



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0204

ENGINEERING SCIENCES

Received: May 2011

Accepted: October 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Murat Örnek

Mustafa Kemal University

mornek@mku.edu.tr

Hatay-Turkey

EKSANTRİK YÜKLÜ TEMELLERDE TAŞIMA GÜCÜ VE GERİLME DAVRANIŞININ SAYISAL ANALİZİ

ÖZET

Temeller düşey merkezi yükün yanında, eğilme momentinin de etkisinde kalabilmektedirler. Eğilme momentleri de genellikle yatay yüklerden (deprem, rüzgâr, su, yanıl zemin basınçları vs.) meydana gelmektedir. Komşu yapı temelının inşa edilecek bina temelına çok yakın olması durumunda, konsol davranışı gösteren temellerde, istinat duvarı, yüksek kule temeli, köprü ayağı, payanda, tünel gibi inşaatlarda temeller eksantrik olarak yüklenebilmektedirler. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki boyutlu Plaxis 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) bilgisayar yazılımı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan modelin doğruluğu ve tutarlılığı, literatürde mevcut deneysel gerilme deformasyon bağıntıları modellenerek tespit edilmiştir. Çalışmada, temel geometrisi (kare, daire), zemin türü (kil, kum) ve yükleme koşulları (merkezi, eksantrik) gibi parametrelerin yüzeysel temellere ait taşıma gücü, oturma ve düşey gerilme karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzeysel Temel, Eksantrik Yükleme,
Sonlu Elemanlar Analizi, Taşıma Gücü, Oturma,
Düşey Gerilme

NUMERICAL ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND STRESS BEHAVIOUR OF ECCENTRICALLY LOADED FOOTINGS

ABSTRACT

Apart from the vertical axial loads, the footings of portal framed buildings are often subjected to eccentric loads caused by forces of earth pressures, earthquakes, water, wind, etc. For designing footings subjected to earthquake forces, adopting appropriate values of horizontal and vertical seismic coefficients, equivalent seismic forces can be conveniently evaluated. These forces in combination with static forces make the foundations subjected to eccentric-inclined loads. The problems of footings subjected to eccentric inclined loads are frequently encountered in the cases of the foundations of retaining wall, abutments, columns, stanchions, portal framed buildings etc. Sometimes the corner of the column of these portal-framed buildings is located very close to the property line, and hence subjected to eccentric loading. Finite element based two dimensional computer software Plaxis 2D has been used in this study. Accuracy and consistency of the model used in the analysis has been investigated with modeling of the stress-strain behaviour of the soils existing in the literature. The effects of the footing geometry (square, circular), the soil type (clay, sand) and the loading conditions (centric, eccentric) on the bearing capacity, settlement and vertical stress characteristics of the shallow footings have been investigated.

Keywords: Shallow Footing, Eccentric Loading, Finite Element Analysis, Bearing Capacity, Settlement, Vertical Stress

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temeller, yapıdan gelen statik, dinamik, yatay veya düşey yükleri zeminlere güvenli ve ekonomik olarak aktaran yapı elemanlarıdır. Temeller aynı anda taşıma gücü, oturma ve ekonomi gibi kıstasları sağlamak zorundadırlar. Başka bir ifadeyle bir temel göçmeye karşı yeterli güvenlikte olmalı ve muhtemel maksimum toplam ve farklı oturmalar, kabul edilecek değerleri geçmemelidir. Temeller düşey merkezi yükün yanında, eğilme momentinin de etkisinde kalabilmektedirler. Eğilme momentleri de genellikle deprem, rüzgâr, su ve yanal zemin basınçları gibi yatay yüklerden meydana gelmektedir. Komşu yapı temelini inşa edilecek bina temeline çok yakın olması durumunda, konsol davranışı gösteren temellerde, istinat duvarı, yüksek kule temeli, köprü ayağı, payanda, tünel gibi inşaatlarda temeller eksantrik olarak yüklenebilmektedirler. Bu tür özel temel türü gerektiren sistemlerde kullanılan tasarım ve analiz yöntemleri geleneksel (düşey yüklü, merkezi ve düzgün yayılı) temel tasarım ve uygulamalarından farklı olmaktadır. Bir yüzeysel temelde enine eksantrisite (e), momentin (M) düşey yüke (Q) oranı olarak tanımlanmaktadır.

Merkezi ve eksenel yüklü temellerle kıyaslandığında literatürde eksantrik ve/veya eksantrik-eğik yüklü temellerin davranışı ile ilgili çalışmaların sayısı sınırlıdır [1 ve 13]. Hgiaj ve ark. [1] tarafından kohezyonlu zemine oturan merkezi-eğik yüklü şerit temellerin taşıma gücünün bulunması amacıyla sayısal olarak limit analizi yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ve lineer olmayan programlama ile alt ve üst sınır değerleri tayin edilmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen nihai taşıma gücü değerleri, literatürde mevcut Meyerhof, Hansen ve Vesic tarafından önerilen bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, eğik yükleme durumunda Meyerhof ve Vesic bağıntıları ile bulunan değerlerin sayısal değerlerden daha uzak olduğunu göstermiştir. Çalışmada Meyerhof bağıntısının da zemin ağırlığını ihmal ettiği belirtilmiştir. Joshi ve Mahiyar [2] tarafından eksantrik-eğik yükleme koşulları için uygun, eğim verilerek üretilen temel türü önerilmiştir. Bu amaçla laboratuvar deneyleri yapılmış, sonuçlar da sonlu elemanlar metoduna dayanan ANSYS yazılımı ile doğrulanmaya çalışılmıştır. Deney ve analiz sonuçları, eğimli olarak üretilen temellerde, eksantrik-eğik yüklemeye kaynaklanan yatay deplasmanların büyük oranda azaldığını göstermiştir. Loukidis ve ark. [3] tarafından, üniform bir zemine oturan eksantrik-eğik yüklü rijit şerit temelde göçme yükü sonlu elemanlar yaklaşımı ile belirlenmiştir. Analizlerde temeller zemin yüzeyinde kabul edilmiş ve sürşarj yükü etkisi ortadan kaldırılmıştır. Temel zemini elastik-tam plastik kabul edilmiş ve Mohr Coulomb göçme kriterine göre çözümler yapılmıştır. Azaltılmış genişlik, yük eğim derecesi ve boyutsuzlaştırılmış düşey yük-yatay yük-moment kırılma zarflarının ilişkilendirildiği birleşik ve birleşik olmayan akma kurallarına göre yapılan analizlerde, birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, yük eğim faktörünün zemin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değiştiğini fakat zemin içsel sürtünme açısının azaltılmış genişliği etkilemediğini göstermiştir. Musso ve Ferlisi [6] tarafından, suya doygun sıkı kum zeminlere oturan ve merkezi/eksantrik yüke maruz model şerit temelini davranışı ele alınmıştır. Bu amaçla küçük ölçekli model deneyler ve analizler yapılmıştır. Deneyler, suya doygun koşulların ve hidrolik eğimin dikkate alındığı, her birinde beş farklı eksantrisitenin bulunduğu, üç farklı seride yapılmıştır. Merkezi ve eksantrik yükleme durumlarında farklı göçme mekanizmaları

gözlenmiştir. Geri hesaplama yöntemi ile kayma gerilmesi parametreleri elde edilmiştir. Analizlerde birleşik-birleşik olmayan akma kuralı kullanılarak karşılaştırmalar yapılmış, teorik olarak göçme mekanizmaları ve kayma yüzeyleri ele alınarak deney sonuçları yorumlanmıştır. Nawghare ve ark. [7] tarafından eksantrik yüklü kare ve dikdörtgen temellerin taşıma kapasiteleri model deneylerde ele alınmıştır. Deneyler hem merkezi yüklü, hem de farklı eksantrisite oranlarında eksantrik yüklü olarak yapılmış, taşıma gücü ve bunlara karşılık gelen oturma değerleri bulunmuştur. Deney sonuçları, dikdörtgen kesitli temellerde hem merkezi, hem de eksantrik yükleme durumlarında temel boyutu arttıkça taşıma kapasitesinin arttığını göstermiştir. Öte yandan, kare kesitli temellerde taşıma kapasitesinin yüklem türünden etkilenmediği, fakat temel oturumlarının değiştiği gözlenmiştir. Sadoglu ve ark. [11] tarafından, donatı ile güçlendirilen sıkı kum zemine oturan eksantrik yüklü model şerit temel kullanılarak model deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları, eksantrisite arttıkça nihai taşıma kapasitesinin azaldığını göstermiştir. Saran ve ark. [12] tarafından, donatılı zemine oturan ve eksantrik-eğik yüklü kare ve dikdörtgen temellerde belli oturmaya karşılık gelen taşıma gücü değerlerini hesaplayan bir analiz yöntemi sunulmuştur. Analizler doğrultusunda uygulamaya yönelik çeşitli boyutsuz abaklar önerilmiş, sonuçlar model deneyler yapılarak doğrulanmıştır. Taibeat ve Carter [13] tarafından düşey yük ve momente maruz kalan şerit ve dairesel temellerin kırılma zarfları, sonlu elemanlar analizi ve azaltılmış genişlik esasına göre tanımlanan alt sınır yöntemi çözümleriyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, eksantrik yüklü temellerin analizinde sıklıkla kullanılan azaltılmış genişlik yönteminin göçme yükünü daha iyi tanımladığını göstermiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, iki boyutlu sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan modelin doğruluğu ve tutarlılığı, literatürde mevcut deneysel gerilme deformasyon bağıntıları modellenerek tespit edilmiştir. Çalışmada, temel geometrisi (kare, daire), zemin türü (kil, kum) ve yükleme koşulları (merkezi, eksantrik) gibi parametrelerin yüzeysel temellere ait taşıma gücü, oturma ve düşey gerilme karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sayısal analizlerde, kare temel kenar genişliği (B) ile dairesel temel çapı (D) 1.00m olarak alınmıştır. Kil ve kum zemin davranışının modellenmesi için Mohr Coulomb Modeli kullanılmıştır.

3. MODEL DENEYLER (MODEL TESTS)

3.1. Arazi Deneyleri (Field Tests)

Büyük ölçekli arazi deneyleri Adana Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisleri içinde yer alan bir sahada gerçekleştirilmiştir. Deney sahası yaklaşık 30m uzunluğa ve 11.6m genişliğe sahiptir. Deneylerden önce mevcut zeminin indeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir zemin etüdü yapılmıştır. Açılan muayene çukurlarından ilk 0.80m'lik tabaka bitkisel toprak, 0.80m ile 2.60m arası tabaka ise, siltli kil zemin olarak belirlenmiştir. Bir tanesi 20.0m, üç tanesi de 13.0m derinliğinde olmak üzere toplam dört adet sondaj kuyusu açılmıştır. Yeraltı suyu seviyesi yaklaşık 2.40m olarak belirlenmiştir. Her bir sondaj kuyusunda Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Deney sonuçları, zeminin orta sıklıkta kil olduğunu göstermiştir. Geleneksel laboratuvar deneyleri, Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda

gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sınıflama, birim hacim ağırlık, sıklık, mukavemet ve oturma deneyleri yapılmıştır. Ortalama su muhtevası %23, ortalama dane birim hacim ağırlığı ise 2.07kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Konsolidasyon deneylerinden, zeminin normal konsolide kil zemin olduğu anlaşılmıştır. Arazide yapılan büyük ölçekli model deneylerin hazırlık, yapım ve sonuçların değerlendirilmesi gibi aşamalarına ait ayrıntılı bilgiler, Laman ve ark. [14] ile Örnek [15]'de yer almaktadır.

3.2. Laboratuvar Deneyleri (Laboratory Tests)

Küçük ölçekli laboratuvar deneyleri Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Model deneylerde Adana Seyhan nehir yatağından elde edilen üniform, yıkanmış, ince kum zeminler kullanılmıştır. Kuru birim hacim ağırlığının 17.1kN/m^3 olduğu durumda deney kumu üzerinde 50, 100 ve 200kPa normal gerilmeler altında yapılan (drenajlı-drenajsız hangisi? CU-CD-UU?) kesme kutusu deneylerinden içsel sürtünme açısının 41° olduğu tespit edilmiştir. Laboratuvarda yapılan küçük ölçekli model deneylerin hazırlık, yapım ve sonuçların değerlendirilmesi gibi aşamalarına ait ayrıntılı bilgiler, Yıldız [16] ile Laman ve Yıldız [17]'da yer almaktadır.

4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (FINITE ELEMENT ANALYSIS)

4.1. Genel (General)

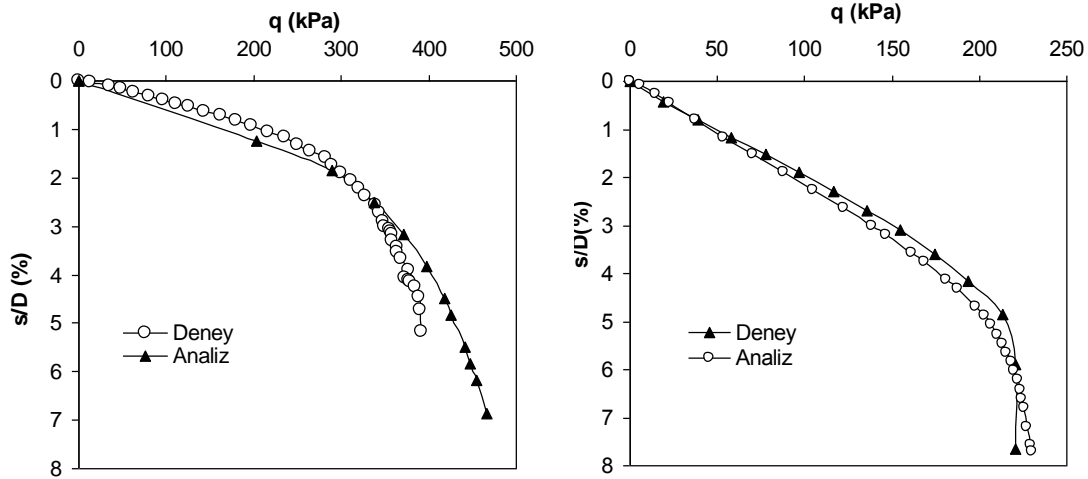
Sayısal analizler, karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan etkin matematiksel yöntemlerdir. Bu yöntemle zeminlerin malzeme davranışı iyi bir şekilde modellenmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir ortamın sonlu eleman olarak adlandırılan çeşitli geometrik alt bölgelere ayrılarak mühendislik problemlerinin çözülebildiği matematiksel yöntemlerden biridir. Bu yöntem, inşaat mühendisliğinin çoğu uygulamalarında hem araştırma amaçlı, hem de problemlerin tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi, son yıllarda geoteknik mühendisliğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemle zeminlerin malzeme davranışı iyi bir şekilde modellenmektedir [18]. Çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki boyutlu Plaxis 2D (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır [19]. Programda, farklı tür zeminlere oturan temellerin deformasyon analizleri yapılabilmekte ve herhangi bir zemin probleminin gerilme-deformasyon ilişkileri tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda programda zemin parametreleri, inşaat aşamaları, yükleme ve sınır koşulları girilerek problemin ayrıntılı ve hassas bir şekilde modellenmesi sağlanmaktadır. Kil ve kum zemin davranışının modellenmesi için Mohr Coulomb Modeli kullanılmıştır.

Zemin davranışının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan Mohr Coulomb modeli, elastisite modülü E , Poisson oranı ν , kohezyon c , içsel sürtünme açısı ϕ ve dilatasyon açısı ψ olmak üzere beş ayrı parametreyi içermektedir. Ayrıca, $E_{\text{increment}}$ ve $C_{\text{increment}}$ gibi ileri düzey parametreler de modelde yer almaktadır. Mohr Coulomb modelinde elastisite modülü (E) temel rijitlik modülü olarak ele alınırken rijitlik modülü gerilme (birim alana düşen yük) cinsinden tanımlanmaktadır. Mohr Coulomb modelinde üç eksenli basınç deneyinde elde edilen $|\sigma_1 - \sigma_3| - \varepsilon_1$ eğrisinin başlangıç eğimi E_0 , mukavemetin %50'sine karşılık gelen doğrunun eğimi de sekant modülü (E_{50}) olarak tanımlanmaktadır. E_0 modülünün büyük oranda lineer elastik davranış gösteren aşırı konsolide killerde ve bazı kayalarda, E_{50} modülünün ise

kumlarda ve normal konsolide killerde kullanılması önerilmektedir [19]. Zeminlerde hem başlangıç modülü (E_0) hem de sekant modülünün (E_{50}) değeri, çevre basıncına bağlı olarak değişmektedir. Derin zemin tabakalarında elde edilen rijitlik modülleri, sığ tabakalarda elde edilen modüllere göre daha büyük olmaktadır. Aynı zamanda zeminlerde rijitlik, gerilme izlerine de bağlıdır. Yük boşalması ve yeniden yükleme esnasında elde edilen rijitlik değerleri, başlangıç yüklemesine göre oldukça büyüktür. Young modülüne bağlı olarak tanımlanan rijitlik modülü, drenajlı yükleme durumunda göçme durumuna göre daha küçük olmaktadır. Mohr Coulomb modelinde tek boyutlu basınç durumları için yaygın olarak kullanılan $K_0 = \sigma_h / \sigma_v = \nu(1-\nu)$ tanımlaması yapılmıştır.

Analizlerden önce, arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak modelin geçerliliği ve doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, ayrıntıları yukarıda bahsedilen ve arazide doğal kil zemin üzerine oturan 60cm çapındaki dairesel temel ile laboratuvarda kum zemin üzerine oturan 8.5cm çapındaki dairesel temel ile yük-oturma eğrileri tipik olarak verilmiştir (Şekil 1). Grafiklerden, sayısal analizlerde kullanılan modelin kil ve kum zemin davranışını iyi bir şekilde modelleyebildiği görülmektedir.



(a) Kil zemin (Clay soil)

(a) Kum zemin (Sand soil)

Şekil 1. Analizlerde kullanılan modelin geçerliliğinin araştırılması
(Figure 1. Validation of soil model used in analyses) Şekilde verilen s , D ve q gibi simgelerin ne anlama geldiği belirtilmeli.

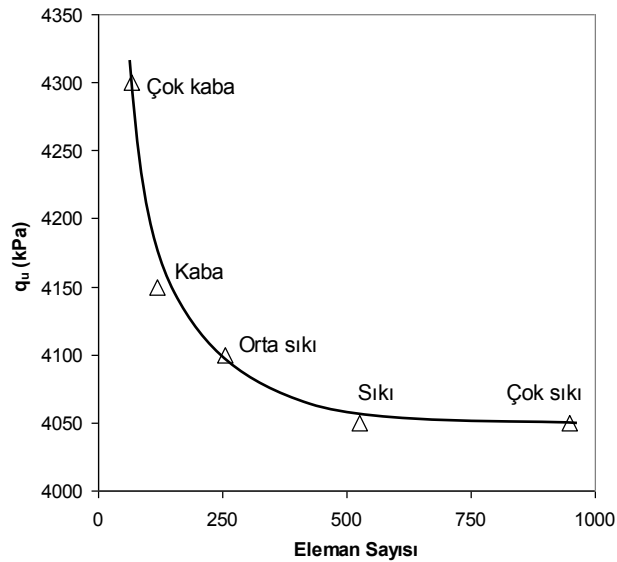
Kullanılan modelin geçerliliğinin ve doğruluğunun tespit edilmesinin ardından parametrik çalışmalara geçilmiştir. Sayısal analizler drenajsız koşullarda gerçekleştirilmiştir. Dairesel temellerde aksenal simetrik (axisymmetric), kare temellerde ise düzlem birim deformasyon (plane strain) koşullarında çözümler yapılmıştır. Kil ve kum zeminler için analizlerde kullanılan parametreler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Mohr Coulomb model parametreleri
(Table 1. Mohr Coulomb model parameters)

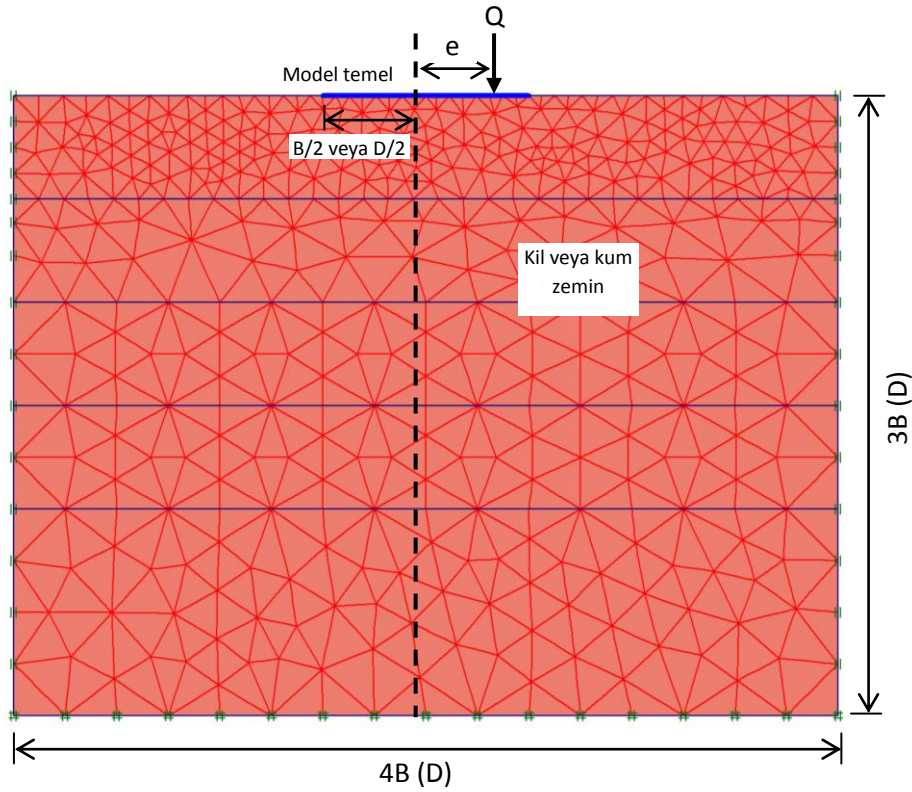
Parametre	Kil Zemin	Kum Zemin
	Değer	Değer
Birim hacim ağırlığı, γ_n (kN/m ³)	18	20
Yükleme rijitliği, E_{ref} (kN/m ²)	8500	40000
Kohezyon, c (kPa)	75	1
Poisson Oranı, ν	0.35	0.30
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (derece)	0	30
Dilatasyon Açısı, ψ (derece)	0	2

4.2. Ağ Etkisinin Araştırılması (Mesh Effect Analysis)

Sonlu elemanlar yönteminde sonuçların, eleman ve düğüm sayılarından dolayısıyla da ağ dizilişinden etkilendiği bilinmektedir. Bundan dolayı ağ etkisi sayısal model analizleri yapılmadan önce araştırılmıştır. Modellemede diğer tüm parametreler sabit kabul edilerek çok kaba (very coarse), kaba (coarse), orta (medium), sıkı (fine) ve çok sıkı (very fine) gibi 5 farklı ağ sıklığında analizler yapılmış ve nihai taşıma gücü ilişkileri Şekil 2'de verilmiştir. Nihai taşıma gücü değerleri (q_u), eğrilerde başlangıç ve onu izleyen ikinci doğru kısmın teğetlerinin kesişimi olarak kabul edilmiştir [20]. Tüm analizlerde nihai taşıma kapasitesinin bulunmasında bu yaklaşım uygulanmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi nihai taşıma kapasitesi "çok kaba" ağdan "sıkı" ağ derecesine kadar etkilenmekte, ancak "sıkı" ağdan sonra nihai taşıma kapasitesi değişmemektedir. Bu nedenle, yapılan tüm analizlerde "sıkı" ağ seçilmiştir. Aynı zamanda gerilmenin yoğun olduğu temele yakın bölgelerde ağ sıklaştırması da yapılmıştır. Sayısal analizlerde ortalama 850 eleman kullanılmış olup, tipik ağ görüntüsü ve oluşturulan geometri, Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Ağ analizi
(Figure 2. Mesh analysis)



Şekil 3. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan tipik ağ görüntüsü ve geometri

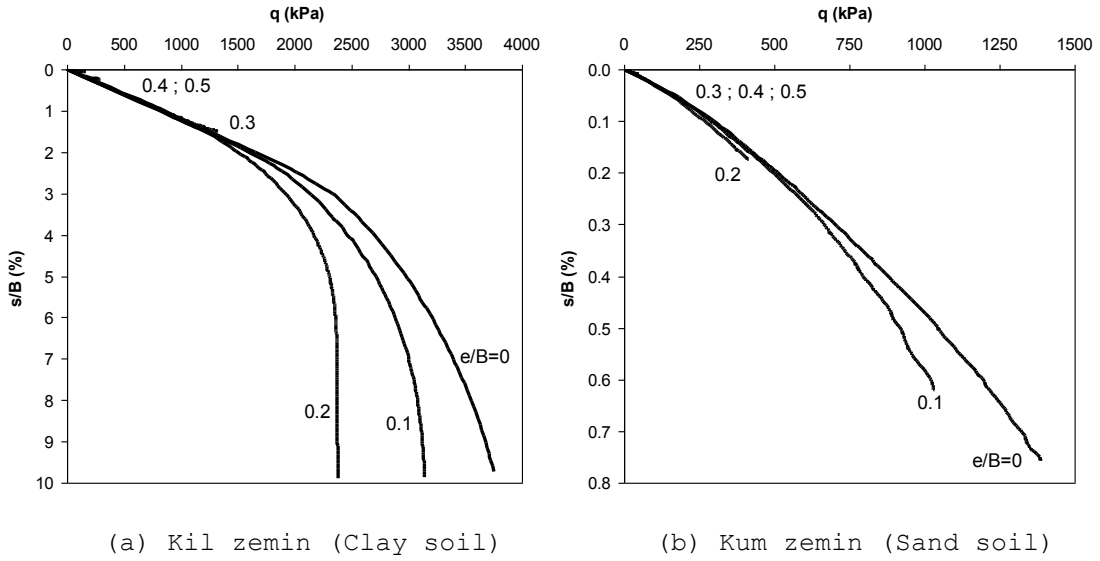
(Figure 3. Typical finite element mesh and geometry used in the finite element analyses)

5. SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI (NUMERICAL ANALYSIS RESULTS)

Yüklemenin eksantrik olması durumunda, kil ve kum zemine oturan kare ve dairesel temellerde taşıma gücü, oturma, düşey gerilme karakteristiklerinin araştırıldığı parametrik çalışmada toplam 48 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Eksantriklik oranı (kare temellerde e/B ; dairesel temellerde e/D) 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 olarak alınmıştır. Sayısal analizlerde kare ve dairesel model temellerin genişlik veya çapı 1.00m olarak alınmıştır. Oturma ve düşey gerilme değerleri tüm analizlerde kare ve dairesel temellerin $0.25B(D)$ derinlik seviyelerinde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Aynı zamanda, oturma ve düşey gerilme davranışları kil zeminlerde 1000kPa, kum zeminlerde 500kPa'lık yükleme durumları için araştırılmıştır.

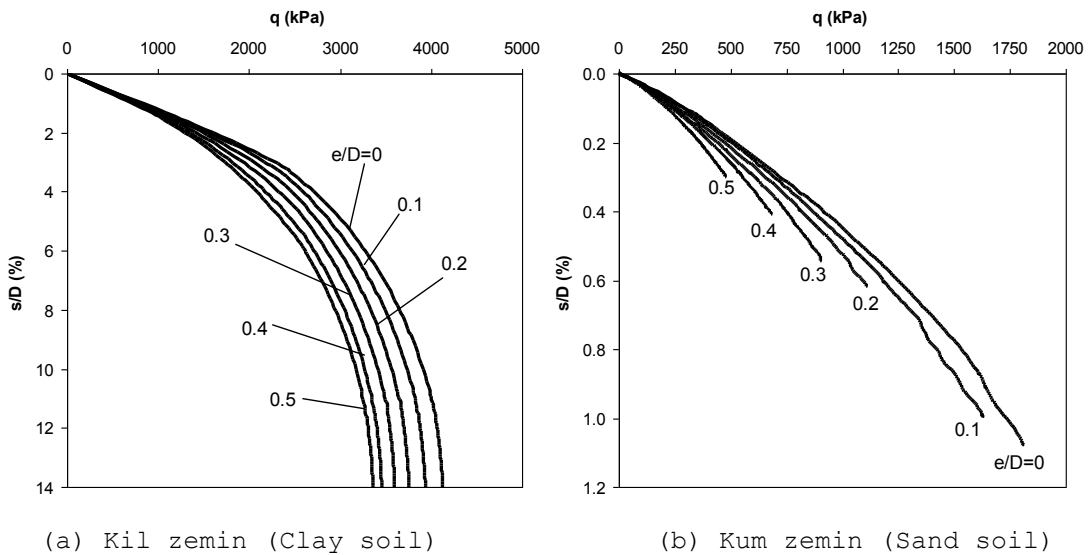
5.1. Eksantrisite-Taşıma Gücü İlişkisi (Eccentricity-Bearing Capacity Relation)

Kare temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde taşıma gücüne olan etkisi Şekil 4'te araştırılmıştır. Şekildeki grafiklerden görüldüğü üzere, kare temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça taşıma gücü azalmaktadır. Yükün merkezi olması durumunda ($e/B=0$) elde edilen nihai taşıma kapasitesi, eksantrisitenin en yüksek olduğu durumda ($e/B=0.5$) elde edilen nihai kapasitesinden kil zeminlerde yaklaşık 20 kat, kum zeminlerde ise yaklaşık 70 kat daha fazladır.



Şekil 4. Kare temellerde eksantrisitenin taşıma gücüne etkisi
(Figure 4. Effect of eccentricity on bearing capacity of square footings)

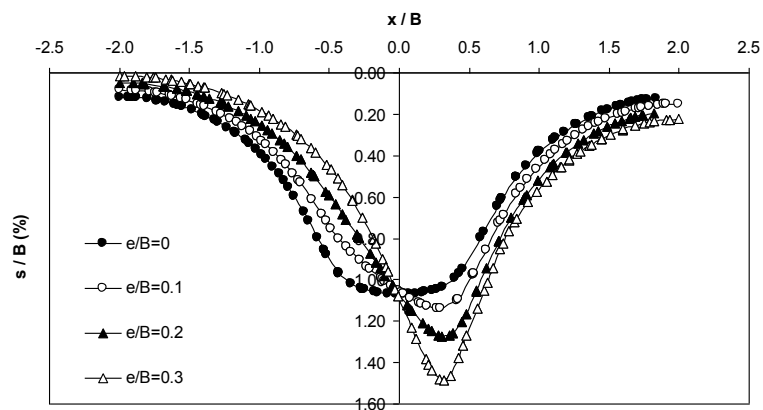
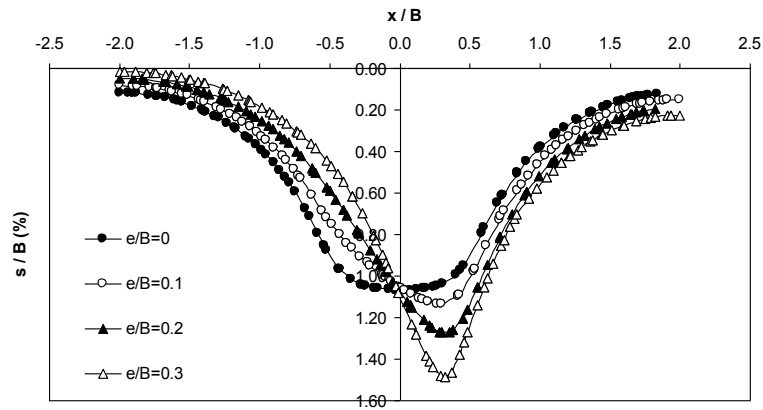
Şekil 5'te, dairesel temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde taşıma gücüne olan etkisi araştırılmıştır. Kare temellerde olduğu gibi dairesel temellerde de, kil ve kum zeminlerde e arttıkça q_u değeri azalmaktadır. Kil zeminlerde $e/D=0$ durumunda q_u değeri yaklaşık 4300kPa olarak elde edilmişken, $e/D=0.5$ durumunda bu değer yaklaşık 3200kPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler kum zeminler için sırasıyla yaklaşık 1800kPa ve 500kPa olarak elde edilmiştir.



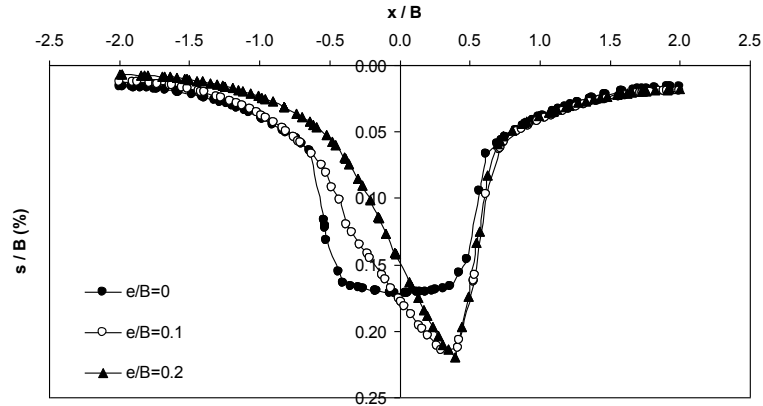
Şekil 5. Dairesel temellerde eksantrisitenin taşıma gücüne etkisi
(Figure 5. Effect of eccentricity on bearing capacity of circular footings)

5.2. Eksantrisite-Oturma İlişkisi (Eccentricity-Settlement Relation)

Kare temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde oturma davranışına olan etkisi araştırılmış ve Şekil 6'da grafik halinde sunulmuştur. Şekildeki grafiklerden görüldüğü üzere, kare temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça oturma değerleri de artmaktadır. En yüksek oturma değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey ekseninde meydana gelmektedir. Yükün uygulandığı yatay eksenenden uzaklaştıkça oturma değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Temel merkezinden yaklaşık $2B$ kadar yatay uzaklıkta oturmalar ihmal edilebilir seviyelere gelmektedir. Kil zeminlerde, eksantrisite oranının $e/B=0.3$ olması durumunda elde edilen en yüksek oturma değeri, merkezi yükleme $e/B=0.0$ durumunda elde edilen en yüksek oturma değerinden yaklaşık %40 daha fazladır. $e/B=0.4$ ve $e/B=0.5$ durumları için 1000kPa 'lık yükleme durumuna ulaşamamıştır (Şekil 6a). Benzer şekilde, kare temellerin kum zemine oturması hali için $e/B=0.2$ olması durumunda elde edilen en yüksek oturma değeri, merkezi yükleme $e/B=0.0$ durumunda elde edilen en yüksek oturma değerinden yaklaşık %30 daha fazladır. Kum zeminlerde $e/B=0.3$; 0.4 ve 0.5 durumları için 500kPa 'lık yükleme durumuna ulaşamamıştır (Şekil 6b).



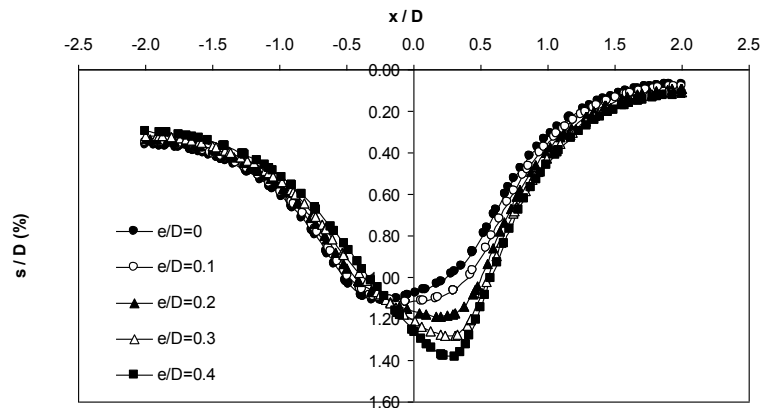
(a) Kil zemin (Clay soil)



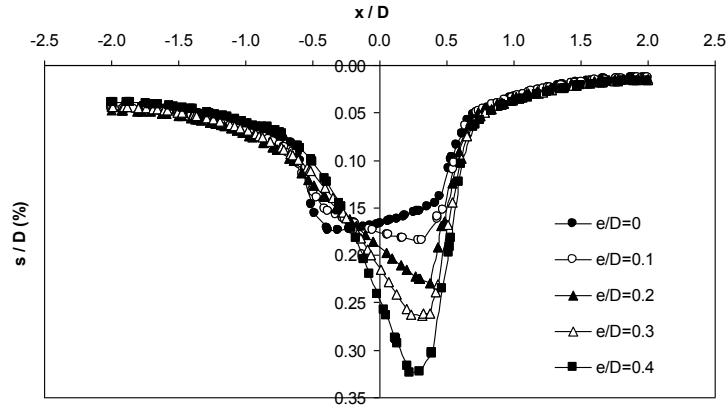
(b) Kum zemin (Sand soil)

Şekil 6. Kare temellerde eksantrisitenin oturmaya etkisi
(Figure 6. Effect of eccentricity on settlement of square footings)

Şekil 7'deki grafiklerde, dairesel temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde oturma davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Şekildeki grafiklerden, dairesel temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça oturma değerlerinin de arttığı görülmektedir. Dairesel temellerde de en yüksek oturma değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey ekseninde meydana gelmektedir. Oturma değerleri, yükün uygulandığı yatay eksenin uzaklaştıkça azalmaktadır. Temel merkezinden yaklaşık 2D kadar yatay uzaklıkta oturmalar minimum seviyelere ulaşmaktadır. 1000kPa yük altında, dairesel temellerin kil zeminlerde merkezi yükleme yerine 0.4D'lik bir eksantrisitede yüklenmesi, oturma değerinde yaklaşık %25'lik bir artışa sebep olmaktadır. Kil zeminlerde e/D=0.5 durumu için 1000kPa'lık yükleme durumuna ulaşamamıştır (Şekil 7a). Benzer şekilde, 500kPa yük altında, dairesel temellerin kum zeminlerde merkezi yükleme yerine 0.4D'lik bir eksantrisitede yüklenmesi, oturma değerinde yaklaşık %85'lik bir artışa sebep olmaktadır. Kum zeminlerde de e/D=0.5 durumu için 500kPa'lık yükleme durumuna ulaşamamıştır (Şekil 7b).



(a) Kil zemin (Clay soil)

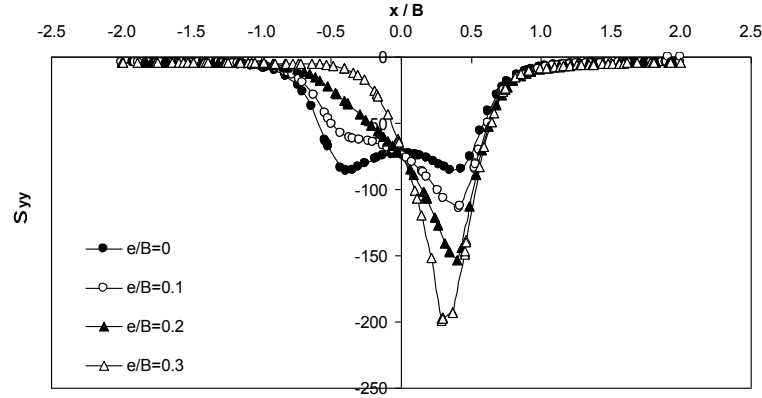


(b) Kum zemin (Sand soil)

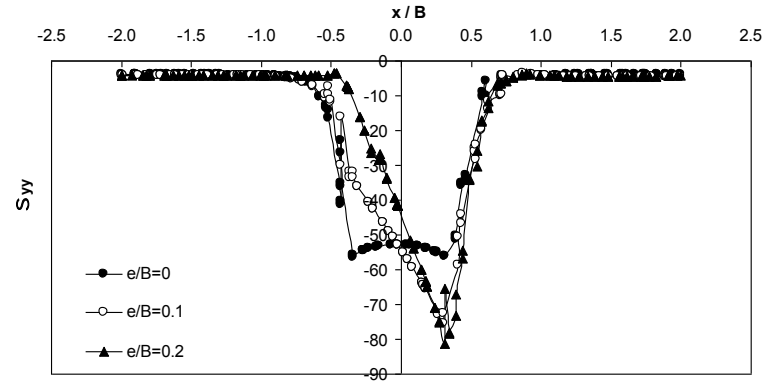
Şekil 7. Dairesel temellerde eksantrisitenin oturmaya etkisi
(Figure 7. Effect of eccentricity on settlement of circular footings)

5.3. Eksantrisite-Düşey Gerilme İlişkisi (Eccentricity-Vertical Settlement Relation)

Kare temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde düşey gerilmeye olan etkisi araştırılmıştır (Şekil 8). Şekildeki grafiklerden görüldüğü üzere, temelden 0.25B kadar derinlikte, kare temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça düşey gerilme değerleri de artmaktadır. En yüksek gerilme değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey eksende meydana gelmektedir. Yükün uygulandığı yatay eksende uzaklaştıkça düşey gerilme değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Düşey gerilme değerleri, temel merkezinden yaklaşık 2B kadar yatay uzaklıkta ihmal edilebilir seviyelere gelmektedir. Yüklemenin temel merkezi boyunca yapılması durumunda temel daha çok yük taşıma kapasitesine sahip olmakta, homojen ve üniform bir biçimde temelden daha derinlere doğru azalarak iletilmektedir. Gerilme soğanı ise daha geniş ve tabakalara doğru yayılmaktadır. Yüklemenin eksantrik olması durumunda, taşıma kapasitesi azalmakta, yük merkezi eksantrisite yönüne kaymakta ve gerilme üniform bir şekilde dağılmamaktadır. $e/B=0.3$ durumunda elde edilen en büyük düşey gerilme değeri, $e/B=0.0$ durumunda elde edilen en büyük düşey gerilme değerinden kil zeminlerde yaklaşık 2.3 kat daha fazladır. Benzer durumlarda, kum zeminlerde $e/B=0.2$ ile $e/B=0.0$ arasındaki en büyük düşey gerilme değerinden farkı ise yaklaşık 1.35 kat olarak elde edilmiştir. Kil zeminlerde $e/B=0.4$ ve 0.5 , kum zeminlerde ise $e/B=0.3$, 0.4 ve 0.5 değerlerinde belirlenen yükleme seviyelerine ulaşamamıştır.



(a) Kil zemin (Clay soil)

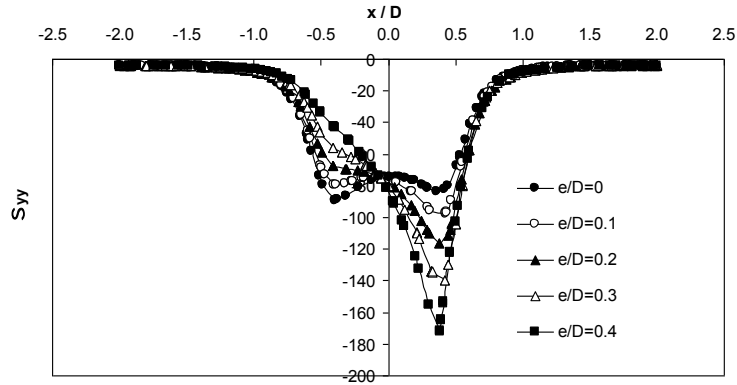


(b) Kum zemin (Sand soil)

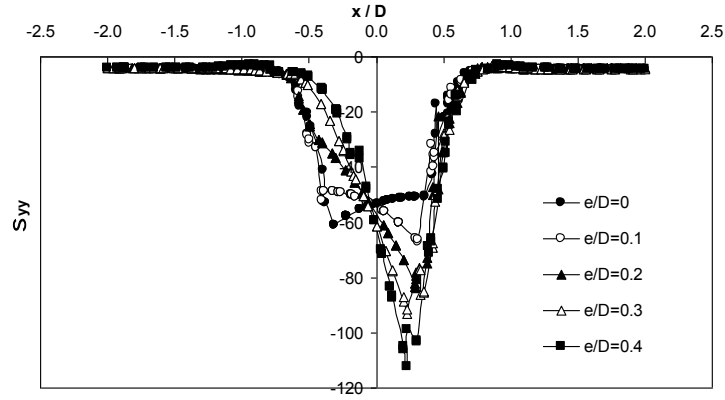
Şekil 8. Kare temellerde eksantrisitenin düşey gerilmeye etkisi
(Figure 8. Effect of eccentricity on vertical stress of square footings)

Dairesel temellerde yük eksantrisitesinin kil ve kum zeminlerde düşey gerilme davranışına olan etkisi araştırılmış ve Şekil 9'da grafik halinde sunulmuştur. Şekildeki grafiklerden görüldüğü üzere, dairesel temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça düşey gerilme değerleri de artmaktadır. Kare temellerde olduğu gibi, dairesel temellerde de en yüksek gerilme değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey ekseninde meydana gelmektedir. Yükün uygulandığı yatay ekseninden uzaklaştıkça gerilme değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Düşey gerilme değerleri, temel merkezinden yaklaşık 2D kadar yatay uzaklıkta ihmal edilebilir seviyelere gelmektedir. 1000kPa yük altında, temelden 0.25D kadar derinlikte, dairesel temellerin kil zeminlerde merkezi yükleme yerine 0.4D'lik bir eksantrisitede yüklenmesi, en büyük düşey gerilme değerinde yaklaşık %90'lık bir artışa sebep olmaktadır. Benzer şekilde, 500kPa yük altında, dairesel temellerin kum zeminlerde merkezi yükleme yerine 0.4D'lik bir eksantrisitede yüklenmesi, en büyük düşey gerilme değerinde yaklaşık %85'lik bir artışa sebep olmaktadır. Kil zeminlerde $e/D=0.5$ durumu

için 1000kPa'lık, kum zeminlerde de $e/D=0.5$ durumu için 500kPa'lık yükleme durumlarına ulaşamamıştır.



(a) Kil zemin (Clay soil)



(b) Kum zemin (Sand soil)

Şekil 9. Daire temellerde eksantrisitenin düşey gerilmeye etkisi
(Figure 9. Effect of eccentricity on vertical stress of circular footings)

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, temel geometrisi (kare, daire), zemin türü (kil, kum) ve yükleme koşulları (merkezi, eksantrik) gibi parametrelerin yüzeysel temellere ait taşıma gücü, oturma ve düşey gerilme karakteristikleri üzerindeki etkileri iki boyutlu sayısal analizler gerçekleştirilerek araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Sayısal analizlerde kullanılan Mohr Coulomb modeli kil ve kum zemin davranışını iyi bir şekilde modelleyebilmektedir.
- Sayısal analizlerde eksantriklik oranı (kare temellerde e/B ; dairesel temellerde e/D) 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 olarak alınmıştır. Bu bir deneysel sonuç değil. Bu nedenle buradan silinmeli.
- Sayısal analizlerde kare ve dairesel model temellerin genişlik veya çapı 1.00m olarak alınmıştır. Oturma ve düşey gerilme değerleri tüm analizlerde kare ve dairesel temellerin 0.25B(D) derinlik seviyelerinde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Aynı

zamanda, oturma ve düşey gerilme davranışları kil zeminlerde 1000kPa, kum zeminlerde 500kPa'lık yükleme durumları için araştırılmıştır. (bu paragraf da analizlerden elde edilen bir sonuç değildir)

- Kare ve dairesel temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça taşıma gücü azalmaktadır.
- Kare ve dairesel temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça oturma değerleri de artmaktadır. En yüksek oturma değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey ekseninde meydana gelmektedir. Yükün uygulandığı yatay ekseninden uzaklaştıkça oturma değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Temel merkezinden yaklaşık 2B(D) kadar yatay uzaklıkta oturmalar ihmal edilebilir seviyelere gelmektedir.
- Kare ve dairesel temellerin hem kil, hem de kum zeminlere oturması durumlarında yük eksantrisitesi arttıkça düşey gerilme değerleri de artmaktadır. En yüksek düşey gerilme değeri, temel merkezinin altında yükün uygulandığı düşey ekseninde meydana gelmektedir. Yükün uygulandığı yatay ekseninden uzaklaştıkça düşey gerilme değerlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Temel merkezinden yaklaşık 2B(D) kadar yatay uzaklıkta düşey gerilmeler ihmal edilebilir seviyelere gelmektedir.

NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hjaiaj, M., Lyamin, A.V., and Sloan, S.W., (2004). Bearing capacity of a cohesive-frictional soil under non eccentric inclined loading. *Computers and Geotechnics*, 31, pp:491-516.
2. Joshi, D.P. and Mahiyar, H.K., (2009). Effectiveness of angle shaped footings resting on soil under eccentric inclined load. *International Journal of Theoretical Applied Mechanics*, 4(1), pp:95-105.
3. Loukidis, D., Chakraborty, T., and Salgado R., (2008). Bearing capacity of strip footings on purely frictional soil under eccentric and inclined loads. *Canadian Geotechnical Journal*, 45, pp:768-787.
4. Meyerhof, G.G., (1953). The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads. In: *Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp:440-445.
5. Moroglu, B., (2002). The bearing capacity of the eccentrically loaded model strip footing on reinforced sand. PhD thesis, Black Sea Technical University, Turkey.
6. Musso, A. and Ferlisi, S., (2009). Collapse of a model strip footing on dense sand under vertical eccentric loads. *Geotechnical and Geological Engineering*, 27, pp:265-279.
7. Nawghare, S.M., Pathak, S.R., and Gawande, S.H., (2010). Experimental investigations of bearing capacity for eccentrically loaded footing. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(10), pp:5257-5264.

8. Patra, C.R., Das, B.M., Bhoi, M. and Shin, E.C., (2006). Eccentrically loaded strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(4), pp:254-259.
9. Prakash, S. and Saran, S., (1971). Bearing capacity of eccentrically loaded footings. *Journal of SM & FE Division, ASCE* 97, pp:901-921.
10. Prakash, S. and Saran, S., (1977). Settlement and tilt on eccentrically loaded footings. *Journal of Structural Engineering, Roorkee*, 4(4), pp:176-186.
11. Sadoglu, E., Cure, E., Moroglu, B., and Uzuner, B.A., (2009). Ultimate loads for eccentrically loaded model shallow strip footings on geotextile-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 27, pp:176-182.
12. Saran, S., Kumar, S., Garg, K.G., and Kumar, A., (2007). Analysis of square and rectangular footings subjected to eccentric-inclined load resting on reinforced sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 25, pp:123-137.
13. Taiebat, H.A. and Carter, J.P., (2002). Bearing capacity of strip and circular foundations on undrained clay subjected to eccentric loads. *Geotechnique*, 52(1), pp:61-64.
14. Laman, M., Yıldız, A., Örnek, M. ve Demir, A., (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Tübitak, Proje No: 106M496.
15. Örnek, M., (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
16. Yıldız, A., (2002). Donatılı kum zeminlere oturan yüzeysel temellerin analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
17. Laman, M. and Yıldız, A., (2003). Model studies of ring foundations on geogrid reinforced sand. *Geosynthetics International*, 10(5), pp:142-152.
18. Laman, M. and Yıldız, A., (2007). Numerical studies of ring foundations on geogrid-reinforced sand. *Geosynthetics International*, 14 (2), pp:1-13.
19. Brinkgreve, R.B.J., Broere, W., and Waterman, D., (2004). Plaxis finite element code for soil and rock analysis, 2D -Version 8.6.
20. Adams, M.T. and Collin, J.G., (1997). Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundation. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(1), pp:66-72.