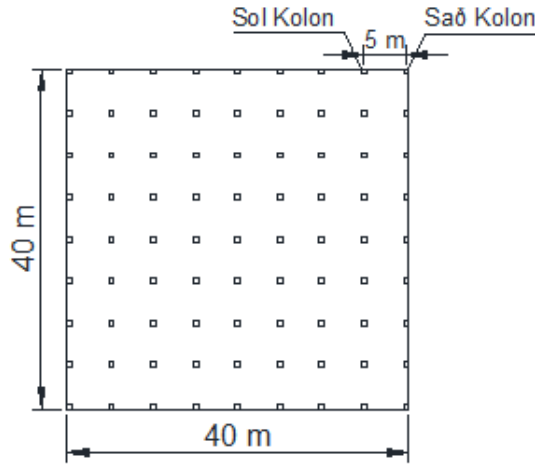
Temel	0,5 B				1,0 B			
	2:1	Bous.	New.	Plaxis	2:1	Bous.	New.	Plaxis
Kare	52	80	87	85	29	40	40	45
Küçük Boşluklu Kare	52	78	72	80	29	39	36	40
Büyük Boşluklu Kare	50	77	71	75	28	38	35	35
Büyük L	48	74	66	75	27	37	32	40
Küçük L	47	71	64	65	26	36	30	35
U	50	76	70	70	28	38	34	40

Boussinesq ve Newmark yöntemleriyle hesaplanan gerilme değerleri ile Plaxis modelinden elde edilen gerilme değerleri oldukça yakın çıkmıştır. 2:1 hesap yönteminde istenilen derinlikteki gerilme değeri ortalama olarak elde edilmiştir. Diğer iki hesap yönteminde ve Plaxis modelinde ise yükün uygulandığı noktanın istenilen derinlikteki gerilme değeri elde edilmiştir. Bu sebeple 2:1 yöntemi ile diğer yöntemler çok yakın çıkmamıştır. Boussinesq ve Newmark yöntemleri farklı geometrideki temeller için de uygun sonuçlar vermiştir (Çizelge 5.9).

Yapı temellerinde meydana gelen farklı oturmaların üst yapıya olan etkisini incelemek amacıyla en fazla farklı oturma davranışı sergileyen Küçük L şekilli deney elemanı (Şekil 5.52) ile referans deney elemanı (Şekil 5.53), Plaxis 3D Foundation bilgisayar programında gerçek boyutlara yakın ölçülerde modellenmiştir.

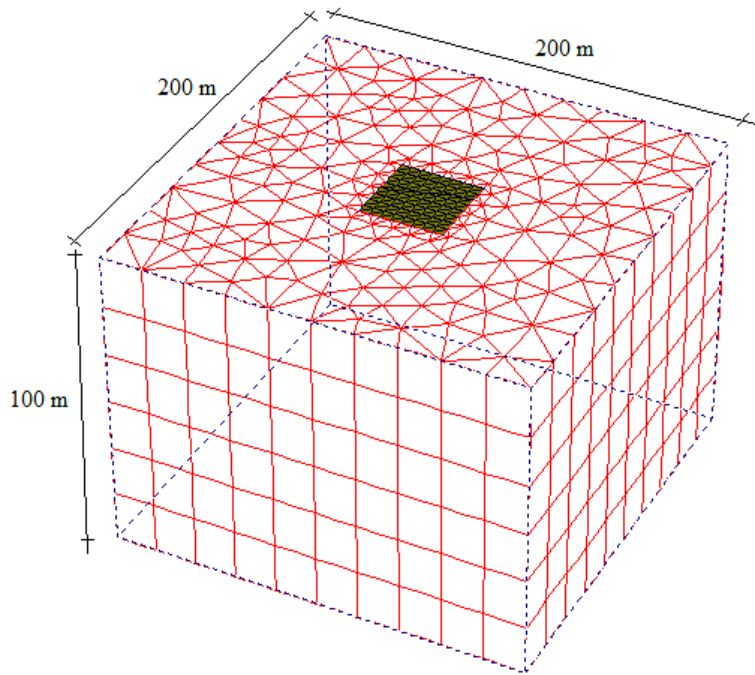


Şekil 5.52. Küçük L temelin gerçek ölçüleri



Şekil 5.53. Kare temelin gerçek ölçüleri

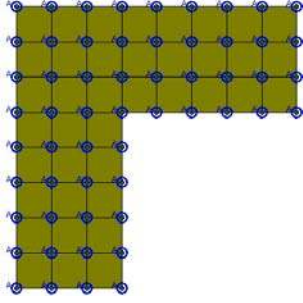
Oluşturulan modelde, temelin üzerine oturduğu zeminin sınırları 200 m x 200 m ve boyu ise 100 m olarak alınmıştır (Şekil 5.54).



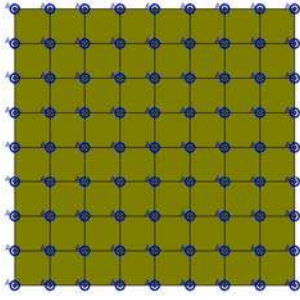
Şekil 5.54. Zemin boyutları

Temeller üzerinde, kolonları 5 m aralıklarla yerleştirilmiş 10 katlı bir bina bulunduğu kabul edilmiş ve yayılı yük olarak $0,5 \text{ t/m}^2$ alınmıştır. Köşe kolonlara 313 kN, kenar kolonlara 625 kN ve orta kolonlara ise 1250 kN'lik eksenel yük uygulanmıştır (Şekil

5.55 ve Şekil 5.56). Modelde kullanılan kumun elastisite modülü (E) 35000 kN/m², içsel sürtünme açısı (ϕ) ise 39° alınmıştır.



Şekil 5.55. L şekilli temele yapılan yükleme



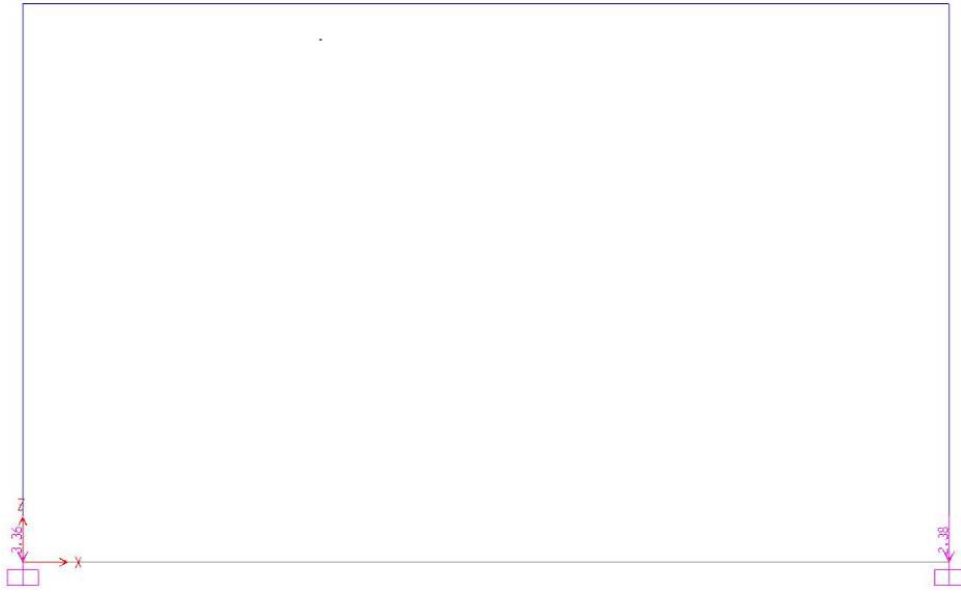
Şekil 5.56. Kare temele yapılan yükleme

Plaxis modellerinden elde edilen oturma değerleri incelendiğinde Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'te "Sol kolon" ve "Sağ kolon" olarak tanımlanan kolonlarda en fazla farklı oturmanın olduğu tespit edilmiştir. Kare ve L şekilli temeldeki sol kolon ve sağ kolon oturma değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Modellenen iki temelde de açısıl çarpılma değeri yaklaşık 1/500 çıkmıştır.

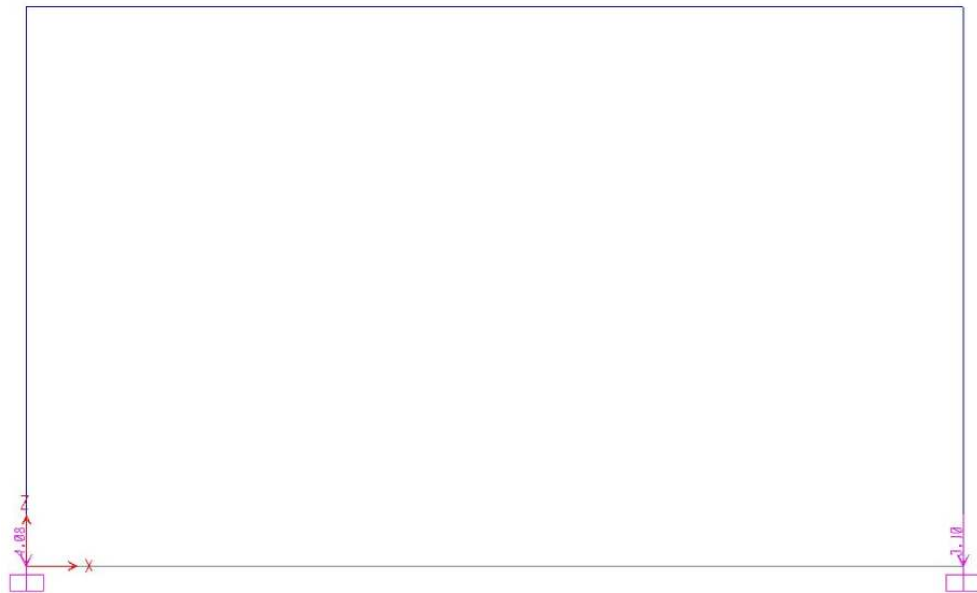
Çizelge 5.10. Modellerden elde edilen oturma değerleri

Temel Şekli	Sol kolondaki yer değiştirme (cm)	Sağ kolondaki yer değiştirme (cm)
L	3,36	2,38
Kare	4,08	3,10

En fazla farklı oturma değerine ulaşan çerçeve Sap2000 bilgisayar programında modellenmiştir. Modelde, kat yüksekliği 3 m alınmış ve çerçevenin kolon boyutları 60x60 cm, kiriş boyutları ise 60x80 cm olarak seçilmiştir. Modeldeki kolonlara Plaxis çözümünden elde edilen yer değiştirmeler etkilmiştir (Şekil 5.57 ve Şekil 5.58).

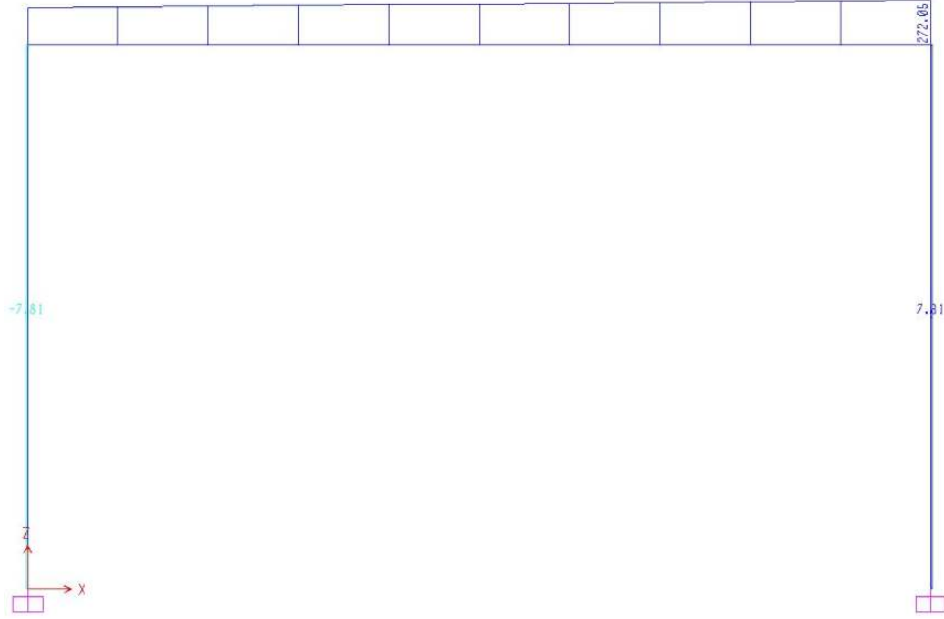


Şekil 5.57. L şekilli temelden alınan kolonlara yapılan deplasman yüklemeleri

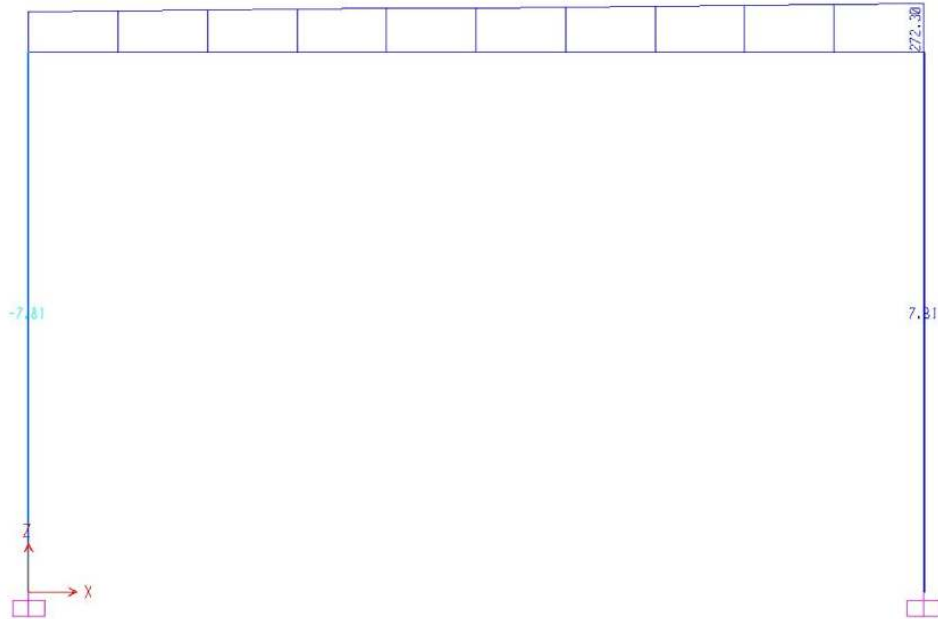


Şekil 5.58. Kare temelden alınan kolonlara yapılan deplasman yüklemeleri

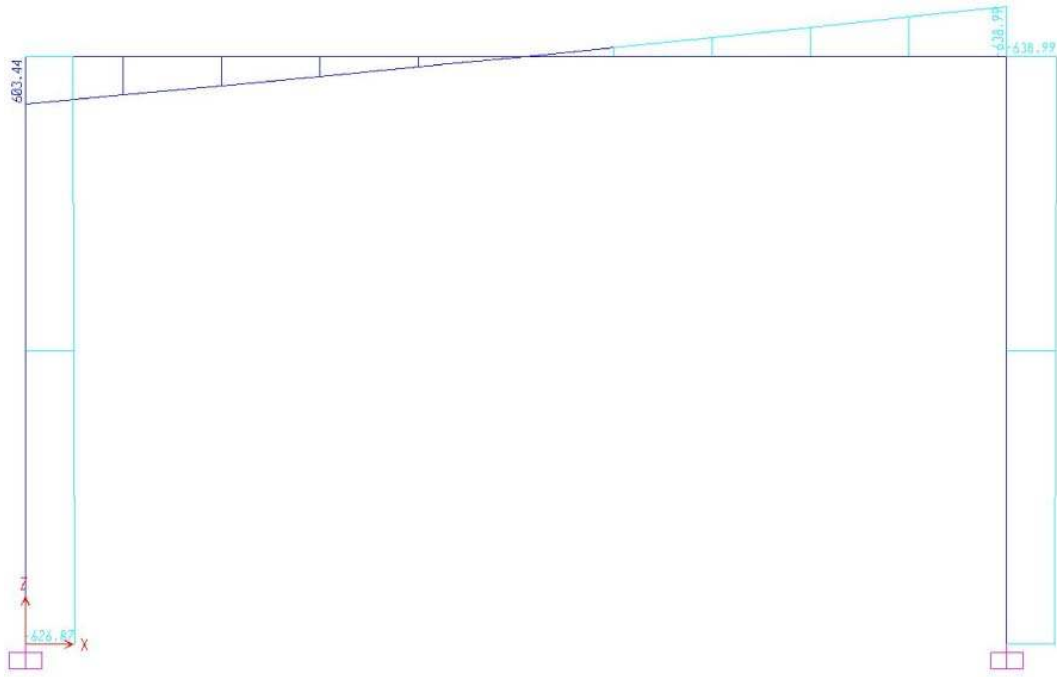
Modellenen çerçevelerin kirişinde meydana gelen kesme kuvveti diyagramları Şekil 5.59 ve Şekil 5.60'da, moment diyagramları ise Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'de verilmiştir. Ayrıca bu değerler Çizelge 5.11'de topluca sunulmuştur.



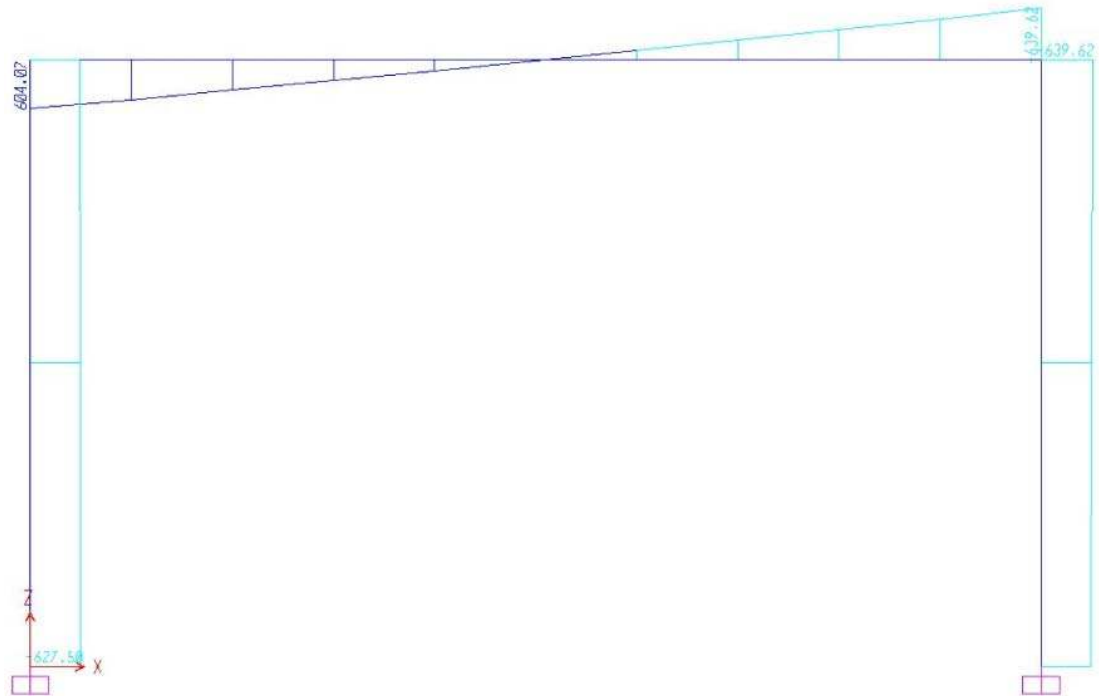
Şekil 5.59. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişindeki kesme kuvveti diyagramı



Şekil 5.60. Kare temelden alınan çerçevenin kirişindeki kesme kuvveti diyagramı



Şekil 5.61. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişindeki moment diyagramı



Şekil 5.62. Kare temelden alınan çerçevenin kirişindeki moment diyagramı

Çizelge 5.11. Kolonlara etkitilen yer değiştirme sonucu, kirişte oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri

Temel Şekli	Sol kolona etkitilen yer değiştirme (cm)	Sağ kolona etkitilen yer değiştirme (cm)	V (kN)	M (kNm)
L	3,36	2,38	272,05	638,99
Kare	4,08	3,10	272,30	639,62

L şeklindeki temele ait modelin kirişinde meydana gelen kesme kuvveti ve moment değerleri ile Kare temeldeki değerler karşılaştırıldığında, sonuçların oldukça yakın çıktığı görülmektedir (Çizelge 5.10). Bu çalışma ölçeğinde, temelin şeklinden dolayı oluşan farklı oturmaların üst yapıya olan etkisi, çok büyük farklar oluşturmamaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kum zemin üzerine oturan farklı şekillere sahip yüzeysel temellerin eksenel yükleme etkisi altındaki taşıma gücü ve oturma profilleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada incelenen esas değişken temellerin geometrik şekilleridir. Farklı şekil ve boyutlardaki altı adet temel, ağırlık merkezlerine etkitilen eksenel kuvvet etkisi altında test edilmiştir. Temellerin geometrik şekillerinin; temel taşıma gücü, gerilme dağılımı ve oturma profili üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler dikkate alınarak test edilen temellerin analitik kapasite hesaplamaları ve yük-oturma profillerinin simülasyonu, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis 3D Foundation yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Temeller farklı geometrilerde olduğu için 2 boyutlu analiz yapılmamış ve 3 boyutlu analiz yapan bir yazılım tercih edilerek her deney elemanının sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Deney elemanlarının yaptığı deplasman, en az genişliklerinin %10'una ($\approx \%10B \approx 40$ mm) ulaşana kadar yapılan yük-oturma grafiği simülasyonlarında, analiz sonuçları ile deney sonuçları arasında uyumlu davranışlar elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin genel davranışları birbirlerine yakın çıkmıştır. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda; farklı şekillere sahip temellerin taşıma gücü ve oturma potansiyelleri hesabında, Plaxis 3D Foundation yazılımının başarılı sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda, elemanların taşıma gücü performansları genel olarak incelendiğinde sonuçların birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Deneysel seride en iyi taşıma gücü performansını boşluğu olmayan ve referans deney elemanı olarak kabul edilen Kare temel sergilemiştir. Kare temelin taşıma gücü, deneysel seride taşıma gücü performansı en kötü olan Küçük L temelin taşıma gücünden yaklaşık %12 daha büyük çıkmıştır. Boşluk büyüklüğündeki artışın taşıma gücü değerini azalttığı görülmüştür. Özellikle zemin emniyet gerilmesinin düşük olduğu zeminler

üzeride yapılan temeller içerisinde bir boşluk bırakılması kaçınılmaz ise bu boşluğun olabildiğince azaltılması taşıma gücü açısından önemlidir.

Yüzey alanları eşit olan Büyük Boşluklu Kare (Deney elemanı 3), Büyük L (Deney elemanı 4) ve U temelin (Deney elemanı 6) taşıma gücü değerleri incelendiğinde; temeldeki boşluğun, simetri eksenlerinin kesişimin bölgesinde olduğu Büyük Boşluklu Kare temelin performansı, boşluğun yerinin yalnızca bir simetri eksenini üzerinde olduğu U temelin performansından yaklaşık %3, boşluğun yerinin temelin köşesinde yer aldığı Büyük L temelin performansından ise yaklaşık %6 daha iyi olduğu görülmektedir. Boşluğun yerinin yalnızca bir simetri eksenini üzerinde olduğu U temelin performansı, boşluğun hiçbir simetri eksenini üzerinde yer almadığı Büyük L temelin performansından yaklaşık %3 daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bahsi geçen bu temellerin taşıma gücü değerlerinin yakın çıkması, temeldeki boşluğun yerinin taşıma gücü performansına etkisinin az olduğunu göstermektedir.

Bilgisayar modelinden alınan gerilme dağılımlarına bakıldığında, ortasında boşluğa sahip olan Küçük Boşluklu Kare ve Büyük Boşluklu Kare temelde, temeldeki sürekliliğin bozulduğu boşluğun etrafında gerilme yığılmaları olduğu görülmektedir. “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerleri incelendiğinde ise bu değerler, yine ortasında boşluğu bulunan temelerde daha büyük çıkmıştır. En büyük “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerine sahip olan Küçük Boşluklu Kare temelden alınan değer, en düşük “Maksimum gerilme/Ortalama gerilme” değerine sahip olan Küçük L temelden alınan değerden yaklaşık %30 daha büyük çıkmıştır. Bu durum, temelin ortasında yer alan boşluğun gerilme üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bahsedilen temellere benzer şekillerde projelendirilme yapılırken bu gerilme dağılımlarına dikkat edilmelidir.

Yapı temellerinde meydana gelen farklı oturmaların üst yapıya olan etkisini incelemek amacıyla en az taşıma gücüne sahip olan Küçük L şekilli deney elemanı ile referans deney elemanının gerçek boyutlardaki (B=40 m) modelleri Plaxis 3D Foundation programında oluşturulmuştur. Bu modellerin çözdürülmesi ile elde edilen en fazla farklı oturma değerine ulaşan çerçeveler Sap2000 bilgisayar programında

modellenmiştir. Modeldeki kolonlara Plaxis çözümünden elde edilen yer değiştirmelerin etkilmesiyle çerçevenin kirişinde meydana gelen kesme ve moment değerleri okunmuştur. L şekilli temelden alınan çerçevenin kirişinde oluşan kesme ve moment değerleri ile Kare temelden alınan çerçevenin kirişinde oluşan kesme ve moment değerleri birbirlerine oldukça yakın değerler vermiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ölçeğinde, temelin şeklinden dolayı oluşan farklı oturmaların üst yapıya olan etkisi, çok büyük farklar oluşturmamaktadır.

Yürütülen deneysel çalışma kapsamında temellerin geometrik boyutları, deneylerin gerçekleştirildiği deney düzeneğinin boyutları nedeniyle sınırlandırılmış ve en büyük temel boyutu 400 mm olarak seçilmiştir. Sahada, daha büyük temel boyutları ile farklı şekillere sahip temel deney elemanlarının testlerinin gerçekleştirilmesi, sonuçların genelleştirilebilmesi için son derece faydalı olacaktır. Kazıklı temeller için benzer şekillerde farklı geometriye sahip temellerin test edilmesi ileriye yönelik yapılabilecek çalışmalar içerisinde. Bu çalışmada yüklemeler konsantrik uygulanmıştır. Eksantrik yükleme veya tersinir tekrarlanır yatay yükleme için de farklı şekillerdeki temellerin testleri yapılabilir. Farklı şekillere sahip temellerin taşıma gücü ve oturma değerlerinin hesaplanması için, bilgisayar ortamında yapılan sonlu eleman modelleri ile deney sayısı artırılarak, ampirik eşitliklerin geliştirilmesi çalışmalarının son derece faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Birand, A., “Sığ (Yüzeysel) Temeller”, Teknik Yayınevi, **Mühendislik Mimarlık Yayınları**, Ankara, 26 (2006).
2. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi**, Ankara, 108 (2007).
3. Coduto, D.P., “Temel Tasarımı: İlkeler ve Uygulamalar”, Murat Mollamahmutoğlu, Kamil Kayabalı, **Gazi Kitabevi**, 52-333 (2005).
4. Girgin, S.C., Mısıır, S., Özden, G., Kahraman, S., “Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapısal Tasarımdaki Rolü”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi**, İzmir, 1: 27-37 (2008).
5. Birand, A., “Temel Zemin Etkileşmesi; Oturma ve Yapı Hasarları”, **İMO Yapı Zemin**, 63-67 (2007).
6. Laman, M., Keskin, M. S., “Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi”, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 431: 53-57 (2004).
7. Bağrıaçık, B., Laman, M., “Yüzeysel Temel Geometrisinin Zeminlerde Oluşan Gerilmelere Etkisinin Araştırılması”, **Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi**, Adana, 1-2: 155-166 (2010).
8. Babagiray, G., “Kohezyonsuz Zeminler Üzerindeki Yüzeysel Temeller İçin Taşıma Gücü Belirleme Yöntemlerinin ve Rijit Tabaka Etkisinin İncelenmesi”, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 4-5, (2010).
9. Kumbasar, V., Kip, F., “Zemin Mekaniği Problemleri”, **Çağlayan Kitapevi**, İstanbul, 213-360 (1999).
10. Das, B.M., “Principles of Foundation Engineering”, **RPK Editorial Services**, 81-147 (2007).
11. Cernica, J.N., “Geotechnical Engineering Soil Mechanics”, **John Wiley and Sons, Inc.**, Department of Civil Engineering, Youngstown State University, 222-430 (1995).
12. Önalp, A., Sert, S., “Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 98 (2006).
13. Holtz, R.D., Kovacs, W.D., “Geoteknik Mühendisliğine Giriş”, Kamil Kayabalı, **Gazi Kitabevi**, 250-316 (2010).
14. Cerato, A. B., Lutenecker, A. J., “Bearing Capacity of Square and Circular Footings on a Finite Layer of Granular Soil Underlain by a Rigid Base”,

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1496–1501 (2006).

15. Brinkgreve, R. B. J., Broere, W. “Plaxis 3D Foundation Tutorial”, ***Balkema Publishers***, Delft University of Technology & Plaxis B.V., The Netherlands, 7-10 (2004).

EKLER

EK-1. Deney Düzeneği Fotoğrafları



Resim 1.1. Deney düzeneğini oluşturan 2,00 x 2,00 x 1,00 m boyutlarında elik kutu



Resim 1.2. 300 kN basınç uygulayabilen bir hidrolik krik

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : Salih BABAGİRAY
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1986 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 417 83 00 / 2684
Faks : 0 (312) 417 13 78
e-posta : salihbabagiray@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi-İnşaat Müh.	2008
Lise	Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008	NODUS Müh. Müş. Ltd. Şti.	Statik Proje Mühendisi
2009–devam	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce