

**EKSANTRİK YÜKLÜ TEMELLERDE GEOGRİD
İLE GÜÇLENDİRME ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Seyed Farshad GHOZATİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2013
ANKARA**

Seyyed Farshad GHOZATİ tarafından hazırlanan “EKSANTRİK YÜKLÜ TEMELLERDE GEOGRİD İLE GÜÇLENDİRME ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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. Recep KILIÇ

.....

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, A.Ü.

Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Özgür ANIL

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 25/02/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini 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 atif yapıldığını bildiririm.

Seyed Farshad GHOZATİ

**EKSANTRİK YÜKLÜ TEMELLERDE GEOGRİD İLE GÜÇLENDİRME
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Seyyed Farshad GHOZATİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2013

ÖZET

Bu çalışmada geogrid donatı ile güçlendirilen kum zeminlere oturan eksantrik yüklü yüzeysel temellerin taşıma gücü deneysel ve sayısal olarak irdelenmiştir. Deneylerde temel olarak 100 mm genişliğinde kare çelik plaka kullanılmıştır. Yük eksantrisitesi, yerleştirme düzenine bağlı olarak donatı uzunluğu ve ankrajlama boyu ve donatı sayısı gibi parametrelerin taşıma gücü oranına olan etkileri laboratuvar deneyleri ve üç boyutlu sonlu eleman analizleri yardımı ile araştırılmıştır. Kare temeller için yerleştirme düzenine bağlı olarak optimum geogrid ankrajlama boyu ve geogrid sayısı hakkında önerilerde bulunmuştur. Yük eksantrisitesi ve donatılı tabaka derinliğine bağlı olarak, taşıma gücü değişim oranını elde etmeye yönelik bir ilişki sunulmuştur.

Bilim kodu : 911.1.050
Anahtar kelimeler : Geogridler , eksantrik yükleme, sıg temeller
Sayfa adedi : 146
Tez yöneticisi : Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

**ASSESSMENT OF THE REINFORCING EFFECT OF GEOGRIDS ON
ECCENTRICALLY LOADED FOUNDATIONS**

(M.Sc. Thesis)

Seyed Farshad GHOZATI

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2013

ABSTRACT

This study presents the experimental and numerical assessment of the bearing capacity of eccentrically loaded model footings on geogrid-reinforced sand. A rigid square plate with 100 mm width was used as the model foundation in the laboratory tests. The effect of load eccentricity, anchorage length of reinforcement, as a function of its placement pattern, and the number of geogrid layers on the bearing capacity ratio were examined using laboratory model loading tests and 3-D finite element analyses. Recommendations on the optimum anchorage length and the number of geogrid layers were made. A new relationship for the assessment of the change in the bearing capacity as a function of load eccentricity and the depth of reinforced soil layer is proposed.

Science Code	: 911.1.050
Key Words	: Geogrids, eccentric loading, shallow foundations
Page Number	: 146
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sayın Doç. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ ve değerli asistanı Araş. Gör. Ahmet Cem GEL 'e teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmeme vesile olan kıymetli aileme başta olmak üzere canım annem Leila YAZDANI, iftiharla andığım rahmetli babam Mir Jalal GHOZATI, sevgili ablam Parinaz GHOZATI ve abim gibi olan eniştem Vahid SURURI'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Vahid Barzegari KAHNEMOUEI'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Dünyadaki en değerli varlığım annem'e...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	XII
RESİMLERİN LİSTESİ	XVIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Giriş	3
2.2. Yüzeysel Temeller.....	3
2.3. Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücü.....	4
2.4. Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücü Göçmeleri.....	4
2.4.1. Genel kayma göçmesi.....	4
2.4.2. Yerel kayma göçmesi	5
2.4.3. Zımbalama kayma göçmesi	6
2.5. Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücünün Hesaplanması	7
2.6. Yüzeysel Temellerde Temel Taban Basıncı Dağılımı.....	8
2.7. Donatılı Zeminler	9
2.7.1. Geogridler	10
2.7.2. Geogrid-Zemin etkileşimi.....	11

Sayfa

2.7.3. Donatılı zemin davranışı	11
2.8. Deneysel Çalışmalar	13
2.9. Tez Kapsamında Yapılan Deneysel Çalışmaların Özeti	17
3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	24
3.1. Giriş	24
3.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi	24
3.2.1. Elek analizi	24
3.2.2. Özgül ağırlık deneyi	26
3.2.3. Yoğunluk deneyi	27
3.2.4. Kesme kutusu deneyi	27
3.3. Deney Düzeneği	29
3.3.1. Yükleme sistemi	29
3.3.2. Deney tankı	30
3.3.3. Model temel plakası	30
3.3.4. Geogrid donatı	30
3.3.5. Düşey deplasman ölçerler (LVDT)	31
3.3.6. Veri aktarma sistemi	31
3.4. Seri I: Donatısız Kum Zeminde Yapılan Deneyler	32
3.4.1. Deney düzeneğinin hazırlanması	33
3.4.2. Deney bulguları	34
3.5. Seri II: Geogrid Donatı Katkısıyla Yapılan Deneyler	39
3.5.1. Deney düzeneğinin hazırlanması	40
3.5.2. Deney bulguları	41

Sayfa

4. ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZLER.....	79
4.1. Giriş.....	79
4.2. Zemin-Donatı Sisteminin Modellenmesi	79
4.3. Kullanılan Zemin Modeli	80
4.4. 3D PLAXIS Bilgisayar Programı.....	81
4.5. Seri I: Laboratuvar Deneylerin Üç Boyutlu Sayısal Analizleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	82
4.5.1. Donatısız kum zeminde yapılan deneyler	82
4.5.2. Geogrid donatı katkısıyla yapılan deneyler	86
4.6. Seri II: Laboratuvar Deney Parametrelerin Sayısal Olarak Daha Geniş Bir Şekilde Araştırılması	110
4.6.1. Donatı uzunluğunun (b) ve yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi	110
4.6.2. Donatı sayısının (N) etkisi	125
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
5.1. Giriş.....	133
5.2. Literatür Araştırılması	133
5.3. Deneysel Çalışmalar.....	133
5.4. Sayısal Analiz Çalışmalar	134
5.5. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler	135
KAYNAKLAR	137
EKLER.....	139
EK-1. Laboratuvar Çalışma Görüntüleri	140
ÖZGEÇMİŞ	146

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Geosentetiklerin işlev ve çeşitleri [Örnek , 2009]	9
Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları	25
Çizelge 3.2. Yoğunluk deneyi sonuçları	27
Çizelge 3.3. Geogrid donatıya ait teknik özellikler.....	31
Çizelge 3.4. 10, 30 ve 50mm oturmalara karşılık gelen yük ve taşıma gücü değerleri	37
Çizelge 3.5. Taşıma gücü faktörleri [Hansen , 1970 ; Vesic , 1973]	38
Çizelge 3.6. 10, 30 ve 50mm oturmalara karşılık gelen N_y ve ϕ değerleri.....	38
Çizelge 3.7. Donatı uzunluğunun etkisi (BCR değerleri)	48
Çizelge 3.8. Donatı yerleştirme düzeninin etkisi (BCR değerleri)	57
Çizelge 3.9. Donatı sayısının etkisi (BCR değerleri).....	65
Çizelge 3.10. Donatısız kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi.....	72
Çizelge 3.11. Donatılı kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi ($N<3$)	77
Çizelge 3.12. Donatılı kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi ($N=3$)	78
Çizelge 4.1. Pekleşen zemin model parametreleri	81
Çizelge 4.2. Zemin ve geogrid analiz parametreleri	81
Çizelge 4.3. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 10, 30 ve 50mm oturmalara karşılık gelen taşıma gücü değerleri	85
Çizelge 4.4. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (b etkisi, BCR değerleri).....	93
Çizelge 4.5. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (e_G etkisi, BCR değerleri)	102
Çizelge 4.6. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N etkisi, BCR değerleri)	108
Çizelge 4.7. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm etkisi, BCR değerleri).....	113

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.8. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (e_G etkisi (-50 mm, +50 mm, -100 mm, +100 mm, -150 mm, +150 mm, -250 mm, +250 mm), BCR değerleri).....	120
Çizelge 4.9. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları ($e_G=0$ etkisi, BCR değerleri)	125
Çizelge 4.10. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N=4 ve N=5 etkisi, BCR değerleri)	129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sığ temel	3
Şekil 2.2. Genel kayma göçmesi	5
Şekil 2.3. Yerel kayma göçmesi.....	6
Şekil 2.4. Zımbalama kayma göçmesi	7
Şekil 2.5. Yüzeysel temellerde göçme mekanizması [Terzaghi , 1943]	8
Şekil 2.6. Rijit temel tabanındaki oturma ve basınç dağılımı	9
Şekil 2.7. Donatılandırma mekanizmaları [Chen , 2007 ; Örnek , 2009]	13
Şekil 2.8. Laboratuvar ortamında uygulanan yük eksantrisiteleri.....	19
Şekil 2.9. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı uzunlukları.....	20
Şekil 2.10. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı sayıları	22
Şekil 2.11. Laboratuvar ortamında uygulanan donatı yerleştirme düzeni	23
Şekil 3.1. Tane boyu dağılımı	26
Şekil 3.2. Kumun farklı 5 düşey gerilmeye karşılık kayma gerilmesi – deformasyonu	28
Şekil 3.3. İçsel sürtünme açısının belirlenmesi.....	29
Şekil 3.4. Seri I’de yapılan deneylerin şematik gösterimi	32
Şekil 3.5. Yük eksantrisitesinin (e_L) etkisi	35
Şekil 3.6. Seri II’de yapılan deneylerin şematik gösterimi	39
Şekil 3.7. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$)	42
Şekil 3.8. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$).....	43
Şekil 3.9. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$).....	44
Şekil 3.10. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=5-5$ mm ve $N=1$)	45

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10-5$ mm ve $N=1$)	46
Şekil 3.12. 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)	47
Şekil 3.13. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$)	50
Şekil 3.14. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$)	51
Şekil 3.15. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$)	52
Şekil 3.16. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$) ..	53
Şekil 3.17. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$) ..	54
Şekil 3.18. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$) ..	55
Şekil 3.19. $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)	56
Şekil 3.20. $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)	56
Şekil 3.21. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=0$ ve $b=1000$ mm)	58
Şekil 3.22. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm)	59
Şekil 3.23. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm)	60
Şekil 3.24. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5-5$ mm ve $b=1000$ mm).....	61
Şekil 3.25. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10-5$ mm ve $b=1000$ mm).....	62
Şekil 3.26. $e_L=0$ yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)	63
Şekil 3.27. $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)	63
Şekil 3.28. $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)	64
Şekil 3.29. $e_L=5-5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)	64

Şekil	Sayfa
Şekil 3.30. $e_L=10-5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)	65
Şekil 3.31. Donatısız kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri	70
Şekil 3.32. Donatısız kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri	71
Şekil 3.33. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri	73
Şekil 3.34. Donatılı kum zemin ortamında donatı derinliklerine karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri ($N<3$).....	74
Şekil 3.35. Donatılı kum zemin ortamında donatı derinliklerine karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri ($N=3$).....	74
Şekil 3.36. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri ($N<3$).....	76
Şekil 3.37. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri ($N=3$).....	76
Şekil 4.1. Üç boyutlu donatısız kum zemin analizi ($e_L=0$)	83
Şekil 4.2. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında yük eksantrisitesinin (e_L) etkisi	85
Şekil 4.3. Üç boyutlu donatılı kum zemin analizi ($e_L=0$, $b=1000$ mm ve $N=3$)	87
Şekil 4.4. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$)	90
Şekil 4.5. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$).....	91
Şekil 4.6. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$).....	92
Şekil 4.7. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)	93
Şekil 4.8. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$).....	95

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$).....	96
Şekil 4.10. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$).....	97
Şekil 4.11. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$).....	98
Şekil 4.12. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$).....	99
Şekil 4.13. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$).....	100
Şekil 4.14. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	101
Şekil 4.15. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	101
Şekil 4.16. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=0$ ve $b=1000$ mm)	103
Şekil 4.17. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm)	104
Şekil 4.18. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm)	105
Şekil 4.19. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=0$ yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	106
Şekil 4.20. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	106
Şekil 4.21. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	107
Şekil 4.22. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$).....	111
Şekil 4.23. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$).....	111

Şekil	Sayfa
Şekil 4.24. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$).....	112
Şekil 4.25. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)	112
Şekil 4.26. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-250$ mm ve $e_G=+250$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)	115
Şekil 4.27. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-150$ mm ve $e_G=+150$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)	115
Şekil 4.28. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-100$ mm ve $e_G=+100$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=800$ mm ve $N=1$)	116
Şekil 4.29. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-50$ mm ve $e_G=+50$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=900$ mm ve $N=1$)	116
Şekil 4.30. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-250$ mm ve $e_G=+250$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)	117
Şekil 4.31. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-150$ mm ve $e_G=+150$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)	117
Şekil 4.32. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-100$ mm ve $e_G=+100$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=800$ mm ve $N=1$)	118
Şekil 4.33. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=-50$ mm ve $e_G=+50$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=900$ mm ve $N=1$) ..	118
Şekil 4.34. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	119
Şekil 4.35. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	119
Şekil 4.36. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)	122
Şekil 4.37. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)	122
Şekil 4.38. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)	123

Şekil	Sayfa
Şekil 4.39. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)	123
Şekil 4.40. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	124
Şekil 4.41. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi).....	124
Şekil 4.42. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının ($N=4$ ve $N=5$) etkisi ($e_L=0$ ve $b=1000$ mm)	126
Şekil 4.43. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının ($N=4$ ve $N=5$) etkisi ($e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm).....	126
Şekil 4.44. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının ($N=4$ ve $N=5$) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm).....	127
Şekil 4.45. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=0$ yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	127
Şekil 4.46. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	128
Şekil 4.47. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi).....	128

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Geogridler	10
Resim 3.1. Laboratuvar ortamında temel amaçlı kullanılan plaka.....	30
Resim 3.2. Deney düzeneği.....	34
Resim 3.3. Geogrid donatının derinlik ayarlama aşaması.....	40
Resim 3.4. Geogrid donatının yerleştirilmesi	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
ψ	Dilatasyon açısı, (°)
ϕ	İçsel sürtünme açısı, (°)
ν_{ur}	Boşaltma yükleme poisson oranı, m
γ	Birim hacim ağırlığı, kN/m ³
γ_{sat}	Doygun birim hacim ağırlığı
γ_{unsat}	Kuru birim hacim ağırlığı
Δq	Yük artımı, kN
Δs	Oturma artımı, mm
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	Sabit değerler
A	Temel alanı, m ²
b	Donatı uzunluğu, mm
B	Temel genişliği, m
C	Kohezyon, kN/m ²
$C_{increment}$	Kohezyon artışı, kN/m ³
C_c	Eğrilik katsayısı
C_u	Uniformluk katsayısı
d	Geogrid derinliği, mm
d_c, d_q, d_γ	Temel derinlik faktörleri
D	Temel çapı, m
D_f	Temel derinliği, m
D_r	Rölatif sıkılık, %
D_{10}	Efektif dane çapı, mm
D_{30}	%30 a karşılık gelen dane çapı
D_{60}	%60 a karşılık gelen dane çapı
e	Eksantrisite, mm

Simgeler**Açıklama**

e_G	Donatı yerleştirme düzeni, mm
e_L	Yük eksantrisitesi, mm
e_{max}	Maksimum boşluk oranı
e_{min}	Minimum boşluk oranı
e_x	x yönündeki eksantrisite, mm
e_y	y yönündeki eksantrisite, mm
E_{50}^{ref}	Sekant modülü, kN/m^2
E_{oed}^{ref}	Ödometre modülü
E_{ur}^{ref}	Boşaltma yükleme modülü
EA	Eksenel rijitlik, kN/m
G_s	Özgül yoğunluk
h	Donatılar arası mesafe, mm
I_G, I_q, I_γ	Yük eğim faktörleri
K_1, K_2	Temel şekil katsayıları
m	Güç yasası
M_1	Piknometre ağırlığı, gr
M_2	M_1 +Numune ağırlığı
M_3	M_1 + M_2
M_4	M_1 +Su ağırlığı
M_t	Toplam ağırlık, kg
N	Donatı sayısı
N_G, N_q, N_γ	Taşıma gücü faktörleri
p^{ref}	Referans gerilme, kN/m^2
q	Taşıma gücü, kN/m^2 veya kpa
q_u	Nihai taşıma gücü
q_{ue}	Eksantrik yüklü temellerin taşıma gücü
q_0	Donatısız ve eksenel yüklemde taşıma gücü
q_r	Donatılı kum zeminde taşıma gücü
Q	Yük, kN

Simgeler**Açıklama**

R	Azaltma faktörü
R_k	Donatısız kum zeminlerde Azaltma faktörü
R_{kr}	Donatılı kum zeminlerde Azaltma faktörü
R_f	Azaltma oranı
S	Oturma, mm
s_u	Nihai oturma
S_c, S_q, S_γ	Temel şekil faktörleri
SW	İyi derecelenmiş kum
u	İlk donatı derinliği, mm
V_t	Toplam hacim, m ³

Kısaltmalar**Açıklama**

BCR	Bearing Capacity Ratio
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak temel zeminin düşük taşıma gücü ve yüksek deplasman sorununa karşı ilk akla gelen çözüm, temel sistemini bu duruma göre projelendirmektir. Bu yöntem yüksek maliyetli bir çözüm olduğu için, zaman zaman temel zeminin yerinde iyileştirilmesi tercih edilmektedir. Zemin iyileştirme amacıyla genel olarak kullanılan enjeksiyon, ön yükleme, taş kolonlar gibi metodların yanı sıra, son yıllarda donatılı zemin, yani zemin içerisinde geosentetik kullanımı yaygınlaşarak gittikçe önem kazanan yöntemlerden biri olmuştur.

Geosentetikler, sentetik polimer hammaddesinden, farklı özelliklere sahip çeşitlerde üretilmektedir. Geotekstil, geomembran ve geogrid gibi çeşitler geosentetik çatısı altında yer alan en önemli ürünlerdir. Geosentetiklerin işlevleri olarak, ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, sızdırmazlık, koruma, erozyon gibi faktörler sayılabilmektedir. Pek çok uygulamalarda geosentetiğin öne çıkan bir işlevi olmakla beraber, geosentetik bir veya daha fazla ikincil işlevi de aynı anda yerine getirebilmektedir. Güçlendirme amaçlı olarak kullanılan geogridler, yüksek çekme modülünden dolayı zeminin çekme mukavemetini artırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Bu yaklaşım ile ilgili önceki yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, zemin içerisine çekme mukavemeti yüksek donatı malzemeleri yerleştirerek, zeminin taşıma gücünde önemli derecede artış gözlemlendiği görülmektedir. Günümüze kadar konu ile ilgili farklı araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmış, güçlendirme amaçlı olarak kullanılan donatının optimum yerleşim düzeni araştırılmıştır.

Geogrid donatılı zeminlerin taşıma gücü ve oturma davranışları ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde;

- Deneysel çalışmaların genelde eksenel yükleme şartlarında ve şerit temeller kullanılarak yapıldığı,
- Çift eksenlik yükleme uygulanmadığı,

- Geogrid donatı yerleştirme düzeni üzerinde yapılan araştırmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu ve efektif donatı uzunluğu belirlenirken donatı yerleşim düzeninin gözönüne alınmadığı ve
- Deneysel çalışmalarla birlikte özellikle üç boyutlu kapsamlı sayısal analizlerin sunulduğu çalışmaların yeterli sayıda olmadığı anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında geogrid donatılı kohezyonsuz zeminlerin üzerine inşa edilen eksantrik yüklü temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında yer alan bölümler ve çalışmalar aşağıdaki sıra ile sunulmuştur:

Bölüm 2 'de, geogrid ile donatılmış zeminler üzerine oturan yüzeysel temellerin (özellikle eksantrik yüklü temeller) taşıma kapasitesi ve oturma davranışı ile ilgili literatür araştırma değerlendirilmesi sunulmuştur. Bölüm 3'te, laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Laboratuvar deneyleri, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4'te, üç boyutlu sayısal ortamda yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bölüm 5'te ise, tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen değerlendirme sonuçları sunulmuştur.

Ayrıca, Laboratuvar çalışmalarına ait görüntüler Ek 1'de yer almaktadır.

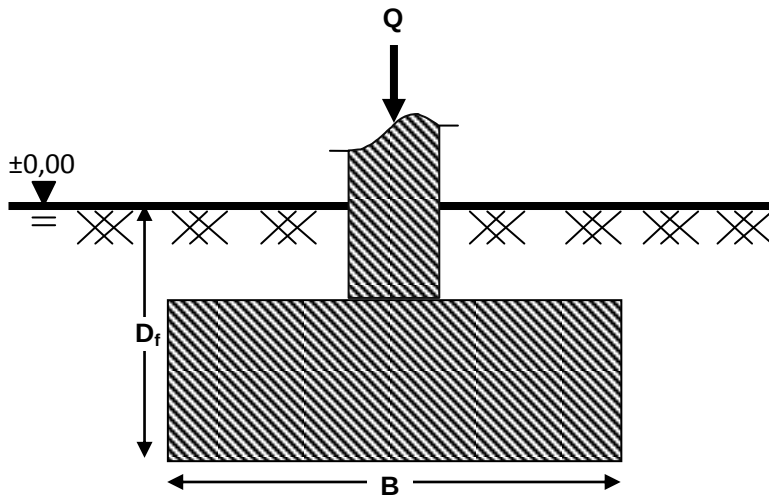
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu bölümde, ilk olarak yüzeysel temellerin tanıtımı ve bu tür temelerde gözlenen göçme türleri ve göçme mekanizması ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bölüm 2.7’de, genelde taşıma gücü iyileştirme amaçlı kullanılan “Donatılı Zemin” sistemi incelenmiştir. Bölüm 2.8’de ise konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar incelenerek, elde edilen değerlendirmeler sunulmuştur.

2.2. Yüzeysel Temeller

Temeller; yapı yüklerini zemine aktaran elemanlardır (Şekil 2.1). Yapı yüklerini doğrudan veya temeller vasıtasıyla taşıyan zemin ortamına temel zemini denmektedir. Yapı yüklerinin temeller vasıtasıyla aktarılması durumunda, temel zemini ile temel arasında sürekli etkileşim söz konusu olur. Temeller, yükü yüzeye yakın zemine aktaran yüzeysel temeller ve daha derin ve sağlam zemine aktaran derin temeller olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.



Şekil 2.1. Sığ temel

2.3. Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücü

Bu kavram, Prandtl teorisine dayanarak Terzaghi tarafından 1943 yıllarında açıklanmıştır. Zamanın ilerlemesi ile beraber bu konu üzerinde farklı araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılarak değişik teoriler geliştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu teorilerden, Meyerhof (1951), Hansen (1970) ve Vesic (1975) gibi önemli yaklaşımlar sayılmaktadır.

Genel anlamda yüzeysel temellerde taşıma gücü problemi aşağıda sunulan yaklaşımlarla çözülmektedir:

- Kayma çizgileri yöntemi
- Limit denge yöntemi
- Limit gerilme yöntemi
- Sonlu elemanlar yöntemi

2.4. Yüzeysel Temellerde Taşıma Gücü Göçmeleri

Temeller vasıtasıyla zemine aktarılan yükün kayma gerilmeleri, zeminin kayma mukavemeti sınırını aşarsa zeminde oluşan göçmeye, taşıma gücü göçmesi denmektedir.

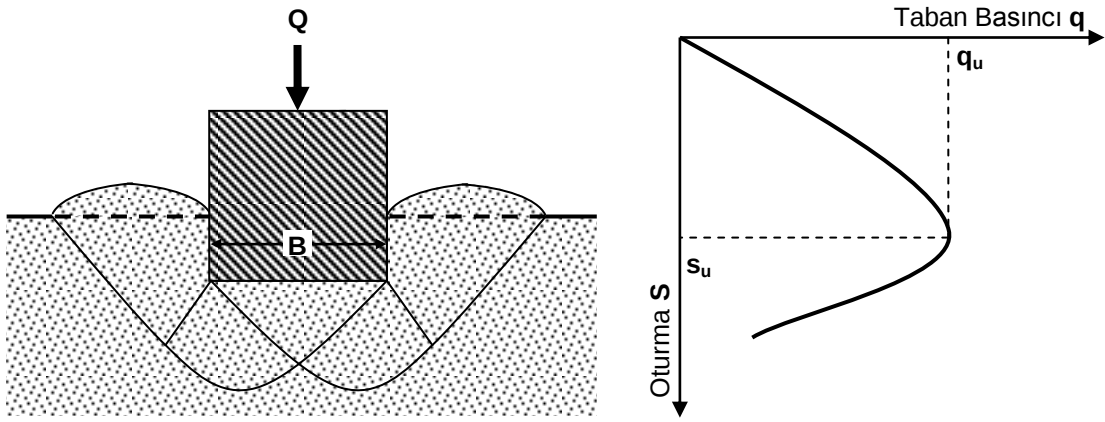
Vesic (1975) tarafından bu tür göçmeler üç grupta tanımlanmıştır:

- Genel kayma göçmesi
- Yerel kayma göçmesi
- Zımbalama kayma göçmesi

2.4.1. Genel kayma göçmesi

Genellikle, sıkı kum veya sert killerde görünen göçme türüdür. Bu tür göçme ile ilgili tipik bir yük-deplasman eğrisi Şekil 2.2’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi A

alanına sahip temele Q yükü uygulanırsa zemine aktarılan basınç $q=Q/A$ şeklinde elde edilmektedir. Bu basınçla beraber zeminde oturmalar oluşmakta olup ancak uygulanan basınç (q), göçme basıncına (q_u) ulaşıldığında, zemindeki oturmalar, Q yükünden bağımsız bir şekilde devam ederek zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmaktadır. Genel kayma göçmelerinde yük-deplasman eğrisinin en üst noktasındaki q_u değeri, nihai taşıma kapasitesi ve bu değere karşı gelen s_u ise, göçme anındaki oturma değeri olarak tanımlanmaktadır [Örnek , 2009].

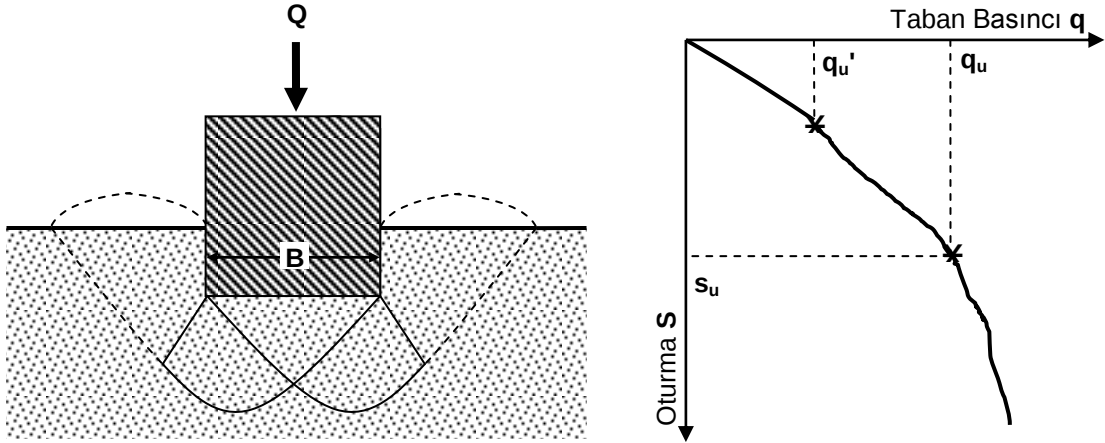


Şekil 2.2. Genel kayma göçmesi

2.4.2. Yerel kayma göçmesi

Genellikle, orta sıkı kum veya orta sertlikteki kil zeminlerde görünen göçme türüdür. Bu tür göçme ile ilgili tipik bir yük-deplasman eğrisi Şekil 2.3'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kayma mekanizması 3 kademedен oluşmaktadır. İlk kademedeyi, yani $q=q_u'$ değerine kadar, yükün artması ile beraber oturmalar da düzenli bir şekilde artmakta olup, göçme yüzeyinin zemin yüzeyine doğru hareket etmesi beklenmektedir. İkinci kademedeyi, yani $q=q_u'$ ile $q=q_u$ değerleri arasında, yükün artması halde, oturmalar düzensiz ve hızlı bir şekilde artış gözlenmektedir. Bu bölümde göçme yüzeyi zemin yüzeyine yakın bir yüzeye ulaşmaktadır. Üçüncü kademedeyi ise, yani yükün $q=q_u$ değerine ulaşması kadar artması ile beraber göçme yüzeyi zemin yüzeyine ulaşmış, zemin yüzeyinde kabarmalar görülmektedir. Yerel

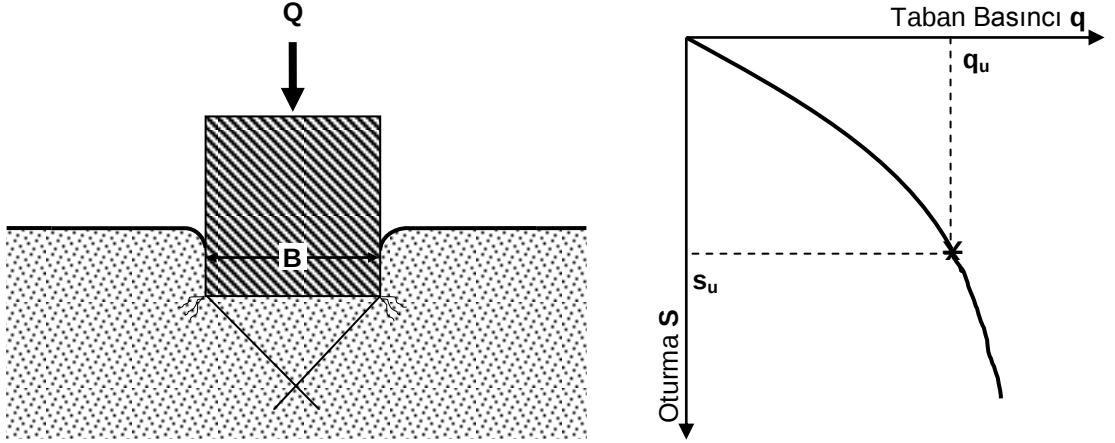
kayma göçmelerinde yük-deplasman eğrisinin en üst noktasındaki q_u değeri ve bu değere karşı gelen s_u ise, belirgin değildir [Örnek , 2009].



Şekil 2.3. Yerel kayma göçmesi

2.4.3. Zımbalama kayma göçmesi

Genellikle, gevşek kumlarda veya yumuşak kil zeminlerde görülen göçme türüdür. Bu tür göçme ile ilgili tipik bir yük-deplasman eğrisi Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu tür göçmelerde zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmamaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi yükün artması ile beraber oturmalar da artmakta olup ve dolayısıyla nihai taşıma kapasitesi (q_u) ve buna karşı gelen oturma değeri (s_u) belirlenmemektedir. Bu tür göçmelerde genellikle q_u , eğrinin eğimi olan $\Delta s/\Delta q$ oranının maksimumuna karşılık gelen değer seçilir [Örnek , 2009].



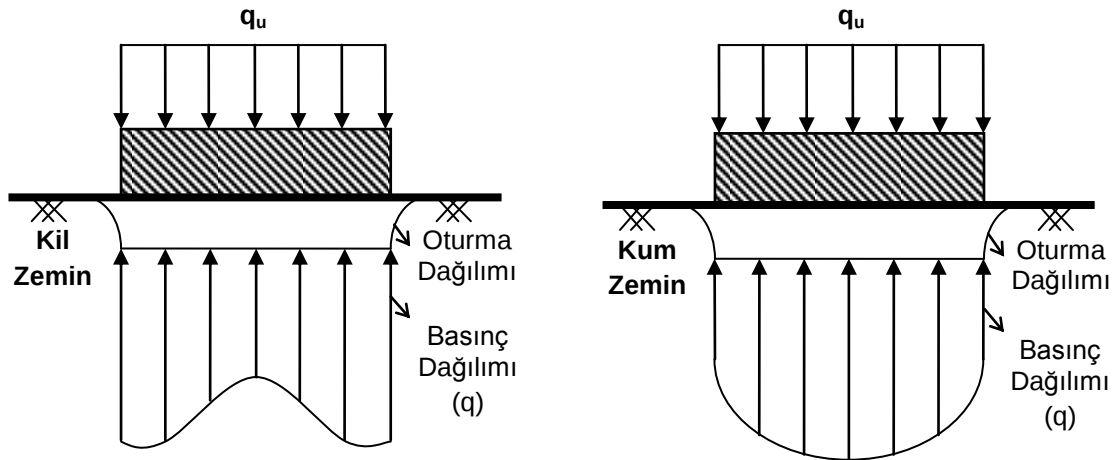
Şekil 2.4. Zımbalama kayma göçmesi

Tez kapsamında yapılan laboratuvar çalışmalarında, hem boş ve hem de donatı katkılı yapılan deneylerde genellikle zımbalama kayma göçmesi gözlenmiştir.

2.5. Yüzeysel Temelerde Taşıma Gücünün Hesaplanması

Bölüm 2.3'te açıklandığı gibi Terzaghi'nin 1943 yıllarında Prandtl teorisinden yola çıkarak yüzeysel temelerin göçme mekanizması ile ilgili açıkladığı mantık Şekil 2.5'te yer almaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi Terzaghi yüzeysel temelerin altındaki göçme mekanizmasını üç bölgeye ayırmıştır. Bu bölgeler;

1. Elastik bölge (abc bölgesi) : Bu bölgede α açısı $45-\phi/2$ yerine ϕ olarak kabullenmiştir.
2. Plastik bölge (acd bölgesi) : Bu bölgede cd kırılma yüzeyi logaritmik spiral olarak kabullenmiştir.
3. Pasif bölge (ade bölgesi) : Bu bölgede kayma yüzeylerinin, zemin yüzeyi ile yaptığı açı $45-\phi/2$ olarak kabullenmiştir.



Şekil 2.6. Rijit temel tabanındaki oturma ve basınç dağılımı

2.7. Donatılı Zeminler

Donatılı zemin, zayıf zeminin mukavemetini artırmak amacıyla içerisinde yüksek çekme modülüne sahip olan geosentetik ürünü kullanarak elde edilen kompozit bir zemin sistemidir. Donatılı zemin teorisi ilk olarak 1960'lı yıllarda Henri Vidal tarafından öne sürülmüştür. Vidal çalışmalarında, donatı olarak çelik şeritler kullanmıştır. Zamanın ilerlemesi ve buna paralel olarak teknolojinin de ilerlemesiyle, çelik şeritlerin yerini başta geogridler olmak üzere bir çok geosentetik ürünü almıştır. Günümüzdeki uygulamalarda, donatılı zemin sistemi yaygın bir yöntem olarak pek çok inşaat projesinde (Yol, Baraj, Şev, Dolgu vb) kullanılmaktadır. Geosentetiklerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki işlevleri Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Geosentetiklerin işlev ve çeşitleri [Örnek , 2009]

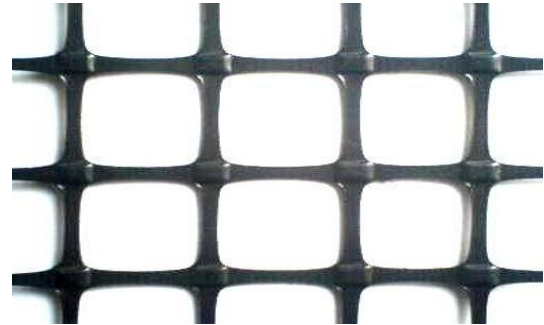
Geosentetikler	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Sızdırmazlık	Koruma
Geotekstil	●	●	○	○	○	●
Geomembran	○			○	●	
Geogrid				●		
Geokompozit			●		○	○
Geonet			●			○
● Ana İşlev ○ İkincil işlev						

2.7.1. Geogridler

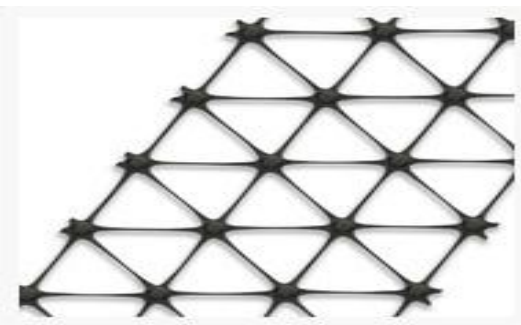
Geogridler yüksek çekme modüllü olduklarından dolayı güçlendirme amaçlı kullanılan geosentetik türüdür. Dolayısıyla taşıma gücü yönünden zayıf olan zeminlerde güçlendirme amaçlı olarak kullanılan donatılı zemin sisteminde kullanılmaktadır. Geogridlerin üstüne dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme daneleri geogridin göz aralarına yerleşerek malzeme ile kenetlenmektedir. Bu deliklerin, geogridin zemin içinden geçmesine izin verecek genişlikte olmasından dolayı, yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde bir pasif dayanım oluşmaktadır. Aynı zamanda geogridin zemine bağlanması da bu şeritler sayesinde olmaktadır. Geogridler tek eksenli , çift eksenli, üç eksenli ve dört eksenli olarak dört farklı tipte üretilmektedir (Resim 2.1).



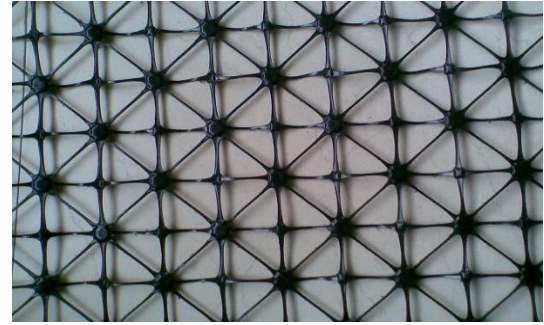
a) Tek eksenli



b) Çift eksenli



c) Üç eksenli



d) Dört eksenli

Resim 2.1. Geogridler

Tez kapsamında yapılan laboratuvar deneylerinde üç eksenli geogrid donatı kullanılmıştır.

2.7.2. Geogrid-Zemin etkileşimi

Donatılı zemin sistemi, donatı ile zemin arasında oluşan etkileşim nedeniyle kompozit ve homojen bir malzeme gibi davranmaktadır. Bu sistemde, geogrid donatıdan dolayı kayma mukavemetinin artması ile beraber, taşıma gücünün de arttığı ve dolayısıyla zeminde oluşan oturmaların dikkat çekici bir şekilde azaldığı görülmektedir. Zeminler genellikle çekmeye karşı zayıf ve basınca çalışmaktadır. Geogridler yüksek çekme modülü sayesinde çekmeye karşı dirençli davranarak zeminlerin bu zayıf yönlerini gidermektedir. Dolayısıyla, sisteminin dayanıklı davranma sebebi, geogridin çekmeye ve zeminin basınca çalışmasıdır. Bu sistemin çekme direnci, geogrid tabakası boyunca zemin daneleri ile donatı arasında oluşan sürtünme vasıtasıyla zeminin yükselen içsel sürtünme açısından dolayı oluşmaktadır. Kayma direnci ise, geogrid boşluklarına giren zemin daneleri ile donatı arasında oluşan kayma direnci ve geogrid boşluklarına giren zemin danelerinin kendi arasında oluşan kayma direncinden dolayı ortaya çıkmaktadır.

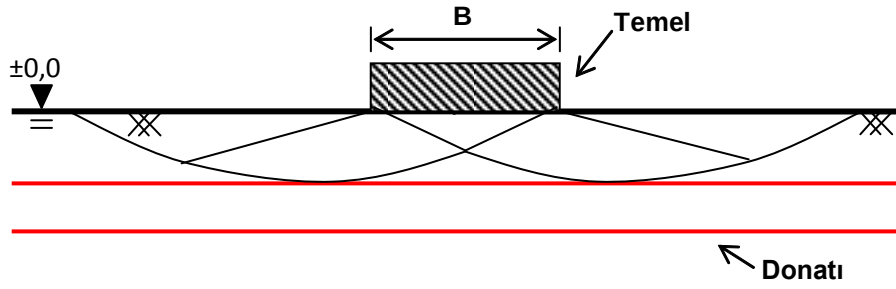
2.7.3. Donatılı zemin davranışı

Bu bölümde donatılı zemin sisteminin mekanizması ve davranışı ile ilgili öne sürülen yaklaşımlar anlatılmıştır. Literatürde, donatı ile güçlendirilen zeminlerle ilgili aşağıda sunulan göçme mekanizmaları tanımlanmıştır [Chen , 2007 ; Örnek , 2009]:

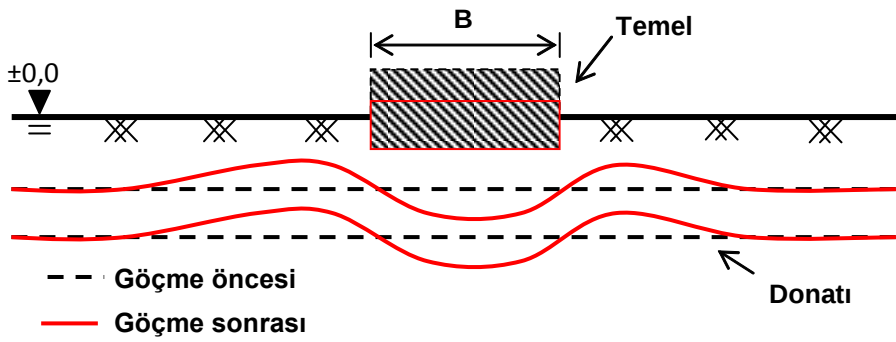
- Rijit taban etkisi: İlk donatı derinliğinin (u) belli bir değerden büyük olması durumunda donatı, etki bölgesini sınırlamakta ve zemin donatı sistemi, rijit bir taban gibi davranmaktadır. Rijit taban etkisi ilk olarak, Binqet ve Lee (1975b) tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra, bir çok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmalarda (Akinmusuru ve Akinbolade, 1981; Mandal ve Sah, 1992; Khing ve ark., 1993; Omar ve

ark., 1993b; Ghosh ve ark., 2005) benzer davranışlar elde edilmiştir (Şekil 2.7a).

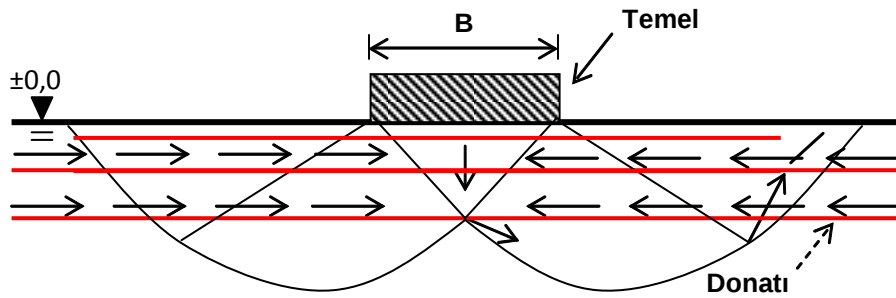
- **Membran Etkisi:** Yük uygulandığı zaman temel ve temel zemini aşağı doğru hareket etmekte, donatı deforme olmaktadır. Geogrid donatının rijitliğine bağlı olarak donatı da yükü karşılamaya çalışarak temele doğru bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu tür bir mekanizmanın oluşabilmesi için belli bir oturma değerine ulaşılması, donatıda herhangi bir kopma ve çekme olmaması için ise donatının belli bir uzunlukta ve rijitlikte olması gerekmektedir. Binquet ve Lee (1975b) tarafından göçme sonrası donatı şekli için basit kabuller yapılarak, güçlendirilmiş kum zeminlere oturan şerit temellerde bir tasarım yöntemi geliştirmek amacıyla bu tür bir göçme mekanizması uygulanmıştır. Kumar ve Saran (2003) tarafından ise, bu yöntem güçlendirilmiş kum zeminlere oturan kare temeller için de uygulanmıştır (Şekil 2.7b).
- **Sınırlandırma Etkisi:** Zemin ve geogrid donatı arasındaki bağıl yer değiştirmeden dolayı zemin-donatı ara yüzeyinde sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Aynı zamanda zemin-donatı arasında bir kenetlenme etkisi de meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, donatı ile güçlendirilmiş zeminde yanal deformasyon veya potansiyel çekme gerilmesi sınırlandırılmaktadır. Zeminler genel anlamda gerilme bağımlı malzemeler olduklarından, yanal olarak sınırlama arttıkça zeminlerin rijitlik modülleri, dolayısıyla da basınç mukavemetleri artmaktadır. Bu durum da zeminin taşıma kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Bu mekanizma, Huang ve Tatsuoka (1990) tarafından temel genişliğinin (B) ve geogrid donatı boyuna (b) eşit olarak alınarak güçlendirildiği kum zeminlerde yapılan deneysel çalışmalarda başarıyla doğrulanmıştır. Michalowski (2004) tarafından bu mekanizma, donatı ile güçlendirilen zeminlerin limit analizinde ve güçlendirilmiş zeminlere oturan şerit temellerin nihai taşıma kapasitesi hesaplamasında kullanılmıştır (Şekil 2.7c).



a. Rijit sınır etkisi



b. Membran etkisi



c. Sınırlandırma etkisi

Şekil 2.7. Donatılandırma mekanizmaları [Chen , 2007 ; Örnek , 2009]

2.8. Deneysel Çalışmalar

Önceki yıllarda farklı araştırmacılar tarafından yapılan geogrid donatı ile güçlendirilmiş zemin üzerine oturan temellerin taşıma gücünün iyileştirilmesi ile ilgili bazı araştırmalar incelenmiş, değerlendirmelerin özeti aşağıda sunulmuştur.

Akinmusuru ve Akinbolade (1981) tarafından, donatılı kum zeminlere oturan kare temellerin taşıma kapasitesi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde donatı olarak bitkisel lifler kullanılmış ve model temel olarak $B=100$ mm genişliğindeki çelik rijit plaka seçilmiştir. Çalışmada ilk donatı derinliği (u), donatılar arasındaki mesafe (h) ve donatı sayısının (N) taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmıştır. İlk donatı derinliğinin araştırıldığı deneylerde, u/B oranı 0,25 ile 1,50 arasında değiştirilmiştir. Maksimum taşıma gücü değeri $u/B=0,75$ iken elde edilmiştir. Donatılar arasındaki mesafenin araştırıldığı deneylerde, h/B oranı 0,50 ile 1,5 arasında değiştirilmiş, maksimum taşıma gücü değeri $h/B=0,50$ durumunda elde edilmiştir. Donatı sayısının araştırıldığı deneylerde, $u/B=0,75$ ve $h/B=0,50$ sabit alınırken $N=1$ 'den 5'e arttırılmıştır. $N=3$ 'e kadar taşıma gücünün hızla arttığı, bu tabaka sayısından sonra ise, taşıma gücündeki artışın önemli bir mertebede olmadığı görülmüştür.

Das ve Omar (1994) tarafından yapılan çalışmada, geogrid donatılı kum zeminlere oturan temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışı incelenmiştir. Deneylerde temel genişliği (B) değişken parametre olarak alınmış ve bu parametrenin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre taşıma gücü oranı (donatılı zeminde elde edilen taşıma gücünün, donatısız zeminde elde edilen taşıma gücüne oranı) ile temel genişliğinin (B) ters orantıda olduğu görülmüş, temel genişliğinin artması ile beraber taşıma gücü oranının azaldığı tespit edilmiştir.

Shin ve ark. (2002) tarafından, geogrid donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Deneyler temel derinliğine bağlı olarak ($D_f/B=0, 0,3$ ve $0,6$) üç grupta yapılmıştır. Model temel boyutları 172×67 mm² ve deney kasasının boyutları, $1000 \times 170 \times 600$ mm³ olarak seçilmiştir. Deneylerde, ilk donatı derinliği (u), donatılar arası mesafe (h) ve donatı uzunluğu (b) sabit tutulurken, donatı sayısı (N) 1'den 6'ya kadar değiştirilmiştir. Deney sonuçlarına dayanarak, farklı donatı sayılarında taşıma gücü ve oturma davranışlarına en büyük katkı $D_f/B=0,6$ durumunda elde edilmiştir.

Patra ve ark. (2006) tarafından, donatı ile güçlendirilmiş kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi model deneyler vasıtasıyla incelenmiştir. Deneylerde donatı olarak geogrid kullanılmış ve model temel olarak $360 \times 80 \text{ mm}^2$ ebatlarında çelik rijit plaka seçilmiştir. Model deneylerde farklı yük eksantrisiteleri (e_L) kullanılarak bu parametrenin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre eksantrik yüklü temellerle aksenal yüklü temellerin taşıma kapasitelerinin, azaltma faktörü (R) adlandırılan katsayısı vasıtasıyla ilişkilendirilmesi önerilmiştir.

El-Sawwaf (2007) tarafından yapılan çalışmada geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiş, geogrid donatı ile ilgili değişkenlerin (donatı uzunluğu, b ve donatı sayısı, N) taşıma gücü ve oturma karakteristiklerine olan etkisi araştırılmıştır. Donatı uzunluğunun araştırıldığı deneylerde b sırasıyla 2B, 3B, 4B, 5B ve 6B olarak alınmış ve sonuçlara göre taşıma gücü ve oturma davranışlarına en büyük katkı b=6B durumunda elde edilmiştir (Not: geogridler, tankın merkezi ve donatı yerleştirme düzenine göre temelin altında serilmiştir). Donatı sayısının araştırıldığı deneylerde ise geogrid donatı 1, 2, 3 ve 4 tabaka olarak serilmiştir. N=3'e kadar donatı sayısını arttıkça taşıma kapasitesinin hızla arttığı, ancak bu tabaka sayısından sonra, taşıma kapasitesindeki artışın önemli bir mertebede olmadığı görülmüştür.

Örnek (2009) tarafından yapılan çalışmada yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı katkısıyla güçlendirilmesi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar arazi ortamında ve farklı çaplarda dairesel model temeller kullanılarak yapılmıştır. Deneyler yumuşak kil zemin üzerine dolgu tabakası inşa ederek ve onun içerisine geogrid donatı tabakaları yerleştirerek yapılmıştır. Deneylerde ilk donatı derinliği (u), donatılar arası mesafe (h) ve donatı sayısı (N) değişken parametre olarak alınmış ve zeminin taşıma gücü ve oturma davranışlarına olan katkıları araştırılmıştır. İlk donatı derinliğinin etkisi araştırıldığı deneylerde u temel çapına (D) bağlı olarak sırasıyla 0,17D, 0,33D, 0,50D ve 0,67D seçilmiştir. Taşıma gücü ve oturma davranışına en büyük katkı tüm çaplar için u=0,17D durumunda elde

edilmiştir. Donatılar arası mesafe etkisinin incelendiği deneylerde h temel çapına bağlı olarak sırasıyla $0,17D$, $0,33D$ ve $0,50D$ seçilmiştir. Taşıma gücü ve oturma davranışına en büyük katkı tüm çaplar için $h=0,50D$ durumunda elde edilmiştir. Donatı sayısı etkisinin araştırıldığı deneylerde ise, N sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 olarak seçilmiştir. Taşıma gücü ve oturma davranışlarına en büyük katkı tüm çaplar için $N=4$ durumunda elde edilmiştir.

El-Sawwaf (2009) tarafından, donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneylerde donatı olarak geogrid kullanılmış ve model temel olarak $498 \times 75 \text{ mm}^2$ boyutlarında çelik rijit plaka seçilmiştir. Çalışmada farklı rölatif sıklıkları kullanılarak yük eksantrisitesi (e_L), donatı uzunluğu (b), donatı sayısı (N) ve donatı yerleştirme düzeninin (e_G (Geogrid donatı son noktasından temel merkezine olan mesafe)) taşıma kapasitesi ve oturma davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Yük eksantrisitesinin (e_L) araştırıldığı deneylerde, e_L/B oranı 0 ile 0,3 arasında değiştirilmiştir. Sonuçlara göre taşıma gücü değeri, $e_L/B=0,15$ 'e kadar az ve düzenli bir şekilde ancak bu eksantrisiteden sonra hızlı bir şekilde düşmüştür. Donatı uzunluğunun araştırıldığı deneylerde, b/B oranı 2 ile 6 arasında değiştirilmiş, önemli mertebede olan taşıma gücü artışı $b/B \geq 4$ durumunda elde edilmiştir (Not: geogridler, tankın merkezi ve donatı yerleştirme düzenine göre temelin altında serilmiştir). Donatı sayısının araştırıldığı deneylerde, $N=1$ 'den 4'e kadar arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre $N=3$ 'e kadar taşıma gücünün hızla arttığı, bu tabaka sayısından sonra ise, taşıma gücündeki artışın önemli bir mertebede olmadığı tespit edilmiştir. Donatı yerleştirme düzeninin araştırıldığı deneylerde, e_G/B oranı 0 ile 3 arasında değiştirilmiştir. Sonuçlara göre donatı yerleştirme düzeni ile taşıma gücünün ters orantı olduğu görülmüş, donatı yerleştirme düzeninin artması ile beraber taşıma gücünün azaldığı tespit edilmiştir. Sawwaf taşıma gücündeki bu düşüşün $e_G/B \leq 0,25$ oranına kadar %15 civarında olduğunu belirlemiştir.

Al-Mosawe ve ark. (2010) tarafından, geogrid donatı ile güçlendirilmiş gevşek kum zeminlerin üzerine oturan eksantrik yüklü kare temellerin taşıma gücü ve oturma davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan

deneylerde deney tankının ebatları $0,6 \times 0,6 \times 0,7 \text{ m}^3$ ve model temel olarak kullanılan çelik kare plakanın genişliği 60 mm olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kum zeminin rölatif sıklığı %31 olarak belirlenmiştir. Çalışmada ilk donatı derinliği ($u=0,75B$) ve donatılar arası mesafesi ($h=0,50B$) sabit parametreler ve donatı sayısı (N) ve yük eksantrisitesi (e) değişken parametreler olarak planlanmıştır. Deneyler 1 ve 2 tabaka donatı serilmesi durumunda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre taşıma gücü iyileştirme derecesi $N=1$ durumunda yapılan deneylerde %20 ve $N=2$ durumunda yapılan deneylerde %47,50 civarında elde edilmiştir.

Al-Tirkity ve Al-Tay (2012) tarafından, geogrid donatıyla güçlendirilmiş kum zeminlere oturan eksantrik yüklü şerit temellerin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Bu çalışmada laboratuvar deneylerinin yanısıra 2D sonlu eleman analizleri kullanılarak sayısal analizler de yapılmıştır. Deneylerde ilk donatı derinliği (u), donatılar arası mesafe (h), donatı sayısı (N) ve donatı tabaka derinliği (d) gibi parametrelerin taşıma gücüne olan katkıları araştırılmıştır. İlk donatı derinliğinin araştırıldığı deney sonuçlarına göre taşıma gücüne olan en büyük katkı, $e=0$ (eksenel yükleme) için temel genişliğine bağlı olarak $u=0,45B$ ve $e/B=0,15$ yük eksantrisitesine kadar herhangi bir yük eksantrisitesi için $u=0,35B$ durumunda elde edilmiştir. Donatılar arası mesafe etkisinin araştırıldığı deneylerde taşıma gücüne olan en büyük katkı tüm eksantrisiteler için temel genişliğine bağlı olarak $h=0,50B$ durumunda elde edilmiştir. Donatı sayısı etkisinin araştırıldığı deneylerde, $e=0$ (Eksenel yükleme) için optimum donatı sayısı 4 ve temel genişliğine bağlı olarak $e/B=0,15$ yük eksantrisitesine kadar herhangi bir yük eksantrisitesi için optimum donatı sayısı 3 tabaka olarak elde edilmiştir. Donatı derinliği etkisinin araştırıldığı deneylerde ise, optimum donatı derinliği (d), $e=0$ (eksenel yükleme) için temel genişliğine bağlı olarak $2B$ ve $e/B=0,15$ yük eksantrisitesine kadar herhangi bir yük eksantrisitesi için $1,35B$ elde edilmiştir.

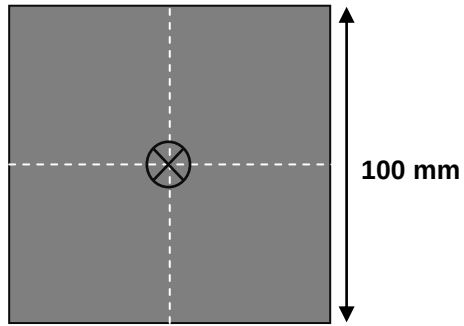
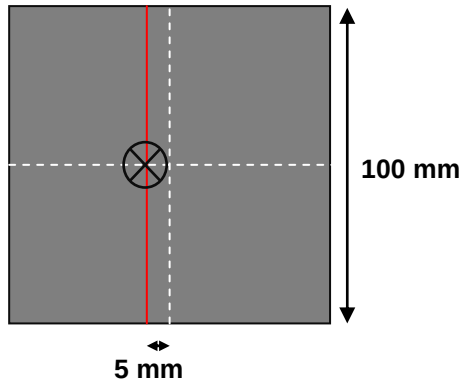
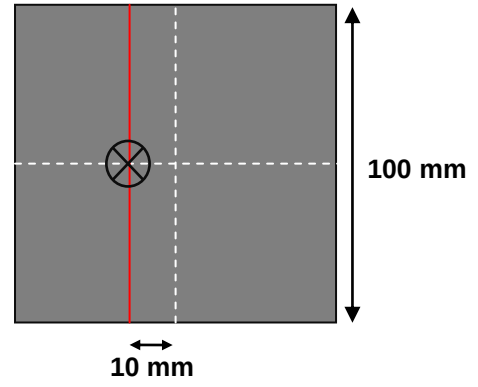
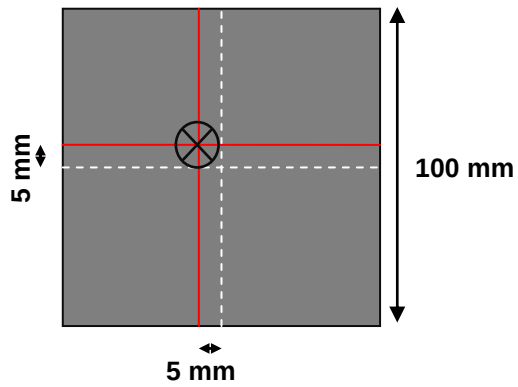
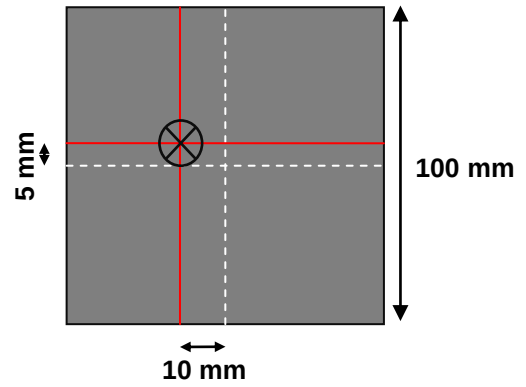
2.9. Tez Kapsamında Yapılan Deneysel Çalışmaların Özeti

Bölüm 2.8’de, bazı önceki çalışmalar araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, konu ile ilgili araştırılan parametrelerin yeterli

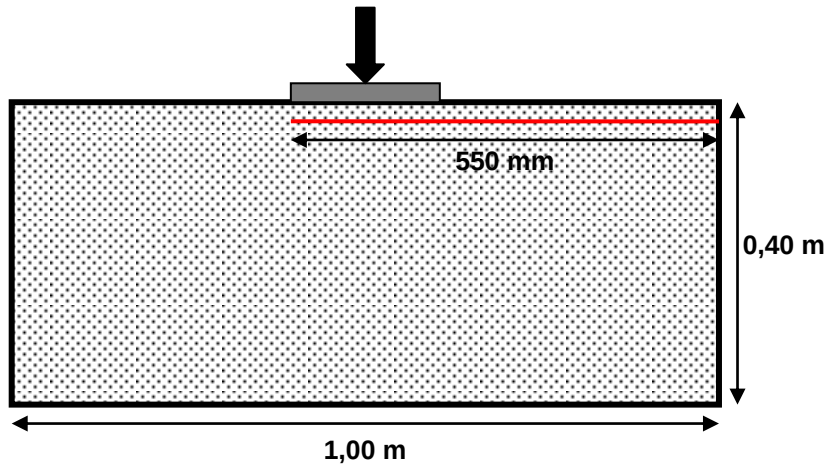
mertebede olmadığı ve daha geniş bir şekilde araştırma gereği düşünülmüştür. Bu doğrultuda tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, yüzeysel kare temeller için, eksantrik yükleme altında taşıma gücünde oluşan değişimi ifade eden azaltma faktörü katsayısı (R) araştırılmıştır. Ayrıca efektif donatı uzunluğu, donatı yerleştirme düzeni ve optimum donatı sayısı gibi parametrelerin, kare temellerin taşıma gücü ve oturma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kohezyonsuz kum zemin kullanılarak toplam 83 adet küçük ölçekli deney yapılmıştır.

Laboratuvar deneylerinde 1,0 m uzunluk, 0,5 m genişlik ve 0,4 m yüksekliğe sahip tank kullanılmıştır. Model temel olarak da, 100 mm genişliğinde bir adet çelik kare plaka seçilmiştir.

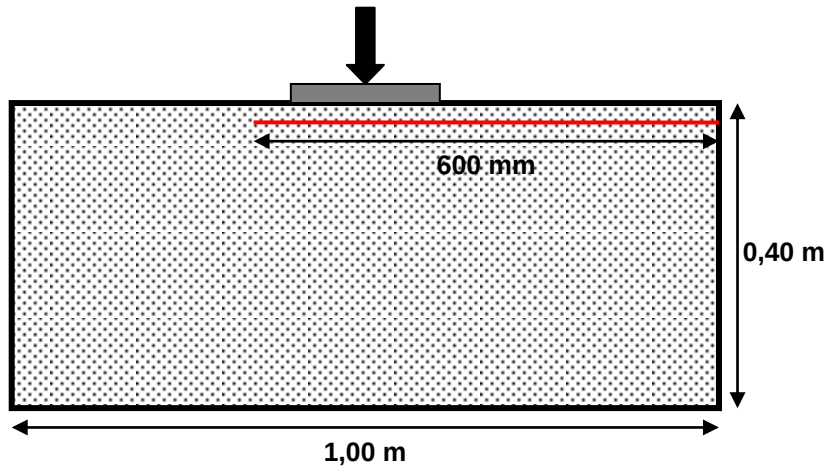
Yük eksantrisitesinin (e_L) araştırıldığı deneylerde, e_L , temel genişliğine bağlı olarak 0, 0,05B, 0,1B, 0,05B-0,05B ve 0,1B-0,05B olarak seçilmiştir. Laboratuvar ortamında uygulanan yük eksantrisiteyi şematik olarak Şekil 2.8’de sunulmuştur. Donatı uzunluğunun (b) araştırıldığı deneylerde $e_L=0B$, $e_L=0,05B$, $e_L=0,1B$, $e_L=0,05B-0,05B$ ve $e_L=0,1B-0,05B$ yük eksantrisiteyi kullanılmış, b , 10B, 6,5B, 6,0B ve 5,5B seçilmiştir. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı uzunlukları şematik olarak Şekil 2.9’da sunulmuştur. Donatı sayısının (N) araştırıldığı deneylerde $e_L=0B$, $e_L=0,05B$, $e_L=0,1B$, $e_L=0,05B-0,05B$, $e_L=0,1B-0,05B$ yük eksantrisiteyi kullanılmış, N 1’den 3’e kadar değiştirilmiştir. İlk donatı 0,3B derinliğinde, ikinci ve üçüncü donatı ise 0,5B aralıkla serilmiştir. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı sayıları şematik olarak Şekil 2.10’da sunulmuştur. Donatı yerleştirme düzeninin (e_G) araştırıldığı deneylerde $e_L=0,05B$ ve $e_L=0,1B$ yük eksantrisiteyi ve $b=6,5B$, $b=6B$ ve $b=5,5B$ donatı uzunlukları kullanılmıştır (Tank uzunluğu 10B olduğu için, $b=10B$ durumuna gerek kalmamıştır). Temel merkezine göre ,donatının yük uygulanan tarafta ve diğer tarafta olması test edilmiştir. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı yerleştirme düzenleri şematik olarak Şekil 2.11’de sunulmuştur.

a. $e_L=0$ (0B)b. $e_L=5$ mm (0,05B)c. $e_L=10$ mm (0,1B)d. $e_L=5-5$ mm (0,05B-0,05B)e. $e_L=10-5$ mm (0,1B-0,05B)

Şekil 2.8. Laboratuvar ortamında uygulanan yük eksantrisitetleri

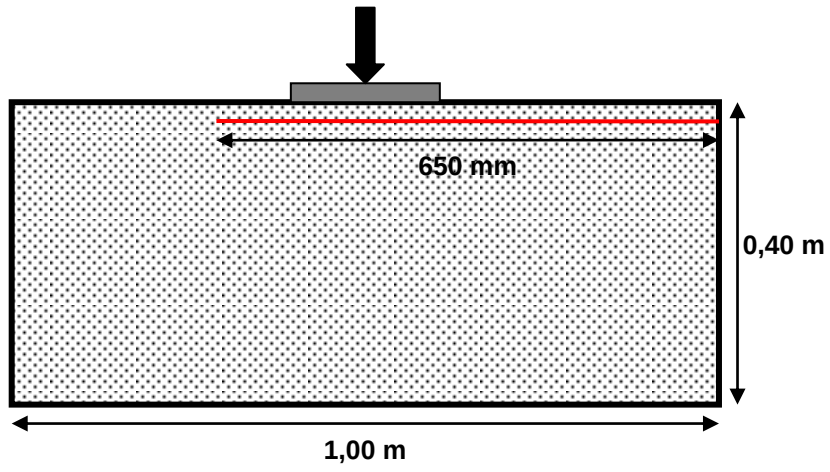


a. $b=550 \text{ mm}$ (5,5B)

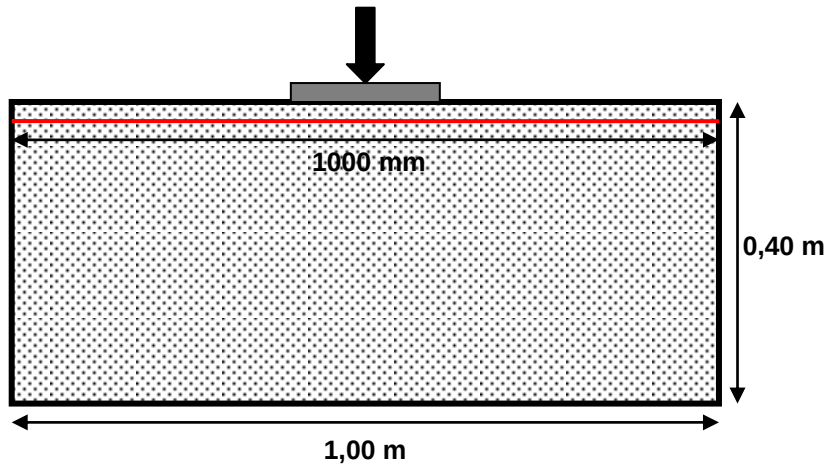


b. $b=600 \text{ mm}$ (6,0B)

Şekil 2.9. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı uzunlukları

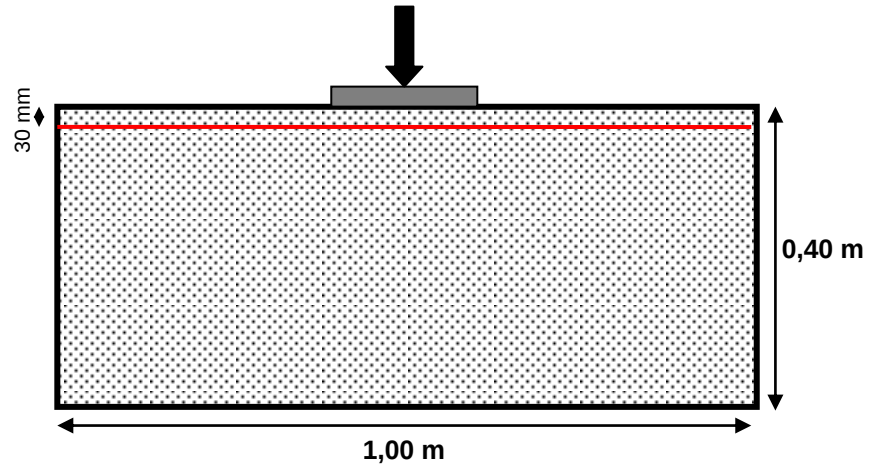


c. $b=650 \text{ mm}$ (6,5B)

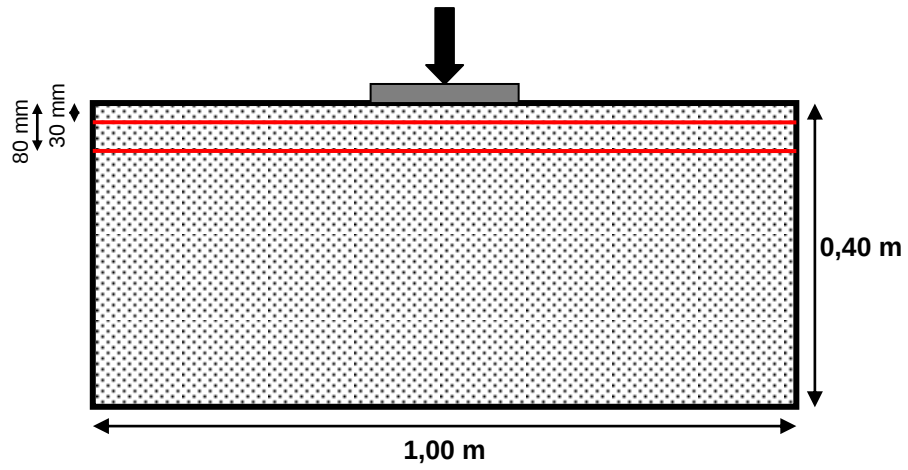


d. $b=1000 \text{ mm}$ (10B)

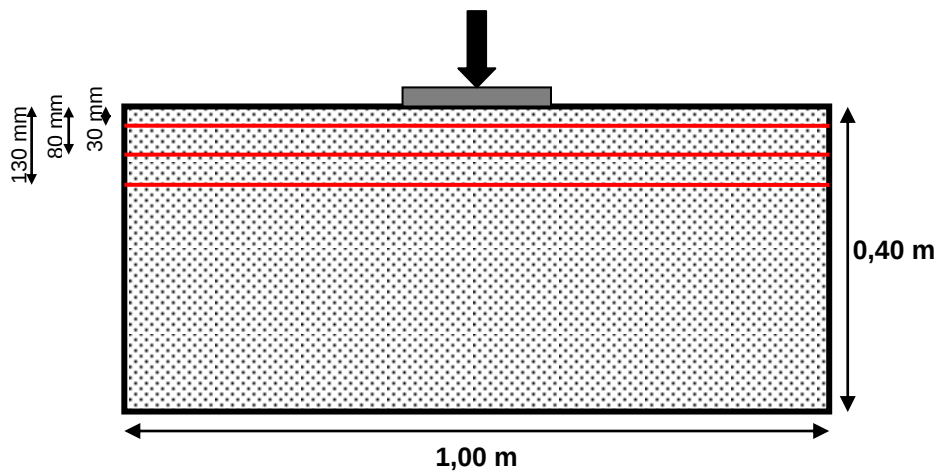
Şekil 2.9. (Devam) Laboratuvar ortamında kullanılan donatı uzunlukları



a. $N=1$

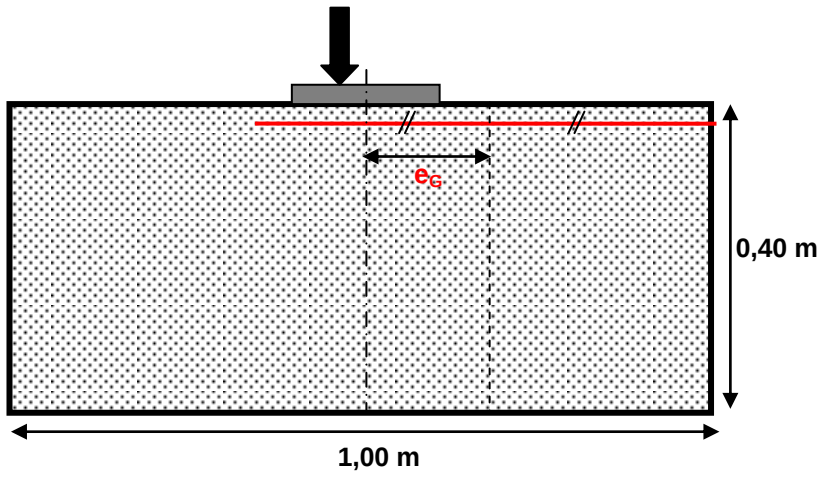


b. $N=2$

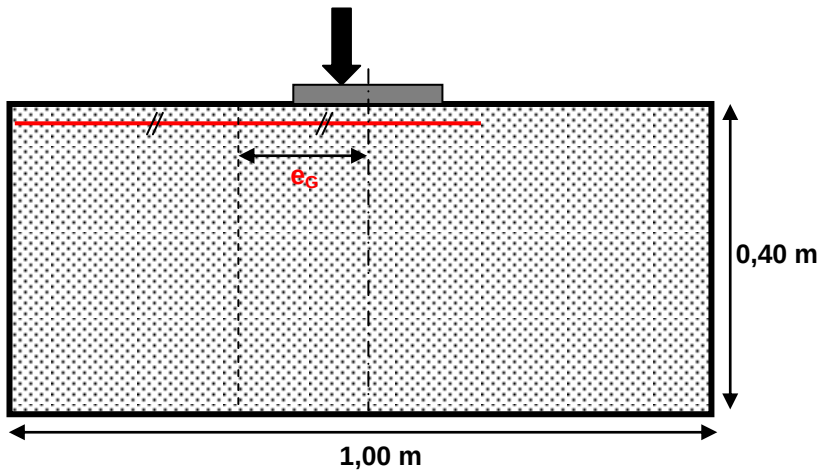


c. $N=3$

Şekil 2.10. Laboratuvar ortamında kullanılan donatı sayıları



a. $e_G = -$ (yük uygulanmayan tarafta)



b. $e_G = +$ (yük uygulanan tarafta)

Şekil 2.11. Laboratuvar ortamında uygulanan donatı yerleştirme düzeni

3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

3.1. Giriş

Bu bölümde laboratuvar ortamında yapılan çalışmalara ait bilgiler sunulmuştur. İlk olarak, deneylerde kullanılan zemin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar ve ardından konu ile ilgili yapılan laboratuvar deneylerine ait bilgiler verilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan deneyler, iki seri olarak planlanmıştır.

Seri I: Donatısız kum zeminde yapılan deneyler,

Seri II: Geogrid donatı katkısıyla yapılan deneyler.

Laboratuvarda toplam 83 adet deney yapılmıştır. Deneyler, ilk seride farklı yük eksantrisiteleri için donatısız zemin durumunda, ikinci seride ise tankın içerisine farklı yerleşim düzeninde geogrid donatı tabakaları serilerek gerçekleştirilmiştir. Bu iki seriden elde edilen deney sonuçlarına dayanarak geogrid donatının taşıma kapasitesi ve oturma davranışına olan etkisi incelenmiştir.

3.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan elek analizi deneylerinden (TS 1900), zemin sınıflandırılması, piknometre ve yoğunluk deneylerinden (TS 1900), zemin özgül ağırlığı ve maksimum ve minimum yoğunluk değerleri ve kesme kutusu deneyinden (TS 1900), zemin kohezyonu ve içsel sürtünme açısı belirlenmiştir.

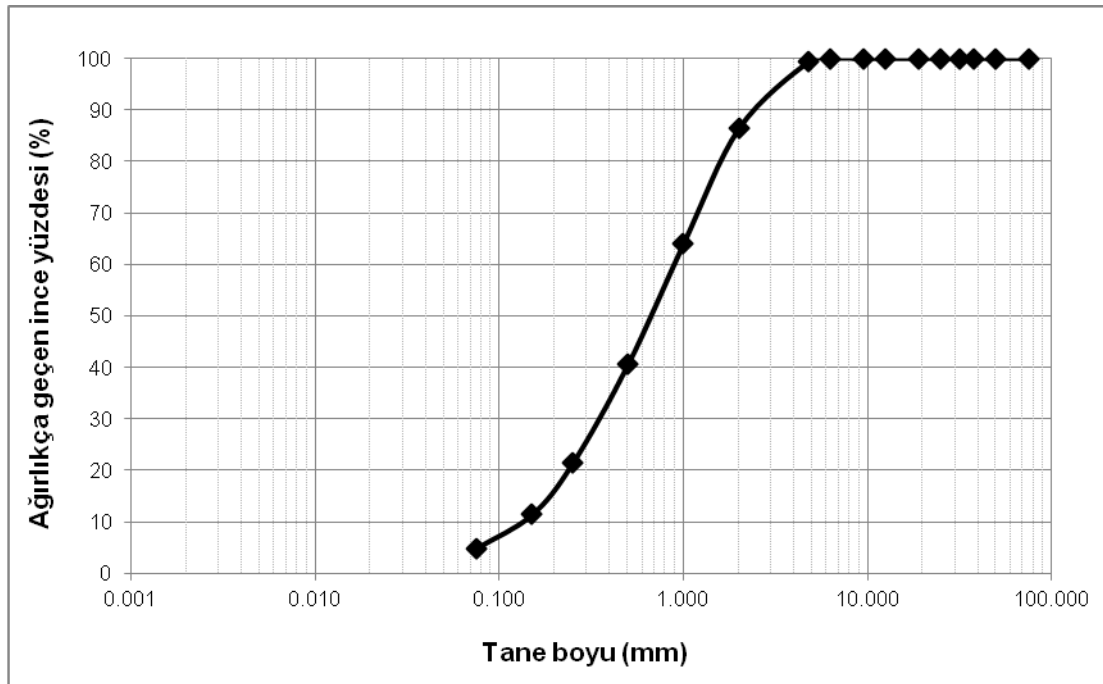
3.2.1. Elek analizi

Deney metodu kare delikli elekler kullanılarak, zeminin 0,075mm'den büyük kısımlarının dane boyutu dağılımının bulunmasına yardımcı olmaktadır. Laboratuvar deneylerinde kullanılan zemin türü, birleşik zemin sisteminde iyi derecelenmiş kum

(SW) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu deneyden elde edilen veriler Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları

Elek		Elekte kalan	Kalan	Toplam kalan	Toplam geçen	Çakıl miktarı %	9,1
Adı	Boyutu (mm)	gr	%	%	%		
4"	100,00	0,00	0,0	0,0	100,0	Kum miktarı %	84,3
3"	75,00	0,00	0,0	0,0	100,0		
2"	50,00	0,00	0,0	0,0	100,0	İnce (kil+silt) miktarı %	6,5
1,1/2"	37,50	0,00	0,0	0,0	100,0		
1"	25,00	0,00	0,0	0,0	100,0	D ₁₀ (mm)	0,13
3/4"	19,00	0,00	0,0	0,0	100,0		
1/2"	12,50	0,00	0,0	0,0	100,0	D ₃₀ (mm)	0,60
3/8"	9,50	0,00	0,0	0,0	100,0		
1/4"	6,30	2,24	0,1	0,1	99,9	D ₆₀ (mm)	2,20
#4	4,75	151,96	9,0	9,1	90,9		
#10	2,00	542,73	32,0	41,1	58,9	Uniformluk Katsayısı $C_u = D_{60}/D_{10}$	16,9
#18	1,00	251,62	14,9	56,0	44,0		
#35	0,50	346,47	20,5	76,4	23,6		
#60	0,25	136,84	8,1	84,5	15,5	Eğrilik Katsayısı $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$	1,3
#100	0,15	70,24	4,1	88,7	11,3		
#200	0,075	80,85	4,8	93,5	6,5		



Şekil 3.1. Tane boyu dağılımı

3.2.2. Özgül ağırlık deneyi

Bu deney metodu, iri malzemenin özgül ağırlığının ve piknometre yardımı ile ince malzemenin özgül ağırlığının bulunmasını kapsamaktadır. Numunenin özgül ağırlığı, ince ve iri daneli kısmın özgül ağırlıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Özgül ağırlık deneyinde piknometre kullanılmakta olup, yapılan ölçümler sonrasında özgül ağırlık aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$G_s = \frac{(M_2 - M_1)}{[(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)]} \quad (3.1)$$

burada M_1 Piknometre ağırlığı (gr), M_2 Piknometre + Numune ağırlığı (gr), M_3 Piknometre + Numune + Su ağırlığı (gr) ve M_4 Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr) 'nı ifade etmektedir.

Deney sonunda çalışmalarda kullandığımız kumun özgül yoğunluğu $G_s=2,709$ olarak bulunmuştur.

3.2.3. Yoğunluk deneyi

Maksimum ve minimum yoğunluk değerlerinin ölçümünde kullanılan birim hacim kabının çapı 90 mm, yüksekliği 105,50 mm, ağırlığı 4188 gr ve hacmi 671140 mm³ dür.

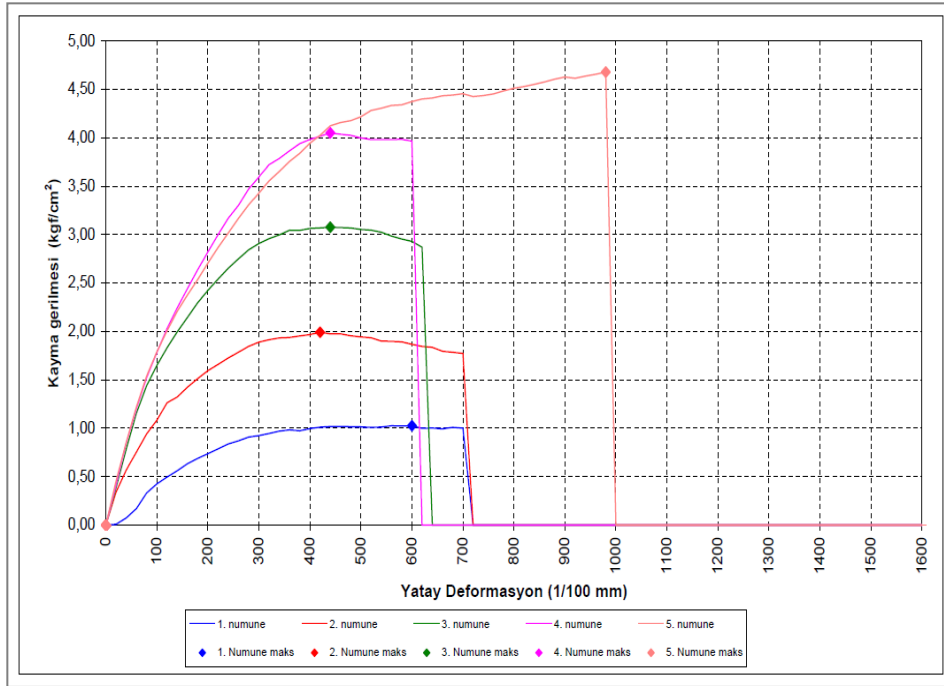
Etüvde kurutulmadan, yerinde alınan numune üzerinde bulunan maksimum ve minimum yoğunluk değerleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yoğunluk deneyi sonuçları

Kalıp+Gevşek kum ağırlığı				5231			
Kalıp+Sıvıştırılmış kum ağırlığı				5409			
Net gevşek kum ağırlığı				1045			
Net sıkı kum ağırlığı				1223			
Titreşimli sıkıştırma için kullanılan üst yük					9411	G _s	2,709
Kum G _s = 2,709							
Gevşek ağırlık	1045	gr	ρ _{min}	1557	kg/m ³	e _{min}	0,487
Sıkı ağırlık	1223	gr	ρ _{max}	1822	kg/m ³	e _{max}	0,740

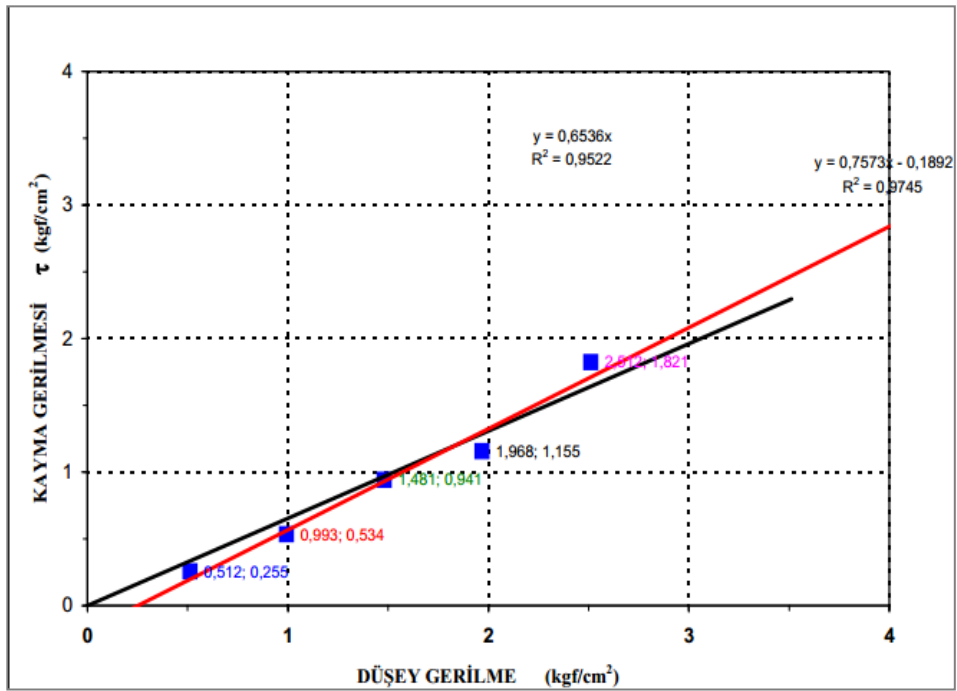
3.2.4. Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi 60x60 mm² kesitinde, 40 mm yüksekliğinde zemin numunesini farklı aksenal gerilmeler altında kesmeye zorlayarak ve her bir yük altında yenilmenin gerçekleştiği kesme yenikmesi gerilmeleri belirlenerek yapılmış olan deneyler bütünüdür. En az 5 deneyin aksenal gerilmeler altındaki kesme yenilmelerinin oluşturduğu grafik noktaları belirlenerek, bu noktalar arasında eğri uydurularak ve oluşturulan doğrunun y eksenini kestiği nokta kohezyon, bu doğrunun x eksenini kestiği açı ise içsel sürtünme açısı olarak kabul edilir.



Şekil 3.2. Kumun farklı 5 düşey gerilmeye karşılık kayma gerilmesi – deformasyonu

Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, doğal haldeki zemin numunesinin içsel sürtünme açısı $\phi=42^\circ$ bulunmuş ancak zeminin kohezyonsuz olduğunu kabul edebilmek için oluşan doğru orjinden geçirildiğinde içsel sürtünme açısı $\phi=40^\circ$ olarak kabul edilmiştir. Yükleme deneylerinde kullanılan zemin kuru olduğu için, kuru numunede yapılan kesme kutusu deneyi ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde içsel sürtünme açısının $\phi=37^\circ$ ve numunenin kohezyonsuz olduğu kabul edildiğinde $\phi=35^\circ$ olarak saptanmıştır.



Şekil 3.3. İçsel sürtünme açısının belirlenmesi

Laboratuvar ortamında yapılan deneylere geçmeden önce, deney düzeneği ve bu doğrultuda kullanılan aletler ve cihazlar hakkında kısa bir bilgi verilmektedir.

3.3. Deney Düzeneği

Bu bölümde laboratuvarında yapılan deneyleri sırasında kullanılan aletlerden (yükleme sistemi, deney tankı, model temel plakası, geogrid donatı elemanı, düşey deplasman ölçer, veri aktarma sistemi) bahsedilmiştir.

3.3.1. Yükleme sistemi

Bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde, yük almak amacıyla, hidrolik kol yardımıyla harekete geçen yük pistonu sistemi kullanılmıştır.

3.3.2. Deney tankı

Sahayı temsil eden ve laboratuvarında kullanılan tankın uzunluğu , genişliği ve yüksekliği sırasıyla 1,0x0,5x0,4 m³ olup ve bu dikdörtgen tankın uzun kenarları sac levhası ve kısa kenarları sert plastikten yapılmıştır.

3.3.3. Model temel plakası

Laboratuvarında temeli temsil etmek amacı ile 100 mm genişliğinde, çelik bir kare plaka kullanılmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1. Laboratuvar ortamında temel amaçlı kullanılan plaka

3.3.4. Geogrid donatı

Seri II’de yapılan deneylerde kullanılan geogride ait teknik özellikler Çizelge 3.3’te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Geogrid donatıya ait teknik özellikler

Geometrik Özellikler	Eksenel	Çaprazlama	Enlemesine	Genel
Rib yüksekliği (mm)	40	40	-	-
Orta-rib derinliği (mm)	-	1,8	1,5	-
Orta-rib genişliği (mm)	-	1,1	1,3	-
Düğüm kalınlığı (mm)	-	-	-	3,1
Rib şekli	-	-	-	Dikdörtgensel
Açıklık şekli	-	-	-	Üçgensel
Mekanik Özellikler				
Bağlantı noktası tesiri (%)	-	-	-	90
Açıklık dayanımı (500 N.m de N.mm/deg)	-	-	-	390
İzotropik sertlik oranı	-	-	-	>0,75
Düşük gerilmede radyal sekant modülü (%0,5 gerilmede kN/m)	-	-	-	455
Mukavemet				
Kimyasal degradasyon dayanımı	-	-	-	%96
Bozunma dayanımı	-	-	-	%98
Oksitlenme dayanımı	-	-	-	%90
Yükleme hasar dayanımı	-	-	-	>%87

3.3.5. Düşey deplasman ölçerler (LVDT)

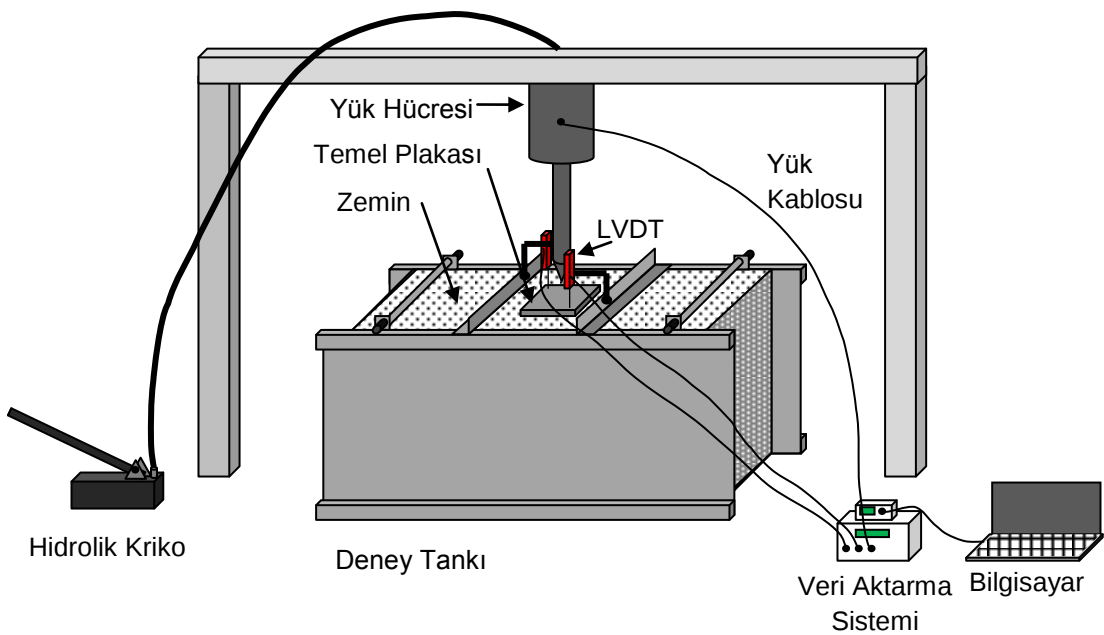
Deneysel çalışmalarda, 100 mm kapasiteli 2 adet düşey deplasman ölçer (LVDT Linear Variable Displacement Transducers) kullanılmıştır. Bu amaçla temel tabanını sağ ön ve sol arka oturmaları ölçülmüş, oturma değeri olarak iki okumanın ortalaması alınmıştır.

3.3.6. Veri aktarma sistemi

Deneysel çalışmalarda, yüklem sistemi ve deplasman ölçerler aracılığıyla elde edilen değerler ve birbirleri ile ilişkilendirildiği grafik, veri aktarma sistemi (TDG CODA) yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır.

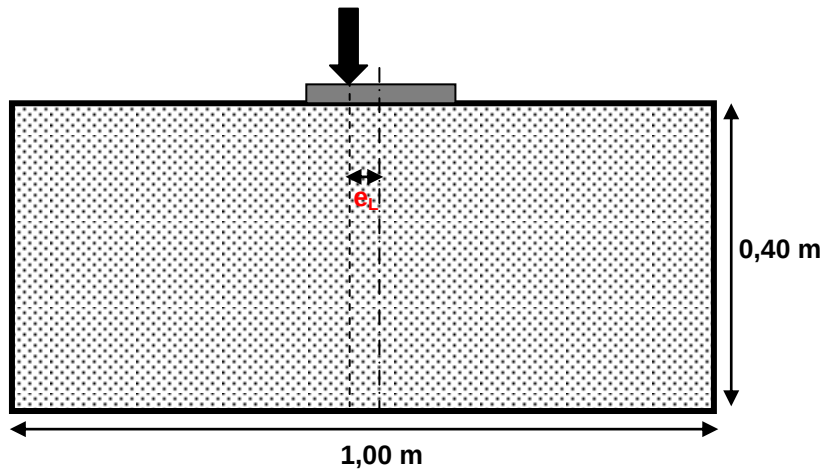
3.4. Seri I: Donatısız Kum Zeminde Yapılan Deneyler

Laboratuvar ortamında, donatısız kum zemin üzerinde farklı eksantrisitelere yük uygulanarak toplam 5 adet deney yapılmıştır. Bu seride deneylerin yapılmasındaki amaç hem yük eksantrisine (e_L) parametresinin araştırılması, hem ikinci seride yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar için bir referans oluşturmaktır. Donatısız kum zeminde yapılan deneylerin şematik gösterimi Şekil 3.4'te yer almaktadır.



a. Genel görünüm

Şekil 3.4. Seri I'de yapılan deneylerin şematik gösterimi



b. Detay görünüm

Şekil 3.4. (Devam) Seri I’de yapılan deneylerin şematik gösterimi

3.4.1. Deney düzeneğinin hazırlanması

Deneylerde, zeminin %50 rölatif sıkılığı sağlamak amacıyla, deney tankı tabaka tabaka doldurulmuştur. 50 mm kalınlığında olan tabakalar, aşağıda belirlenen 42,00 kg kum miktarını kapsayacak bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (3.2)$$

$$0,50 = \frac{0,740 - e}{0,740 - 0,487} \rightarrow e = 0,613$$

$$\gamma = \frac{M_t}{V_t} \times 9,81 \quad (3.3)$$

$$\gamma = \frac{2,709}{1,613} \times 9,81 = 16,475 \frac{kN}{m^3} \times 101,98 = 1680,190 \frac{kg}{m^3}$$

$$1680,190 \frac{kg}{m^3} \times 1 \times 0,5 \times 0,05 = 42,00 kg$$

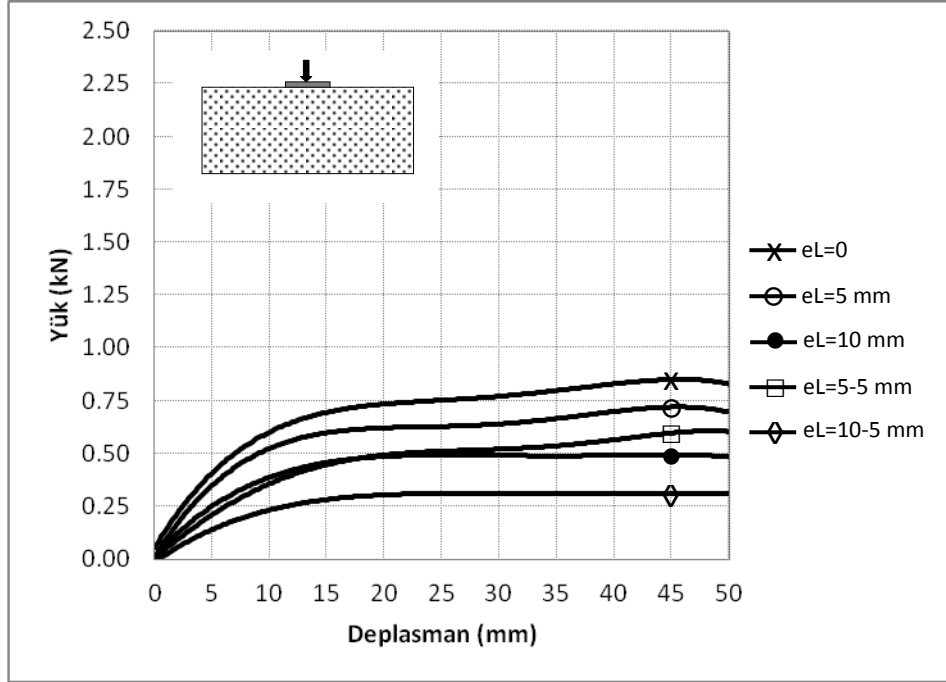
Tank dolduktan sonra temel amaçlı kullanılan elik kare plaka tankın tam merkezine oturacak bir şekilde yerleştirilmiştir. Yük hcreti plakada daha önceden belirlenmiş noktalara oturacak bir şekilde ayarlanmıştır. Temelde oluşan oturmayı ölçmek amacıyla kullanılan LVDT'ler, temelin sağ n ve sol arkasına olmak üzere diagonal biçimde dikkatlice yerleştirilmiştir. Bu hazırlıkların tamamlanmasından sonra özel bilgisayar programı vasıtasıyla deneyi başlatarak yük uygulama aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada dikkat edilecek konu yükün sürekli ve kesintisiz bir şekilde uygulanmasıdır. (Hazırlanma süreci sonunda elde edilen görüntü Resim 3.2'de yer almaktadır).



Resim 3.2. Deney düzeneği

3.4.2. Deney bulguları

Bu seride yapılan deneylerde, yk eksantrisitesi (e_L) değişken parametre olarak ele alınmış ve bu parametrenin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Deneylerde yk eksantrisitesi (e_L) sırasıyla 0, tek yönlü eksantrik olarak 5 mm ve 10 mm, çift yönlü eksantrik olarak 5-5 mm ve 10-5 mm alınmıştır. Bu deneylerden elde edilen yük-deplasman eğrileri şekil 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Yük eksantrisitesinin (e_L) etkisi

Bu deneylerin yük-deplasman eğrilerine dayanarak, 10, 30 ve 50 mm oturmalara karşılık gelen yük değerlerini (Çizelge 3.4) temel alanına oranlayarak gerilme değerleri bulunmaktadır. Bulunan gerilme değerleri Hansen'in (1970) öne sürdüğü taşıma gücü formülünde yazılarak N_γ değerleri elde edilir (Eşitlik 3.8). Elde edilen N_γ değerine karşılık gelen içsel sürtünme açısı Çizelge 3.5 yardımıyla okunur.

Yapılan Seri I deneylerinde, 10, 30 ve 50 mm oturmalara karşılık gelen N_γ ve ϕ değerleri Çizelge 3.6'da sunulmuştur.

Bilindiği üzere iki boyutlu durumda yatay şerit temeller için Hansen taşıma gücü formülü aşağıdaki gibidir:

$$q_u = c(N_c S_c d_c I_c) + \gamma D_f (N_q S_q d_q I_q) + 0,5 \gamma B (N_\gamma S_\gamma d_\gamma I_\gamma) \quad (3.4)$$

q_u : Zeminin nihai taşıma gücü (kN/m^2 ve ya kPa),

c : Temel zemininin kohezyonu (kN/m^2),

γ : Temel zemininin birim hacim ağırlığı (kN/m³),

D_f : Temel derinliği (m),

B : Temel genişliği (Kısa kenar veya çap, m),

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü faktörleri (Boyutsuz),

S_c, S_q, S_γ : Temel şekil faktörleri (Boyutsuz),

($S_c = 0,2 (B/L)$)

($S_q = 1 + \sin\phi (B/L)$)

($S_\gamma = 1 - 0,4 (B/L)$)

d_c, d_q, d_γ : Temel derinlik faktörleri (Boyutsuz),

$D_f \leq B$ için ($d_c = 0,4 (D_f/B)$)

$D_f \leq B$ için ($d_q = 1 + 2 \tan\phi (1 - \sin\phi)^2 (D_f/B)$)

$D_f \leq B$ ve yatay temeller için ($d_\gamma = 1$)

I_c, I_q, I_γ : Yük eğim faktörleri (Boyutsuz)

Düşey yük için ($I_c, I_q, I_\gamma = 1$)

Bu çalışmada temel plakası zemin yüzeyine yerleştirildiğinden temel derinliği sıfırdır. Ayrıca temel zemini kohezyonsuz olmasından dolayı Eşitlik (3.4) ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_u = 0,5\gamma B(N_\gamma S_\gamma d_\gamma I_\gamma) \quad (3.5)$$

Yapılan deneylerde temel plakasının kare ve uygulanan yükün düşey olmasını göz önüne alarak aşağıdaki ifade ortaya çıkmaktadır:

$$q_u = 0,3\gamma B N_\gamma \quad (3.6)$$

Eksantrik yük ortamında,

$$\frac{Q}{B'L'} = 0,3\gamma B' N_\gamma \quad (3.7)$$

Buradan N_γ ifadesi çekilirse,

$$N_{\gamma} = \frac{Q}{0,3\gamma B'^2 L'} \quad (3.8)$$

N_{γ} : taşıma gücü katsayısı (Boyutsuz),

Q : zeminin taşıya biliceği maksimum yük (kN),

γ : zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m³),

B' : $B-2e_L$

L' : $L-2e_L$

B : temel genişliği (m)

L : temel uzunluğu (m)

e_L : yük eksantrisitesi (m)

Çizelge 3.4. 10, 30 ve 50 mm oturmalara karşılık gelen yük ve taşıma gücü değerleri

Yükleme Tipi	Q (kN)			q _u (kPa)		
	10 mm oturma için	30 mm oturma için	50 mm oturma için	10 mm oturma için	30 mm oturma için	50 mm oturma için
$e_L=0$	0,65	0,75	0,80	65,00	75,00	80,00
$e_L=5$ mm	0,50	0,60	0,65	56,00	67,00	72,00
$e_L=10$ mm	0,30	0,45	0,45	37,50	56,00	56,00
$e_L=5-5$ mm	0,40	0,50	0,55	49,00	62,00	68,00
$e_L=10-5$ mm	0,25	0,30	0,30	35,00	42,00	42,00

Çizelge 3.5. Taşıma gücü faktörleri [Hansen , 1970 ; Vesic , 1973]

ϕ	N_y	
	Hansen	Vesic
0	0	0
5	0,1	0,4
10	0,4	1,2
15	1,2	2,6
20	3,0	5,3
25	6,8	10,9
30	15,1	22,4
35	33,9	48,0
40	79,5	109,4
45	200,8	271,7
50	568,5	762,8

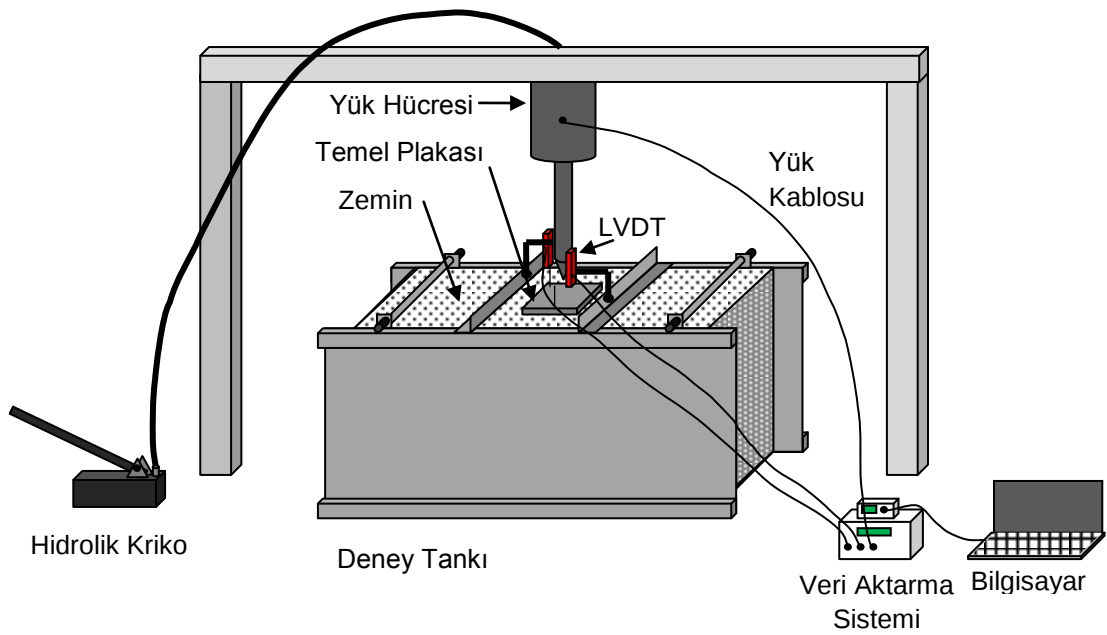
Çizelge 3.6. 10, 30 ve 50 mm oturmalar karşılık gelen N_y ve ϕ değerleri

Yükleme Tipi	N_y			ϕ		
	10 mm oturma için (kN)	30 mm oturma için (kN)	50 mm oturma için (kN)	10 mm oturma için (kN)	30 mm oturma için (kN)	50 mm oturma için (kN)
$e_L=0$	115,50	133,00	142,00	H: 41,48 V: 40,31	H: 42,20 V: 41,12	H: 42,57 V: 41,49
$e_L=5$ mm	110,00	131,50	142,50	H: 41,25 V: 40,03	H: 42,14 V: 41,05	H: 42,59 V: 41,50
$e_L=10$ mm	81,00	122,00	122,00	H: 40,06 V: 38,22	H: 41,75 V: 40,62	H: 41,75 V: 40,62
$e_L=5-5$ mm	97,50	122,00	134,00	H: 40,74 V: 39,32	H: 41,75 V: 40,62	H: 42,24 V: 41,16
$e_L=10-5$ mm	77,00	92,50	92,50	H: 39,72 V: 37,92	H: 40,53 V: 39,01	H: 40,53 V: 39,01
H: Hansen V: Vesic						

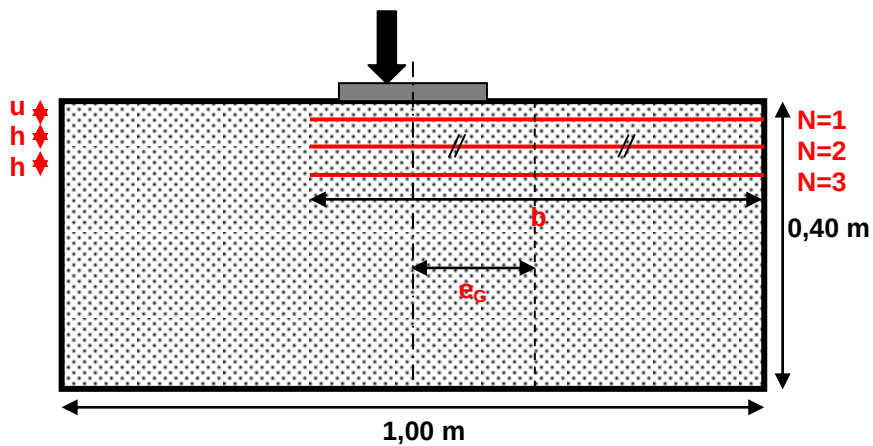
Elde edilen içsel sürtünme açılarına dikkat edildiğinde, temel boyut etkisinden dolayı yüksek değerlerin ortaya çıkması görülmektedir.

3.5. Seri II: Geogrid Donatı Katkısıyla Yapılan Deneyler

Laboratuvarında, iyileştirme amaçlı araştırılan donatı parametreleri (geogrid uzunluğu, geogrid sayısı ve geogrid yerleştirme düzeni) kullanılarak toplam 78 adet deney yapılmıştır. Donatılı kum zeminde yapılan deneylerin şematik gösterimi, Şekil 3.6'da yer almaktadır. Şekilde, b donatı uzunluğu, N donatı sayısı, e_G donatı yerleştirme düzeni, u ilk donatı derinliği ve h ise donatılar arası mesafeyi ifade etmektedir.



a. Genel görünüm

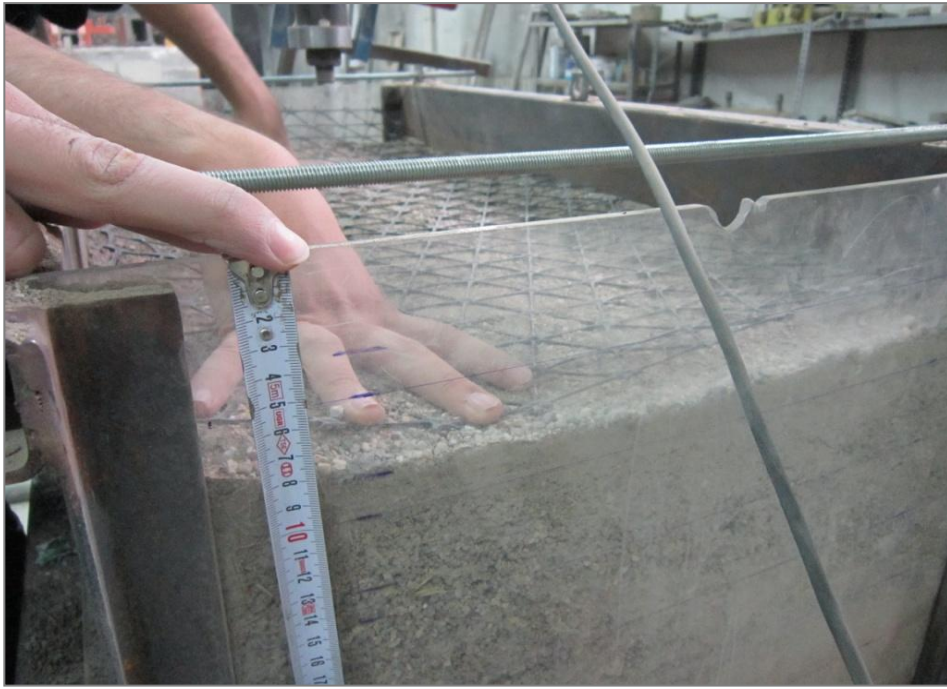


b. Detay görünüm

Şekil 3.6. Seri II'de yapılan deneylerin şematik gösterimi

3.5.1. Deney düzeneğinin hazırlanması

Seri II’de deney düzeneğinin hazırlanması, Bölüm 3.4.1’de anlatıldığı gibidir. Ancak bu serinin farkı, daha önceden belirlenen derinliklerde geogrid donatının serilmiş olmasıdır. İlk donatı derinliği (u) ve donatılar arası mesafe (h) sabit parametreler olarak sırasıyla 0,3B ve 0,5B alınmıştır. Geogrid donatının yerleştirilme aşamaları Resim 3.3 ve Resim 3.4’te yer almaktadır.



Resim 3.3. Geogrid donatının derinlik ayarlama aşaması



Resim 3.4. Geogrid donatının yerleştirilmesi

3.5.2. Deney bulguları

Bu seride yapılan deneylerde, Geogrid uzunluğu (b), geogrid sayısı (N) ve geogrid yerleştirme düzeni (e_G) değişken parametreler olarak ele alınmış ve bu parametrenin taşıma gücüne katkıları araştırılmıştır.

Bu deneylerin yük-deplasman eğrilerine dayanarak, 50 mm oturmaya karşılık gelen yük değerlerini dikkate alarak taşıma kapasitesi oranı (BCR) (Eşitlik 3.9) bulunmaktadır.

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \quad (3.9)$$

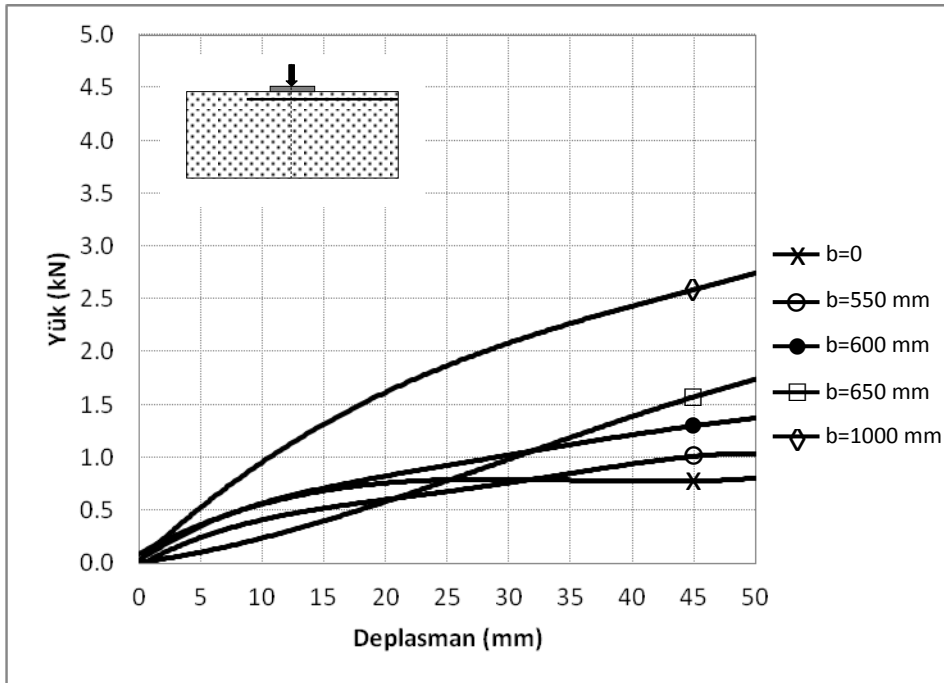
BCR : Taşıma kapasitesi oranı

q_r : Donatılı kum zeminde elde edilen taşıma gücü değeri

q_0 : Donatısız ve eksenel yüklemede elde edilen taşıma gücü değeri

3.5.2.1. Donatı uzunluğunun (b) ve yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi

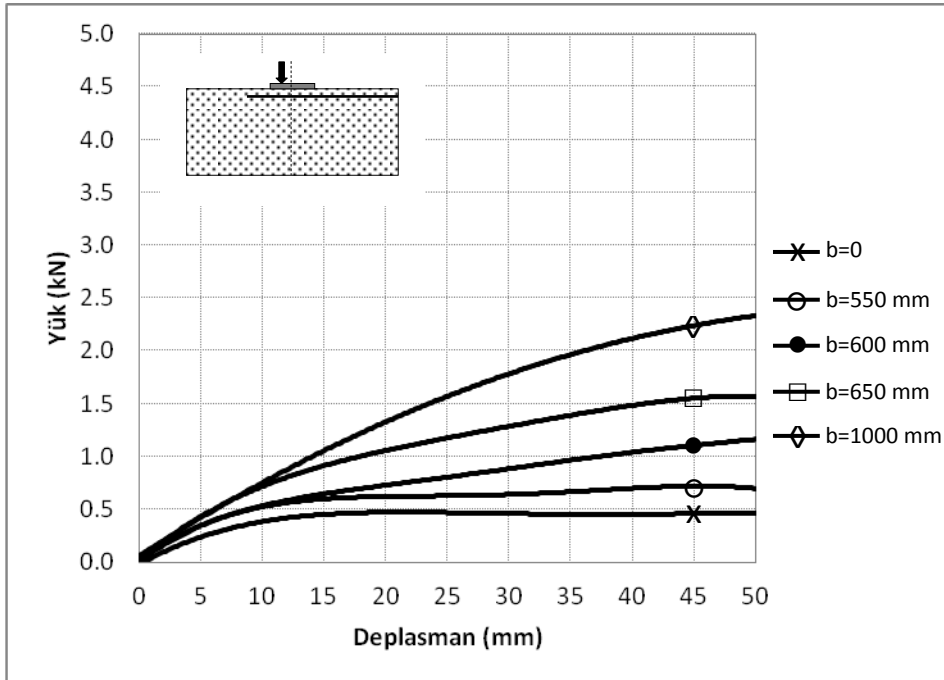
Donatı uzunluğunun taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla toplam 20 adet deney yapılmıştır. $e_L=0$ şartıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.7’de sunulmuştur. Deneylerde donatı uzunluğu (b) tankın sağ tarafına yaslanarak, sırasıyla 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 1000 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, beklenildiği gibi donatı uzunluğunun 1000 mm olması (10B) durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. 1000 mm uzunluğunda geogrid serildiği durumda 50 mm’lik oturma için 275,00 kPa’lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda 650 mm uzunluğunda yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 182,00 kPa’dır. Donatı uzunluğunun 600 mm ve 550 mm olması durumlarında ise taşıma gücü değeri sırasıyla 136,00 kPa ve 100,00 kPa olarak elde edilmiştir. Oturma değeri 50mm olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için yük değerleri sırasıyla 2,75 kN, 1,82 kN, 1,36 kN ve 1,00 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$)

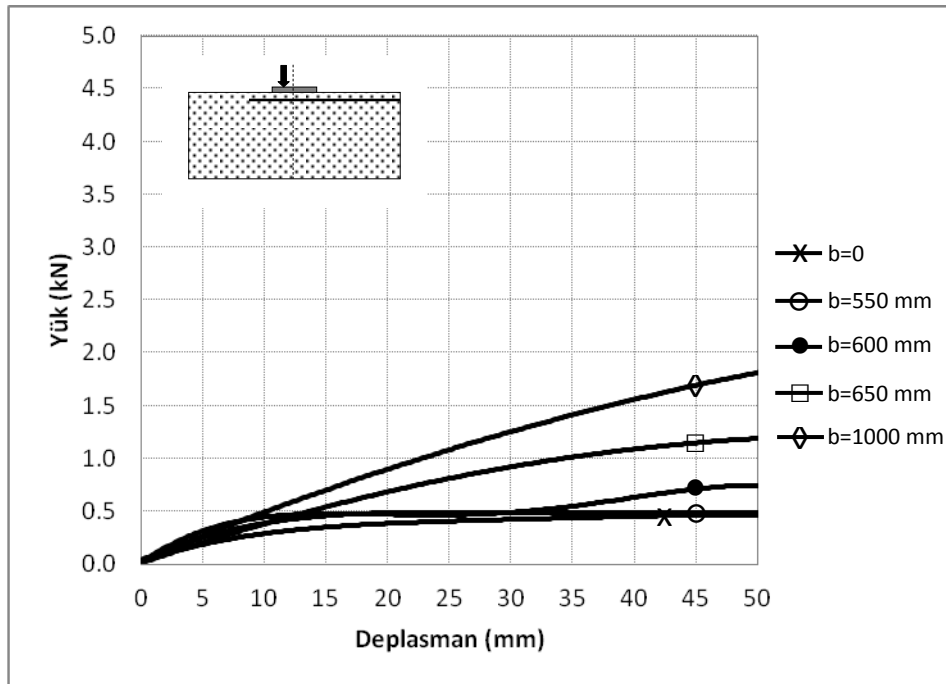
Seri II’de, donatı uzunluğunun eksantrik yüklü yüzeysel temellerin taşıma gücü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla , $e_L=5$ mm, $e_L=10$ mm, $e_L=5-5$ mm ve $e_L=10-5$ mm yükleme tiplerini kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de yer almaktadır.

$e_L=5$ mm şartını kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, donatı uzunluğunun 1000 mm olması (10B) durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. 1000 mm uzunluğunda geogrid serildiği durumda 50 mm’lik oturma için 259,00 kPa’lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda 650 mm uzunluğunda yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 173,00 kPa’dır. Donatı uzunluğunun 600 mm ve 550 mm olması durumlarında ise taşıma gücü değeri sırasıyla 124,00 kPa ve 89,00 kPa olarak elde edilmiştir. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için yük değerleri sırasıyla 2,33 kN, 1,52 kN, 1,12 kN ve 0,80 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$)

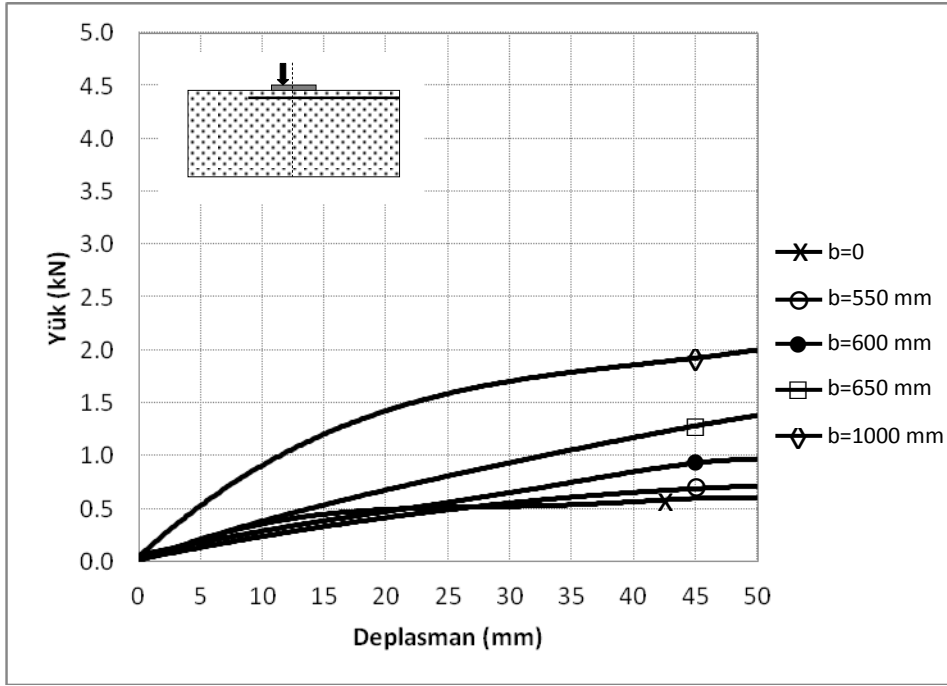
$e_L=10$ mm yük eksantrisitesinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, donatı uzunluğunun 1000 mm olması (10B) durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. 1000 mm uzunluğunda geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için 225,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda 650 mm uzunluğunda yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 144,00 kPa'dır. Donatı uzunluğunun 600 mm ve 550 mm olması durumlarında ise taşıma gücü değeri sırasıyla 95,00 kPa ve 79,00 kPa olarak elde edilmiştir. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için yük değerleri sırasıyla 1,80 kN, 1,15 kN, 0,75 kN ve 0,63 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$)

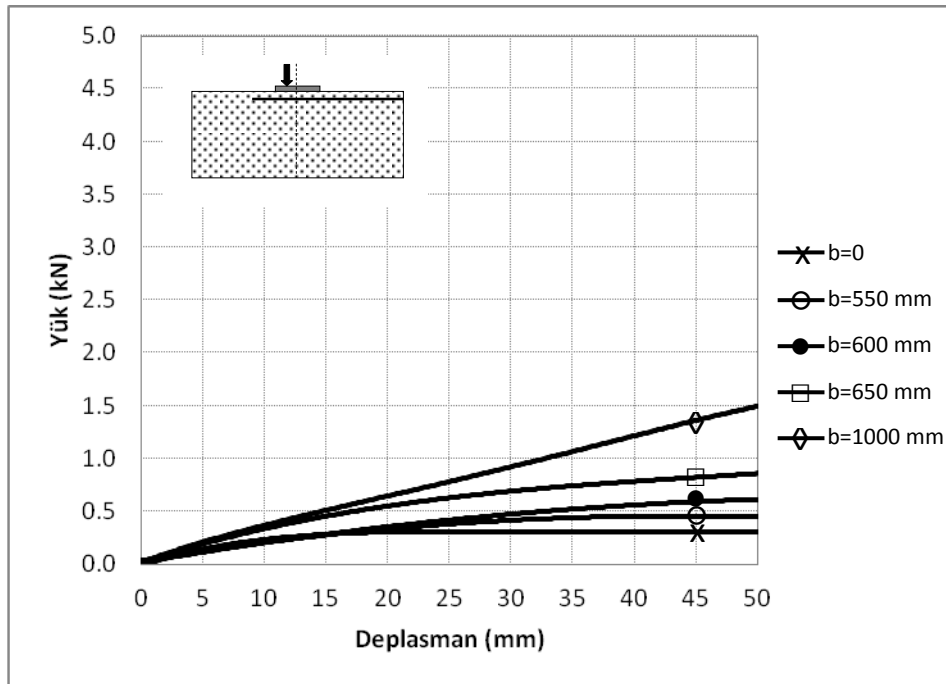
$e_L=5-5$ mm yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar, donatı uzunluğunun 1000 mm olması (10B) durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. 1000 mm uzunluğunda geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için 241,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda 650 mm uzunluğunda yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 167,00 kPa'dır. Donatı uzunluğunun 600 mm ve 550 mm olması durumlarında ise taşıma gücü değeri

sırasıyla 117,00 kPa ve 84,00 kPa olarak elde edilmiştir. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için yük değerleri sırasıyla 1,96 kN, 1,32 kN, 0,95 kN ve 0,68 kN olarak elde edilmiştir.



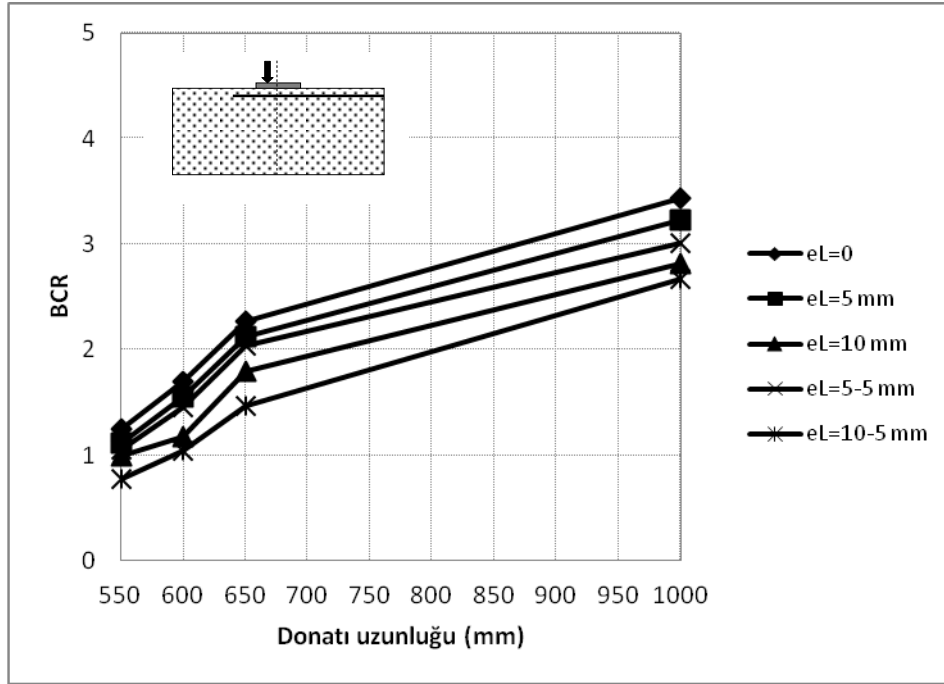
Şekil 3.10. Geogrid uzunluğunun (L) etkisi ($e_L=5-5$ mm ve $N=1$)

$e_L=10-5$ mm yükleme ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, donatı uzunluğunun 1000 mm olması ($10B$) durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. 1000 mm uzunluğunda geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için 214,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda 650 mm uzunluğunda yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 118,00 kPa'dır. Donatı uzunluğunun 600 mm ve 550 mm olması durumlarında ise taşıma gücü değeri sırasıyla 83,00 kPa ve 62,50 kPa olarak elde edilmiştir. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için yük değerleri sırasıyla 1,53 kN, 0,85 kN, 0,60 kN ve 0,45 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.11. Geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10-5$ mm ve $N=1$)

$e_L=0$, $e_L=5$ mm, $e_L=10$ mm, $e_L=5-5$ mm ve $e_L=10-5$ mm için, taşıma kapasitesi oranının, donatı uzunluğu ile ilişkilendirildiği grafik, Şekil 3.12’de yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 3.7’de, geogrid uzunluğu etkisinin araştırıldığı deneylerden elde edilen Q , q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



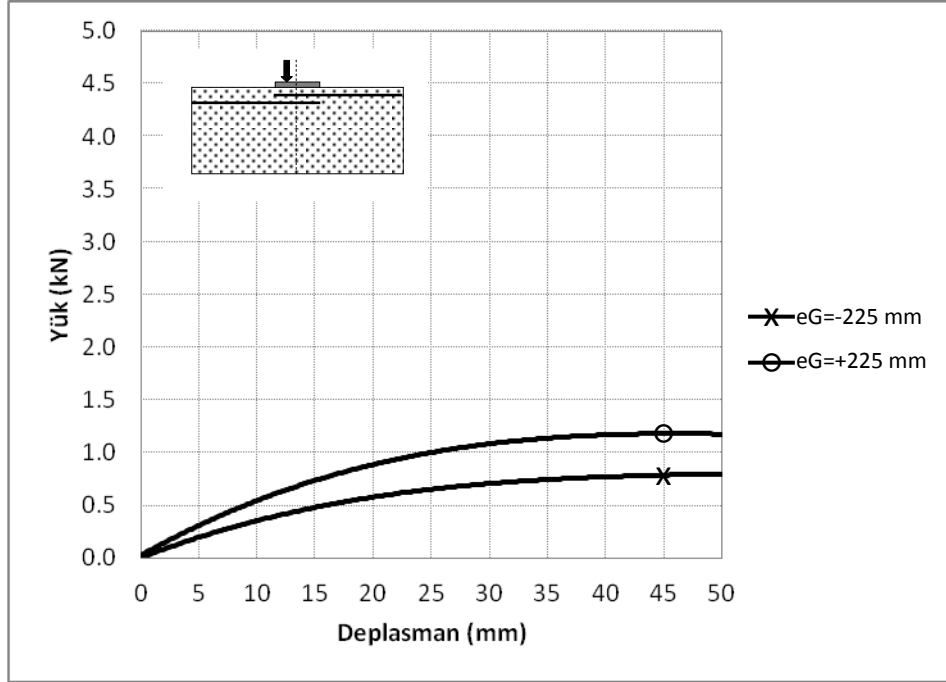
Şekil 3.12. 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)

Çizelge 3.7. Donatı uzunluğunun etkisi (BCR değerleri)

Yükleme Tipi	b (mm)	Q (kN)	q _u (kPa)	BCR
e _L =0	-	0,80	80,00	1,00
	550	1,00	100,00	1,25
	600	1,36	136,00	1,70
	650	1,82	182,00	2,27
	1000	2,75	275,00	3,43
e _L =5 mm	-	0,65	72,00	0,90
	550	0,80	89,00	1,11
	600	1,12	124,00	1,55
	650	1,52	170,00	2,12
	1000	2,33	259,00	3,23
e _L =10 mm	-	0,45	56,00	0,70
	550	0,63	79,00	0,99
	600	0,75	95,00	1,18
	650	1,15	144,00	1,80
	1000	1,80	225,00	2,81
e _L =5-5 mm	-	0,55	68,00	0,85
	550	0,68	84,00	1,05
	600	0,95	117,00	1,46
	650	1,32	163,00	2,04
	1000	1,96	241,00	3,01
e _L =10-5 mm	-	0,30	42,00	0,52
	550	0,45	62,50	0,78
	600	0,60	83,00	1,04
	650	0,85	118,00	1,47
	1000	1,53	214,00	2,67

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, yük eksantrisitesi 5 mm ve 5-5 mm olduğunda, sadece 600 mm, 650 mm ve 1000 mm geogrid uzunlukları kullanıldığı zaman elde edilen taşıma gücü artışı daha dikkat edici bir mertebede yer almaktadır. 5 mm ve 5-5 mm yük eksantrisiteleri için, $b=550$ mm durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme derecesi sırasıyla %11 ve %5 olarak elde edilmiştir. $e_L \geq 10$ mm olduğunda ise, önemli derecede olan taşıma gücü artışı, 650 mm ve 1000 mm geogrid uzunlukları kullanıldığı zaman elde edilmektedir. 10 mm ve 10-5 mm yük eksantrisiteleri için, $b=550$ mm durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme derecesi 0, $b=600$ mm durumunda ise sırasıyla %18 ve %4 olarak elde edilmiştir.

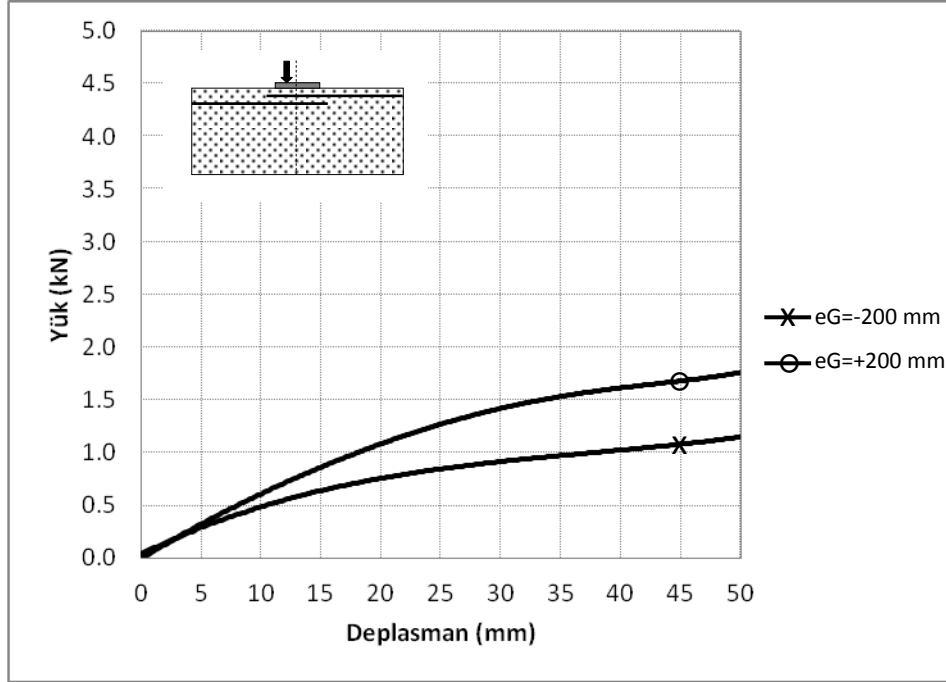
Seri II'de, donatı yerleştirme düzeninin (Geogrid donatı orta noktasından temel merkezine olan mesafe) taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla toplam 18 adet deney yapılmıştır. Daha önceden belirlendiği gibi, donatı yerleştirme düzeninin etkisi $e_L=5$ mm, $e_L=10$ mm yük eksantrisiteleri ve $b=550$ mm, $b=600$ mm ve $b=650$ mm uzunlukları kullanıldığı zaman araştırılmıştır. $e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.13'te sunulmuştur. Bu deneyde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -225 mm ve +225 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +225 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +225 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 130,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -225 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 89,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G = +225$ mm durumu için yük değeri 1,17 kN ve $e_G = -225$ mm durumunda ise 0,80 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.13. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$)

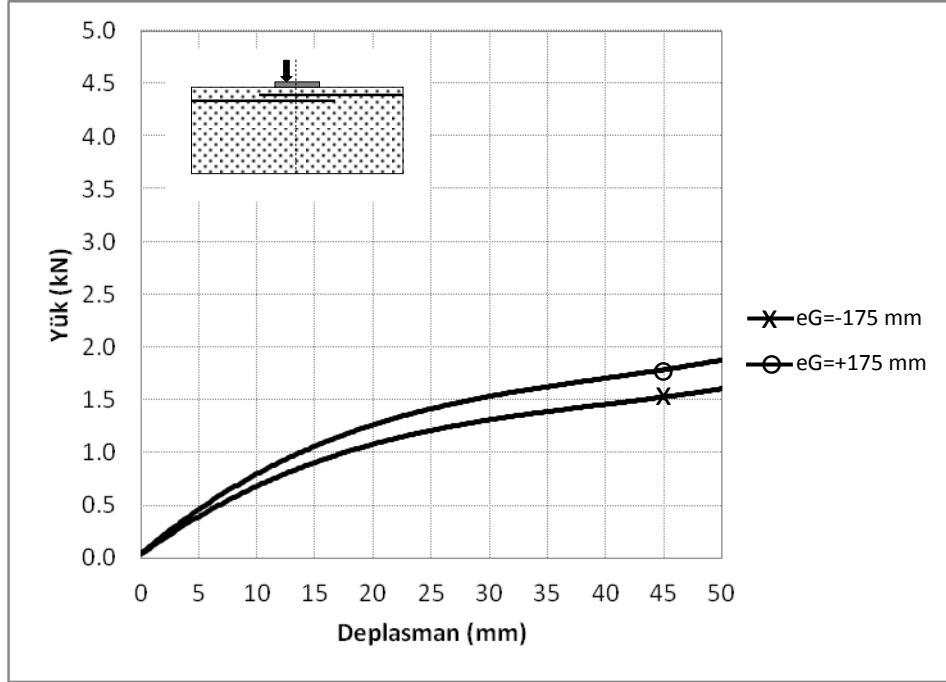
Seri II’de, donatı yerleştirme düzeninin, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla $b=600$ mm ve $b=650$ mm donatı uzunluklarını kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’te yer almaktadır.

$e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.14’te sunulmuştur. Deneylerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -200 mm ve +200 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +200 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +200 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm’lik oturma için 191,00 kPa’lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -200 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 124,00 kPa’dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G = +200$ mm durumu için yük değeri 1,72 kN ve $e_G = -200$ mm durumunda ise 1,12 kN olarak elde edilmiştir.



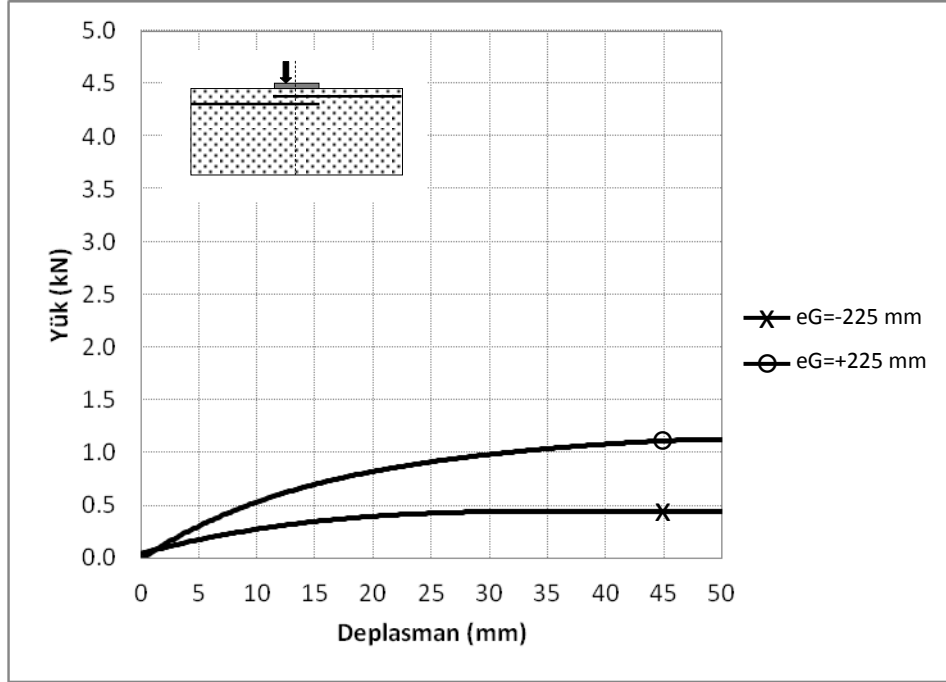
Şekil 3.14. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$)

$e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.15'te sunulmuştur. Deneylerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -175 mm ve +175 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +175 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +175 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 204,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -175 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 173,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G=+175$ mm durumu için yük değeri 1,83 kN ve $e_G=-175$ mm durumunda ise 1,55 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.15. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$)

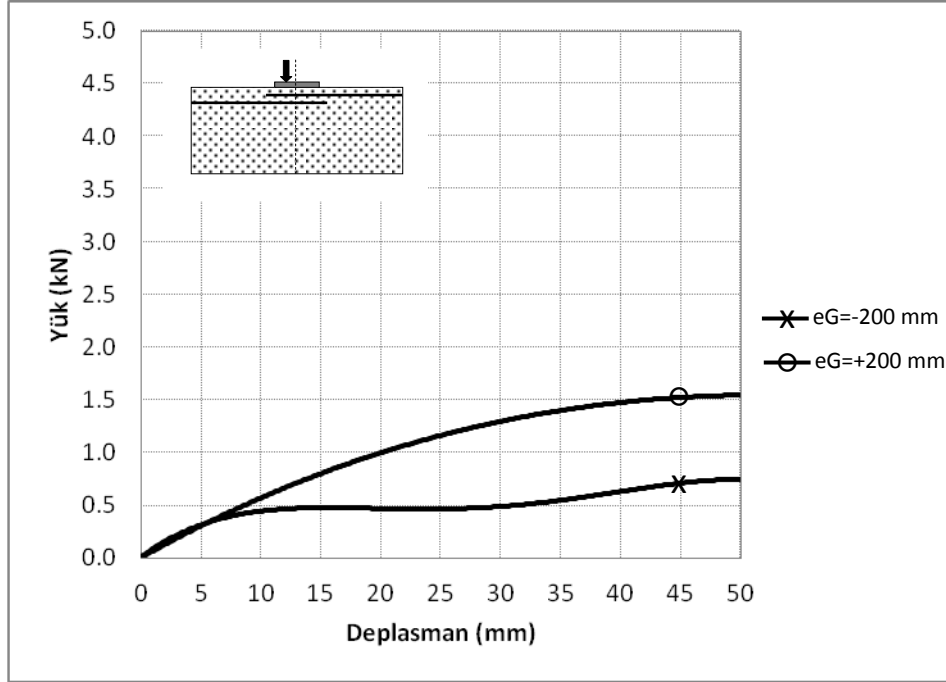
$e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.16'da sunulmuştur. Deneylerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -225 mm ve +225 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +225 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +225 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 140,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -225 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 79,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G=+225$ mm durumu için yük değeri 1,12 kN ve $e_G=-225$ mm durumunda ise 0,63 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.16. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$)

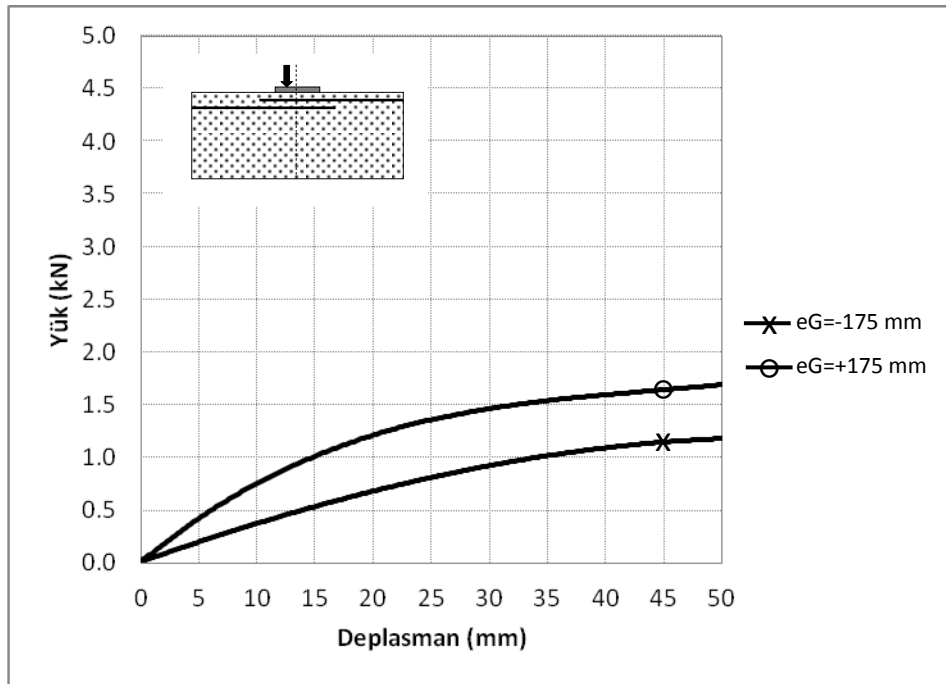
Seri II’de, donatı yerleştirme düzeninin, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla $b=600$ mm ve $b=650$ mm donatı uzunluklarını kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de yer almaktadır.

$e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.17’de sunulmuştur. Deneylerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -200 mm ve $+200$ mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin $+200$ mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. $+200$ mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm’lik oturma için $192,50$ kPa’lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -200 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri $95,00$ kPa’dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G=+200$ mm durumu için yük değeri $1,55$ kN ve $e_G=-200$ mm durumunda ise $0,75$ kN olarak elde edilmiştir.



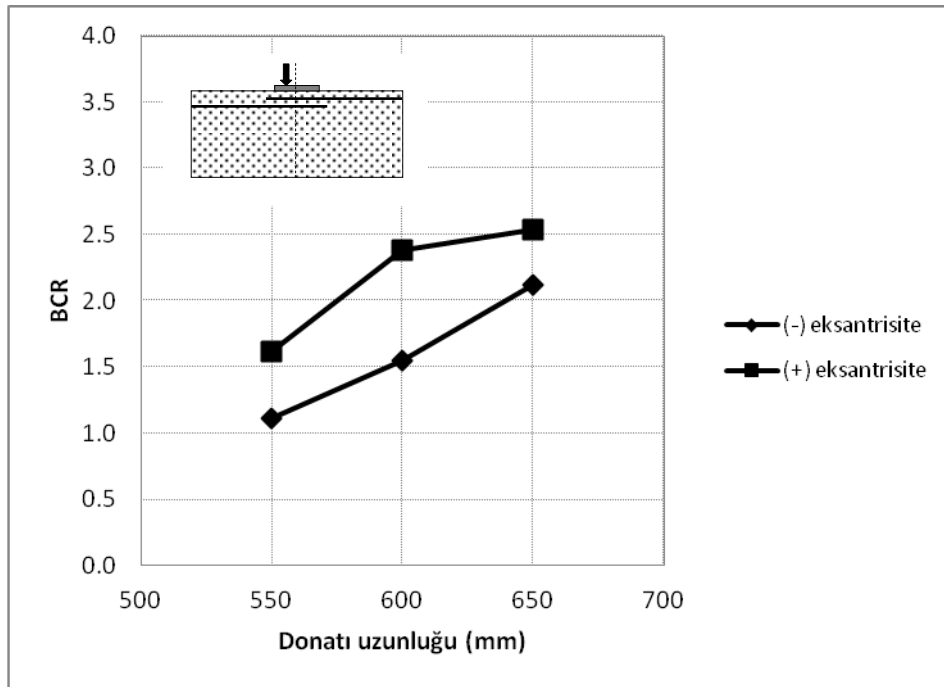
Şekil 3.17. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$)

$e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.18’de sunulmuştur. Deneylerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -175 mm ve +175 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +175 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +175 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm’lik oturma için 216,00 kPa’lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -175 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 144,00 kPa’dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında $e_G = +175$ mm durumu için yük değeri 1,73 kN ve $e_G = -175$ mm durumunda ise 1,15 kN olarak elde edilmiştir.

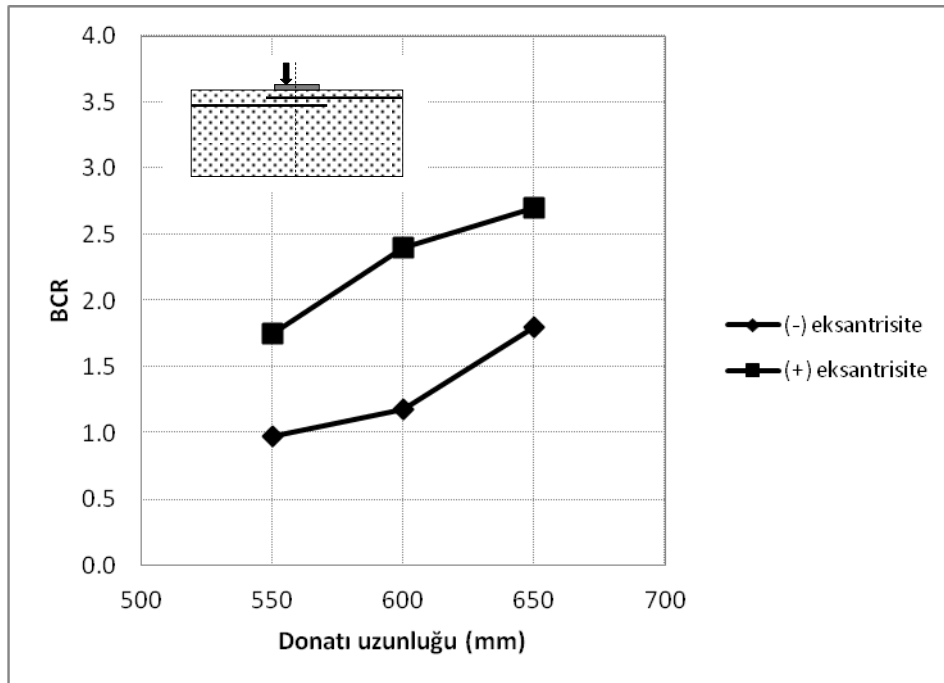


Şekil 3.18. Geogrid yerleştirme düzeninin etkisi ($e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$)

$e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm yük eksantrisiteleri için $b=650$ mm, $b=600$ mm ve $b=550$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı yerleştirme düzeni ile ilişkilendirildiği grafikler, Şekil 3.19 ve 3.20’de yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 3.8’de, donatı yerleştirme düzeni etkisinin araştırıldığı deneylerden elde edilen Q , q_u ve BCR değerleri yer almaktadır.



Şekil 3.19. $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)



Şekil 3.20. $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)

Çizelge 3.8. Donatı yerleştirme düzeninin etkisi (BCR değerleri)

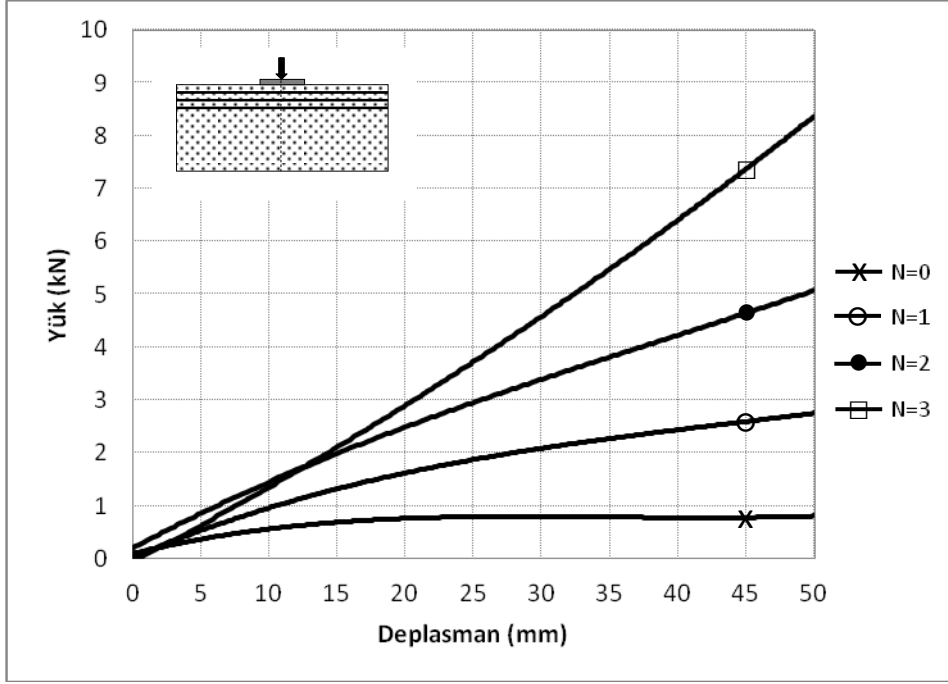
Yüklem Tipi	b (mm)	N	e_G (mm)	Q (kN)	q_u (kPa)	BCR
$e_L=5$ mm	-	-	-	0,65	72,00	0,90
	550	1	-225	0,80	89,00	1,11
			+225	1,17	130,00	1,62
	600	1	-200	1,12	124,00	1,55
			+200	1,72	191,00	2,38
	650	1	-175	1,52	170,00	2,12
			+175	1,83	204,00	2,54
	-	-	-	0,45	56,00	0,70
$e_L=10$ mm	550	1	-225	0,63	79,00	0,98
			+225	1,12	140,00	1,75
	600	1	-200	0,75	95,00	1,18
			+200	1,55	192,50	2,40
	650	1	-175	1,15	144,00	1,80
			+175	1,73	216,00	2,70
	-	-	-	0,45	56,00	0,70
	-	-	-	0,45	56,00	0,70

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatının yük uygulanan tarafta olmasıyla, taşıma gücü oranının arttığı görülmektedir. $e_L=10$ mm’de donatı yerleştirme düzeninin farkı $e_L=5$ mm’ye kıyasla, yükün donatı merkezine yakın olması nedeniyle daha yüksek taşıma gücü artışına sebep olmaktadır. $e_L=5$ mm yük eksantrisitesi durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme farkı %50 civarında elde edilirken, aynı koşullarda yük eksantrisitesi 10 mm olduğu zaman taşıma gücü iyileştirme farkı yaklaşık %100 olarak elde edilmiştir.

3.5.2.2. Donatı sayısının (N) etkisi

Seri II’de, donatı sayısının taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla toplam 40 adet deney yapılmıştır. Deneylerde donatı sayısı (N) sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak alınmış, beklenildiği gibi, sonuçlar donatı sayısının 3 olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. $e_L=0$ ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.21’de sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm’lik oturma için taşıma gücü değeri 841,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman elde edilen taşıma gücü değerleri sırasıyla 512,00 kPa ve 275,00 kPa’dır. Oturma değeri 50 mm

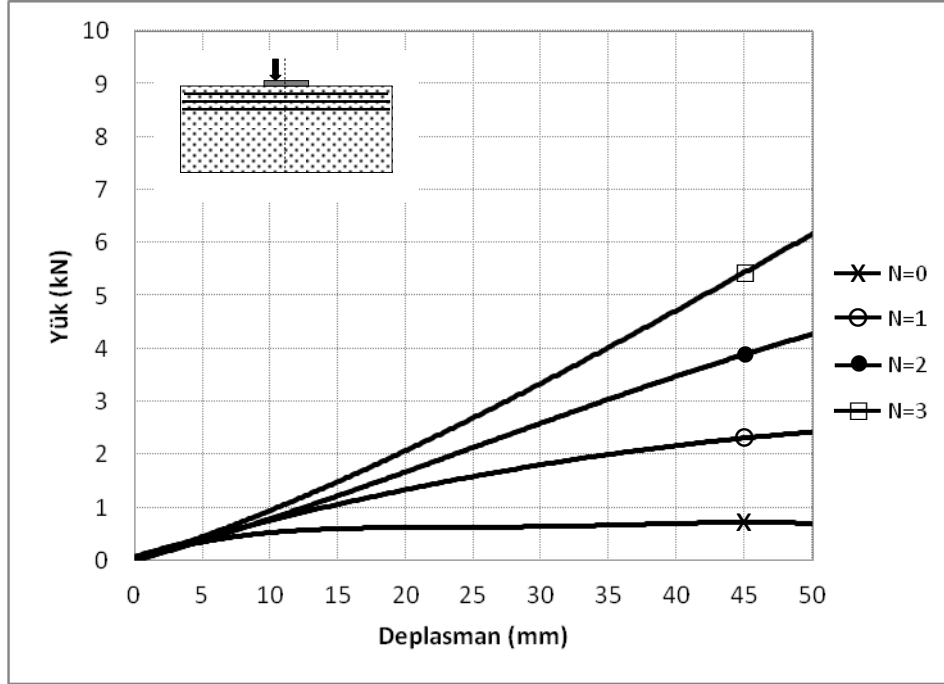
olarak esas alındığında 1000 mm geogrid uzunluğu için N=3 durumunda yük değeri 8,40 kN, N=2 durumunda 5,12 kN ve N=1 durumunda'ise 2,75 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.21. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=0$ ve $b=1000$ mm)

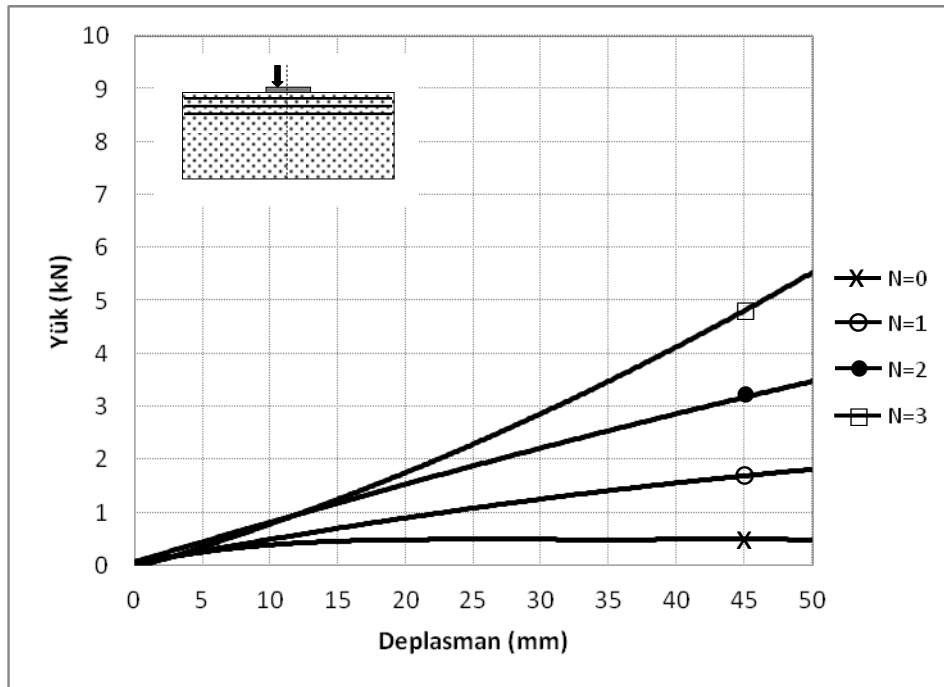
Seri II'de, donatı sayısının, eksantrik yüklü temeller altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla $e_L=5$ mm, $e_L=10$ mm, $e_L=5-5$ mm ve $e_L=10-5$ mm yükleme tiplerini kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te yer almaktadır.

$e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Şekil 3.22'de sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için taşıma gücü değeri 690,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman elde edilen taşıma gücü değerleri sırasıyla 489,00 kPa ve 259,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında 1000 mm geogrid uzunluğu için N=3 durumunda yük değeri 6,20 kN, N=2 durumunda 4,40 kN ve N=1 durumunda'ise 2,33 kN olarak elde edilmiştir.



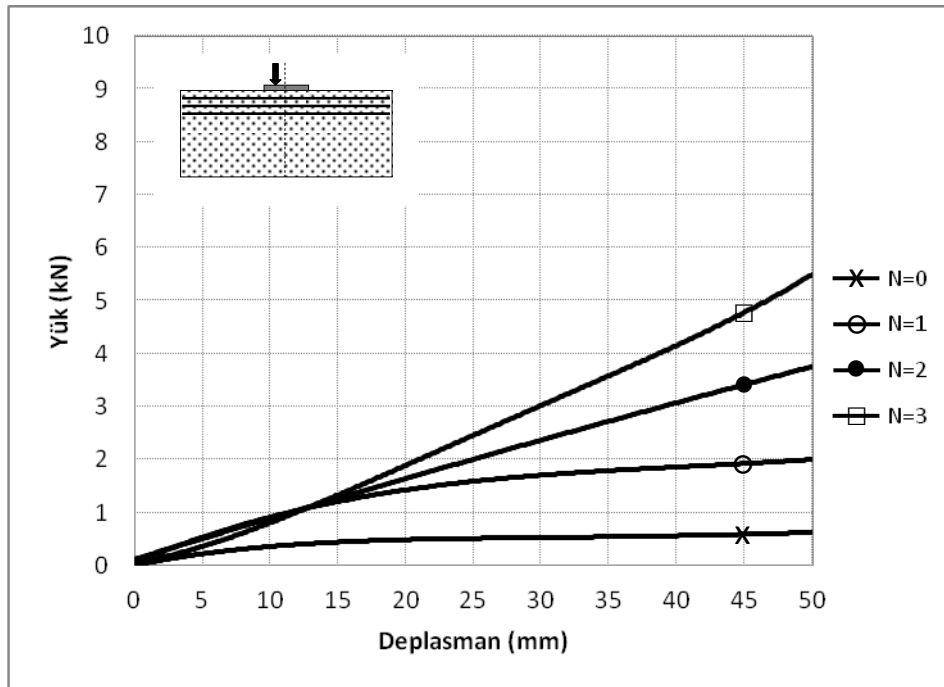
Şekil 3.22. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm)

$e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Şekil 3.23'te sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için taşıma gücü değeri 644,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman elde edilen taşıma gücü değerleri sırasıyla 452,50 kPa ve 225,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında 1000 mm geogrid uzunluğu için $N=3$ durumunda yük değeri 5,15 kN, $N=2$ durumunda 3,62 kN ve $N=1$ durumunda'ise 1,80 kN olarak elde edilmiştir.



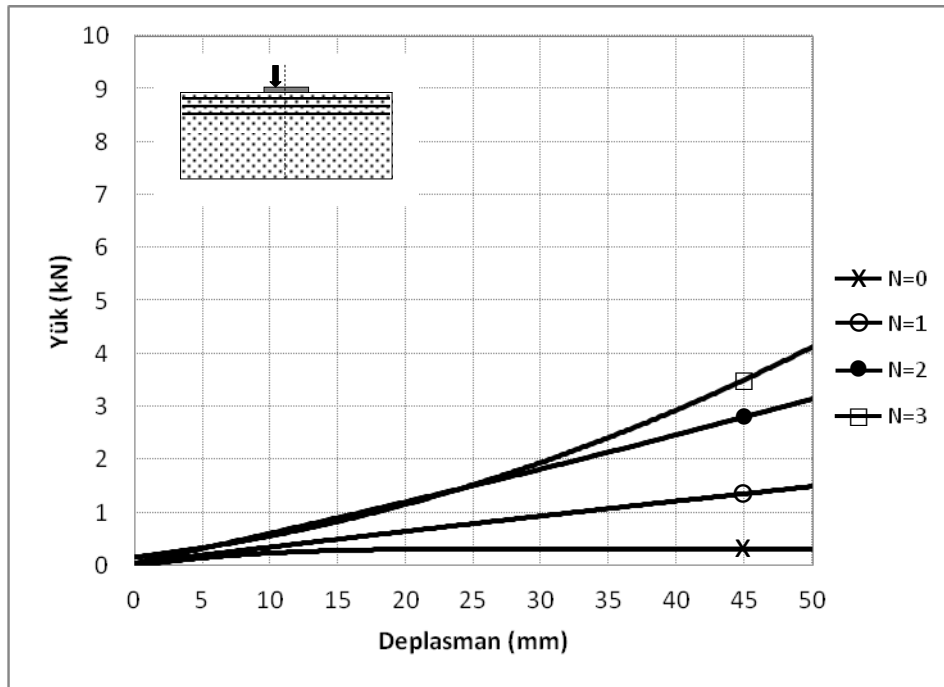
Şekil 3.23. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm)

$e_L=5-5$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Şekil 3.24'te sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için taşıma gücü değeri 676,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman elde edilen taşıma gücü değerleri sırasıyla 466,00 kPa ve 241,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında 1000 mm geogrid uzunluğu için $N=3$ durumunda yük değeri 5,47 kN, $N=2$ durumunda 3,77 kN ve $N=1$ durumunda ise 1,95 kN olarak elde edilmiştir.



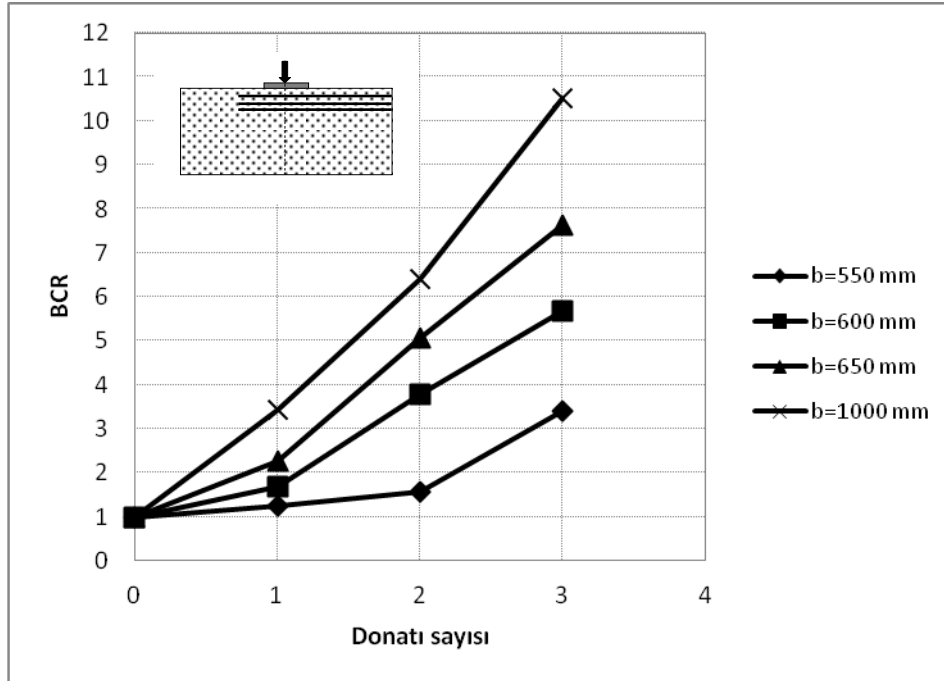
Şekil 3.24. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5-5$ mm ve $b=1000$ mm)

$e_L=10-5$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Şekil 3.25'te sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için taşıma gücü değeri 579,50 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman elde edilen taşıma gücü değerleri sırasıyla 429,00 kPa ve 214,00 kPa'dır. Oturma değeri 50 mm olarak esas alındığında 1000 mm geogrid uzunluğu için $N=3$ durumunda yük değeri 4,17 kN, $N=2$ durumunda 3,10 kN ve $N=1$ durumunda'ise 1,53 kN olarak elde edilmiştir.

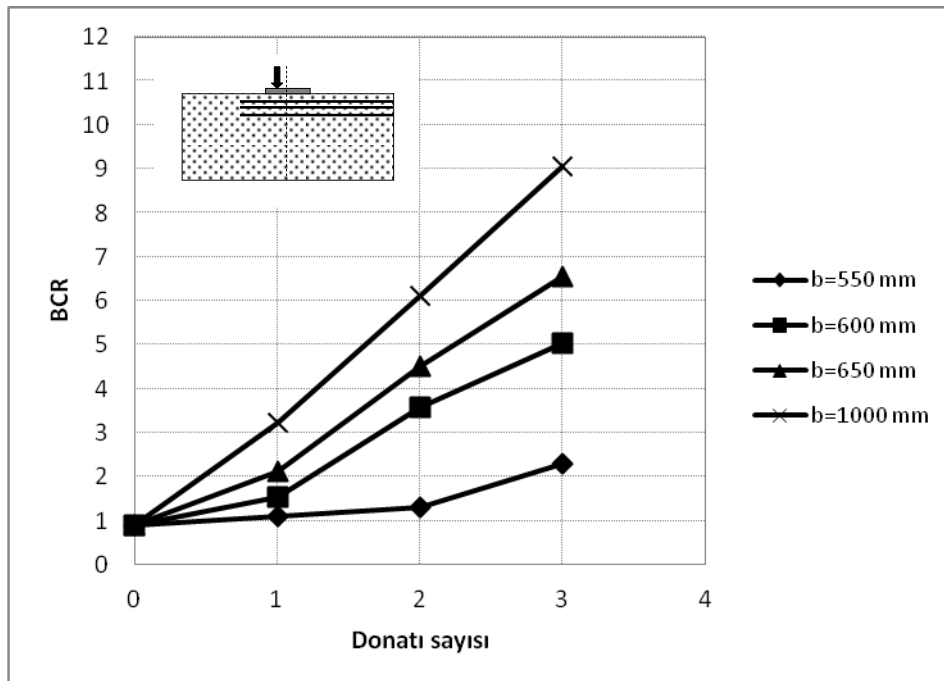


Şekil 3.25. Geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10-5$ mm ve $b=1000$ mm)

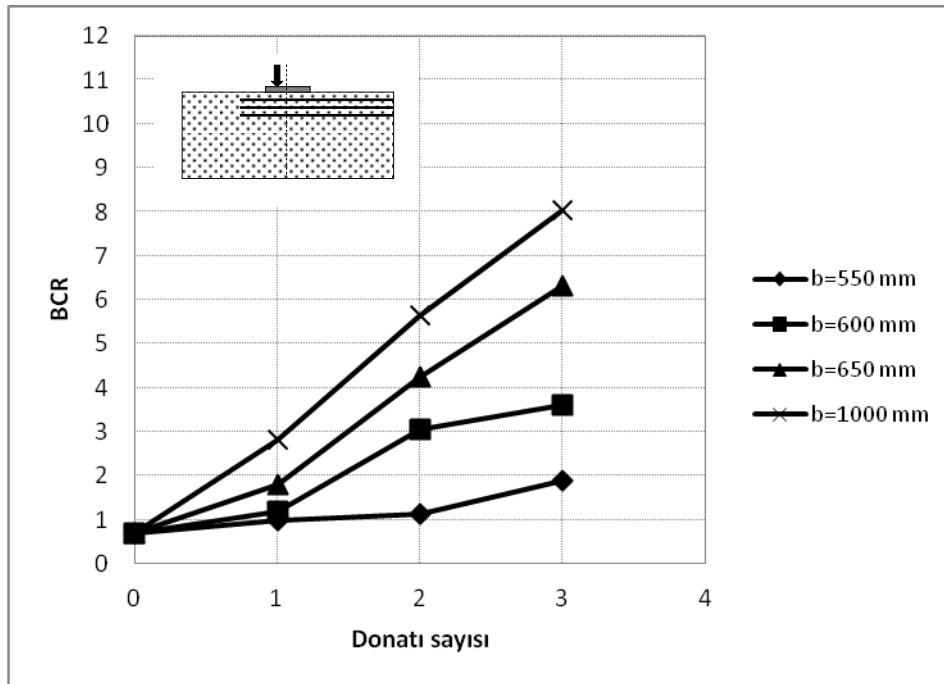
Tüm yük eksantrisiteleri için $b=1000$ mm, $b=650$ mm, $b=600$ mm ve $b=550$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı sayısı ile ilişkilendirildiği grafikler Şekil 3.26-3.27-3.28-3.29 ve 3.30'da yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 3.9'da, donatı sayısı etkisinin araştırıldığı deneylerden elde edilen Q , q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



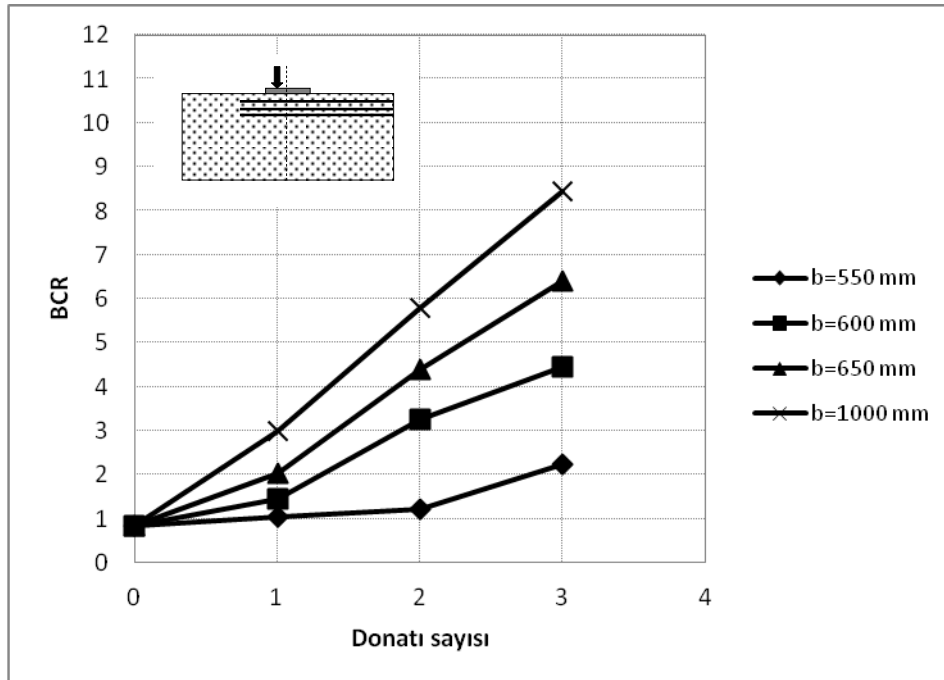
Şekil 3.26. $e_L=0$ yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



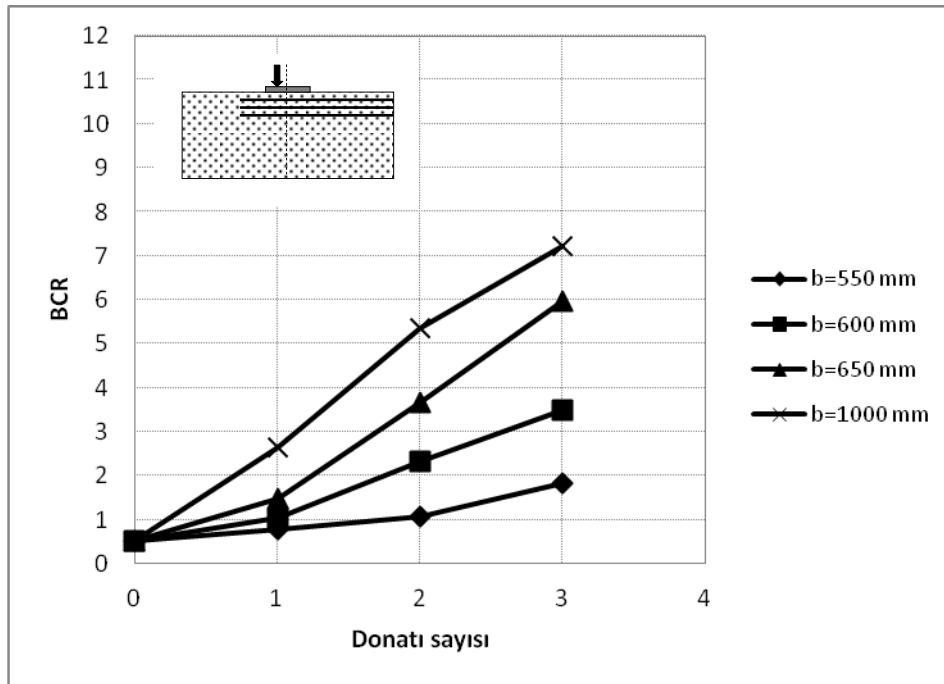
Şekil 3.27. $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 3.28. $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 3.29. $e_L=5-5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 3.30. $e_L=10-5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)

Çizelge 3.9. Donatı sayısının etkisi (BCR değerleri)

Yükleme Tipi	b (mm)	N	e_G (mm)	Q (kN)	q_u (kPa)	BCR
$e_L=0$	-	-	-	0,80	80,00	1,00
	550	1	-	1,00	100,00	1,25
		2	-	1,27	127,00	1,58
		3	-	2,72	272,00	3,40
	600	1	-	1,36	136,00	1,70
		2	-	3,03	303,00	3,78
		3	-	4,54	454,00	5,67
	650	1	-	1,82	182,00	2,27
		2	-	4,05	406,00	5,07
		3	-	6,10	611,00	7,63
	1000	1	-	2,75	275,50	3,43
		2	-	5,12	512,00	6,40
		3	-	8,40	841,00	10,51

Çizelge 3.9. (Devam) Donatı sayısının etkisi (BCR değerleri)

e _L =5 mm	-	-	-	0,65	72,00	0,90
	550	1	-225	0,80	89,00	1,11
			+225	1,17	130,00	1,62
		2	-225	0,95	106,00	1,32
			+225	2,05	227,00	2,83
		3	-225	1,67	186,00	2,31
			+225	3,12	347,00	4,33
	600	1	-200	1,12	124,00	1,55
			+200	1,72	191,00	2,38
		2	-200	2,58	287,00	3,58
			+200	3,00	334,00	4,18
		3	-200	3,65	404,00	5,05
			+200	4,45	494,00	6,18
	650	1	-175	1,52	170,00	2,12
			+175	1,83	204,00	2,54
		2	-175	3,24	360,50	4,50
			+175	3,60	399,00	4,98
		3	-175	4,72	525,00	6,56
			+175	5,03	559,00	7,00
e _L =10 mm	-	-	-	0,45	56,00	0,70
	550	1	-225	0,63	79,00	0,98
			+225	1,12	140,00	1,75
		2	-225	0,72	90,00	1,12
			+225	1,95	244,00	3,04
		3	-225	1,20	151,00	1,89
			+225	2,83	354,00	4,42
	600	1	-200	0,75	95,00	1,18
			+200	1,55	192,50	2,40
		2	-200	1,97	246,00	3,07
			+200	2,70	344,00	4,29
		3	-200	2,32	290,00	3,62
			+200	4,05	506,00	6,32
	650	1	-175	1,15	144,00	1,80
			+175	1,73	216,00	2,70
		2	-175	2,72	340,00	4,25
			+175	3,50	439,00	5,48
		3	-175	4,05	506,00	6,32
			+175	5,00	624,00	7,80

Çizelge 3.9. (Devam) Donatı sayısının etkisi (BCR değerleri)

$e_L=5-5$ mm	-	-	-	0,55	68,00	0,85
	550	1	-	0,68	84,00	1,05
		2	-	0,80	99,00	1,23
		3	-	1,45	179,00	2,23
	600	1	-	0,95	117,00	1,46
		2	-	2,12	262,00	3,27
		3	-	2,90	358,00	4,47
	650	1	-	1,32	163,00	2,04
		2	-	2,84	352,00	4,39
		3	-	4,15	512,50	6,40
	1000	1	-	1,96	241,00	3,01
		2	-	3,77	466,00	5,81
		3	-	5,47	676,00	8,44
$e_L=10-5$ mm	-	-	-	0,30	42,00	0,85
	550	1	-	0,45	62,50	0,78
		2	-	0,62	86,00	1,07
		3	-	1,05	146,00	1,82
	600	1	-	0,60	83,00	1,04
		2	-	1,35	187,50	2,34
		3	-	2,02	281,00	3,50
	650	1	-	0,85	118,00	1,47
		2	-	2,12	294,00	3,68
		3	-	3,45	479,00	5,98
	1000	1	-	1,53	214,00	2,65
		2	-	3,10	429,00	5,36
		3	-	4,17	579,50	7,23

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatı sayısının artması ile taşıma gücü oranının da arttığı görülmektedir. Yük eksantrisitesi 5 mm ve 5-5 mm olduğunda, 550 mm uzunluğunda olan geogrid sadece 2 ve 3 tabaka olarak kullanıldığında taşıma gücü artışın önemli bir mertebede olduğu görülmektedir. 5 mm ve 5-5 mm yük eksantrisiteleri için, $b=550$ mm ve $N=1$ durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme derecesi sırasıyla %11 ve %5 olarak elde edilmiştir. $e_L \geq 10$ mm olduğunda ise, önemli derecede olan taşıma gücü artışı 550 mm uzunluğunda olan geogrid 3 tabaka ve 600 mm uzunluğunda olan geogrid 2 ve 3 tabaka olarak kullanıldığında elde edilmektedir. 10 mm ve 10-5 mm yük

eksantrisite için, $b=550$ mm ve $N=1$ durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme derecesi 0, $N=2$ durumunda ise %12 ve %17 olarak ve $b=600$ mm ile $N=1$ durumunda, sırasıyla %18 ve %4 olarak elde edilmiştir.

Laboratuvar ortamında kum zeminin geogrid donatı katkısıyla güçlendirildiği durumun incelenmesi sonucunda elde edilen değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

Yük eksantrisitesi etkisinin araştırıldığı deneylerde, eksantrisitenin artması ile birlikte taşıma gücünün azaldığı anlaşılmıştır. Ayrıca yük eksantrisitesi ile taşıma gücü arasındaki ilişki, eşitlik şeklinde önerilmiştir. Literatürde, kum zeminler üzerinde yük eksantrisitesi (e_L) etkisinin araştırılmasına yönelik deneyler incelendiğinde, eksantrik yüklü temellerle eksenel yüklü temellerin taşıma kapasitelerinin, azaltma faktörü (R) adlandırılan faktör vasıtasıyla ilişkilendirildiği görülmüştür [Patra ve ark. , 2006].

Patra'nın öne sürdüğü eşitlik:

$$\frac{q_{ue}}{q_u} = 1 - R \quad (3.10)$$

Burada q_{ue} eksantrik yüklü temellerin taşıma kapasitesi, q_u eksenel yüklü temellerin taşıma kapasitesi ve R azaltma faktörüdür.

Donatısız kum zeminler için:

$$R_k = 1,862 \left(\frac{e}{B}\right)^{0,73} \quad (D_f = 0) \quad (3.11)$$

Donatılı kum zeminler için:

$$R_{kr} = 4,97 \left(\frac{d}{B}\right)^{-0,12} \left(\frac{e}{B}\right)^{1,21} \quad (3.12)$$

Burada R_k donatısız kum zeminler için azaltma faktörü, R_{kr} donatılı kum zeminler için azaltma faktörü, e yük eksantrisitesi, d geogrid derinliği ve B temel genişliğidir.

Bu çalışma kapsamında, yük eksantrisitesi etkisini belirlemek amacıyla, Patra'nın öne sürüldüğü eşitlikten (3.10) yola çıkarak:

$$\frac{q_{ue}}{q_u} = 1 - R$$

Donatısız kum zeminlerde:

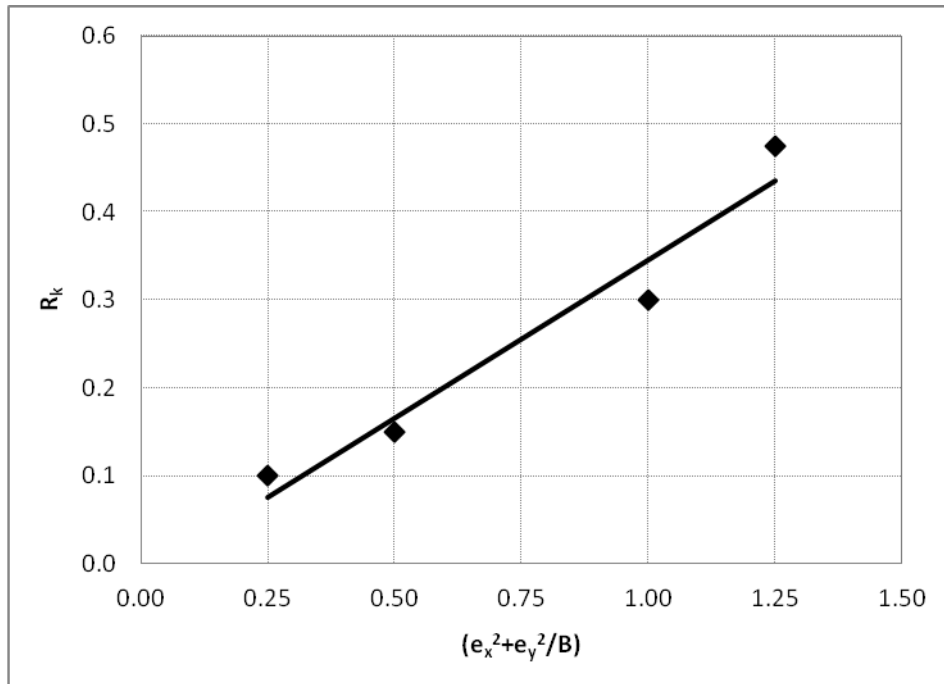
$$R_k = \alpha_1 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{\alpha_2} \quad (D_f = 0) \quad (3.13)$$

Burada e_x x yönündeki yük eksantrisitesi, e_y y yönündeki yük eksantrisitesi, B temel genişliği, α_1 ve α_2 sabit değerlerdir.

α_2 değerini bulmak için:

$$R_k \propto \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{\alpha_2} \quad (3.14)$$

eşitliğini deneylerde gerçekleştirilen tüm yük eksantrisitelerinde kullanarak, aşağıdaki grafik elde edilmiştir:



Şekil 3.31. Donatısız kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri

Grafikten ortalama α_2 değeri yaklaşık 0,539 olarak bulunmaktadır, dolayısıyla:

$$R_k \propto \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,539} \quad (3.15)$$

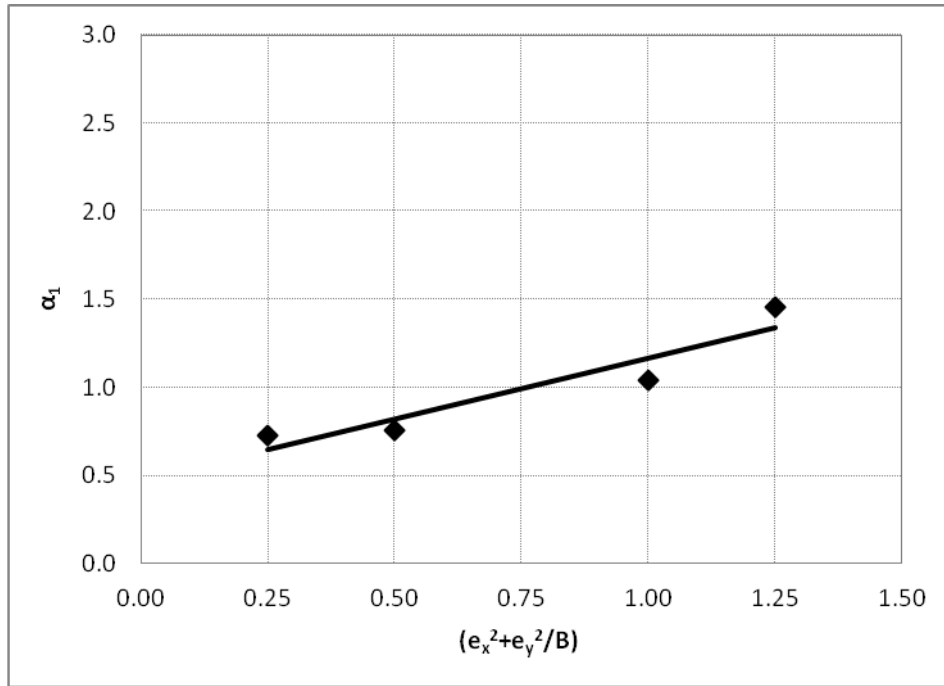
Tekrar 3.11 eşitliğine dönülürse:

$$R_k = \alpha_1 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,539} \quad (3.16)$$

α_1 değerini bulmak için:

$$\alpha_1 = \frac{R_k}{\left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,539}} \quad (3.17)$$

eşitliğini deneylerde gerçekleştirilen tüm yük eksantrisitetlerinde kullanarak, aşağıdaki grafik elde edilmiştir:



Şekil 3.32. Donatısız kum zemin ortamında yük eksantrisitetlerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri

Grafikten ortalama α_1 değeri yaklaşık 0,944 olarak bulunmaktadır, dolayısıyla:

$$R_k = 0,944 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,539} \quad (D_f = 0) \quad (3.18)$$

Bu eşitlik vasıtasıyla elde edilen değerlerin, deneyler ve Patra tarafından öne sürülen eşitlik vasıtasıyla elde edilen değerler ile karşılaştırılması Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10. Donatısız kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi

Yükleme Tipi	q_u (kPa)		
	Deney	Eşitlik	Eşitlik (Patra)
$e_L=0$	80,00		
$e_L=5$ mm	72,00	70,00	70,00
$e_L=10$ mm	56,00	57,00	53,00
$e_L=5-5$ mm	68,00	65,00	-
$e_L=10-5$ mm	42,00	54,00	-

Elde edilen taşıma gücü değerlerine dikkat edildiğinde, deney ve eşitlik vasıtasıyla bulunan değerlerin arasında yaklaşık %7 ortalama hata görülmektedir.

Donatılı kum zeminlerde:

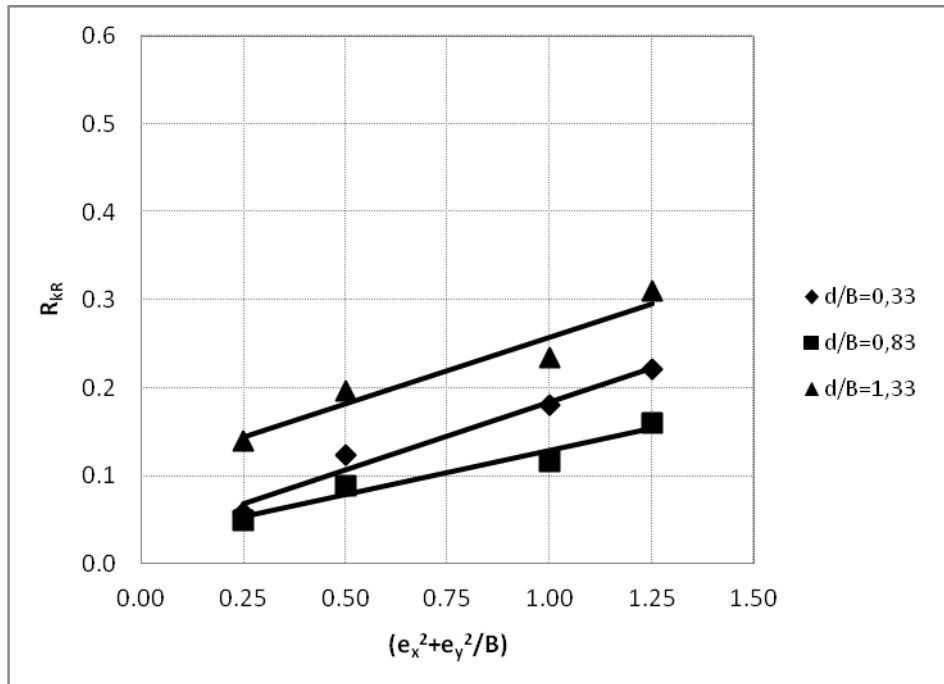
$$R_{kR} = \alpha_1 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{d}{B} \right)^{\alpha_3} \quad (D_f = 0) \quad (3.19)$$

Burada e_x x yönündeki yük eksantrisitesi, e_y y yönündeki yük eksantrisitesi, d geogrid derinliği, B temel genişliği, α_1 , α_2 ve α_3 sabit değerlerdir.

α_2 değerini bulmak için:

$$R_{kR} \propto \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{\alpha_2} \quad (3.20)$$

eşitliğini deneylerde gerçekleştirilen tüm yük eksantrisitelerinde kullanarak, aşağıdaki grafik elde edilmiştir:



Şekil 3.33. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelerinde karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri

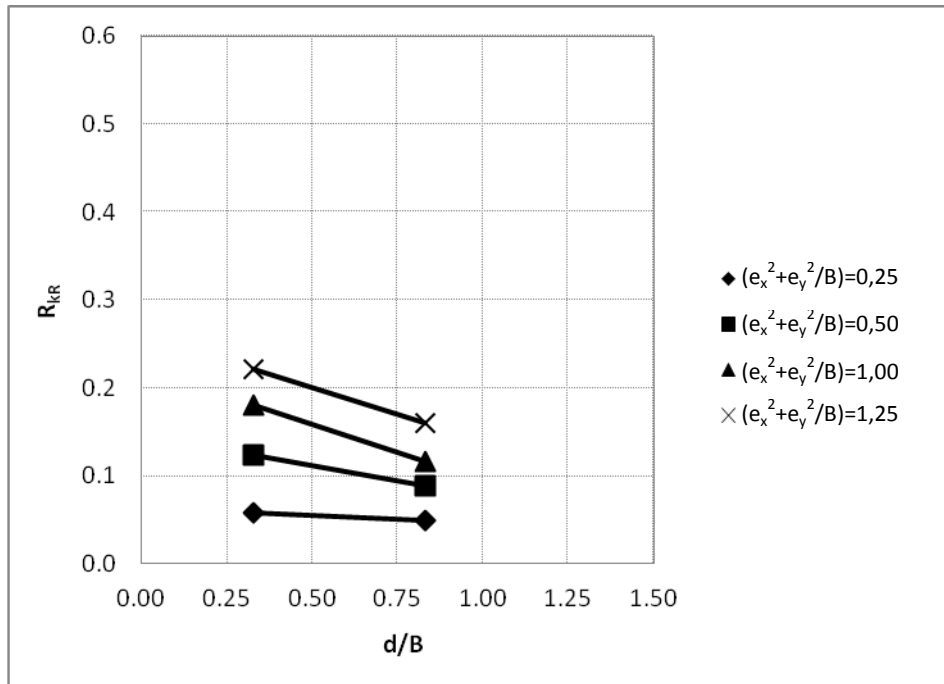
Grafikten ortalama α_2 değeri yaklaşık 0,718 olarak bulunmaktadır, dolayısıyla:

$$R_{kR} \propto \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,718} \quad (3.21)$$

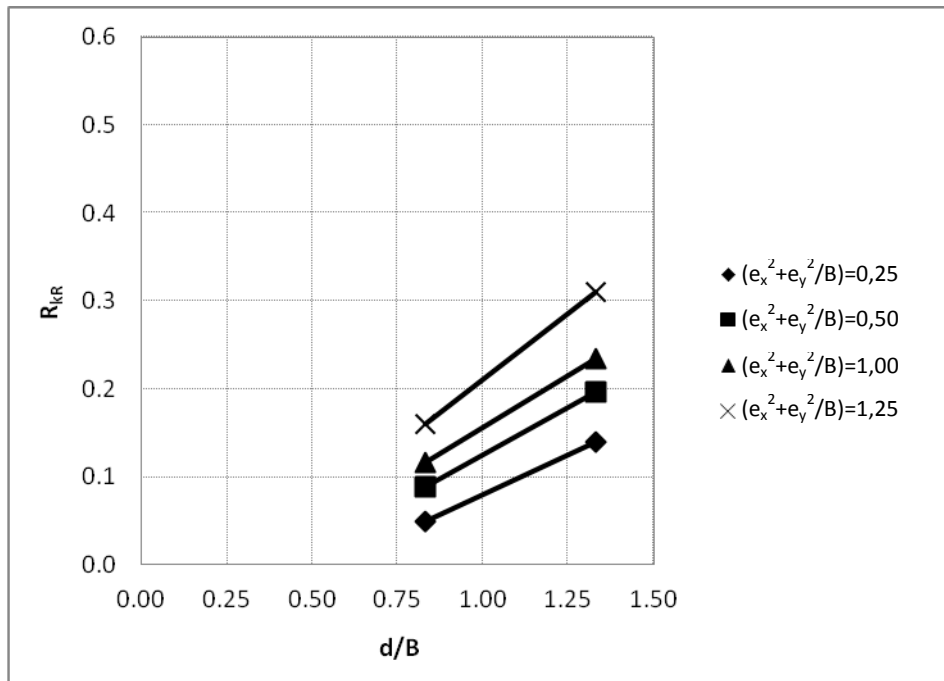
α_3 değerini bulmak için:

$$R_{kR} \propto \left(\frac{d}{B} \right)^{\alpha_3} \quad (3.22)$$

eşitliğini deneylerde gerçekleştirilen tüm donatı derinliklerine kullanarak, aşağıdaki grafikler elde edilmiştir:



Şekil 3.34. Donatılı kum zemin ortamında donatı derinliklerine karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri ($N < 3$)



Şekil 3.35. Donatılı kum zemin ortamında donatı derinliklerine karşılık gelen azaltma faktörü (R_k) değerleri ($N = 3$)

Grafiklerden ortalama α_3 değeri (Ortak eğrinin eğimi) $N < 3$ için yaklaşık -0,084 ve $N = 3$ için yaklaşık 0,232 olarak bulunmaktadır, dolayısıyla:

$$R_{kR} \propto \left(\frac{d}{B}\right)^{-0,084} \quad (d/B < 1) \quad (3.23)$$

$$R_{kR} \propto \left(\frac{d}{B}\right)^{0,232} \quad (d/B > 1) \quad (3.24)$$

Tekrar 3.17 eşitliğine dönülürse:

$$R_{kR} = \alpha_1 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B}\right)^{0,718} \left(\frac{d}{B}\right)^{-0,084} \quad (d/B < 1) \quad (3.25)$$

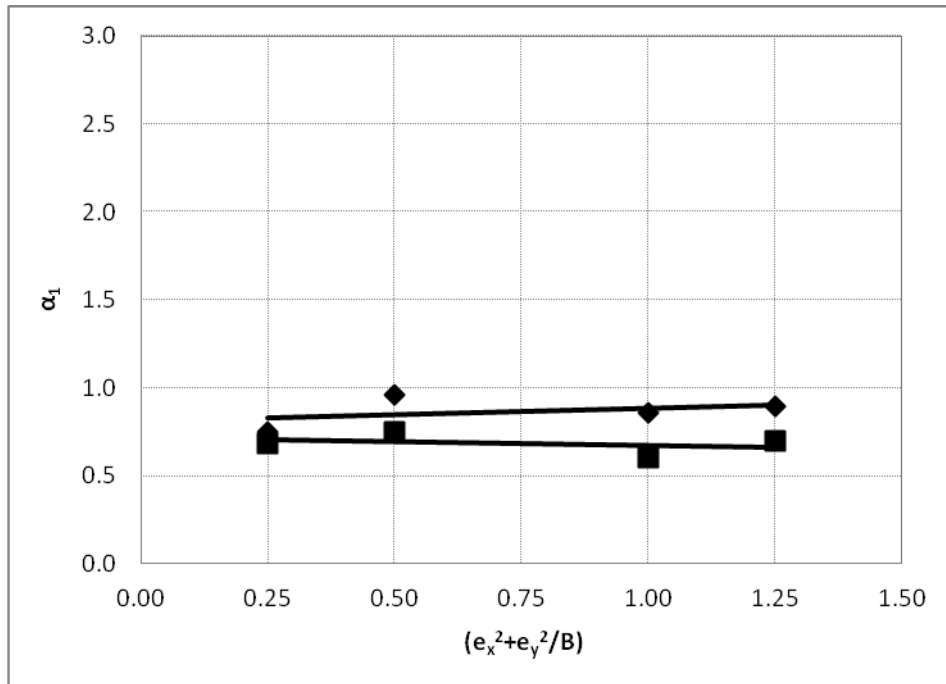
$$R_{kR} = \alpha_1 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B}\right)^{0,718} \left(\frac{d}{B}\right)^{0,232} \quad (d/B > 1) \quad (3.26)$$

α_1 değerini bulmak için:

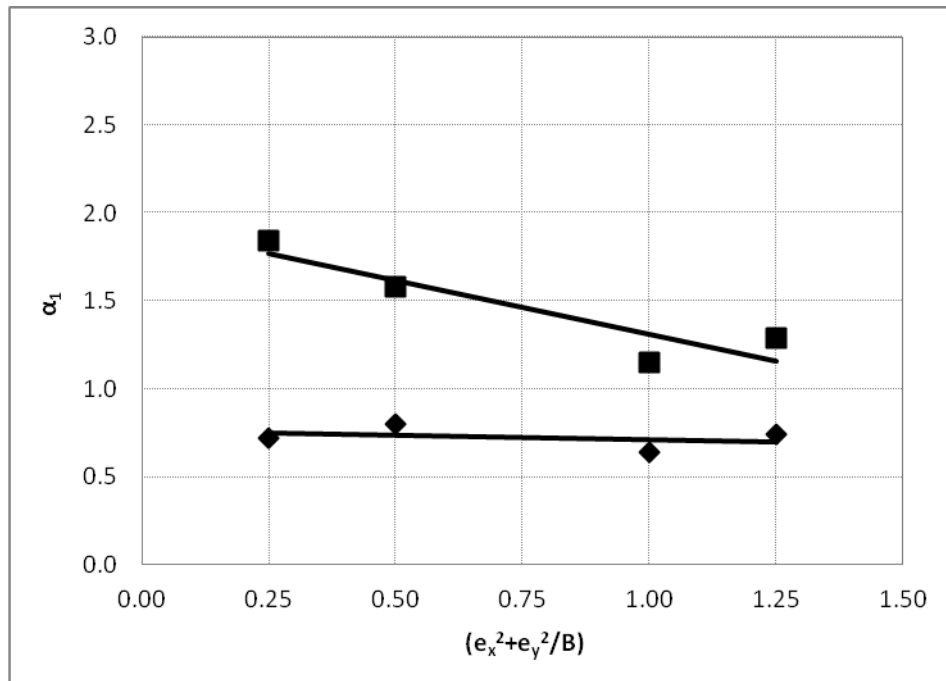
$$\alpha_1 = \frac{R_{kR}}{\left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B}\right)^{0,718} \left(\frac{d}{B}\right)^{-0,084}} \quad (d/B < 1) \quad (3.27)$$

$$\alpha_1 = \frac{R_{kR}}{\left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B}\right)^{0,718} \left(\frac{d}{B}\right)^{0,232}} \quad (d/B > 1) \quad (3.28)$$

eşitliklerini deneylerde gerçekleştirilen tüm yük eksantrisitelerinde kullanarak, aşağıdaki grafikler elde edilmiştir:



Şekil 3.36. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelelerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri ($N < 3$)



Şekil 3.37. Donatılı kum zemin ortamında yük eksantrisitelelerinde karşılık gelen sabit α_1 değerleri ($N = 3$)

Grafiklerden ortalama α_1 değeri $N < 3$ için yaklaşık 0,775 ve $N=3$ için yaklaşık 1,095 olarak bulunmaktadır, dolayısıyla:

$$R_{kR} = 0,775 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,718} \left(\frac{d}{B} \right)^{-0,084} \quad (d/B < 1) (D_f = 0) \quad (3.29)$$

$$R_{kR} = 1,095 \left(\frac{e_x^2 + e_y^2}{B} \right)^{0,718} \left(\frac{d}{B} \right)^{0,232} \quad (d/B > 1) (D_f = 0) \quad (3.30)$$

Bu eşitlikler vasıtasıyla elde edilen değerlerin, deneyler ve Patra tarafından öne sürülen eşitlik vasıtasıyla elde edilen değerler ile karşılaştırılması Çizelge 3.11 ve 3.12’de sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Donatılı kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi ($N < 3$)

Yüklemeye Tipi	q_u (kPa)		
	Deney	Eşitlik	Eşitlik (Patra)
N=1			
$e_L=0$	275,00		
$e_L=5$ mm	259,00	258,50	257,50
$e_L=10$ mm	225,00	230,00	180,00
$e_L=5-5$ mm	241,00	247,00	-
$e_L=10-5$ mm	214,00	222,00	-
N=2			
$e_L=0$	512,00		
$e_L=5$ mm	489,00	483,50	482,00
$e_L=10$ mm	452,00	435,00	351,50
$e_L=5-5$ mm	466,00	465,00	-
$e_L=10-5$ mm	429,00	421,50	-

Elde edilen taşıma gücü değerlerine dikkat edildiğinde, deney ve eşitlik vasıtasıyla bulunan değerlerin arasında yaklaşık %2 ortalama hata görülmektedir.

Çizelge 3.12. Donatılı kum zeminde yük eksantrisitesinin etkisi (N=3)

Yükleme Tipi	q_u (kPa)		
	Deney	Eşitlik	Eşitlik (Patra)
$e_L=0$	841,00		
$e_L=5$ mm	724,00	771,00	794,50
$e_L=10$ mm	643,00	652,00	592,00
$e_L=5-5$ mm	676,50	726,50	-
$e_L=10-5$ mm	579,50	619,00	-

Elde edilen taşıma gücü değerlerine dikkat edildiğinde, deney ve eşitlik vasıtasıyla bulunan değerlerin arasında yaklaşık %6 ortalama hata görülmektedir.

4. ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZLER

4.1. Giriş

Bu bölümde, sayısal analizlere ait bilgiler sunulmuştur. İlk olarak, donatılı zeminin modellenmesi ve bu amaçla kullanılan bilgisayar programı hakkında genel bilgiler, ardından konu ile ilgili yapılan üç boyutlu sayısal analizler yer almaktadır.

Üç boyutlu sayısal çalışmalar, iki seri olarak planlanmıştır:

Seri I: Laboratuvar deneylerin üç boyutlu sayısal analizleri ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Seri II: Laboratuvar deney parametrelerin sayısal olarak daha geniş bir şekilde araştırılması

4.2. Zemin-Donatı Sisteminin Modellenmesi

Sonlu elemanlar, donatı katkılı zemin problemlerinin sayısal analizinde önemli bir yöntemdir. Donatı katkılı zeminlerin davranışı, zemin ve donatı özelliklerinden ziyade, zemin ve donatı arasındaki etkileşime bağlıdır. Bu etkileşimi sonlu elemanlar analizinde modellemek için iki esas yöntem bulunmaktadır.

Birinci yöntemde (Ayrık Yöntem), analizler zemin ve donatının ayrı iki bileşen olarak ele alınmasıyla yapılır. Yani donatı ile zeminin birbirinden ayrı iki malzeme gibi davranıldığı kabul edilir.

İkinci yöntemde (Kompozit Yöntem) ise, analizlerde donatı ve onu çevreleyen zeminin homojen ve kompozit bir malzeme gibi davranıldığını kabul edilir.

4.3. Kullanılan Zemin Modeli

Laboratuvar deneylerin drenajlı zemin ortamında yapılması dikkate alınarak, Pekleşen zemin (Hardening Soil) modeli kullanılmıştır.

Pekleşen zemin modeli genelde hiperbolik modeli ile kıysalanmaktadır. Hiperbolik modeli, zeminin doğrusal olmayan davranışlarını modellemek için kullanılan bir modeldir. Bu modelin mantığı üç eksenli basınç deneyinde düşey deformasyon-deviatorik gerilme arasındaki hiperbolik ilişkiye dayalıdır.

Modelin bazı temel karakteristik özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Güç yasasına göre gerilme bağımlı rijitlik (Giriş parametresi m),
- Deviatorik yükleme esnasında oluşan plastik deformasyonlar (Giriş parametresi E_{50}^{ref}),
- Sıkışma nedeniyle oluşan plastik deformasyonlar (Giriş parametresi E_{oed}^{ref}),
- Elastik boşaltma-yükleme (Giriş parametresi E_{ur}^{ref} ve v_{ur}),
- Mohr-Coulomb modeline göre göçme (Giriş parametresi c , ϕ ve ψ).

Drenajlı zemin davranışının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan Pekleşen zemin modeli, sekant modülü E_{50}^{ref} , ödometre modülü E_{oed}^{ref} , güç yasası m , kohezyon c , içsel sürtünme açısı ϕ ve dilatasyon açısı ψ olmak üzere altı ayrı parametreyi içermektedir. Ayrıca boşaltma yükleme modülü E_{ur}^{ref} , boşaltma yükleme poisson oranı v_{ur} , referans gerilmesi p^{ref} , normal konsolidasyon için K_0 değeri K_0^{nc} , kohezyon artışı $c_{increment}$ ve azaltma oranı R_f gibi ileri düzey parametreler de modelde kullanılmaktadır. Çizelge 4.1’de, modelleme esnasında sabit olarak kullanılan parametre değerleri yer almaktadır. Bu parametrelerden, aynı değerde kabul edilen sekant modülü ile ödometre modülü ve K_0 gibi parametreler deneylerde kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı vasıtasıyla, diğer parametreler ise Pekleşen zemin

modelinde tanımlanmış parametre veya bulunan elastisite modülüne bağlı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Pekleşen zemin model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Sekant modülü	E_{50}^{ref}	kN/m ²	10 000
Ödometre modülü	E_{oed}^{ref}	kN/m ²	10 000
Güç yasası	m	-	0,50
Boşaltma yükleme modülü	E_{ur}^{ref}	kN/m ²	30 000
Boşaltma yükleme poisson oranı	ν_{ur}	m	0,20
Referans gerilme	p^{ref}	kN/m ²	100
Normal konsolidasyon için k_0	k_0^{nc}	-	0,42
Azaltma oranı	R_f	-	0,90

4.4. 3D PLAXIS Bilgisayar Programı

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların, sayısal analizi için Plaxis 3D Tunnel V1.2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Plaxis bilgisayar programı (Finite Element For Soil And Rock Analysis), sonlu elemanlar esasına dayalı bir yazılımdır. Bu program, zemin mekaniği uygulamalarında genel olarak deformasyon ve stabilite problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Program vasıtasıyla, zeminin başlangıç şartları, karmaşık sınır şartları, elasto plastik davranışı, drenajlı ve drenajsız davranışı gibi önemli parametreler düzenli bir şekilde tanımlanmaktadır. Modelleme esnasında zemin ve geogrid malzemelerini tanımlamak için kullanılan parametreler çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Zemin ve geogrid analiz parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Zemin			
Kohezyon	c	kN/m ²	0,01
İçsel sürtünme açısı	ϕ	(°)	35
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	5
Geogrid			
Eksenel rijitlik	EA	kN/m	2000

4.5. Seri I: Laboratuvar Deneylerin Üç Boyutlu Sayısal Analizleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

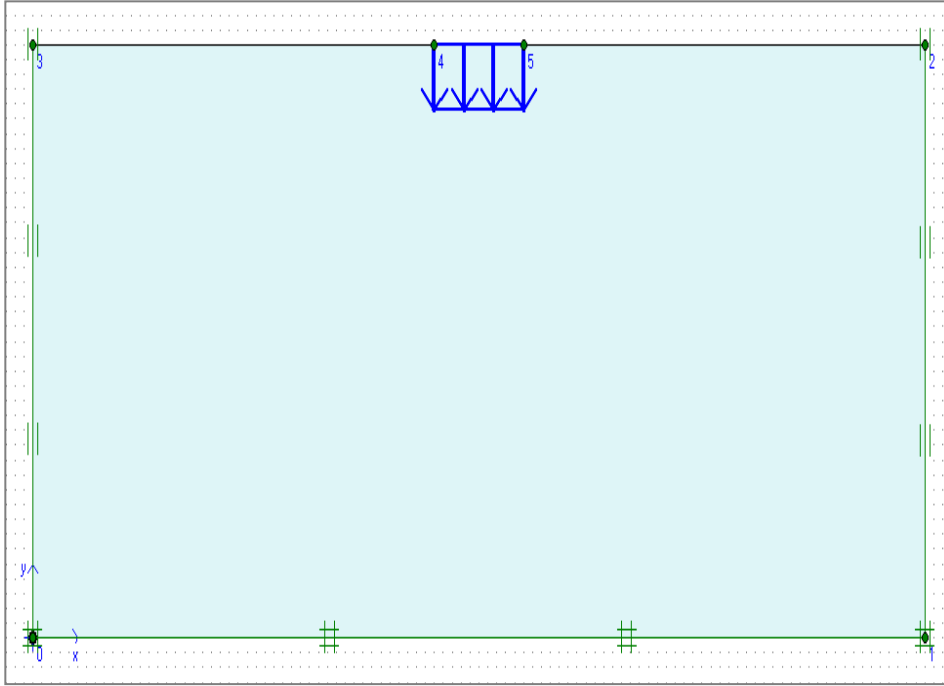
Bu bölümde, 0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri kullanılarak toplam 57 adet üç boyutlu sayısal analiz yapılmış ve laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Üç boyutlu sayısal analizler, laboratuvar deneyleri doğrultusunda iki seride yapılmıştır. Birinci seride donatısız kum zemin durumu ve ikinci seride geogrid donatı katkılı zemin durumu sayısal olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmalarda olduğu gibi bu iki seriden elde edilen deney sonuçlarına dayanarak donatının taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

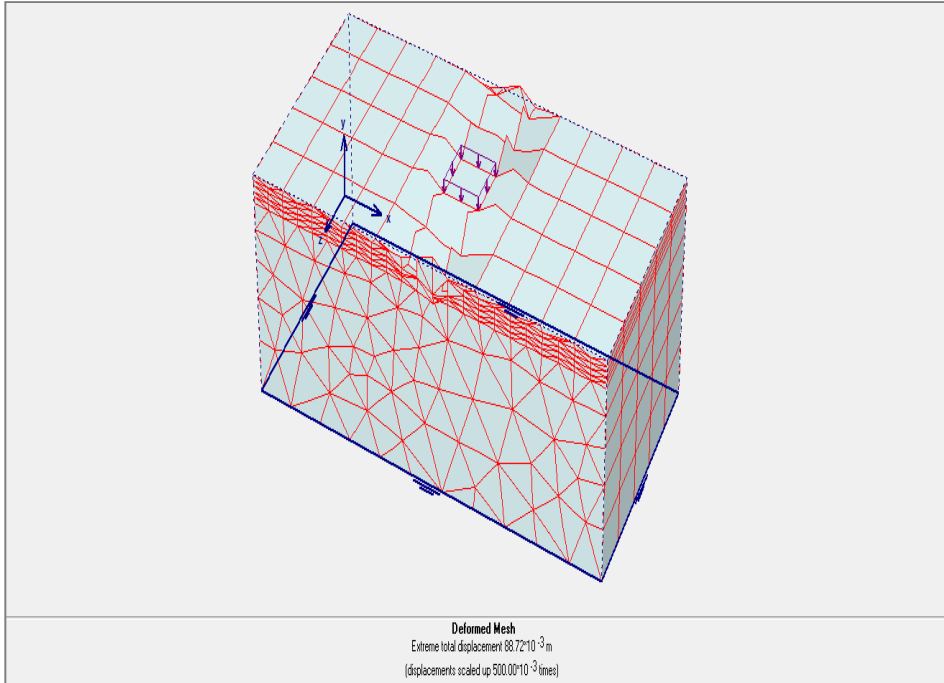
4.5.1. Donatısız kum zeminde yapılan deneyler

Sayısal analiz ortamında, 0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisitelerinin (e_L) değişken parametre olarak ele alınmasıyla toplam 3 adet analiz yapılmış, bu parametrenin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Örnek analiz görüntüleri Şekil 4.1 ve elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 4.2’de yer almaktadır.

Bu analizlerin yük-deplasman eğrilerine dayanarak, 10, 30 ve 50 mm oturmalara karşılık gelen yük değerlerini temel alanına oranlayarak gerilme değerleri bulunmaktadır (Çizelge 4.3).

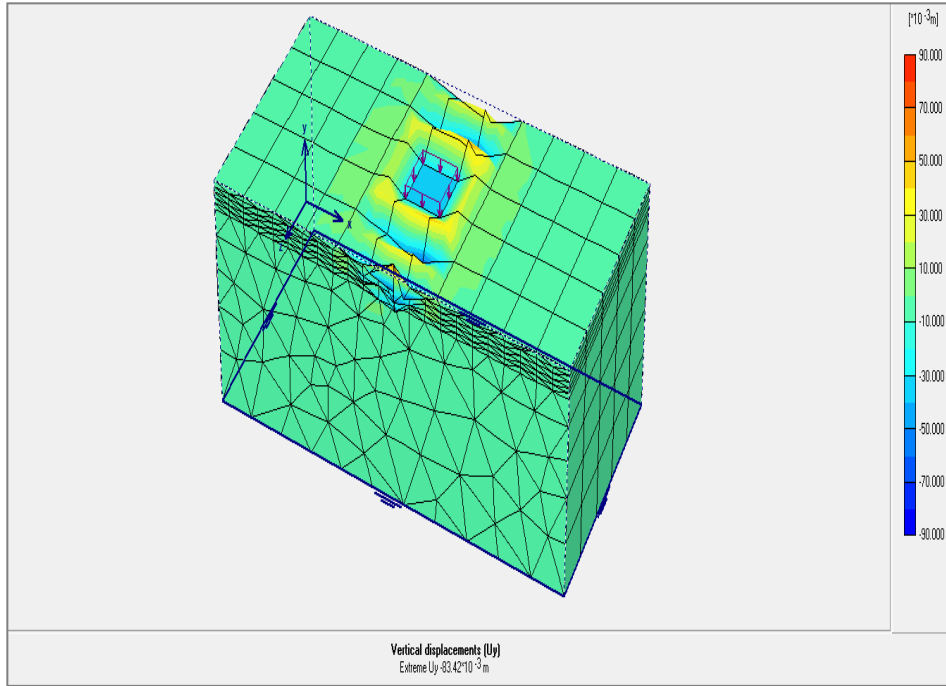


a. Genel görünüm

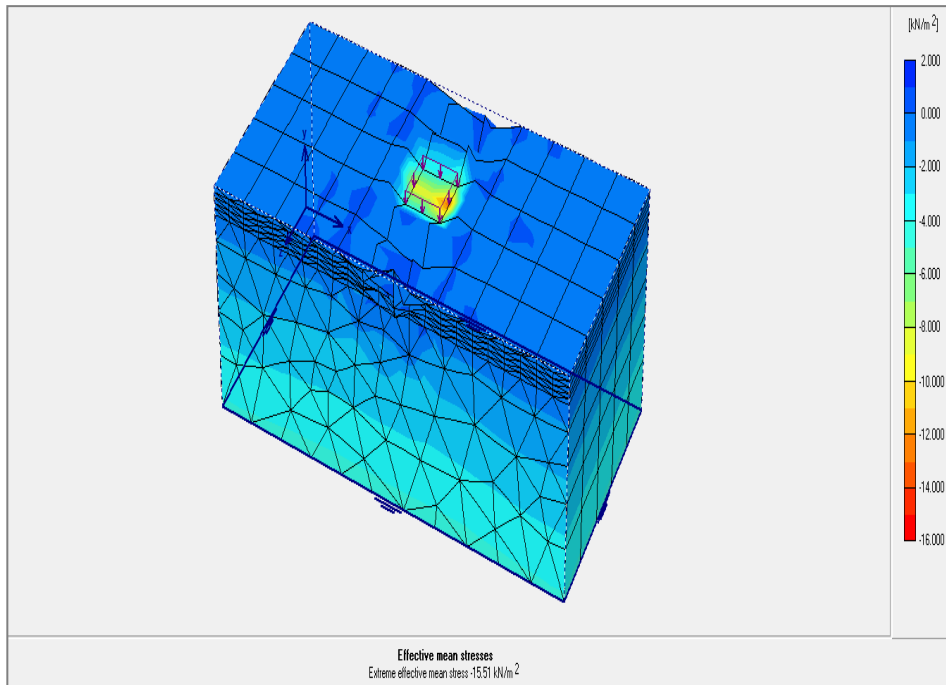


b. Sonlu elemanlar ağı

Şekil 4.1. Üç boyutlu donatısız kum zemin analizi ($e_L=0$)

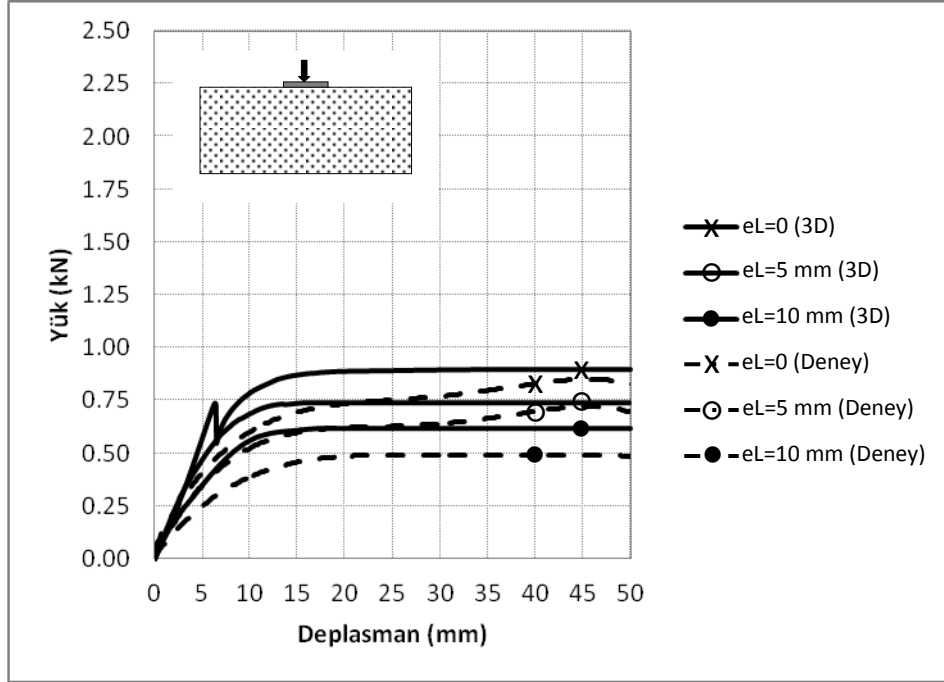


c. Düşey deplasman dağılımı



d. Efektif gerilme dağılımı

Şekil 4.1. (Devam) Üç boyutlu donatısız kum zemin analizi ($e_L=0$)



Şekil 4.2. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında yük eksantrisitesinin (e_L) etkisi

Çizelge 4.3. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 10, 30 ve 50 mm oturmalara karşılık gelen taşıma gücü değerleri

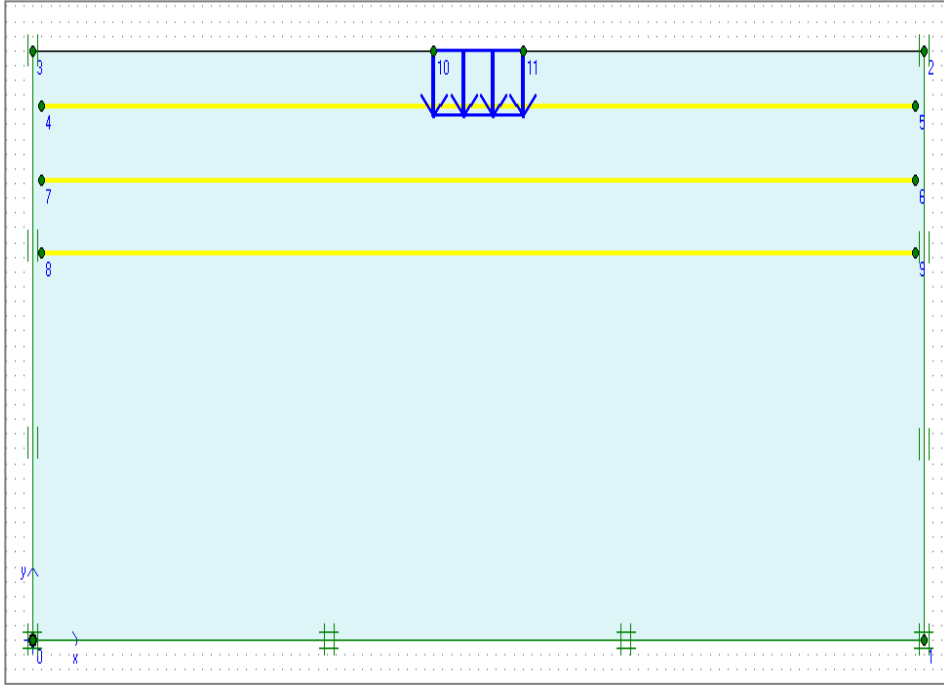
Yükleme Tipi	q_u (kPa) (s/B=%10)		q_u (kPa) (s/B=%30)		q_u (kPa) (s/B=%50)	
	Deney	Analiz (3D)	Deney	Analiz (3D)	Deney	Analiz (3D)
$e_L=0$	65,00	80,00	75,00	85,00	80,00	90,00
$e_L=5$ mm	56,00	74,00	67,00	79,00	72,00	83,00
$e_L=10$ mm	37,50	71,00	56,00	77,00	56,00	77,00

%50 oturma oranına karşılık gelen taşıma gücü değerlerine dikkat edildiğinde, hem deneysel ve hem sayısal ortamında, yük eksantrisitesinin artması ile birlikte, taşıma gücü değerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Her iki yöntem vasıtasıyla elde edilen değerler oldukça birbiri ile uygunluk göstermektedir. $e_L=0$ ortamında elde edilen değerlerin tutarlılığı %90, $e_L=5$ mm için %85 ve $e_L=10$ mm'de ise yaklaşık %70 olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi, yük eksantrisitesinin artması ile birlikte, iki

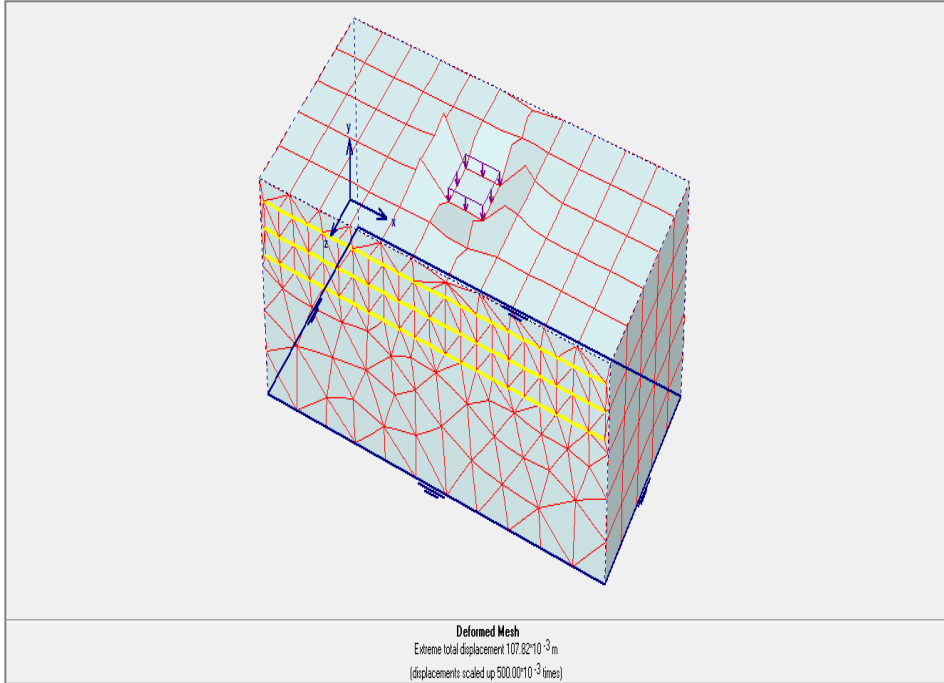
yöntem arasındaki tutarlılık yüzdesi azalmaktadır. Bu farkın sebebi, laboratuvar ortamında yük eksantrisitesi sağlama aşamasında, insani hatalardan dolayı ortaya çıkan kısmen düşük deneysel değerlerin olabilmesi düşünülmektedir.

4.5.2. Geogrid donatı katkısıyla yapılan deneyler

Sayısal analizlerde, iyileştirme amacıyla araştırılan donatı parametreleri (Geogrid uzunluğu, Geogrid sayısı ve Geogrid yerleştirme düzeni) kullanılarak toplam 54 adet analiz yapılmıştır. Örnek analiz görüntüleri Şekil 4.3'te yer almaktadır.

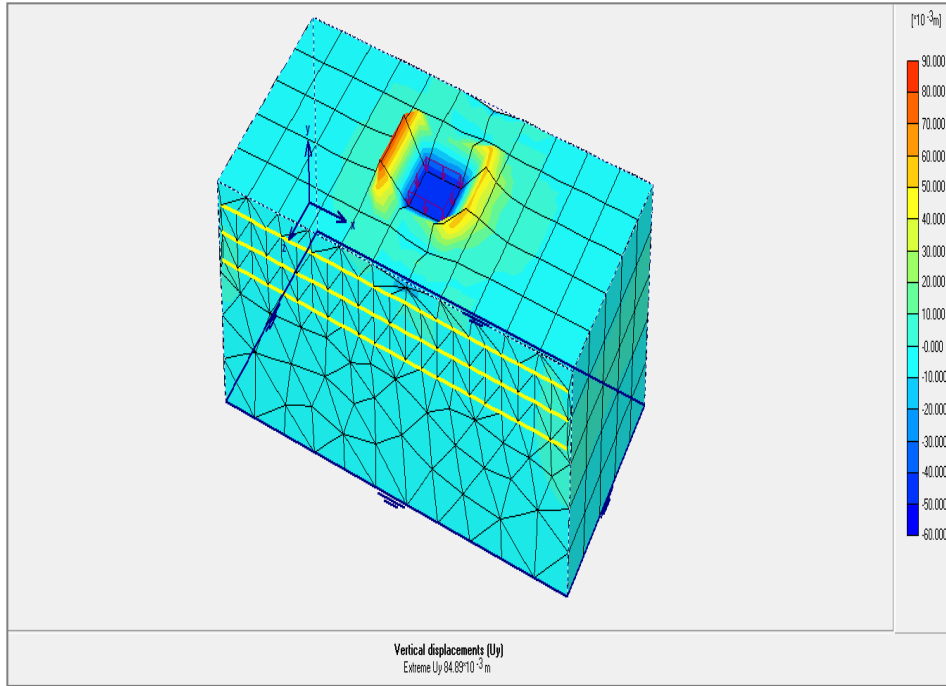


a. Genel görünüm

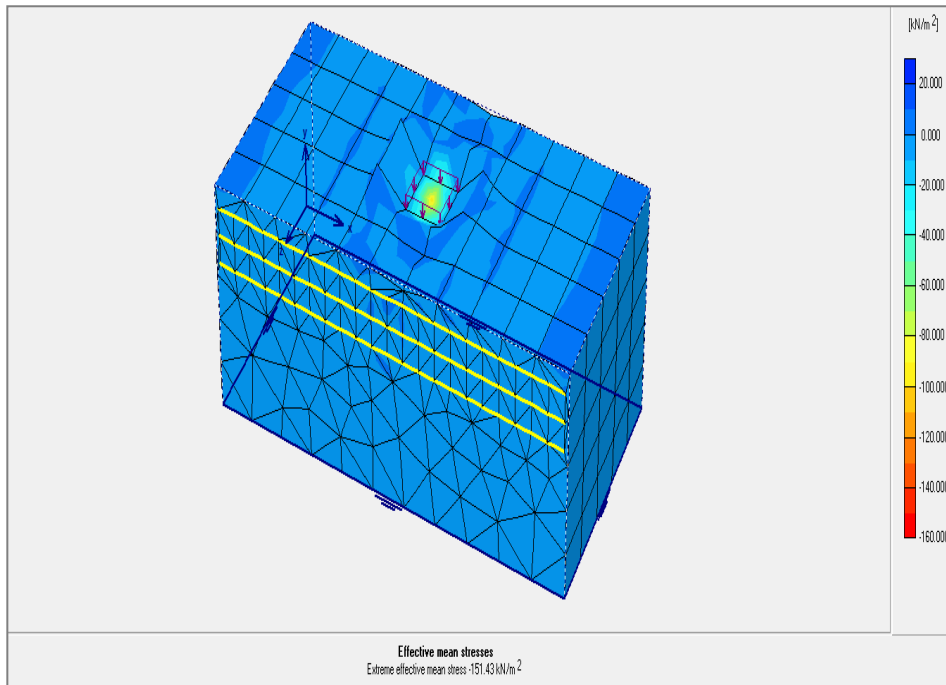


b. Sonlu elemanlar ağı

Şekil 4.3. Üç boyutlu donatılı kum zemin analizi ($e_L=0$, $L=1000$ mm ve $N=3$)



c. Düşey deplasman dağılımı



d. Efektif gerilme dağılımı

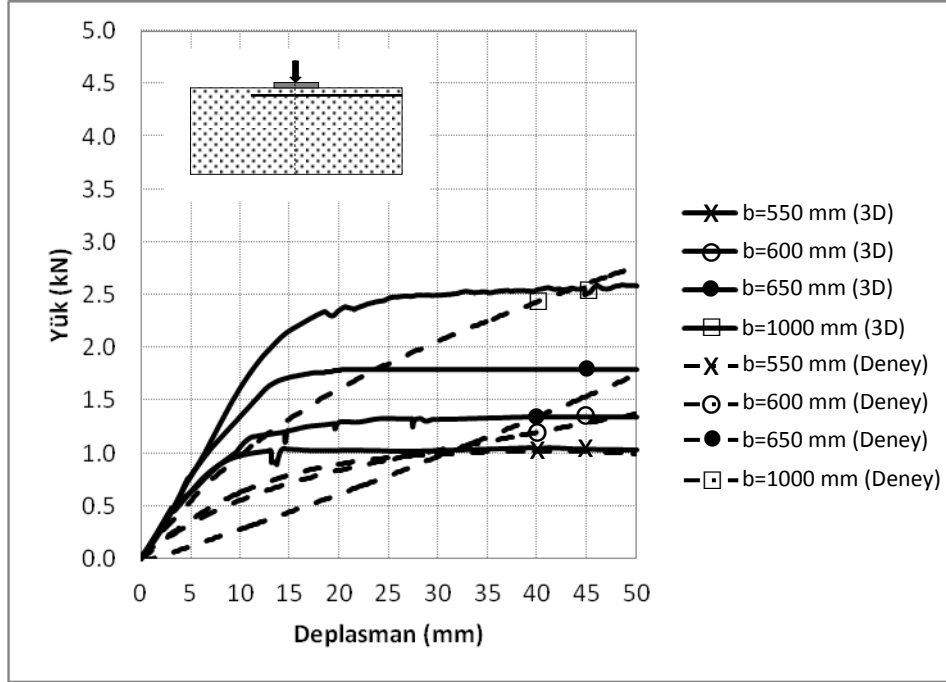
Şekil 4.3. (Devam) Üç boyutlu donatılı kum zemin analizi ($e_L=0$, $L=1000$ mm ve $N=3$)

Bu seride yapılan analizlerde, 0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri kullanılarak, Geogrid uzunluğu (b), geogrid sayısı (N) ve geogrid yerleştirme düzeni (e_G) değişken parametreler olarak ele alınmış ve bu parametrenin taşıma gücüne katkıları araştırılmıştır.

Bu analizlerin yük-deplasman eğrilerine dayanarak, 50 mm oturmaya karşılık gelen yük değerlerini dikkate alarak taşıma kapasitesi oranı (BCR) (Eşitlik 3.9) bulunmaktadır.

4.5.2.1. Donatı uzunluğunun (b) ve yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi

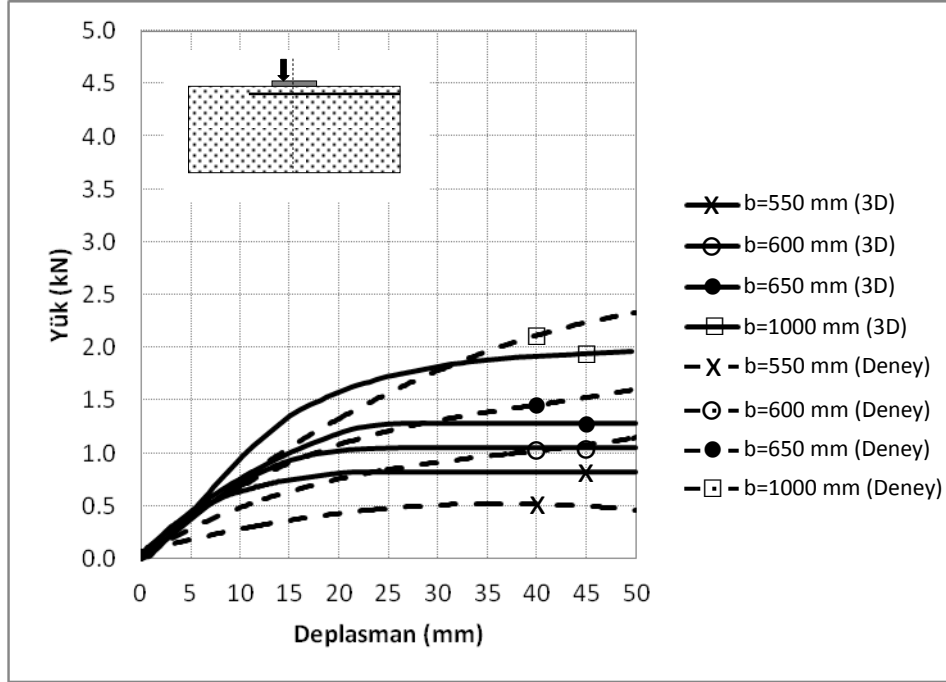
Kum zeminin geogrid donatı ile güçlendirildiği sayısal analizlerde, donatı uzunluğunun taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. $e_L=0$ için tipik yük-deplasman eğrileri Şekil 4.4'te yer almaktadır. $e_L=0$ olduğu sayısal analizlerde donatı uzunluğu (b) tankın sağ tarafına yaslanarak, sırasıyla 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 1000 mm olarak alınmıştır. daha önceden belirlendiği üzere ilk donatı derinliği (u) sabit parametre olarak 30 mm seçilmiştir. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için taşıma gücü değerleri sırasıyla 260,00 kPa, 180,00 kPa, 135,00 kPa ve 103,00 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$)

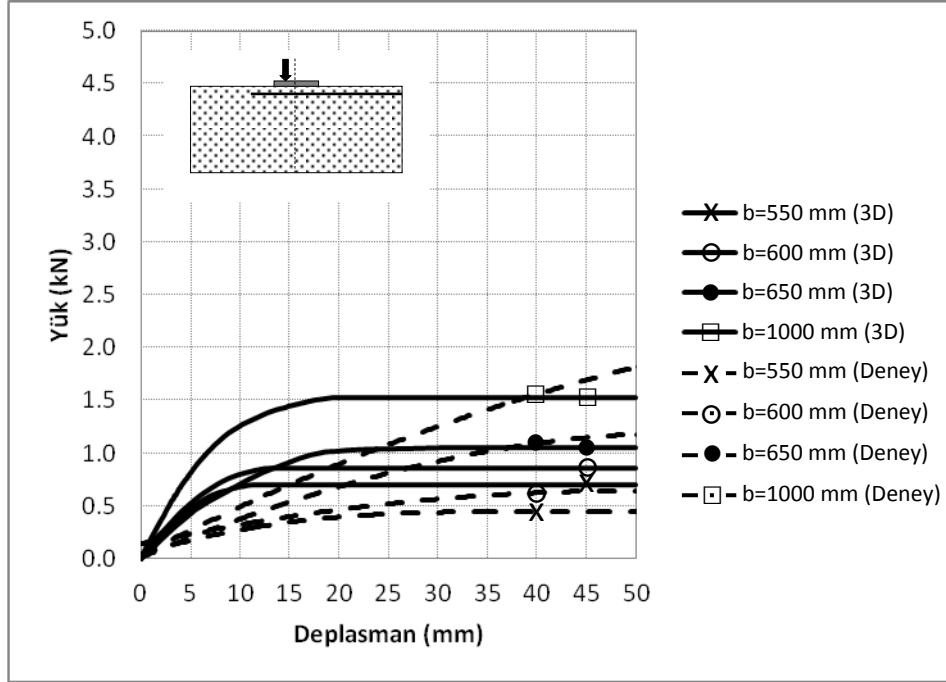
Donatı uzunluğunun, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla , $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm yükleme tipleri kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da yer almaktadır.

$e_L=5$ mm olduğu sayısal analizlerde donatı uzunluğu (b) sırasıyla 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 1000 mm olarak alınmıştır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için taşıma gücü değerleri sırasıyla 221,00 kPa, 143,00 kPa, 117,50 kPa ve 96,00 kPa olarak elde edilmiştir.



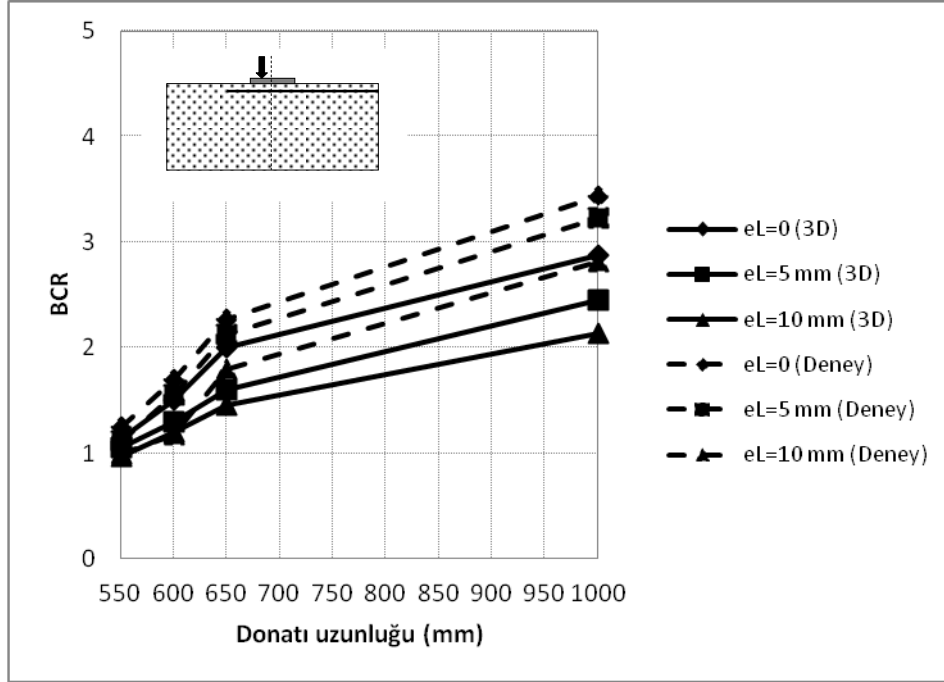
Şekil 4.5. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$)

$e_L=10$ mm olduğu sayısal analizlerde donatı uzunluğu (b) sırasıyla 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 1000 mm olarak alınmıştır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında $b=10B$, $b=6,5B$, $b=6,0B$ ve $b=5,5B$ durumları için taşıma gücü değerleri sırasıyla 192,00 kPa, 131,00 kPa, 109,00 kPa ve 87,50 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun (b) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$)

$e_L=0$, $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm için, taşıma kapasitesi oranının, donatı uzunluğu ile ilişkilendirildiği grafik, Şekil 4.7’de sunulmaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.4’te, donatı uzunluğu etkisinin araştırıldığı analizlerden elde edilen q_u ve BCR değerleri yer almaktadır.



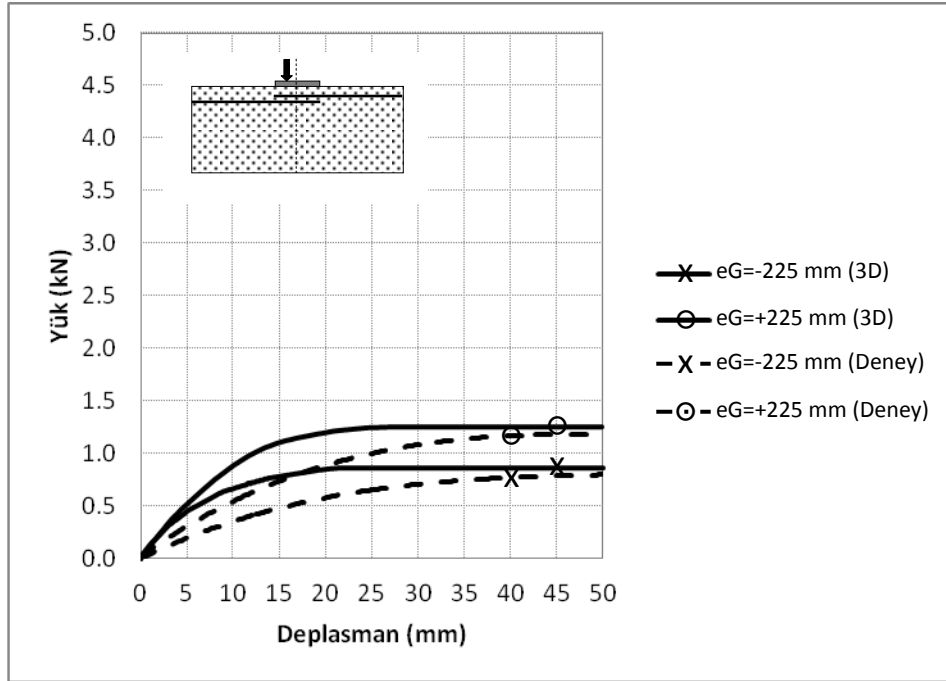
Şekil 4.7. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)

Çizelge 4.4. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (L etkisi, BCR değerleri)

Yükleme Tipi	b (mm)	q_u (kPa) (s/B=%50)		BCR (s/B=%50)	
		Deney	Analiz (3D)	Deney	Analiz (3D)
$e_L=0$	-	80,00	90,00	1,00	1,00
	550	100,00	103,00	1,25	1,14
	600	136,00	135,00	1,70	1,50
	650	182,00	180,00	2,27	2,00
	1000	275,00	260,00	3,43	2,88
$e_L=5$ mm	-	72,00	83,00	0,90	0,92
	550	89,00	96,00	1,11	1,07
	600	124,00	117,50	1,55	1,31
	650	170,00	143,00	2,12	1,57
	1000	259,00	221,00	3,23	2,45
$e_L=10$ mm	-	56,00	77,00	0,70	0,85
	550	79,00	87,50	0,99	0,97
	600	95,00	109,00	1,18	1,21
	650	144,00	131,00	1,80	1,46
	1000	225,00	192,33	2,81	2,13

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, sadece 600 mm, 650 mm ve 1000 mm geogrid uzunlukları kullanıldığı zaman, elde edilen taşıma gücü artışı daha dikkat edici bir mertebede yer almaktadır. 0, 5 mm, 10 mm yük eksantrisiteleri için, $b=550$ mm durumunda yapılan analizlerde taşıma gücü iyileştirme derecesi sırasıyla %14, 0 ve 0 olarak elde edilmiştir.

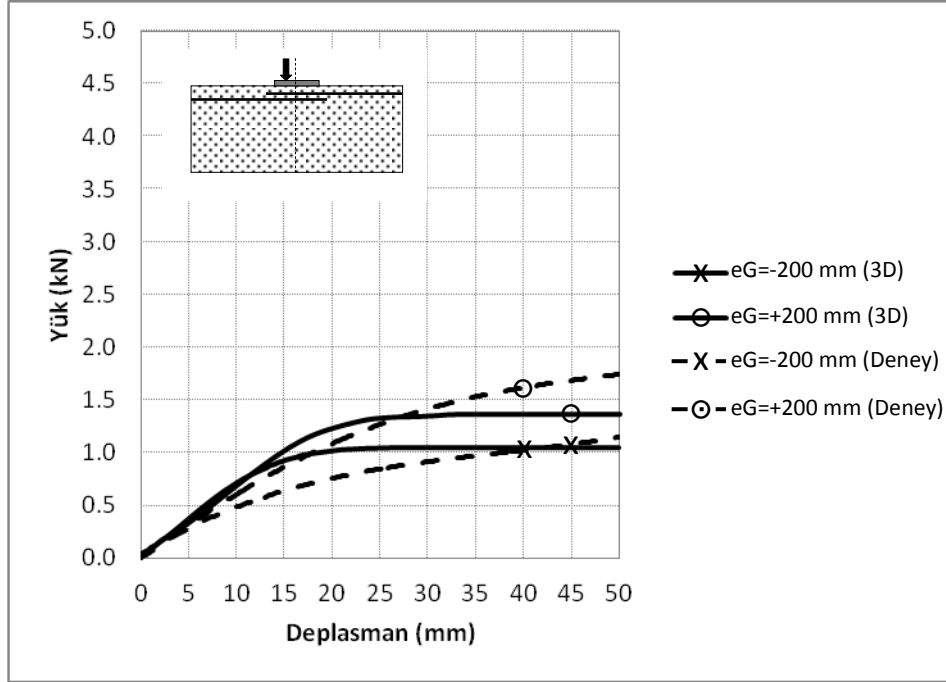
Kum zeminin geogrid donatı ile güçlendirildiği sayısal analizlerde, donatı yerleştirme düzeninin taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha önceden belirlendiği gibi, donatı yerleştirme düzeninin etkisi $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm yük eksantrisiteleri ve $b=550$ mm, $b=600$ mm ve $b=650$ mm uzunlukları kullanıldığı zaman araştırılmıştır. $e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.8’de sunulmuştur. Bu sayısal analizlerinde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -225 mm ve +225 mm olarak alınmıştır. Sayısal analiz sonuçları, donatının yük uygulanan tarafta olması durumunda, taşıma gücünün arttığını göstermektedir. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında taşıma gücü değerleri $e_G=-225$ mm durumunda 96,00 kPa ve $e_G=+225$ mm durumunda 138,50 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$)

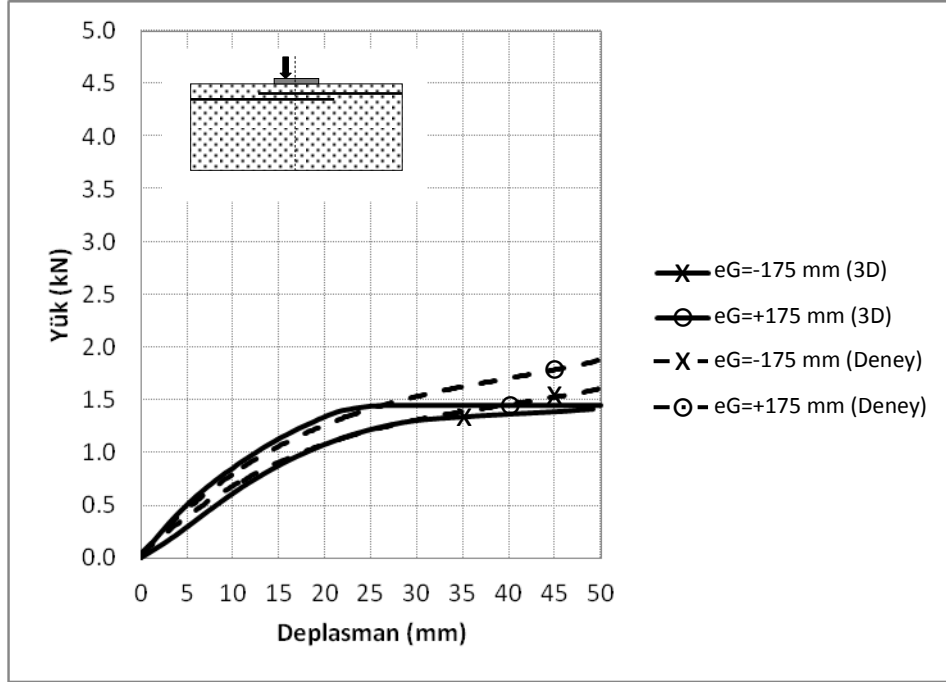
Donatı yerleştirme düzeninin, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla $b=600$ mm ve $b=650$ mm donatı uzunluklarını kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da yer almaktadır.

$e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da sunulmuştur. Analizlerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -200 mm ve +200 mm olarak alınmıştır. Analiz sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +200 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +200 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 147,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -200 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 117,50 kPa'dır.



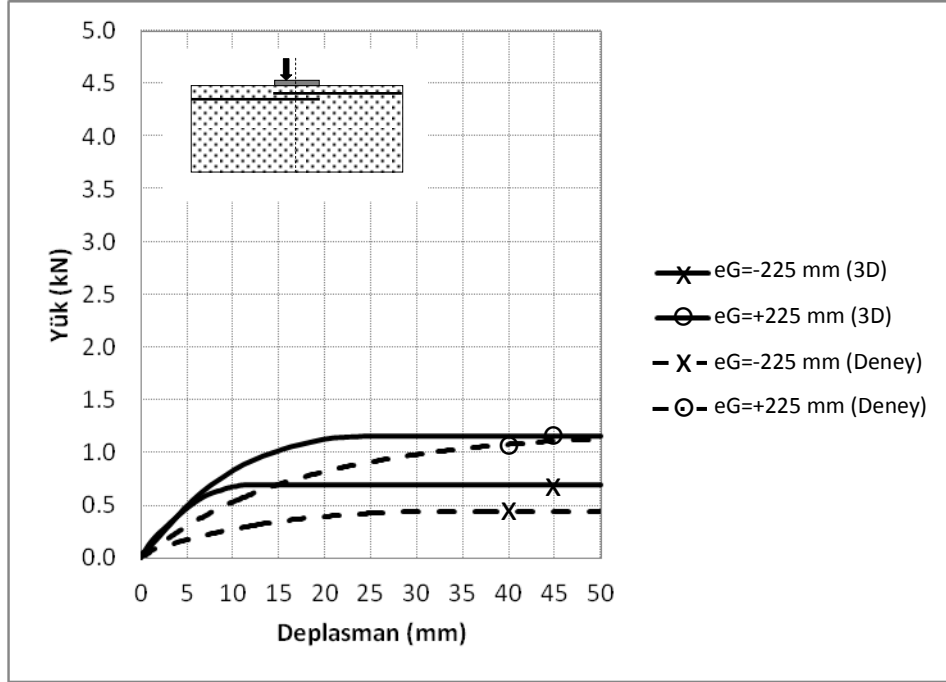
Şekil 4.9. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$)

$e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da sunulmuştur. Analizlerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -175 mm ve +175 mm olarak alınmıştır. Analiz sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +175 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +175 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 162,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -175 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 143,00 kPa'dır.



Şekil 4.10. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$)

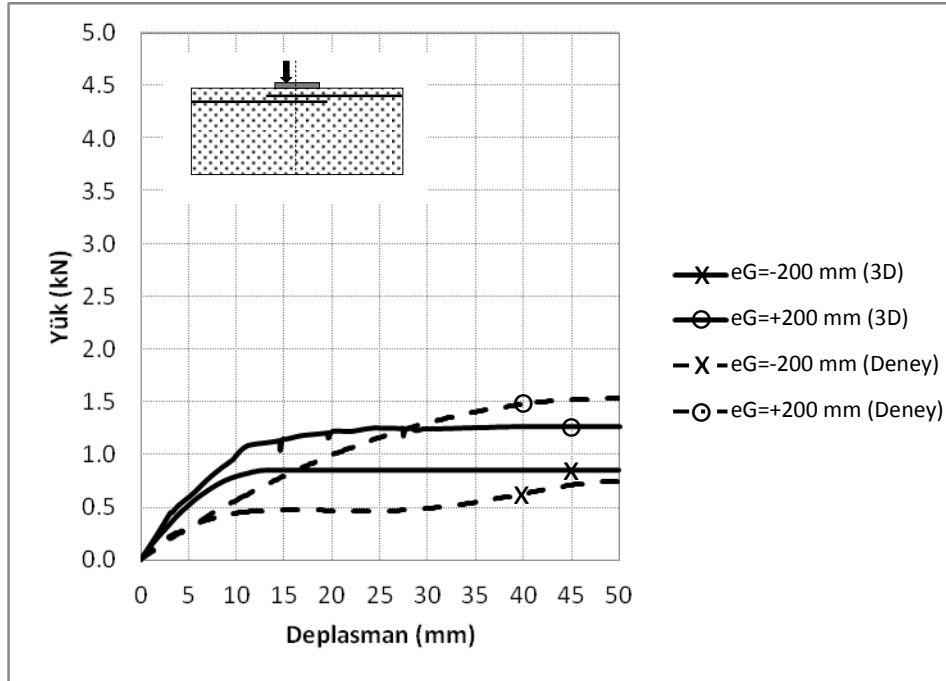
$e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.11’de sunulmuştur. Bu sayısal analizlerinde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -225 mm ve +225 mm olarak alınmıştır. Sayısal analiz sonuçları, donatının yük uygulanan tarafta olması durumunda, taşıma gücünün arttığını göstermektedir. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında taşıma gücü değeri $e_G=-225$ mm durumunda 87,50 kPa ve $e_G=+225$ mm durumunda 145,00 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=550$ mm ve $N=1$)

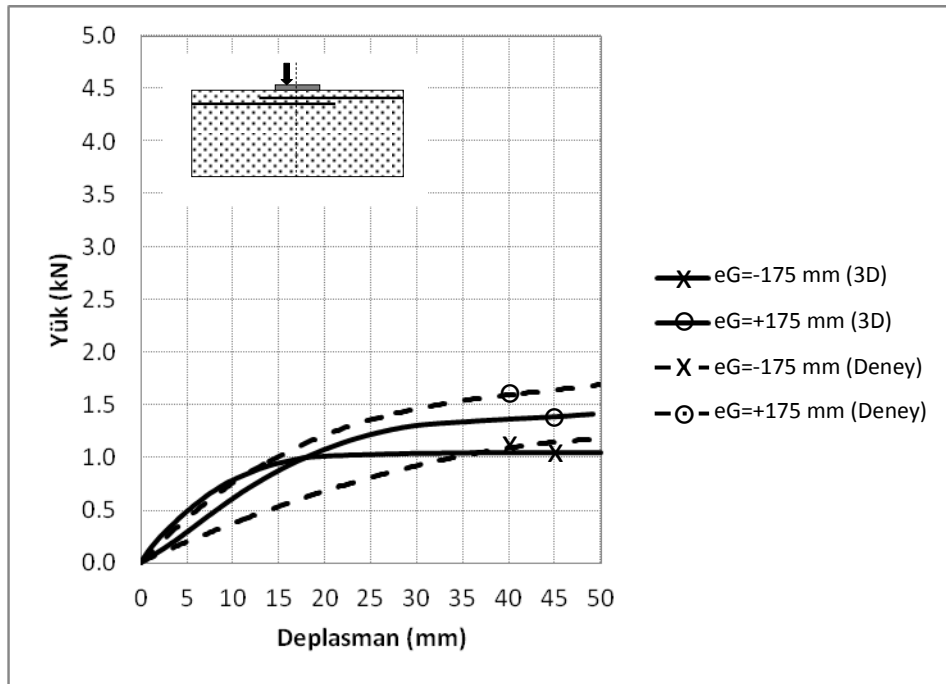
Donatı yerleştirme düzeninin, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla $b=600$ mm ve $b=650$ mm donatı uzunluklarını kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te yer almaktadır.

$e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.12'de sunulmuştur. Analizlerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -200 mm ve +200 mm olarak alınmıştır. Analiz sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +200 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +200 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 160,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -200 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 108,00 kPa'dır.



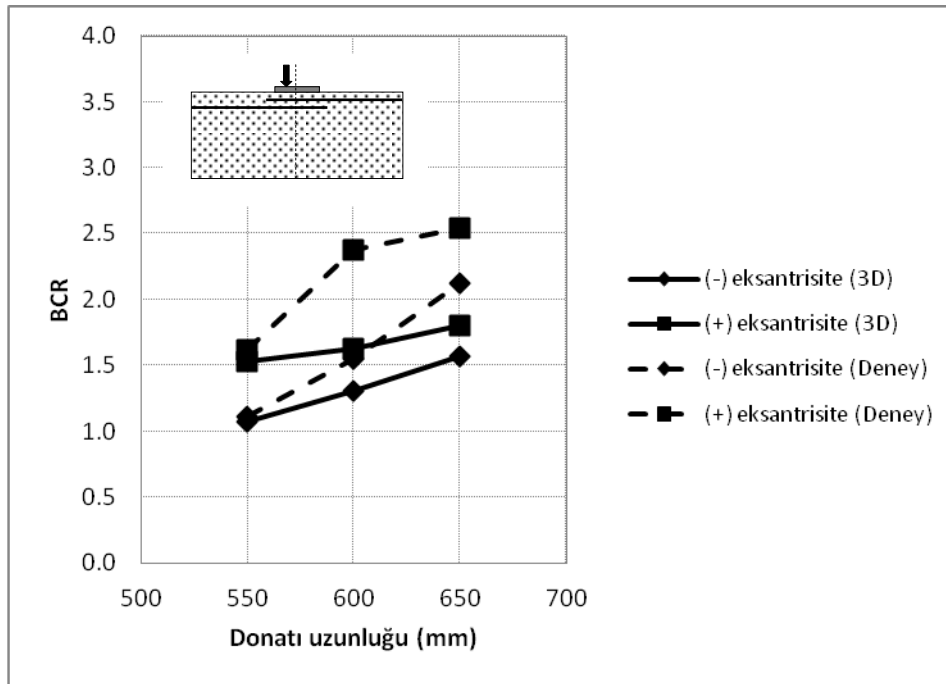
Şekil 4.12. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=600$ mm ve $N=1$)

$e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$ ortamında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'te sunulmuştur. Analizlerde donatı yerleştirme düzeni (e_G) sırasıyla -175 mm ve +175 mm olarak alınmıştır. Analiz sonuçları, donatı yerleştirme düzeninin +175 mm olması durumunda en yüksek taşıma gücüne ulaşıldığını göstermiştir. +175 mm donatı yerleştirme düzeninde geogrid serildiği zaman 50 mm'lik oturma için 175,00 kPa'lık bir taşıma gücü değeri elde edilirken, aynı koşullarda -175 mm düzeninde yerleştirilen donatıyla elde edilen taşıma gücü değeri 131,00 kPa'dır.

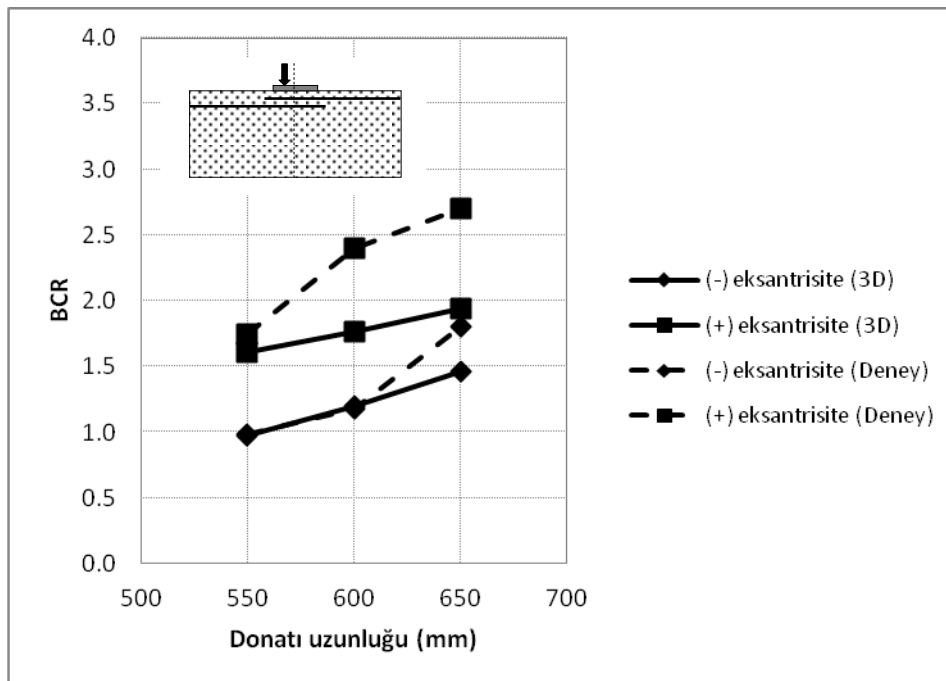


Şekil 4.13. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=650$ mm ve $N=1$)

$e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm yük eksantrisiteleri için $b=650$ mm, $b=600$ mm ve $b=550$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı yerleştirme düzeni ile ilişkilendirildiği grafikler, Şekil 4.14 ve 4.15'te yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.5'te, donatı yerleştirme düzeni etkisinin araştırıldığı analizlerden elde edilen q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.14. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)



Şekil 4.15. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)

Çizelge 4.5. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (e_G etkisi, BCR değerleri)

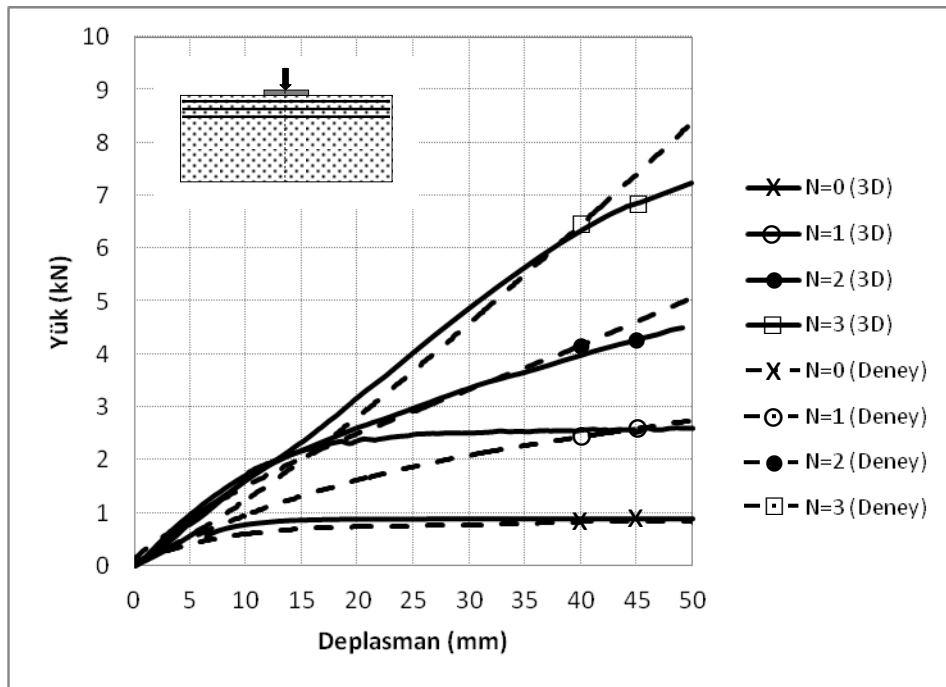
Yükleme Tipi	b (mm)	N	e_G (mm)	q_u (kPa) (s/B=%50)		BCR (s/B=%50)	
				Deney	Analiz (3D)	Deney	Analiz (3D)
$e_L=5$ mm	-	-	-	72,00	83,00	0,90	0,92
	550	1	-225	89,00	96,00	1,11	1,07
			+225	130,00	139,00	1,62	1,53
	600	1	-200	124,00	117,50	1,55	1,31
			+200	191,00	147,00	2,38	1,63
	650	1	-175	170,00	143,00	2,12	1,57
			+175	204,00	162,00	2,54	1,80
	-	-	-	56,00	77,00	0,70	0,85
$e_L=10$ mm	550	1	-225	79,00	87,50	0,98	0,97
			+225	140,00	145,00	1,75	1,61
	600	1	-200	95,00	108,00	1,18	1,20
			+200	192,50	160,00	2,40	1,77
	650	1	-175	144,00	131,00	1,80	1,46
			+175	216,00	175,00	2,70	1,94
	-	-	-	56,00	77,00	0,70	0,85
	-	-	-	56,00	77,00	0,70	0,85

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatının yük uygulanan tarafta olmasıyla, taşıma gücü oranının arttığı görülmektedir. $e_L=10$ mm’de donatı yerleştirme düzeninin farkı $e_L=5$ mm’ye kıyasla, yükün donatı merkezine yakın olması nedeniyle daha yüksek taşıma gücü artışına sebep olmaktadır. $e_L=5$ mm yük eksantrisitesi durumunda yapılan deneylerde taşıma gücü iyileştirme farkı %35 civarında elde edilirken, aynı koşullarda yük eksantrisitesi 10 mm olduğu zaman taşıma gücü iyileştirme farkı yaklaşık %60 olarak elde edilmiştir.

4.5.2.2. Donatı sayısının (N) etkisi

Kum zeminin geogrid donatı ile güçlendirildiği sayısal analizlerde, donatı sayısının taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. $e_L=0$ ve $b=1000$ mm için tipik yük-deplasman eğrileri Şekil 4.16’da yer almaktadır. Sayısal analizlerde donatı sayısı (N) sırasıyla 1, 2 ve 3 olarak alınmış, daha önceden belirlendiği üzere

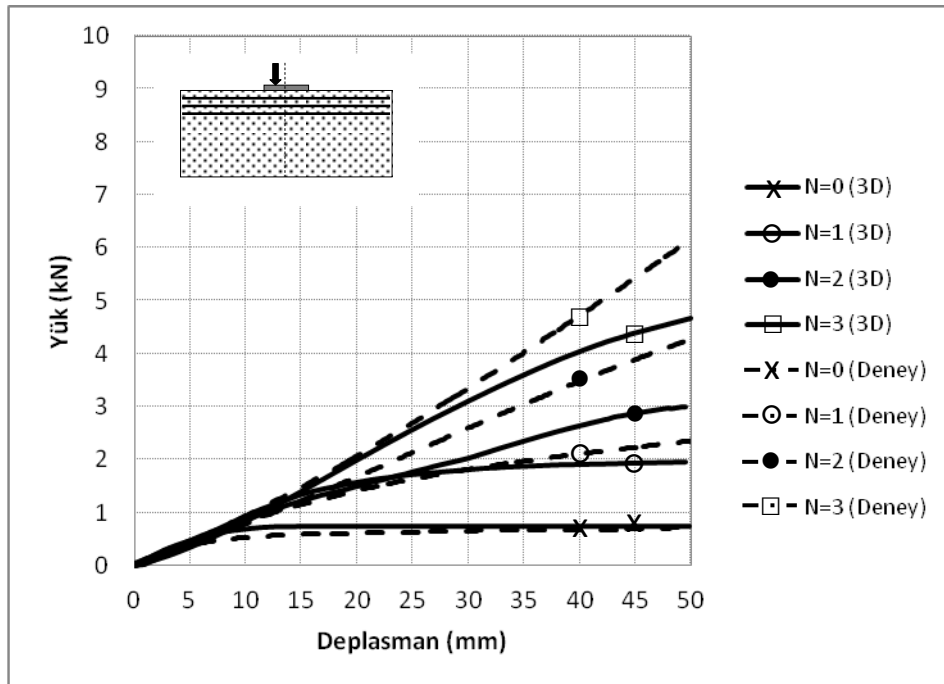
ilk donatı derinliği (u) 30 mm seçilmiştir. Ayrıca, donatılar arası mesafe (h), 50 mm olarak alınmıştır. Sayısal analiz sonuçları, donatı sayısı arttıkça zemin taşıma gücünün de arttığını göstermektedir. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında taşıma gücü değeri $N=1$ durumunda 259,00 kPa, $N=2$ durumunda 450,00 kPa, $N=3$ durumunda ise 725,00 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=0$ ve $b=1000$ mm)

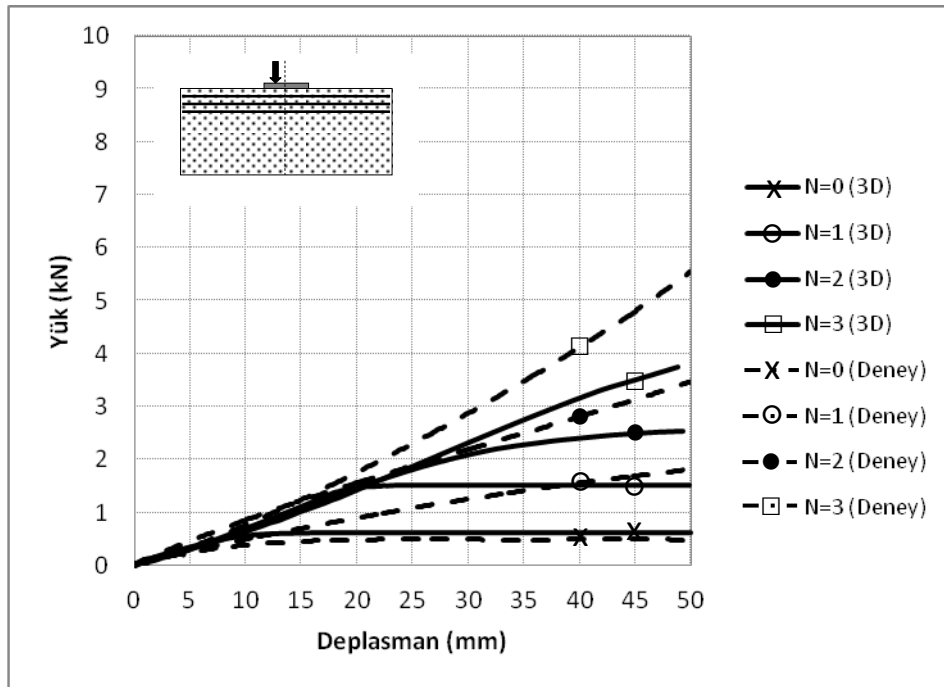
Donatı sayısının, eksantrik yüklü temellerin altındaki kum zeminlerin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla, $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm yükleme tiplerini kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de yer almaktadır.

$e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sayısal analiz sonuçları, Şekil 4.17'de sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm'lik oturma için taşıma gücü değeri 519,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman taşıma gücü değerleri sırasıyla 331,00 kPa ve 221,00 kPa elde edilmiştir.



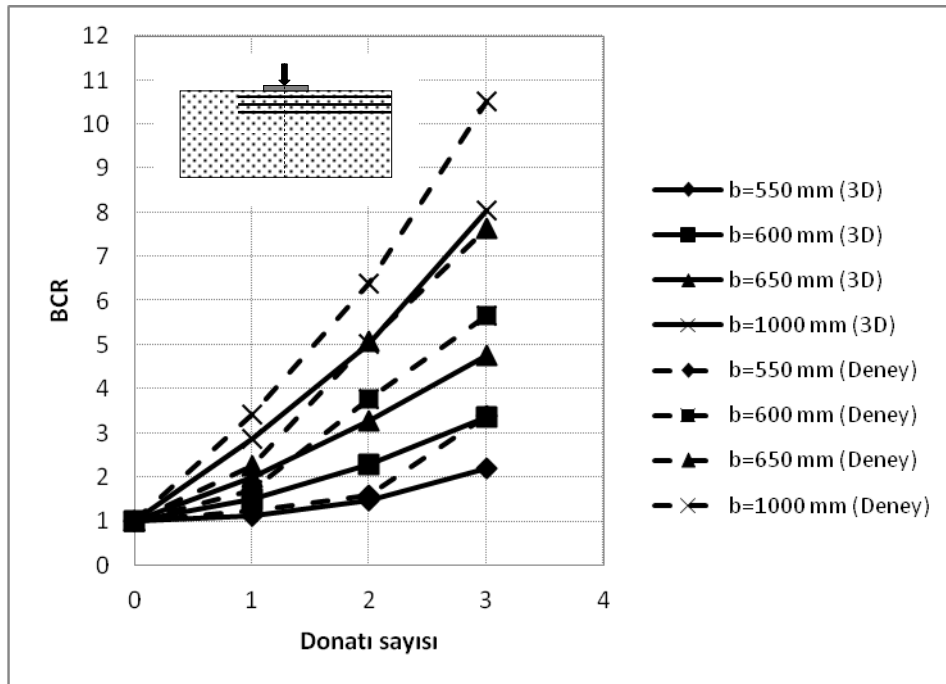
Şekil 4.17. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=5$ mm ve $b=1000$ mm)

$e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm ortamında yapılan deneylerden elde edilen sayısal analiz sonuçları, Şekil 4.18’de sunulmuştur. 3 tabaka geogrid serildiği durumda 50 mm’lik oturma için taşıma gücü değeri 469,00 kPa elde edilirken, aynı koşullarda 2 ve 1 tabaka geogrid serildiği zaman taşıma gücü değerleri sırasıyla 317,00 kPa ve 192,00 kPa elde edilmiştir.

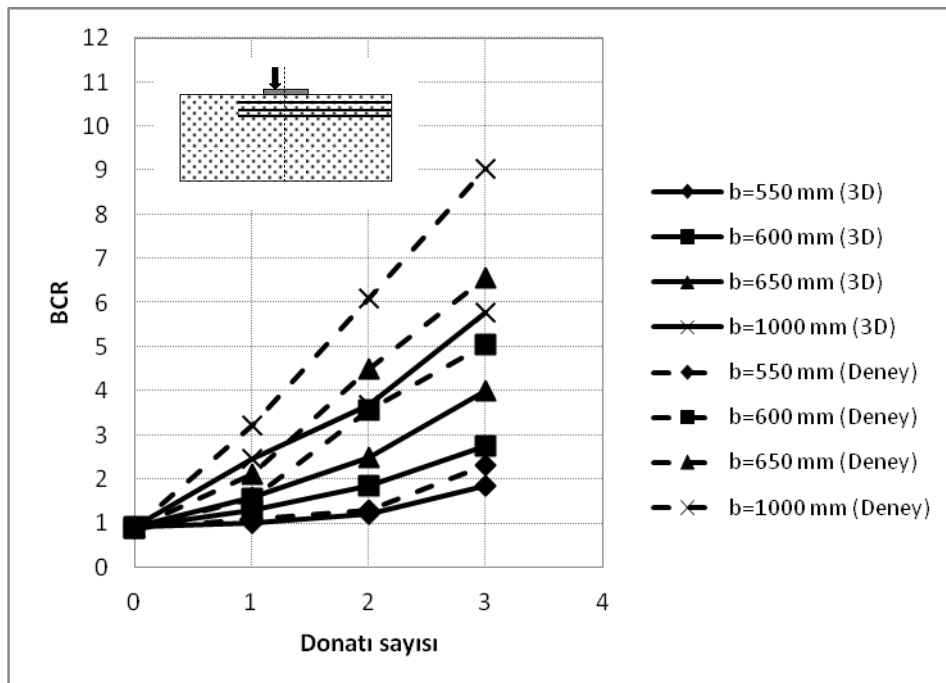


Şekil 4.18. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm)

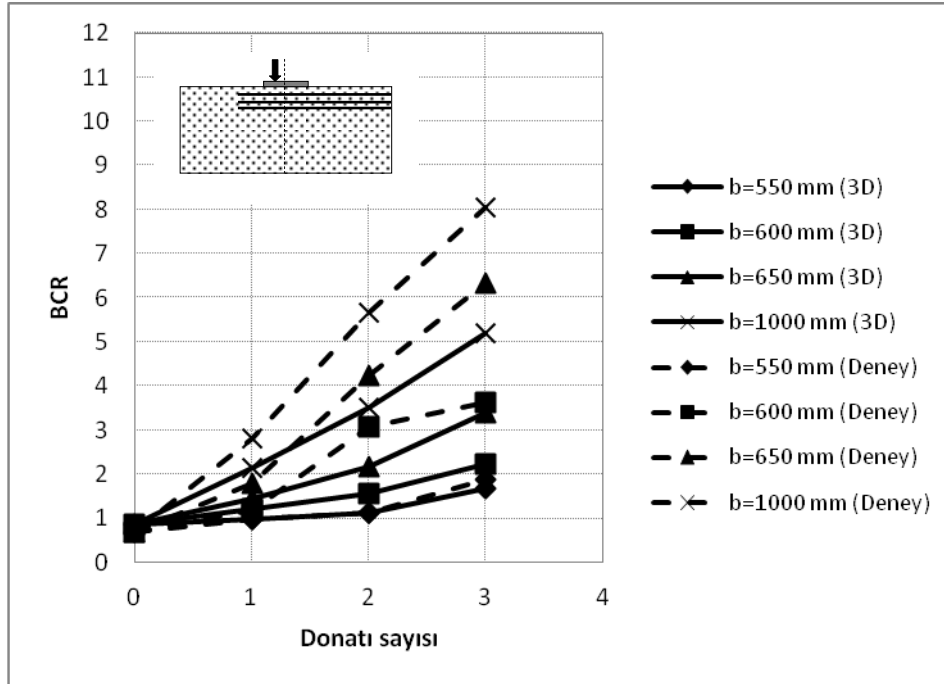
0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleleri için $b=1000$ mm, $b=650$ mm, $b=600$ mm ve $b=550$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı sayısı ile ilişkilendirildiği grafikler Şekil 4.19-4.20 ve 4.21’de yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.6’da, donatı sayısı etkisinin araştırıldığı analizlerden elde edilen q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



Şekil 4.19. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=0$ yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 4.20. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 4.21. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)

Çizelge 4.6. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N etkisi, BCR değerleri)

Yükleme Tipi	b (mm)	N	e _G (mm)	q _u (kPa) (s/B=%50)		BCR (s/B=%50)	
				Deney	Analiz (3D)	Deney	Analiz (3D)
e _L =0	-	-	-	80,00	90,00	1,00	1,00
	550	1	-	100,00	103,00	1,25	1,14
		2	-	127,00	132,00	1,58	1,47
		3	-	272,00	198,00	3,40	2,20
	600	1	-	136,00	135,00	1,70	1,51
		2	-	303,00	205,00	3,78	2,28
		3	-	454,00	303,00	5,67	3,36
	650	1	-	182,00	180,00	2,27	2,00
		2	-	406,00	295,00	5,07	3,27
		3	-	611,00	428,00	7,63	4,75
	1000	1	-	275,50	260,00	3,43	2,88
		2	-	512,00	450,00	6,40	5,01
		3	-	841,00	725,00	10,51	8,05
e _L =5 mm	-	-	-	72,00	83,00	0,90	0,92
	550	1	-225	89,00	96,00	1,11	1,07
			+225	130,00	139,00	1,62	1,53
		2	-225	106,00	109,00	1,32	1,21
			+225	227,00	169,00	2,83	1,88
		3	-225	186,00	167,50	2,31	1,86
			+225	347,00	218,00	4,33	2,42
	600	1	-200	124,00	117,50	1,55	1,31
			+200	191,00	147,00	2,38	1,63
		2	-200	287,00	167,00	3,58	1,85
			+200	334,00	213,00	4,18	2,36
		3	-200	404,00	247,50	5,05	2,75
			+200	494,00	295,00	6,18	3,27
	650	1	-175	170,00	143,00	2,12	1,57
			+175	204,00	162,00	2,54	1,80
		2	-175	360,50	223,00	4,50	2,48
			+175	399,00	264,00	4,98	2,93
		3	-175	525,00	360,00	6,56	4,00
			+175	559,00	372,00	7,00	4,13

Çizelge 4.6. (Devam) Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N etkisi, BCR değerleri)

$e_L=10$ mm	-	-	-	56,00	77,00	0,70	0,85
	550	1	-225	79,00	87,50	0,98	0,97
			+225	140,00	145,00	1,75	1,61
		2	-225	90,00	102,00	1,12	1,13
			+225	244,00	182,00	3,04	2,01
		3	-225	151,00	150,00	1,89	1,67
			+225	354,00	257,00	4,42	2,85
	600	1	-200	95,00	108,00	1,18	1,20
			+200	192,50	160,00	2,40	1,77
		2	-200	246,00	140,50	3,07	1,56
			+200	344,00	241,00	4,29	2,68
		3	-200	290,00	202,00	3,62	2,24
			+200	506,00	325,00	6,32	3,61
	650	1	-175	144,00	131,00	1,80	1,46
			+175	216,00	175,00	2,70	1,94
		2	-175	340,00	195,00	4,25	2,16
			+175	439,00	293,00	5,48	3,25
		3	-175	506,00	306,00	6,32	3,39
			+175	624,00	415,00	7,80	4,61

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatı sayısının artması ile taşıma gücü oranının da arttığı görülmektedir. Yük eksantrisitesi 0 ve 5 mm olduğunda, 550 mm uzunluğunda olan geogrid sadece 2 ve 3 tabaka olarak kullanıldığında taşıma gücü artışın önemli bir mertebede olduğu görülmektedir. Bu yük eksantrisiteleri için, $b=550$ mm ve $N=1$ durumunda yapılan deneylerde, taşıma gücü iyileştirme derecesi sırasıyla %14 ve 0 olarak elde edilmiştir. $e_L=10$ mm olduğunda ise, önemli derecede olan taşıma gücü artışı, 550 mm uzunluğunda olan geogrid 3 tabaka olarak kullanıldığında elde edilmektedir. Bu yük eksantrisitesi için $b=550$ mm ve $N=1$ durumunda yapılan analizlerde taşıma gücü iyileştirme derecesi 0, $N=2$ durumunda ise %13 olarak elde edilmiştir.

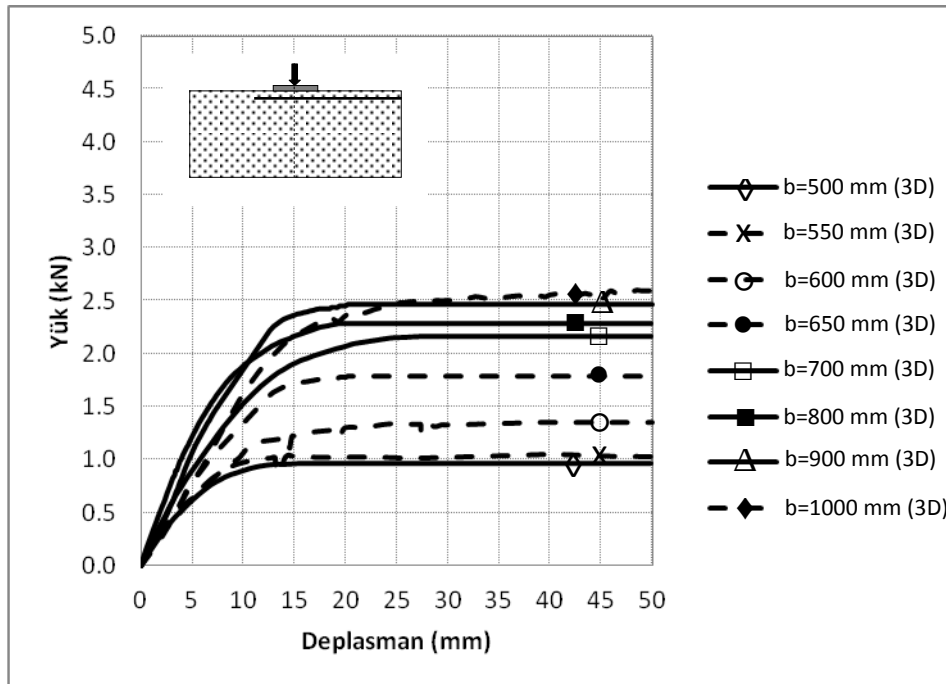
4.6. Seri II: Laboratuvar Deney Parametrelerin Sayısal Olarak Daha Geniş Bir Şekilde Araştırılması

Bölüm 4.5'te, laboratuvar ortamında yapılan deney sonuçları ile sayısal analiz ortamında modellenen bu deneylerden elde edilen sonuçların genel anlamda uyum içinde oldukları anlaşılmıştır. Bu bölümde, sonuçlar arasında mevcut olan bu tutarlığa dayanarak, laboratuvar deneylerinde geogrid donatı yerleşim düzeni ile ilgili araştırılan parametreler daha geniş bir şekilde incelenmiştir. Bu doğrultuda laboratuvar ortamında incelenmeyen donatı uzunlukları, donatı sayıları ve donatı yerleştirme düzenleri araştırılarak toplam 108 adet analiz yapılmıştır.

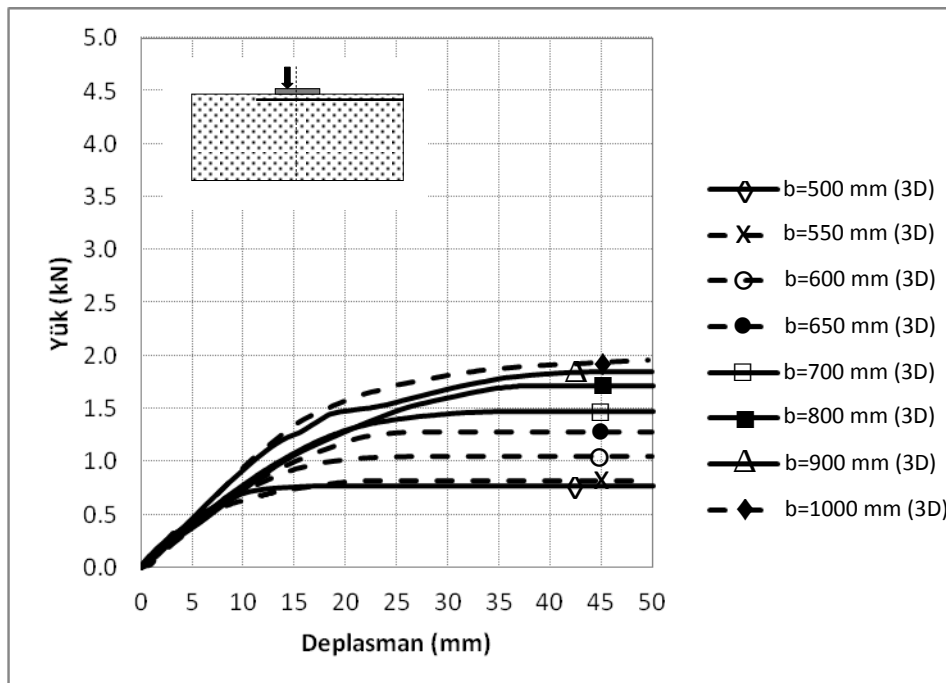
4.6.1. Donatı uzunluğunun (b) ve yerleştirme düzeninin (e_G) etkisi

Donatı uzunluğunun taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 1000 mm donatı uzunlukları deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal analizlerin devamında 0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri kullanılarak $b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm durumları da incelenmiştir. Bu yük eksantrisiteleri için elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil 4.22-4.23 ve 4.24'te yer almaktadır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında $e_L=0$, $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm ortamında $b=500$ mm için taşıma gücü değerleri sırasıyla 97,00 kPa, 85,00 kPa ve 80,00 kPa, $b=700$ mm için sırasıyla 217,00 kPa, 164,00 kPa ve 152,00 kPa, $b=800$ mm için sırasıyla 235,00 kPa, 188,00 kPa ve 166,00 kPa elde edilirken, $b=900$ mm için taşıma gücü değerleri sırasıyla 247,00 kPa, 207,00 kPa ve 173,00 kPa olarak elde edilmiştir.

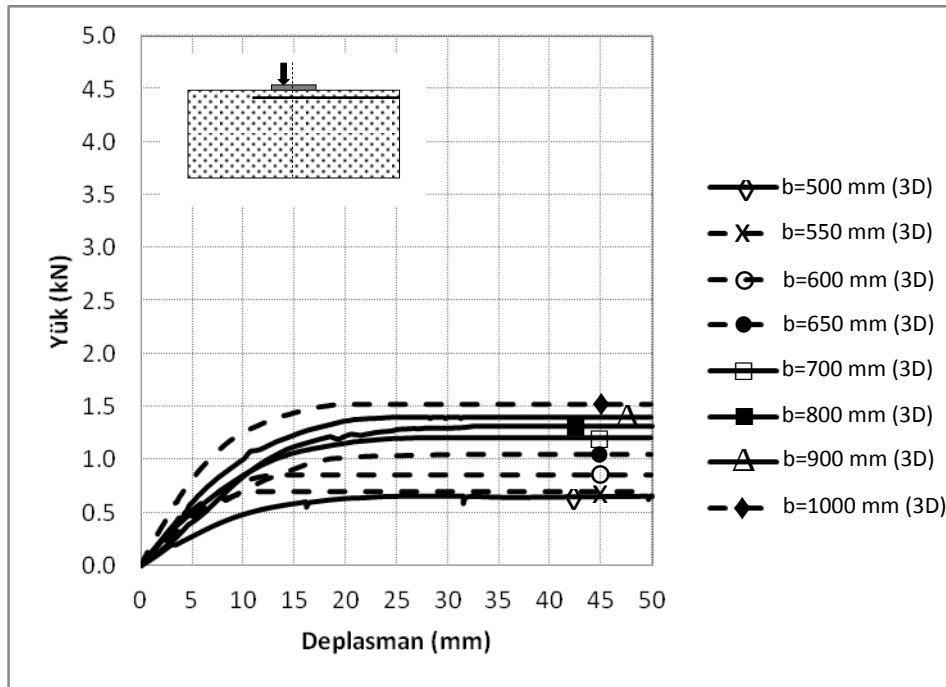
$e_L=0$, $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm için, taşıma kapasitesi oranının, donatı uzunluğu ile ilişkilendirildiği grafik, Şekil 4.25'te sunulmaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.7'de, 500 mm, 700 mm, 800 mm ve 900 mm donatı uzunluğu etkisinin araştırıldığı analizlerden 50 mm oturmaya karşılık gelen Q , q_u ve BCR değerleri verilmiştir.



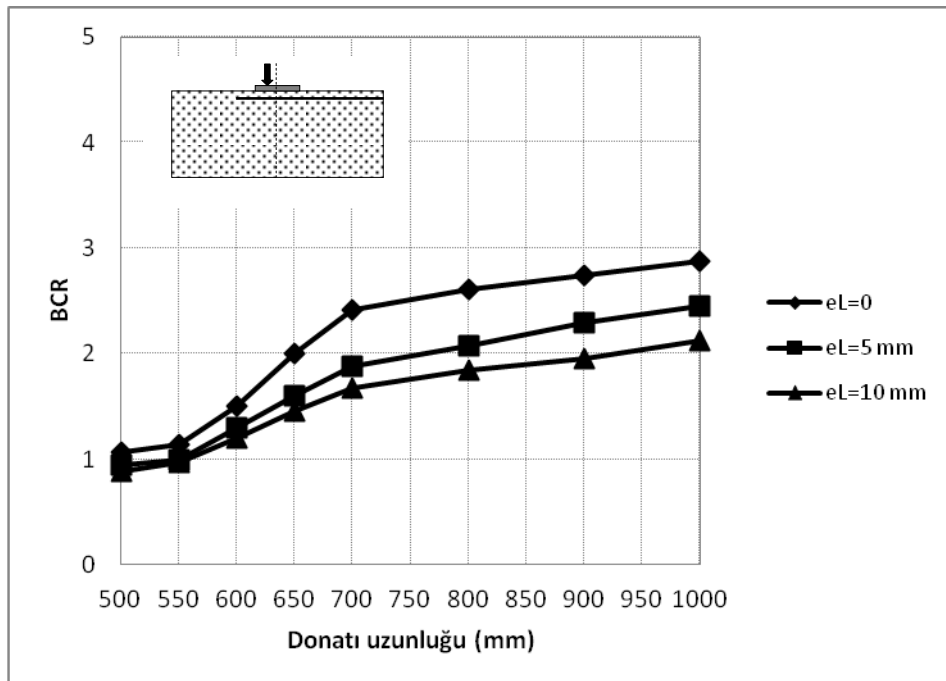
Şekil 4.22. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=0$ ve $N=1$)



Şekil 4.23. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=5$ mm ve $N=1$)



Şekil 4.24. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid uzunluğunun ($b=500$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm) etkisi ($e_L=10$ mm ve $N=1$)



Şekil 4.25. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (b etkisi)

Çizelge 4.7. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (b=500 mm, b=700 mm, b=800 mm ve b=900 mm etkisi, BCR değerleri)

Yüklem Tipi	b (mm)	Q (kN)	q _u (kPa)	BCR
e _L =0	500	0,97	97,00	1,07
	700	2,17	217,00	2,41
	800	2,35	235,00	2,61
	900	2,47	247,00	2,74
e _L =5 mm	500	0,77	85,00	0,94
	700	1,48	164,00	1,82
	800	1,70	188,00	2,08
	900	1,86	207,00	2,30
e _L =10 mm	500	0,65	80,00	0,88
	700	1,22	152,00	1,69
	800	1,32	165,00	1,84
	900	1,38	173,00	1,92

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, 500 mm donatı uzunluğu kullanıldığı zaman, taşıma gücü artışın önemli bir mertebede olmadığı ve donatısız durumunda elde edilen değerlere yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bu donatı uzunluğu için e_L=0 ortamında, taşıma gücü iyileştirme derecesi %7, e_L= 5 mm için %2 ve e_L=10 mm’de ise %3 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 700 mm’den uzun donatı kullanıldığı zaman, taşıma gücü artışın dikkat çekici bir seviyede olmadığı anlaşılmaktadır. Örnek olarak e_L=0 ortamında, b=600 mm’den b=700 mm’ye geçildiğinde taşıma gücü iyileştirme farkı %90 civarında elde edilirken, b=700 mm’den b=800 mm’ye geçildiğinde taşıma gücü iyileştirme farkı %20 olarak elde edilmiştir.

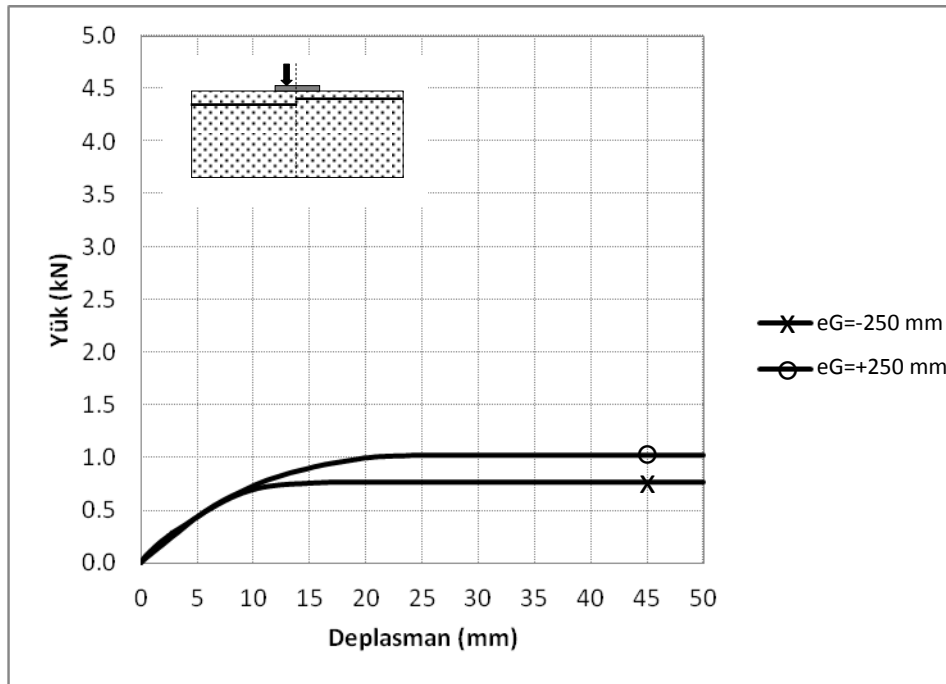
Donatı yerleştirme düzeninin taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla temel merkezine bağlı olarak, donatı uzunluklarına karşılık gelen -175 mm, +175 mm, -200 mm, +200 mm, -225 mm ve +225 mm donatı yerleştirme düzenleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Bu bölümde sayısal analizlerin devamında ilk olarak 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri kullanılarak 500 mm, 700 mm, 800 mm ve 900 mm donatı uzunlukları için karşılık gelen e_G= -50

mm, $e_G=+50$ mm, $e_G=-100$ mm, $e_G=+100$ mm, $e_G=-150$ mm, $e_G=+150$ mm, $e_G=-250$ mm ve $e_G=+250$ mm durumları incelenmiş, ardından $b=500$ mm, $b=550$ mm, $b=600$ mm, $b=650$ mm ve $b=700$ mm için $e_G=0$ şartı araştırılmıştır.

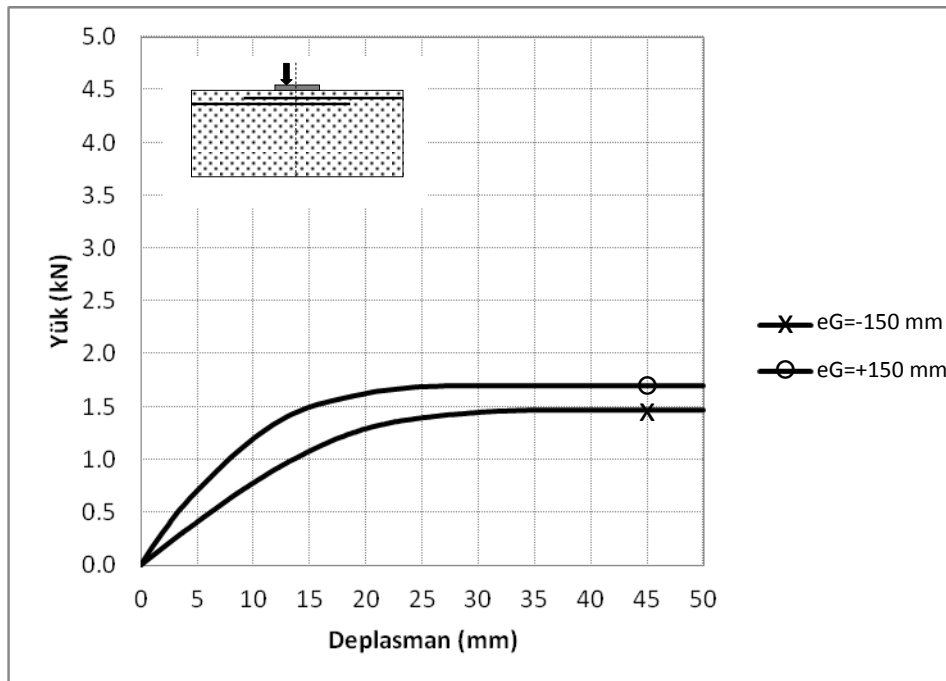
4.6.1.1. 500 mm, 700 mm, 800 mm ve 900 mm donatı uzunlukları için donatı yerleştirme düzeninin etkisi

Bu donatı uzunlukları için 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri ve $N=1$ durumunda elde edilen yük-deplasman eğrileri sırasıyla Şekil 4.26-4.27-4.28-4.29-4.30-4.31-4.32 ve 4.33'te yer almaktadır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında 5 mm yük eksantrisitesinde $e_G=-50$ mm, $e_G=+50$ mm, $e_G=-100$ mm, $e_G=+100$ mm, $e_G=-150$ mm, $e_G=+150$ mm, $e_G=-250$ mm ve $e_G=+250$ mm için taşıma gücü değerleri sırasıyla 207,00 kPa, 214,00 kPa, 188,00 kPa, 200,00 kPa, 164,00 kPa, 177,00 kPa, 85,00 kPa ve 121,50 kPa elde edilirken, 10 mm yük eksantrisitesinde sırasıyla 173,00 kPa, 190,00 kPa, 165,00 kPa, 187,00 kPa, 152,00 kPa, 184,50 kPa, 80,00 kPa ve 131,00 kPa olarak elde edilmiştir.

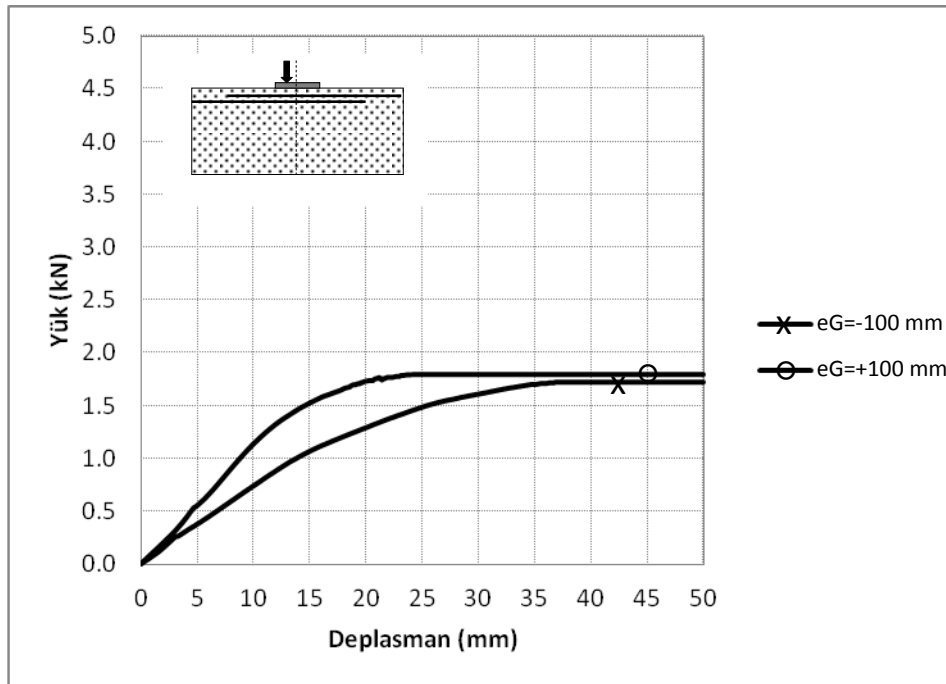
5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri için $b=500$ mm, $b=550$ mm, $b=600$ mm, $b=650$ mm, $b=700$ mm, $b=800$ mm ve $b=900$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı yerleştirme düzeni ile ilişkilendirildiği grafikler Şekil 4.34 ve 4.35'te yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.8'de, -50 mm, +50 mm, -100 mm, +100 mm, -150 mm, +150 mm, -250 mm ve +250 mm donatı eksantrisiteleri etkilerininin araştırıldığı analizlerden 50 mm oturmaya karşılık gelen Q , q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



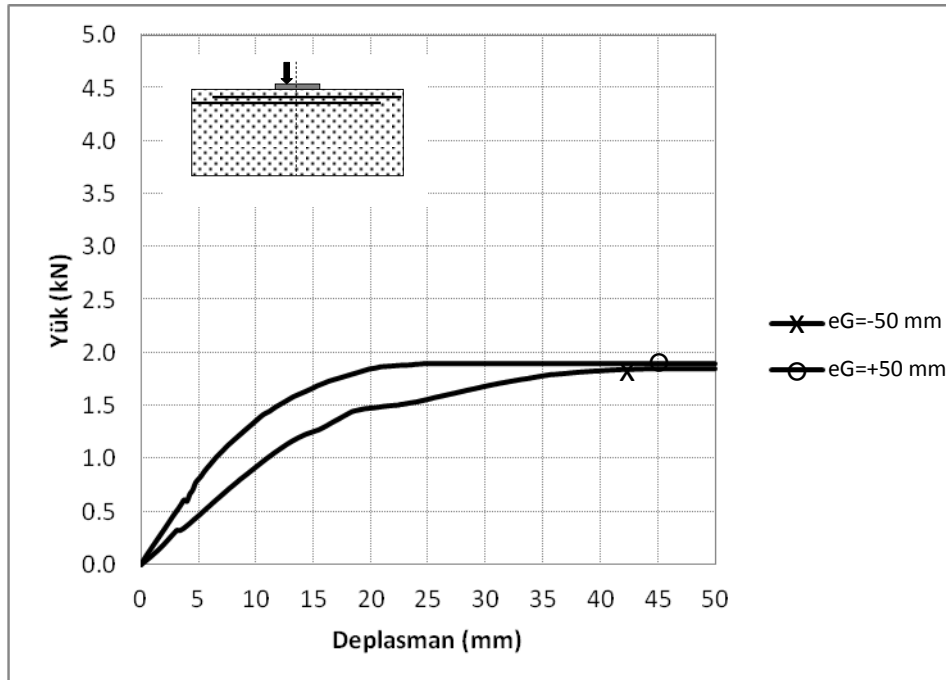
Şekil 4.26. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -250$ mm ve $e_G = +250$ mm) etkisi ($e_L = 5$ mm, $b = 500$ mm ve $N = 1$)



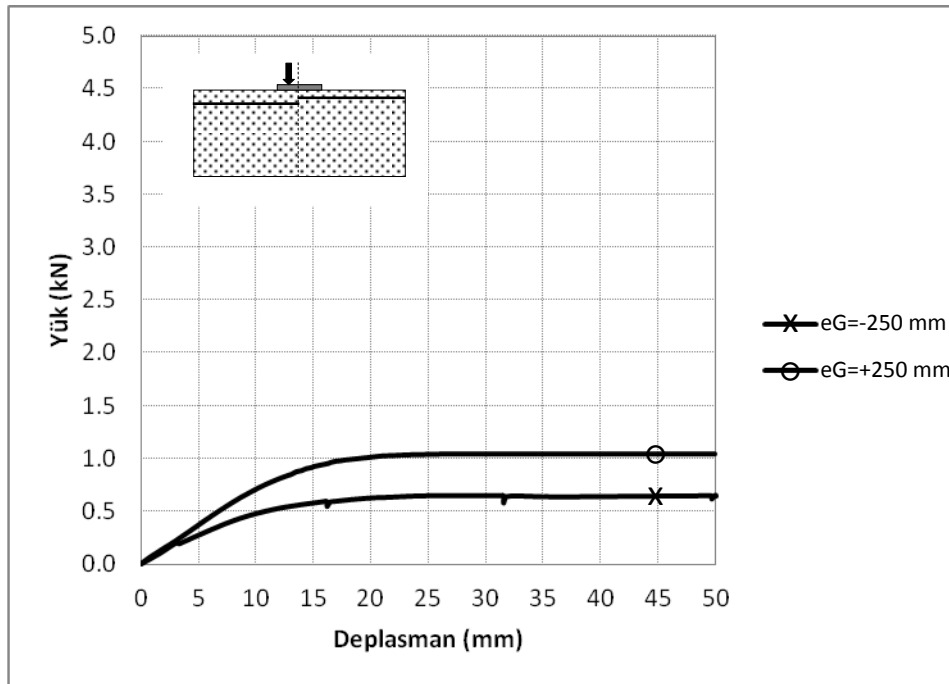
Şekil 4.27. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -150$ mm ve $e_G = +150$ mm) etkisi ($e_L = 5$ mm, $b = 700$ mm ve $N = 1$)



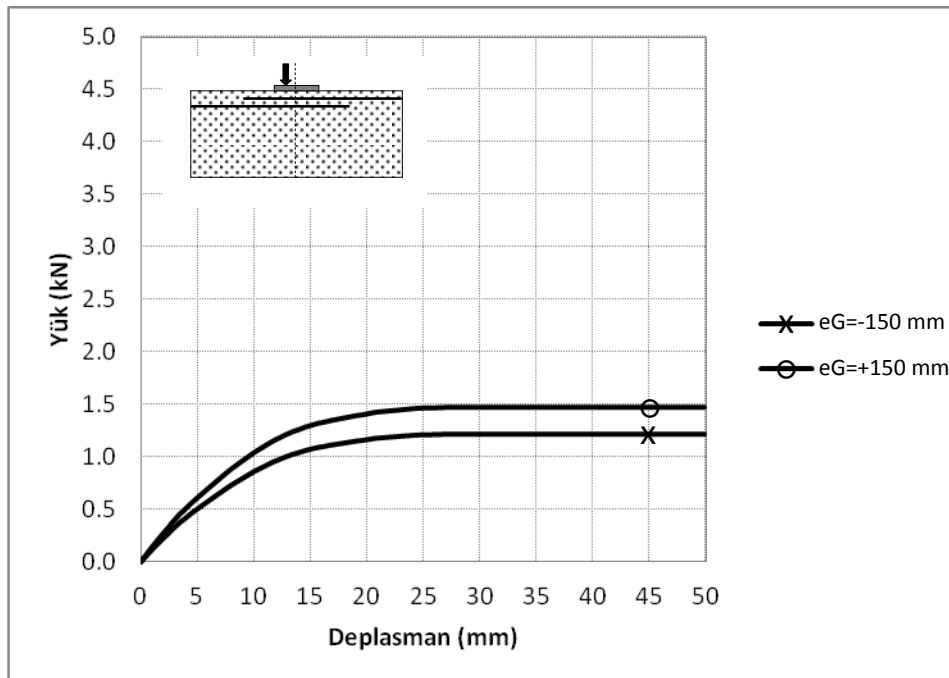
Şekil 4.28. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -100$ mm ve $e_G = +100$ mm) etkisi ($e_L = 5$ mm, $b = 800$ mm ve $N = 1$)



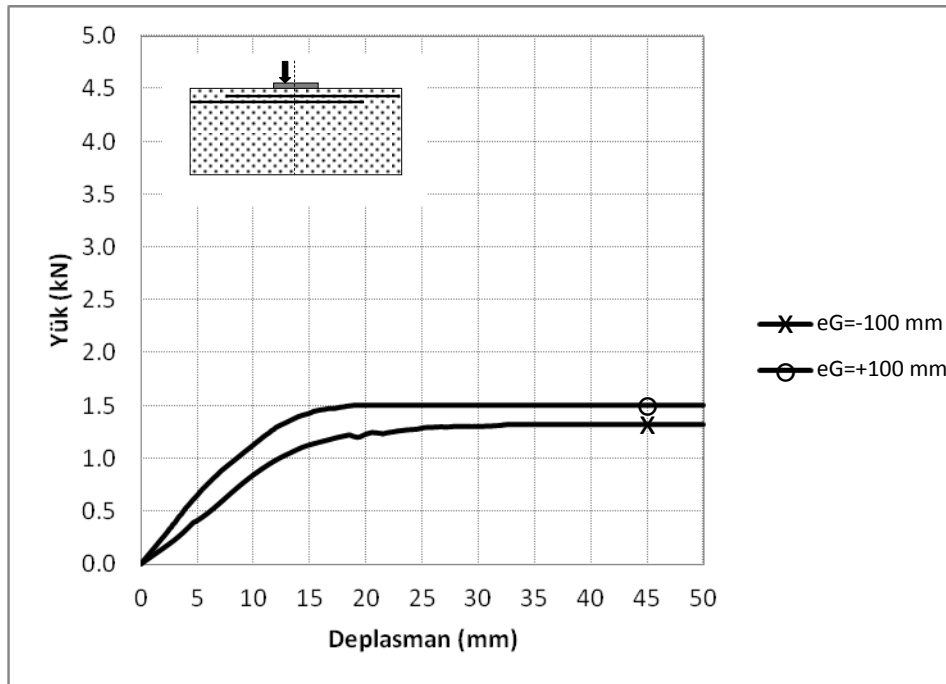
Şekil 4.29. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -50$ mm ve $e_G = +50$ mm) etkisi ($e_L = 5$ mm, $b = 900$ mm ve $N = 1$)



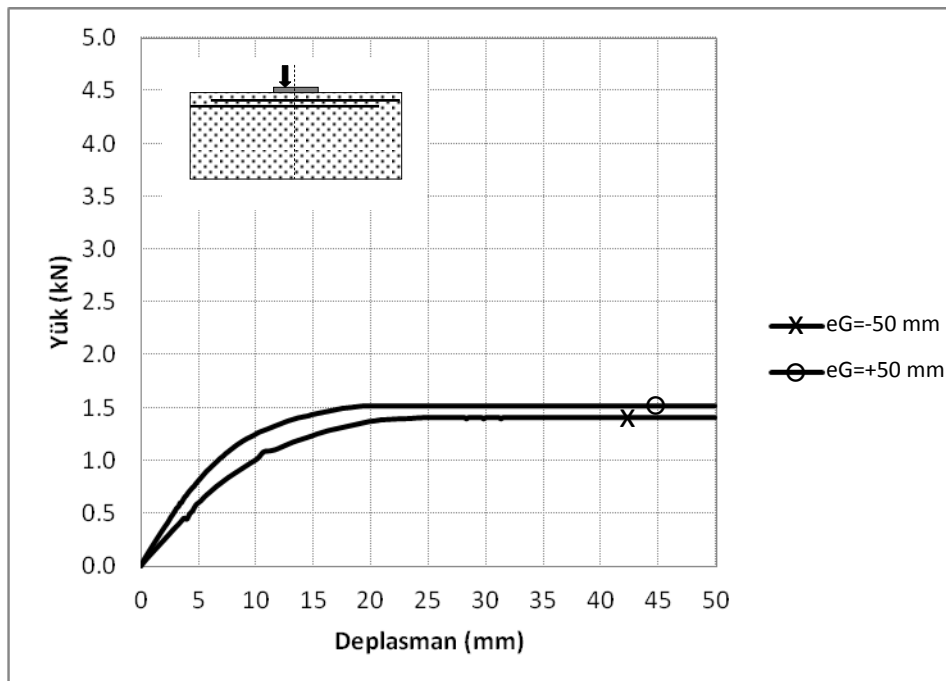
Şekil 4.30. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -250$ mm ve $e_G = +250$ mm) etkisi ($e_L = 10$ mm, $b = 500$ mm ve $N = 1$)



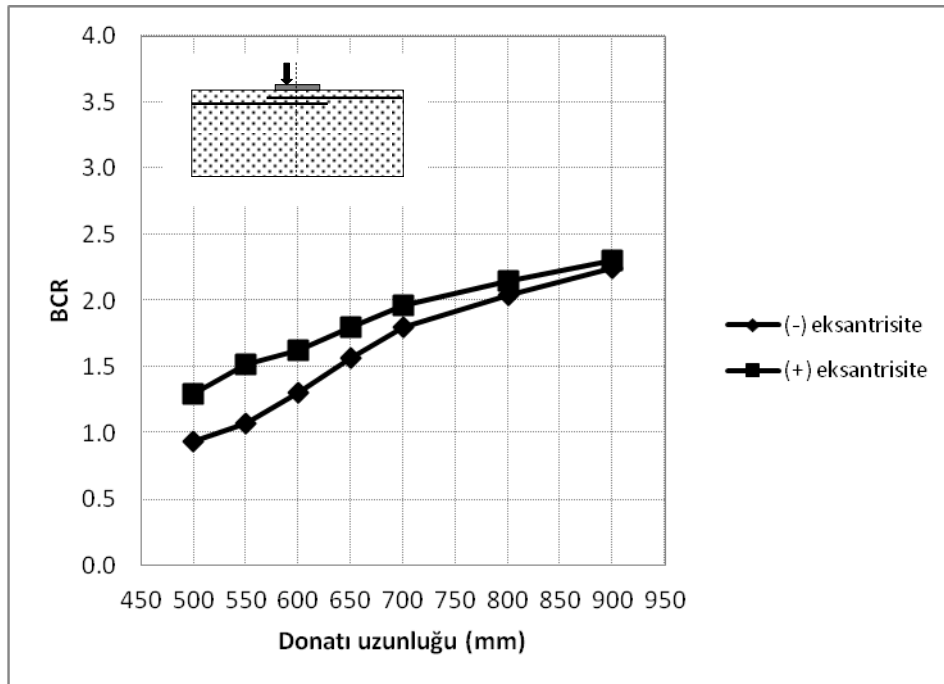
Şekil 4.31. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -150$ mm ve $e_G = +150$ mm) etkisi ($e_L = 10$ mm, $b = 700$ mm ve $N = 1$)



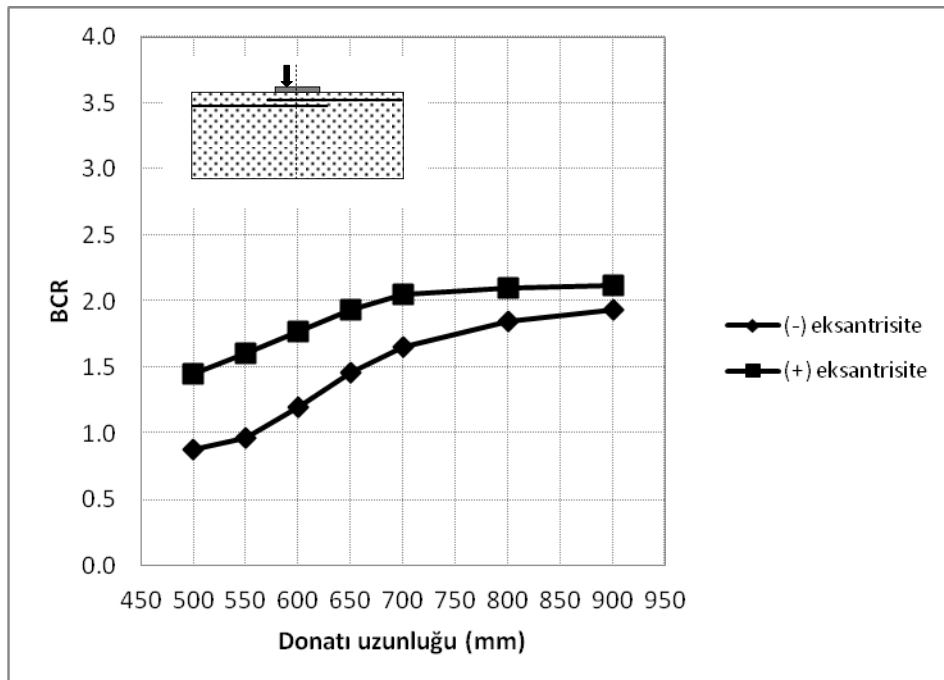
Şekil 4.32. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -100$ mm ve $e_G = +100$ mm) etkisi ($e_L = 10$ mm, $b = 800$ mm ve $N = 1$)



Şekil 4.33. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G = -50$ mm ve $e_G = +50$ mm) etkisi ($e_L = 10$ mm, $b = 900$ mm ve $N = 1$)



Şekil 4.34. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)



Şekil 4.35. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)

Çizelge 4.8. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (e_G etkisi (-50 mm, +50 mm, -100 mm, +100 mm, -150 mm, +150 mm, -250 mm, +250 mm), BCR değerleri)

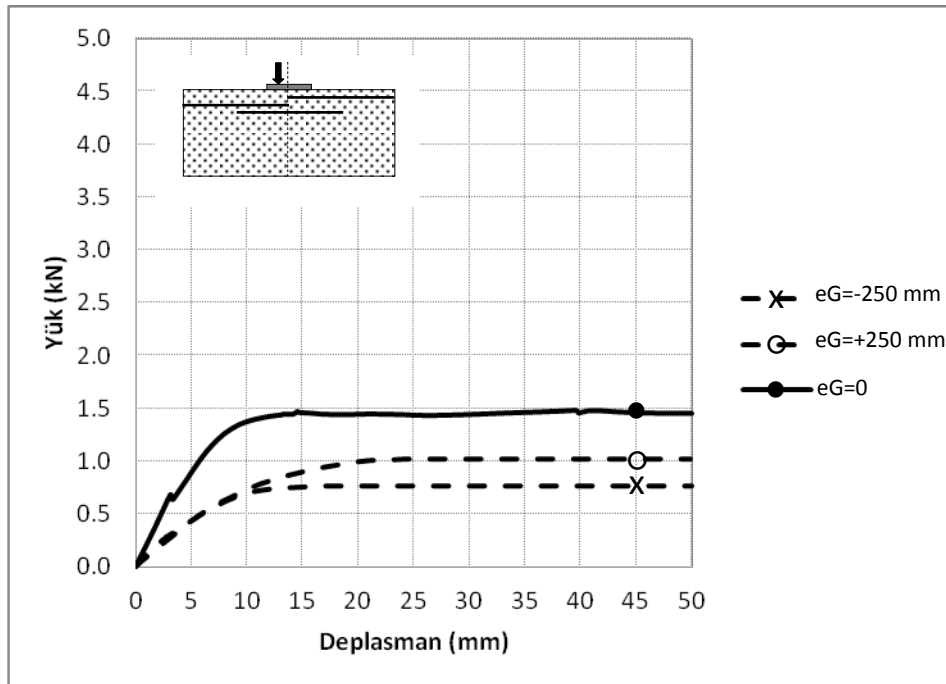
Yükleme Tipi	b (mm)	N	e_G (mm)	Q (kN)	q_u (kPa)	BCR
$e_L=5$ mm	500	1	-250	0,77	85,00	0,94
			+250	1,05	116,50	1,30
	700	1	-150	1,48	164,00	1,82
			+150	1,60	177,00	1,96
	800	1	-100	1,70	188,00	2,08
			+100	1,80	200,00	2,22
	900	1	-50	1,86	207,00	2,30
			+50	1,92	214,00	2,37
$e_L=10$ mm	500	1	-250	0,65	80,00	0,88
			+250	1,05	131,00	1,45
	700	1	-150	1,22	152,00	1,69
			+150	1,47	184,50	2,05
	800	1	-100	1,32	165,00	1,84
			+100	1,50	187,00	2,08
	900	1	-50	1,38	173,00	1,92
			+50	1,52	190,00	2,12

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatı uzunluğunun artması ile beraber, donatı yerleştirme düzeni etkisinin azaldığı anlaşılmaktadır. 5 mm yük eksantrisitesi ortamında, 500 mm ve 800 mm donatı uzunlukları için, donatı yerleştirme düzeninden dolayı elde edilen taşıma gücü iyileştirme derecesi sırasıyla %40 ve %15, 10 mm yük eksantrisitesinde ise sırasıyla %65 ve %25 olarak belirlenmiştir.

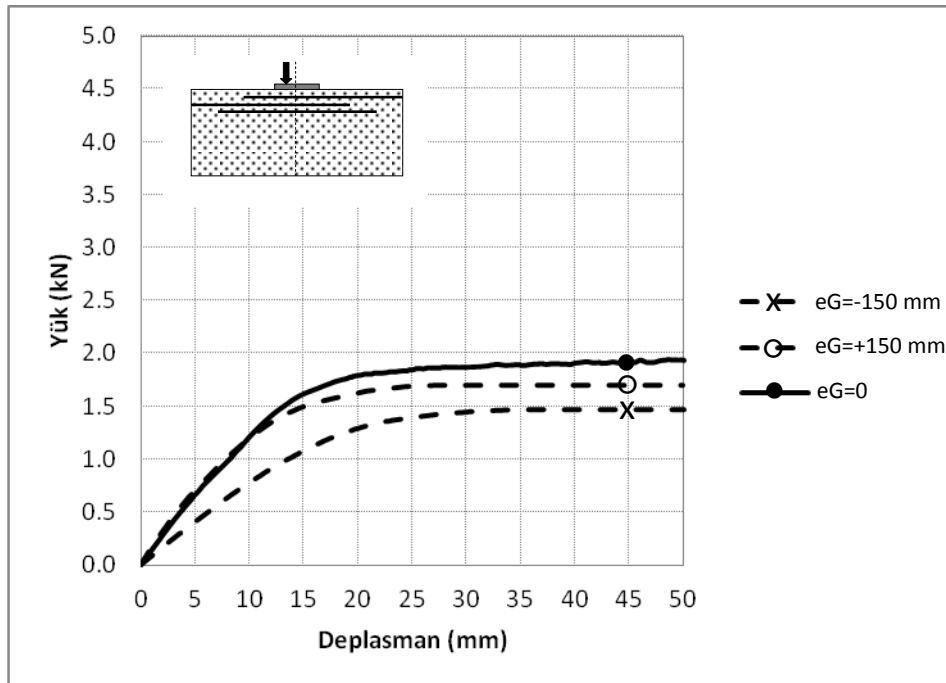
4.6.1.2. sıfır donatı yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi

Hem deneyler hem de analizlerde donatının yük uygulanan tarafta ve uygulanmayan tarafta olmak üzere iki durumu araştırılmıştır. Bu bölümde, analizlerin devamında, 500 mm, 550 mm, 600 mm, 650 mm ve 700 mm donatı uzunluklarına, tankın merkezi ve temelin altında olma ($e_G=0$) şartı araştırılmış ve elde edilen sonuçları sunulmuştur. Örnek olarak 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri ortamında 500 mm ve 700 mm donatı uzunlukları için elde edilen yük-deplasman eğrileri sırasıyla Şekil 4.36-4.37-4.38 ve 4.39'da yer almaktadır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında 5 mm yük eksantrisitesinde $b=500$ mm ve $b=700$ mm için taşıma gücü değerleri sırasıyla 162,00 kPa ve 215,00 kPa elde edilirken, 10 mm yük eksantrisitesinde, sırasıyla 152,50 kPa ve 189,00 kPa olarak elde edilmiştir.

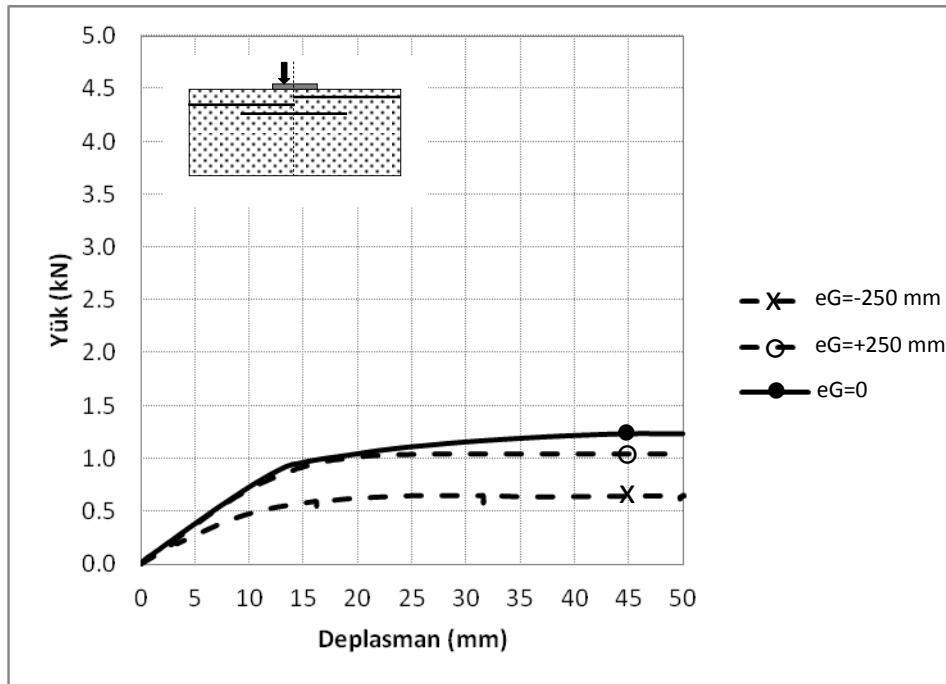
5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri için $b=500$ mm, $b=550$ mm, $b=600$ mm, $b=650$ mm ve $b=700$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, 0 donatı yerleştirilmesi düzeni ile ilişkilendirildiği grafikler Şekil 4.40 ve 4.41'de yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.9'da, 0 donatı yerleştirme düzeni etkisinin araştırıldığı analizlerden 50 mm oturmaya karşılık gelen Q , q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



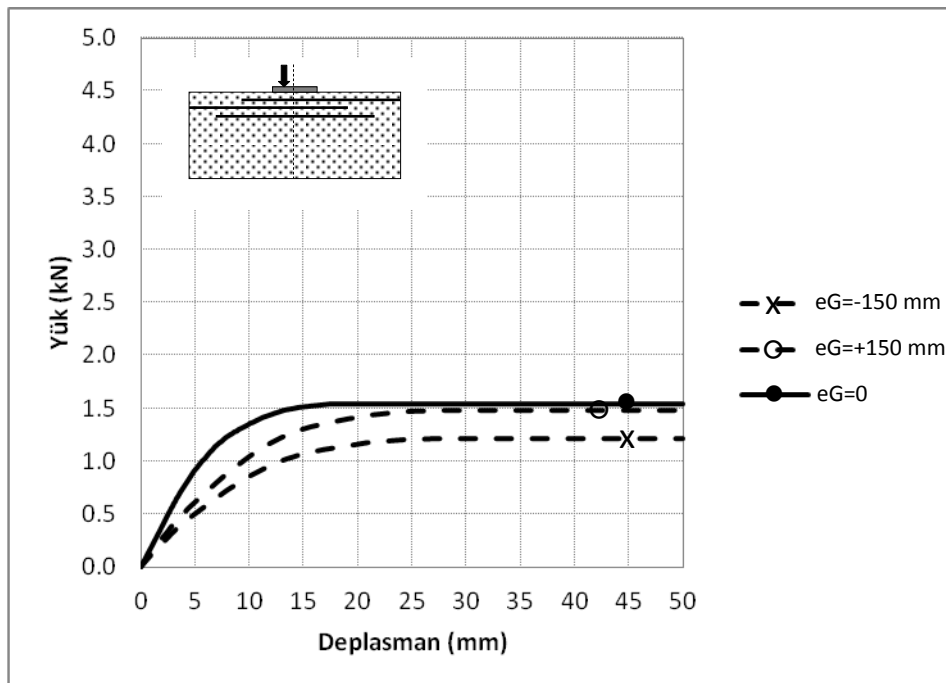
Şekil 4.36. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)



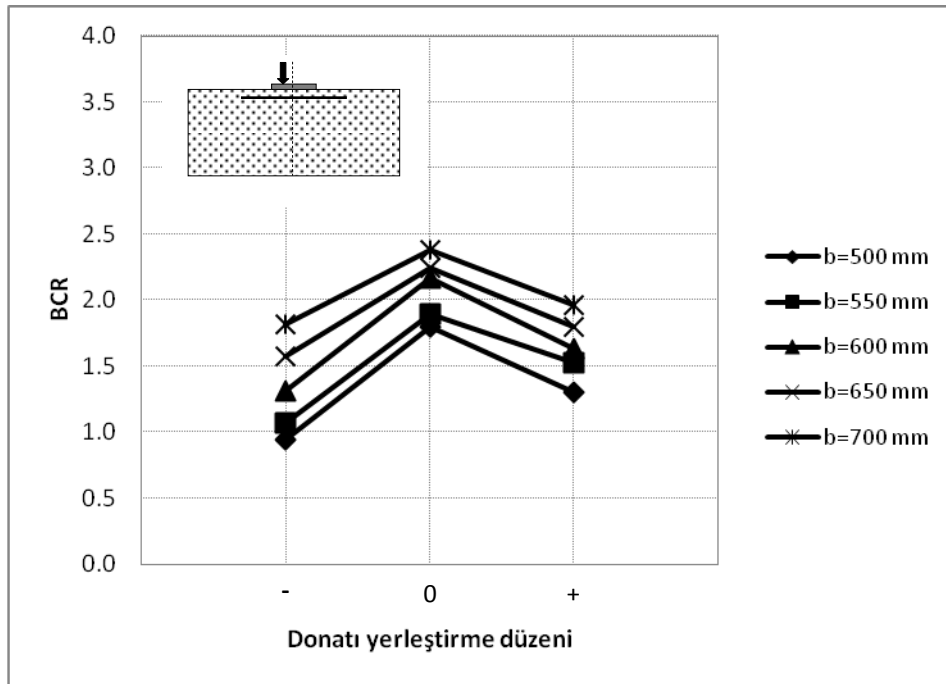
Şekil 4.37. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=5$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)



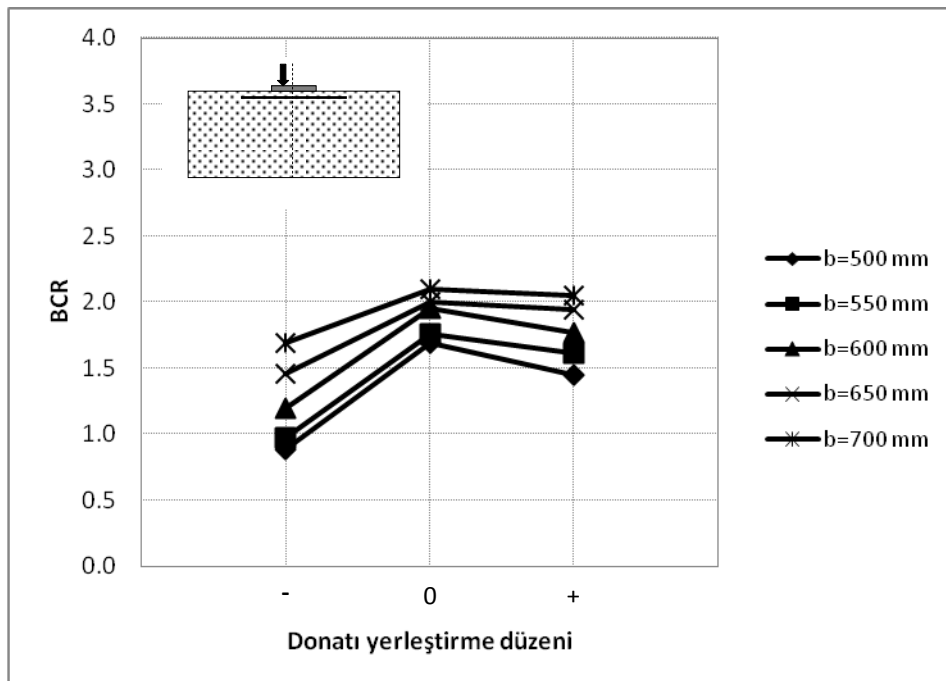
Şekil 4.38. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=500$ mm ve $N=1$)



Şekil 4.39. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında sıfır geogrid yerleştirme düzeninin ($e_G=0$) etkisi ($e_L=10$ mm, $b=700$ mm ve $N=1$)



Şekil 4.40. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)



Şekil 4.41. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50 mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (e_G etkisi)

Çizelge 4.9. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları ($e_G=0$ etkisi, BCR değerleri)

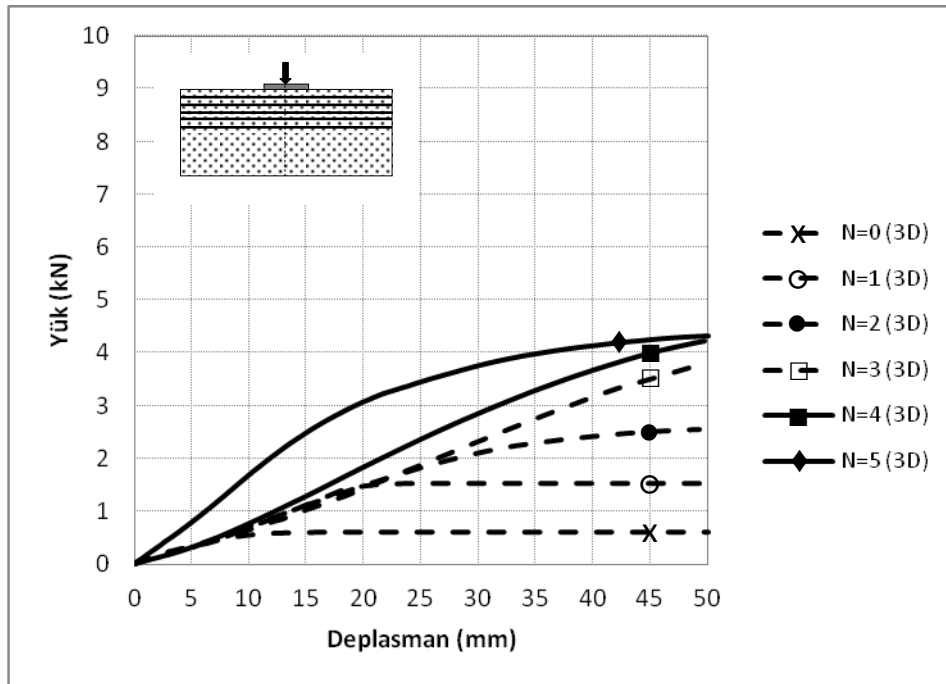
Yüklem Tipi	b (mm)	N	e_G (mm)	Q (kN)	Q _u (kPa)	BCR
$e_L=5$ mm	500	1	0	1,45	162,00	1,80
	550			1,53	170,50	1,89
	600			1,77	196,00	2,17
	650			1,82	202,00	2,24
	700			1,93	215,00	2,38
$e_L=10$ mm	500	1	0	1,22	152,50	1,69
	550			1,27	158,00	1,76
	600			1,40	176,50	1,95
	650			1,43	180,00	2,00
	700			1,52	189,00	2,10

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, donatı yerleştirme düzenlerinde, en yüksek taşıma gücü, donatı merkezi ile yükün yakın olması nedeniyle, donatının tankın merkezi ve temel altında olması durumunda ($e_G=0$) elde edilmiştir.

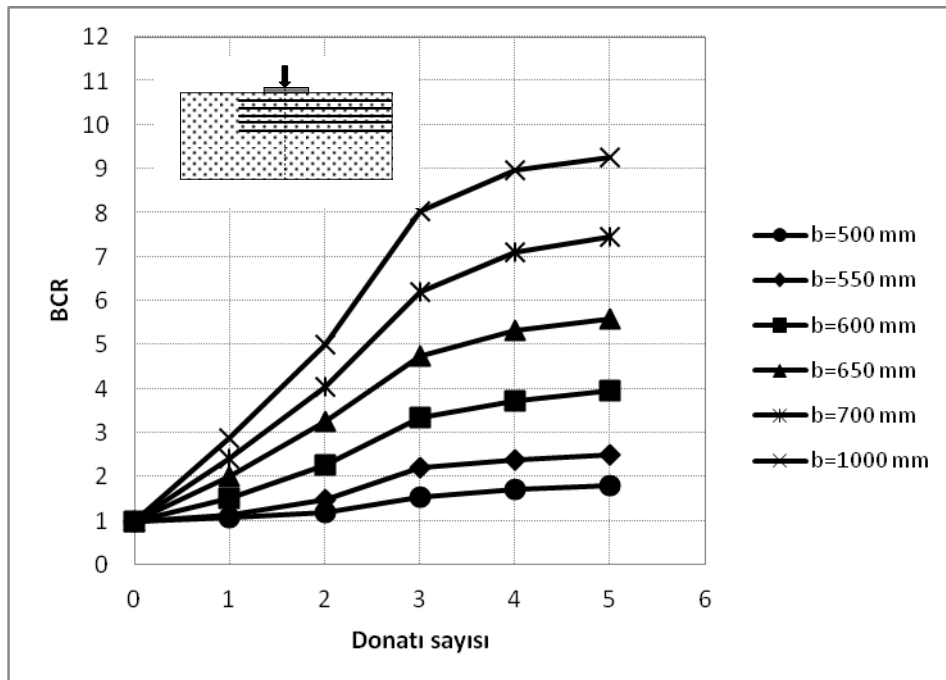
4.6.2. Donatı sayısının (N) etkisi

Donatı sayısının taşıma gücü ve oturma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 1, 2 ve 3 tabaka donatı sayıları deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal analizlerin devamında 0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri kullanılarak N=4 ve N=5 durumları da incelenmiştir. Bu yük eksantrisiteleri için $b=1000$ mm durumunda elde edilen tipik yük-deplasman eğrileri sırasıyla Şekil 4.42-4.43 ve 4.44'te yer almaktadır. Oturma oranı (s/B) %50 olarak esas alındığında $e_L=0$, $e_L=5$ mm ve $e_L=10$ mm ortamında N=4 için taşıma gücü değerleri sırasıyla 810,00 kPa, 587,00 kPa ve 528,00 kPa olarak elde edilirken, N=5 için sırasıyla 832,50 kPa, 603,00 kPa ve 545,00 kPa olarak elde edilmiştir.

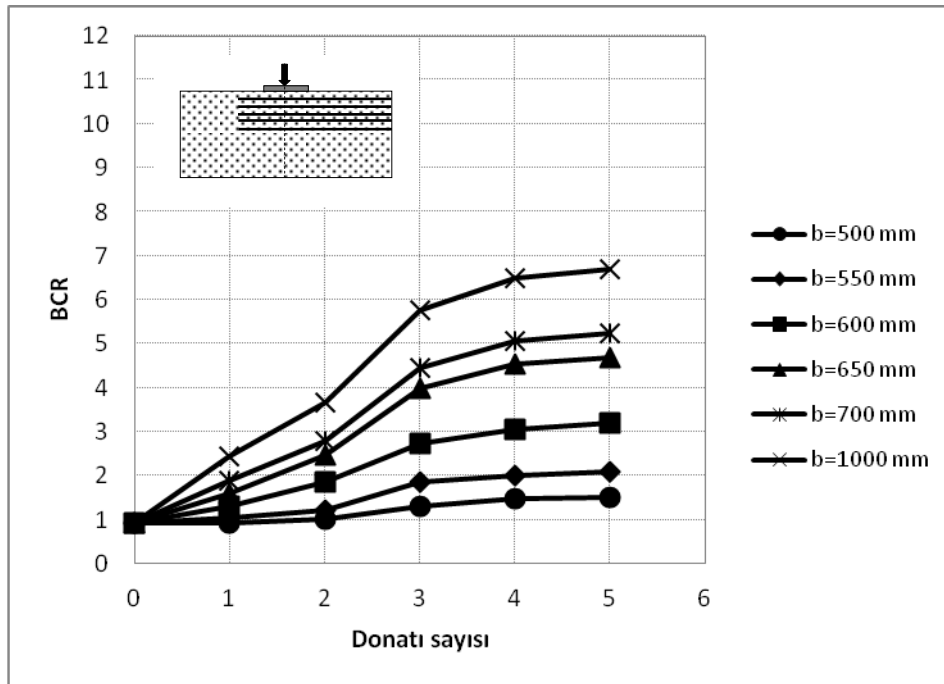
0, 5 mm ve 10 mm yük eksantrisiteleri için $b=1000$ mm, $b=700$ mm, $b=650$ mm, $b=600$ mm, $b=550$ mm ve $b=500$ mm olarak değiştiği ve taşıma kapasitesi oranının, donatı sayısı ile ilişkilendirildiği grafikler Şekil 4.45-4.46 ve 4.47'de yer almaktadır ($s/B=\%50$ oranında). Çizelge 4.10'da, 4 ve 5 tabaka donatı etkisinin araştırıldığı analizlerden 50 mm oturmaya karşılık gelen Q, q_u ve BCR değerleri sunulmuştur.



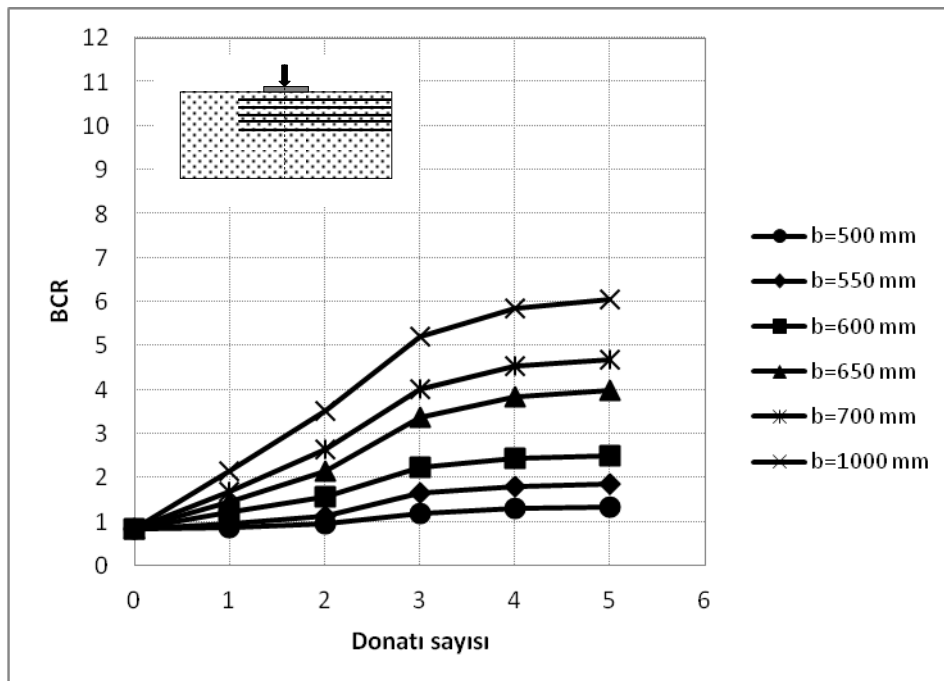
Şekil 4.44. Üç boyutlu sayısal analiz ortamında geogrid sayısının (N=4 ve N=5) etkisi ($e_L=10$ mm ve $b=1000$ mm)



Şekil 4.45. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=0$ yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 4.46. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=5$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)



Şekil 4.47. Üç boyutlu sayısal analizde $e_L=10$ mm yükleme ortamında 50mm deplasman için taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri (N etkisi)

Çizelge 4.10. Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N=4 ve N=5 etkisi, BCR değerleri)

Yükleme Tipi	b (mm)	N	e _G (mm)	Q (kN)	Q _u (kPa)	BCR
e _L =0	500	1	-	0,97	97,00	1,07
		2	-	1,08	108,00	1,20
		3	-	1,42	142,00	1,55
		4	-	1,57	157,00	1,74
		5	-	1,62	162,00	1,82
	550	4	-	2,17	217,00	2,41
		5	-	2,25	225,00	2,50
	600	4	-	3,4	340,00	3,76
		5	-	3,35	355,50	3,97
	650	4	-	4,83	483,00	5,36
		5	-	5,05	505,00	5,60
	700	1	-	2,17	217,00	2,41
		2	-	3,65	365,00	4,05
		3	-	5,58	558,00	6,20
		4	-	6,42	642,00	7,13
		5	-	6,70	670,50	7,43
	1000	4	-	8,10	810,00	9,00
		5	-	8,32	832,50	9,25

Çizelge 4.10. (Devam) Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N=4 ve N=5 etkisi, BCR değerleri)

e _L =5 mm	500	1	-250	0,77	85,00	0,94
			+250	1,05	116,50	1,30
		2	-250	0,83	92,00	1,02
			+250	1,23	137,50	1,52
		3	-250	1,07	118,50	1,31
			+250	1,38	153,00	1,70
		4	-250	1,20	133,00	1,48
			+250	1,53	170,00	1,88
	550	5	-250	1,23	137,00	1,52
			+250	1,57	175,00	1,94
		4	-225	1,65	183,00	2,03
			+225	2,05	228,00	2,53
		5	-225	1,72	190,00	2,10
			+225	2,12	235,00	2,61
	600	4	-200	2,47	275,50	3,06
			+200	2,82	313,00	3,47
		5	-200	2,60	288,00	3,18
			+200	2,95	328,00	3,64
	650	4	-175	3,70	410,00	4,55
			+175	3,88	432,00	4,80
		5	-175	3,80	423,00	4,71
			+175	4,07	453,00	5,03
	700	1	-150	1,48	164,00	1,82
			+150	1,60	177,00	1,96
		2	-150	2,27	252,00	2,80
			+150	2,67	297,00	3,30
		3	-150	3,60	401,00	4,45
			+150	3,85	427,00	4,74
		4	-150	4,12	457,00	5,07
			+150	4,37	485,00	5,38
		5	-150	4,25	472,50	5,25
			+150	4,52	502,00	5,57
	1000	4	-	5,28	587,00	6,52
		5	-	5,42	603,00	6,73

Çizelge 4.10. (Devam) Üç boyutlu sayısal analiz sonuçları (N=4 ve N=5 etkisi, BCR değerleri)

e _L =10 mm	500	1	-250	0,65	80,00	0,88
			+250	1,05	131,00	1,45
		2	-250	0,70	87,00	0,96
			+250	1,25	157,00	1,74
		3	-250	0,85	107,00	1,18
			+250	1,45	180,00	2,00
		4	-250	0,93	116,50	1,30
			+250	1,58	197,50	2,19
	550	5	-250	0,98	123,50	1,37
			+250	1,67	210,00	2,33
		4	-225	1,30	163,50	1,81
			+225	2,10	263,00	2,92
		5	-225	1,33	167,00	1,84
			+225	2,17	270,00	3,00
	600	4	-200	1,75	220,00	2,44
			+200	2,72	340,00	3,78
		5	-200	1,80	227,00	2,52
			+200	2,82	352,00	3,91
	650	4	-175	2,77	345,50	3,83
			+175	3,85	482,00	5,35
		5	-175	2,90	362,00	4,01
			+175	4,05	505,00	5,61
	700	1	-150	1,22	152,00	1,69
			+150	1,47	184,50	2,05
		2	-150	1,90	238,50	2,65
			+150	2,47	309,00	3,43
		3	-150	2,90	362,50	4,02
			+150	3,65	456,00	5,06
		4	-150	3,27	409,00	4,54
			+150	4,07	508,00	5,64
		5	-150	3,38	423,00	4,70
			+150	4,22	525,00	5,83
	1000	4	-	4,22	528,00	5,86
		5	-	4,35	545,00	6,05

Elde edilen BCR değerlerine dikkat edildiğinde, 4 ve 5 tabaka donatı kullanıldığı zaman, taşıma gücü artışın önemli bir mertebede olmadığı anlaşılmaktadır. Taşıma gücü artışın, $N=3$ 'e kadar düzenli ve daha dikkat edici bir derecede, ancak bu tabaka sayısından sonra, taşıma gücü artışın daha önceki artışlara göre, düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Giriş

Geogrid donatı katkılı kum zeminler üzerine oturan eksantrik yüklü yüzeysel rijit kare temellerin taşıma gücü deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar laboratuvar ortamında, sayısal analiz çalışmaları da sonlu elemanlar yöntemine dayalı 3D PLAXIS programı vasıtasıyla yapılmıştır. Çalışmalar sırasında yük eksantrisitesi, yerleştirme düzenine bağlı olarak donatı uzunluğu ve donatı sayısı gibi parametrelerin taşıma gücü davranışı üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

5.2. Literatür Araştırılması

Konu ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde;

- Deneysel çalışmaların genelde eksenel yükleme şartlarında ve şerit temeller kullanılarak yapıldığı,
- Çift eksantrik yükleme uygulanmadığı,
- Geogrid donatı yerleştirme düzeni üzerinde yapılan araştırmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu ve efektif donatı uzunluğu belirlenirken donatı yerleşim düzeninin gözönüne alınmadığı ve
- Deneysel çalışmalarla birlikte özellikle üç boyutlu kapsamlı sayısal analizlerin sunulduğu çalışmaların yeterli sayıda olmadığı anlaşılmıştır.

5.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda 100 mm genişliğine sahip rijit kare model temel kullanılarak laboratuvar deneyleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Donatısız kum zeminde yapılan deneylerde, temel genişliğinin %50'sine karşılık gelen oturma değerleri dikkate alındığında,

eksenel yükleme altında nihai taşıma gücü 80 kPa olarak elde edilmiştir. Artan eksantrisite ile birlikte, beklenildiği üzere, nihai taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir.

- Meyerhof (1963) ve Hansen (1970) tarafından önerildiği gibi, eksantrisite etkisi temel genişliğine etkitilerek, taşıma gücü faktörleri ve efektif içsel sürtünme açıları her deney için geri hesaplandığında, tutarlı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Elde edilen içsel sürtünme açılarının, kesme kutusunda ölçülenlere göre yaklaşık 5° büyük olması, temel boyut etkisi ile ilişkilendirilmiştir.
- Geogrid ile güçlendirme, yükleme başlangıcından itibaren tüm deplasman değerleri için taşıma gücünde artış sağlamaktadır.
- Donatı uzunluğu (b) etkisinin araştırıldığı deneylerde, yük eksantrisitesinden bağımsız olarak, b arttıkça taşıma gücü oranı (BCR) değerinin arttığı gözlenmiştir. Geogridin yük eksantrisitesine göre ters tarafta bulunduğu deneylerde (- eksantrisite), ankraj boyu 1,0B değerine ulaşana dek ($b = 650$ mm) BCR'nin artan hızla yükseldiği, (+) eksantrisite durumunda ise BCR artışının azalan eğim ile seyrettiği gözlenmiştir. Bu durum, davranışın daha detaylı incelenmesi için sonlu eleman analizlerini gerekli hale getirmiştir.
- Donatı sayısı etkisinin araştırıldığı deneylerde, $N=3$ değerine dek, BCR'nin eksantrisiteden bağımsız olarak, doğrusala yakın biçimde arttığı görülmüştür. Yine bu durum, davranışın daha detaylı incelenmesi için sonlu eleman analizlerini gerekli hale getirmiştir.
- Yüzeysel temeller için, donatı eksantrisitesi ve geogrid tabaka derinliğine bağlı olarak, eksantrik yükleme altında taşıma gücünde oluşan değişimi ifade eden bir ilişki elde edilmiştir.

5.4. Sayısal Analiz Çalışmalar

Plaxis 3D bilgisayar programı vasıtasıyla yapılan Sayısal analiz çalışmalarında, 100 mm genişliğinde kare model temel kullanarak modellemeler yapılmış ve şu sonuçlara varılmıştır:

- 3-boyutlu sonlu eleman analizlerinin, geogrid donatılı zemin üzerindeki yüzeysel temel davranışını genel anlamda başarılı biçimde benzeştirebildiği anlaşılmıştır.
- Geogrid yerleştirme yönünden bağımsız olarak, efektif geogrid ankraj boyu $1,0 - 1,5B$ aralığında elde edilmiştir. Bu değerden sonra BCR artmaya devam etmekte, fakat artış hızı belirgin ölçüde düşmektedir.
- (+) eksantrisite yerleşim durumunda ve artan yük eksantrisitesi ile fark azalsa da, aynı uzunluktaki donatı simetrik yerleştirildiğinde katkısı, asimetrik yerleştirilene oranla daha fazla olmaktadır. Bu durum, eksantrik yükleme durumunda dahi, temelin her iki yönünde ankraj boyu olmasının faydasını ortaya koymaktadır.
- Sayısal analizlerde, optimum donatı sayısı, donatı yerleşim düzeninden bağımsız olarak, 3 ile 4 arasında belirlenmiştir. Kullanılan donatı aralıkları sebebi ile bu durum, $1,3B$ ile $1,8B$ arasında değişen güçlendirme bölgesi derinliğine karşılık gelmektedir.

5.5. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışma esas alınarak, gelecekteki çalışmalar için aşağıdaki önermeler sunulmaktadır:

- Bu çalışmada laboratuvar deneyleri belli bir sıklık derecesinde gerçekleştirilmiştir. Farklı rölatif sıklıklar kullanılarak benzer laboratuvar deneyleri yapılabilir.
- Bu çalışmada kare temel plakaları kullanılmıştır. Farklı tiplerde (Dairesel, Dikdörtgen, Şerit, Ring) temeller kullanılarak benzer laboratuvar deneyleri yapılabilir.
- Boyut etkisinin araştırılması amacıyla, benzer deneyler, daha büyük boyutta temeller ile tekrarlanabilir.

- Bu çalışmada temelin zemin yüzeyinde yer almasıyla yapılmıştır. Farklı temel derinlikleri kullanılarak benzer laboratuvar deneyleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Akinmusuru, J.O. and Akinbolade, J.A., "Stability of loading footins on reinforced Soil", ***Journal of Geotechnical Engineering***, (107): 819-827 (1981).
2. Binquet, J. and Lee, K.L., "Bearing capacity tests on reinforced earth slabs", ***Journal of Geotechnical Engineering Division***, 101 (12): 1257-1276 (1975b).
3. Chen, Q., "An experimental study on characteristics and behavior of reinforced soil foundation" PhD Dissertation, ***Louisiana State University***, Baton Rouge (2007).
4. Das, B.M. and Omar, M.T., "The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement" ***Geotech. Geologic. Eng.***, 12: 133-141 (1994).
5. El Sawwaf, M., "Experimental and numerical study of eccentrically loaded strip footings resting on reinforced sand", ***Journal of Geeotechnical and Geoenviromental Engineering***, 135 (10): 1509-1517 (2009).
6. El Sawwaf, M., "Behavior of strip footing on geogrid-reinforced sand over a soft clay slope" ***Geotext. Geomember.***, 25: 50-60 (2007).
7. Guido, V.A., Chang D.K. and Sweeney, M.A., "Comparison of geogrid and geotextile reinforced earth slabs" ***Can. Geotech. J.***, 23: 435-440 (1986).
8. Hansen, J.B., "A revised and extended formula for bearing capacity", ***Danish Geotechnical Institue***, Copenhagen, (28): 5-11 (1970).
9. Huang, C.C. and Tatsuoka, K. "Bearing capacity of reinforced horizontal sandy ground" ***Geotext. Geomember.***, (9): 51-82 (1990).
10. Jawdat, K. Al-Tirkity, Akram, H. Al-Taay., "Bearing capacity of eccentrically loaded strip footing on geogrid reinforced sand" ***Tikrit Journal of Engineering Sciences***, 14 (1): 14-22 (2012).
11. Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E., and Yen, S.C., "The bearing capacity of a strip foundation on geogrid reinforced sand" ***Geotext, Geomember.***, 12 (4): 351-361 (1993).
12. Kumar, A. and Saran, S., "Closely spaced footings on geogrid-reinforced sand", ***Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering***, 129 (7): 660-664 (2003).
13. Mahiyar, H. and Patel, A.N., "Analysis of angle shaped footing under eccentric loading" ***J. Geotech. Geoenvirom. Eng.***, 126 (12): 1151- 1156 (2000).

14. Meyerhof, G.G., "The ultimate bearing capacity of foundations" **Geotechnique**, (2): 301-332, (1951).
15. Meyerhof, G.G., "The ultimate bearing capacity of foundations on slopes", **in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London, England**, 1: 384 (1957).
16. Meyerhof, G.G. and Hanna, A.M., "Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined load", **Canadian Geotechnical Journal**, (15): 565-572 (1978).
17. Michalowski, R.L., "Limit loads on reinforced foundation soils", **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 130 (4): 381-390 (2004).
18. Mosa, J. Al-Mosawe, A'mal, A. Al-saidi, Faris, W. Jawad., "Bearing capacity of square footing on geogrid-reinforced loose sand to resist eccentric load" **Journal of Engineering**, (2): 4990-4998 (2010).
19. Omar, M., Das, B., Puri, V. and Yen, S., " Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with geogrid reinforcement" **Can. Geotech. J.** 30: 545-549 (1993).
20. Örnek, M., "Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi" Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Adana, 14-15 (2009).
21. Patra, C.R., Das, B.M, Bhoi, M. and Shin, E.C., "Eccentrically loaded strip foundation on geogrid - reinforced sand" **Geotext. Geomember.**, 24 (4): 254-259 (2006).
22. Prakash, S., and Saran, S., "Bearing capacity of eccentrically loaded footings" **J. Soil Mech. Found. Div.**, 97 (1): 95-118 (1971).
23. Purkayastha, R.D. and Char, R.A., "Stability analysis for eccentrically loaded footings" **J. Geotech. Engrg. Div.**, 103 (6): 647-651 (1977).
24. Shin, E.C. and Das, B.M., "Experimental study of bearing capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand" **Geosyn thet. Lnt.**, 7 (1): 59-71 (2000).
25. Shin, E.C., Das, B.M., Lee, E.S. and atalar, C., "Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced sand" **Geotech. Geologic. Eng.**, 20: 169-180 (2002).
26. Terzaghi, K., "Theoretical Soil Mechanics" **Wiley**, New York, 510 (1943).
27. Vesic, A.S., "Analysis of ultimate loads of shallow foundations", **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 99 (SM1): 45-73 (1973).

EKLER

EK-1. Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.1. Deney düzeneği

EK-1. (Devam) Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.2. Eksenel yükleme

EK-1. (Devam) Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.3. Eksantrik yükleme

EK-1. (Devam) Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.4. Geogridin farklı uzunluklarda serilmesi

EK-1. (Devam) Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.5. Geogridin farklı derinliklerde serilmesi

EK-1. (Devam) Laboratuvar Çalışma Görüntüleri



Resim 1.6. Geogridin farklı eksantrisitelerde serilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GHOZATİ, Seyed Farshad
 Uyuğu : İRAN
 Doğum tarihi ve yeri : 19.07.1987 Jolfa
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0098 (411) 380 66 03
 Cep telefon : 0 (541) 437 10 83
 Faks : -
 e-mail : f.ghozati@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnş. Müh. Bölümü	2013
Lisans	Tebriz Azad Üniversitesi / İnş. Müh. Bölümü	2010
Ön lisans	Şebister Azad Üniversitesi / İnş. Müh. Bölümü	2008
Lise	Ellame-ye-Emini	2006

Yabancı Dil

Türkçe, İngilizce

Hobiler

Futbol, Fitnes, Otomobil dünyası, İnternet dünyası