

**GEOSENTETİK DONATILI KUM ZEMİNE
OTURAN ŞERİT TEMELLERİN ANALİZİ**

Elif ÇİÇEK

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Temel YETİMOĞLU
Prof. Dr. F. Erol GÜLER
2011
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**GEOSENTETİK DONATILI KUM ZEMİNE OTURAN
ŞERİT TEMELLERİN ANALİZİ**

Elif ÇİÇEK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

Geosentetik Donatılı Kum Zemine Oturan Şerit Temellerin Analizi

Prof. Dr. Temel YETİMOĞLU ve Prof. Dr. F. Erol GÜLER danışmanlığında, Elif ÇİÇEK tarafından hazırlanan bu çalışma 03/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (7./7.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. S. Feyza ÇİNİCİOĞLU

İmza :

Üye :Prof. Dr. F. Erol GÜLER

İmza :

Üye :Prof. Dr. Adnan ÖZEL

İmza :

Üye :Prof. Dr. Temel YETİMOĞLU

İmza :

Üye :Prof. Dr. Suat AKBULUT

İmza :

Üye :Doç Dr. İ. Hakkı AKSOY

İmza :

Üye :Doç. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

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

ÖZET

Doktora Tezi

GEOSENTETİK DONATILI KUM ZEMİNE OTURAN ŞERİT TEMELLERİN ANALİZİ

Elif ÇİÇEK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof Dr. Temel YETİMOĞLU
Ortak Danışman: Prof. Dr. F. Erol GÜLER

Zeminleri güçlendirmek amacıyla geosentetik malzemelerin kullanılması dünya genelinde ve Türkiye’de her geçen gün hızla artmaktadır. Bu çalışmanın amacı donatısız ve geosentetik donatılı orta sıkılıktaki bir kum zemine oturan yüzeysel bir şerit temelin yük-oturma-göçme davranışının bir seri laboratuvar plaka yükleme deneyi ve sonlu elemanlar yöntemi ile araştırılmasıdır. Deneylerde, geosentetik donatı olarak bir geotekstil ve üç farklı geogrid malzemesi kullanılmıştır. Her bir donatı için donatı konfigürasyon parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, donatısız ve geotekstil donatılı kuma oturan şerit temelin merkezi altında farklı derinliklerde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmüştür. Deneysel bulgular yürütülen sonlu elemanlar analizi ve bazı teorik model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda, donatı cinsinin ve konfigürasyon parametrelerinin göçme modunu etkilediği gözlenmiştir. Deney sonuçlarından farklı oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasitesi oranları (BCR) hesaplanmıştır. Her donatı cinsi ve konfigürasyonu için farklı s/B-BCR davranışı gözlenmiştir. Ayrıca, temel plakı oturmasının artmasıyla sistemin davranış karakterleri de değişmiştir. Temel plakası altında ortalama 2B derinliğinin donatılandırılması genellikle taşıma gücü değerini artırmıştır. Sistemdeki donatı sayısının artması ile de geogrid ağ aralığı etkisinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, ağ aralığının taşıma gücüne etkisinin, farklı donatı parametreleri için değişebildiği görülmüştür. Donatı konfigürasyonu parametreleri, ilave düşey gerilme-derinlik davranışları üzerinde de etkili olmuştur. Donatılı zonda ilave düşey zemin gerilmeleri derinlikle tedrici olmayan bir değişim sergilemiş diğer bir ifadeyle ilave düşey zemin gerilmelerinde ani değişimler gözlenmiştir.

2011, 418 sayfa

Anahtar Kelimeler: Donatılı zemin, geogrid, geotekstil, düşey gerilme, şerit temeller, taşıma gücü, sonlu elemanlar

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

ANALYSIS OF STRIP FOOTINGS ON GEOSYNTHETIC REINFORCED SAND

Elif ÇİÇEK

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof Dr. Temel YETİMOĞLU
Co-Supervisor: Prof.Dr. F. Erol GÜLER

The usage of geosynthetic materials to improve soil behavior is increasing all over the world and Turkey. This study was undertaken to investigate the load-settlement-failure behavior of a shallow strip footing on unreinforced and reinforced a medium dense sand by performing laboratory plate load tests as well as finite element analyses. One type geotextile and three different type geogrid plates were used as reinforcement in the experiments. The effect of reinforcement configuration parameters on the bearing capacity was investigated for each reinforcement inclusion. Also, the vertical stresses were measured at different depths under the center of strip footing on unreinforced and geotextile reinforced sand. Experimental results were compared with those of theoretical and finite element solutions.

The test results indicated that reinforcement type and reinforcement configuration parameters affected the failure mode. The bearing capacity ratios (BCR) were calculated for different settlement ratios (s/B) using the experimental results. The different relationships between s/B and BCR were found for each reinforcement type and configuration parameters. In addition, the character of system behavior was changed with the amount of footing settlement. Generally, the effective depth of reinforcement zone was around $2B$ below the base of the footing. When the reinforcement number was increased, the effect of the geogrid mesh size on the bearing capacity could be more pronounced. The reinforcement configuration could also affected the vertical stress significantly. The vertical stress increments did not change gradually with the depth within the reinforced zone.

2011, 418 sayfa

Keywords: Reinforced soil, geogrid, geotextile, vertical stress, strip footings, bearing capacity, finite elements

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgi ve deneyimleriyle bana verdikleri destek ve sağladıkları katkılar nedeniyle tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Temel YETİMOĞLU ile ortak danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol GÜLER'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sırasında TÜBİTAK Yurtiçi Doktora Burs Programı ile desteklenilmiştir. Bu destekleri nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmanın teorik ve deneysel bölümleri Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yürütülmüştür. Bu süreçte yardımlarından ötürü Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Ders aşamasında deneyim ve bilgilerinden yararlandığım Atatürk Üniversitesi ile İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine de ayrıca teşekkür ederim.

Önemli eleştiri ve görüşleriyle bu tezin niteliğinin artırılmasında ciddi katkıları bulunan Tez İzleme Komitesi ile Tez Jürisi Üyelerine ise teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu çalışmanın değişik aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ergün TOĞROL'a ve Sayın Doç. Dr. İ. Hakkı AKSOY'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında beni, maddi ve manevi olarak destekleyen çok değerli aileme de sonsuz teşekkür ederim.

Elif ÇİÇEK

Mayıs 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxxiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Deneysel Çalışmaların Kaynak Özeti	3
2.1.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar	4
2.1.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar	11
2.2. Teorik Çalışmaların Kaynak Özeti	14
2.2.1. Analitik çalışmalar	15
2.2.2. Nümerik çalışmalar	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM	43
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Materyal ve Yöntem	43
3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan materyal	43
3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan yöntem	67
3.2. Teorik Çalışmada Kullanılan Materyal ve Yöntem	72
3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili genel bilgiler	72
3.2.2. Bilgisayar yazılımının özellikleri	75
3.2.3. Analizlerde kullanılan materyal ve yöntem	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	84
4.1. Donatısız Zemindeki Deney Sonuçları	84
4.2. Donatılı Zemindeki Deney Sonuçları	90
4.2.1. Geotekstil donatılı zeminin deney sonuçları	91
4.2.2. Geogrid donatılı zeminin deney sonuçları	143
4.2.3. Geotekstil ve geogrid deney sonuçlarının karşılaştırılması ve tartışma	202
4.3. Zemin İçinde Oluşan İlave Düşey Gerilmeler	245

4.3.1. Donatısız kumda ilave düşey gerilme ölçümleri	246
4.3.2. Donatılı kumda ilave düşey gerilme ölçümleri.....	253
4.4. Teorik Analizler ve Deneysel Sonuçlar ile Karşılaştırılması	367
4.4.1. Donatısız kum zemindeki analizler	367
4.4.2. Donatılı kum zemin analizleri	368
4.4.3. Zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme değişimleri	375
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	410
KAYNAKLAR.....	415
ÖZGEÇMİŞ.....	419

SİMGELER DİZİNİ

ϕ	Kayma mukavemet açısı
ϕ_{μ}	Donatı-zemin sürtünme açısı
B	Temel genişliği
b	Kayma bloğu yüksekliği
BCR	Taşıma kapasitesi oranı
BCR_{max}	Maksimum taşıma kapasitesi oranı
c	Kohezyon
c_R	İzafi yada eşdeğer kohezyon
d	Donatılı bölge derinliği
D_{10}	Efektif tane çapı
Df	Temel derinliği
Dr	Rölatif sıkılık
E	Young modülü
e	Zeminin boşluk oranı
e_{max}, e_{min}	Zeminin en gevşek ve en sıkı durumlarındaki boşluk oranları
f	Zemin ile donatı arasındaki sürtünme katsayısı
F_t ve F_b	Donatısız durumdaki düşey yönlü kuvvetler
F_{tr} ve F_{br}	Donatılı durumdaki düşey yönlü kuvvetler
G	Özgül ağırlık
GS	Güvenlik katsayısı
GS_f	Donatı sıyrılmasına karşı donatı sayısı
GS_y	Donatı kopmasına karşı güvenlik sayısı
G_y	Donatı malzemesinin akma ve kopma dayanımı
h	Donatı düşey aralığı
$(h/B)_{opt}$	Optimum donatı aralığı
I_p	Temel şekline bağlı tesir katsayısı
J	Donatı eksenel rijitliği
k	Rijitlik matrisi
L	Donatı genişliği
$(L/B)_{opt}$	Optimum donatı genişliği
m	Gerilmeye bağlı rijitlik
M	z/B oranına bağlı katsayı
N	Toplam donatı tabakası sayısı
N_c, N_q, N_{γ}	Taşıma kapasitesi katsayıları
N_{opt}	Optimum donatı sayısı
p^{ref}	Referans rijitlik modülü
q	Temele uygulanan ortalama taban basıncı

q_u	Donatısız durumdaki taban basıncı
q_{u1}	Zeminin donatısız durumdaki ilk kırılma yükü
q_{u2}	Zeminin donatısız durumdaki ikinci kırılma yükü
R_f	Göçme oranı
R_{inter}	Mukavemet azaltma faktörü
s	Temel plakasının yaptığı düşey yöndeki oturma
s/B	Oturma oranı
SE	Sonlu Elemanlar
S_r	Donatılı modeldeki kayma kuvveti
t	Donatı kalınlığı
T	Donatı tabakasındaki çekme kuvveti
T_f	Donatı-zemin arasında mobilize olan sürtünme direnci
u	İlk donatı tabakasının temel tabanına olan uzaklığı
$(u/B)_{opt}$	Optimum ilk donatı derinliği
v_1, v_2, v_n	Düğüm noktalarındaki bilinmeyen yer değiştirmeler
z	Basınç sensörünün temel tabanına olan düşey uzaklığı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı,
$\Delta\sigma$	İlave düşey gerilme değişimi
τ_{xz}	Kayma gerilmesi
ν	Poisson oranı
ψ	Dilatasyon açısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Laboratuvar deney modeli (Chen 2007)	13
Şekil 2.2. Donatılı zemin üzerindeki temellerin göçme durumları	16
Şekil 2.3. Şerit temel altında gerilme dağılışı ve göçme mekanizması	17
Şekil 2.4. Donatılı zeminde kuvvet bileşenleri (Binqet and Lee 1975b)	19
Şekil 2.5. Göçme sistemi ve kuvvet bileşenleri	21
Şekil 2.6. Donatılı kumda iki göçme modu (Huang and Tatsuoka 1990)	24
Şekil 2.7. Donatılı zemindeki kayma yüzeyleri (Huang and Meng 1997)	26
Şekil 2.8. Donatılı temel zeminindeki olası göçme modelleri (Wayne <i>et al.</i> 1998)	29
Şekil 2.9. Yükleme sonrası donatılı zemin davranışı (Michalowski 2004)	32
Şekil 2.10. Yükleme sonrası donatılı tabakanın yaptığı davranış	32
Şekil 2.11. Göçme modları	34
Şekil 2.12. abc zemin kamasının serbest gövde diyagramı (Sharma <i>et al.</i> 2009)	35
Şekil 2.13. bcdg zemin kamasının serbest gövde diyagramı (Sharma <i>et al.</i> 2009)	36
Şekil 2.14. α_T 'nin zemin kayma açısı ϕ ile değişimi (Sharma <i>et al.</i> 2009)	37
Şekil 2.15. Kumda düşey oturma davranışı (Sharma <i>et al.</i> 2009)	39
Şekil 2.16. Kilde birim deformasyon davranışı (Sharma <i>et al.</i> 2009)	39
Şekil 2.17. Zeminlerde göçme şekilleri (Maharaj 2003)	41
Şekil 3.1. Şerit temel modeli	43
Şekil 3.2. Deney kasa modeli	44
Şekil 3.3. Kum boşaltma penceresi	44
Şekil 3.4. Yükleme Kriko Tablası	45
Şekil 3.5. Yükleme Kirişi	46
Şekil 3.6. Yağmurlama Hunisi; a. Sistemi Detayı, b. Üst gövde detayı	48
Şekil 3.7. Kum Dağıtma Sistemi	49
Şekil 3.8. Yükleme pompası	49
Şekil 3.9. Lazer Sensörü; a. Cihaz, b. Deney düzeneğine yerleştirilmesi	50
Şekil 3.10. LVDT – Model DDP-50A	50
Şekil 3.11. LVDT–Model SDP-100C	51
Şekil 3.12. Deneylerde kullanılan basınç sensör modeli	51

Şekil 3.13. Yük hücresi (Load cell)	52
Şekil 3.14. TML Computing Data Logger	52
Şekil 3.15. SC-2345 Konektör cihazı	53
Şekil 3.16. Sinyal Koşullayıcı.....	53
Şekil 3.17. VIllogger programı	54
Şekil 3.18. Güç Kaynağı	54
Şekil 3.19. Kum eleme makinesi	54
Şekil 3.20. Kumun kurutulması ve elenmesi	55
Şekil 3.21. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi	56
Şekil 3.22. Kum tanelerinin mikroskop görünümü.....	57
Şekil 3.23. Kum numune kesme kutusu deney sonucu.....	60
Şekil 3.24. Deney kumu kırılma zarfı	60
Şekil 3.25. Üç eksenli deney sonucu elde edilen gerilme-deformasyon eğrileri	61
Şekil 3.26. Üç eksenli basınç deney sonucu	61
Şekil 3.27. Geotekstil donatı.....	62
Şekil 3.28. Geotekstil donatı çekme mukavemeti.....	63
Şekil 3.29. Geogrid 1 donatısı.....	63
Şekil 3.30. Geogrid 2 donatısı.....	64
Şekil 3.31. Geogrid 3 donatısı.....	65
Şekil 3.32. Geogrid 3 donatısı detayı.....	66
Şekil 3.33. Deney düzeneğinin genel görünümü	66
Şekil 3.34. Donatı konfigürasyonu parametreleri	68
Şekil 3.35. Hava kompresörü.....	70
Şekil 3.36. Sensörlerin silikonlanması.....	71
Şekil 3.37. Basınç sensörü kalibrasyonu	71
Şekil 3.38. Zemin ortamındaki düğüm ve gerilme noktalarının oluşturulması	76
Şekil 3.39. Kiriş elemanları, a. 3 Düğümlü, b. 5 Düğümlü	77
Şekil 3.40. Geosentetik elemanlar, a. 3Düğümlü, b. 5 Düğümlü	77
Şekil 3.41. Ara yüzey elemanlarının zemin elemanlarına bağlanması	78
Şekil 3.42. Üç eksenli basınç deneyinde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi....	79
Şekil 3.43. Analiz ağ modeli.....	83
Şekil 4.1. Donatısız sistemin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	85

Şekil 4.2. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü	86
Şekil 4.3. Donatısız deney sonucu zeminde meydana gelen göçme şekli	86
Şekil 4.4. Yerel (bölgesel, local) kayma göçmesi (Das 2007).....	87
Şekil 4.5. Deneysel kum kayma yüzey görünümü (Jumikis, 1969)	88
Şekil 4.6. Sıkı zemin ve oturma durumu	89
Şekil 4.7. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($N=1$)	92
Şekil 4.8. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerine karşılık gelen derinlik oranı-taşıma kapasitesi ilişkisi ($N=1$, $L/B=3$)	93
Şekil 4.9. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerinde yapılan deney sonucu oluşan oturma yüzeyleri	94
Şekil 4.10. Değişik ilk donatı derinliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=2$)	95
Şekil 4.11. Değişik ilk donatı derinliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=3$)	95
Şekil 4.12. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=2$)	96
Şekil 4.13. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=3$)	96
Şekil 4.14. $N=2$ donatılı kumda yapılan deney sonucu oluşan oturma profili ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	98
Şekil 4.15. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=2$)	100
Şekil 4.16. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=3$)	100
Şekil 4.17. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=4$)	101
Şekil 4.18. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=5$)	101
Şekil 4.19. Küçük oturma oranları için farklı donatı aralıklarında donatı sayısına göre taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$).....	102
Şekil 4.20. Büyük oturma oranları için farklı donatı aralıklarında donatı sayısına göre taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$).....	103

Şekil 4.21. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=2$)	104
Şekil 4.22. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)	104
Şekil 4.23. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=4$)	105
Şekil 4.24. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)	105
Şekil 4.25. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan oturma göçme yüzeyleri ($N=4$; $h/B=0,2$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)	107
Şekil 4.26. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme yüzeyleri ($N=4$; $h/B=0,4$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)	107
Şekil 4.27. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme davranışı ($N=4$; $h/B=0,6$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)	108
Şekil 4.28. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme davranışı ($N=2$; $h/B=0,6$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)	108
Şekil 4.29. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$).....	109
Şekil 4.30. Farklı donatı genişliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	110
Şekil 4.31. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	112
Şekil 4.32. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	112
Şekil 4.33. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	113
Şekil 4.34. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	113
Şekil 4.35. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=7$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	114
Şekil 4.36. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$).....	116

Şekil 4.37. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)	116
Şekil 4.38. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$, $N=3$)	117
Şekil 4.39. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)	119
Şekil 4.40. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)	120
Şekil 4.41. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$, $N=2$)	121
Şekil 4.42. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$, $N=4$)	121
Şekil 4.43. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$)	123
Şekil 4.44. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$)	123
Şekil 4.45. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=5$, $N=1$)	124
Şekil 4.46. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=7$)	125
Şekil 4.47. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=7$; $h/B=0,4$)	126
Şekil 4.48. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$)	128
Şekil 4.49. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)	129
Şekil 4.50. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$, $N=2$)	129
Şekil 4.51. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$, $N=4$)	130
Şekil 4.52. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$)	131

Şekil 4.53. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)	132
Şekil 4.54. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$, $N=2$)	133
Şekil 4.55. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$, $N=4$)	133
Şekil 4.56. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $L/B=3$).....	135
Şekil 4.57. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,75$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	135
Şekil 4.58. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,75$; $L/B=3$, $h/B=0,4$; $N=3$)	136
Şekil 4.59. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$).....	137
Şekil 4.60. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	138
Şekil 4.61. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $L/B=3$).....	139
Şekil 4.62. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,175$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	140
Şekil 4.63. Tek tabaka donatılı deney sonucu temel plakasının üstten görünümü ($u/B=0,175$; $L/B=3$; $N=1$)	140
Şekil 4.64. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,175$; $L/B=3$, $N=1$)	141
Şekil 4.65. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,175$; $L/B=3$, $h/B=0,4$; $N=3$)	141
Şekil 4.66. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	145
Şekil 4.67. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	145
Şekil 4.68. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=1$, $N=5$) ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $N=5$).....	147

Şekil 4.69. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $N=5$)	147
Şekil 4.70. Düşeyde donatı aralığının değişik değerlerinde elde edilen ortalama basınç-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=3$).....	148
Şekil 4.71. Düşeyde donatı aralığının değişik değerlerinde elde edilen ortalama basınç-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=5$).....	149
Şekil 4.72. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)	149
Şekil 4.73. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)	150
Şekil 4.74. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	153
Şekil 4.75. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	153
Şekil 4.76. Küçük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	154
Şekil 4.77. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	154
Şekil 4.78. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $N=1$)	156
Şekil 4.79. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $N=1$)	156
Şekil 4.80. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	157
Şekil 4.81. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$).....	157
Şekil 4.82. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	158
Şekil 4.83. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$).....	158
Şekil 4.84. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$; $N=3$)	160

Şekil 4.85. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$)	160
Şekil 4.86. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	161
Şekil 4.87. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	162
Şekil 4.88. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$).....	163
Şekil 4.89. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$).....	164
Şekil 4.90. İlk oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$).....	164
Şekil 4.91. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$).....	165
Şekil 4.92. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$).....	167
Şekil 4.93. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)	167
Şekil 4.94. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$).....	168
Şekil 4.95. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	169
Şekil 4.96. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$).....	170
Şekil 4.97. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)	171
Şekil 4.98. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$; $N=3$)	172
Şekil 4.99. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$; $N=3$)	172
Şekil 4.100. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$).....	174

Şekil 4.101. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)	174
Şekil 4.102. İlk temel oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$).....	175
Şekil 4.103. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$).....	175
Şekil 4.104. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$).....	176
Şekil 4.105. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$)	177
Şekil 4.106. Donatılı deneyin gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $N=1$)	178
Şekil 4.107. Donatılı deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	178
Şekil 4.108. Donatılı deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=5$).....	179
Şekil 4.109. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	181
Şekil 4.110. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	181
Şekil 4.111. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	182
Şekil 4.112. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	182
Şekil 4.113. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)	184
Şekil 4.114. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,75$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$)	184
Şekil 4.115. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=3$)	186
Şekil 4.116. Farklı oturma oranlarında donatı aralığı oranı ile taşıma kapasitesi oranı değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)	186
Şekil 4.117. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$; $N=3$)	187
Şekil 4.118. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)	188

Şekil 4.119. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$; $N=3$)	188
Şekil 4.120. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	190
Şekil 4.121. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	190
Şekil 4.122. Taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	191
Şekil 4.123. Taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	191
Şekil 4.124. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)	193
Şekil 4.125. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)	193
Şekil 4.126. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)	195
Şekil 4.127. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	195
Şekil 4.128. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=1$)	196
Şekil 4.129. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=5$)	196
Şekil 4.130. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)	198
Şekil 4.131. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	198
Şekil 4.132. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)	199
Şekil 4.133. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)	200
Şekil 4.134. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$)	201

Şekil 4.135. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=5$)	201
Şekil 4.136. Küçük oturma oranlarındaki farklı ilk donatı derinliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)	203
Şekil 4.137. Büyük oturma oranlarındaki farklı ilk donatı derinliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)	204
Şekil 4. 138. $u/B=0,75$ ilk donatı derinliğinde farklı donatılı zeminler için ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)	206
Şekil 4.139. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)	208
Şekil 4.140. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)	209
Şekil 4.141. Farklı donatı düşey aralıklarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)	210
Şekil 4.142. Küçük oturmalarda farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$).....	213
Şekil 4.143. Büyük oturmalarda farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$).....	214
Şekil 4.144. Farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$; $s/B=0,05-0,2$).....	215
Şekil 4.145. Farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$; $s/B=0,25-0,4$).....	216
Şekil 4.146. Değişik donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$; $s/B=0,05-0,4$)	218
Şekil 4.147. Farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$)	221
Şekil 4.148. Farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$)	222
Şekil 4.149. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarındaki hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$).....	224
Şekil 4.150. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$).....	225

Şekil 4.151. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$).....	227
Şekil 4.152. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$).....	228
Şekil 4.153. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h=0,4B$).....	230
Şekil 4.154. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h=0,4B$).....	231
Şekil 4.155. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h=0,4B$).....	233
Şekil 4.156. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h=0,4B$).....	234
Şekil 4.157. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)	235
Şekil 4.158. Temel plakasının $s/B=0,4$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)	235
Şekil 4.159. Temel plakasının $s/B=0,6$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)	236
Şekil 4.160. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)	237
Şekil 4.161. Temel plakasının $s/B=0,4$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)	237
Şekil 4.162. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)	238
Şekil 4.163. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	239
Şekil 4.164. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	240
Şekil 4.165. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	240
Şekil 4.166. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)	241

Şekil 4.167. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	241
Şekil 4.168. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	242
Şekil 4.169. Geotekstil kullanılarak donatılandırılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$).....	243
Şekil 4.170. Geogrid 2 kullanılarak donatılandırılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$).....	244
Şekil 4.171. Geogrid 3 kullanılarak donatılandırılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$).....	244
Şekil 4.172. Donatısız deneylerde kullanılan düzenek	247
Şekil 4.173. Donatısız zeminde farklı derinliklerde ölçülen ilave gerilmeler	247
Şekil 4.174. Donatısız deney sonuçları ile Boussinesq teoreminin karşılaştırılması....	248
Şekil 4.175. Donatısız deney sonuçları ile Boussinesq ve Westergaard teorem çözümlerinin karşılaştırılması	248
Şekil 4.176. Donatısız modelde $z=0,35B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	250
Şekil 4.177. Donatısız modelde $z=0,55B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	250
Şekil 4.178. Donatısız modelde $z=0,75B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	251
Şekil 4.179. Donatısız modelde $z=0,95B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	251
Şekil 4.180. Donatısız modelde $z=1,65B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	252
Şekil 4.181. Donatısız modelde $z=2,2B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması	252
Şekil 4.182. Donatısız sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği	253
Şekil 4.183. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)	255
Şekil 4.184. Tek donatılı sistemde oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	257

Şekil 4.185. Tek donatılı sistemde $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	258
Şekil 4.186. Tek donatılı sistemde $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	258
Şekil 4.187. Tek donatılı sistemde $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	259
Şekil 4.188. Tek donatılı sistemde $z=1,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	259
Şekil 4.189. Tek donatılı sistemde $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	260
Şekil 4.190. Tek donatılı sistemde $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$).....	260
Şekil 4.191. Tek donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)	261
Şekil 4.192. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)	263
Şekil 4.193. İki donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)	263
Şekil 4.194. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	264
Şekil 4.195. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	265
Şekil 4.196. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	265
Şekil 4.197. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	266
Şekil 4.198. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	266
Şekil 4.199. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$).....	267
Şekil 4.200. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)	267

Şekil 4.201. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)	268
Şekil 4.202. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)	269
Şekil 4.203. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	270
Şekil 4.204. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	270
Şekil 4.205. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	271
Şekil 4.206. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	271
Şekil 4.207. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	272
Şekil 4.208. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$).....	272
Şekil 4.209. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)	273
Şekil 4.210. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)	274
Şekil 4.211. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)	275
Şekil 4.212. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	275
Şekil 4.213. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	276
Şekil 4.214. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	276
Şekil 4.215. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	277
Şekil 4.216. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	277
Şekil 4.217. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$).....	278

Şekil 4.218. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)	278
Şekil 4.219. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	280
Şekil 4.220. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	281
Şekil 4.221. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	282
Şekil 4.222. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	282
Şekil 4.223. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	283
Şekil 4.224. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	283
Şekil 4.225. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	284
Şekil 4.226. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	284
Şekil 4.227. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	285
Şekil 4.228. Üç donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	285
Şekil 4.229. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	287
Şekil 4.230. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	287
Şekil 4.231. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	288
Şekil 4.232. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	288
Şekil 4.233. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	289

Şekil 4.234. $z=2,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	289
Şekil 4.235. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	290
Şekil 4.236. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)	291
Şekil 4.237. Dört donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)	292
Şekil 4.238. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	293
Şekil 4.239. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	293
Şekil 4.240. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	294
Şekil 4.241. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	294
Şekil 4.242. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	295
Şekil 4. 243. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	295
Şekil 4.244. Dört donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$).....	296
Şekil 4.245. Değişik zemin derinlik noktalarında ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)	298
Şekil 4.246. İki donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)	298
Şekil 4.247. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	299
Şekil 4.248. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	300
Şekil 4.249. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	300

Şekil 4.250. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	301
Şekil 4.251. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	301
Şekil 4.252. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$).....	302
Şekil 4.253. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)	303
Şekil 4.254. Dört donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)	303
Şekil 4.255. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	304
Şekil 4.256. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	305
Şekil 4.257. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	305
Şekil 4.258. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	306
Şekil 4.259. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	306
Şekil 4.260. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	307
Şekil 4.261. Dört donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$).....	308
Şekil 4.262. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)	309
Şekil 4.263. Beş donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)	309
Şekil 4.264. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	310
Şekil 4.265. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	310

Şekil 4.266. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	311
Şekil 4.267. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	311
Şekil 4.268. $z=1,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	312
Şekil 4.269. Beş donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$).....	312
Şekil 4.270. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)	313
Şekil 4. 271. Altı donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)	313
Şekil 4.272. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	314
Şekil 4.273. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	315
Şekil 4.274. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	315
Şekil 4.275. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	316
Şekil 4.276. $z=1,4B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	316
Şekil 4.277. $z=2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$).....	317
Şekil 4.278. Altı donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; N	317
Şekil 4.279. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)	320
Şekil 4.280. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	321
Şekil 4.281. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	322

Şekil 4.282. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	322
Şekil 4.283. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	323
Şekil 4.284. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	323
Şekil 4.285. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	324
Şekil 4.286. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	325
Şekil 4.287. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)	326
Şekil 4.288. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	326
Şekil 4. 289. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	327
Şekil 4.290. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	327
Şekil 4.291. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	328
Şekil 4.292. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	328
Şekil 4.293. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	329
Şekil 4.294. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	329
Şekil 4.295. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)	331
Şekil 4.296. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)	331
Şekil 4.297. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	332

Şekil 4.298. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	333
Şekil 4.299. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	333
Şekil 4.300. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	334
Şekil 4.301. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	334
Şekil 4.302. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	335
Şekil 4.303. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	335
Şekil 4.304. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)	336
Şekil 4.305. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)	337
Şekil 4.306. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	337
Şekil 4.307. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	338
Şekil 4.308. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	338
Şekil 4.309. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	339
Şekil 4.310. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	339
Şekil 4.311. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	340
Şekil 4.312. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	340
Şekil 4.313. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$)	341

Şekil 4.314. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	342
Şekil 4.315. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	343
Şekil 4.316. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	343
Şekil 4.317. $z=1,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	344
Şekil 4.318. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	344
Şekil 4.319. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)	345
Şekil 4.320. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)	345
Şekil 4.321. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	346
Şekil 4.322. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	347
Şekil 4.323. $z=1,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	347
Şekil 4.324. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	348
Şekil 4.325. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	350
Şekil 4.326. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	350
Şekil 4.327. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	351
Şekil 4.328. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	351
Şekil 4.329. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	352

Şekil 4.330. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	352
Şekil 4.331. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	353
Şekil 4.332. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	354
Şekil 4.333. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	354
Şekil 4.334. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	355
Şekil 4.335. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	355
Şekil 4.336. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	356
Şekil 4.337. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	356
Şekil 4. 338. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	357
Şekil 4.339. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	358
Şekil 4.340. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	359
Şekil 4.341. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	359
Şekil 4.342. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	360
Şekil 4.343. $z=1,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	360
Şekil 4.344. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	361
Şekil 4.345. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$).....	361

Şekil 4.346. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)	362
Şekil 4.347. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	363
Şekil 4.348. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	364
Şekil 4.349. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	364
Şekil 4.350. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	365
Şekil 4.351. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	365
Şekil 4.352. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	366
Şekil 4.353. Donatısız zeminde deney ve SE sonuçlarının karşılaştırılması	368
Şekil 4.354. SE analizlerinden hesaplanan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)	369
Şekil 4.355. $s/B=0,1$ ve $0,15$ oturma oranında ilk donatı derinliği-taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	370
Şekil 4. 356. SE analizlerinden hesaplanan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$)	371
Şekil 4.357. Tek donatı sayılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)	372
Şekil 4.358. Üç donatılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)	372
Şekil 4.359. Beş donatılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)	373
Şekil 4.360. $s/B=0,1$ oturma oranında farklı aralıklarda donatı sayısı-taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$)	374
Şekil 4.361. $s/B=0,1$ oturma oranında donatı düşey aralığı-taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$, $N=3$).....	375
Şekil 4.362. Donatısız modelde oluşan düşey gerilme dağılımı.....	376

Şekil 4.363. Donatısız modelde oluşan yatay gerilme dağılımı (70 kPa).....	377
Şekil 4.364. Donatısız zeminde ilave düşey gerilme değişimleri	378
Şekil 4.365. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=1$)	380
Şekil 4.366. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$, c. $N=4$	382
Şekil 4.367. Donatılı zeminde $q=100$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$); a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$	383
Şekil 4.368. Donatılı modelde $q=50$ kPa'da oluşan gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$; $N=4$); a.Düşey, b.Yatay	384
Şekil 4.369. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$; $N=3$	386
Şekil 4.370. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=4$; b. $N=5$	387
Şekil 4.371. Donatılı zeminde $q=100$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$	389
Şekil 4.372. Donatılı modelde oluşan düşey gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=4$); a. $q=50$ kPa, b.100 kPa.....	390
Şekil 4.373. Donatılı modelde oluşan yatay gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=4$); a. $q=50$ kPa, b.100 kPa.....	391
Şekil 4.374. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=4$, c. $N=5$	393
Şekil 4.375. Donatılı zeminde $q=100$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$); a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$	394
Şekil 4.376. Donatılı modelde $q=50$ kPa'da oluşan gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$; $N=4$); a.Düşey, b.Yatay	395
Şekil 4.377. Farklı donatı aralıklarında $q=50$ kPa'da düşey gerilme analiz sonuçları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=4$)	396
Şekil 4.378. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$	398
Şekil 4.379. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$	400

Şekil 4.380. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$	402
Şekil 4.381. Farklı donatı derinliklerinde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$).....	403
Şekil 4.382. Donatılı modelde $q=50$ kPa’da oluşan düşey gerilme dağılımı ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$); a. $u/B=0,75$; b. $u/B=0,175$	404
Şekil 4.383. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$); a. $N=2$, b. $N=3$	406
Şekil 4.384. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$); a. $N=2$, b. $N=3$	407
Şekil 4.385. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$).....	408
Şekil 4.386. Donatılı modelde $q=50$ kPa’da oluşan düşey gerilme dağılımı ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$); a. $L/B=5$; b. $L/B=1$	409

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları.....	57
Çizelge 3.2. Rölatif sıkılığına göre kohezyonsuz zeminlerin sınıflandırılması.....	58
Çizelge 3.3. Rölatif Sıkılık Değerleri	59
Çizelge 3.4. Geotekstil donatısının özellikleri.....	62
Çizelge 3.5. Geogrid 1 donatısının özellikleri	64
Çizelge 3.6. Geogrid 2 donatısının özellikleri	64
Çizelge 3.7. Geogrid 3 donatısının özellikleri	65
Çizelge 3.8. Çalışmada bahsedilen geometrik parametreler	67
Çizelge 3.9. Kum zeminin malzeme parametreleri.....	82

1. GİRİŞ

Çekmeye karşı dayanıksız olan zeminlerin geosentetik malzemeler ile donatılarak güçlendirilmesi Türkiye’de dahil olmak üzere birçok ülkede hızla artan kullanım sahası bulmuştur. Geoteknik uygulamalarında kullanılan donatılı zemin uygulamaları ile hızlı, kolay ve ekonomik çözümler üretilebilmektedir. Donatılı zeminlerin özellikle temeller altında kullanılması ise son yıllarda daha da artan sayıda birçok araştırmaya konu olmuştur.

Konu ile ilgili yapılan deneysel araştırmalarda kum zemin içerisine yatay olarak yerleştirilen donatı elemanlarının taşıma kapasitesini önemli miktarda arttırabileceği gözlenmiştir. Bu çalışmalarda; donatı ve zeminin malzeme özelliklerinin yanında donatı konfigürasyon parametrelerinin de taşıma kapasitesini etkileyen önemli faktörler olduğu ortaya konmuştur. Efektif donatı konfigürasyonu ile ilgili literatürde henüz bir fikir birliği oluşmamıştır.

Literatürde yayınlanan çalışmaların büyük çoğunluğu geosentetik donatılı sıkı kumlara oturan farklı temel modellerinin taşıma kapasitesinin araştırılması ile ilgilidir. Oysa, gevşek veya orta sıkı kumlarda daha ciddi sorunlar yaşanmakta olup bu tür zeminlerde farklı donatı çeşitlerinin taşıma kapasitesine etkileri araştırmaya açık bir konudur.

Donatılı zemin sistemlerinin kompozit bir malzeme olarak çalışabilmesi için donatı ile zemin arasında sürtünme direncinin ve donatı çekme mukavemetinin yeterli büyüklükte olması gerekmektedir. Özellikle geogrid donatılı zeminlerde; donatı nervür yüzeyleri ile zemin arasındaki sürtünmeden, geogrid ağ açıklıklarında zemin ile zemin etkileşiminden ve grid ağ açıklıklarında nervürlere karşı direnen pasif zemin gerilmeleri ile sürtünme mukavemetinin oluştuğu bilinmektedir. Fakat, literatürdeki araştırmaların çoğunda tek tür donatı malzemesi kullanılmış ve çekme mukavemetinin zemin davranışına etkisi incelenmiştir. Donatı ağ açıklıklarının etkisinin incelendiği araştırma sayısı diğerlerine nazaran çok azdır.

Yine literatürde temel zemininde oluşan ilave düşey gerilmeler üzerine yürütülen araştırma sayısı da oldukça sınırlı kalmıştır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak küçük ölçekli sensörler ile gerilme ölçümü de kolaylaşmıştır. Geçmişteki araştırmalar genellikle donatısız zeminlerde yapılmış olup, son yıllarda donatılı zeminler üzerinde de araştırmalara da rastlanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında geotekstil donatılı orta sıkı kuma oturan şerit bir temelin merkezi altında farklı derinliklerdeki ilave düşey gerilmeler ölçülmüş ve sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Bu araştırmada, donatısız ve donatılı olmak üzere toplamda doksan adet orta sıkı kum zemine oturan şerit temel üzerinde laboratuvar model deneyleri yapılmıştır. Deneylerde donatı olarak; bir geotekstil ve üç farklı geogrid kullanılmıştır. Çalışmadaki donatı konfigürasyon parametrelerinin seçiminde literatürde yayınlanmış benzer çalışmalar dikkate alınmıştır. Donatı konfigürasyon parametreleri olarak;

- İlk donatı tabakasının temel tabanına olan uzaklığı (u)
- Kum zemine yatay olarak yerleştirilen donatılar arasındaki düşey aralık (h)
- Donatı genişliği (L)
- Toplam donatı tabakası sayısı (N)

seçilmiştir. Her bir parametrenin ve geogrid ağ aralığının taşıma kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca donatısız ve geotekstil donatılı zeminlerde temel merkezi altında farklı derinliklerde oluşan ilave düşey gerilmeler de ölçülmüştür. Temel plağının altında temel genişliğinin 2-2,5 katı derinliğe kadar belli noktalarda ölçülen düşey gerilme değişimleri Boussinesq, Westergaard ve Yaklaşık (2:1) yöntem kullanılarak hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Deneylerin bir kısmı, sonuçlardan emin olabilmek amacıyla üç kereye kadar tekrar edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemiyle de geotekstil donatılı kum zemin modeli oluşturulup, bazı yük kademelerinde düşey gerilme değişimleri analiz edilmiştir. Deneysel ve teorik bulgular birbiriyle karşılaştırılıp yorumlanmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Deneysel Çalışmaların Kaynak Özeti

Bu bölümde, geoteknik mühendisliğinde donatısız ve donatılı zeminlerle ilgili önceki yıllarda yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Temel zemininde oluşan ilave gerilme artışları üzerine yapılan araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Donatı kullanılarak zeminin taşıma kapasite oranlarının (BCR) incelendiği çalışma sayısı ise son zamanlarda daha fazla artmıştır. Donatılı zemin araştırmalarının çoğunda; donatı sayısının (N), donatılar arası mesafenin (h), donatılı bölge derinliğinin (d), donatı uzunluğunun (L), ilk donatı derinliğinin (u), temel derinliğinin (Df) ve donatı cinsinin etkileri incelenmiştir. Genellikle sonuçlarda; donatı kullanımının taşıma kapasitesini artırdığı ve aynı yük değerlerindeki muhtemel oturmaları azalttığı görülmüştür.

Binquet and Lee (1975a)'den itibaren birçok araştırmacı donatılı zeminlerle ilgili deneysel araştırmalar yapmışlardır. Bu bölümde bu çalışmaların bir kısmının özeti sunulacaktır. Konu ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda donatı malzemesi olarak metal, alüminyum çubuklar ve doğal lifler kullanılmıştır. 1980'li yıllardan sonra geoteknik mühendisliğinde geosentetik kullanımı yaygınlaşmış ve deneysel çalışmalarda donatı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Araştırmaların çoğunda kohezyonsuz zeminler tercih edilmiştir. Kohezyonlu zeminlerle yapılan çalışma sayısı ise diğerlerine nispeten daha azdır.

Deneysel çalışmalarda model temel olarak farklı boyutlarda şerit, dikdörtgen, kare ve daire temeller seçilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken boyutsuz birimler elde edebilmek için geometrik parametreler temel genişliğine bölünmüştür. Model deneylerde, farklı donatı miktarı ve yerleşim düzeni için yük oturma eğrileri çizilmiş ve donatısız durumda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Maksimum taşıma kapasitesini veren optimum değerler elde edilmeye çalışılmıştır.

2.1.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar

Binquet and Lee (1975a)'nin yaptıkları deneysel çalışmalarda şerit temel ve donatı malzemesi olarak alüminyum şeritler kullanılmıştır. Farklı zemin koşullarını temsil eden ve aşağıdaki gibi ifade edilen üç seri deney tamamlanmıştır;

İlk seride; kum tabakasının homojen ve derin olması durumu için deneyler yapılmış, bulunan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Taşıma kapasitesi oranında (BCR) önemli derecede artış elde edebilmek için, donatı tabaka sayısının (N) minimum 4 olması gerektiği belirtilmiştir.
- $N=4-6$ 'da BCR'de 2-4 kat arasında artış olduğu görülmüştür.
- $N>6$ için BCR'de önemli bir artış olmamıştır.
- Donatı sayısı $N=4$ ve ilk donatı derinliği $u=0,30B$ (B =temel genişliği) için maksimum BCR elde edildiği belirtilmiştir. Bu durumda üst donatı tabakalarında kopmalar görülmüştür.
- $u>0,67B$ iken donatılar rijit taban gibi davranmış ve zemininin üst bölgede kaymasıyla göçme meydana gelmiştir.
- $u<0,67B$ için ise iki durum söz konusu olmuştur. Göçme; $N\leq 2$ veya 3 olduğunda donatı sıyrılmasıyla, $N\geq 4$ 'de ise üst donatı tabakalarının kopmasıyla oluşmuştur.

İkinci seri; kum tabakasının altında kil veya turba gibi çok yumuşak bir tabaka bulunması durumunda yapılan deneyleri içermiştir. Sonuçta; ilk seriye göre yük oturma eğrilerinin daha az kırılğan olduğu görülmüştür. BCR değeri daha düşük ve oturmalar daha büyük çıkmıştır.

Üçüncü seri ise kum tabakası altında sınırlı boyutlarda çok yumuşak zemin (organik zemin veya kireçtaşı oyuğu gibi) olması durumu için yapılan deneyleri içermiştir. $N>4$ ve $u>0,67B$ için taşıma kapasitesi 2–3 kat artmıştır.

Sağlamer ve Özkan (1978) daire ve kare temeller altındaki donatısız zemindeki düşey gerilmeleri deneysel olarak incelemiştir. 20 cm, 25 cm ve 30 cm çaplarındaki daire ve $B=17$ cm-22 cm kenar uzunluklarındaki kare plakalar statik olarak yüklenmiş ve çeşitli derinliklerde gerilme ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde taşıma gücü değerleri deneysel olarak bulunmuş ve bu değerler teorik verilerle karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki maddeler halinde sunulmuştur;

- Yüzeye yakın bölgede düşey zemin gerilmeleri çok çabuk sönümlenmiştir. Derinliğin artmasıyla zeminde oluşan gerilme miktarı önemini kaybetmiş ve gerilme dağılışı üniform hale gelmiştir.
- Derinliğin artmasıyla temelin gerilme dağılışı üzerindeki etkisi azalmıştır.
- Deneysel verilerde kohezyonsuz zeminlerde temel merkezi altında gerilme artışı olduğunu göstermiştir. Temel merkezinin düşeyindeki zemin gerilmesi, zemin yüzüne yakın noktalarda ortalama taban basıncının yaklaşık 1,5-2 katıdır.
- Ortalama taban basıncının artmasıyla merkez düşeyinde oluşan gerilmelerin arttığı görülmüştür.
- Deneylerde gözlenen taşıma gücü değerleri yüksek çıkmıştır.

Guido *et al.* (1985) geotekstil donatılı kum zeminleri incelemiştir. 0,31 m genişlikli kare temelde 70 adet plaka yükleme testi yapılmıştır. Deneylerin bir kısmı; birim hacim ağırlığı $14,80 \text{ kN/m}^3$, içsel sürtünme açısı 35° ve rölatif sıklığı $Dr=\%50$ olan kumda, diğerleri ise birim hacim ağırlığı $14,26 \text{ kN/m}^3$, içsel sürtünme açısı 36° ve rölatif sıklığı $Dr=\%50$ olan kumda yapılmıştır. Sonuçta, $0,017B$ 'lik toplam oturma gözlenmiştir. Donatının temel plakasından $1B$ mesafesinden daha aşağıya yerleştirilmesi, taşıma kapasitesini ihmal edilebilir düzeyde etkilemiştir. Beş tabaka geotekstil, ilk donatı derinlik oranı $u/B=0,28$ ve donatılar arası düşey mesafe oranı $h/B=0,18$ olduğunda taşıma kapasitesi oranı $BCR=2,8$ değerine yükselmiştir. Donatı sayısı $N=2$ ve $u/B=0,25$ ve $h/B=0,25$ için donatı uzunluk oranı (L/B) arttıkça $BCR=3$ olmuştur. Donatı çekme kuvveti arttıkça BCR 'de büyümüştür.

Huang and Tatsuoka (1990) metal şeritler ile güçlendirilmiş sıkı kum zeminlere oturan $B=10\text{cm}$ genişliğindeki şerit temelin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Parametre olarak donatı yerleşim düzeni, donatı rijitliği ve kopma mukavemeti alınmıştır. Kum zeminde meydana gelen deformasyon bölgeleri, donatıda oluşan çekme kuvvetleri ve temel tabanında oluşan basınç dağılımları ölçülmüş ve donatılı zeminlerdeki göçme mekanizması belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler beş grupta yapılmış olup aşağıda kısaca açıklanmıştır;

1. Grup: Yapılan ilk seri deneylerde, donatısız zeminde temel derinliği ($D_f=0-1,5B$) değişken olarak alınmıştır. İkinci seride ise düşey donatı aralığı ($h=B$) ve donatı boyu ($L=B$) sabit tutularak donatı tabaka sayısı, yani donatılı zon derinliği değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Sonuçta, temel altındaki donatılı bölgenin rijit derin temel gibi davrandığı belirtilerek göçmenin donatılı bölge altında meydana geldiği kaydedilmiştir.
2. Grup: Donatı tabaka sayısı ($N=3$) ve düşey donatı aralığı ($h=0,30B$) sabit tutularak donatı genişliğinin (L) taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Donatılara gelen en büyük çekme gerilmeleri temel düşeyinde ölçülmüş ve temel kenarlarına doğru azaldığı belirtilmiştir. Kısa donatı kullanıldığında ($L=B$) donatılı bölgenin derin temel gibi davranarak taşıma kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Donatı boyu büyük seçildiğinde ($L>B$) ise taşıma kapasitesindeki en efektif artışı donatının $L=B$ olan bölümü sağlarken diğer bölümlerinin gelen etkiyi paylaşarak kenarlara doğru dağıttığı gözlenmiştir.
3. Grup: $L=6B$ ve $h=0,30B$ sabit tutularak donatı tabaka sayısının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu grupta $L>B$ seçildiği için derin temel etkisinin daha etkin olarak gözlemlendiği vurgulanmıştır.
4. Grup: $L=2B$, $h=0,30B$ ve $N=3$ sabit alınarak donatı yoğunluğunun etkisi araştırılmıştır. Donatı yoğunluğunun artması ile nihai taşıma kapasitesi ve göçme anındaki oturma miktarının da arttığı gözlenmiştir.

5. Grup: $L=2B$, $h=0,30B$ ve $N=3$ seçilerek donatı rijitliği ve donatı çekme dayanımının temelin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Farklı rijitliğe ve çekme dayanımına sahip 4 çift donatı kullanılmış ve deney sonuçlarında birbirine yakın yük-oturma eğrileri elde edilmiştir.

Khing *et al.* (1993) geogrid donatılı kum zeminde şerit temel modeliyle bir seri deney yapmıştır. 304,8 mm genişlikli, 1,100 mm uzunluklu ve 914 mm yükseklikli çelik deney kasası kullanılmıştır. Model şerit temel; 30,48 cm (uzunluk)x10,16 cm (genişlik)x2,54 cm (kalınlık) boyutlu tahtadan yapılmıştır. Zemin üniform kum olup, efektif tane çapı (D_{10}) 0,34 mm, rölatif sıkılığı (Dr) %70, kuru tane birim hacim ağırlığı $17,14 \text{ kN/m}^3$ ve içsel sürtünme açısı $40,3^\circ$ 'tür. Deneyler sonucunda; geosentetiğin yerleştirildiği derinlik oranının 2,25'ten daha büyük olduğu hallerde taşıma kapasitesinde fazla bir değişim görülmemiştir. Donatı genişliği $L/B=6$ olduğunda maksimum taşıma gücü değerine ulaşılmıştır. Donatı sayısı $N=6$ için taşıma kapasitesi oranı $BCR=4$ olarak hesaplanmıştır.

Omar *et al.* (1993a) geogrid ile güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan şerit ve kare temellerin taşıma kapasitelerini model deneyler vasıtasıyla araştırmıştır. Maksimum taşıma kapasitesi oranı (BCR) için donatı tabakalarının yerleşim düzeni belirlenmiştir. Kare (76,2 mmx76,2 mm) ve şerit temel (76,2 mmx304,8 mm) modellerinde deneyler yapılmıştır. Sonuçta; maksimum BCR 'i veren toplam efektif donatı derinliği; şerit temellerde $2B$, kare temellerde ise $1,4B$ olarak bulunmuştur. Maksimum BCR 'i veren donatı tabaka genişliğinin ise şerit temellerde $8B$, kare temellerde $4,5B$ olduğu belirtilmiştir. Donatıların efektif olarak çalışması için ilk donatı derinliğinin $1B$ 'den küçük alınması önerilmiştir.

Omar *et al.* (1993b) geogrid ile güçlendirilmiş kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Model temel plak genişliği ($B=7,60 \text{ cm}$) sabit olmak üzere farklı uzunluklarda ($L/B=0; 0,50; 0,333$ ve 1) temeller alınarak taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. L/B oranı azaldıkça kritik toplam donatı derinliği artmaktadır. Şerit temellerde bu değer $2B$, kare temellerde $1,2B$ olarak bulunmuştur.

Toplam kritik donatı derinliğinden daha büyük derinliklerdeki donatıların taşıma gücüne önemli bir katkı sağlamadıkları ve belli bir değerde asimptot kaldıkları vurgulanmıştır.

Das and Omar (1994) temel genişliğinin taşıma kapasitesi oranı (BCR) üzerindeki etkilerini donatılı kum zeminde araştırmıştır. Testlerde, altı farklı temel genişliğine sahip (50,8 mm; 76,2 mm; 101,6 mm; 127 mm; 152,4 mm ve 177,8 mm) şerit temel modelleri kullanılmıştır. Üniform kum; %55, 65 ve 75 rölatif sıkılıklarda (D_r) serilmiştir. Test sonuçlarında rölatif sıkılık arttıkça taşıma kapasitesi 2,5-4,1'den 3-5,4 değerleri arasında büyümüşür. Taşıma kapasitesi oranı temel genişliği arttıkça 4,1-5,4'den 2,5-3 değerleri arasında azalmıştır. Rölatif sıkılık D_r =%55 için BCR=2,5; D_r =%65 için BCR=2,9 ve D_r =%75 için BCR=3 bulunmuştur.

Yetimoğlu (1994) geogrid donatılı kum zemin için deneysel ve nümerik analizlerle dikdörtgen temellerin taşıma kapasitelerini araştırmıştır. 127 mm uzunluklu, 101,5 mm genişlikli ve 12,5 mm kalınlıklı dikdörtgen çelik plaka temel modelinde deneyler yürütülmüştür. Kuru birim hacim ağırlığı 17,16 kN/m³, rölatif sıkılığı %70 ve içsel sürtünme açısı 40° olan üniform kum kullanılmıştır. Araştırmada donatı yerleşim parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; ilk donatı derinliği (u), donatı tabaka düşey aralığı (h), donatılı tabaka sayısı (N), donatı tabaka boyutudur (L). Çalışma sonuçlarının bazıları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Deney ve Sonlu Elemanlar analizleri, donatı konfigürasyonunu parametrelerinin donatılı zeminlere oturan temellerin taşıma kapasitesine etkisi benzer karakterde olmuştur.
- Kum temel zemini içerisine belli derinliklere geogrid donatısı yerleştirilmesi ile nihai taşıma kapasitesinde dört katına varan artışlar görülmüştür.
- İlk donatı tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine etkisi, tek ve çok ($N>1$) tabaka donatılı kumlarda birbirinden farklı çıkmıştır. Tek tabaka donatılı kumlarda taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum bir ' u ' değeri elde edilmiştir. Bu değer

$(u/B)_{opt}=0,25$ 'dir. Çok donatılı zeminde ise optimum bir donatı derinliği saptanmamış ve taşıma gücü 'u' değerinin azalmasıyla artış göstermiştir.

- Çok tabakalı kumlarda donatılar arasındaki düşey mesafenin optimum bir değerinde taşıma kapasitesi en büyüktür. Deneylerde $(h/B)_{opt}=0,15$ olarak elde edilmiştir. Analizlerde ise düşeyde optimum donatı aralığının artan donatı sayısı ile azaldığı belirlenmiştir.
- Donatılı zemine oturan temellerin taşıma kapasitesi, artan donatı tabaka sayısı ile artış göstermiştir. 'B' dikdörtgen temel genişliği olmak üzere, temel tabanından itibaren $1,5B$ 'den daha büyük derinliklere yerleştirilen donatı tabaka sayıları için taşıma kapasitesinin artış hızı önemli bir derecede olmadığı gözlenmiştir.
- Diğer donatı parametreleri ile karşılaştırıldığında, donatılı kum zemine oturan temellerin taşıma kapasitelerinin donatı boyutu ile değişimi sınırlı kalmıştır.
- Donatı rijitliğinin (J) arttırılması ile donatılı zemin taşıma kapasitesi de artmıştır. $J=1000$ kN/m'den daha büyük değerlerde taşıma gücü önemli derecede artmamıştır.

Adams and Collin (1997) büyük ölçekli deneyler yapmıştır. $0,3 \times 0,3$ m; $0,46 \times 0,46$ m; $0,61 \times 0,61$ m ve $0,91 \times 0,91$ m boyutlarındaki kare temeller ile testler yürütülmüştür. Donatı parametrelerinin taşıma kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Donatı sayısı $N=3$ 'e çıkarıldığında taşıma kapasitesi etkin bir şekilde artmış ve BCR değeri 2,6'dan daha büyük çıkmıştır. Donatılı ilk tabaka yüzeyi $0,25B$ 'den daha küçük olduğunda, oturma oranının (s/B) daha çok etkilediği görülmüştür. Donatılı ilk tabaka yüzeyinin $0,4B$ derinlik seviyesinden daha az olduğu durumlarda ise oturma miktarı azalmıştır.

Çelik (1997) donatılı kum zemin üzerindeki şerit temellerde deneyler yapmıştır. Deney kasası olarak, 8 mm kalınlıklı, 70 cm uzunluk ve 40 cm yüksekliğe sahip model kullanılmıştır. Genişlikleri $B=3,5$ cm, 5 cm ve 7 cm olan model temeller hazırlanmıştır. Deneyler donatısız ve donatılı olarak iki ana grupta yapılmıştır. Yükleme aleti olarak üç eksenli basınç aletinin presi kullanılmıştır. Donatısız deneylerde $B=3,5$ cm, 5 cm, 7 cm temel genişlikleri için taşıma güçleri belirlenmiştir. Donatı kullanılmadan yapılan deneyler sonunda; temel genişliği arttıkça sınır taşıma gücünün de orantılı olarak arttığının görüldüğü belirtilmiştir. Donatılı deneylerde temel genişliği $B=3,5$ cm ve 5

cm için ilk donatı derinlik oranı $u/B=0,1-1$ alınmıştır. Optimum derinlik oranı her iki temel örneği içinde $0,5B$ olarak belirtilmiştir. Kayma yüzey uzunlukları $3,5$ cm genişliğindeki temel için $4B-6B$ arasında, 5 cm genişlikli temel için ise $4B$ olduğu söylenmiştir. Donatılı deneylerde donatılar göçme yüküne kadar bir miktar uzayıp, sınır yük aşıldıktan sonra donatıların zemin içinde sıyrıldığı ifade edilmiştir.

Laman ve Keskin (2004a) donatısız kumlu zeminler üzerine oturan şerit temellerde zemin içinde oluşan düşey gerilmeleri model deneyler ve Sonlu Elemanlar programı yardımıyla incelemiştir. Deneylerde gerilme değerlerini bulmak için basınç sensörü kullanılmıştır. Testler 20 mm kalınlığında, genişliği $7,5$ cm ve uzunluğu $41,25$ cm olan rijit şerit temel plaka ile yapılmıştır. Deneysel, teorik ve nümerik çalışmalar sonunda, ölçüm derinliğinin artmasıyla temel plakası merkezinin altındaki basıncın azaldığı ve kum numunenin herhangi bir noktasında oluşan ilave gerilmenin uygulanan yük ile orantılı arttığı belirtilmiştir. Deney sonuçlarının Pekleşen zemin ve Mohr-Coulomb modeli ile uyumlu değerler verdiği görülmüştür. Bazı yük değerlerinde Boussinesq (1885) sonuçlarına yaklaşıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca zemin sıkılığının artması ile aynı yük ve derinlikte oluşan ilave düşey gerilmelerin de arttığı belirtilmiştir.

Laman ve Keskin (2004b) donatısız kum zeminler üzerindeki kare temellerin ilave düşey gerilme değerlerinin ölçülmesi ve sıkılığın etkisini içeren deneysel ve nümerik çalışmalar yapmıştır. Deneyler; 70 cm uzunluklu, 70 cm genişliğinde ve 70 cm yükseklikli kare kesitli kasa içinde yürütülmüştür. Kare temel genişliği 15 cm ve kalınlığı 2 cm'dir. Kuru kum 15 ve $17,1$ kN/m^3 değerlerindeki iki farklı birim hacim ağırlıkta serilmiştir. Düşey gerilmeler yükleme sırasında temel plakası altına gelecek şekilde 10 bar kapasiteli diyafram tipi basınç sensörü yerleştirilerek ölçülmüştür. Dijital strain indikatör kullanılarak basınç ölçümleri okunmuştur. Deney sonuçları Sonlu Elemanlar ile de kontrol edilmiştir. Kum zeminin davranışı Mohr-Coulomb, Lineer Elastik, Pekleşen zemin modelleriyle tanımlanmıştır. Aynı problem Boussinesq (1885) ve Westergaard (1938) teorik işlemleriyle de çözülmüş, sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel, nümerik ve teorik analizler sonucunda; rijit ve üniform yüklü temel tabanından herhangi bir derinlikte bulunan gerilme dağılımının benzer olduğu, derinlik

arttıkça temel merkezi altındaki basıncın azaldığı ve herhangi bir noktada kum zeminde gerilme değerlerinin orantılı değiştiği belirtilmiştir. Deney sonuçlarında sıklık değeri arttıkça aynı derinlik ve yük altında ilave düşey gerilmelerde önemli artışlar olduğu ifade edilmiştir.

2.1.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar

Mandal and Sah (1992) geogrid ile güçlendirilmiş kil zemin üzerine oturan kare temellerin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Model temel olarak 10 cm boyutlarında ahşap malzeme kullanılmıştır. Kasa boyutları temel genişliğinin 4 katı seçilerek kenar etkisi minimuma indirilmiştir. Deneyler sonucunda, killi zeminlerde maksimum taşıma kapasitesini veren optimum ilk donatı derinliği $u=0,175B$ olarak bulunmuştur. $u>0,25B$ olduğunda taşıma kapasitesi oranındaki (BCR) artış hızının azaldığı belirtilmiş ve $u/B=2$ için $BCR=1$ olarak bulunmuştur. İlk donatı derinliği $u=0,25B$ iken donatı kullanılmasıyla oturma miktarındaki maksimum azalma %45 olarak hesaplanmıştır.

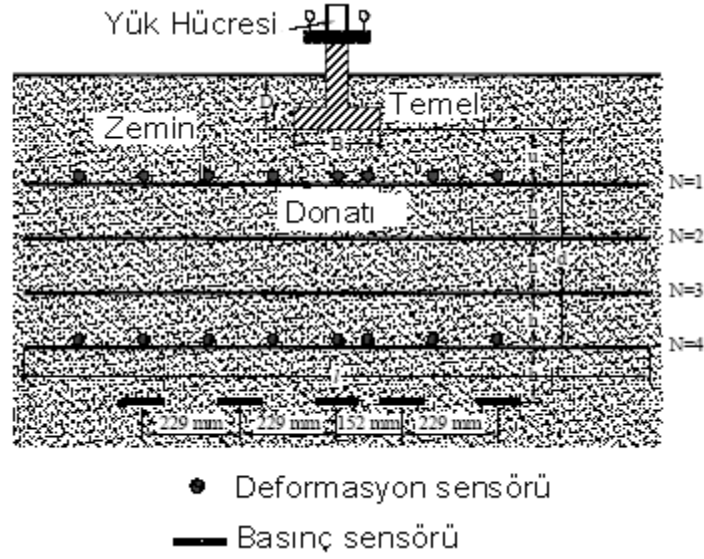
Nishigata and Yamaoko (1992) kil zeminler üzerinde geotekstil donatılı yol zemininin taşıma kapasitesini araştırmıştır (Yetimoğlu 1994). $B=5$ cm ve 10 cm genişlikli şerit plaklarda düzlem deformasyon koşullarında laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Kil zemin üzerine geotekstil serilmiş ve donatı üzerine kum dolgu sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Zemin ve donatı parametreleri sabit tutulmuş, sürşarj yükü olmaksızın kum dolgu tabakasının kalınlığı incelenmiştir. Deneylerde kil zemine yerleştirilen yük hücreleri ile düşey zemin gerilmeleri ölçülmeye çalışılmıştır. Sonuçlarda, donatılı sistemlerde en büyük düşey gerilme azalımı, dolgu kalınlığının $0,25B$ ile $0,5B$ arasında olduğu durumlarda elde edilmiştir. Geotekstil donatılı hallerde donatısız duruma nazaran düşey zemin gerilmelerinin daha küçük olduğu görülmüştür. Tek tabaka donatı, dolgu hacminde %20-30 arasında azalmaya neden olabilmektedir. Donatılı sistemin taşıma kapasitesi donatısız göre 2-3 kat daha büyük çıkmıştır.

Shin *et al.* (1993) geogrid donatılı kil zemindeki şerit temellerin taşıma kapasitelerini laboratuvar model deneyleriyle incelemişlerdir. Testler tek çeşit kil ile yapılmış olup,

kilin su muhtevası değiştirilmiştir. Donatı miktarı ve ilk donatı derinliğinin değiştirilmesi ile yapılan toplamda 38 deney sonucunda maksimum taşıma kapasitesini araştırmaya çalışılmıştır. Şerit temel modeli 7,62 cmx30,48 cm boyutundadır. Belirli su muhtevasında hazırlanan zemin 2,54 cm kalınlığındaki tabakalar halinde serilerek sıkıştırılmıştır. Temel plakası yüklemesinde hidrolik kriko kullanılmıştır. Toplamda yedi farklı seri deney yapılmıştır. İlk olarak donatısız deneyler yapılmıştır. Daha sonra ise donatılı zemin örneklerin donatı aralık (h) ve ilk donatı mesafesi (u) oranları araştırılmıştır. Taşıma kapasitesi katsayısı (5,14) ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Herhangi bir donatı aralığı oranı için (h/B) taşıma kapasitesi oranı (BCR), $u/B=0,4$ değerine kadar artmıştır.

Das *et al.* (1994) donatılı kum ve kil zemin üzerinde şerit temel deneyleri yapmışlardır. 304,88 mm genişliğinde 1,1 m uzunluğunda ve 0,96 m yüksekliğinde deney tankı ve 76,2 mm genişlikli şerit temel kullanılmıştır. Likit limiti 44, plastik limiti 24 olan kil ile birim hacim ağırlığı $17,14 \text{ kN/m}^3$, sıklığı $D_r=70\%$, kayma direnci açısı 41° olan kum numune ile testler yürütülmüştür. Kum için; optimum ilk donatı derinlik oranı $u/B=0,3$; toplam donatılı derinlik oranı 2 ve optimum donatı uzunluk oranını $L/B=8$ bulunmuştur. Aynı parametrelerin killi zeminler için sırasıyla 0,4; 1,75 ve 5 olduğu görülmüştür. Donatı sayısı taşıma kapasitesi oranını (BCR); kumda 4, kilde 1,5 değerine kadar arttırmıştır. Kilde kayma açısının sıfır olduğundan ötürü geogridin daha az etki ettiği vurgulanmıştır.

Chen (2007) siltli killi, kumlu ve Kentucky kırılmış kireçtaşında laboratuvar deneyleri, siltli kil dolguda da arazi testleri ile yüzeysel temellerin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Çalışmada gerilme sensörleri ve deplasman sensörlerinden yararlanmıştır. Geogrid ve geotekstil ile donatılan zeminde deneyler yapılmıştır. Ayrıca sonuçlar analitik ve sonlu elemanlar analizleriyle de kontrol edilmiştir. Deney modelleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Laboratuvar deney modeli (Chen 2007)

Laboratuvar deneylerinde 1,5 m (uzunluk); 0,91 m (genişlik) ve 0,91 m (yükseklik) ölçütlü kasa kullanılmıştır. Kare (15,2 cm) ve dikdörtgen (15,2 cmx25,4 cm) kesitli temeller kullanılmıştır. Test sonuçlarında zımbalama kayma göçmeleri oluşmuştur. Tüm zemin çeşitleri için; ilk donatı derinliği (u) arttıkça taşıma gücü azalmış ve $u=0,33B$ 'de en büyük taşıma gücü değerine ulaşılmıştır. $N=1-5$ arasında değiştirilerek donatı sayısının etkisi incelenmiştir. $N=4$ için $BCR=1,50$ olarak bulunmuş ve $N>4$ için taşıma gücü artışı fazla değişmemiştir. İlk donatı derinliği ($u=0,33B$) ve donatı sayısı ($N=3$) sabit alınarak donatılar arası mesafe değiştirilmiş, donatı aralığı $h=0,17B$ 'de en büyük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Etkili donatı genişliğinin $4B-6B$ arasında çıktığı ve etkin donatılı zon derinliğinin 1,25-1,5 olduğu belirtilmiştir. Geogrid donatı geotekstile nazaran daha iyi taşıma kapasiteleri vermiştir. Donatılı zeminlerde oluşan gerilmelerin daha geniş alanlara yayıldığı ve böylece daha küçük gerilme değerlerinin ölçüldüğü açıklanmıştır. Diğer tüm özelliklerinin aynı olduğu donatıların çekme dayanımı daha iyi olan geosentetik kullanılarak yapılan deneylerde düşey gerilmeler daha fazla azalmıştır.

Abu-Farsakh *et al.* (2008) model deneyleri ile donatılı zeminlerin taşıma kapasitesi ve gerilme dağılımını incelemiştir. 457 mm genişlikli ve 203 mm kalınlıklı kare temel ile plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Basınç sensörleri ile ilave düşey gerilme okumaları

alınmıştır. İncelenen zeminde %72 silt ve %19 kil bulunmaktadır. Deneyler iki farklı birim hacim ağırlıklarında yapılmıştır. İlk donatı tabaka mesafesi $u=0,33B$ ve donatı etki derinliği $0,67B$ alınmıştır. Test sonucu oturma oranı (s/B) %3, 5 ve 10 arasında çıkmıştır. Maksimum taşıma kapasitesi donatı sayısı $N=5$ ve donatılar arası düşey mesafesinin $h=0,33B$ olduğu durumda meydana geldiği belirtilmiştir. Geogrid donatı efektif uzunluğunun $4B$ olduğu görülmüştür. Üç farklı donatı basınç sensörlerinden alınan okumalar kaydedilmiştir. Sensörler, temelden 762 mm ($1,67B$), 457 mm ($1B$) ve 610 mm ($1,33B$) derinliklerine yerleştirilmiştir. Temel yüzeyine uygulanan 43 kPa ve 468 kPa basınçları için okumalar alınmıştır. Yüksek çekme kuvvetine sahip geogridler daha iyi performans sağlamış, donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de artmıştır. Donatı ilavesi uygulanan kuvveti daha geniş alanlara dağıttığı belirtilmiştir. Yüksek çekme kuvvetine sahip geogridler daha düşük çekme kuvvetine sahip olanlara göre yatay gerilmenin daha fazla azaltmasına neden olmuştur. Geogridlerin temel merkezinden $2B$ uzaklığa kadar izin verilebilir oturmalara neden olduğu gözlenmiştir.

DeMerchant *et al.* (2002) geogrid donatılı hafif agregalar üzerinde plaka yükleme deneyleri yapmıştır. 2,2 m genişlikli, 3,2 m uzunluklu ve 1,6 m derinlikli çukur içerisinde ve 305 mm çaplı dairesel temel ile testler yürütülmüştür. Hafif agreganın boyutu 1,9–4,7 mm arasında değişmiştir. Üniformalık katsayısı 1,4 ve özgül yoğunluğu 1,25-1,4 arasındadır. İçsel sürtünme açısı $39,5^\circ$ - $44,5^\circ$ 'dir. Deneyler sonucunda donatı efektif uzunluk oranı (L/B) yaklaşık 4 ve donatı etki derinliği $1B$ olarak bulunmuştur. İki farklı geogrid çeşidi kullanılarak yapılan çalışmada, ilk donatı derinlik oranı (u/B) 0,25 ile 0,75 çıkmıştır. Belli bir oturma değerine kadar daha düşük rijitliğe sahip donatı daha iyi performans göstermiş, daha sonra ise durum tersine dönmüştür.

2.2. Teorik Çalışmaların Kaynak Özeti

Bu bölümde geçmişte donatılı zeminler üzerindeki temel sistemleri ile ilgili yapılan teorik çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Donatılı zemin için açıklanan analitik modeller ve nümerik analizler iki ayrı başlık altında incelenmiştir.

2.2.1. Analitik çalışmalar

Aşağıdaki bölümlerde çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilen donatılı zemin modelleri ve prensipleri kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

Binquet and Lee (1975b) tarafından yapılan çalışma: Deneysel çalışmaları neticesinde gözlemledikleri farklı göçme şekillerini dikkate almışlardır. Bu teoriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

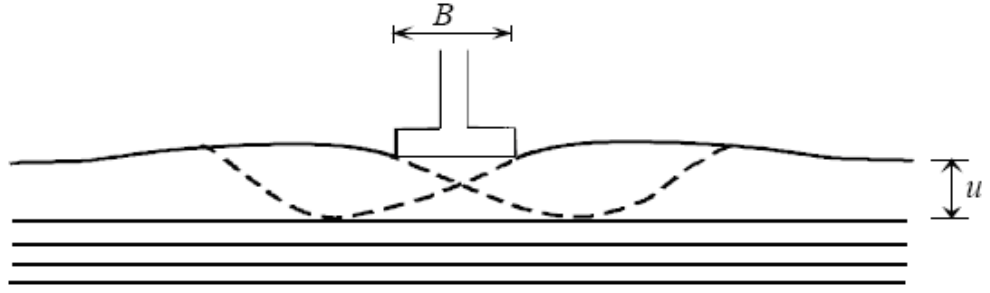
a. İlk donatı tabakası üzerinde oluşan kayma göçmesi: Göçme, ilk donatı tabakasının donatı derinliğine bağlı olarak $u/B > 0,67$ 'deki tabakada meydana gelmektedir. Donatı tabakaları yoğunluğu nedeniyle kayma zonu daha derine inemez ve göçme üst bölgede kalır (Şekil 2.2.a). $u/B < 0,67$ durumlarında taşıma kapasitesinde daha efektif artımlar olmuştur.

b. Donatı sıyrılması: Seyrek ve sık donatılı yani $u/B < 2/3$ ve $N < 2$ veya 3 olması yada donatı uzunluğunun gerekli sürtünme direncini alamayacak kadar kısa olması halinde oluşmaktadır (Şekil 2.2.b).

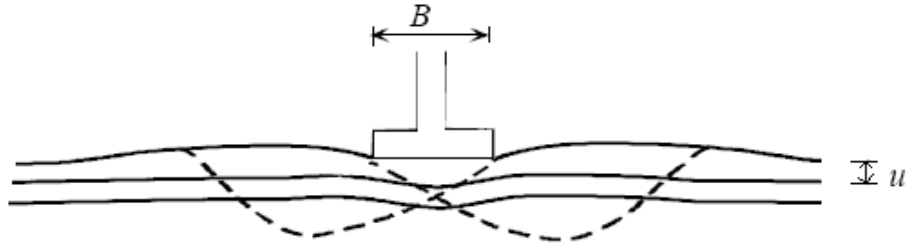
c. Donatı kopması: Donatının uzun, sık ve sık olduğu durumlarda yani $u/B < 2/3$, $N > 4$ için meydana gelmektedir. Donatılar sömelin merkez veya kenarlarının düşeyine karşılık gelen alt bölgelerde kopmaktadır (Şekil 2.2.c).

Donatı kopma veya sıyrılma durumlarında taşıma kapasitesi analizi için esas alınan kriter aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

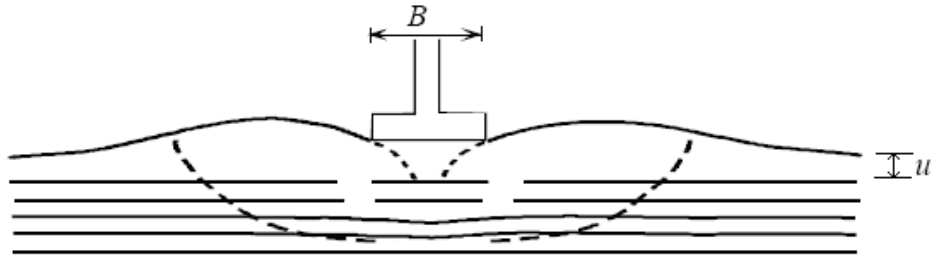
$$T_D \leq \left(\frac{R_Y}{GS_Y} \frac{T_f}{GS_f} \right) \quad (2.1)$$



a



b



c

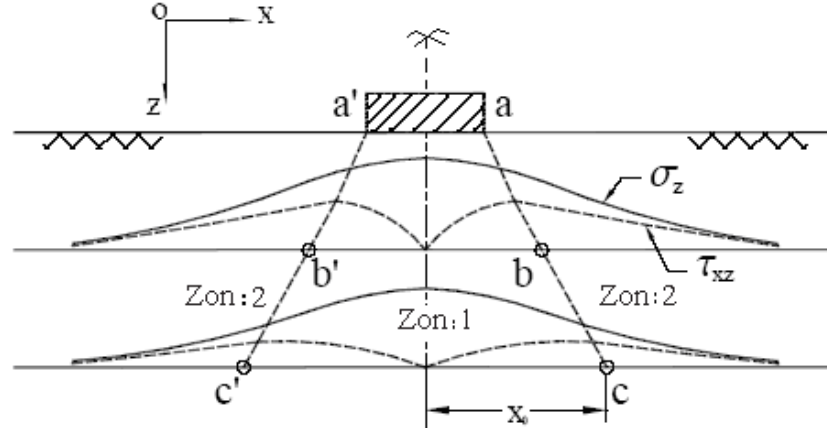
Şekil 2.2. Donatılı zemin üzerindeki temellerin göçme durumları

* a. Donatılar üzerinde kayma, b. Donatı sıyrılması, c. Donatı kopması (Binquet and Lee 1975b)

Bu ifadede; T_D =Herhangi bir tabakada oluşan çekme kuvveti, R_y =Donatı kopma mukavemeti, akma direnci, T_f =Donatı-zemin arasında mobilize olan sürtünme direnci, GS_y =Donatı kopmasına karşı güvenlik sayısı, GS_f =Donatı sıyrılmasına karşı donatı sayısıdır.

Bu yöntemde şerit temellerin taşıma kapasitesi hesaplanırken temel ve donatı boyutları belirlenip, dizayn yükü altında her donatı tabakası için üç ana kuvvet (T_D , R_y , T_f) tayin edilir. Eşitlikteki tahkikin sağlanması gerekmektedir.

Şekil 2.3'te, Binquet and Lee (1975b)'nin şerit temeller ile ilgili teorisinde belirtilen gerilmelerin zemin içindeki dağılışı görülmektedir. Temel yükü altındaki zeminde göçme yüzeyi oluşmaktadır. Şekil 2.3'deki gibi donatılı bölge iki zona ayrılmaktadır. 1. Zon temelin hemen altındaki bölge olup yükün artması ile zemin aşağı doğru hareket etmektedir. 2. Zon ise zeminin yukarı ve dışarı doğru hareket ettiği bölgedir.



Şekil 2.3. Şerit temel altında gerilme dağılışı ve göçme mekanizması

*(Binquet and Lee 1975b)

Zon 1 ile Zon 2 arasındaki sınırdaki (a-c ve a'-c') kayma gerilmesi (τ_{xz}) maksimumdur. Oturma miktarının aynı olduğu değerlerde donatısız ve donatılı zeminler için birim alana gelen yüklerin oranı sabittir. Bu ilişkiyi Binquet and Lee (1975a) laboratuvar deneyleriyle doğrulamıştır. Donatının karşıladığı kuvvet formülü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$T_D = \frac{1}{N} \left[q_u \left(\frac{q_R}{q_u} - 1 \right) \left(J \left(\frac{z}{B} \right) B - I \left(\frac{z}{B} \right) h \right) \right] \quad (2.2)$$

Bu formülde; T_D =Herhangi bir z derinlikte donatıların birim uzunluğuna gelen kuvvet, N =Donatı tabaka sayısı, q_u =Donatısız durumda temel tabanında birim alana gelen yük, q =Donatılı durumda temel tabanında birim alana gelen yük, J ve $I = z/B$ oranına bağlı katsayılar, B =Temel genişliği ve h =tabakalar arasında düşey mesafedir.

Yukarıdaki formülde belirtilen J ve I katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$J\left(\frac{z}{B}\right) = \frac{\int_0^{x_0} \sigma_z\left(\frac{z}{B}\right) dx}{q_r B} \quad I\left(\frac{z}{B}\right) = \frac{\tau_{xz \max}\left(\frac{z}{B}\right)}{q_r} \quad (2.3)$$

Yer değiştirme olduktan sonra donatılı zeminde meydana gelen değişim Şekil 2.4'te verilmiştir. ABCD bölgesinde donatı yokken kuvvetlerin dengesi;

$$F_t + F_b - S = 0 \quad (2.4)$$

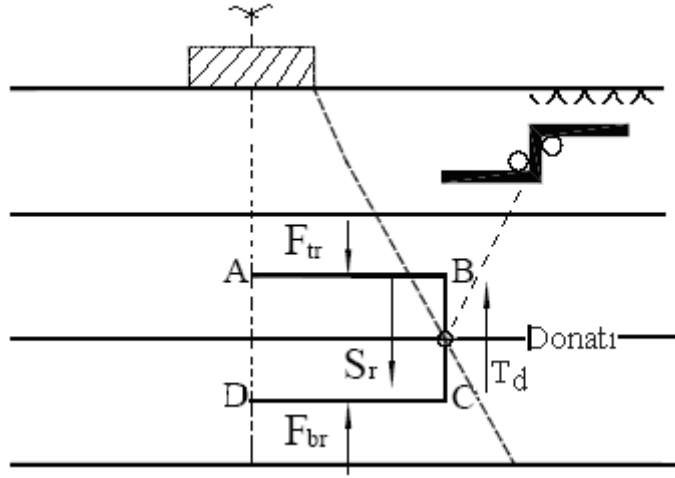
eşitliği ile ifade edilmektedir. Donatılı durumda ise;

$$F_{tr} - F_{br} - S_r - T_t = 0 \quad (2.5)$$

eşitliğindeki gibidir. Aynı oturma değerinde ($F_b = F_{br}$) kuvvet;

$$T_d = F_{tr} - F_t - S_r + S \quad (2.6)$$

ifadesi ile belirtilmiştir. Burada, F_t ve F_b donatısız durumdaki düşey yönlü kuvvetler, S kayma kuvveti, F_{tr} ve F_{br} donatılı durumdaki düşey yönlü kuvvetler ve S_r donatılı modeldeki kayma kuvvetidir.



Şekil 2.4. Donatılı zeminde kuvvet bileşenleri (Binquet and Lee 1975b)

Donatı çekme dayanımı formülü aşağıdaki gibidir;

$$R_y = \frac{w \cdot N_R \cdot t \cdot f_y}{G S_y} \quad (2.7)$$

Burada; w =Donatı tabaka genişliği, t =Donatı kalınlığı, N_R =Birim uzunluktaki donatı sayısı, G_y =Donatı malzemesinin akma ve kopma dayanımı, $G S_y$ =Donatı akma ve kopmasına karşı güvenlik sayısını göstermektedir.

Donatı lineer yoğunluğu (Linear density of reinforcement) olarak isimlendirilen birim sölme uzunluğundaki toplam donatı genişliği; w ve N_R terimlerinin çarpımı olarak ifade edilmektedir.

Donatı ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti (T_f);

$$T_f = 2 \cdot f \cdot LDR \cdot \left[M \left(\frac{z}{B} \right) \cdot B \cdot q_u \left(\frac{q}{q_u} \right) + \gamma \cdot (L_0 - x_0) \cdot (z + Df) \right] \quad (2.8)$$

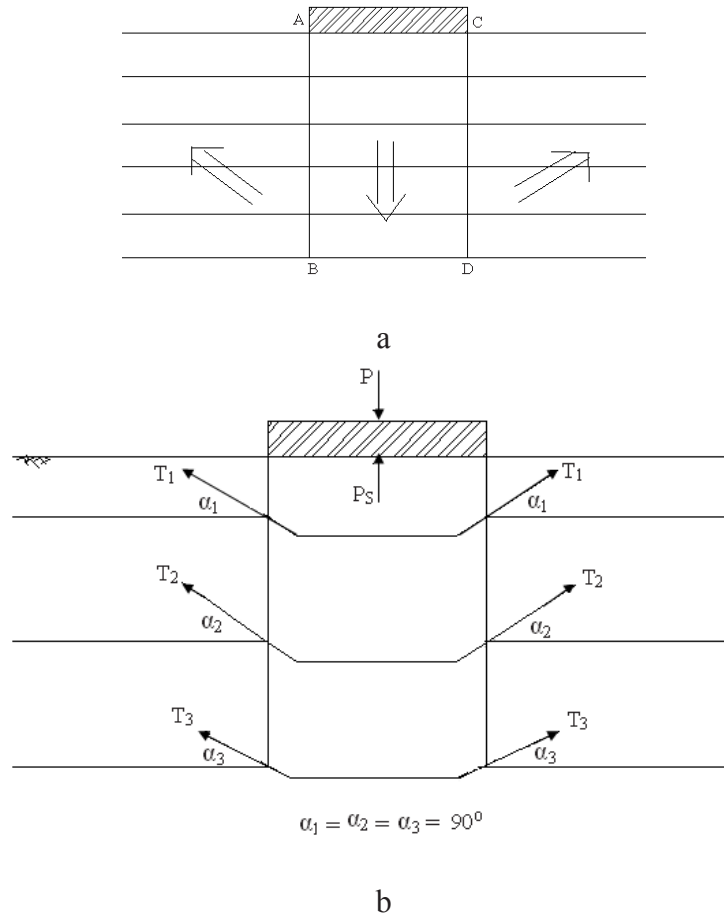
eşitliği ile ifade edilmektedir. Formülde; f =Zemin ile donatı arasındaki sürtünme katsayısı, z =Derinlik, B =Temel genişliği, $M=z/B$ oranına bağlı katsayı, D_f =Temel derinliği, γ =Zemin birim hacim ağırlığı, x_0 =Temel merkezi ile τ_{xz} =gerilmesinin maksimum olduğu nokta arasındaki mesafedir.

Zemin ile donatı arasındaki sürtünme katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir;

$$f = \frac{\tan \phi_f}{GS_f} \quad (2.9)$$

Singh (1988) tarafından yapılan çalışma: Donatılı zeminlerdeki temellerde seçilen herhangi bir oturma seviyesindeki taşıma kapasitesi analiz edilmiştir (Yetimoğlu 1994). Çalışmada, donatı sıyrılması ve donatıya gelen çekme kuvveti incelenmiştir. Çekme kuvvetleri hesaplanarak donatı kesit alanının belli güvenlikte seçilmesi gerektiği belirtilmiştir. Göçme mekanizması ve yük transferi ile ilgili teorilerin bazıları şunlardır;

- Dışarı ve aşağıya hareket eden zemin zon sınırları temel kenarından geçen düşey bir düzlemdir (Şekil 2.5.a).
- Temel üzerindeki yükler arttıkça aşağı doğru hareket eden zemin donatıları aşağı iter. Kayma yüzeyleri ile kesiştiği kısımlarda (AB ve CD) 90° kıvrım yapar (Şekil 2.5.b).
- Sisteme tesir eden temel yükü, donatılar ve zemin tarafından süperpoze prensibi ile karşılanmaktadır.
- Donatıların taşıdığı yük temelin oturmasına fazla bir etki etmemiştir.



Şekil 2.5. Göçme sistemi ve kuvvet bileşenleri

*a. Varsayılan göçme sistemi, b. Kuvvet bileşenleri

Ani (Elastik) oturma;

$$s = q_u \cdot B \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{E} I_p \quad (2.10)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada; s =Ani oturma değeri, q_u = Taban basıncı, B =Temel kısa kenar uzunluğu, ν =Poisson oranı, I_p =Temel şekline bağlı tesir katsayısı, E =Zemin elastisite modülü olup, A temel alanı ise zeminin taşıdığı yük (P_s) hesabı aşağıdaki gibidir.

$$P_s = q_u \cdot A \quad (2.11)$$

Donatıların taşıdığı yük (P_d) hesabı;

$$P_d = 2 \cdot \sum_{i=1}^N P_{di} \quad (2.12)$$

Her hangi bir oturma değerindeki taşıma kapasitesi oranı (BCR);

$$BCR = \frac{q}{q_u} = \frac{P}{P_a} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^N 2P_{Ai} \frac{F_{Ni}}{P} \left[1 - \sum_{j=1}^N \frac{F_{Nj}}{P} \tan \phi_{ij} \right] \tan \phi_{\mu i}} \quad (2.13)$$

ile hesaplanmaktadır. Bu formülde; P =Donatılı zemindeki temelin taşıdığı toplam yük, P_A =donatılı yüzey alanının donatılı zemin tabakası yüzey alanına oranı, F_N =Donatı sıyrılmasına karşı koyan toplam kuvvet ve ϕ_{μ} =Donatı-zemin sürtünme açısıdır.

Singh (1988) teorik analizleri sonucunda optimum ilk donatı tabaka derinliğini $u=0,25B$ ve düşey donatı aralığını $h=0,10B$ bulmuştur. Toplam donatılı zon derinliği $1,50B$ ise donatı uzunluğunu $4B$ olarak hesaplamıştır. Donatısız zeminin göçme şartlarından daha büyük oturma değerlerinde taşıma kapasitelerinin hesaplanabilmesi için araştırma yapmıştır. Bu analiz yöntemleri şöyledir;

a. Donatının sıyrılması durumu için analiz yöntemi: Şerit temeller için donatılardaki çekme kuvvetlerinin toplamına eşit yanal basınç kuvveti C olarak tanımlanırsa, bu kuvvetten dolayı oluşan sürtünme kuvvetinin düşey bileşeni;

$$P_d = 2 \cdot C \cdot \tan \phi \cdot \sin^2 \psi \quad (2.14)$$

olarak tanımlanmaktadır. Donatılı zeminin nihai taşıma kapasitesi aşağıdaki gibidir;

$$q_{ud} = q_u + q_d \quad (2.15)$$

Bu eşitliklerde; q_u =Donatısız zeminin nihai taşıma kapasitesi, ϕ =Donatısız zeminin kayma açısı ve $\psi=45^\circ + (\phi/2)$ anlamındadır. Taşıma kapasitesi oranı (BCR) şöyle tanımlanmaktadır;

$$BCR = \frac{q_{ud}}{q_u} = 1 + \frac{P_d}{q_u} \quad (2.16)$$

$$BCR = \frac{1}{1 - 2 p_{Ai} \tan \phi \sin^2 \psi \tan \phi_\mu \sum_{i=1}^N \left(\frac{F_{Ni}}{P} \right) \left[1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{F_{Nj}}{P} \tan \phi_\mu \right) \right]} \quad (2.17)$$

Araştırmacı, donatı ile zemin arasındaki sürtünme açısını sabit almıştır. Donatılar ile sıyrılma deneylerinden akma anında elde ettiği maksimum sürtünme açısının herhangi bir katsayıya bölmemesini tavsiye etmiştir.

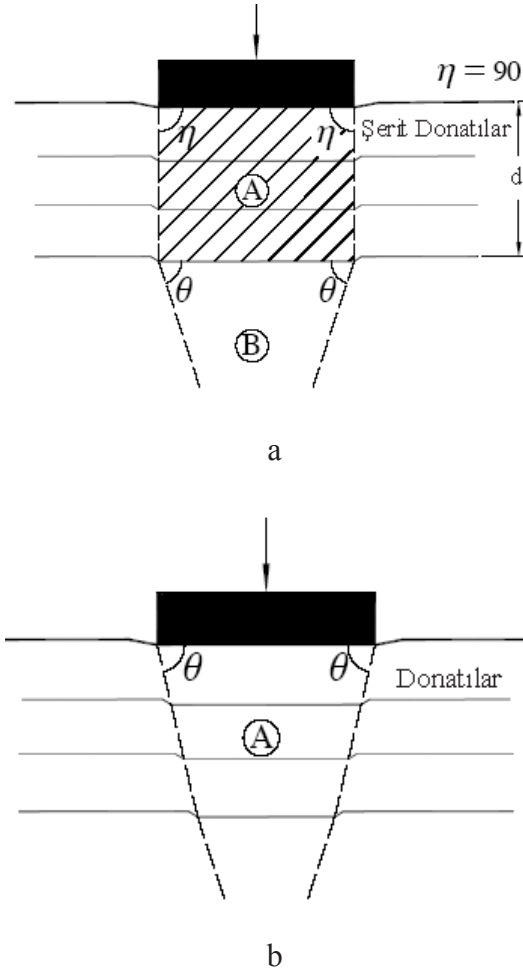
b. Donatının kopması durumu için analiz yöntemi: Bu durumda nihai yük, donatılarda oluşan maksimum çekme kuvveti ve mukavemeti ile kontrol edilmektedir. Zeminin taşıyabileceği nihai yük;

$$P = \frac{\sigma_y A_{bi}}{2 p_{Ai} \left(\frac{F_{Ni}}{P} \right) \left[1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{F_{Nj}}{P} \tan \phi_{\mu j} \right) \right] \tan \phi_\mu} \quad (2.18)$$

ile tanımlanmaktadır. Buradaki değerler şöyledir; i =Donatı tabaka seviyesi, σ_y =Donatı malzemesi çekme kuvveti, A_{bi} = i tabakasındaki donatıların en kesit alanı.

Huang and Tatsuoka (1990) tarafından yapılan çalışma: Temel ile aynı genişliğe sahip donatılı kum zeminlerdeki şerit temellerin taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Laboratuvar deneyleri yapılarak iki tür göçme hali tanımlamışlardır (Şekil 2.6).

Birinci Tür Göçme Hali: Donatılı zeminin altındaki donatısız bölgede oluşan kayma göçmesidir (Şekil 2.6.a). Bu göçme halinde kayma yüzeyi temelin kenarlarından başlayıp donatılı bölge derinliğince düşey yönde düzgün ilerleyip donatısız bölgede kama (B bölgesinde) yapmaktadır.



Şekil 2.6. Donatılı kumda iki göçme modu (Huang and Tatsuoka 1990)

* a. Birinci tür göçme durumu, b. İkinci tür göçme durumu

Sık donatılı zeminlerde oluşacağı düşünülmüştür. Bu tür göçmede donatı genişliği (L) ve donatılı bölge derinliği (d) temel genişliğine (B) eşit kabul edilmektedir ($B=L=d$). Donatı etkisiyle taşıma kapasitesindeki artış q_a olarak ve donatı uzunluğu temelinkinden daha uzun olan durumlar için geniş plak etkisiyle taşıma kapasitesindeki artış q_b olarak gösterilirse;

$$q_a = K_p^2 \gamma \cdot \left[\frac{2d + b + 2s_2}{2} - \frac{y + s_1}{2} \right] \quad (2.19)$$

$$q_b = \frac{2 \left[\sum_{i=1}^N T_{t,i} \cdot \tan \phi \cdot N_i \right]}{B} \quad (2.20)$$

$$\Delta q = q_a + q_b \quad (2.21)$$

$$\Delta q = K_p^2 \gamma \left[\frac{2d + b + 2s_2}{2} - \frac{y + s_1}{2} \right] + \frac{2 \left[\sum_{i=1}^N T_{t,i} \cdot \tan \phi \cdot N_i \right]}{B} \quad (2.22)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi / 2) \quad (2.23)$$

formülleri verilmiştir. Burada; γ =Zeminin kuru birim hacim ağırlığı, d =Donatılı bölge derinliği, K_p =Pasif toprak basınç katsayısı, b =Kayma bloğu yüksekliği, s_1 =Temelin göçme halindeki oturma miktarı, s_2 =Donatılı zemindeki temelin göçme haindeki oturma miktarı, y =Donatısız durumdaki kayma bloğu yüksekliği, B =Temel genişliği, N =Donatı tabaka sayısı, T =Her bir donatı tabakasındaki çekme kuvveti ve ϕ =Zeminin kayma mukavemeti açısıdır.

İkinci Tür Göçme Hali: Göçme yüzeyinin donatılı bölgede olduğu haldir. Donatılar taşıma kapasitesine, çekme kuvvetleri etkisiyle yanal çevre basıncını artırarak katkıda bulunmaktadır (Şekil 2.6.b). donatı yoğunluğunu yetersizliği, donatıda kopma olması ve donatı ile kum arasında yeterli sürtünme olmaması durumlarında bu durum gözlemektedir. Bu hal için donatılı zeminin taşıma kapasitesi;

$$\Delta q = K_p \frac{\left[\sum_{i=1}^N T_{t,i} \cdot \tan \phi \cdot N_i \right]}{d} \quad (2.24)$$

davrandığı kabul edilmektedir. Donatılı zon derinliği derin temel derinliği yerini almıştır. Derin temel için taşıma kapasitesi oranı aşağıdaki gibidir:

$$BCR = \frac{q_{u(Donatisiz, Df > 0)}}{q_{u(Donatisiz, Df = 0)}} \quad (2.27)$$

b. Geniş plak etkisi: Donatılı kısım geniş plak gibi davranıp taşıma kapasitesine etki etmektedir. Donatılı sistem için taşıma kapasitesi aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir;

$$q_{u(donatılı)} = \eta \cdot (B + \Delta B) \cdot \gamma \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \quad (2.28)$$

$$q_{u(donatılı)} = q_{u(donatisiz, Df=0)} + \eta \cdot \Delta B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (2.29)$$

Eşitlik 2.29'un ikinci kısmı geniş plaka halinden gelen etkidir. Bu etki $q_{u(slab)}$ olarak tanımlanırsa;

$$q_{u(slab)} = \eta \cdot \Delta B \cdot \gamma \cdot N_\gamma = \Delta B \cdot \frac{q_{u(donatisiz, Df=0)}}{B} \quad (2.30)$$

Eşitlikler yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

$$q_{u(slab)} = q_{u(donatılı)} - q_{u(donatisiz, Df > 0)} = q_{u(donatisiz, Df=0)} \cdot (BCR_m - BCR_D) \quad (2.31)$$

Donatılı bölge etkisiyle temel etkisi artışı ΔB ile gerilme yayılma açısı (stress distribution angle) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\tan \alpha = \frac{\Delta B}{2D_f} \quad (2.32)$$

Bu değerin daha iyi hesaplanabilmesi için bazı etkenler arasında bir ilişki geliştirilmiştir. Bu etkenler; donatı sayısı (N), donatı boyu (L/B), donatı yoğunluğu

(CR), ilk donatı derinlik oranı (u/B), donatılar arası düşey mesafe (h/B)'dir. Aralarındaki ilişki aşağıda verilmiştir;

$$\tan\alpha = 0,680 - 2,071 \cdot h/B + 0,743 \cdot CR + 0,030 \cdot L/B + 0,076 \cdot N \quad (2.33)$$

$$\tan\alpha = 0,860 \cdot 0,00077^{h/B} \cdot 4,890^{CR} \cdot 1,111^{L/B} \cdot 1,323^N \quad (2.34)$$

İlk donatı derinliğinin etkisinin donatılar arası düşey mesafeye eşit olduğu varsayılmış, aşağıdaki koşullarda bu durumun sağlandığı belirtilmiştir;

$$\tan\alpha > 0 \quad (2.35)$$

$$0.25 \leq d_t/B \leq 0.5 \quad (2.36)$$

$$0.02 \leq CR \leq 1.0 \quad (2.37)$$

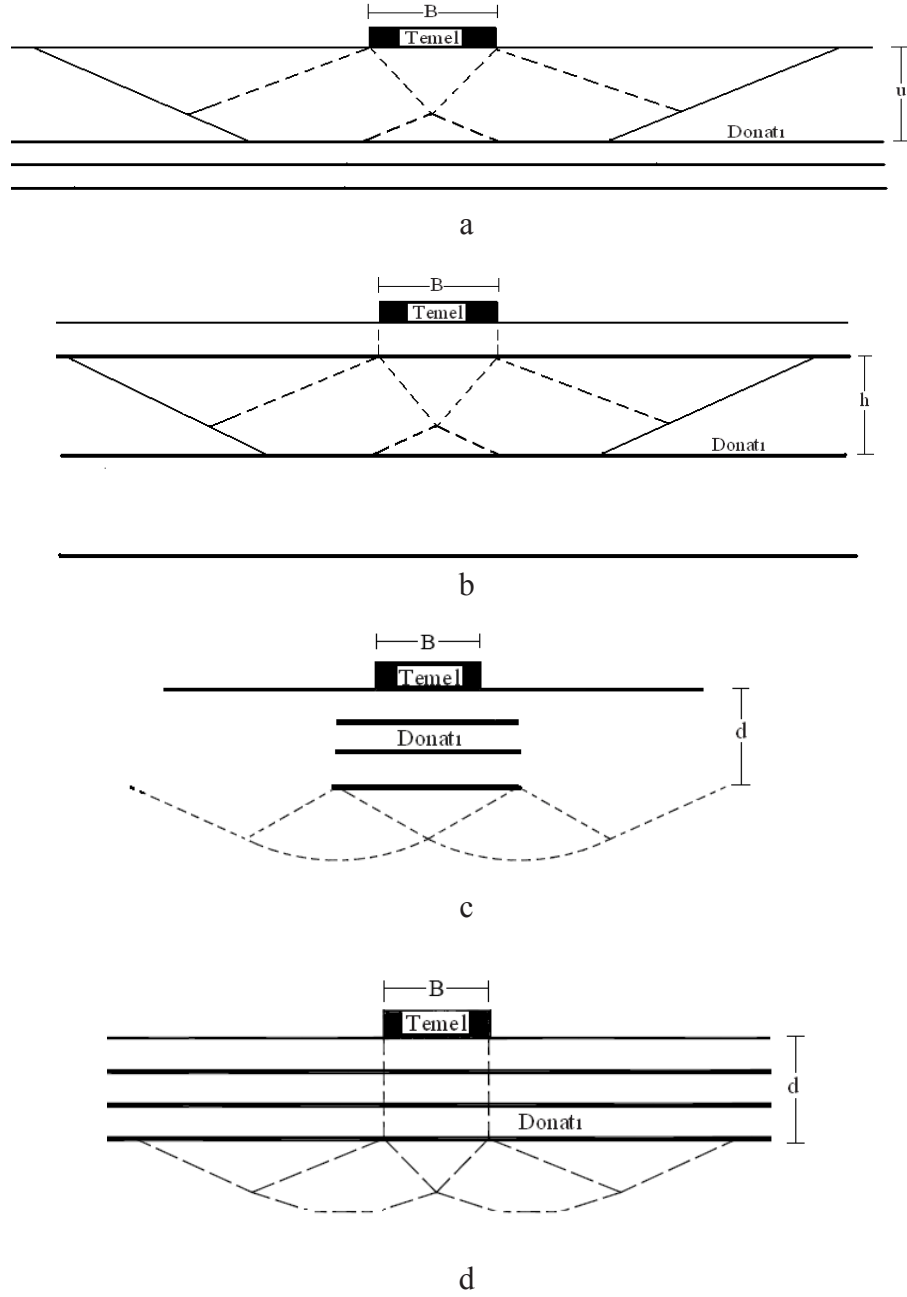
$$1 < L/B \leq 10 \quad (2.38)$$

$$1 \leq N \leq 5 \quad (2.39)$$

Wayne et al. (1998) tarafından yapılan çalışma: Donatılı zeminler için yaptıkları çalışmalar, donatıların farklı yerleşim düzeni ve zemin çeşidine dayalıdır. Tanımladıkları göçme mekanizmaları Şekil 2.8'de görülmektedir. Şekil 2.8.a'da; ilk donatı derinliğinin (u) spesifik bir değerden büyük olduktan sonra donatı sınır etkisi yapıp, göçmenin bu donatı üzerinde oluştuğu belirtilmiştir. Bu durumun önlenmesi için donatının temele daha yakın bir mesafeye yerleştirilmesi tavsiye edilmiştir. Şekil 2.8.b'de; donatılar arası uzaklığın büyük olması halinde göçme donatıların arasında oluşmaktadır. Donatılar arası mesafenin uygun aralıkta tutulması ile bu sorunun yaşanmayacağını belirtilmiştir. Şekil 2.8.c'de donatı boyunun yetersiz kaldığı hallerde donatılandırılmış bölge boyunca zımbalama göçmesi oluştuğu belirtilmiştir. Şekil 2.8.d'de ise zımbalama göçmesinin donatı düzeninin altında gerçekleşmektedir. Donatının taşıma gücüne katkısını gösteren eşitlik aşağıdaki gibidir;

$$q_{uR} = q_b + 2c(B+L)\frac{d}{L} + \gamma_t H^2 \left[1 + 2 \frac{Df}{d} \right] K_s (B+L) \frac{\tan \phi_t}{BL} + 2(B+L) \frac{T}{BL} - \gamma_t d \quad (2.40)$$

Burada; c =Üst zemin tabakasının kohezyonu, q_b =Donatılı bölge altındaki nihai taşıma kapasitesi, γ_t =Üst zemin tabakasının birim hacim ağırlığı, D_f =Temel derinliği, L =Temel uzunluğu, B =Temel genişliği, d =Üst zemin tabakasının kalınlığı, ϕ_t =Üst zemin tabakasının kayma açısı, T =Donatı çekme kuvveti ve K_s =Zımbalama katsayısıdır.



Şekil 2.8. Donatılı temel zeminindeki olası göçme modelleri (Wayne *et al.* 1998)

*a. Donatı üzerinde göçme meydana gelmesi, b. Donatılar arasında göçme meydana gelmesi, c. Donatılı bölgenin ilerisinde göçme meydana gelmesi, d. Donatılar boyunca göçme meydana gelmesi

Michalowski (2004) tarafından yapılan çalışma: Geosentetik kullanılarak donatılandırılmış zeminler üzerindeki temeller üzerindeki limit yüklerin hesaplanabilmesi için yeni bir metod tanımlanmıştır. Farklı donatılı durumlar için taşıma kapasitesi formülleri geliştirmiştir. İki farklı göçme mekanizması için çözüm önerilerinde bulunmuştur. Limit analiz teknikleri kullanılmıştır. Donatının güçlü veya zayıf olmasından kaynaklı oluşan bu göçme mekanizmalarının çözümleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

a. Donatının güçlü olduğu durum: Donatı derinliği, uzunluğu ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak zemin-donatı arasındaki ara yüzeyi etkileyen katsayı etkileri incelenmiştir. Donatı sayısının tek ve birden fazla olması halleri için farklı tanımlamalarda bulunulmuştur.

Tek donatılı hal için taşıma kapasitesi;

$$p = \frac{1}{1 - \mu \frac{d}{B} M_p} \left[c(N_c + f_c M) + q(N_q + \mu M) + \gamma B \left(\frac{1}{2} N_\gamma + \mu \frac{d}{B} M \right) \right] \quad (2.41)$$

$$M_p = 1,5 - 1,25 \times 10^{-2} \phi \quad (2.42)$$

$$M_c = M_q = M_\gamma = M = 1,6(1 + 8,5 \tan^{1.3} \phi) \quad (2.43)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.44)$$

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \phi} \quad (2.45)$$

$$N_\gamma = e^{0,66 + 5,11 \tan \phi} \phi \tan \phi \quad (2.46)$$

Birden fazla donatılı durum için taşıma kapasitesi;

$$p = \frac{1}{1 - \mu M_p \sum_{i=1}^n \frac{di}{B}} \left[c(N_c + nf_c M) + q(N_q + n\mu M) + \gamma B \left(\frac{1}{2} N_\gamma + \mu M \sum_{i=1}^n \frac{di}{B} \right) \right] \quad (2.47)$$

İki donatılı durum için;

$$M = 1,1(1 + 10,6 \tan^{1,3} \phi) \quad (2.48)$$

$$M_p = 0,75 - 6,25 \times 10^{-3} \quad (2.49)$$

Üç donatılı durum için;

$$M = 0,9 (1 + 11,9 \tan^3 \phi) \quad (2.50)$$

$$M_p = 0,5 - 6,25 \times 10^{-3} \phi \quad (2.51)$$

Burada; p=taşıma kapasitesi, M=donatılı zeminin özelliğine bağlı katsayı (tek donatılı durumda $M_c = M_q = M_\gamma$ ’dır.), d=donatı derinliği, μ =donatı ile zemin arasındaki ara yüzey sürtünme katsayısı, γ =zemin birim hacim ağırlığı, c=kohezyon, ϕ =zemin kayma direnci açısı, f_c =kullanılan donatı ile zemin arasındaki kohezyon ile ilgili bir katsayı, n=donatı sayısı, B=temel genişliği ve N=taşıma kapasitesi katsayılarıdır.

b. Donatının zayıf olduğu durum: Donatıda üzerine gelen yük ile meydana gelen plastik deformasyon donatının kayma (slip) yapmasından önce oluşuyorsa, donatı zayıf demektir. Bu durum için taşıma kapasitesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$p = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \frac{nT_t}{B} M_r \quad (2.52)$$

$$M_r = 2 \cos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) e^{(\pi/4 + \phi/2) \tan \phi} \quad (2.53)$$

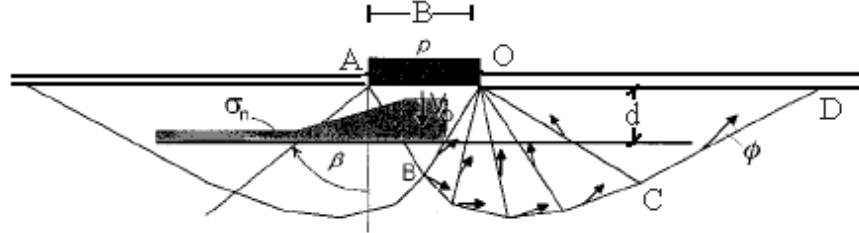
Birden fazla donatı belli aralıklarla serilmişse taşıma kapasitesi;

$$p = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + k_t M_r' \quad (2.54)$$

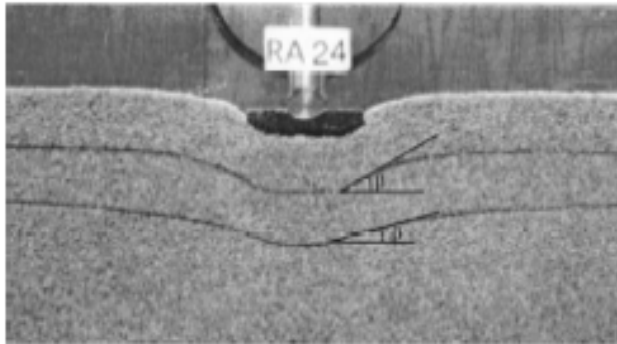
$$M_r' = (1 + \sin \phi) e^{(\pi/2 + \phi) \tan \phi} \quad (2.55)$$

$$k_t = \frac{T_t}{s} \quad (2.56)$$

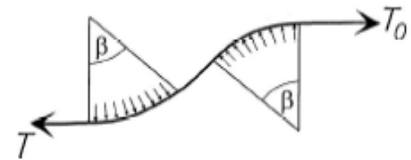
ile hesaplanır. Burada; T_t donatı çekme kuvveti, s ise donatılar arası mesafedir. Çalışmada kullanılan metod ile ilgili örnek Şekil 2.9'da verilmektedir. Şekil 2.10 ise temel plakası yüklendikten sonra donatıların yaptığı davranış ve açığı göstermektedir.



Şekil 2.9. Yükleme sonrası donatılı zemin davranışı (Michalowski 2004)



a



b

Şekil 2.10. Yükleme sonrası donatılı tabakanın yaptığı davranış

*a. Donatı deformasyonu, b. Donatının yüklenme anında yaptığı β açısı

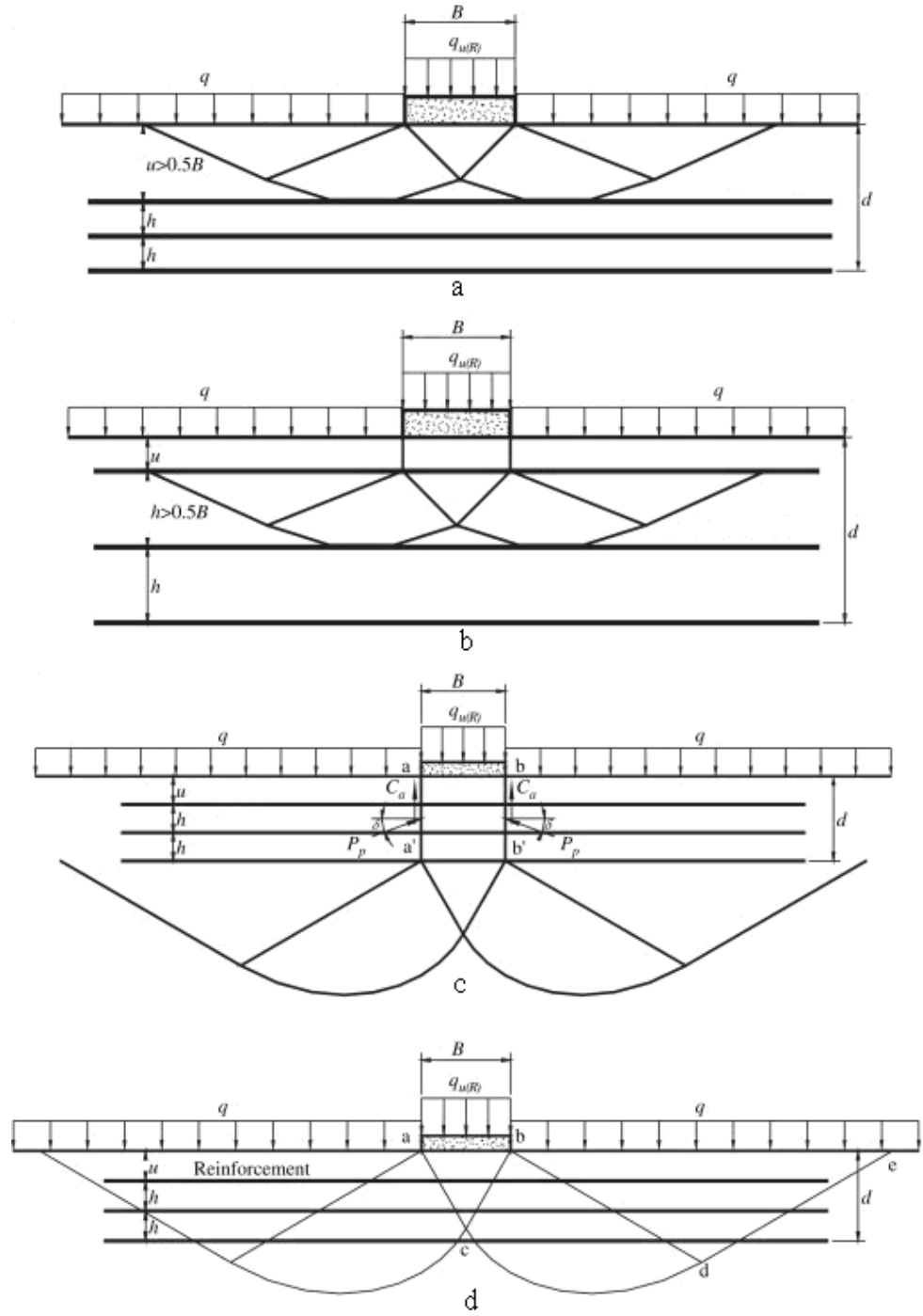
Sharma *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışma: Daha önceki yıllarda farklı zemin sistemleri için yapılan analitik çalışmalar değerlendirilmiş ve yeni formüller tanımlanmıştır;

a. İki tabakalı zemin sistemi üzerindeki temellerin göçmesi: Şayet üstteki donatılı zon alttaki donatısız zona göre daha genişse ve donatı derinlik oranı (L/B) oldukça küçükse donatılı bölgede zımbalama kayma göçmesi, donatısız alanda ise genel kayma göçmesi oluşmaktadır (Şekil 2.11c). Bu tarz göçme mekanizması ilk olarak Meyerhof and Hanna (1978) tarafından altta zayıf üstte güçlü zemin şartları için açıklanmıştır. Wayne *et al.* (1998) bu açıklamayı biraz değiştirerek yeniden tanımlamıştır. Kayma kuvveti olarak $F_T = \sum T_i \tan \delta$ tanımlanıp buradaki; i tabaka sırasını, T donatı çekme kuvvetini, δ mobilize sürtünme açısını temsil etmektedir. Donatılı zemin üzerindeki şerit temel için taşıma kapasitesi aşağıdaki gibidir;

$$q_{u(R)} = q_{u(b)} + \frac{2c_a L}{B} + \gamma_t L^2 \left(1 + \frac{2D_f}{L} \right) \frac{K_s \tan \phi_t}{B} + \frac{2 \sum_{i=1}^N T_i \tan \delta}{B} - \gamma_t L \quad (2.57)$$

Burada $q_{u(R)}$ donatılı zemindeki nihai taşıma kapasitesini, $q_{u(b)}$ alttaki donatısız zeminin nihai taşıma kapasitesini, γ_t donatılı zondaki birim hacim ağırlığını, D_f temel derinliğini, K_s zımbalama kayma katsayısı, ϕ_t donatılı zondaki kayma direnci açısı ve N donatı sayısını temsil etmektedir. Donatılı zemin üzerindeki kare temel için taşıma kapasitesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$q_{u(R)} = q_{u(b)} + \frac{4c_a L}{B} + 2\gamma_t d^2 \left(1 + \frac{2D_f}{L} \right) \frac{K_s \tan \phi_t}{B} + \frac{4 \sum_{i=1}^N T_i \tan \delta}{B} - \gamma_t L \quad (2.58)$$



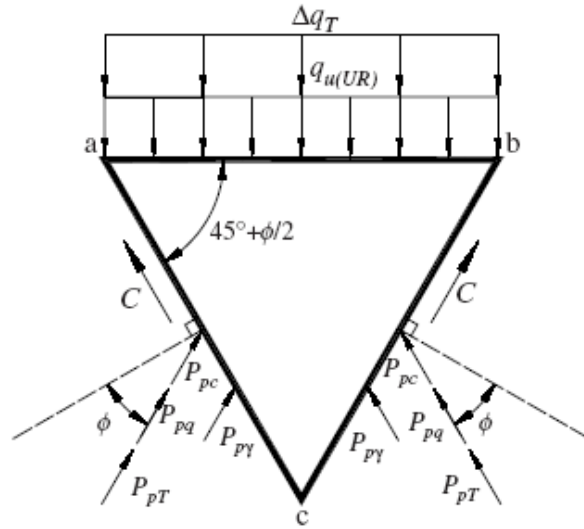
Şekil 2.11. Göçme modları

*a. Üst donatının yukarısında oluşan göçme (Binquet and Lee 1975a, 1975b), b. Donatılar arasında oluşan göçme (Wayne *et al.* 1998), c., d. Tabakalı zemin sistemindeki göçme (Wayne *et al.* 1998)

b. Donatılı zon içinde göçme: Donatılı bölgenin gücü donatısızdan biraz daha fazla ise yada donatı derinlik oranı nispeten daha büyükse göçme donatılı zon içinde oluşmaktadır (Şekil 2.11d). Bu tarz göçme durumunda süper pozisyon prensibi uygulanıp, donatının taşıma kapasitesine etkisi Δq_T ile gösterilmiştir. Şerit temelin taşıma kapasitesi aşağıdaki gibidir;

$$q_{u(R)} = q_{u(UR)} + \Delta q_T = cN_c + qN_q + 0.5\gamma BN_\gamma + \Delta q_T \quad (2.59)$$

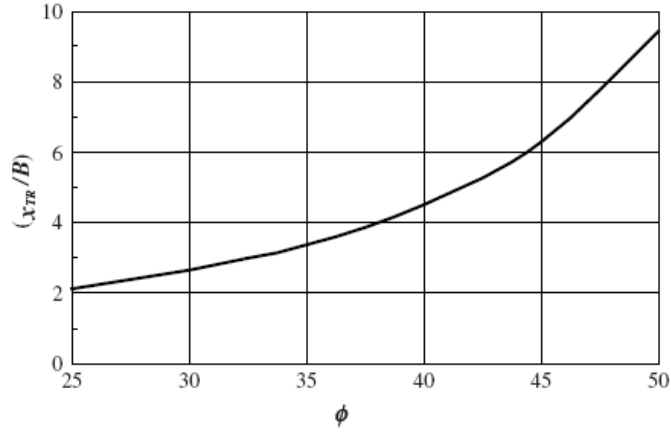
Burada $q_{u(UR)}$ donatısız zeminin taşıma kapasitesi, Δq_T donatı çekme kuvvetine bağlı taşıma kapasitesindeki artış, c kohezyon, q sürşarj yükü, γ zeminin birim hacim ağırlığı, N_c , N_q ve N_γ taşıma kapasitesi faktörlerini temsil etmektedir.



Şekil 2.12. abc zemin kamasının serbest gövde diyagramı (Sharma *et al.* 2009)

Şekil 2.12 abc zemin bölmesine etki eden sürşarjdan (q), kohezyondan (c), hacim ağırlığından (γ) donatı çekme kuvvetinden dolayı oluşan pasif kuvvetlerin bileşkesi P_p ile tanımlanmıştır.

$$P_p = P_{pc} + P_{pq} + P_{p\gamma} + P_{pT} \quad (2.60)$$



Şekil 2.14. x_T 'nin zemin kayma açısı ϕ ile değişimi (Sharma *et al.* 2009)

$$\Delta q_T = \frac{4T_L u}{B^2} = \frac{4Tu}{B^2} \quad (2.64)$$

$$\Delta q_T = \sum_{i=1}^N \frac{4T_i [u + (i-1)h]}{B^2} \quad (2.65)$$

formüllerine dönüşmektedir. Sonuçta, sırasıyla şerit ve kare temeller için taşıma kapasiteleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabileceği önerilmektedir.

$$q_{u(R)} = cN_c + qN_q + 0.5\gamma BN_\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{4T_i [u + (i-1)h]}{B^2} \quad (2.66)$$

$$q_{u(R)} = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma + \sum_{i=1}^N \frac{12T_i [u + (i-1)h]r_T}{B^2} \quad (2.67)$$

$$r_T = \left[\begin{aligned} &\left[1 - 2 \frac{u + (i-1)h}{B} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \right] \text{ for } u + (i-1)h < \frac{B}{2} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \\ &\frac{1}{2} - \frac{u + (i-1)h}{2H_f} \text{ for } u + (i-1)h \geq \frac{B}{2} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \right] \quad (2.68)$$

$$H_f = \frac{B}{2 \cos(\pi/4 + \phi/2)} e^{(\pi/4 + \phi/2) \tan \phi} \cos \phi \quad (2.69)$$

Burada H_f göçme yüzeyi derinliğidir. Donatı çekme kuvvetinin hesabı için Schmertmann *et al.* (1978) tarafından belirtilen toplam oturma formülünden yararlanılmıştır.

$$S_e = C_1 C_2 C_3 (q - \gamma D_f) \sum \frac{I_E \Delta z}{E_s} \quad (2.70)$$

Burada C_1 , C_2 ve C_3 sırasıyla; derinlik, ikincil kabarma ve temel şekil düzelme faktörleri, q sürşarj yükü, γ birim hacim ağırlık, D_f temelin zemin içindeki derinliği, I_E deformasyon etki faktörü, Δz bölünen zemin tabakası kalınlığı, E_s kumun elastik modülüdür. Şekil 2.15 kum, Şekil 2.16 kil zemin için oturma ve birim şekil değiştirme davranışlarını göstermektedir. Ortalama ve maksimum birim deformasyon ve donatı çekme kuvveti formülleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_{avg} = \frac{L_{ab} + L_{bc} + L_{cd} - L_{ad}}{L_{ad}} \quad (2.71)$$

$$L_{ab} = L_{cd} = \sqrt{S_e^2 + (z/2)^2} \quad (2.72)$$

$$L_{bc} = B \quad (2.73)$$

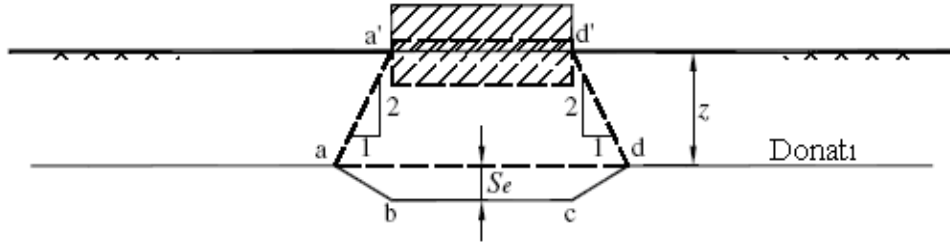
$$L_{ad} = B + z \quad (2.74)$$

$$\varepsilon_{max} = 2\varepsilon_{avg} \quad (2.75)$$

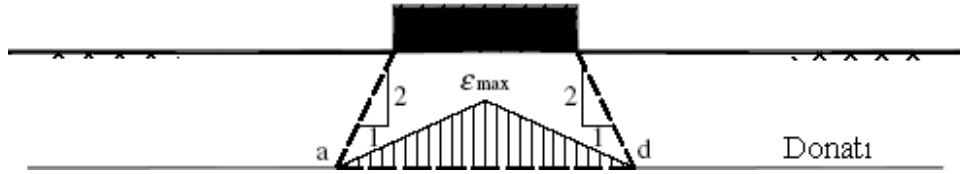
$$T = J\varepsilon \quad (2.76)$$

Burada J donatı çekme modülü (tensile modul) olarak tanımlanmıştır. Araştırmacılar

analitik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıp aralarında güzel bir uyum olduğunu gözlemiştir.



Şekil 2.15. Kumda düşey oturma davranışı (Sharma *et al.* 2009)



Şekil 2.16. Kilde birim deformasyon davranışı (Sharma *et al.* 2009)

2.2.2. Nümerik çalışmalar

Bu bölümde donatılı zeminler ile yapılan nümerik çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Aşağıdaki bölümlerde çeşitli araştırmacılar tarafından yürütülmüş uygulamalar açıklanmaya çalışılmıştır;

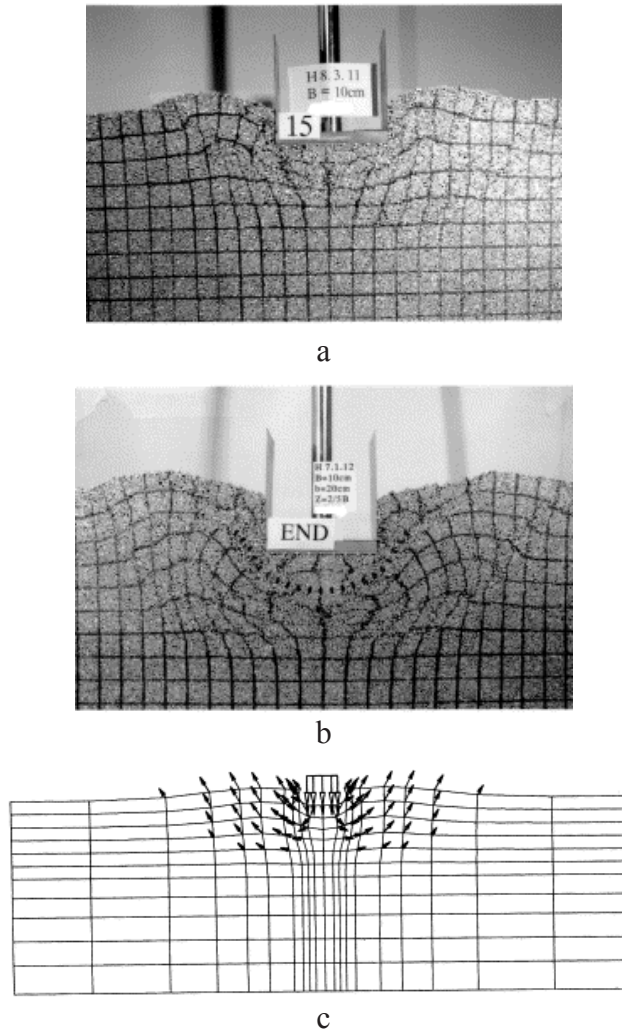
Kurian *et al.* (1997) donatılı kum üzerindeki temelleri üç boyutlu modellerle Sonlu Elemanlar programıyla incelemiştir. 200mmx 300mmx18 mm çelik temel ile yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deney ve analiz hesapları arasında benzer bir uyum gözlenmiştir. Deneylerde kayma mukavemeti açısı (ϕ) 38° olup, poisson oranı (ν) 0,3 olan kum kullanılmıştır. Mesh elemanında 904 düğüm, temel plakası 8 düğümlü elemanlarla modellenmiştir. Donatı ile zemin arasında ara elemanlar (interface) tanımlanmıştır. Temel ve donatı lineer elastik malzeme, zemin ise Desai and Abel (1972) tarafından tanımlanan hiperbolik formüllü tanjant modülüyle ifade edilmiştir. Analizler yük artımıyla yapılmış oturma-yük grafikleri incelenmiştir. Donatılı

analizlerle donatısızlar karşılaştırıldığında; donatılılarda oturmaların daha az olduğu dikkat çekmiştir. Donatılı işlemlerde ilk yükleme aşamalarında oturmanın daha fazla arttığı görülmüştür. Uygulanan yük miktarının, donatı ile zemin arasındaki sürtünmeyi aktif hale getirmediği düşünülmüştür. Donatı ile zemin arasındaki maksimum kayma gerilmesinin temel merkezinden 0,5B uzaklıkta olduğu açıklanmıştır. Donatıda oluşan çekme gerilmesinin maksimum temel merkezinde olduğu, merkezden uzaklaştıkça gerilme değerinin azaldığı ifade edilmiştir. Donatılı zeminlerde düşey gerilme dağılımının aşağılara doğru hareket ettiği, daha derinlere doğru yayıldığı belirtilmiştir.

Otani *et al.* (1998) donatılı kohezyonlu zemin üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesini sonlu elemanlar ile analiz etmiştir. Plastisite teorisi esas alınarak geliştirilen yöntemde taşıma kapasitesi yük faktörü olarak tanımlanmıştır. Donatı ile çevresindeki zemin malzemesi eşdeğer bir kohezyona sahip tek bir kompozit malzeme olarak düşünülmüştür. Alttaki zemin tamamen kohezyonlu kabul edilmiştir. Donatılı işlemlerde donatı sayısı, derinliği ve uzunluğu araştırma parametresi olarak seçilmiştir. Plastik akmanın, donatısız durumda yükün uygulandığı köşede yoğunlaştığı, donatılı durumda ise uygulanan yükün hemen altında olduğu görülmüştür. Donatılı durumda plastik akma daha geniş bir alanda oluşmuştur. Donatı çekme gerilmesi arttıkça taşıma kapasitesi de artmıştır.

Yamamoto and Otani (2002) donatılı granüler zeminlerin göçme mekanizmaları ve taşıma kapasitelerini sonlu elemanlar analizleriyle incelenmiştir. Dikdörtgen şekilli elemanlarla deneyler modellenmiştir. Analizlerde; donatılı zemin kompozit bir malzeme gibi tanımlanmıştır. Analiz sonuçları deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Deneylerde donatı malzemesi olarak alüminyum çubuklar kullanmışlardır. Plaka üzerindeki yükleme arttırılarak testler yapılmıştır. Deney sonunda gözlenen zeminin donatısız ve donatılı durumlarındaki göçme davranışı Şekil 2.17’de verilmiştir. Donatılı zeminlerde oturma şekli donatısız zemine göre daha geniş ve derinlerde oluşmuştur. Bu durumun taşıma kapasitesini arttırdığı ifade edilmiştir. Deney ve analiz sonuçları arasında uyum gözlemlendiği belirtilmiştir.

Maharaj (2003) donatılandırılmış killi zemin üzerindeki şerit temellerin davranışlarını sonlu elemanlar analizleriyle incelemiştir. Analizlerde; donatı boyu ve sayısı, donatılar arası mesafe, ilk donatı derinliği gibi parametrelerin oturma davranışına etkileri araştırılmıştır. Donatı ve temel lineer elastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Kilin elastisite modülü $13 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$, poisson oranı 0,45, kohezyon $10,84 \text{ kN/m}^2$ ve kayma açısı 0° alınmıştır. Analizlerde donatı rijitliği (J) 500, 2 000, 5 000 ve 20 000 kN/m olarak değiştirilmiştir. Analiz sonuçlarında; tek donatı kullanıldığında optimum ilk donatı derinliğinin $0,125B$ ve donatı etki derinliğinin donatının rijitliğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Efektif donatı boyu $2B$ olarak bulunmuştur. Donatı rijitliği arttıkça temel oturmasının da azaldığı belirtilmiştir.



Şekil 2.17. Zeminlerde göçme şekilleri (Maharaj 2003)

* a. Donatısız zemin deney sonucu, b. Donatılı zemin deney sonucu, c. Donatısız zemin analiz modeli

Deb *et al.* (2007) düzlem deformasyon şartlarında yumuşak zemin üzerindeki granüler dolguların taşıma kapasitesine etkisini Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) programı ile incelemiştir. Geosentetik donatı, zemin ve dolgu tabakası lineer elastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Yumuşak zemin kalınlığı 6 m, granüler dolgu ise 1 m olarak düşünülmüştür. Geosentetik donatılar 0,25m aralıklarla donatı sayısı $N=1-3$ arasında değiştirilerek taşıma gücü ve oturma değerleri araştırılmıştır. Analiz sonuçlarında tek sıra donatılı modelde meydana gelen oturma azalması %8,5; iki sıralıda %12,2 ve üç sıralıda 14,5 bulunmuştur. Donatı tabaka sayısı arttıkça oturmalar azalmıştır. Temel merkezi düşeyine yakın bölgelerde oluşan düşey gerilme değişimlerin incelendiğinde, donatılı bölgede ani gerilme azalışları ve artışları gözlenmiştir. Donatı sayısı arttıkça temel plakasından daha derinlerde oluşan düşey gerilme miktarları azalmıştır. Donatı eksenel rijitliği (stiffness) 4 000-5 000 kN/m değerine kadar oturmalar azalmış ve geosentetik tabakalardaki çekme artmıştır. 5 000 kN/m'den daha büyük rijitlikler temel oturmasını etkilememiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Materyal ve Yöntem

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan materyal

Bu bölüm donatılı ve donatısız orta sıkı kum zemin üzerindeki yüzeysel şerit temelde yapılmış tekrarlarla birlikte yaklaşık doksan adet model plaka yükleme deneyinin materyalini içermektedir. Araştırmada seçilen her bir malzeme titiz bir incelemeden geçirilerek seçilmiştir. Donatısız ve donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temelin taşıma kapasitesi ve zemin içinde oluşan düşey gerilme değişimleri laboratuvar deneyleriyle incelenmiştir. Bu deneyler için hazırlanan düzenek, zemin ve donatı özellikleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

Temel Modeli: Testlerde yüzeysel şerit temel kullanılmıştır. Temel, 10 cm (B=genişlik), 45 cm (uzunluk) ve 2,5 cm (kalınlık) boyutlarında rijit çelik plaka ile modellenmiştir. Ortasında 2,7 cm çapında ve 0,50 cm derinliğinde bilya oyuğu bulunmaktadır. Temel plağının boyutlarının seçiminde sınır etkilerinden ötürü deney kasası boyutları önemli bir rol teşkil etmiştir. Seçilen bu boyutlardaki şerit temel için test tankı genişliği ve derinliği on katından daha büyüktür. Bu nedenle tank kenarı ve duvarlarının deney sonuçlarına etkilemeyeceği düşünülmüştür. Deneylerde kullanılan temel modeli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Şerit temel modeli

Deney Kasası: Deney kasasının sınır koşulları; literatürdeki çalışmalar incelenerek ve Plaxis sonlu elemanlar programında model analizleri yapılarak belirlenmiştir. Ölçüleri; 100 cm (genişlik)x100 cm (yükseklik)x50 cm (uzunluk) olan çelik kasanın bir yüzeyi cam olarak tasarlanmıştır. Kasa çerperleri yatay ve düşey yönde toplamda 12 adet I profille desteklenmiştir. Kullanılan I profillerin 6 adedinin boyu 1000 mm, diğerlerinin ise 1200 mm'dir. Alt ve yan kenarları birleştiren 8 adet L levhası kullanılmıştır. Bu levhaların 4 adetinin boyu 1000 mm, diğerlerinin ise 900 mm'dir. Kasa 4 mm kalınlıklı çelik levhadan imal edilmiş ve yan yüzeyleri iyice cilalanmıştır. Ön kısımdaki temperli cam yaklaşık 10 mm kalınlığındadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deney kasa modeli

Kasanın arka kısmına kumun kolay boşaltılması için 15 cm x 15 cm boyutlu sürgülü pencere yapılmıştır. Deneyi etkilememesi için pencerenin tüm kenarları CS 225 Henkel Bautechnik Ceresit isimli beyaz silikon mastik ile Şekil 3.3'teki gibi kaplanmıştır.



Şekil 3.3. Kum boşaltma penceresi

Yükleme Krikosu Tablası: Yüklem krikosunun konacağı tabla ve bulonlar özel yaptırılmış ve kirişe monte edilmiştir. Tablanın ortasına krikonun yüklem çubuğunun geçebilmesi için 5 cm çaplı bir delik açılmıştır. Şekil 3.4’de yüklem krikosu tablası görülmektedir.



a

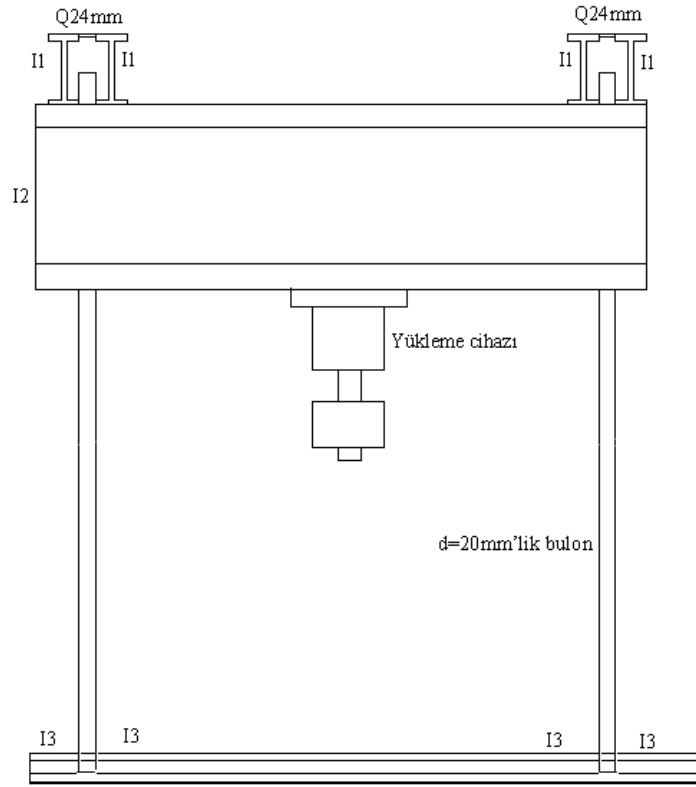


b

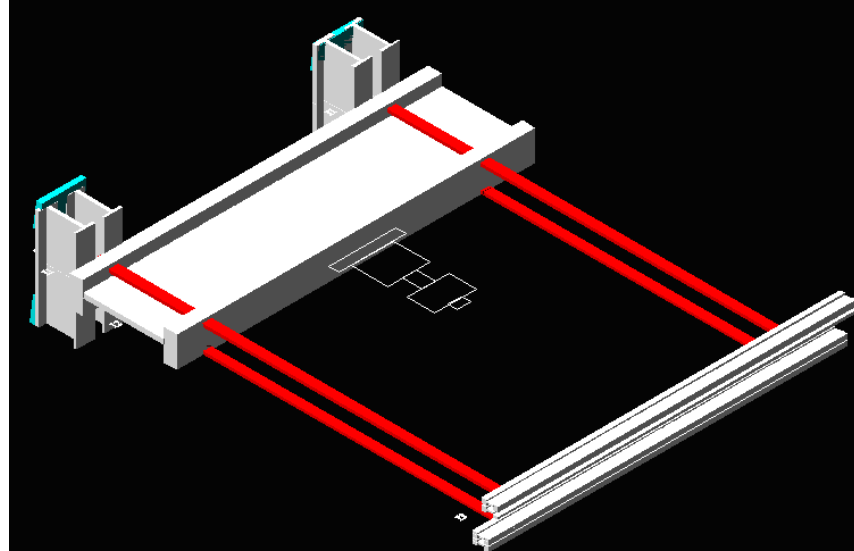
Şekil 3.4. Yüklem Krikosu Tablası

*a. Önden görünüm, b. Üstten görünüm

Yüklem sistemi: Temel plakasına istenilen yükün uygulanabilmesi için 20 ton kapasiteli yüklem kiriş sistemi tasarlanmıştır. Statik hesaplar ile kiriş dizaynı yapılmıştır. Kiriş modeli Şekil 3.5’te görülmektedir. Kirişin dengede durabilmesi için kasanın ön ve arkasına toplamda 8 adet tutucu yapılmıştır. Şekil 3.5’teki bulonlar 20 mm çapta ve boyları 300 cm olup, toplamda dört adettir. Bulonlar üzerinde alttan 30 cm, üstten 195 cm genişlikte diş açtırılmıştır. Bu dişlere 16 adet somun takılmıştır. Kiriş üstünde I1, ortada I2 ve altta I3 profili bulunmaktadır. I1 profilinin boyu 60 cm; I2 ve I3’ün 100 cm’dir.



a



b

Şekil 3.5. Yükleme Kirişi

* a. Kirişin Önden Görünüşü, b. Üç Boyutlu Görünümü

Yağmurlama Sistemi: Kumun deney kasasına eşit yükseklik ve sıklıkta aktarılabilmesi için yağmurlama sistemi tasarlanmıştır. Sistem 2 ayrı parçadan oluşmuştur. Bunlardan ilki ‘Yağmurlama Hunisi’ ismi verilen alettir. Diğeri ise yağmurlama hunisinden akan deney kumunu kasaya istenilen yükseklik ve sıklıkta serilmesini sağlayan ‘Kum Dağıtma Sistemi’ olarak adlandırılan alettir.

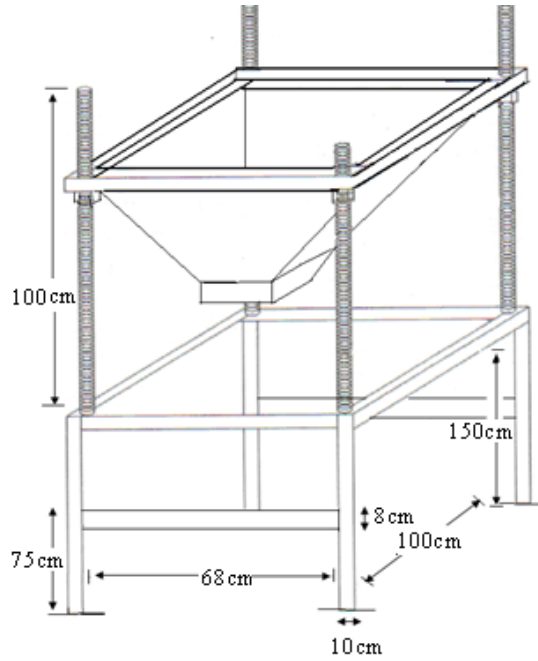
Yağmurlama Hunisi detayları Şekil 3.6’da verilmiştir. Altta bulunan dört ayak çelik malzemeden yapılmıştır. Üstelerine 20 mm çaplı bulonlar kaynaklanmıştır. Bulonların huniden geçecek kısımlarında diş açılmış ve 16 adet somun takılmıştır. Üst gövdeye 2,5 mm kalınlıklı çelik huni yaptırılmış ve ağız kısmına küresel vana vidalanarak takılmıştır. Vananın ağızına 6 cm çaplı kalın hortum geçirilmiştir.

Kum Dağıtma Sistemi isimli alet; zeminin kasaya konarken eşit aralıkta ve eşit yükseklikte dökülebilecek ve dört yönde (doğu, batı, güney ve kuzey) rahat hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.7’de sistemin detayları görülmektedir. Uç kısmında çelik halat bulunan bir makara ile kova yüksekliği ayarlanabilmektedir. Üçgen hunilerden 2 farklı büyüklükte yaptırılmış, kumun kasaya boşalacağı bölüme istenildiğinde kum akışını durdurabilmek için bir kapak takılmıştır. Üçgen hunilerden birisi 14x20x 15 cm (boy x genişlik x yükseklik), diğeri ise 40x20x28,5cm (boy, en, yükseklik) boyutlarında ve 0,2 cm et kalınlıklı olarak dizayn edilmiştir. Huni, demir bir kanca vasıtasıyla çelik iple makaraya bağlanmıştır.

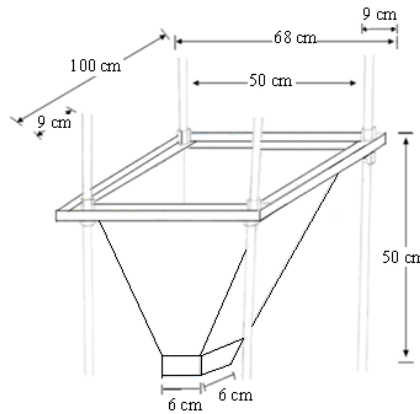
Kumun kasa içerisine düzgün yerleştirilmesi için ön deneyler yapılmıştır. Her tabaka, serildikten sonra üniform yerleştirilme sağlandığı gözlenmiştir. Şekil 3.7’de gösterilen kum dağıtma sisteminin yaklaşık ölçüleri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Çerçevenin doğu-batı kenarlarında bulunan miller toplamda 2 adettir. Boyu 9,5 cm, çapı 4,5cm, iç mil çapı 3cm ve et kalınlığı 0,5 cm’dir.
- Makara altında bulunan miller 2 adettir. Boyları 16,5 cm, çapı 4 cm ve et kalınlığı 0,25 cm dir. Çelik ip kalınlığı 0,3cm’dir.

- Çelik çerçeve iç eni 48,5 cm, dış eni 50,5 cm, iç boyu 116 cm ve dış boyu 121,5 cm'dir. Çelik ayak boyutları 0,9 cm x 2,9 cm'dir. Çerçeve alt kiriş boyutları 0,9 cm x 1,9 cm'dir. Çerçeve üst kiriş boyutları: 0,9 cm x 5 cm'dir.
- Çerçeve üst kenarında bulunan sabit çelik çubukların çapı 2,5 cm ve boyu 48,5 cm'dir. Huni hareketini sağlayan çelik çubukların çapı 2cm ve boyu 112 cm'dir.
- Farklı uzunluklarda yağmurlama hunisi üzerine vidalanabilen ve huninin sağa ve sola hareketini sağlayan ek çubuklar mevcuttur.



a



b

Şekil 3.6. Yağmurlama Hunisi; a. Sistemi Detayı, b. Üst gövde detayı



Şekil 3.7. Kum Dağıtma Sistemi

Yükleme Krikosu: Deneyler için Enerpac P-391 kodlu ve 700 bar kapasiteli hidrolik el pompası kullanılmıştır. Şekil 3.8’de aletin resmi görülmektedir.



Şekil 3.8. Yüklem pompası

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ise aşağıdaki gibidir;

Lazer sensörleri: Deneylerde, Leuze Electronic marka ODSL8-V/4-400-S-12 kodlu ve 0,1 mm hassasiyete sahip deplasman ölçen 4 adet lazer sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.9a). Temel plakasının 4 köşesinde meydana gelecek oturmayı ölçebilmek amacıyla Şekil 3.9b’deki gibi yerleştirilmiştir.



a



b

Şekil 3.9. Lazer Sensörü; a. Cihaz, b. Deney düzeneğine yerleştirilmesi

Deplasman Ölçerler (LVDT): Deneylerde iki çeşit deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Test sistemine, Şekil 3.10'daki TML Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. Firması yapımı DDP-50A kodlu deplasman ölçer (LVDT) ve Şekil 3.11'deki SDP-100C kodlu LVDT kullanılmıştır. Model DDP-50A LVDT deney kasasına sıcak silikonla yerleştirilmiş, LVDT SDP-100C cihazının sisteme kasaya pratik takılabilmesi için Şekil 3.11'de görülen dişli sistem yapılarak kasada delik açılıp cihaz sisteme vidalanmıştır.

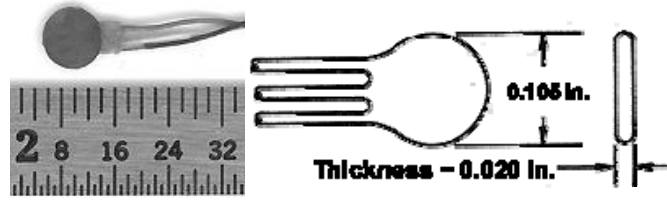


Şekil 3.10. LVDT – Model DDP-50A



Şekil 3.11. LVDT–Model SDP-100C

Basınç Sensörü: Donatısız ve donatılı orta sıkı kumda yürütülen deneylerde, zemin içinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişimlerini ölçebilmek için basınç sensörleri kullanılmıştır. Sensörler test sonuçlarını etkilemeyecek boyutlarda seçilmiştir. Model 105S minyatür basınç sensörü satın alınmış ve Boğaziçi Üniversitesi Laboratuvarlarına getirtilmiştir. Deneylerde kullanılan Minyatür Model 105S basınç sensörü (pressure transducer) Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Deneylerde kullanılan basınç sensör modeli

Sensör kabloları çok ince ve özel bir metalle yapılmıştır. Deney esnasında sensör kablolarının zarar görmemesi için bir bölümü ince serum hortumu içerisinden geçirilmiştir. Her bir sensörün kalibre değeri farklı olduğu ve değişik noktalarda ölçüm alınmaya çalışıldığı için numaralandırılarak etiketlenmiştir.

Yük Hücresi: Kontrol Test firmasına yaptırılmış olan 20 ton kapasiteli yük hücresi ile temel plakası üzerine uygulanan yük ölçülmüştür. Sistemin kalibrasyonu Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yük hücresi (Load cell)

Sensörlerden elde edilen veriler üç farklı data okuma sisteminde toplanmıştır. Yük hücresi, basınç transduceri, LVDT ve lazer sensörü için kullanılan data okuma sistemleri aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

Yük hücresi ve deplasman ölçen LVDT’lerden alınan değerler TML Computing Data Logger-TDS 602 cihazı ile kaydedilmiştir. LVDT ve yük hücresi ayrı kablolarla data okuma cihazına bağlanmıştır (Şekil 3.14). Cihazın kendi yazılımı saniyede tek veri alabilmektedir. Her bir ölçüm aleti değişik kanallarda kalibrasyon katsayıları ve okuma birimleri girilerek Data Logger sistemine tanıtılmıştır.



Şekil 3.14. TML Computing Data Logger

Basınç sensörlerinden doğru verilerin alınabilmesi için data okuyucuya konektör ve sinyal koşullandırıcılar bağlanmıştır. Basınç sensörleri için 8 adet SCC-SG02 Kodlu 2 Kanallı Koşullayıcı (Quareter Bridge) ve 1 adet SC-2345 Konektör cihazı (Connector

block), lazer sensörleri için ise 1 adet SCB-68 Konektör (Connector block) kullanılmıştır. Lazer sensörleri SHC68-68-EPM kabloları ile veri okuma sistemine bağlanmıştır. Basınç sensör kablolarının takıldığı data okuma cihazı Şekil 3.15’de, sinyal koşullayıcı Şekil 3.16’da görülmektedir.



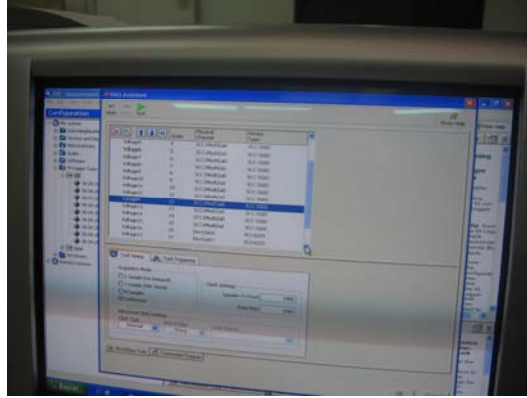
Şekil 3.15. SC-2345 Konektör cihazı



Şekil 3.16. Sinyal Koşullayıcı

Lazer ve basınç sensör bilgileri Vlogger programındaki yazılım ile tek bir bilgisayarda hazırlanmıştır. Bu yazılım ile basınç ve lazer sensörlerinden alınan verilerin tek bir dosyada kaydedilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.17’de Vlogger programının bilgisayar ekranındaki görünümü sunulmuştur. Deneylerde saniyede 100 data alınarak zeminde oluşan ilave düşey gerilme ve temel oturmaları okunmuştur.

Güç kaynağı: ‘Yıldırım CY-306 0-30V/6A kodlu’ laboratuvar güç kaynağı, lazer sensörlerinin çalıştırılmasında kullanılmıştır (Şekil 3.18). Çalışma gerilimi AC-220V. 50/60 Hz 200VA olup, voltaj ve akımın hassas ayarlanabilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.17. Vlogger programı



Şekil 3.18. Güç Kaynağı

Kum eleme cihazı: Yıkılarak elenen kum kurutulduktan sonra yeniden Şekil 3.19'da görülen eleme makinesinden geçirilmiştir.



Şekil 3.19. Kum eleme makinesi

Deneylerde kullanılan kum ASTM (American Standarts of Testing Materials) standartlarına göre 10 nolu (2 mm ϕ l $\acute{u}$) ve 200 nolu (0,074 mm ϕ l $\acute{u}$) elekten yıkanarak elenmiştir. Deney kumu laboratuarda ve bahçeye serilerek kurutulmuştur. Daha sonra yeniden kuru kum 2 mm'lik eleklerden elenmiştir (şekil 3.20).



(a)



(b)

şekil 3.20. Kumun kurutulması ve elenmesi

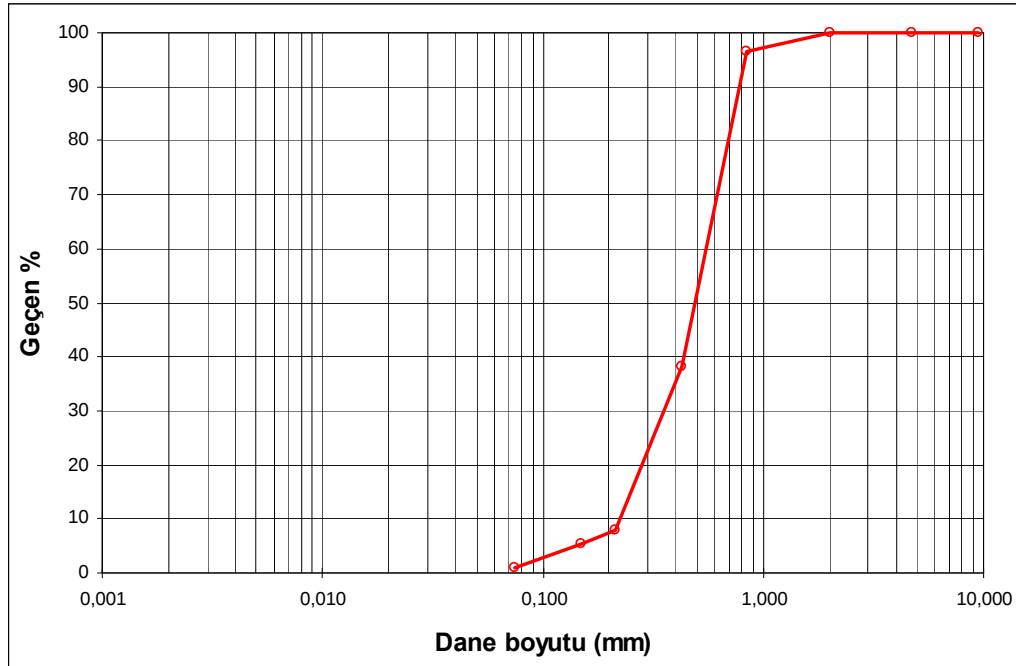
*a. Laboratuar aşaması, b. Bahçede kurutulması

şekil 3.20'de kurutulan kum içerisinde herhangi bir cisim ve istenilmeyen çapta kum kalmaması için yapılan eleme işlemi görülmektedir. Kumun elenebilmesi için elek teli alınmış ve Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliğı Malzeme Laboratuarında bulunan

agrega eleklerinden birisine geçirilerek Şekil 3.20.b'deki gibi eleme yapılmaya çalışılmıştır. Tüm deney kumunu teste hazır hale getirme işlemi sekiz aydan fazla bir zaman almıştır.

Zemine ait özelliklerin belirlenmesi için alınan numuneler üzerinde çeşitli testler yapılmıştır. Her deney en az üç defa tekrar edilmiştir. Aşağıdaki Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarında deney kumunun özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan test sonuçları anlatılmaktadır;

Elek analizi: Deneysel çalışma için hazırlanan kum numuneler, ASTM standartlarına göre önceden belirlenen bir seri elekten elenerek tane çapı dağılımı Şekil 3.21'deki gibi elde edilmiştir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre Çizelge 3.1. hazırlanmış ve deney kumunun elek analiz sonuçları özetlenmiştir. Deney kumunun zemin sınıfının USCS'ye göre kötü derecelenmiş (üniform) kum (SP) olduğu sonucuna varılmıştır.

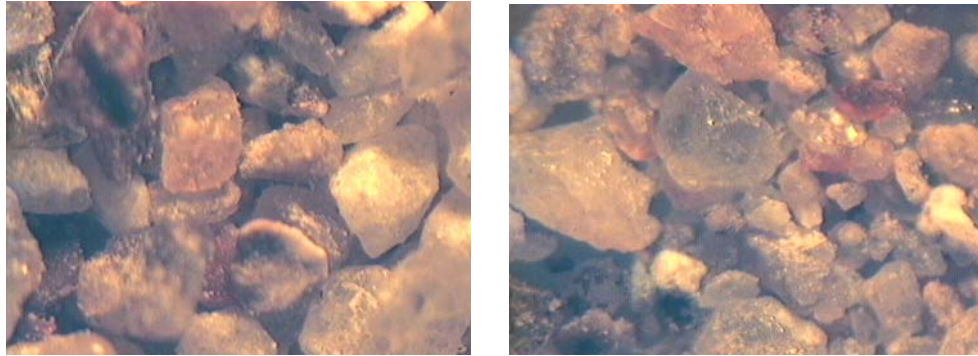


Şekil 3.21. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları

Granülometri parametreleri	Birim	Değer
Kaba kum yüzdesi	(%)	0
Orta kum yüzdesi	(%)	61,88
İnce kum yüzdesi	(%)	38,12
Efektif Dane çapı, D_{10}	(mm)	0,22
D_{60}	(mm)	0,55
D_{30}	(mm)	0,35
Üniformluk katsayısı, C_u	-	2,50
Derecelenme katsayısı, C_c	-	1,01

Ayrıca kum tanelerine mikroskoptan bakılmış, bir çoğunun köşeli olduğu Şekil 3.22'deki gibi görülmüştür. Bilindiği gibi; köşeli taneli kumların içsel sürtünme açısı yuvarlak tanelilere göre daha büyüktür. Aşağıda kayma mukavemeti değerleri belirlendikten sonra bu ifadenin deney kumunda geçerli olabileceği düşünülmüştür.

**Şekil 3.22.** Kum tanelerinin mikroskop görünümü

Deney kumu kasa içerisine konmadan önce tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. Tüm deneyler boyunca bu işlem tekrarlanmış sonuçların yaklaşık aynı çıktığı görülmüştür. Böylece birim hacim ağırlığının yaklaşık sabit bir değerde olduğu anlaşılmıştır. Zemin numunesi için yapılan hesaplar neticesinde birim hacim ağırlık değeri ortalama $\gamma_k=15 \text{ kN/m}^3$ 'dür.

Kum numunesinin özgül ağırlığını belirlemek amacıyla piknometre deneyi yapılmıştır. Test en az üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınarak deney zemini için özgül ağırlığın $G=2,65$ olduğu hesaplanmıştır.

Deney kumunun sıkılığını bulabilmek amacıyla ASTM 4253-ASTM 4254 standartları doğrultusunda maksimum ve minimum hacim ağırlıklar tespit edilmiştir. Zeminin sıkılığını belirten D_r ifadesi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır;

$$D_r = \frac{\gamma_k - \gamma_{k \min}}{\gamma_{k \max} - \gamma_{k \min}} \left(\frac{\gamma_{k \max}}{\gamma_k} \right) \quad (3.1)$$

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

Burada, $\gamma_{k \max}$ ve $\gamma_{k \min}$ zeminin maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklarını, γ_k deney için hazırlanan kumun kuru birim hacim ağırlığı temsil etmektedir. $e_{\max}$ ve $e_{\min}$ sırasıyla zeminin en gevşek ve en sıkı durumlarındaki boşluk oranlarını, 'e' ise zeminin rölatif sıkılığının belirlenmesi istendiği durumdaki boşluk oranını göstermektedir. Çizelge 3.2'de kohezyonsuz zeminlerin sıkılığına göre sınıflandırılmaları gösterilmektedir;

Çizelge 3.2. Rölatif sıkılığına göre kohezyonsuz zeminlerin sınıflandırılması (Uzuner 2005)

Rölatif sıkılık (D_r), %	Sıkılık Durumu
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

Deneylerde kullanılan kumun boşluk oranı ve kuru birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla her deney öncesinde, yağmurlama sistemiyle kasaya yerleştirilen kumun ağırlığı kovalarla tartılarak belirlenmiştir. İşlem tüm deneyler boyunca tekrarlanmış ve değerlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 3.3’de deney kumunun rölatif sıkılığına ilişkin elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

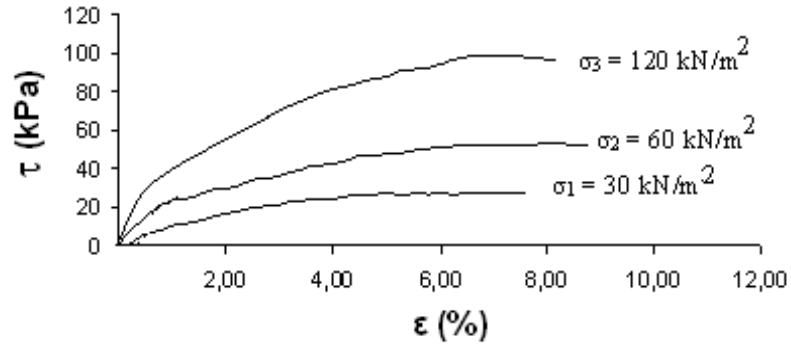
Çizelge 3.3. Rölatif Sıkılık Değerleri

Rölatif sıkılık Parametreleri	Birim	Değer
Özgül ağırlık (G)	-	2,65
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax})	kN/m ³	16,5
Minimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmin})	kN/m ³	13,9
Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k)	kN/m ³	15
Maksimum Boşluk Oranı (e_{max})	-	0,906
Minimum boşluk oranı (e_{min})	-	0,606
Boşluk oranı (e)	-	0,767

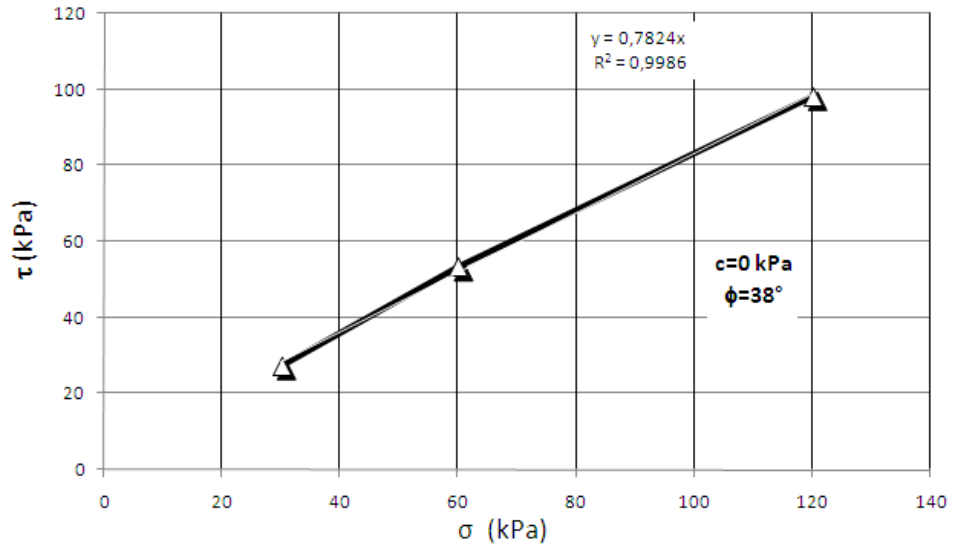
Yapılan hesaplamalara göre deney kumu kasa içerisine yaklaşık %46 sıkılıkta yerleştirilmektedir. Bu da Çizelge 3.2’ye göre deneylerin ‘orta sıkı’ zemin şartlarında yapıldığı sonucunu çıkarmıştır.

Deney kumunun kayma mukavemet değerlerini belirlemek amacıyla Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarında kesme kutusu ve üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi verilmiştir;

Kum numuneler 10 cmx10 cm boyutlarındaki kare kesitli kesme kutusuna sıkılık derecesi %46 olacak şekilde yerleştirilmiştir. Numune $\sigma_1=30$ kPa, $\sigma_2=60$ kPa, $\sigma_3=120$ kPa normal gerilme altında ve yatay yönde kesme kuvveti uygulanarak kesilmiştir. Deneylerden elde edilen gerilme-deformasyon eğrileri ve kırılma zarfı Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de verilmektedir. Kumun kayma mukavemet açısı $\phi=38^\circ$ ve kohezyonu $c=0$ kPa olarak bulunmuştur.

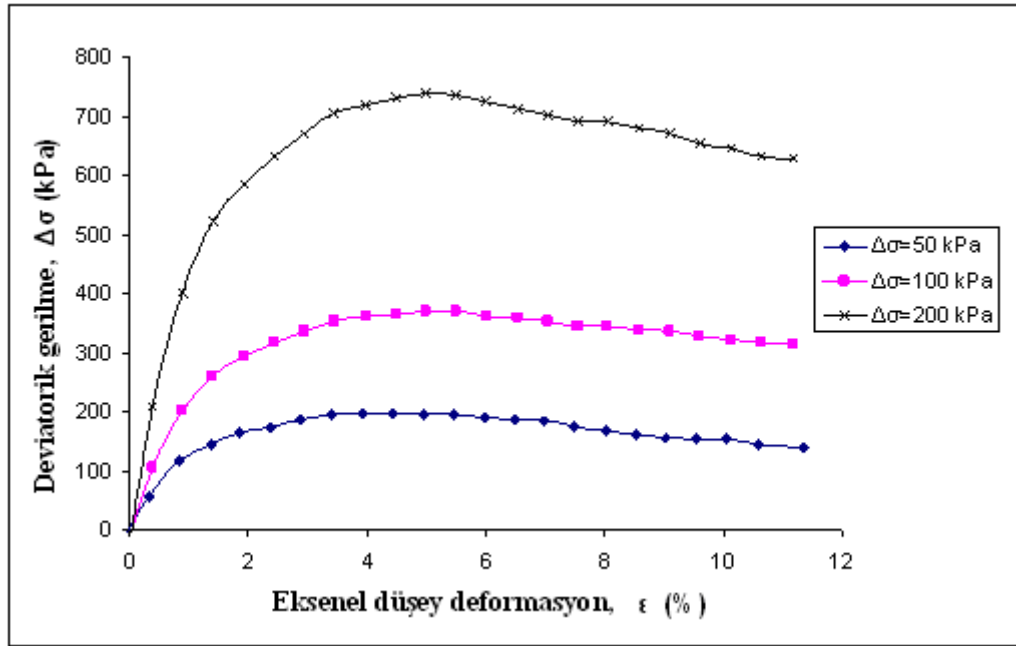


Şekil 3.23. Kum numune kesme kutusu deney sonucu

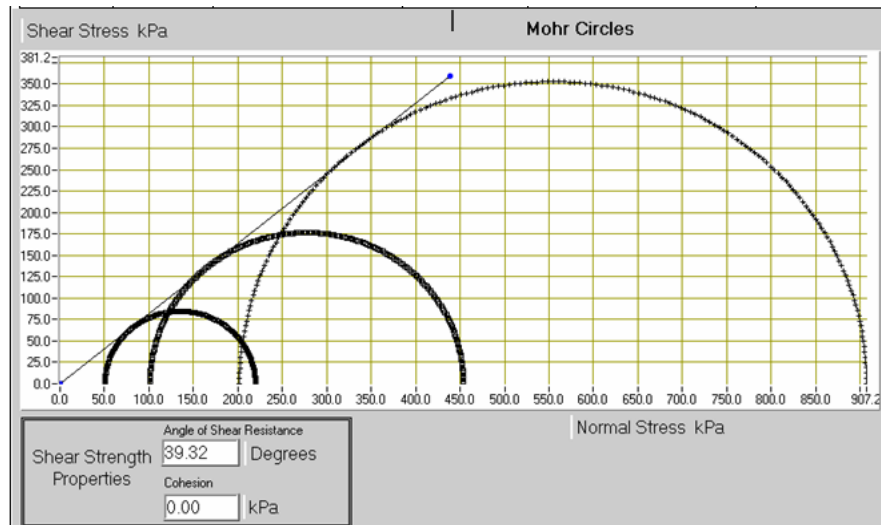


Şekil 3.24. Deney kumu kırılma zarfı

%46 sıkılık derecesinde kum numuneler hazırlanmıştır. ELE ve Geocomp marka üç eksenli cihazlarında altı adet deney yapılmıştır. Deneyler öncesinde üç eksenli basınç deney aletinin kalibrasyonları ve testte kullanılan DS7 programının aktivasyonu yenilenmiştir. Testler çevre basıncı 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa için tekrar edilmiştir (Şekil 3.25). Konsolidasyonlu drenajlı (CD) üç eksenli deneyler sonucunda Şekil 3.26'da görüldüğü gibi kumun kayma mukavemet açısı $\phi=39,3^\circ$ ve kohezyonu $c=0$ kN/m² olarak belirlenmiştir. Kesme kutusu ve üç eksenli deneylerinin sonuçlarının birbiri ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.25. Üç eksenli deney sonucu elde edilen gerilme-deformasyon eğrileri



Şekil 3.26. Üç eksenli basınç deney sonucu

Deneylerde donatı olarak dört farklı geosentetik malzemesi kullanılmıştır. Bunlar; bir adet geotekstil ve üç adet farklı geogriddir. Geosentetikler, farklı tiplerde ve ağ açıklıklarında seçilmeye çalışılmıştır.

Deneylerde parametre alınan donatı genişliğine (L) bağlı olarak geosentetik levhalarının uzunluğu temel plakası genişliği (B) ile belli oranlarda alınmıştır. Her deney için ayrı donatı numuneleri hazırlanmıştır. Donatı levhaları kum zemin içerisine her deney için belirlenen derinliklerde yatay olarak yerleştirilmiştir. Geogridlerin maksimum çekme dayanımına sahip nervürleri, temel plakasına paralel olacak şekilde serilmiştir. Aşağıda deneylerde kullanılan geosentetiklere ait özellikler verilmiştir;

Geotekstil donatı polypropilen hammaddesinden üretilmiştir. Deneylerde kullanılan dokunmuş geotekstil (TP060060W) modeli Şekil 3.27’de verilmektedir. Geotekstile ait özellikler ise aşağıdaki Çizelge 3.4’te sunulmuştur.

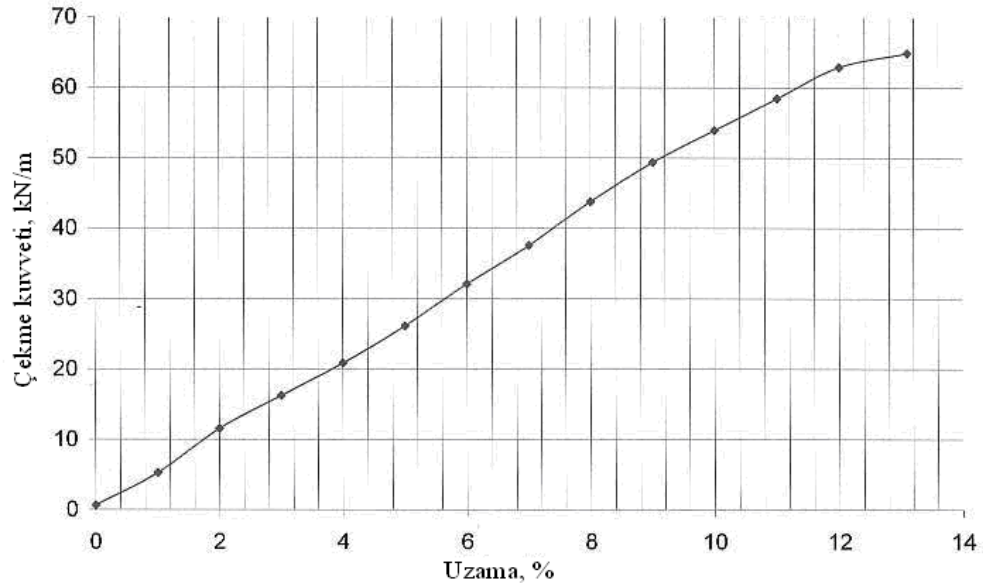


Şekil 3.27. Geotekstil donatı

Çizelge 3.4. Geotekstil donatısının özellikleri

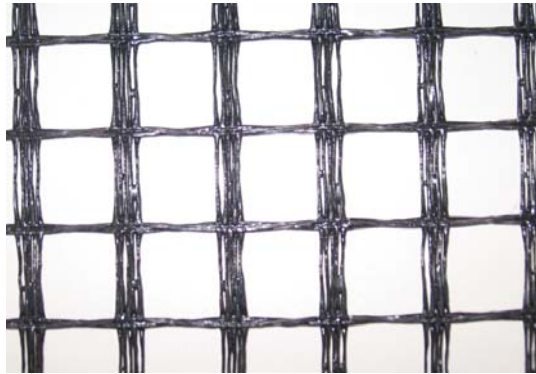
Fiziksel özellikler	Birimler	Değerler
Üretim yöntemi	-	Dokunmuş
Çekme kuvveti	kN/m	60
Dinamik delme dayanımı	mm	5
Karakteristik açıklık	μm	225
Uzama	%	16
Statik delik direnci	N	8750
Kalınlık	mm	1,01
Birim alan ağırlığı	g/m^3	310
Su permeabilitesi	mm/s	8,8

Araştırmada Sonlu Elemanlar hesaplarında geotekstil donatılı sistemler modellenmeye çalışıldığı için bu donatıya ait deformasyon ile çekme kuvveti grafiği (Şekil 3.28) incelenmiş ve donatı rijitlik parametresi ($J=550$) hesaplanmıştır.



Şekil 3.28. Geotekstil donatı çekme mukavemeti

Deneylerde kullanılan ilk geogrid Fortrac 35/20-20 T geogrididir. Polyester ham maddesinden üretilmiştir. Şekil 3.29’da görülmektedir. Özellikleri Çizelge 3.5’de anlatılmıştır. Bu donatı sonuçlar bölümünde ‘Geogrid 1’ ismi ile temsil edilmiştir.

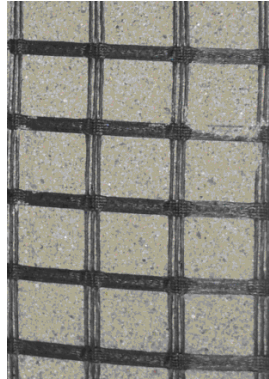


Şekil 3.29. Geogrid 1 donatısı

Çizelge 3.5. Geogrid 1 donatısının özellikleri

Fiziksel özellikler	Birimler	Değerler
Ağ aralık ölçüleri	mm	20x20
Birim alan ağırlığı	g/m ²	220
Çekme kuvveti (MD)	kN/m	35
Çekme kuvveti (CD)	kN/m	20
Maksimum yükteki uzama (MD)	%	8,5
Minimum yükteki uzama (CD)	%	8,5

Deneylerde kullanılan ikinci geogrid 7-States Geogrid 55/55 geogrididir (Şekil 3.30). Polyester ham maddesinden üretilmiştir. Özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Bu donatı sonuçlar bölümünde ‘Geogrid 2’ ismi ile temsil edilmiştir.

**Şekil 3.30.** Geogrid 2 donatısı**Çizelge 3.6.** Geogrid 2 donatısının özellikleri

Fiziksel özellikler	Birimler	Değerler
Ağ aralık ölçüleri	mm	40x40
Birim alan ağırlığı	g/m ²	300
Çekme kuvveti (MD)	kN/m	≥55
Çekme kuvveti (CD)	kN/m	≥55
Maksimum yükteki uzama (MD)	%	12 (±2)
Minimum yükteki uzama (CD)	%	12 (±2)

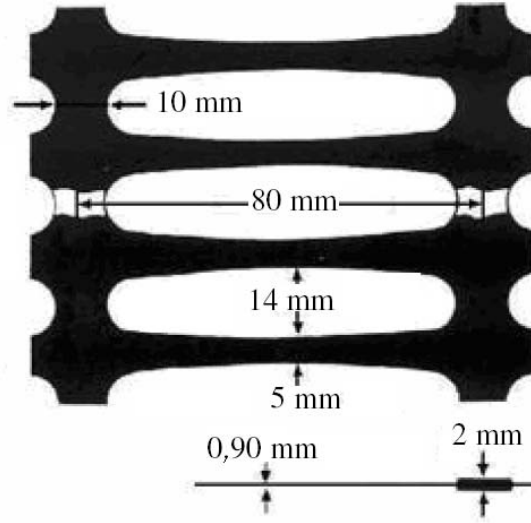
Deneyleerde kullanılan üçüncü geogrid Tenax TT045 isimli geosentetiktir. Polypropilen hammaddesinden üretilmiştir. Donatının resmi Şekil 3.31’de görölmektedir. Geogride ait özellikler Çizelge 3.7’de anlatılmıştır. Bu donatıyla ilgili sonuçlar ‘Geogrid 3’ ismi ile temsil edilmiştir. Georidin detayları Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.31. Geogrid 3 donatısı

Çizelge 3.7. Geogrid 3 donatısının özellikleri

Fiziksel özellikler	Birimler	Değerler
Çekme kuvveti (boylamasına)	kN/m	45
Çekme kuvveti (enlemesine)	kN/m	10
Maksimum yükteki uzama (boyuna)	%	13
Maksimum yükteki uzama (enine)	%	13
Birim alan ağırlığı	g/m ²	390
Boyuna nervürler arası mesafe	mm	14
Enine nervürler arası mesafe	mm	80
Boyuna nervür kalınlığı	mm	0,9
Bağlantı yeri kalınlığı	mm	2
Boyuna nervür kalınlığı	mm	5
Enine nervür kalınlığı	mm	10



Şekil 3.32. Geogrid 3 donatısı detayı

Test anındaki deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.33'ten görülmektedir. Bu fotoğraftan deney kasası ve deney cihazlarının test esnasında konumlandırılma düzenleri anlaşılabilmektedir.



Şekil 3.33. Deney düzeneğinin genel görünümü

3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan yöntem

Bu çalışmanın amaçları; donatılı orta sıkı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi açısından en efektif donatı yerleşim düzenini tayin etmek, farklı donatı kullanılması halinde taşıma gücünde meydana gelebilecek değişikliklerin irdelenmesi, donatısız ve donatılı orta sıkı kumda düşey mesafede meydana gelen ilave düşey gerilme değişimlerinin belirlenmesidir. Deney programında donatı konfigürasyonu parametre olarak alınmıştır. Deneylerde araştırılan geometrik parametreler Çizelge 3.8. ve Şekil 3.34’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.8. Çalışmada bahsedilen geometrik parametreler

Parametre	Anlamı
u	İlk donatı tabakasının temel tabanına olan düşey uzaklığı
h	Düşeyde donatı aralığı
N	Toplam donatı tabakası sayısı
L	Donatı levhası genişliği
z	Basınç sensörünün temel tabanına olan düşey uzaklığı

Deneyde kullanılan parametreler literatür taranarak belirlenmeye çalışılmıştır. Testler, şerit temel genişliği ‘B’ olmak üzere ilk donatı derinliğinin (u) 0,175B ile 0,75B; donatı aralığının (h) 0,2B-0,6B; donatı genişliğinin (L) 1B ile 7B ve donatı sayısının (N) 1 ile 6 değerlerinde tekrarlanmıştır. Her bir parametrenin taşıma kapasitesine etkisi ve zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Deneyler, farklı donatı çeşitlerinin taşıma gücüne etkilerinin anlaşılabilmesi için farklı geosentetik tiplerinde tekrarlanmıştır. Bu çalışmada zemin, yükleme koşulları ve temel şekli sabit tutulmuştur.

- Işınları temel plakasının dört köşesine gelecek şekilde lazer sensörleri sisteme ilave edilmiştir. Düşey deplasman ölçen transducer olarak adlandırılan 2 adet LVDT cihazı temelin merkezine yakın bir bölgeye gelecek şekilde konumlandırılmıştır.
- Basınç sensörü ile lazer sensörlerinin takıldığı veri toplama aygıtlarını çalışmasını kontrol eden Vilogger programı her bir deney için yeniden programlanmıştır. Yük sensörü ile LVDT' nin bağlı olduğu Data toplama cihazı da her test öncesi yeniden programlanıp, sensörlerin kalibre katsayıları ve okuma yapılacak kanallar sisteme tanıtılmıştır. Deney öncesinde cihazların kalibreleri kontrol edilmiştir.
- Deney öncesi tüm cihaz okumaları sıfırlanmıştır.
- Yük temel plakasına hidrolik kriko ile merkezden düşey yönde statik olarak uygulanmıştır.
- Deney sonlarında basınç sensör ve lazer okumaları Vilogger programını çalıştıran bilgisayardan, LVDT ile yük sensörü (load cell) okumaları ise diğer Data Toplama cihazından alınarak kaydedilmiştir.
- Deney öncesi ve sonrasında deney kasası ön camının fotoğrafları çekilmiş, renkli kum ile sistemde meydana gelen oturmalar gözlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yükleme anı kamera ile görüntülenmiştir. Böylece deney sonunda zemindeki oturma değişimleri kontrol edilebilmiştir.
- Deney sonunda temel oturmasını kontrol eden LVDT ve lazer sensör okumalarının ortalaması alınmıştır. Lazer ve LVDT'ler aynı oturma değerlerini vermiştir.
- Deneylerde LVDT ve yük hücresinden saniyede bir veri kaydedilmiştir. Basınç ve lazer sensörlerinden ise saniyede yüz veri alınmıştır. Bu değerlerin zaman uyumu ve yük-ölçülen ilave gerilme değişimi ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için tüm

tek bir saniyede alınan okumaların ortalaması alınarak değerler, saniyede tek sayıya dönüştürülmüştür.

Yurt dışından alınarak, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliğine getirilen basınç sensörlerinin kalibrasyonları kontrol edilmiştir. Bu işlem için birkaç farklı yöntem kullanılmıştır. Fakat çoğunda başarısız olunmuştur. Bunun sebebi olarak; sensöre doğrudan uygulanan yükün cihazın tüm yüzeyine temas edememesi ve farklı değer okuması alınmasıdır. Sensörlerin boyutu çok küçük olduğu için, kalibrelerinin hava ile yapılmasının en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır. Sensör kablosunun zedelenmeden gireceği, fakat basınçlı havanın kolayca dışarı çıkmayacağı bir düzenek teşkil edilmiştir (Mahmutyazıcıoğlu 2002). Kalibrasyonun yapılacağı düzeneğe basınç Şekil 3.35'te gösterilen hava kompresörü ile verilmiştir. Şekil 3.36'daki gibi basınç sensörleri test cihazının içine yerleştirilmiş ve hava kaçırmaması için sıcak silikon ile etrafı kapatılmıştır. Her sensörün kalibresi tek tek kontrol edilmiştir. Deneyde okunan basınca karşılık gelen voltajlar okunmuştur. Sonuçta üçüncü dereceden diferansiyel denklemlere sahip kalibre değerleri ortaya çıkmıştır. Bu değerler ile cihazlarla gelen kalibrasyon formülleri değerlendirilmiştir. Kalibrasyonlar, her deney öncesi yeniden kontrol edilmiştir.



Şekil 3.35. Hava kompresörü



Şekil 3.36. Sensörlerin silikonlanması

Şekil 3.37’de kalibrasyon sırasında yapılan işlemleri ve kalibre cihazını gösterilmektedir. Basınç sensörlerinin her biri saniyede 100 data okumuş olup bu değerlerin yük değerleriyle eşleştirilebilmeleri için; lazer ile LVDT okumaları değerlendirildikten sonra yeniden incelenmişlerdir. Her deney sonunda tek bir basınç sensöründen yaklaşık 60 000 data okuması alınmıştır.



Şekil 3.37. Basınç sensörü kalibrasyonu

*a. Kalibrasyon cihazı, b. Sensörlerin yerleştirilmesi

3.2. Teorik Çalışmada Kullanılan Materyal ve Yöntem

Nümerik modeller sonlu elemanlar analizleri ile yapılmıştır. Bu çalışmada Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde bulunan Plaxis V8.6 hazır paket programı kullanılmıştır. Zemin içinde ölçülen ilave düşey gerilme değerleri ise Boussinesq (1885) ve Westergaard (1938) üniform yüklü şerit temel için verilen hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Böylece ölçülen deneysel gerilme değerleri aynı sabit veriler ile değerlendirilebilmiş ve birbirleri arasında oluşan farklılıklar hakkında da fikir edinilebilmiştir.

Deneysel çalışmaya benzer olarak donatısız ve donatılı kum zemine oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi ve gerilme davranışı Sonlu Elemanlar (SE) ile araştırılmıştır. Analizlerde zemin cinsi, temel boyutları, sınır koşulları ve yükleme durumu gibi özellikler deneydekilere yakın alınmaya çalışılmıştır. Deney ve analizlerden elde edilen donatısız ve donatılı kum zeminin yük-oturma ilişkisi, donatı yerleşim parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisi ve zemin içerisinde ilave basınç dağılım değişimleri incelenmiştir. SE analiz hesapları, deney ölçümleri ve teorik değerler ile karşılaştırılmıştır.

Aşağıda ilk olarak SE yöntemi ve kullanılan program ile ilgili bilgiler verilmiştir. SE tanımı yapıldıktan sonra programda modellemenin yapılışına dair kısa açıklamalar sunulmuştur.

3.2.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili genel bilgiler

Sonlu elemanlar, mühendislik problemlerinde kullanılan nümerik çözüm yöntemidir. Herhangi bir sürekli yapının küçük ve sürekli parçalardan oluşan modele dönüştürülmesi esas alınır. Sistem sonlu sayıda elemanlardan ve bu elemanları birleştiren düğüm noktalarından oluşan ayrık bir model olarak tanımlanır. Böylece sürekli bir sistemi tanımlayan diferansiyel denklem, lineer bir denklem takımına indirgenir. Yapıyı elemanlara ayırma önemli bir işlemdir ve çözümün doğruluğu

açısından dikkat edilmesi gerekir. Bu nedenle eleman boyutları ve sayıları sistemi en iyi şekilde tanımlayabilecek nitelikte olması gerekmektedir. Tek boyutlu elemanlar genellikle doğru şeklinde, iki boyutlular dörtgen veya üçgen şekilli tasarlanmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin aşamaları şu şekilde sıralanabilmektedir (Desai 1979, Gök 2007);

- Problemin geometrik modeli oluşturulur ve elemanlarına ayrılır.
- Yer değiştirme yaklaşım fonksiyonları seçilir. Yükleme sonucu elemanda oluşacak yer değiştirmelerin dağılımı gösteren yaklaşım fonksiyonları için lineer polinomlar veya trigonometrik seriler seçilir.
- Malzeme davranışı belirlenir. Bu kademede uygulanan yük nedeniyle elemanda meydana gelebilecek yer değiştirmeyi verecek bağıntı seçilir. Böylece, eleman davranışını gösteren denklemler elde edilmektedir. Sonlu elemanlar metodundaki en önemli basamaklardan birisi de gerilme-şekil değiştirme ilişkisini sonuçlandıracak bağıntının tanımlanmasıdır. Sistemin davranışını doğru olarak yansıtacak denklemler belirlenmelidir. Aksi takdirde sonuçlar gerçekçi olmayabilir.
- Eleman denklemleri oluşturulur. Sistem denklemi oluşturulur ve sınır şartları belirlenir. Tek bir eleman için elde edilen genel denklem tüm elemanlar için hazırlanır. Denklem çözümleri için sınır şartları uygulanır. Sınır şartları ortamdaki kısıtlamalardır. Bunlar geometrik veya doğal sınır şartlarıdır. Fakat sonlu elemanlarda matris, genellikle geometrik koşullar için değiştirilir.
- Birincil bilinmeyenler (yer değiştirmeler) ve ikincil bilinmeyenler (gerilme, moment, kesme kuvvetleri) için çözüm yapılır. Yer değiştirmeler hesaplandıktan sonra bunlara bağlı olarak daha önce tanımlanan bağıntılar yardımıyla ikincil bilinmeyenler bulunur.

Geoteknik mühendisliğinde donatılı zemin problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için sadece zemin ve donatının değil aradaki etkileşiminde bilinmesi gerekmektedir. Bu yönüyle donatılı zeminlerin çözümü donatısız sistemlere göre nispeten daha karmaşıktır. Bu nedenle, farklı zemin modelleri geliştirilmiştir. Donatılı zeminler sonlu elemanlarda donatı ile zemin arasındaki etkileşim kompozit ve ayrık yöntem olmak üzere iki farklı yöntem ile modellenir. Kompozit yöntemde; donatı ile etrafındaki zeminin homojen bir malzeme gibi davrandığı kabul edilmektedir. Sistemde, donatı sıyrılması, kopması gibi konularda bilgi edinilemez ve buda mekanik sorunlara neden olabilmektedir. Ayrık yöntemde ise donatı ile etrafındaki zeminin iki ayrı malzeme gibi davrandığı kabul edilir. Analiz sonunda donatılarda oluşan çekme kuvvetleri dahil olmak üzere birçok bilgi edinilebilir. Fakat bu yöntemde donatı ile zeminin etkileşimin nasıl modellemesi gerektiğine dair kesin bir yargı bulunmamaktadır (Yıldız 2002).

Kompozit yöneme örnek bir çalışma olarak, Yamamoto and Otani (2002) donatılı kum zemin davranışını Drucker-Prager modeli olarak adlandırılan donatı etkisini eşdeğer bir kohezyon değeri olarak temsil etmişlerdir. Bu modelleme hayali yada izafi kohezyon olarak da adlandırılmıştır. Bu değer aşağıdaki gibi formülleştirilmiştir;

$$c_R = \frac{T_D \sqrt{K_p}}{2h} \quad (3.3)$$

Burada; T_D donatı çekme mukavemeti, h donatılı tabakalar arasındaki düşey mesafe, K_p pasif toprak basıncı katsayısı ve c_R izafi yada eşdeğer kohezyondur.

Ayrık yöneme; Yetimoğlu *et al.* (1994), Kurian *et al.* (1997) ve Maharaj (2003)'ün yapmış oldukları çalışmalar örnek verilebilir. Donatı elemanı çoğunlukla lineer elastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Zemin ise Duncan-Chang ve Modifiye Duncan Hiperbolik Modeli kullanılarak ifade edilmiştir. Hiperbolik zemin modeli ilk defa Kondner (1963) tarafından önerilmiştir. Duncan and Chang (1970) tarafından geliştirilmiş ve Duncan ve Chang modeli olarak bilinmektedir. Bu modelde zemin

deformasyonları kademeli gerilme artımlarıyla nonlinear olarak analiz edilir. Gerilme kademelerinin her birinde zeminlerin gerilme-deformasyon davranışının lineer olduğu ve bu ilişkinin Hooke yasalarına uyduğu kabulü yapılır. Kondner (1963); hiperbol şeklinde gerilme-deformasyon eğrisine dayandırdığı modelde gerilme bağımlı, elastik olmayan ve lineer olmayan gerilme-deformasyon davranışlarını açıklamıştır.

3.2.2. Bilgisayar yazılımının özellikleri

Bu çalışmada Plaxis V8.6 versiyonu kullanılmıştır. Plaxis (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis) geoteknik mühendisliğinde deformasyon ve stabilite ile ilgili problemleri çözmek amacıyla sonlu elemanlar koduyla yazılmış bir hazır paket programdır.

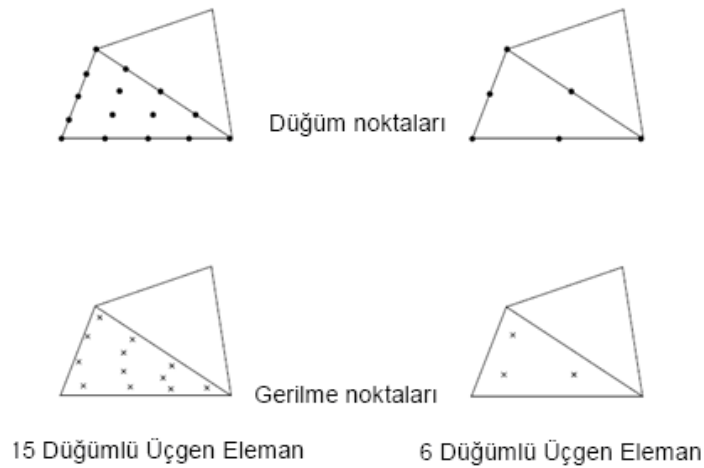
Analizler için ilk olarak geometri modelini oluşturmak gereklidir. Bir geometri modeli, yapısal elemanları, zemin tabakalarını ve yükleri kapsamaktadır. Geometri modeli grafik ortamdaki (CAD) noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşmaktadır. Problemin sonuçlarını etkilememesi için seçilen modelin sınırları yeterince geniş olmalıdır. Problemler eksenel simetrik (axisymmetry) veya düzlem şekil değiştirme (plane strain) geometri koşullarında analiz edilebilmektedir. Program 4 uygulama bölümünden oluşmaktadır. Bunlar;

- Giriş (Input): Geometrik girişlerin yapılıp, sisteme parametrelerin tanıtıldığı kısımdır.
- Hesaplama (Calculations): Hesaplama aşamaları ve parametrelerin girildiği ve analizin başlatıldığı bölümdür.
- Çıkış (Output): Analiz sonuçlarının ve sistemdeki deformasyon, gerilme gibi bilgilerin görüntülenmektedir.
- Grafikler (Curves): Analizi yapılan sistem için çeşitli eğriler elde edilmektedir.

Giriş bölümü çalıştırıldığında ekrana Proje oluşturma/Proje açma penceresi gelmektedir. Bu pencereler tanıtıldıktan sonra, uygulama programı ara yüzüne geçilmektedir. Genel

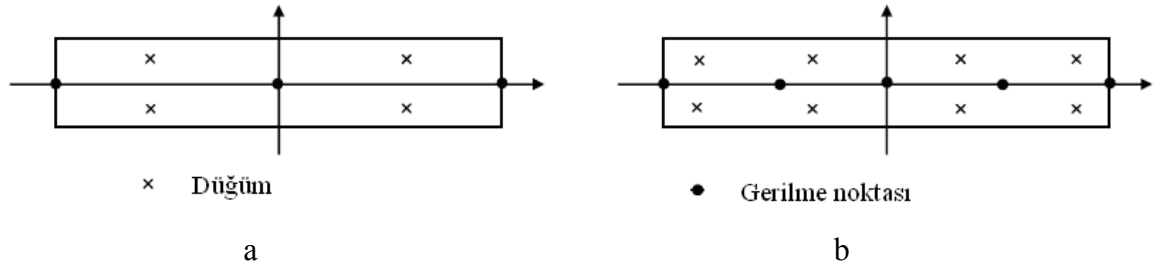
ayarlar Penceresinde, ölçülendirme ayarları ‘boyutlar’ sekmesinin seçilerek ekrana gelen kısımdan yapılmaktadır. Modelin düzlem deformasyon veya eksenel simetrik geometri koşulları ve düğüm sayısı bu bölümde seçilir. Element sayısı 6 veya 15 düğümlü olarak tanımlanabilmektedir. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin daha doğru hesaplanabilmesi için genellikle 15 düğüm noktalı elemanlar seçilmektedir.

SE’de deplasmanlar düğüm noktalarında, gerilmeler ise her bir gerilme noktasında hesaplanmaktadır. Programda, 15 ve 6 düğüm noktalı olmak üzere iki farklı üçgen eleman bulunmaktadır. Plaxiste hesap ağı oluşturulduğunda, zemin ortamı iki boyutlu üçgen elemanlara bölünür. Şekil 3.38’de zemin ortamındaki düğüm ve gerilme noktalarının pozisyonunu gösterilmiştir.



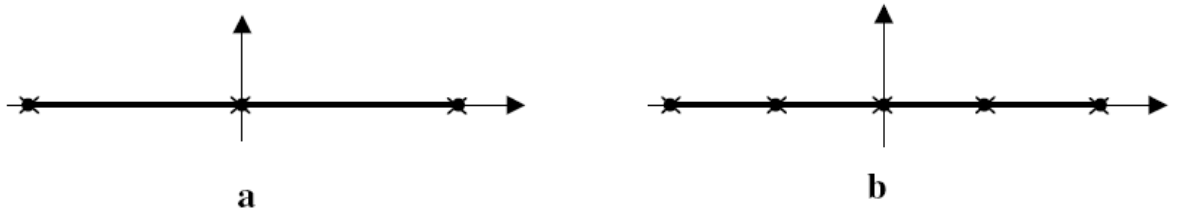
Şekil 3.38. Zemin ortamındaki düğüm ve gerilme noktalarının oluşturulması

Plaxis V8.6 temeller, tüneller, iksa duvarları, kazıklar gibi yapıların eşdeğer dikdörtgen kesit olarak modellenirken 3 ve 5 düğüm noktasına sahip iki farklı kiriş eleman kullanılarak tanımlanabilmektedir (Şekil 3.39). Bu elemanların davranışları eğilme rijitliği, eksenel rijitlik ve poisson oranı kullanılarak tanımlanır. Kiriş elemanlar elastik veya elastoplastik olarak tanımlanabilmektedir.



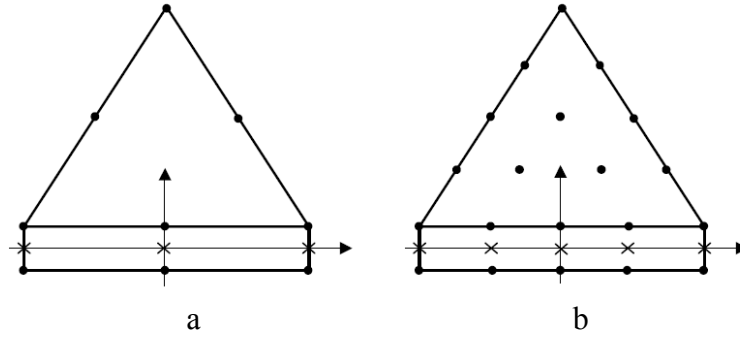
Şekil 3.39. Kiriş elemanları, a. 3 Düğümlü, b. 5 Düğümlü

Geosentetikler; sadece eksenel rijitliğe sahip, eğilme rijitliği çok düşük malzemelerdir. Bu nedenle, çekme dayanımı yüksek olan bu malzemelerin basınç dayanımları ihmal edilmektedir. Geotekstiller veya geogrid elemanlar için kullanılan tek malzeme özelliği eksenel rijitliktir (J). Donatılar, her düğüm noktasında iki serbestlik derecesine geogrid elemanlar kullanılarak tanımlanmaktadır. Analizlerde 6 düğümlü zemin elemanları kullanılması durumunda geogrid elemanlar 3 düğümlü, 15 düğümlü zemin elemanları kullanılması durumunda ise 5 düğümlü olarak tanımlanır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40. Geosentetik elemanlar, a. 3Düğümlü, b. 5 Düğümlü

Donatı ile zemin veya temel plakası ile zemin arasındaki etkileşimi modellemek amacıyla ara yüzey elemanlar (interface) kullanılmaktadır. Ara yüzey elemanların zemin elemanlarına nasıl bağlandığı Şekil 3.41’de verilmiştir. Ara yüzey elemanlar, 6 düğümlü zemin elemanları kullanıldığında 3 düğümlü, 15 düğümlü zemin elemanları için ise 5 düğümlü olarak tanımlanır. Ara yüzey elemanı için uygun bir mukavemet azaltma faktörü (R_{inter}) seçilerek temel ile zemin veya donatı ile zemin arasındaki etkileşim modellenir. Bu faktör, ara yüzey mukavemeti (çeper sürtünmesi) ve zemin mukavemeti (sürtünme açısı ve kohezyon) ile bağlantılıdır.



Şekil 3.41. Ara yüzey elemanlarının zemin elemanlarına bağlanması

* a. 3Düğümlü, b. 5 Düğümlü

R_{inter} katsayısı, aşağıda sıralanmış olan kurallara uygun olarak, ara yüzey mukavemetini zeminin mukavemeti ile ilişkilendirir;

$$c_i = R_{inter} \cdot c_{zemin} \quad (3.4)$$

$$\tan \phi_i = R_{inter} \cdot \tan \phi_{zemin} \quad (3.5)$$

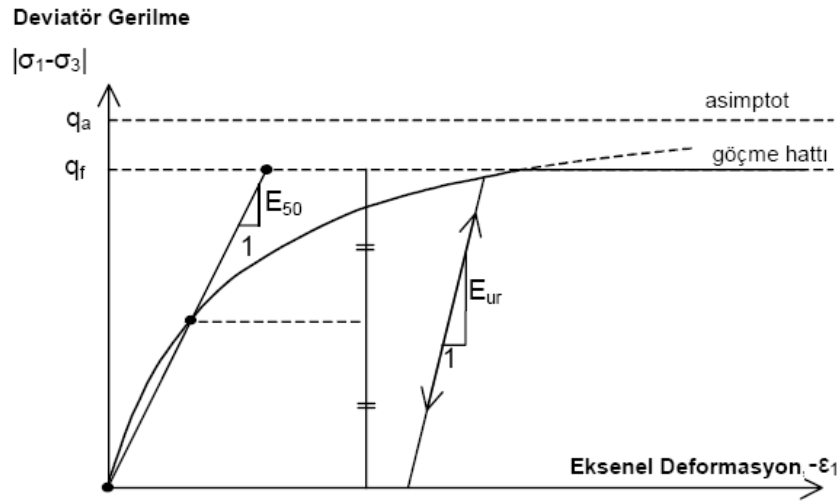
$$R_{inter} < 1 \text{ ise } \psi_i = 0 \text{ ve } R_{inter} = 1 \text{ ise } \psi_i = \psi_{zemin} \quad (3.6)$$

Geometrik model çizildikten sonra zemin malzemesi tanımlanmalıdır. Programda, zemin 7 adet önceden tanımlanmış zemin modeli ve bir adet kullanıcı tarafından tanımlanabilecek model şablonu ile modellenebilir. Önceden tanımlanmış zemin modelleri; Lineer elastik (LE), Mohr-Coulomb (MC), Pekleşen zemin (Hardening Soil, HS), Yumuşak zemin (Soft Soil, SS), Yumuşak zemin sünme (Soft Soil Creep, SSC), Modifiye Cam-Clay (Modified Cam-Clay, MCC) ve Çatlaklı kaya (Jointed-Rock, JR) modelleridir. Bu çalışmada sadece Pekleşen zemin modeli kullanıldığı için, bu model açıklanmıştır.

Bu modelde basınç zemin rijitliği ile artmaktadır. Drenajlı üç eksenli basınç deneyinde gözlenen aksenal deformasyon-deviatorik gerilme ilişkisinin yaklaşık hiperbol şeklinde

olması esasına dayanmaktadır (Şekil 3.42). Bu ilişki Kondner (1963) tarafından ilk olarak formüle edilmiştir, daha sonra Duncan ve Chang (1970) iyi bilinen hiperbolik zemin modeli olarak kullanmıştır. Daha sonra hiperbolik zemin modelinin yerine geçmiştir. Elastisite teorisinden çok plastisite teorisi kullanılmakta, modelin zemin dilatasyonunu da kapsamakta ve bir akma başlığını (yield cap) içermektedir. Modelin ana karakteristik parametreleri aşağıdaki gibi verilmiştir:

- Gerilmeye bağlı rijitlik (m)
- Deviatorik yükleme nedeniyle oluşan plastik deformasyonlar (E_{50}^{ref})
- Sıkışma nedeniyle oluşan plastik deformasyonlar ($E_{öed}^{ref}$)
- Elastik boşaltma/yükleme (E_{ur}^{ref} , v_{ur})
- Mohr-Coulomb modeline göre göçme (c , ϕ ve ψ)



Şekil 3.42. Üç eksenli basınç deneyinde hiperbolik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 3.42'den çıkarılan hiperbol denklemini aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir;

$$-\varepsilon_1 = \frac{1}{2E_{50}} \frac{q}{1 - q/q_a} \quad (q < q_f \text{ için}) \quad (3.7)$$

Burada; q_a kayma mukavemetinin asimtotudur. E_{50} ilk yükleme sırasındaki gerilmeye bağlı rijitliktir ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \phi - \sigma_3' \cdot \sin \phi}{c \cdot \cos \phi + p^{ref} \cdot \sin \phi} \right)^m \quad (3.8)$$

Burada E_{50}^{ref} referans çevre basıncı p^{ref} değerine karşılık gelen referans rijitlik modülüdür. Bu modül üç eksenli deneyindeki çevre basıncı olarak ifade edilen σ_3' değerine bağlıdır. σ_3' değerinin işareti basınç olduğundan ötürü negatiftir. Gerilme seviyesi 'm' ile kontrol edilmektedir. Göçme anındaki deviatörük gerilme q_f ve deviatörük gerilmenin asimtotu q_a değerleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

$$q_f = \left(c \cdot \cot \phi - \sigma_3' \right) \frac{2 \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (3.9)$$

$$q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (3.10)$$

Buradaki q_f değeri, c ve ϕ değerleri kullanılarak Mohr-Coulomb göçme kriterinden hesaplanmaktadır. $q=q_f$ olduğunda Mohr-Coulomb modeline göre göçme meydana gelir ve tam plastik akma oluşmaktadır. q_f ve q_a arasındaki oran göçme oranı (R_f) olarak tanımlanmaktadır. R_f değerinin her zaman için 1'den küçük olduğu görülmektedir. Genellikle $R_f=0,9$ tercih edilmektedir. Burada E_{ur}^{ref} Young modülü, p^{ref} referans çevre basıncıdır. Çeşitli zemin tipleri için ortalama $E_{ur} \approx 3E_{50}$ ve $E_{oed} \approx E_{50}$ olduğu söylenebilmektedir. Boşaltma–yükleme rijitlik modülü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Plaxis Manual 2002);

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left(\frac{c \cdot \cos \phi - \sigma_3' \cdot \sin \phi}{c \cdot \cos \phi + p^{ref} \cdot \sin \phi} \right)^m \quad (3.11)$$

Hesaplarda zemin modelinin inşası kademeli olarak hesaplanabilmektedir. Hesaplama aşaması programda dört sekmeden oluşmaktadır. Bu sekmeler sistem davranışı ve yük durumu ile ilgilidir. Hesaplama çeşidi olarak; plastik, konsolidasyon, phi-c azaltma ve dinamik analiz seçenekleri bulunmaktadır. Hesaplarda gerekli parametreler tanımlandıktan sonra analiz işlemi başlatılır ve sonuçlar çıkış (Output) ve grafik (Curve) bölümlerinden alınır.

3.2.3. Analizlerde kullanılan materyal ve yöntem

Sonlu elemanlar programında deney kasasının geometrik modeli iki boyutlu düzlem şekil değiştirme (plane strain) koşullarında oluşturulmuştur. Daha hassas bir çözüm elde edebilmek amacıyla 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmıştır. Geometrik model simetrik olduğundan sistemin yarısı alınmıştır. Modelin genişliği 50 cm ve toplam zemin yüksekliği 85 cm'dir. Kum deney kasasına 2-2,5 cm aralıklarla yerleştirildiği için ana model Şekil 3.43'deki gibi oluşturulmuş, donatılar oluşturulan tabaka çizgileri üzerine konmuştur. Ağ aralığı sıkı seçilmiş ve donatılar arası yeniden sıklaştırılmıştır. Sistemdeki donatı sayısı arttıkça eleman ve düğüm sayısına bağlı ağ düzeni değişimlerinin sonuçlara etkisinin en asgari düzeyde olmasına dikkat edilmiştir.

SE programında mevcut standart sınır koşulları uygulanmıştır. Bu koşullarda, geometrik modelin tabanında hem düşey hem yatay deplasmanlar engellenmekte ($u_x=0$, $u_y=0$), sistemin düşey kenarlarında ise, sadece düşey harekete izin verilmektedir ($u_x=0$, $u_y=serbest$).

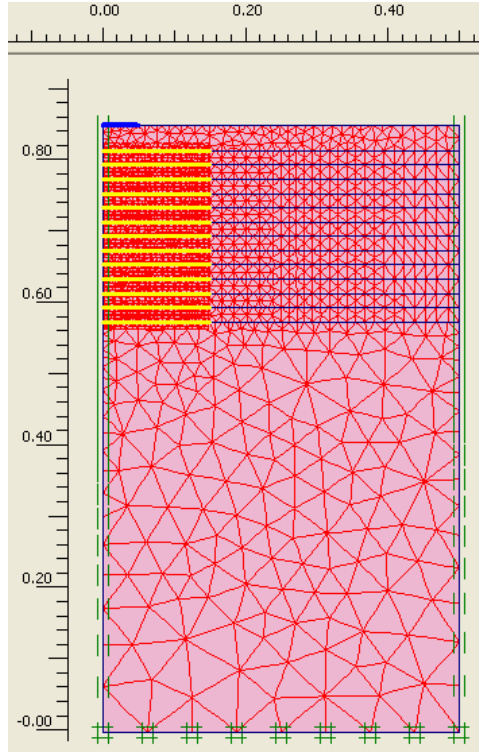
Zemin modelini oluşturmak için önce üç eksenli deneyleri Plaxis programında modellenmiş ve deneylerde bulunan sonuçlarla benzerlik sağlanmaya çalışılmıştır. Daha sonra donatısız plaka yükleme deney sonuçları ile analiz modeli yeniden düzenlenmiştir. Zemin Pekleşen Zemin modeli ile tanımlanmıştır. Zemin özellikleri Çizelge 3.9'da görülmektedir.

Temel plakası, kiriş eleman olarak belirtilmiştir. Malzeme özellikleri $EI=260 \text{ kNm}^2/\text{m}$ ve $EA=5 \times 10^6$ dir (I =atalet momenti, A =birim alan). Temel genişliği, sistemin yarısı modellendiğinden dolayı $B/2=5 \text{ cm}$ uzunluğundadır. Plakanın üzerine üniform yük uygulanmıştır.

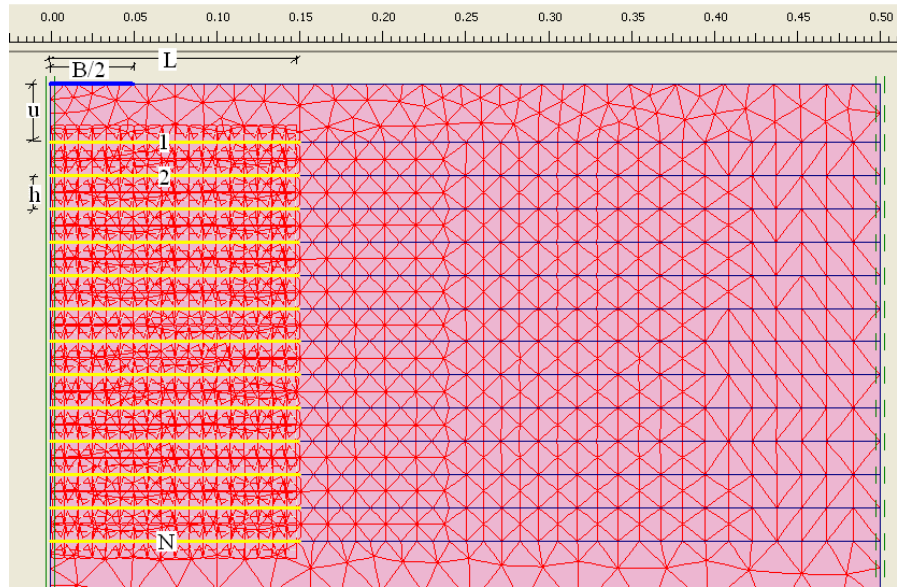
Deneylerde temel merkezi altındaki zeminde oluşan ilave düşey gerilmeler, geotekstil donatılı sistemler için incelenmiştir. Bu nedenle SE analizleri geotekstil donatılı modeli tanımlayabilecek şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır. Geotekstil donatıya ait elastik rijitlik parametresi geotekstil malzemenin deformasyon ile çekme kuvveti davranışı grafiğinden tesbit edilmeye çalışılmıştır. Laboratuvar model deneylerinde kullanılan geotekstili SE analizlerinde modellemek amacıyla donatı eksenel rijitliği yaklaşık $J=550 \text{ kN/m}$ alınmıştır. Donatı ile zemin arasında ara elemanlar (interface) $R_{\text{inter}}=0,7$ ile tanımlanmıştır.

Çizelge 3.9. Kum zeminin malzeme parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m^3	15
Young Modülü	E	kN/m^2	25000
Poisson oranı	ν	-	0,25
Kohezyon	c	kN/m^2	1
Kayma mukavemet açısı	ϕ	°	38
Dilatasyon açısı	ψ	°	8
Referans basınç değeri	p^{ref}	kN/m^2	100
Gerilme seviyesine bağlı rijitlik için üs değeri	m	-	0,50
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	0,384
Göçme oranı	R_f	-	0,90



a



b

Şekil 3.43. Analiz ağ modeli

* a. Tüm sistem, b. Üst bölgenin ayrıntılı görünümü

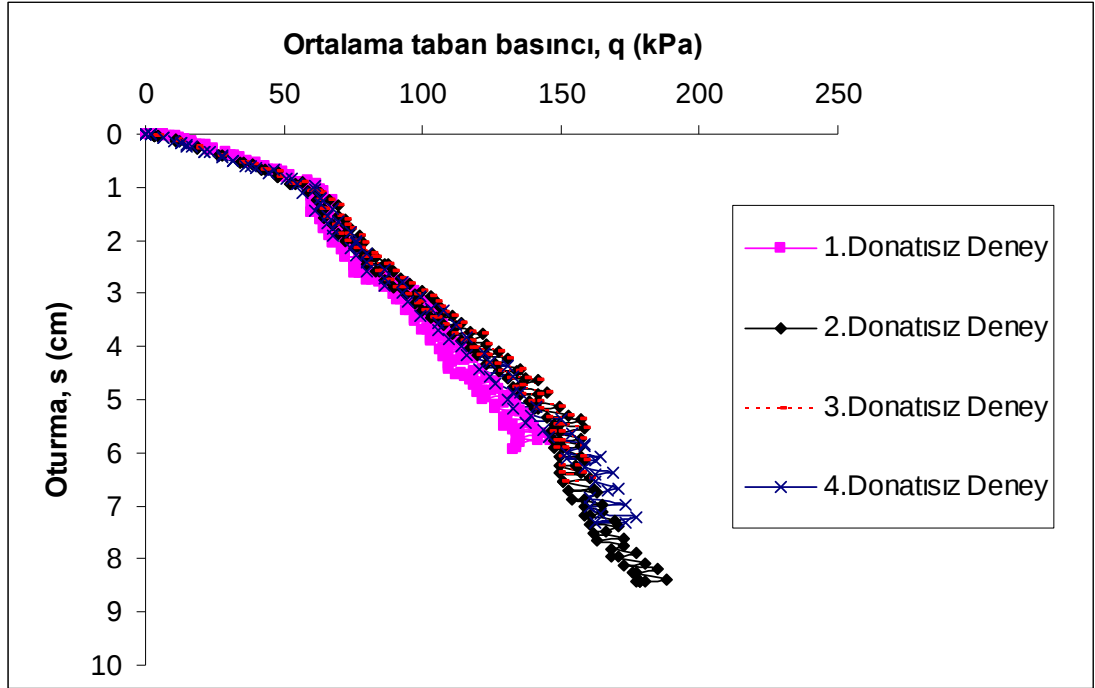
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan deneysel ve teorik incelemelerin sonuçları ve değerlendirilmesi sunulmuştur. Donatısız ve donatılı orta sıkı kumda bir tür geotekstil ve üç farklı tür geogrid malzemesi ile yapılan laboratuvar plaka yükleme deneyleri açıklanmıştır. Bu testler sonucunda, farklı donatı malzemesinin taşıma gücüne etkileri karşılaştırılmıştır. Geotekstil donatılı kum zeminde ölçülen ilave düşey gerilmeler araştırılmış ve yorumlanmıştır. En son olarak sonlu elemanlar analizleri yapılmış, teorik değerler ve yürütülen deneysel sonuçları ile değerlendirilmiştir.

Donatısız ve donatılı orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temel için yapılan plaka yükleme deney sonuçları Ortalama taban basıncı (q)-Oturma (s) eğrileri ile açıklanmıştır. Kasa cam yüzeyine yakın bölüme 2-5 cm aralıklarla serilen renkli kum vasıtası ile zeminin yapmış olduğu oturmalar gözlenmiştir. Bazı deneyler, sonuçlarından emin olabilmek amacıyla dört defa tekrarlanmıştır. Donatısız ve donatılı deney sonuçlarından elde edilen araştırma bulguları ve yorumlar aşağıda sıralanan bölümlerde açıklanmıştır.

4.1. Donatısız Zemindeki Deney Sonuçları

Kum deney kasası içerisine yağmurlama sistemi ile yerleştirilmiş, 2-2,5 cm'lik tabakalar halinde sıkılıkları kontrol edilmiştir. Temel plakası olarak B=10 cm genişlikli 2,5 cm kalınlıklı rijit çelik plaka kullanılmıştır. Tüm cihaz okumaları sıfırlandıktan sonra teste başlanmıştır. Deney sırasında kademeli olarak hidrolik krik o ile temele yük uygulanmıştır. Geosentetik donatı kullanılmadan hazırlanan deney modelinde, yapılan plaka yükleme testlerinin sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri Şekil 4.1'de verilmiştir. Donatısız deneyler dört kez tekrar edilmiş ve sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Donatısız sistemin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri

Donatısız zeminde göçme yüzeylerinin oluşmaya başladığı nihai taşıma kapasitesi yaklaşık ortalama $q_{ul}=61$ kPa olarak tespit edilmiştir. Göçme yüzeyleri temel plakası genişliğinin yaklaşık %10-15 değerinde meydana gelmeye başlamıştır. Zemin orta sıkı kum olduğu için göçme yüzeyinin tamamen belirginleşmesi ve temel davranışının daha iyi gözlemlenebilmesi için deneye devam edilmiştir. Temel genişliğinin yaklaşık %80 oturma miktarına kadar temel plakası yüklenmiştir. Temel plakası kenarında oluşan kabarmalar ve göçme davranışı incelenmiştir.

Terzaghi (1943)'nin kum zeminler üzerindeki yüzeysel şerit temeller için tanımladığı taşıma gücü değeri; $q_u = 0.5\gamma BN_\gamma$ ifadesi ile belirtilmiştir. Bu formülde değerler yerlerine konarak, incelenen problemdeki donatısız durum için taşıma kapasitesi yaklaşık $q_u=59$ kPa hesaplanmıştır. Deney sonuçlarından bulunan donatısız haldeki zeminin göçmeye başladığı ilk taşıma gücü değerinin ($q_{ul}=61$ kPa), Terzaghi taşıma kapasitesi ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Deney kasası içerisindeki tabakalar halinde serilen deney zemininin davranışının daha iyi gözlenebilmesi için; belirli aralıklarla cam yüzeye yakın kısımlarda renkli kumlar serilmiştir. Kasa cam yüzeyinde sabit koordinatların oluşması için tahta kalemi ile düz çizgiler oluşturulmuştur. Şekil 4.2’de deney öncesi kasanın görünümü verilmektedir. Şekil 4.3’te ise kasanın cam yüzeyinde donatısız deneyin sonunda temel oturması ve zeminin yükleme sonundaki durumu sunulmuştur. Şekil 4.3’te oturmaların daha net görülebilmesi için modelin yalnızca üst bölümü gösterilmiştir.

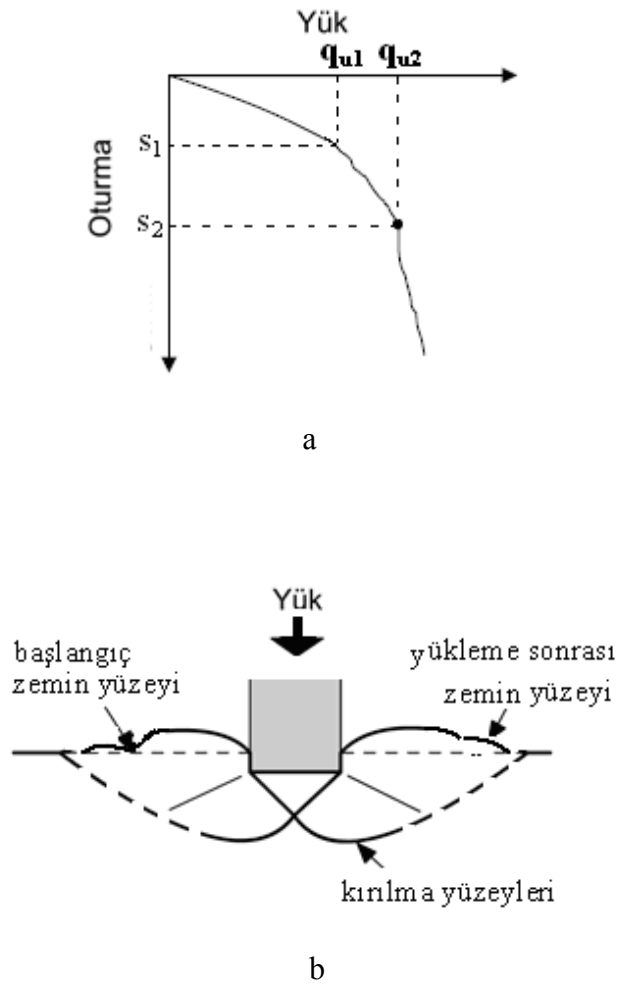


Şekil 4.2. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü



Şekil 4.3. Donatısız deney sonucu zeminde meydana gelen göçme şekli

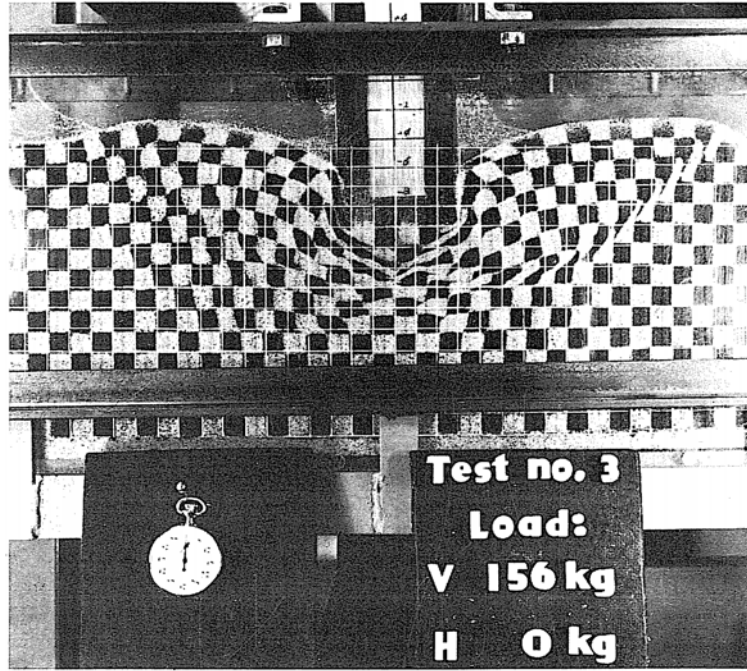
Donatısız hazırlanan orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temel üzerine yük uygulandıkça temel plakasının oturduğu, fakat kayma yüzeylerinin hemen oluşmadığı görülmüştür. Zemin belli bir yükü aldıktan sonra göçme yüzeyleri oluşmaya başlamıştır. Deneylerden elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri (Şekil 4.1) ve zeminin göçme modu (Şekil 4.3), yüzeysel temeller için kabul edilen göçme durumları ile karşılaştırılmıştır. Donatısız deney sonuçlarının orta sıkı kumlarda gözlenen Şekil 4.4'teki yerel göçme moduna uyduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Yerel (bölgesel, local) kayma göçmesi (Das 2007)

* a. Temel plakası yükleme-oturma eğrisi, b. Zemin kırılma yüzeyleri

Jumikis (1969) plaka yükleme sonucu zeminde meydana gelen göçme durumunu Şekil 4.5'teki gibi belirtmiştir. Orta sıkı ve donatısız kum zeminde yapılan deney sonuçları Şekil 4.5'teki oturma profiline benzemiştir. Fakat yerel göçme olduğu için göçme yüzeyleri aşağıdaki şekil kadar belirgin değildir.



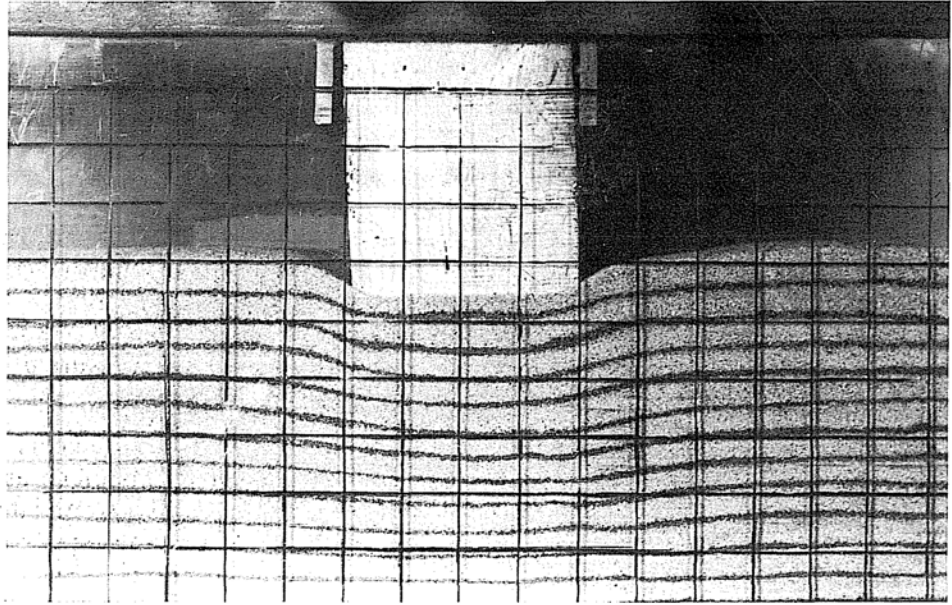
Şekil 4.5. Deneysel kum kayma yüzey görünümü (Jumikis 1969)

Vesic (1973) göçmenin genellikle zeminin sıkıştırılmasıyla ilgili olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı; sıkı, orta sıkı ve gevşek kumlara oturan yüzeysel temellerin sırasıyla genel kayma, bölgesel kayma ve zımbalama kayması şeklinde göçeceğini söylemiştir. Ayrıca kum zeminin donatılı durumda donatısız hale göre daha rijit olacağını ve çoğunlukla donatılı zeminin genel kayma kırılması ile göçmesinin beklenebileceğini vurgulamıştır.

Yetimoğlu (1994) sıkı kumda dikdörtgen yüzeysel temellerle yapmış olduğu donatısız deneylerde genel kayma, donatılı zeminlerde ise zımbalama göçmesi ile karşılaşmıştır. Akinmusuru and Akinbolade (1981), Guido *et al.* (1987) ve Singh (1988) tarafından yapılan geogrid donatılı kum zeminlerdeki kare temellerin yine zımbalama göçtüğü belirtilmiştir.

Yıldız (2002) rijit elik plakalarla donatılandırđıđı sıkı kumdaki yükleme deneylerinde genel kayma göçmesinin oluştuğunu belirtmiştir. Laman ve Babacan (2004) donatısız kumda genel kayma göçmesi, geogrid ile donatılandırılmış kum üzerindeki dairesel temellerin bir kısmının zımbalama göçmesi, bir kısmının ise genel kayma göçmesi şeklinde kırıldığını söylemiştir.

Bu çalışmada, donatılı kum üzerindeki yüzeysel şerit temellerde yapılan testlerin bir kısmında; Jumikis'in (1969) donatısız sıkı kum zeminde yaptığı plaka yükleme deneyindeki göçme profiline (şekil 4.6) benzer sonuçların oluştuğu, bazılarında zımbalama göçmesinin meydana geldiği ve diğerlerinde ise genel kayma göçmesinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar, kullanılan temel modelinin şekli ve kullanılan donatı parametrelerinin donatılı zeminlerin göçme şeklini etkileyebileceğini dşndrmştir.



şekil 4.6. Sıkı zemin ve oturma durumu (Jumikis 1969)

Donatısız zeminde q_{u1} yükünde göçme başlarken, aşağıdaki bölümlerden de görüleceği üzere donatılı orta sıkı kumda kırılma çok daha büyük yükler uygulandıktan sonra oluşmuştur.

4.2. Donatılı Zemindeki Deney Sonuçları

Bu bölümde, her bir donatı konfigürasyonu parametresinin farklı değerlerinde (u , h , N , L) yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiş ve literatürdeki değerlendirmelerle karşılaştırılarak irdelenmiştir. Deneylerde seçilen tüm parametreler literatür taranarak belirlenmiştir. Literatürde donatı etkisinin kısmen etkisini yitirdiğinin belirtildiği değerler testlere dahil edilmemiştir. Araştırma kapsamında, ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları incelenmiştir. Donatılı zemin taşıma kapasitesi oranı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$BCR = q / q_u \quad (4.1)$$

Burada, BCR taşıma kapasitesi oranını , q donatılı durumdaki ortalama taban basıncı, q_u ise donatısız durumdaki ortalama taban basınç değerini göstermektedir. BCR değerleri bulunurken donatılı deney sonuçlarından elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelenmiştir. Donatı sayısının arttığı deneylerde lineer davranışa yakın eğriler oluşmuştur. Bu nedenle, yük-oturma eğrisinin başlangıç ve bitiş noktalarından alınan teğetleri kesiştirerek nihai taşıma kapasitelerini seçmenin uygun olmadığı görülmüştür. Gerek donatısız gerekse de donatılı zeminde göçme anındaki oturma değerleri rölatif olarak küçük olmadığı için, geniş bir aralıktaki oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasiteleri cinsinden karşılaştırma yapılmasının daha uygun olduğu düşünülmüştür.

Deneylerde donatı olarak dört farklı geosentetik çeşidinde deneyler yapılmıştır. Bunlardan ilki geotekstil olup diğerleri geogriddir. Deneylerde donatı kopması gözlenmemiştir. Donatılı deneylerde; zeminin kendi içsel stabilitesinden kaynaklı kırılmaların meydana geldiği tahmin edilmiştir. Aşağıda farklı donatı çeşidi için yapılan farklı parametredeki test sonuçları ve yorumları verilmiştir.

4.2.1. Geotekstil donatılı zeminin deney sonuçları

Bu bölümde açıklanan deneylerde Geotekstil (TP060060W) kullanılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde; ilk donatı tabakasının derinliği, donatılar arası mesafe, donatı uzunluğu ve sayısı parametre olarak seçilerek yapılan testlerin sonuçları ve yorumları bulunmaktadır.

a. İlk donatı tabakasının derinliği;

Deney modelindeki zemine konan, en üstte bulunan ilk donatının temel plakası tabanına olan uzaklığının (u), taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Tek tabaka ve çok tabakalı durumlar için iki seri deney yapılmıştır.

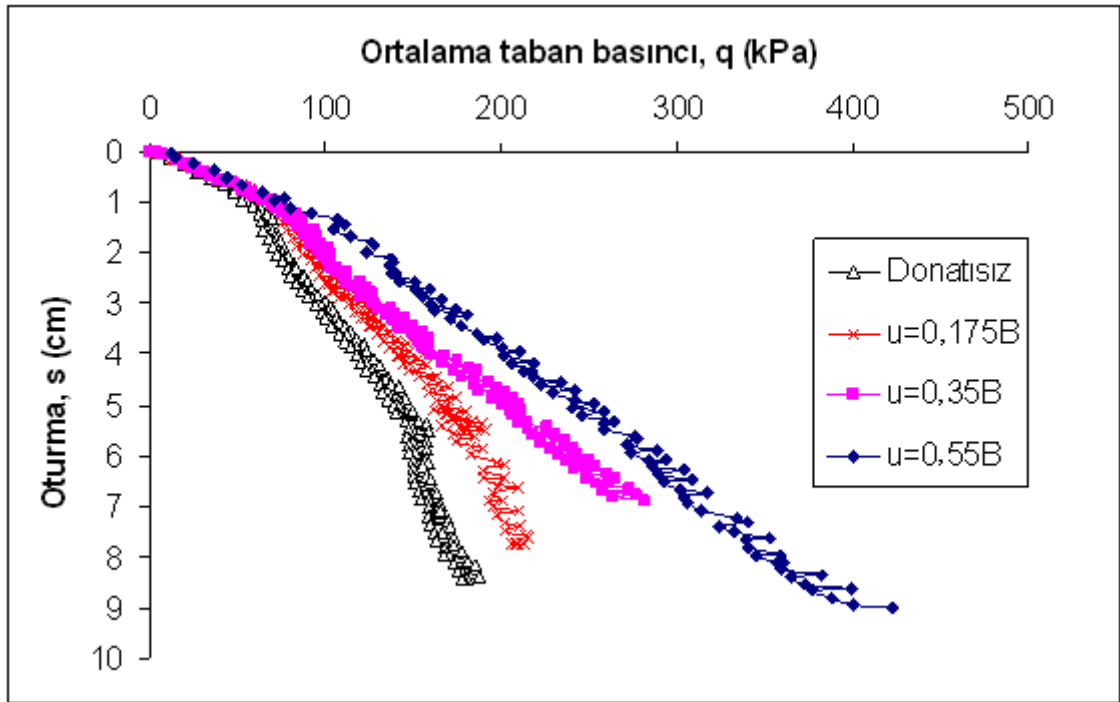
İlk donatı derinlik oranı; u/B olarak tanımlanmıştır. Burada; B =temel genişliği olup 10 cm değerindedir. İlk donatı derinliği $u=1,75; 3,5; 5,5$ ve $7,5$ cm alınarak donatı sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Araştırmada tek tabaka ve çok sayıda tabaka donatılı kum zeminler için ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları (BCR) değerlendirilmiştir.

i. Tek donatı tabakası kullanılan deneyler;

Donatılı tabaka sayısı $N=1$ olup, donatı genişliği $L=3B$ alınarak ilk donatı derinlik oranının üç farklı değeri ($u/B=0,175; 0,35$ ve $0,55$) için testler tekrarlanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri ve farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'deki gibi çizilmiştir. Bu Şekiller incelenerek ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

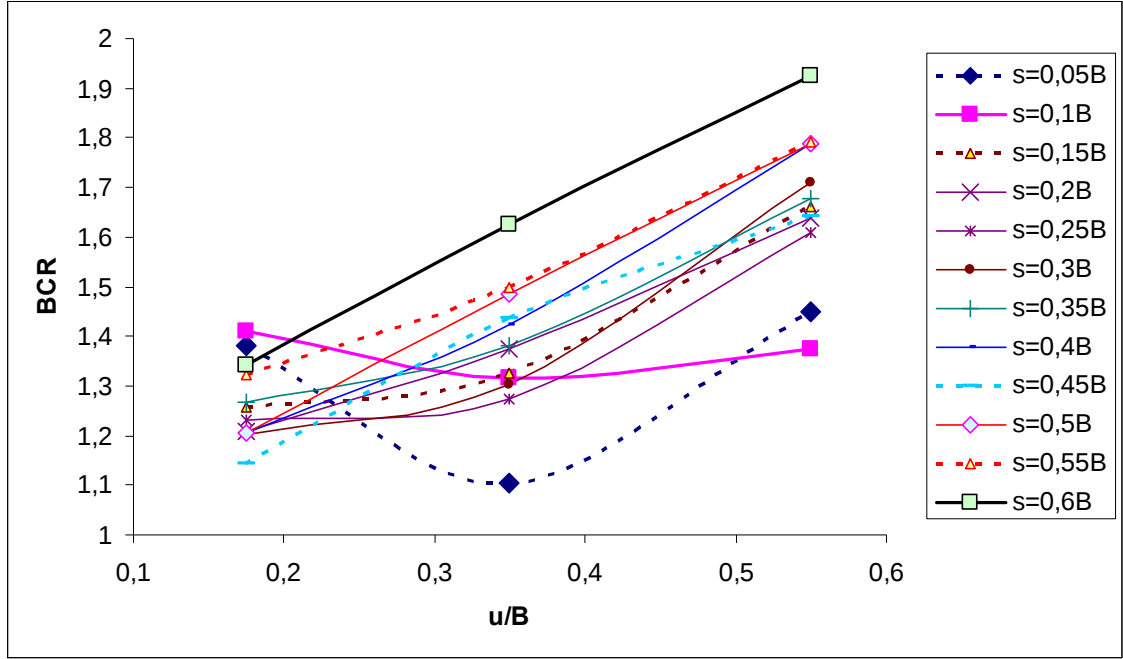
- İlk donatı derinliğine bağlı olarak taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğim değişikliğinin ilk meydana geldiği yük değeri yani zeminin kırılmaya başladığı ilk yük, farklı u/B değerleri için değişmiştir.

- $s/B > 0,1$ oturma oranları için u/B değeri arttıkça sistemin taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- $s/B = 0,05$ ve $0,1$ için $u/B = 0,35$ değeri $u/B = 0,175$ ve $u/B = 0,55$ donatı derinliklerine göre daha düşük BCR vermiştir.
- Farklı u/B ve s/B oranları için BCR; ortalama olarak yaklaşık 1,5 değerindedir.



Şekil 4.7. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($N=1$)

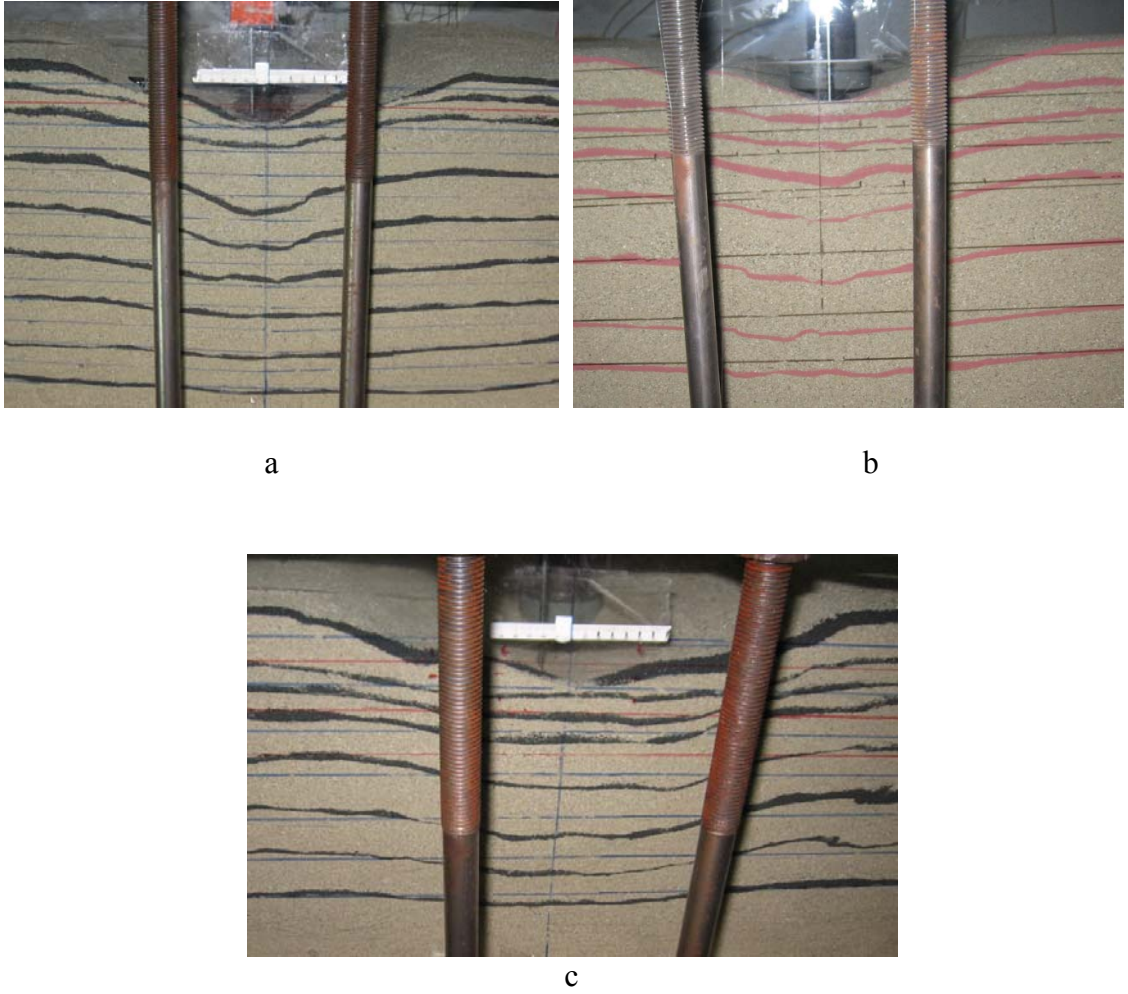
Şekil 4.9'da farklı ilk donatı derinliklerindeki plaka yükleme deney sonuçları görülmektedir. Şekiller incelendiğinde donatı derinliği arttıkça göçme esnasında oluşan üçgen kama değişmekte ve oturmalar derinlere aktarılmaktadır. Temel kenarında oluşan kum kabarmaları u/B oranı arttıkça fazlalaşmıştır.



Şekil 4.8. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerine karşılık gelen derinlik oranı-taşıma kapasitesi ilişkisi ($N=1$, $L/B=3$)

ii. Çok donatı tabakası kullanılan deneyler;

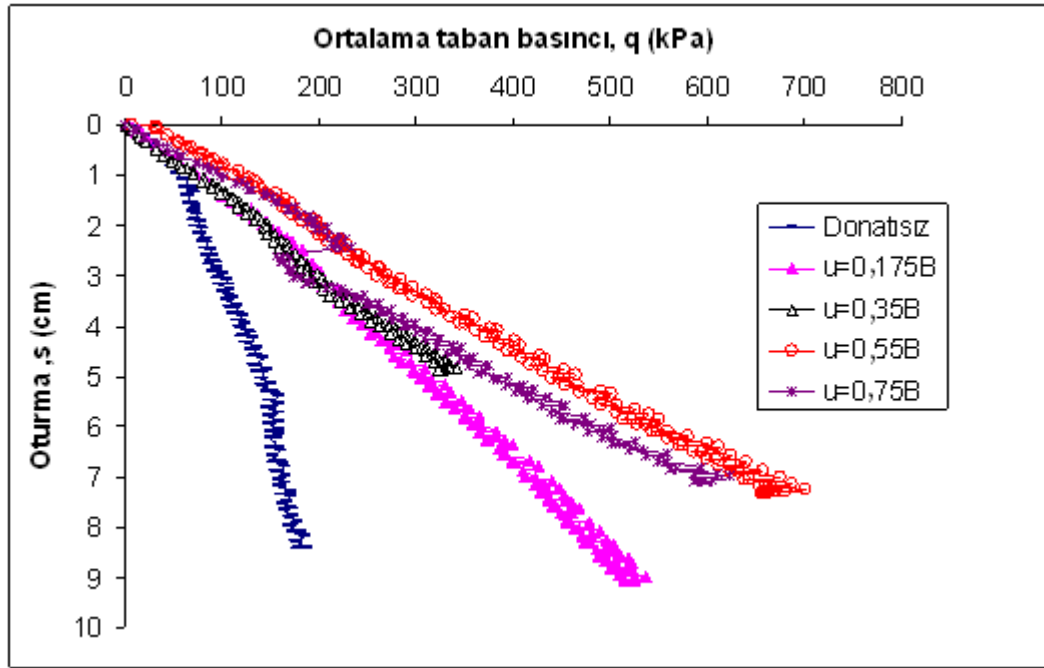
Bu bölümde ilk donatı tabaka derinliğinin, çok tabaka donatılı kum zeminler üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde donatı boyu ($L=3B$) ve düşeyde donatı aralığı ($h/B=0,4B$) sabit alınarak donatı tabaka sayısı sırasıyla $N=2$ ve 3 kullanılmıştır. u/B oranının $0,175$ 'den daha az değerlerinde, donatı temel plakasına çok yaklaştığı için tercih edilmemiştir. Deneyler sonucunda $u/B=0,75$ oranından daha büyük değerlerde ise göçmenin donatılı bölgenin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ilk donatı derinlik oranının $0,75$ 'den daha büyük olduğu değerlerde testler yürütülmemiştir. Testler, literatür taranarak seçilen ilk donatılı tabaka derinlik oranlarında yürütülmeye çalışılmıştır ($u/B=0,175$; $0,35$; $0,55$ ve $0,75$).



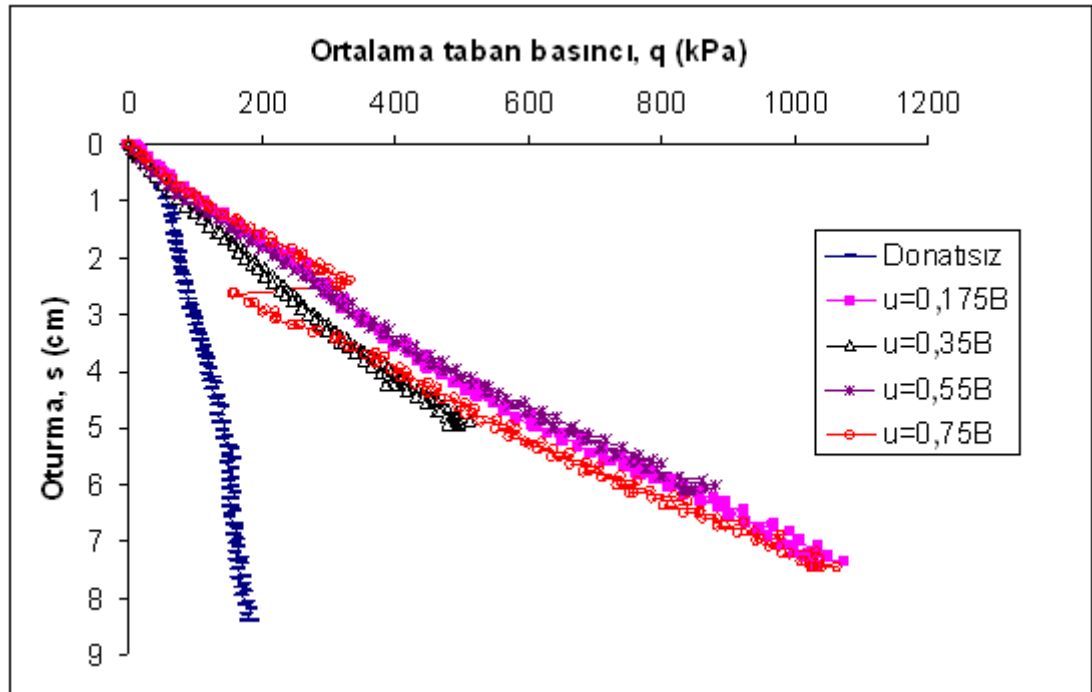
Şekil 4.9. Tek tabaka donatılı kumda değişik derinlik değerlerinde yapılan deney sonucu oluşan oturma yüzeyleri
 * a. $u/B=0,175$; b. $u/B=0,35$; c. $u/B=0,55$

İlk donatı derinlik oranının parametre olarak seçildiği deney sonuçlarından elde edilen Ortalama taban basıncı (q)-Oturma (s) eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları Şekil 4.10-Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekillerde $u/B=0$ durumu donatısız zemini temsil etmektedir. Deneylerden çıkarılan değerlendirmeler aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

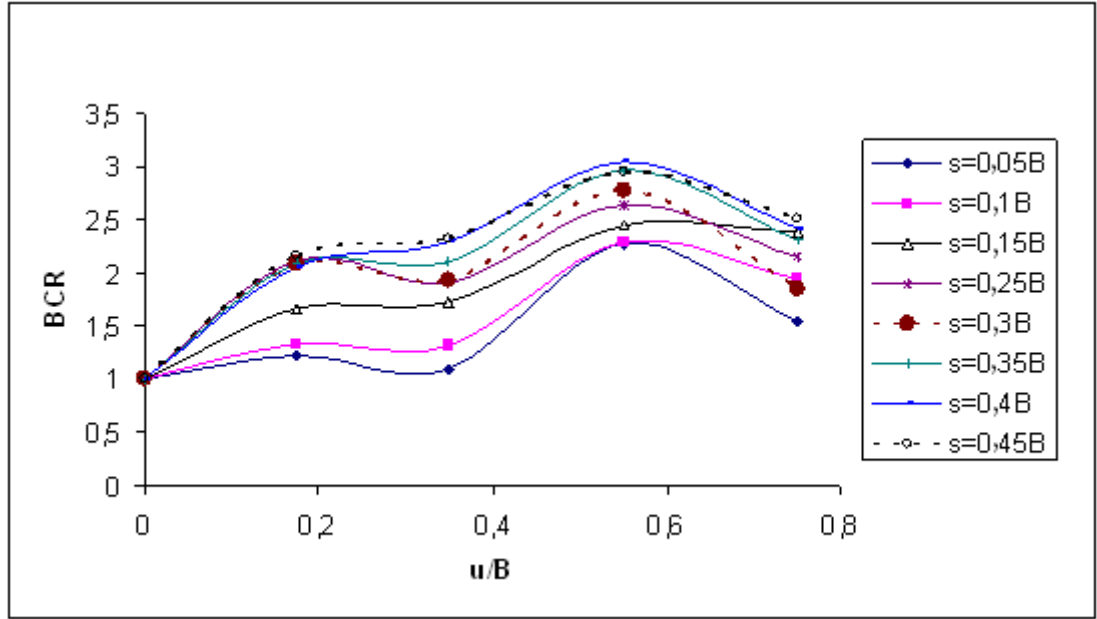
- Küçük oturma oranlarında ($s/B < 0,2$) donatılı tabaka sayısının $N=2$ olduğu deney sonuçlarında maksimum fayda ilk donatı oranının $u/B=0,55$; donatı sayısı $N=3$ iken ise $u/B=0,175$ değerinde olduğu görülmüştür. Her iki donatı sayısında da temel oturma miktarı arttıkça maksimum BCR değerleri $u/B=0,55$ ’de gözlenmiştir.



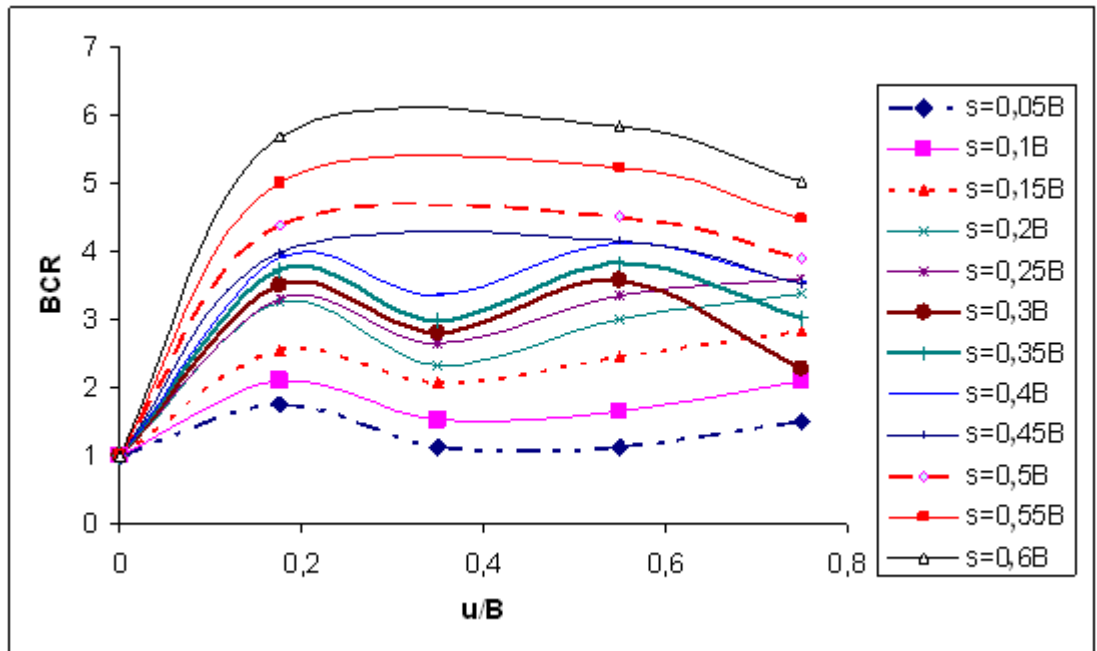
Şekil 4.10. Değişik ilk donatı derinliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.11. Değişik ilk donatı derinliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.12. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L=3B$; $h/B=0.4$; $N=2$)



Şekil 4.13. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L=3B$; $h/B=0.4$; $N=3$)

- İlk donatı derinlik oranı $u/B=0,175$ için, sistemdeki donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür. $u/B=0,175$ 'de tek tabaka donatılı grup deneyinde en az taşıma gücü oluşurken, donatı tabaka sayısı $N=2$ için $u/B=0,35$ deney sonucuna yakın taşıma gücü oluşmuştur. $N=3$ olduğunda ise $u/B=0,55$ deney sonuçlarına yakın veriler elde edilmiştir.
- $N=3$ olduğunda yani donatı sayısı arttığında $u/B=0,35$ derinliğindeki deneylerdeki büyük oturma oranlarında ($s/B>0,25$) $u/B=0,175$ ve $0,55$ 'e nazaran daha düşük BCR değerleri gözlenmiştir. Donatı sayısı arttığında zeminin taşıma gücü de artmıştır. İlk donatının temel plakasına yakın olduğu $u/B=0,175$ durumunda donatı ile zemin arasında olan sürtünme kuvvetine temel plakasının da etki ederek daha fazla yükün yanlara aktarıldığı düşünülmüştür. $u/B=0,55$ 'de ise donatıların daha fazla membran etkisi gösterdiği tahmin edilmiştir. $u/B=0,35$ derinliği ise bu iki durumun ortasında bulunduğundan diğerlerine nazaran oturma miktarı arttıkça taşıma kapasitesinin daha düşük çıktığı tahmin edilmiştir.
- Oturma oranları arttıkça BCR değerleri büyümüştür. Örneğin, küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) donatı sayısı $N=2$ iken maksimum taşıma kapasitesi oranı $BCR=2,4$; $N=3$ için $BCR=2,6$ 'dır. $s/B=0,45$ olduğunda $N=2$ için $BCR=3,1$; $N=3$ iken $BCR=4$ 'e yükselmiştir.
- Çok tabaka donatılı orta sıkı kum zeminde oturma oranı arttıkça geotekstil sayısının etkisi fazlalaşmıştır. Temel plakasına etkiyen basıncın kum içerisindeki donatıya ulaşabilmesi için zemin göçmeden önce temelin bir miktar oturması ve donatının gelen etkiyi karşılamasının gerektiği düşünülmüştür.
- Geosentetik tabaka sayısı değiştikçe ilk donatı derinliğinin etkisi incelenmiştir. Tek tabaka donatılı zeminde maksimum taşıma kapasitesi oranı $u/B=0,55$ 'de; $N=2$ olduğunda $u/B=0,55$ 'de; $N=3$ iken ise ilk oturma oranlarında $u/B=0,175$ 'de meydana gelmiş olup, oturma oranları arttığında $u/B=0,55$ 'inde etkisinin arttığı görülmüştür.

Deney sonuçlarında maksimum BCR değerine çoğunlukla $u/B=0,55$ donatı derinliğinde ulaşıldığı gözlenmiştir.

Şekil 4.14’de donatılı tabaka sayısı $N=2$ ve ilk donatı derinliği $u/B=0,55$ olan deney sonucunda meydana gelen oturma profili sunulmuştur. Oturma yüzeylerinin daha net gözükmesi için modelin üst kısmı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde temel altındaki zeminin üniforma yakın oturduğu, temel kenarlarındaki kumun kabardığı gözlenmiştir. Temel plakası yanındaki zeminlerde kabarma donatısız ve tek donatılı durumlara nazaran daha fazla olmuştur.



Şekil 4.14. $N=2$ donatılı kumda yapılan deney sonucu oluşan oturma profili ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$)

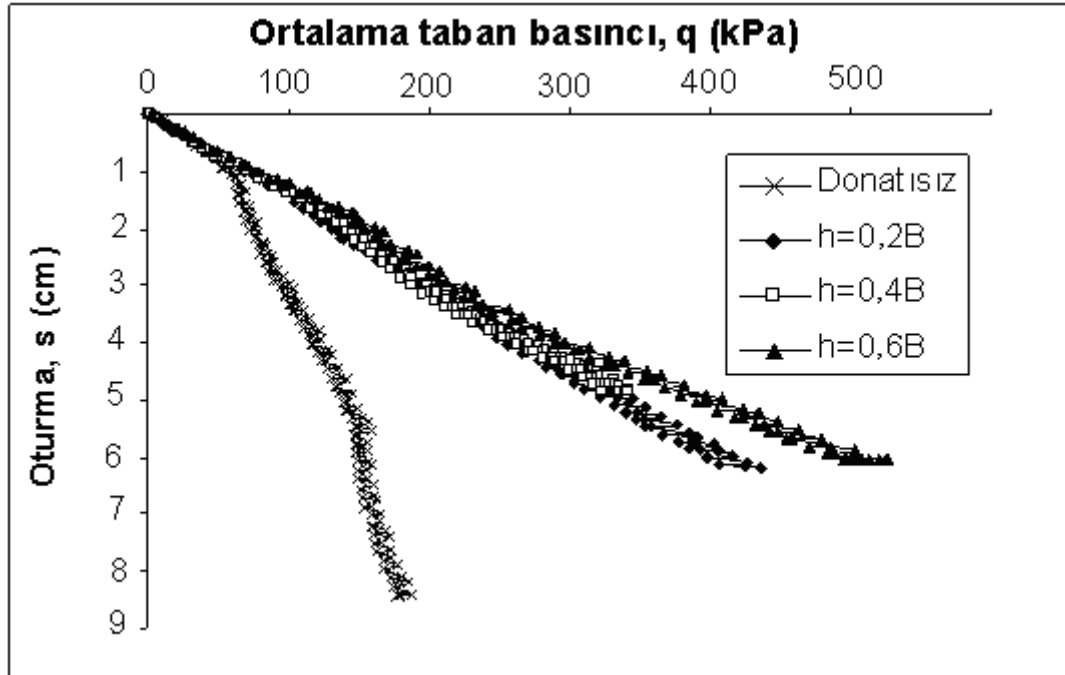
b. Donatı düşey aralığı;

Deney kasası içindeki kum zemin üzerine yatay olarak serilen geosentetik tabakaları arasındaki düşey mesafenin (h) yüzeysel şerit temelin yük-oturma davranışına etkisi araştırılmıştır. Donatı tabaka sayıları $N=2, 3, 4$ ve 5 adet kullanılarak farklı dört grup test yürütülmüştür. Deneylerde ilk donatı derinliği ($u=0,35B$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır.

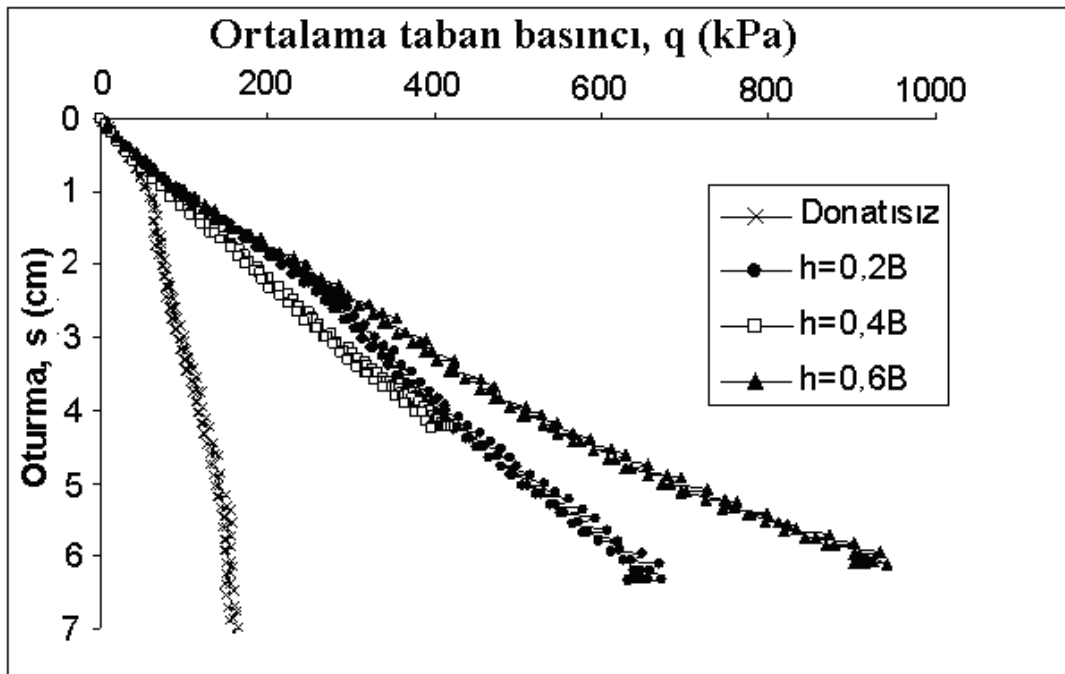
Deneyleerde parametre alınan düşey donatı aralık oranı; h/B ifadesiyle tanımlanmıştır. Geotekstil mesafesinin $h=0,2B$ 'den daha küçük olması durumunda; donatıların yerleştirilirken aradaki kum malzeme çok azaldığından ötürü tercih edilmemiştir. $h=0,6B$ 'den daha büyük olması halinde ise temel yüzeyinden fazla derine inildiğinden, derin temel etkisiyle karşılaşılabilineceği varsayılararak donatı aralığı için literatür taranarak seçilen üç değer kullanılmıştır ($h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$).

Donatı düşey aralık oranı (h/B) değiştirilerek geotekstil donatı tabaka sayısının $N=2, 3, 4$ ve 5 olduğu deneylerden elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri Şekil 4.15-Şekil 4.18'de verilmiştir. Bu testlerden bulunan veriler ile yükleme anındaki oturma miktarları değerlendirilmiştir. Test süresince meydana gelen farklı oturma oranları (s/B) için donatı düşey aralığı (h/B) ile taşıma kapasitesi oranı (BCR) ilişkilendirilmiştir. Temel plakası oturma miktarlarının $s/B=0,05$ aralıklı değişimi incelenerek oluşturulan grafikler Şekil 4.19-Şekil 4.24'de sunulmuştur. Söz konusu Şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

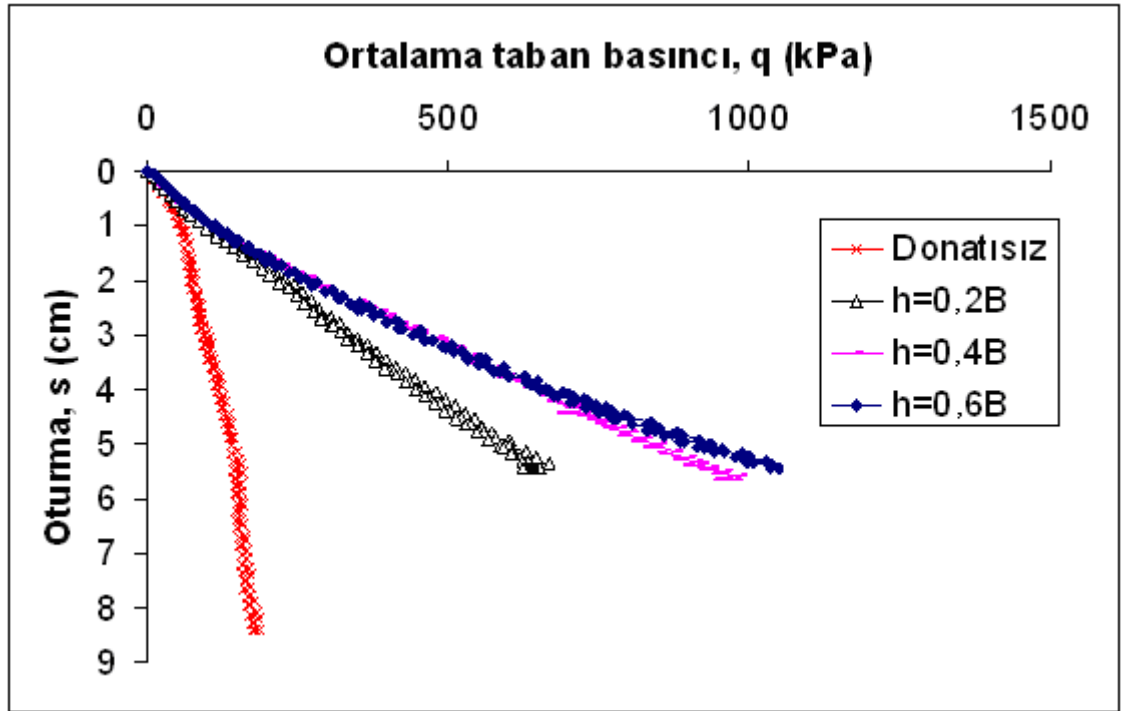
- Düşeyde donatı aralığının ortalama taban basıncı-oturma davranışına etkisi sistemde bulunan toplam donatı tabaka sayısının değişmesine bağlı olarak bir miktar farklılık göstermiştir.
- Ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde, dört grup deney sonucunun hepsinde maksimum taşıma kapasitesine donatı düşey aralık oranı $h/B=0,6$ değerinde ulaşılmıştır.
- $N=2, 3$ ve 5 sıra donatılı kullanılan durumlarda $h/B=0,4$ donatı aralığında elde edilen BCR değerlerinin $h/B=0,2$ ve $0,6$ için bulunan BCR'lerden daha küçük olduğu görülmüştür.
- Donatı sayısı $N=4$ olan grup deneyinde $s/B>0,2$ 'den itibaren $h/B=0,4$ donatı aralığındaki BCR değerleri $h/B=0,6$ donatı aralıklı test sonuçlarına yaklaştırmaya başlamıştır.



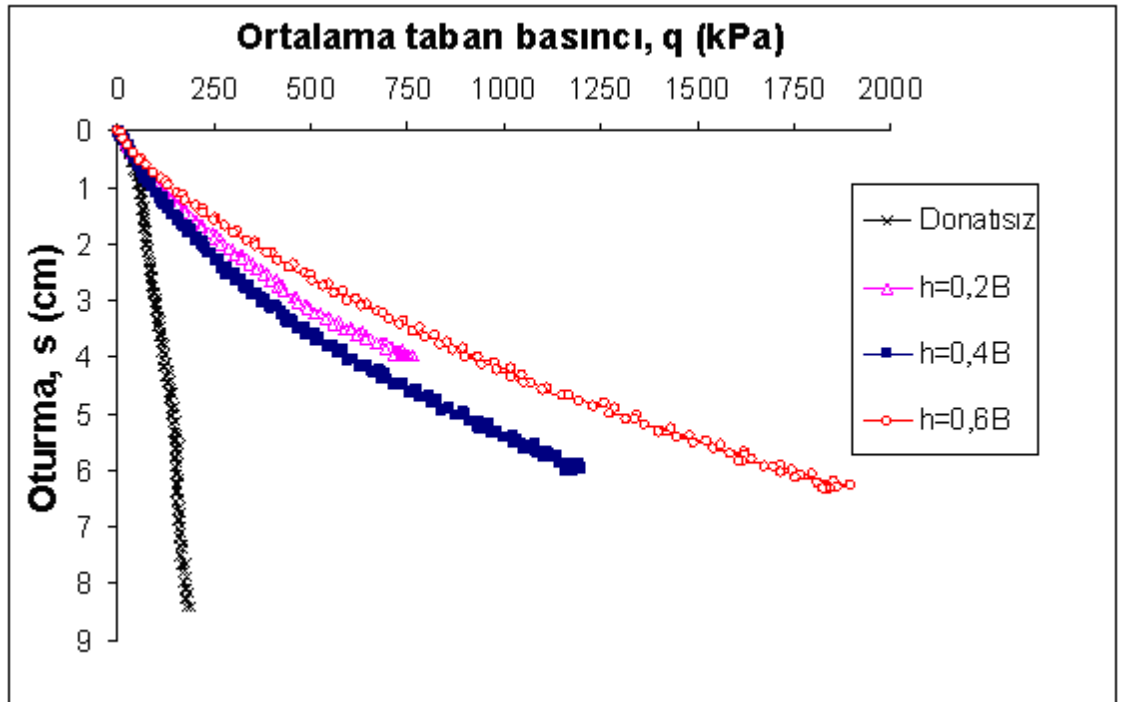
Şekil 4.15. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=2$)



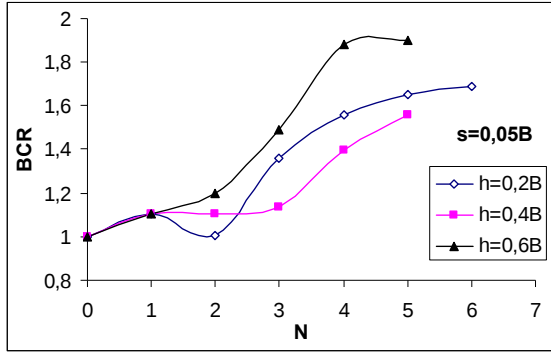
Şekil 4.16. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=3$)



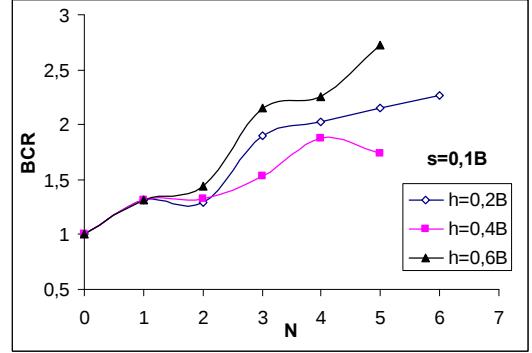
Şekil 4.17. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=4$)



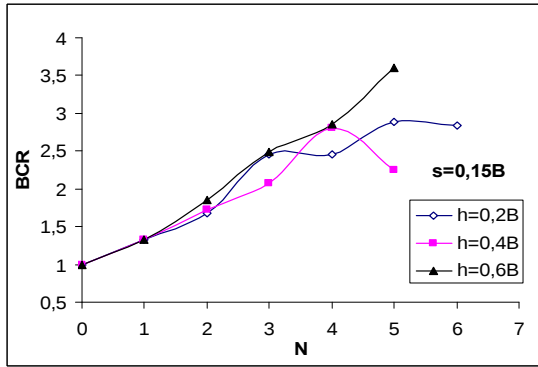
Şekil 4.18. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=3$, $N=5$)



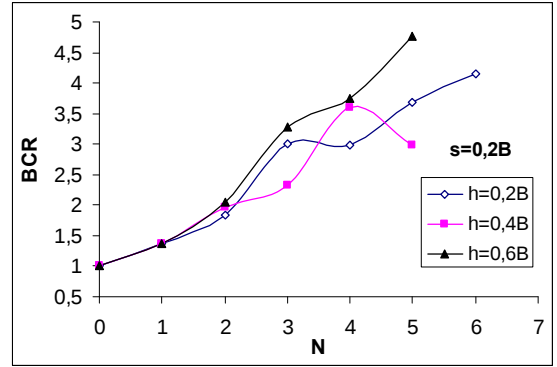
a



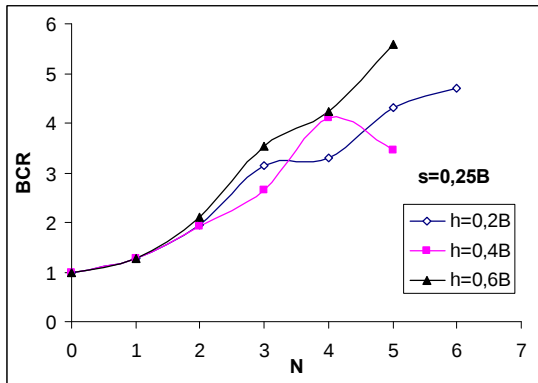
b



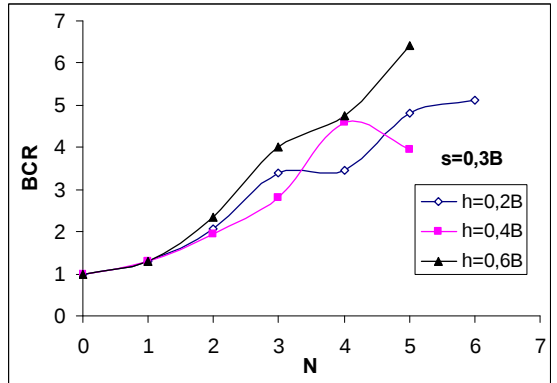
c



d



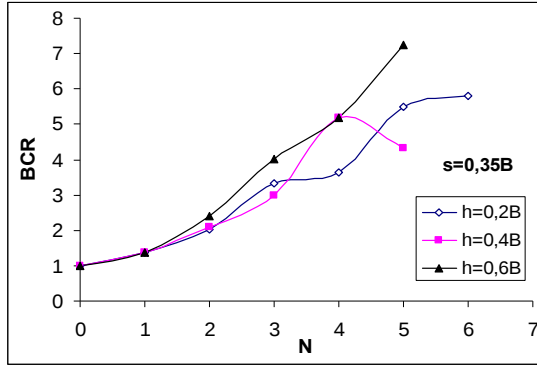
e



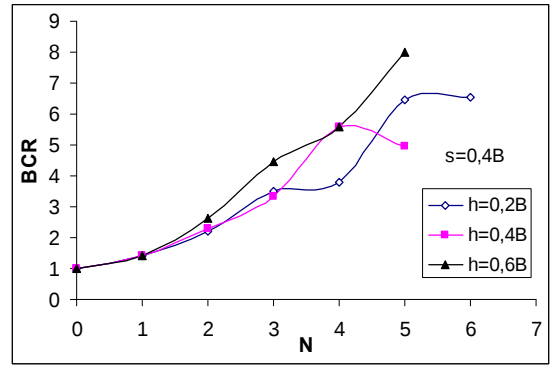
f

Şekil 4.19. Küçük oturma oranları için farklı donatı aralıklarında donatı sayısına göre taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$)

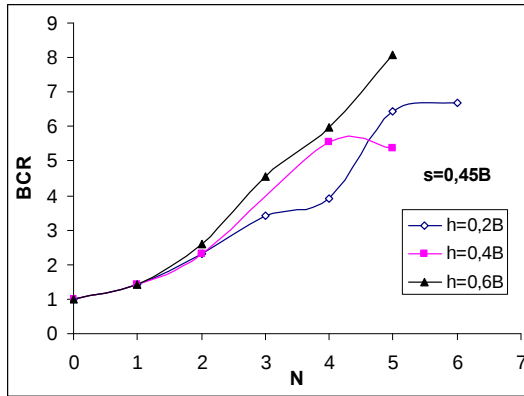
*a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



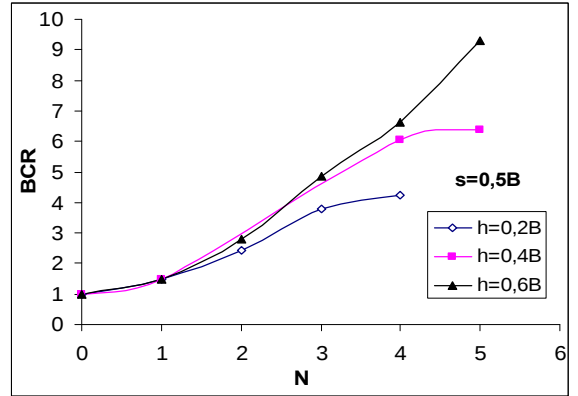
a



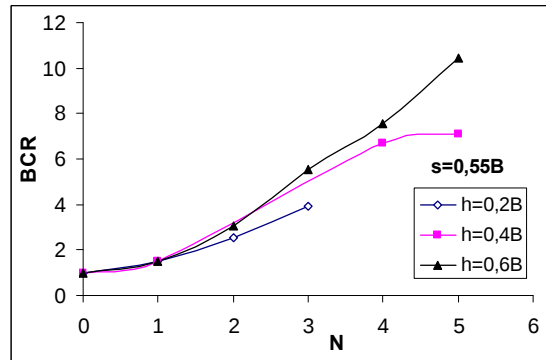
b



c



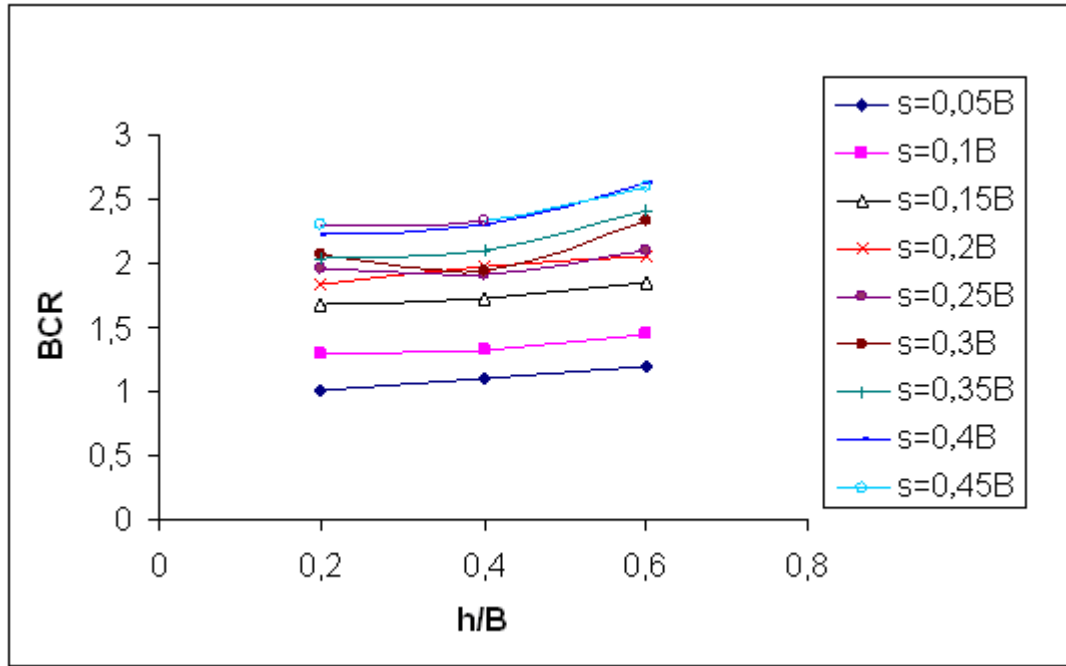
d



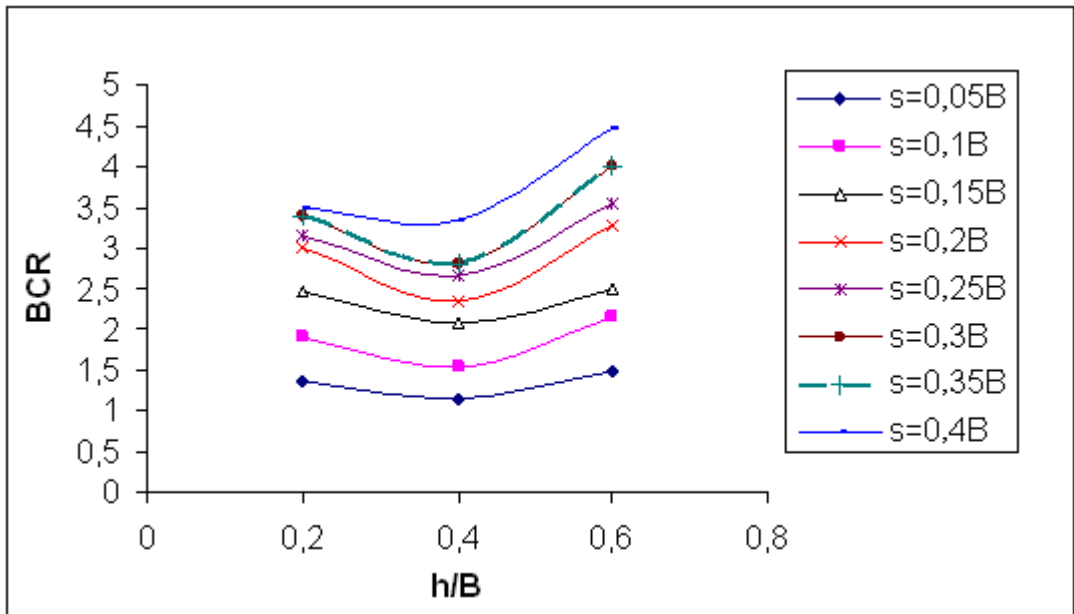
e

Şekil 4.20. Büyük oturma oranları için farklı donatı aralıklarında donatı sayısına göre taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$)

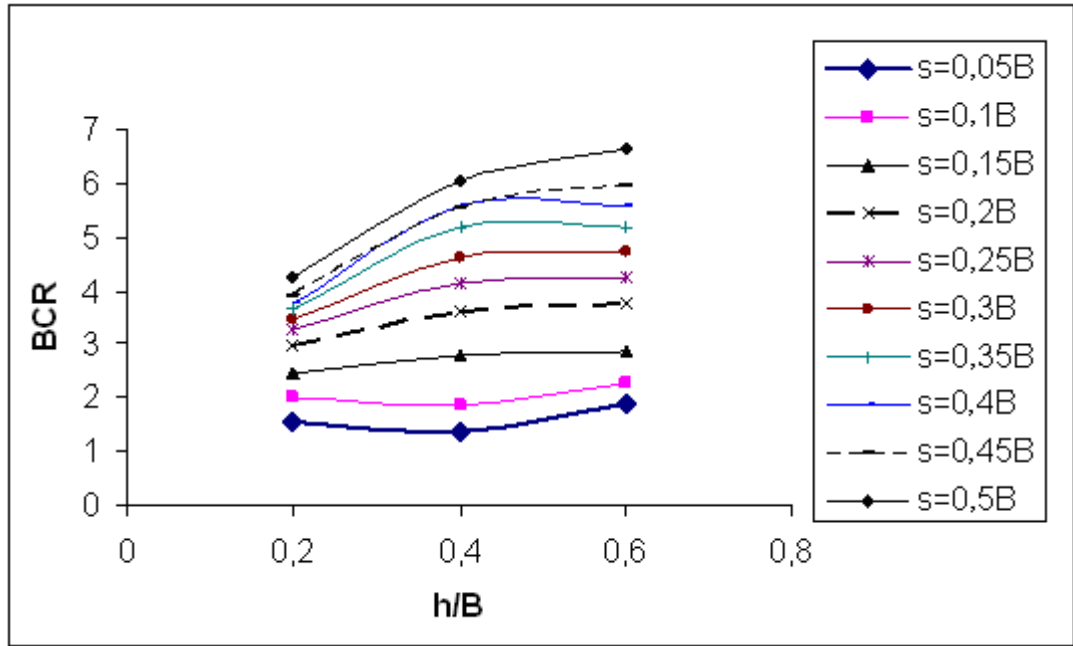
* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$



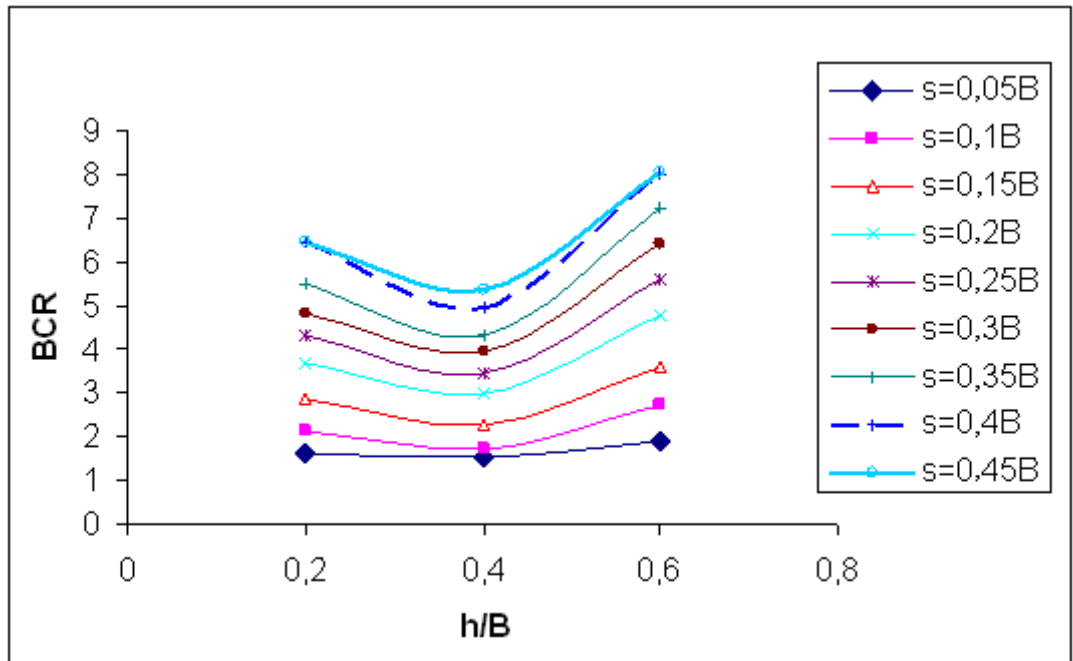
Şekil 4.21. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=2$)



Şekil 4.22. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)



Şekil 4.23. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=4$)



Şekil 4.24. Farklı donatı düşey aralık oranlarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)

- Küçük oturma oranlarında donatı düşey aralığının etkisi donatısız duruma göre fazla olmamıştır. Oturma oranları arttıkça donatı düşey aralığının taşıma kapasitesi davranışına etkisinin arttığı belirlenmiştir.
- Donatı sayısı arttıkça maksimum taşıma kapasitesi oranları da yükselmiş ve Ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğimi değişmiştir. Örneğin; donatılı tabaka sayısı $N=2$ iken oturma oranı $s/B=0,4$ için maksimum taşıma kapasitesi oranları $(BCR)_{\max}=2,6$; $N=3$ için $(BCR)_{\max}=4,5$; $N=4$ iken $(BCR)_{\max}=5,5$ ve $N=5$ olduğunda $(BCR)_{\max}=8$ 'dir.

Şekil 4.25-Şekil 4.27'de donatılı tabaka sayısı $N=4$ için farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde zeminde meydana gelen göçme yüzeyleri gösterilmiştir. Oturmaların daha net gözükmesi için sadece modelin üst kısmı gösterilmiştir. Kırmızı kalın şeritler zemin içinde meydana gelen oturmaya temsil etmektedir. Donatı düşey aralık oranı $h/B=0,2$ 'de, donatılı bölge altındaki donatısız zonda üçgen kamaya benzer bir oturma profili oluşmuştur. Geosentetik aralıkları az olduğu için donatılı zon bir blok gibi birlikte hareket etmiştir. Donatı düşey aralığı arttıkça oluşan oturmalar geniş çaplı bir yay şeklindedir. Yani temel kenarına doğru oluşan oturmaların düşeyle yaptığı açı azalmıştır. Ayrıca, $h/B=0,2$ için temel kenarlarındaki kumda oluşan kabarmaların bir miktar daha fazla olduğu görülmüştür.

h/B oranı büyüdükçe oturmalar kasa derinlerine aktarılmaya çalışılmıştır. Böylece üçgen kama daha derine inmiştir. Şekil 4.28'de $N=2$ donatı tabaka sayısında donatı düşey aralık oranı $h/B=0,6$ için oturma profili sunulmuştur. $N=2$ donatılı durum ile Şekil 4.27'de verilen $N=4$ donatılı sistem oturmaları karşılaştırıldığında; oturmaların daha üst kısımlarda oluştuğu ve yanlara daha az deformasyonların oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.25. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan oturma göçme yüzeyleri ($N=4$; $h/B=0,2$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)



Şekil 4.26. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme yüzeyleri ($N=4$; $h/B=0,4$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)



Şekil 4.27. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme davranışı ($N=4$; $h/B=0,6$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)

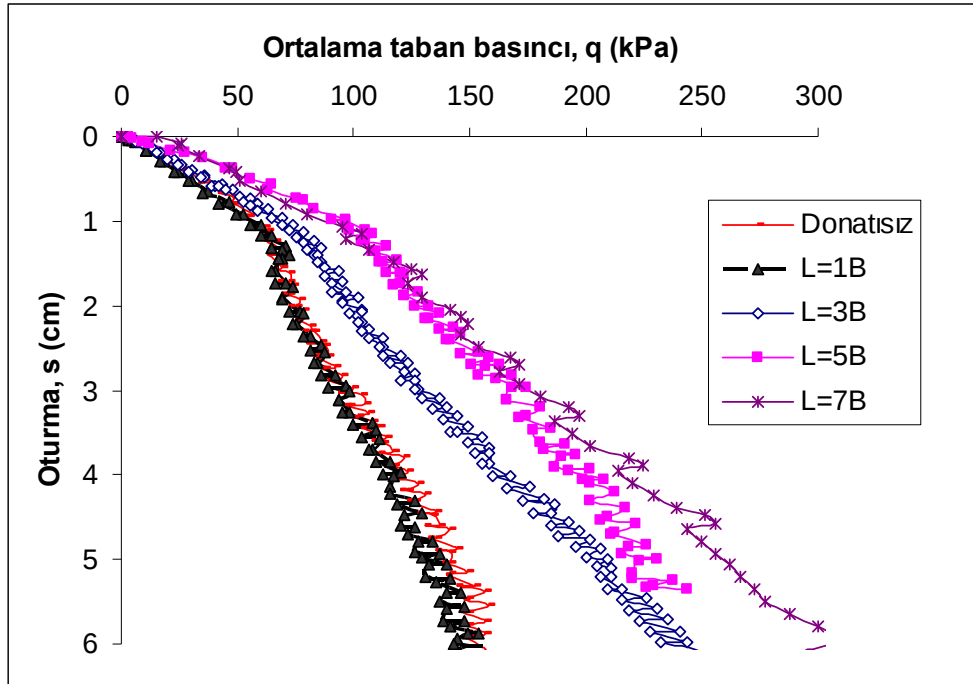


Şekil 4.28. Farklı donatı aralıklarında yapılan deneylerde oluşan göçme davranışı ($N=2$; $h/B=0,6$; $u/B=0,35$; $L/B=3$)

c. Donatı genişliği;

Geotekstil tabakası genişliğinin donatılı orta sıkı kum zemine oturan şerit temel in taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, tek tabaka ve çok tabaka donatılı kumlarda iki seri deney yapılmıştır. İkinci seri deney olan çok tabaka donatılı kumdaki testler; donatı tabaka sayısı $N=2$ ve 3 için iki ayrı grupta yürütülmüştür. Geotekstil donatı genişlik oranı $L/B=1, 3, 5$ ve 7 için test sonuçları aşağıdaki gibi incelenmiştir;

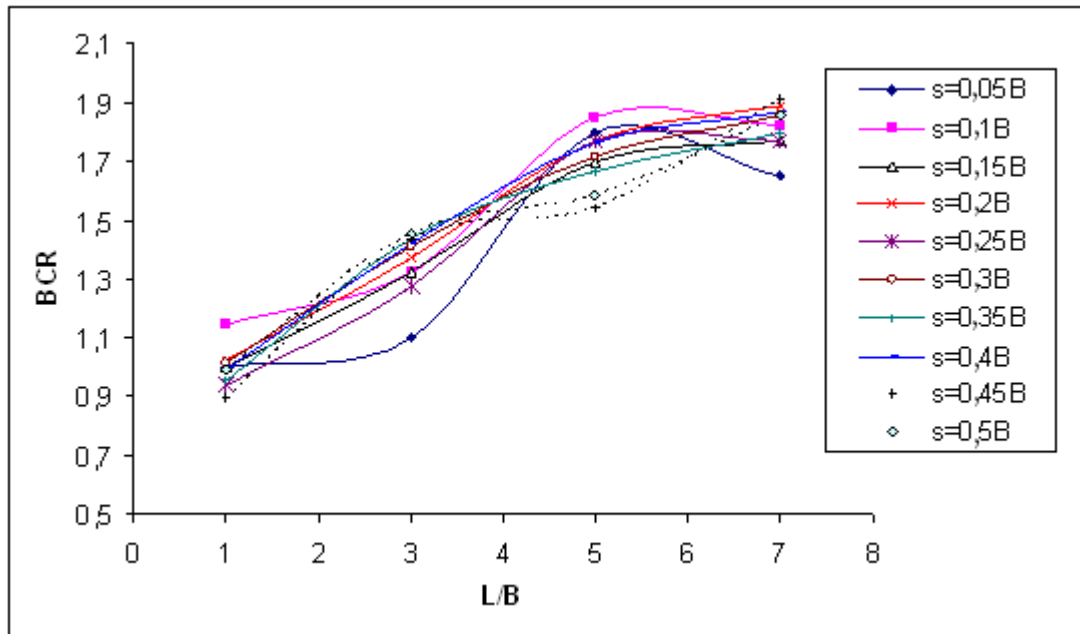
i. Tek donatı tabakası kullanılan deneyler: Tek tabakalı orta sıkı kumdaki deneyler; ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak, donatı genişliğinin dört farklı değerinde ($L=B, 3B, 5B, 7B$) yürütülmüştür. Şekil 4.29’da farklı donatı genişliklerinde tek donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temel için elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Temel plakasının farklı oturma aralıklarında taşıma kapasitesi oranının geotekstil genişlik oranları ile değişimi Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

Donatı genişliğinin parametre olarak seçildiği tek donatılı orta sıkı kumdaki deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Donatı genişliğinin temel genişliği ile aynı olduğu ($L=B$) deney sonucunda donatısız duruma benzer ortalama taban basıncı-oturma eğrisi elde edilmiştir.
- Oturma oranı $s/B=0,25$ 'e kadar olan ilk oturma değerlerinde optimum donatı genişlik oranının $(L/B)_{opt}=5$ olduğu görülmüştür. $(L/B)_{opt}=5$ 'te oturma oranı $s/B=0,1$ için taşıma kapasitesi oranının $BCR=1,85$ olduğu hesaplanmıştır.
- $5B$ donatı genişliğinden sonra geotekstil genişliğinin artırılması taşıma kapasitesini fazla etkilememiştir.

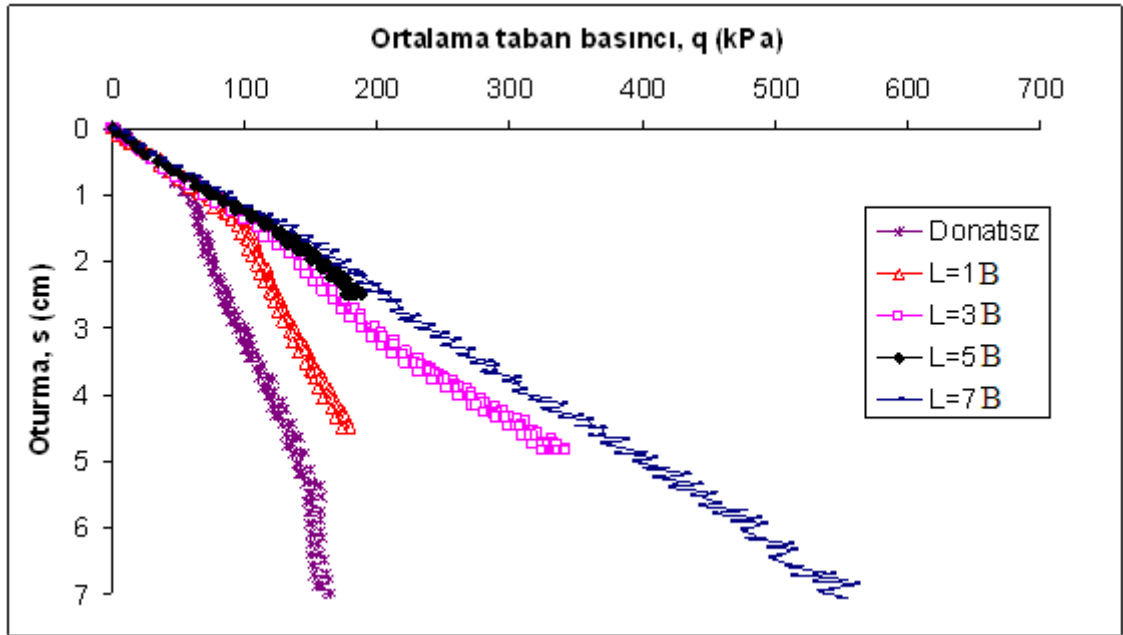


Şekil 4.30. Farklı donatı genişliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

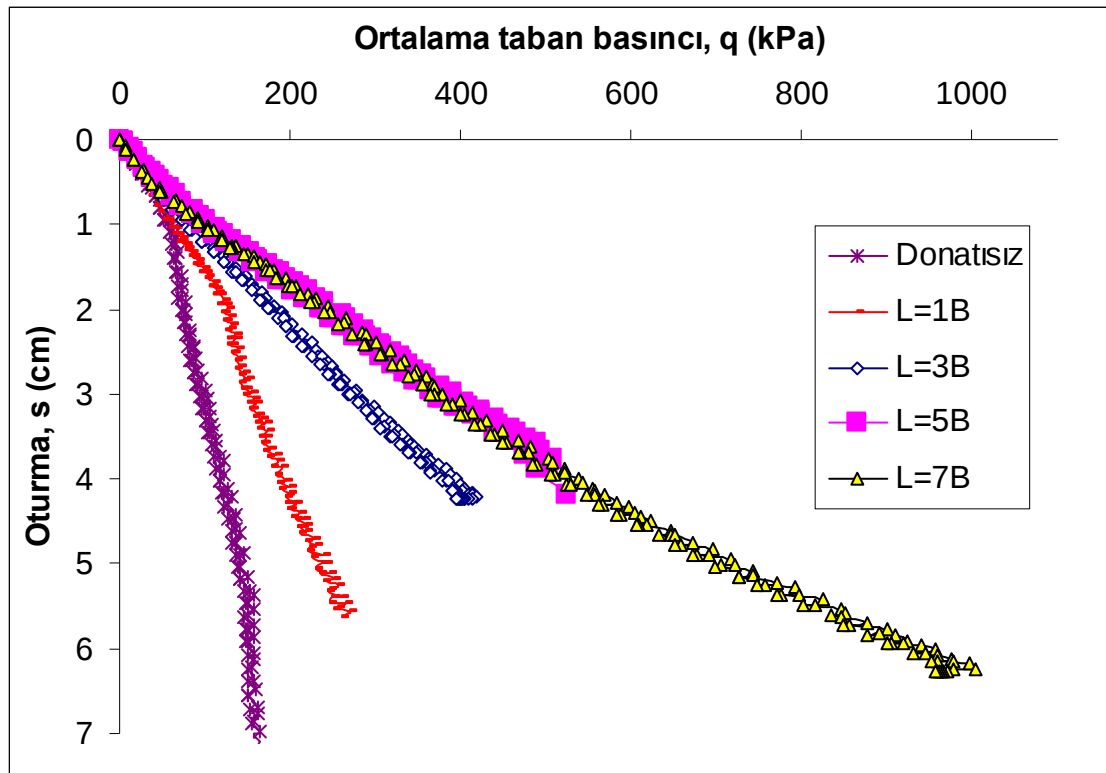
- Tek tabakalı sistemde donatı genişliğinin büyütülmesi taşıma kapasitesini yaklaşık 1,9 kat arttırabilmiştir. Oturma hızı azalırken BCR'nin artmaya devam ettiği belirlenmiştir.
- Tek donatılı deneylerde yaklaşık $s/B=0,15$ oturma oranında göçme yüzeyleri oluşmaya başlamış ve ilk kırılma noktası oluşmuştur.

ii. Çok donatı tabakası kullanılan deneyler: Çok tabaka donatılı orta sıkı kumda yapılan deneylerde; ilk donatı derinlik oranı ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı (h/B) sabit tutularak, $N=2$ ve 3 tabaka sayılarında yürütülmüştür. Donatı tabaka sayısının söz konusu değerlerinde farklı genişlik oranlarına ($L/B=1, 3, 5$ ve 7) karşılık gelen orta sıkı donatılı kumun Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri Şekil 4.31-Şekil 4.32’de verilmiştir. Deneylerden elde edilen verilerle oturma aralıklarının farklı değerlerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranı ile donatı genişliği ilişkisi Şekil 4.33 ile Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Çok tabaka donatılı orta sıkı kumda donatı genişliği sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

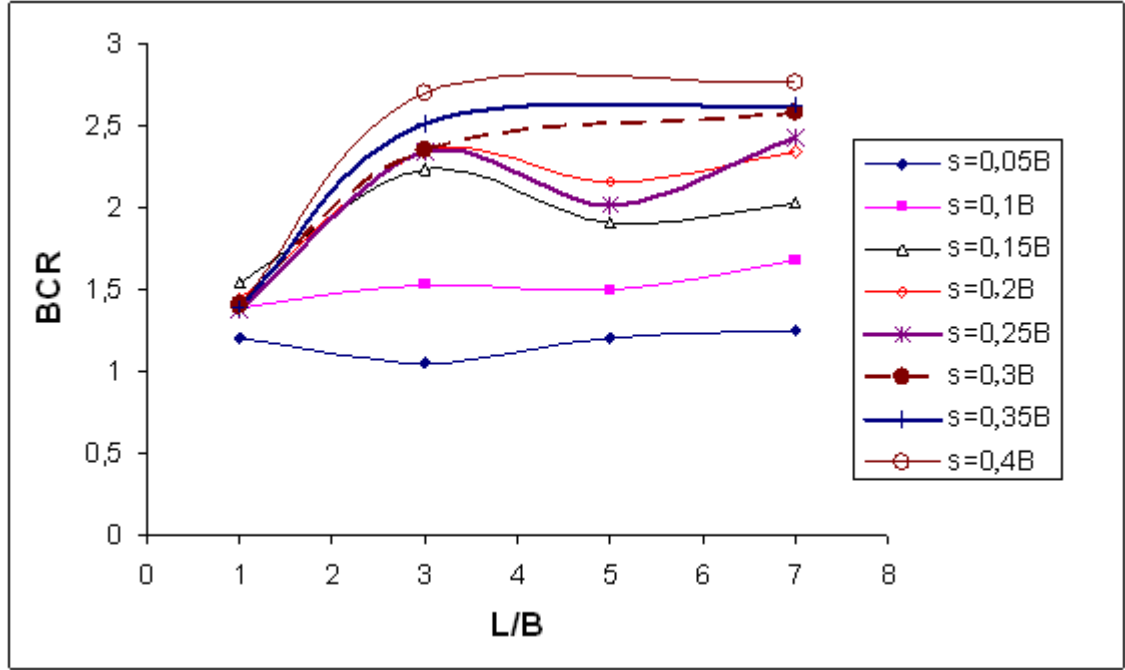
- Çok tabakalı orta sıkı kumlarda donatı genişliği arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- Donatı tabaka sayısı $N=2$ için donatı genişliğinin $L=3B$ değerinden daha fazla arttırılmasının, taşıma kapasitesini değiştirmedeği görülmüştür. Donatı tabaka sayısı $N=3$ için maksimum taşıma kapasitesi optimum donatı genişliğinde oluşmuştur. Bu değer $(L/B)_{opt}=5$ ’tir.
- Donatı tabaka sayısı $N=2$ iken donatı genişliğinin arttırılması taşıma kapasitesini maksimum yaklaşık 3 kat arttırmıştır. $N=4$ için ise BCR yaklaşık 4 kat artmıştır.
- Donatı sayısı $N=3$ iken Geotekstil genişliği $L=5B$ oluncaya kadar, taşıma kapasitesi oranı (BCR) donatı genişliği ile lineer artmıştır. $N=3$ donatı tabakasına sahip deneylerde geotekstil genişliğinin temel genişliğinin beş katından daha büyük seçilmesi taşıma kapasitesini fazla etkilememiştir. Bu durum tüm oturma oranlarında görülmüştür. Fakat temelin yapmış olduğu oturma miktarı arttıkça geotekstil genişliği taşıma kapasitesini daha fazla etkilemiştir. Taşıma kapasitesi-donatı genişliği ilişkisini gösteren eğim dikleşmiştir.
- Temel plakasının yapmış olduğu oturma miktarı arttıkça sistemin taşıma kapasitesi oranı da artmıştır. Mesela; ilk oturma oranı $s/B=0,05$ ’de $BCR=1,5$ iken, $s/B=0,15$ için yaklaşık $BCR=2,5$; $s/B=0,4$ için ise yaklaşık $BCR=4,5$ ’dir.
- Ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin $N=3$ olduğunda donatı genişliğinin $L=3B$ değerine kadar lineer davranmıştır. $L=5B$ ve $7B$ için eğrinin eğimi değişmiş ve artan yük ile meydana gelen oturma farkları daha az oluşmuştur.



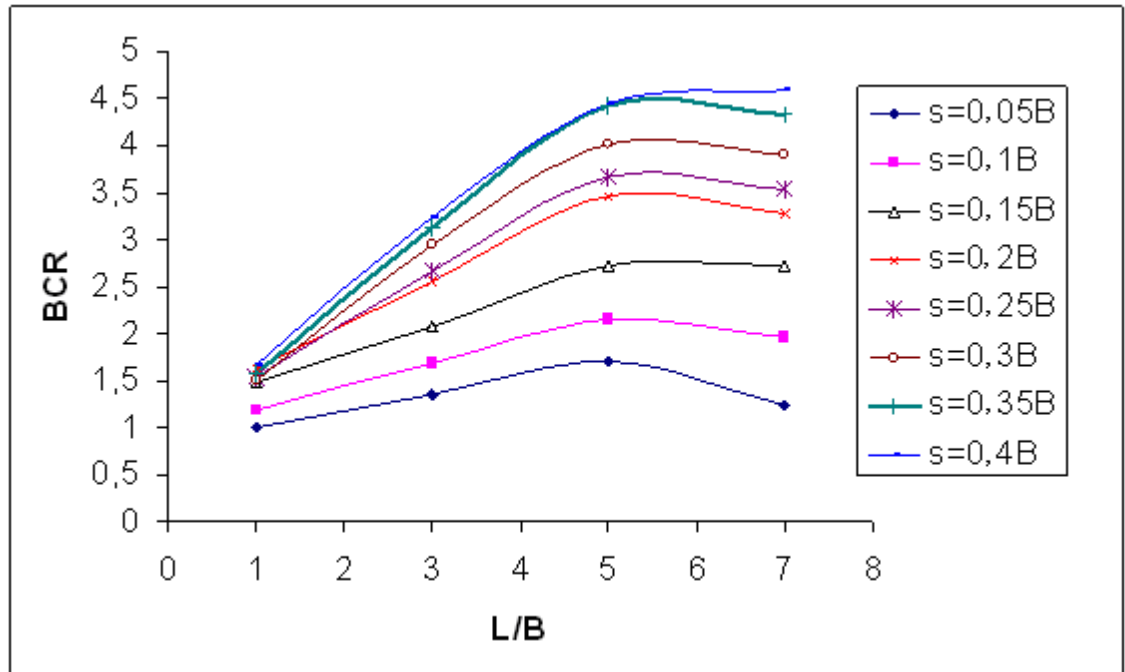
Şekil 4.31. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.32. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

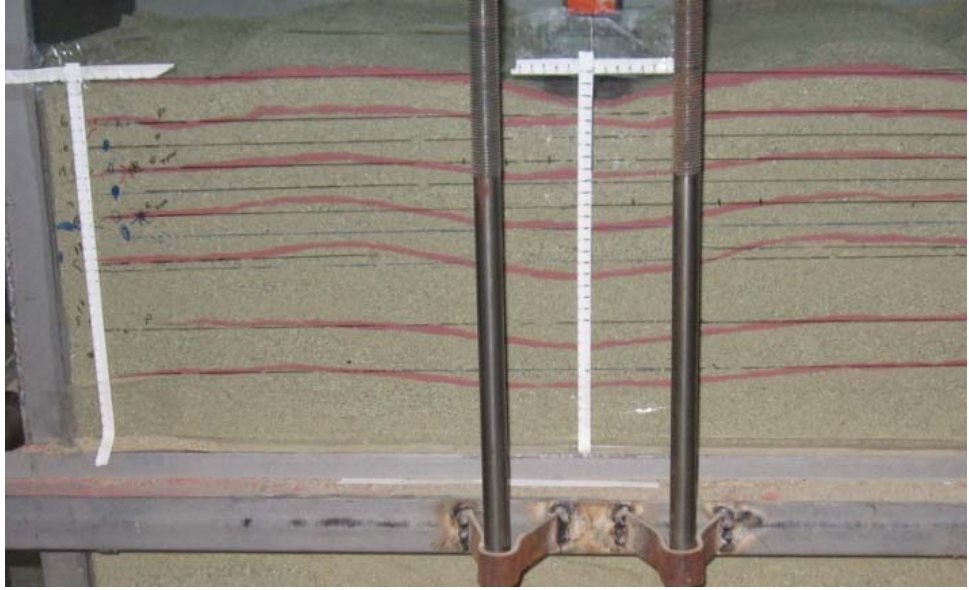


Şekil 4.33. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.34. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Aşağıdaki Şekil 4.35’de donatı tabaka sayısı $N=3$ olduğunda donatı genişliği temel genişliğinin yedi katı ($L=7B$) seçildiğinde yapılan deneyde meydana gelen oturmalar, kırmızı şeritler ile temsil edilmektedir. Donatı etkisinin daha net gözükmesi için sistemin yarısının fotoğrafı gösterilmiştir. Şekil 4.35 daha önceki bölümlerde verilen donatısız ve donatı genişliği daha küçük olan sistemlerin davranışı ile karşılaştırıldığında; donatı genişliğinin arttıkça yukardan gelen yükün etkisiyle oluşacak deformasyonların yataya ve daha derine aktarıldığı görülmüştür. Donatı uzunluğunun artması ile geosentetiğin yükü dağıtıp, düşeyde olan oturmaları azaltarak yatay yönlere ittiği aktardığı gözlenmiştir. Temel plakası zemin içine gömüldüğünde temel yanında donatı genişliği uzunluğunda kum kabarmaları oluşmuştur.



Şekil 4.35. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=7$, $h/B=0,4$; $N=3$)

d. Donatı tabaka sayısı;

Geosentetik donatılı zemin üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesi ile donatı tabaka sayısı (N) arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla dokuz seri deney yürütülmüştür. Her seri deneyde en az üç, en fazla altı farklı test yapılarak sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır. İlk dört seride donatı genişliğinin farklı dört değerinde ($L/B=1, 3, 5, 7$)

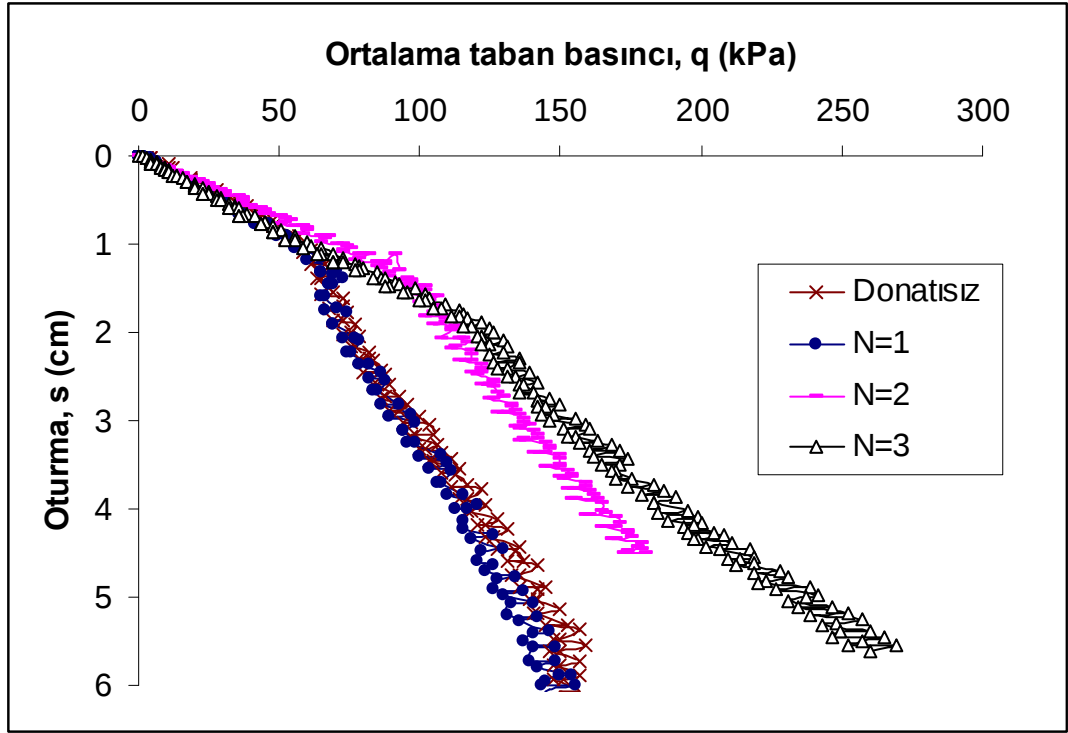
donatı sayısı (N) incelenmiştir. Beşinci ve altıncı serilerde donatı düşey aralıklarının değişik değerlerinde ($h/B=0,2; 0,6$) araştırma yapılmıştır. Yedi, sekiz ve dokuzuncu seride ise donatı derinlikleri değiştirilerek donatı sayısının etkisi incelenmiştir.

Seriler ilk olarak kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Bölüm sonunda ise genel bir değerlendirme yapılmıştır. Aşağıda donatılı tabaka sayısının taşıma gücüne etkisinin incelendiği deney sonuçları sunulmuştur;

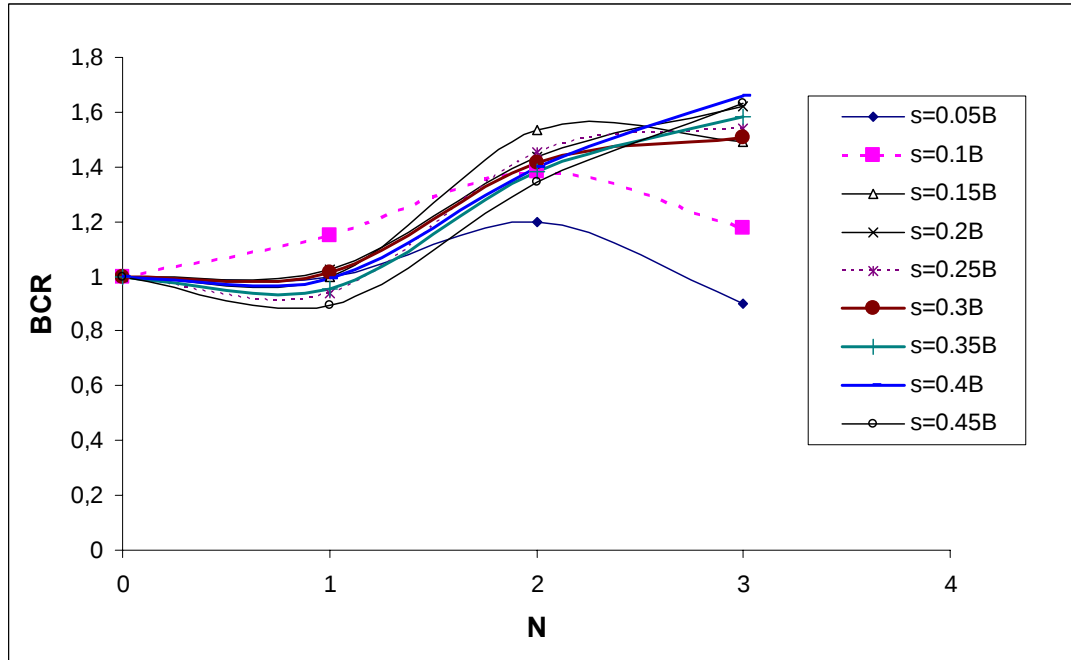
i. $L=B$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Geotekstil genişliğinin temel boyutu ile aynı olduğu ($L=B$) modellerde taşıma kapasitesine donatı sayısının etkisi incelenmiştir. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit tutularak, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.36'da elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.37'de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. İlk seri deney sonuçlarının verilerini içeren söz konusu Şekiller incelenerek yapılan değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Tek donatı kullanılması, donatısız zeminde oluşan yük-oturma davranışına benzer bir durum sergilemiştir. Taşıma kapasitesinde farklı bir artış gözlenmemiştir.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum bir donatı tabaka sayısı gözlenmiştir ve bu değer $N_{opt}=2$ 'dir.
- Oturma oranı $s/B=0,15$ için optimum donatı tabaka sayısı $N_{opt}=2$ 'de taşıma kapasitesi donatısız duruma göre 1,5 kat artmıştır.
- Oturma oranı büyüdükçe ($s/B>0,2$) optimum bir donatı sayısı oluşmamış ve donatı tabaka sayısı arttıkça BCR değeri yükselmiştir.
- Tek donatı kullanıldığında ($N=1$) oturma oranı $s/B=0,1$ 'de zemin kırılmaya başlamıştır. Donatı tabaka sayısı $N=2$ olduğunda yaklaşık $s/B\approx 1,5$ 'da; $N=3$ iken $s/B\approx 2$ 'de donatılı orta sıkı kum zemin göçmeye başlamıştır. Donatı sayısı arttıkça zemin göçmesi daha büyük oturma oranlarında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.36. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)



Şekil 4.37. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)

Aşağıdaki Şekil 4.38’de donatı tabaka sayısı $N=3$, geotekstil uzunluğu temel genişliğine eşit ($L=B$), donatı aralığı $h=0,4B$ ve derinliği $u=0,35B$ olan zemin modelinde meydana gelen oturma şekilleri gözükmemektedir. Oturmaların daha net gözükmesi için sistemin üst yarı fotoğrafı gösterilmiştir. Şekilde kalın açık mavi şeritler oturmaları temsil etmektedir. Kısa donatılı zeminde yatay deformasyonların temel genişliğinin maksimum 2,5 katı genişliğini ($0,25B$) etkilediği görülmüştür (Şekil 4.38.a). Kısa geosentetik donatılı orta sıkı kumda göçmede temel kenarındaki kumda kabarma meydana gelmemiştir (Şekil 4.38.b). Oturma genişlikleri çoğunlukla temel genişliği ile aynı mesafede oluşmuştur.



a



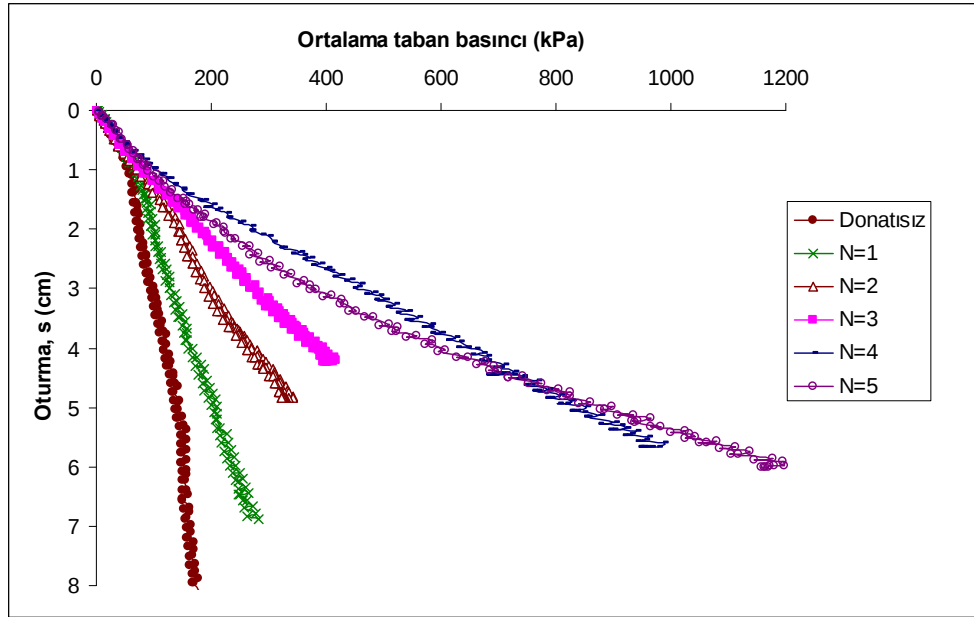
b

Şekil 4.38. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranış (u/B=0,35; h/B=0,4; L/B=1, N=3), a. Yanal değişimin ölçülmesi, b. Genel görünüm

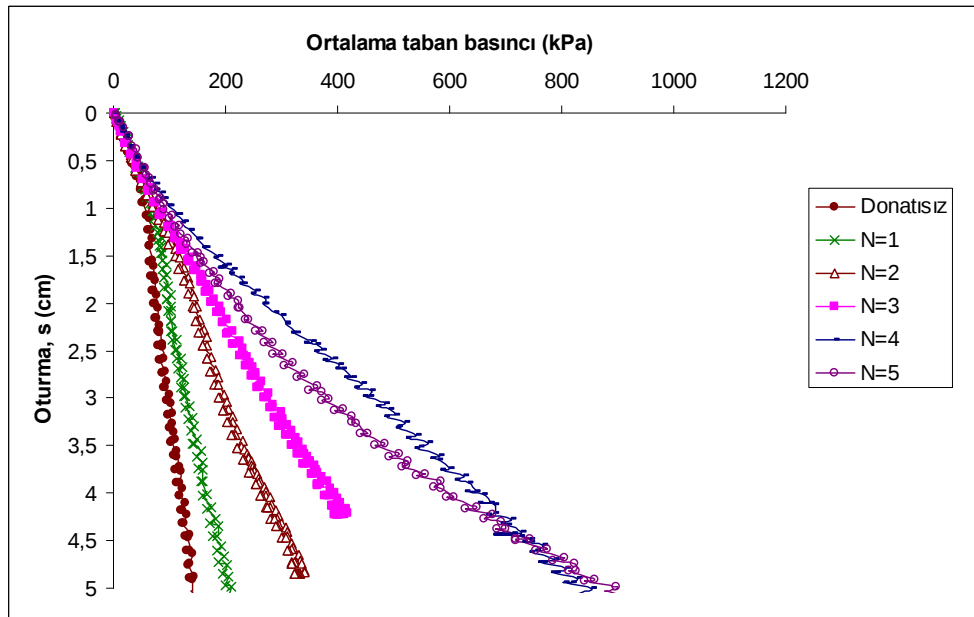
ii. $L=3B$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Bu seride; geotekstil genişliğinin $L=3B$ değerinde donatı sayısının taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2, 3, 4$ ve 5 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.39'da Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.40'da taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. İlk seri deney sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Tek donatılı kumda ilk oturma oranlarında ($s/B=0,05$ ve $0,1$) hesaplanan taşıma kapasitesi değerleri donatısız zemin ile yaklaşık aynı çıkmıştır. $s/B=0,15$ için taşıma gücü donatısız zeminden $1,43$ kat fazladır. Donatı sayısı arttıkça bu oran da büyümüştür.
- Maksimum taşıma kapasitesi optimum donatı tabaka sayısı $N_{opt}=4$ 'de oluşmuştur.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ ile birlikte ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğimi değişmiştir. $N>3$ olduğunda eğim daha fazla değişmiş ve yük artışı ile oluşan oturma farkları daha az meydana gelmeye başlamıştır. Yani zemin daha az oturma yaparak çok daha büyük yükleri göçmeden taşıyabilmiştir.
- Donatı tabaka sayısı $N=5$ olduğunda ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin eğimi tamamen değişmiştir. Donatı sayısının artması ile belli bir eğimi oluşturabilmek için oturma oranı $s/B=0,4$ 'e kadar donatı sayısı $N=4$ 'ten daha az taşıma gücü alıyor gibi davranmıştır. $s/B=0,45$ değerinden sonra ise taşıma kapasitesi en fazla olan model olmuştur.
- Donatı genişliği üç katına çıkınca ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin davranışı da değişmiştir. Zeminin kırılmaya başladığı yük değeri belirsizleşmiştir.
- $N=3$ değerine kadar taşıma kapasitesi artışları lineer olmuş ve $N=4$ değerinde ani bir yükseliş meydana gelmiştir.



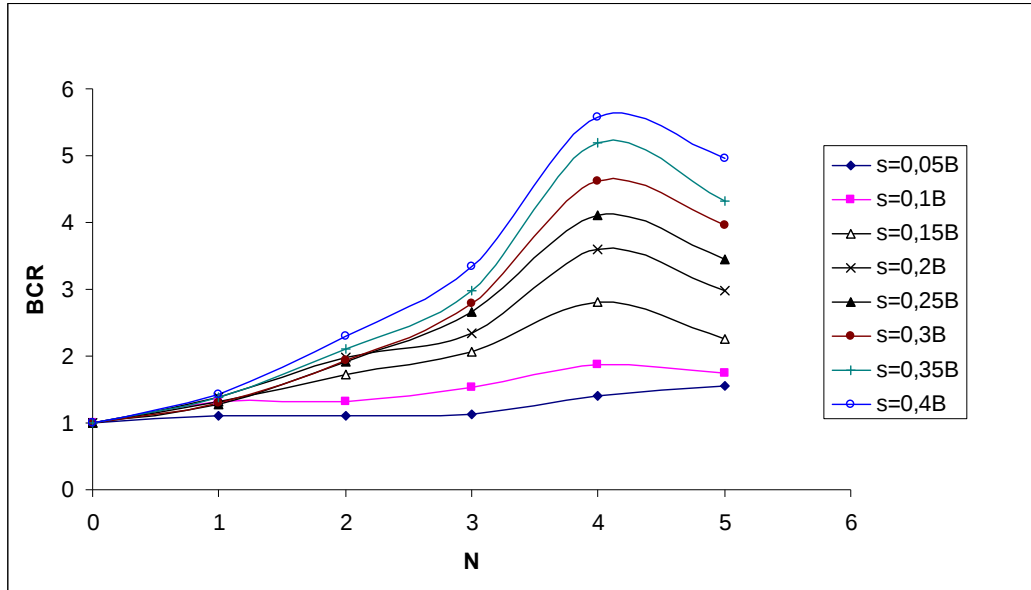
a



b

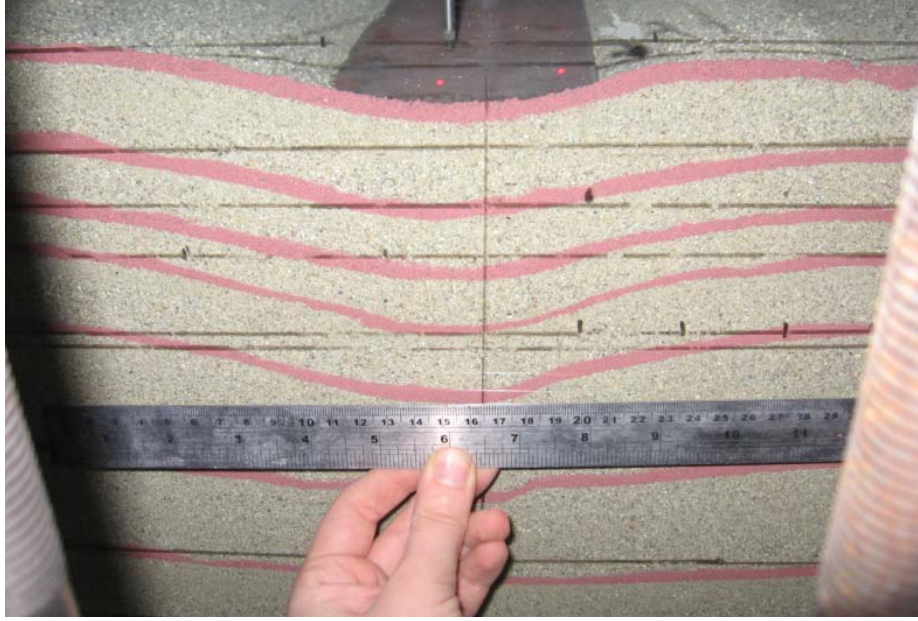
Şekil 4.39. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

*a. $s/B=0,8$; b. $s/B=0,5$ 'e kadar olan sonuçlar



Şekil 4.40. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 donatılı tabaka sayısı $N=2$ ve 4 için yapılan donatılı deneylerde oluşan oturma profillerini göstermektedir. Donatı sayısı arttıkça yataya aktarılan yük artmış ve bunun neticesinde temel plakasının kenarlarındaki donatılı kumda oluşan oturma miktarı fazlalaşmıştır. Donatı sayısının ve genişliğinin artması orta sıkı kumun oturma şeklini değiştirmiş ve oturmalar daha geniş bir alana yayılmıştır. $L=B$ genişlikli oturma yüzeylerine nispeten oturma yüzeylerinin şekli farklılık göstermiştir. Oturma yüzeyinin düşeyle yaptığı açı azalmıştır. Geotekstil sayısı arttıkça; zemin daha fazla yük taşıyabilmiş ve göçmeye yaklaştıkça düşeydeki oturmaları daha derinlere aktarılmıştır.



Şekil 4.41. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$, $N=2$)



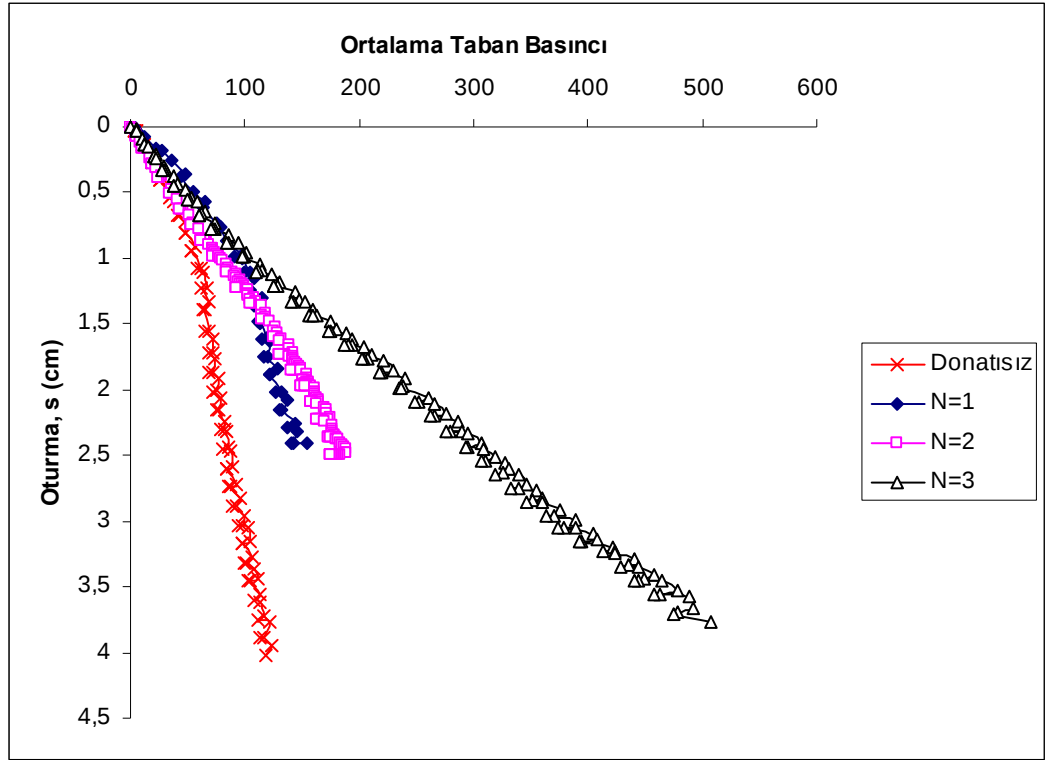
Şekil 4.42. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$, $N=4$)

iii. $L=5B$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

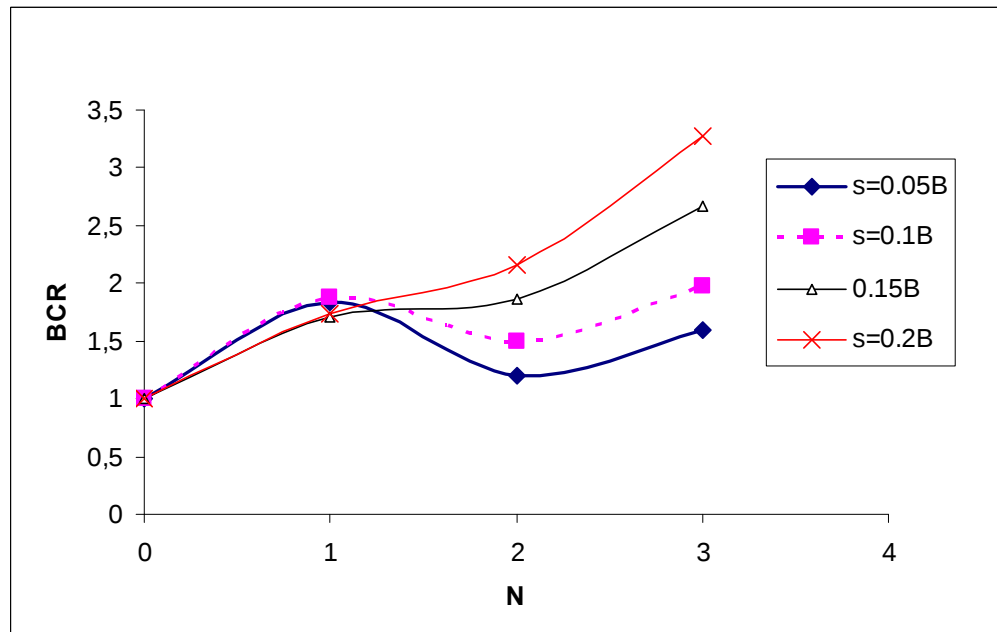
Donatı genişliğinin temel boyutunun beş katı değerinde ($L=5B$) donatı sayısının taşıma gücüne etkileri incelenmiştir. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmış, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.43'te Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.44'de taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Oturma oranı $s/B=0,5$ ve $0,1$ için maksimum BCR tek donatılı durumda oluşmuştur.
- $s/B=0,15$ 'ten itibaren donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- Ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde, oturma oranı $s/B=0,15$ 'ten sonra donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de artmıştır.
- $N=3$ değerinde ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin yönü değişmeye başlamıştır.
- $N=1$ iken maksimum taşıma kapasitesi oranı $BCR=1,87$ olurken, $N=3$ için $BCR=3,3$ değerine yükselmiştir.

Şekil 4.45'de donatılı tabaka sayısı $N=1$ için yapılan deney sonucunda oluşan oturma gösterilmektedir. Donatılı zeminin genel kayma göçmesi modundaki gibi temel kenarlarında kabarma yaparak kırıldığı görülmüştür. Yük arttıkça temel kenarında oluşan kabarma miktarı da artmıştır. Bu kabarmaların donatı genişliği ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu deneyde zemin tabakaları arasına boyalı kum serilmediğinden diğer detaylar incelenememiştir.



Şekil 4.43. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$)



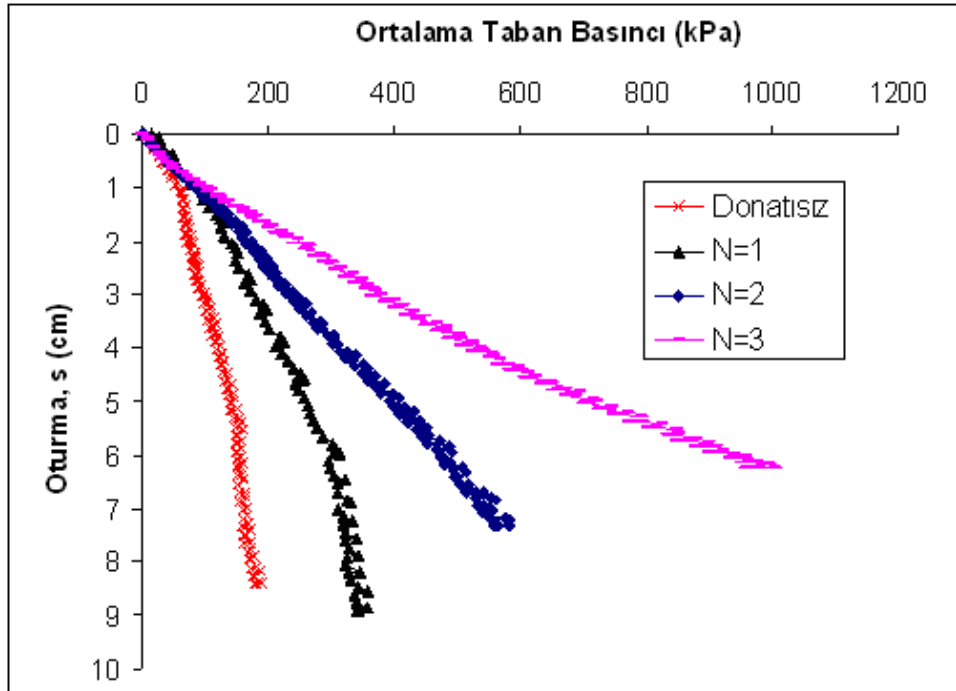
Şekil 4.44. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$)



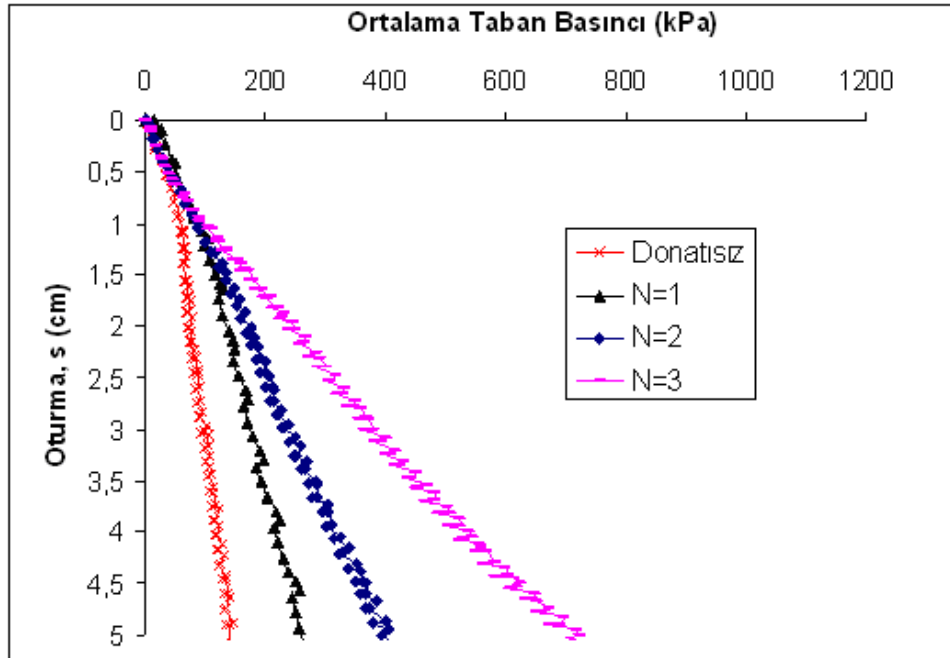
Şekil 4.45. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=5$, $N=1$)

iv. $L=7B$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Donatı genişliği temelin yedi katında değerinde ($L=7$) alınarak, donatı sayısının taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmış, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.46’da ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.47’de taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;



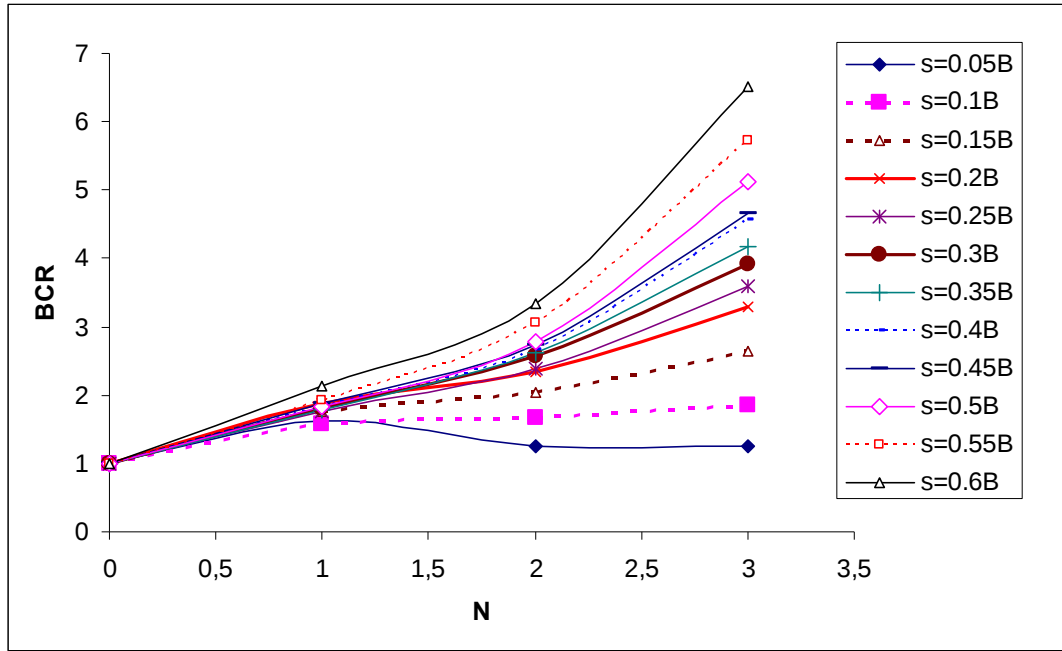
a



b

Şekil 4.46. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=7$)

* a. $s/B=0,9$; b. $s/B=0,5$ 'e kadar olan sonuçlar



Şekil 4.47. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=7$; $h/B=0,4$)

- Donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi değerleri de büyümüştür. Örneğin; $N=1$ iken taşıma kapasitesi donatısız durumun 2 katı olurken, $N=3$ için $BCR=6,5$ değerine ulaşmıştır.
- Oturma oranı arttıkça taşıma gücü oranı da büyümüştür.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ ile birlikte ortalama taban basıncı-oturma ilişkisinde daha fazla yükte daha az miktarda oturma gerçekleşmiştir. $s/B>0,2$ oturma oranı için donatı sayısı $N=3$ ile $N=2$ arasındaki taşıma kapasitesi farkı, $N=2$ ile $N=1$ donatılı durumun BCR 'leri arasındaki farka nazaran yaklaşık 2 kat daha fazladır.
- Kısa donatılı modellere nazaran geotekstil donatı uzunluğunun artması taşıma gücünü daha büyük ölçüde etkilemiştir.

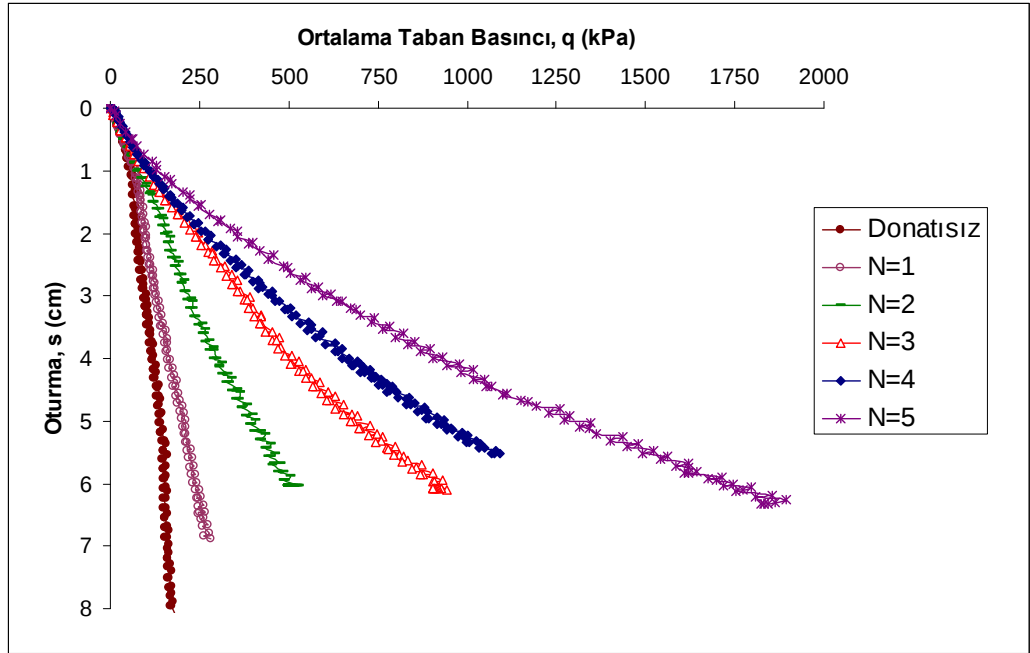
v. $h=0,6B$ donatı düşey aralıklı sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Donatılar arasındaki düşey aralığı $h/B=0,6$ değerlerinde alınarak donatı sayısının sistemin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L/B=3$) sabit alınmış, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2, 3, 4$ ve 5 için testler

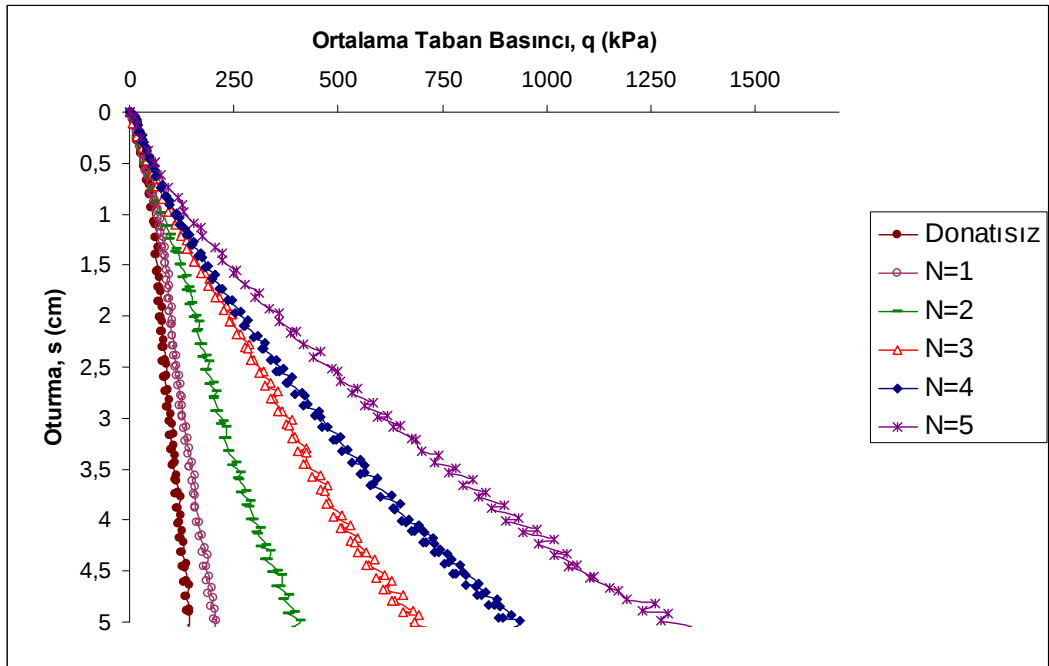
yürütülmüştür. Şekil 4.48’de Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.49’da taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatılı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesinde yaklaşık lineer bir büyüme olmuştur.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ ’ten itibaren ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğim karakteri değişmiştir. Yani daha büyük yükler, düşük oturmalar yapılarak taşınmıştır.
- Donatılı tabaka sayısı $N=1$ iken küçük oturma oranlarının $s/B=0,05$ ve $0,1$ değerlerinde taşıma kapasitesi donatısız test sonucundan çok farklı çıkmamıştır. Donatı sayısı arttıkça taşıma gücü miktarları aralarındaki fark büyümüştür.
- Oturma oranı arttıkça BCR değeri de artmıştır. Örneğin; donatılı tabaka sayısı $N=5$ olan deneyi de $s/B=0,15$ için $BCR=3,6$ ve $s/B=0,55$ iken $BCR=10,5$ ’dur.

Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de donatılı tabaka sayısı $N=2$ ve 4 için yapılan deneylerde oluşan oturma profilleri gösterilmektedir. Oturma yatay yüzey genişliği $N=2$ ’de temel genişliğinin $3,3$ katı, $N=4$ ’te 4 katı olmuştur. Temel plakası kenarlarında kum kabarmaları meydana gelmiştir. Donatı sayısı arttıkça orta sıkı kum zeminde meydana gelen oturmalar derine ve yanlara aktarılmıştır. Donatılı orta sıkı zeminin oturma profili Jumikis (1969) donatısız çok sıkı kumda yaptığı oturma davranışına benzediği görülmüştür.



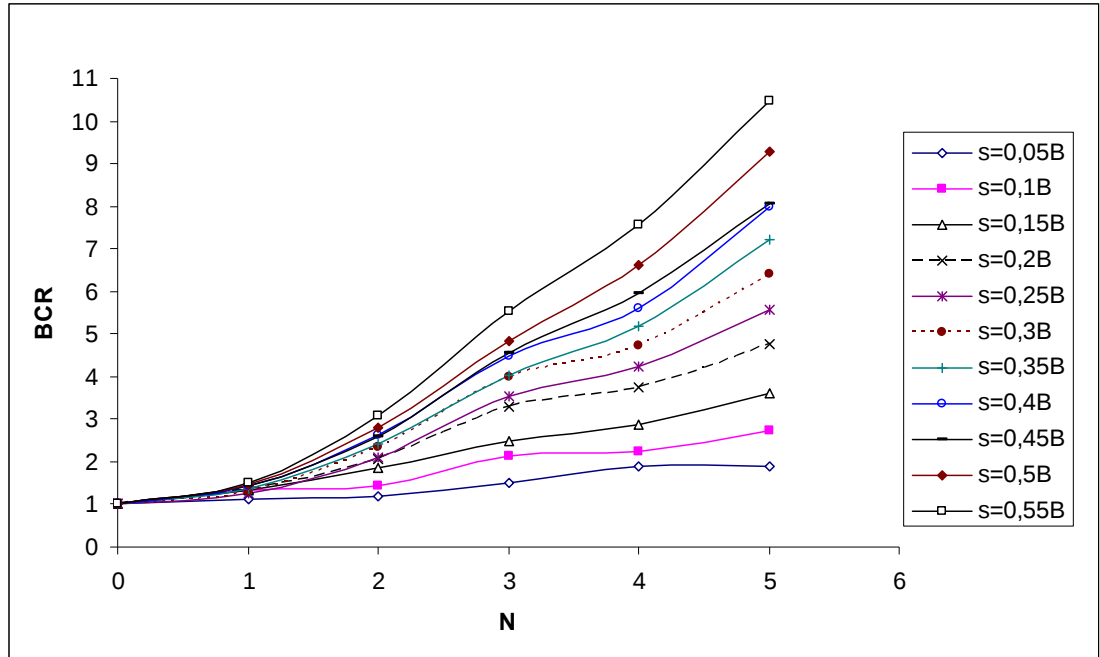
a



b

Şekil 4.48. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$)

*a. $s/B=0,8$; b. $s/B=0,5$ 'e kadar olan sonuçlar



Şekil 4.49. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)



Şekil 4.50. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$, $N=2$)

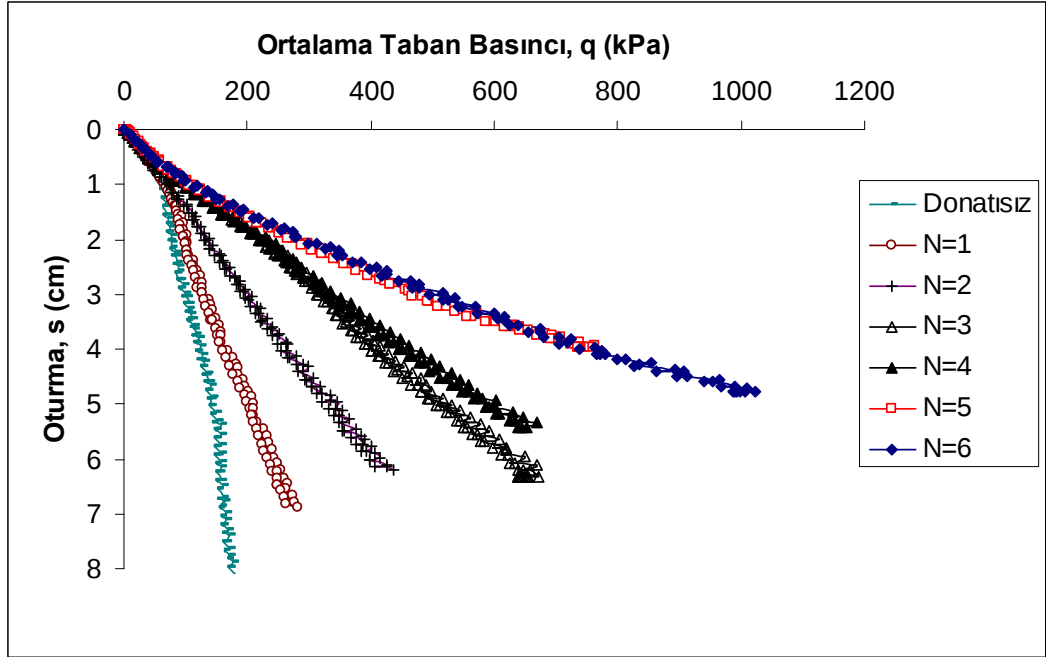


Şekil 4.51. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$, $N=4$)

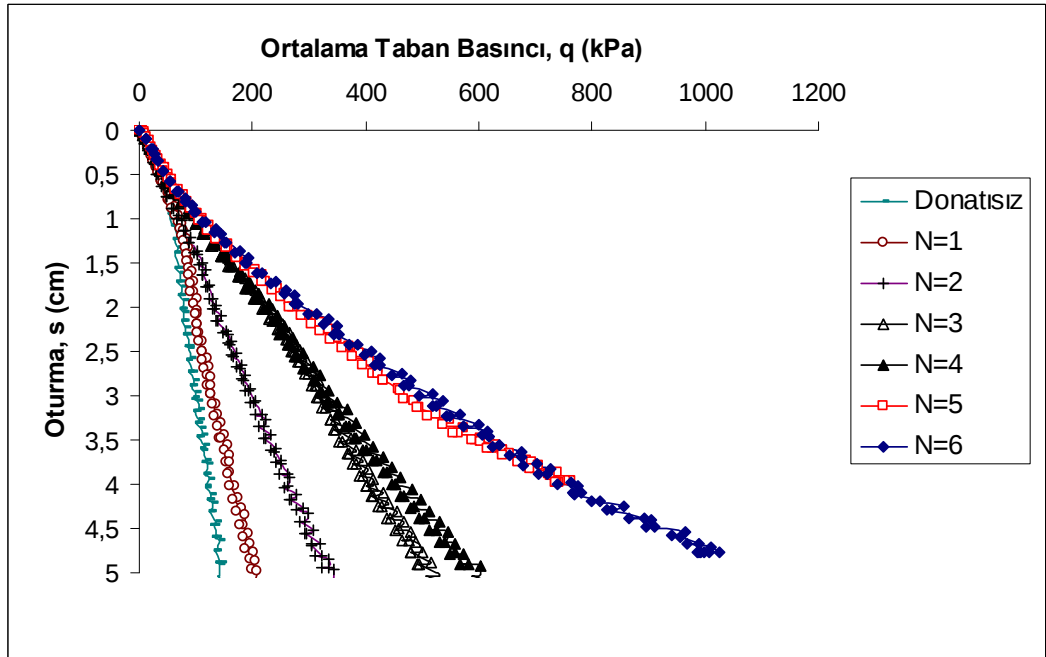
vi. $h=0,2B$ donatılı düşey aralıklı sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Donatı aralığının $h/B=0,2$ değerlerinde donatı sayısının etkisi incelenmiştir. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L/B=3$) sabit alınarak, donatı tabaka sayısı $N=1, 2, 3, 4, 5$ ve 6 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.52’de Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.53’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür. $N=5$ ve 6 olan deneyler birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.
- $N=3$ ve $N=4$ donatılı tabaka sayısına sahip deneyler, oturma oranının $s/B=0,35$ değerine kadar benzer yük-oturma davranışı sergilemiştir. Oturma miktarı arttıkça ($s/B>0,35$) $N=4$ donatılı sistemin taşıma kapasitesi $N=3$ ’e nazaran artmıştır.
- $N=4$ ’ten itibaren ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğim yönü değişmiştir. Yani sistemde, küçük oturma miktarları meydana gelmiş ve büyük yükler taşınabilmiştir.



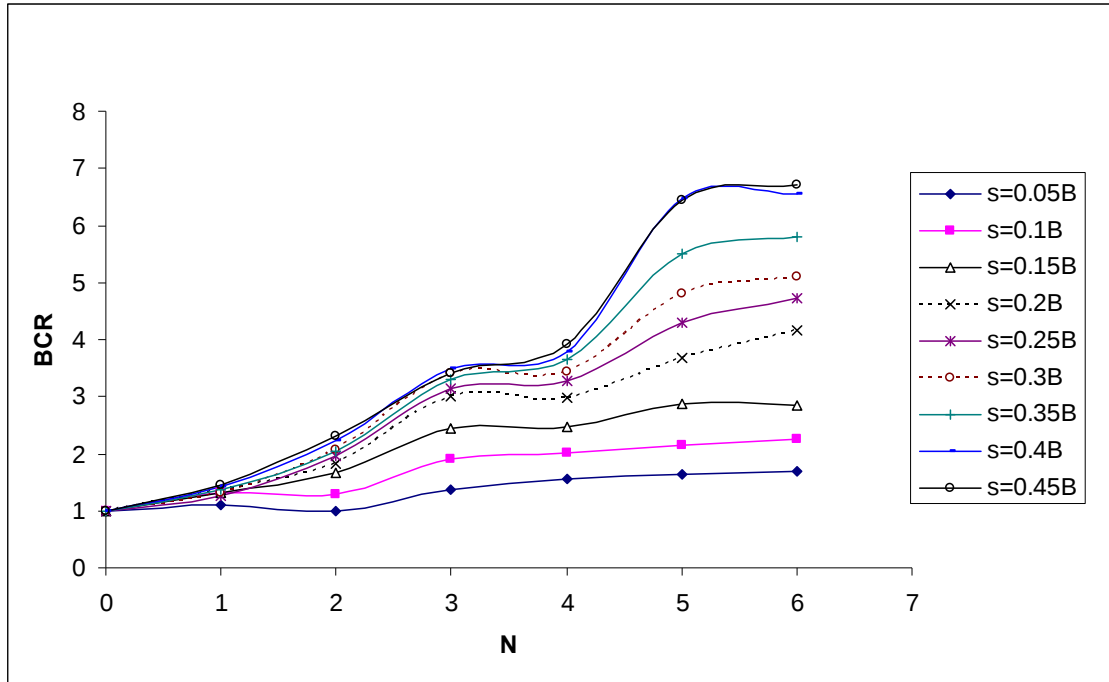
a



b

Şekil 4.52. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$)

* a. $s/B=0,8$; b. $s/B=0,5$ 'e kadar olan sonuçlar



Şekil 4.53. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)

- Donatı tabaka sayısı $N=3$ ve 5 olan testlerde, diğerlerinden farklı olarak taşıma kapasitesi oranında daha fazla artış farkı oluşmuştur. Örneğin; oturma oranı $s/B=0,45$ için $N=3$ iken $BCR=3,4$; $N=5$ olduğunda ise maksimum $BCR=6,45$ değerini almıştır.
- Donatı aralığı arttıkça donatı tabaka sayısı-taşıma kapasitesi oranı eğrilerinin davranışı değişmiştir. Örneğin; donatı düşey aralığı $h/B=0,2$ iken $N=3$ ve $N=5$ donatı sayılarında büyük artışlar meydana gelmiştir. $h/B=0,4$ için $N=4$ 'de maksimum artış yaşanmıştır. $h/B=0,6$ 'da ise donatı sayısı taşıma kapasitesi oranı ile lineer davranmıştır. Kısacası, donatı aralığı arttıkça taşıma kapasitesi donatı tabaka sayısı ile lineer bir artış gösterme eğilimine girmiştir.

Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'de donatılı tabaka sayısı $N=2$ ve 4 için yapılan deney sonucunda oluşan oturmalar görülmektedir. Donatı sayısının artması ile oturma daha geniş bölgeye yani temel altı yanlarında ve kasanın derinlerinde de oluşmuştur. Yük aşağıdaki donatısız bölgeye aktarmıştır. Temel kenarında kabarmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.54. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$, $N=2$)

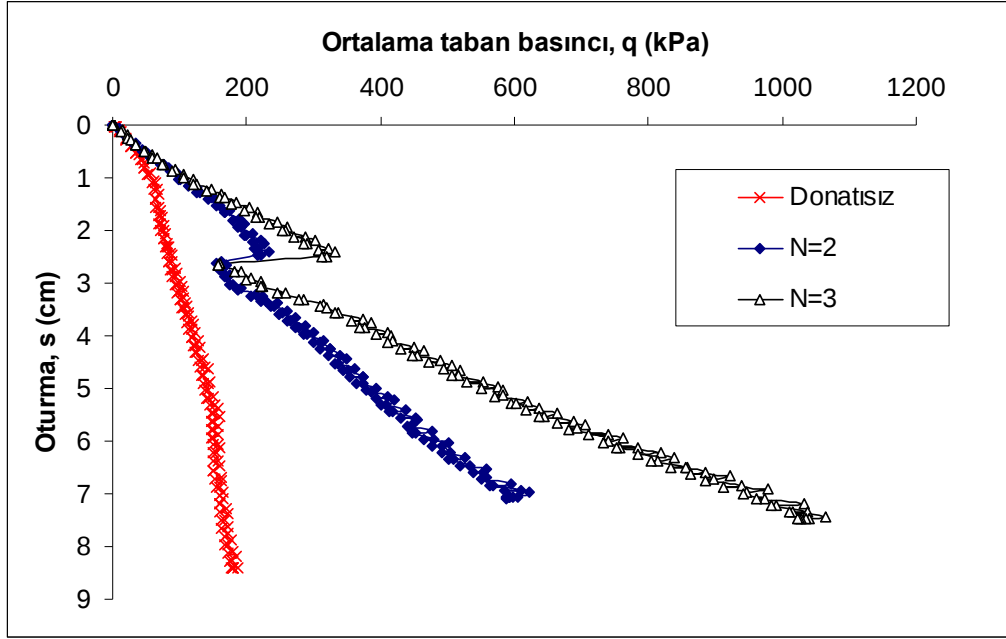


Şekil 4.55. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$, $N=4$)

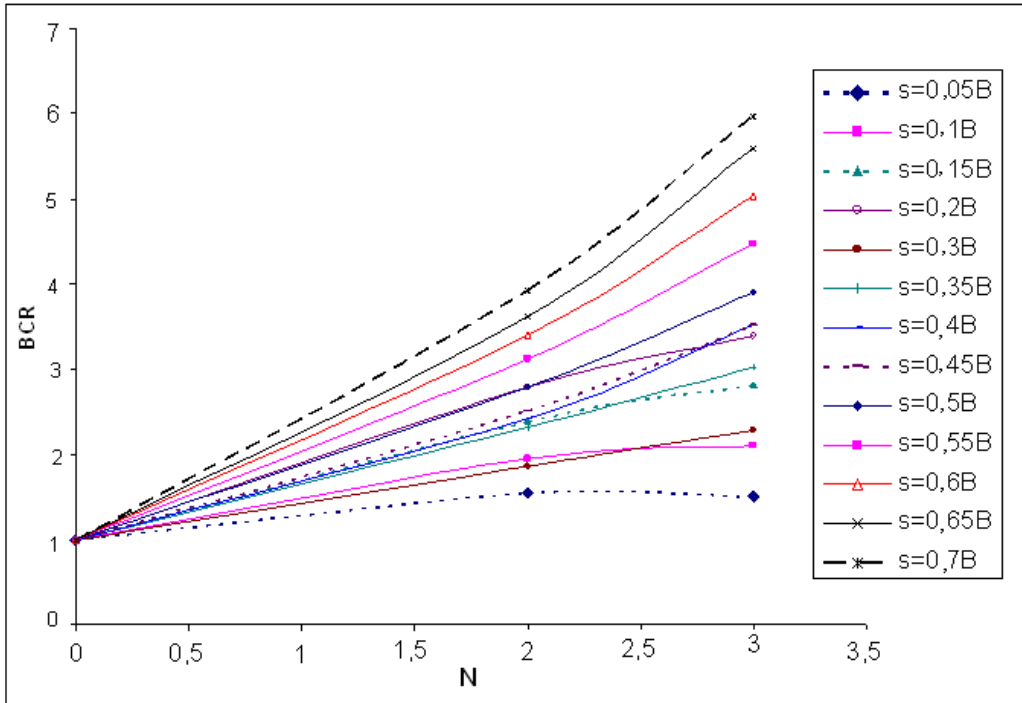
vii. $u=0,75B$ ilk donatı tabakası derinlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

İlk donatı tabakası derinliği $u/B=0,75$ alınarak $N=2$ ve 3 donatı sayılarında deneyler yapılmıştır. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.56’da testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.57’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi büyümüştür. Donatılı test sonuçlarında oturma oranı ortalama $s/B=0,25$ ’de okunan yükte ani bir düşüş gözlenmiştir.
- Donatısız orta sıkı kum $q=61$ kPa ortalama taban basıncında göçmeye başlamıştır. Temel plakası yüklendikçe taşıma kapasitesi biraz daha artmış ve ikinci kırılma yaklaşık 146 kPa basınçta meydana gelmiştir. Donatı tabaka sayısı $N=2$ ’de $q=215$ kPa, $N=3$ iken ise $q=312$ kPa değerinde okunan yükte ani azalış meydana gelmiştir.
- $N=2$ ve $N=3$ donatı sayılarında okunan ortalama taban basıncının aniden düşmesi aynı oturma miktarından sonra olmuştur. Her iki deney serisinde yük düşerek yaklaşık 157 kPa değerine inmiştir. Temel plakasına uygulanan yük arttıkça sistemde okunan ortalama taban basıncı yeniden yükselmeye başlamıştır.
- Bu durum yükün, donatı altına tamamen geçmeden önce zeminin geotekstilin üstünde kırılmaya başladığını düşündürmüştür. Geotekstil ile temel arasında bulunan orta sıkı kum, temel plakasına yük uygulandıkça donatı tarafından sınırlanmış ve donatısız kumdan farklı olarak kendi içinde bir kırılma göstermiştir. Fakat zemin tamamen göçmemiştir. Geotekstil donatı kayma yüzeylerini etkilemiş ve sistemin taşıma gücü yeniden artış göstermiştir.
- Oturma oranları (s/B) arttıkça taşıma kapasitesi oranında (BCR) da önemli miktarda artış görülmüştür. Donatı tabaka sayısı $N=3$ olan sistemde ilk oturma oranı $s/B=0,15$ için taşıma kapasitesi donatısız duruma göre 2,85 kat büyürken, $s/B=0,45$ iken $BCR=3,5$; $s/B=0,7$ olduğunda $BCR=6$ olmuştur.

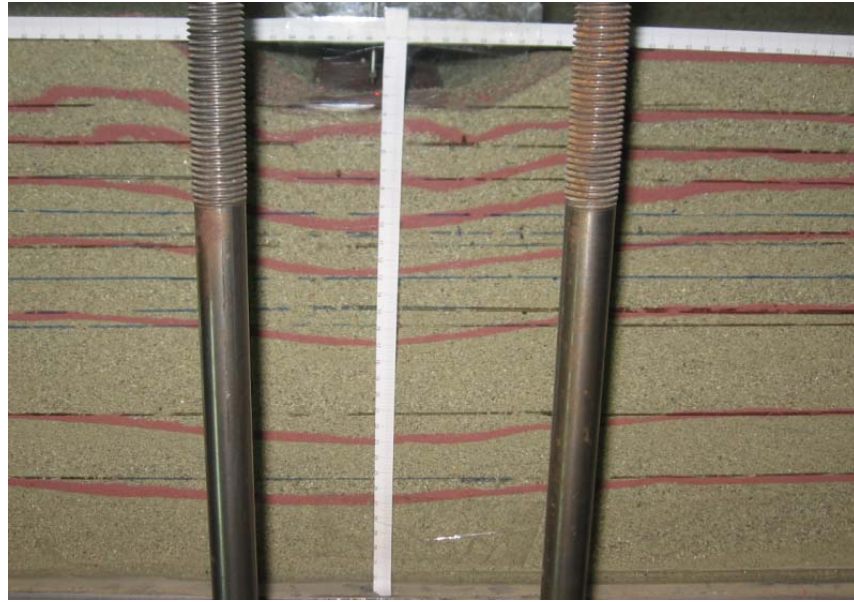


Şekil 4.56. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



Şekil 4.57. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,75$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)

Aşağıda Şekil 4.58’de ilk donatı tabaka derinliği temel genişliğinin 0,75 katında, geosentetik tabaka sayısı $N=3$ olan deneyin oturma profili verilmiştir. Modelin üst kısmı fotoğraftadır. Şekil 4.58 incelendiğinde zeminin zımbalama moduna yakın bir şekilde göçtüğü görülmüştür. Donatı derinliği temel plakasından çok aşağıda bulunduğu için donatı yeterince çekme kuvveti alamamıştır. Yetimoğlu (1994) donatının optimum değerden daha büyük derinliklere yerleştirilmesi hallerinde, donatılı kumun göçme anındaki oturma miktarı donatısız zemininkine yaklaşık eşdeğer büyüklükte olduğunu belirtmiştir. Derinlik oranının yaklaşık 1’den daha büyük değerlerde donatılı kumun taşıma kapasitesinin donatısız zemininkine yaklaştığı ve BCR değerinin 1’e asimtot kaldığı belirtilmiştir. Bu deneyde ilk donatı derinliğinin temelin 0,75 katında alınması, optimum derinliğin aşıldığı, fakat yinede donatının taşıma gücünü etkilediğini göstermiştir.



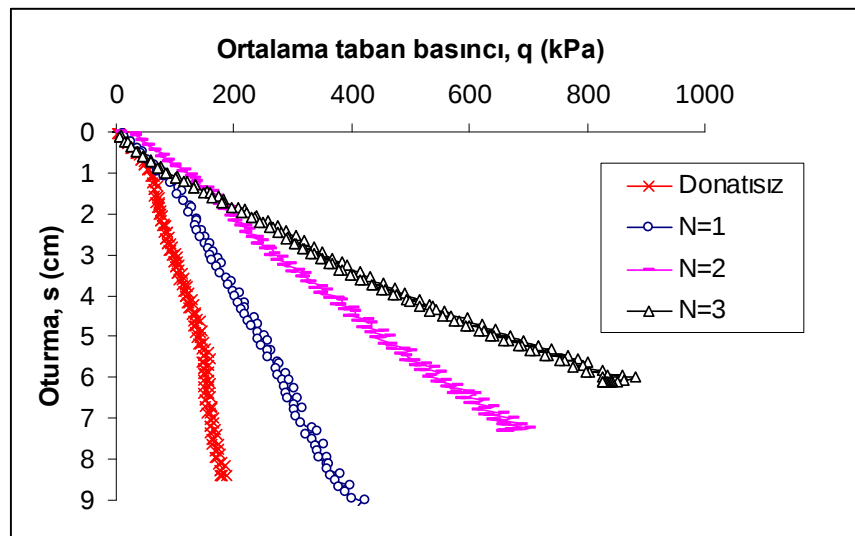
Şekil 4.58. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,75$; $L/B=3$, $h/B=0,4$; $N=3$)

viii. $u=0,55B$ ilk donatı tabakası derinlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

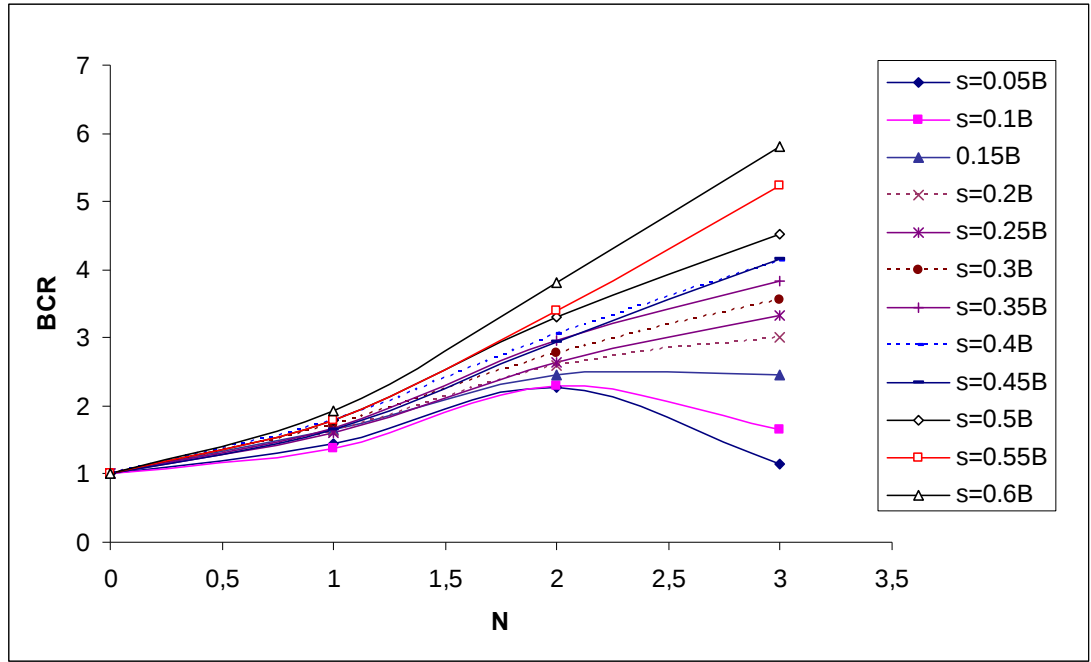
İlk donatı tabakası derinliğinin $u/B=0,55$ alınarak donatı sayısının sistemin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$)

sabit alınarak, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.59’da testler sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.60’da ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de yükselmiştir. Donatı tabakası fazlaştıkça sistemin yaptığı oturma oranı da azalmıştır.
- Oturma oranı $s/B=0,15$ ’e kadar donatı tabaka sayısı $N=2$ deneyinin taşıma kapasitesi oranı $N=3$ olan testin BCR değerinden daha büyüktür. Fakat $s/B>0,15$ için donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümektedir.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ olan testin ortalama taban basıncı-oturma eğrisi eğiminin yönü değişmiştir.
- İlk oturma oranlarında ($s/B=0,05$ ve $0,1$) taşıma kapasitesinin maksimum olduğu donatı sayısı $N=2$ ’dir. $s/B\geq 0,15$ iken donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi oranı da büyümüşür.
- Oturma oranı arttıkça taşıma kapasitesi de yükselmiştir. Örneğin; oturma oranı $s/B=0,15$ değerinde $N=3$ için $BCR=2,46$; $s/B=0,45$ olduğunda $BCR=4,15$; $s/B=0,6$ iken ise $BCR=5,8$ ‘dir.



Şekil 4.59. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



Şekil 4.60. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)

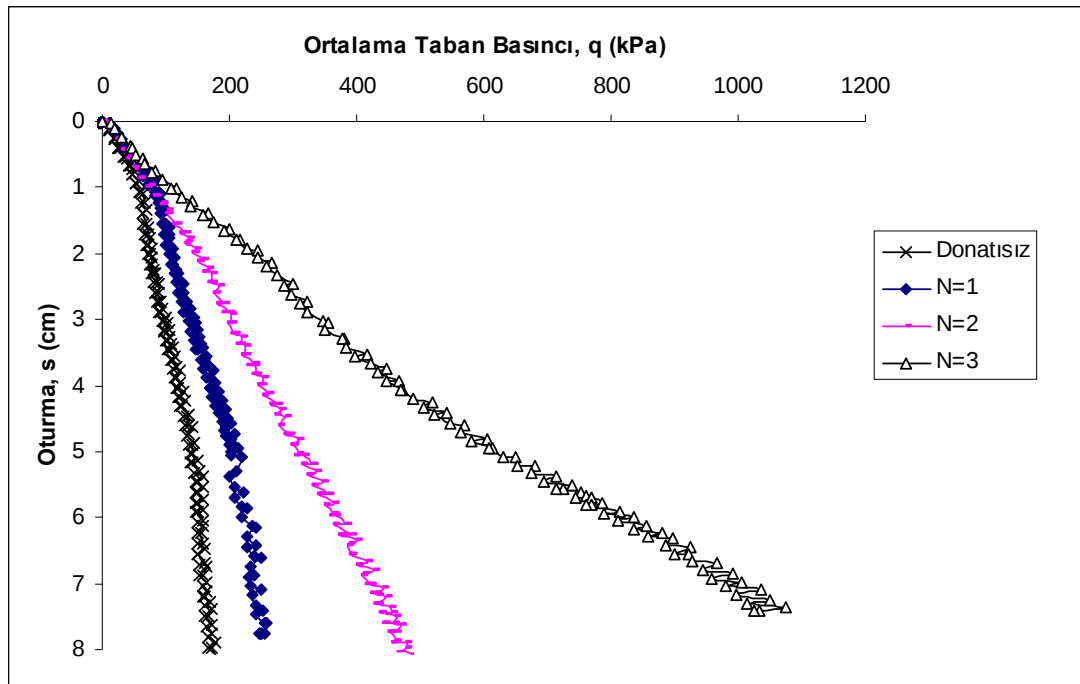
ix. $u=0,175B$ ilk donatı tabakası derinlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

İlk donatı tabakası derinliğinin $u/B=0,175$ alınarak donatı sayısının sistemin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak, donatılı tabaka sayısı $N=1, 2$ ve 3 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.61’de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.62’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

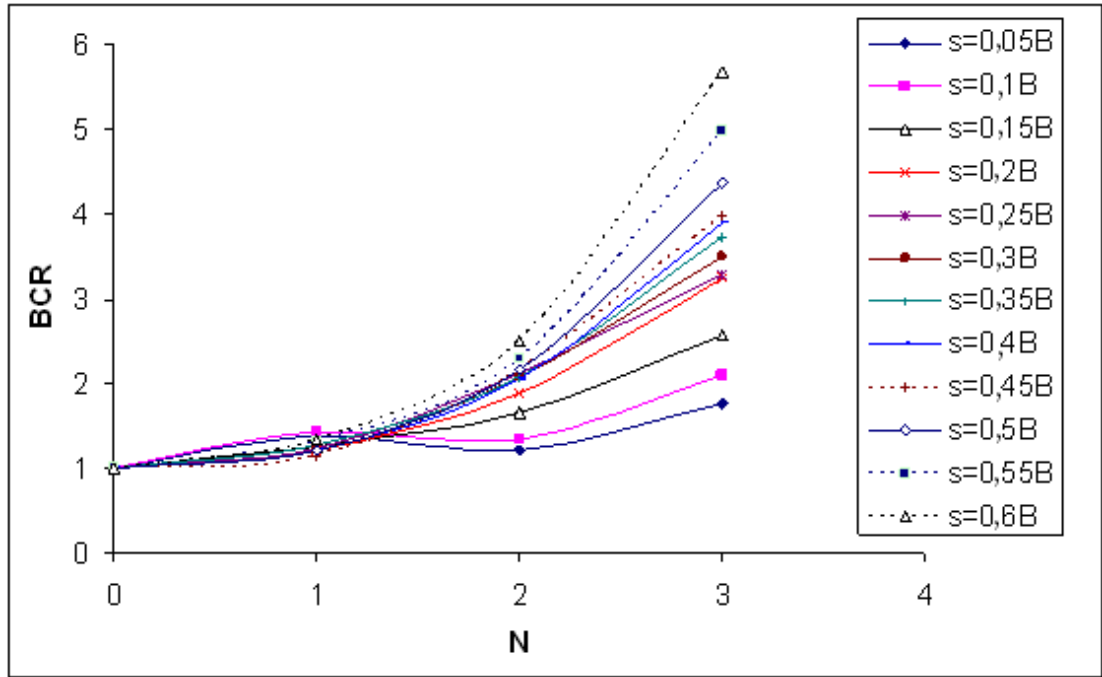
- Aynı oturma oranlarında donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ olduğunda taşıma kapasitesindeki artış oranında ani bir büyüme meydana gelmiştir.
- Temel tabanında aşağıdaki donatıların aktif hale gelebilmeleri için temelin bir miktar oturma yapması ve geotekstillerin çekme kuvveti almaya başlaması gerekmiştir.

- Oturma oranı arttıkça taşıma kapasitendeki artış büyümüşür. Örneğin; donatı tabaka sayısı $N=3$ olduğunda oturma oranı $s/B=0,05$ değerindeyken taşıma kapasitesi oranı $BCR=1,7$; $s/B=0,15$ için $BCR=2,5$; $s/B=0,45$ iken $BCR=4$; $s/B=0,6$ olduğunda $BCR=5,67$ olmuştur.

Şekil 4.63’de tek tabakalı deneyde plaka yükleme sonucu temel plakası üzerinden çekilen resim gözükmeğtedir. İlk donatı derinliği temel plakasına yaklaştığında temel oturma yaptıkça donatı bükülmüşür. Geotekstil kenar uçları üst zemin tabakasından dışarıya çıkmıştır. Bu durumun uygulama açısından sakıncalı olabileceği düşünülmüşür. Böylece bu araştırmada, ilk donatı derinliğinin daha düşük değerlerinde testler yapılmamasına karar verilmiştir.



Şekil 4.61. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

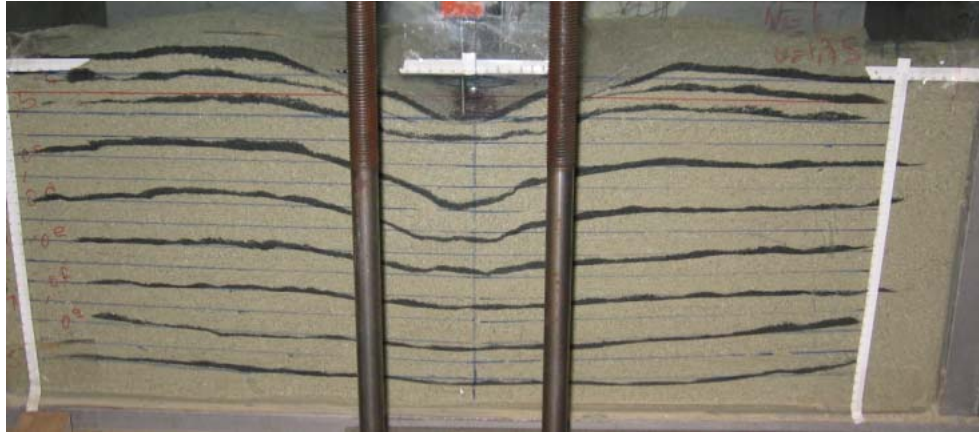


Şekil 4.62. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,175$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)



Şekil 4.63. Tek tabaka donatılı deney sonucu temel plakasının üstten görünümü ($u/B=0,175$; $L/B=3$; $N=1$)

Şekil 4.64 ve Şekil 4.65’de $N=1$ ve $N=3$ donatılı deneyde meydana gelen oturma profilleri gösterilmiştir. Donatı sayısı $N=3$ için donatılı bölge derin olduğu için oturmalar donatılı zondan aşağıya atılmış ve $1,5B$ ’den daha derinde zeminin kırıldığı görülmüştür. Donatı sayısı 2 adet artırıldığında, orta sıkı kumdaki kırılma da tek donatılı sisteme göre yaklaşık 2 kat daha derinde meydana gelmiştir. Donatı sayısı arttıkça yukardan uygulanan yükün daha derinlere ve yanlara doğru aktarıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.64. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,175$; $L/B=3$, $N=1$)



Şekil 4.65. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,175$; $L/B=3$, $h/B=0,4$; $N=3$)

Donatı sayısının etkisinin incelendiği dokuz ayrı seri deney sonuçları toplu olarak değerlendirildiğinde elde edilen genel değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatı sayısı ve diğer parametreler temel altından $3B$ derinlik seviyesine kadar olan alan içinde değiştirilmiştir.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,3$) yaklaşık $2B$ derinliği efektif donatılı zon derinliği olarak görülmüştür. Büyük oturma miktarlarında ($s/B>0,3$) ise yaklaşık $2,5B$ derinliği efektif zondur.
- Küçük oturma aralıklarında ($s/B=0,05-0,3$) maksimum taşıma kapasitesi ortalama $N=3$ iken, büyük oturma miktarlarında ($s/B>0,3$) ise $N=5$ 'te oluşmuştur.
- $h/B=0,4$ donatı aralığında, ilk donatı mesafesi $u=0,35B$ ve donatı genişliği $L=3B$ ile yapılan deneylerde; taşıma kapasitesi oranları incelendiğinde donatı sayısı $N=4$ 'ün optimum sayı olduğu görülmektedir. Donatı sayısı 4 olduğunda yine oturma miktarı yük arttıkça azalma eğilimi göstermiştir.
- Donatı aralığı arttıkça, Donatı tabaka sayısı-Taşıma kapasitesi oranı eğrilerinin davranışı değişmiştir. Donatı düşey aralığı $h/B=0,2$ iken $N=3$ ve $N=5$ donatı sayılarında büyük artışlar meydana gelmiştir. $h/B=0,4$ için $N=4$ maksimum artış yaşanmıştır. $h/B=0,6$ 'da ise donatı sayısı taşıma kapasitesi oranı ile lineer artış olmuştur. Yani donatı aralığı arttıkça, taşıma kapasitesi donatı tabaka sayısı ile lineer bir artış gösterme eğilimine girmektedir.
- Diğer donatı parametrelerinin (u ve L) sabit alındığı, donatı aralığı $h=0,6B$; $0,4B$ ve $0,2B$ deneylerinin her üçünde donatı sayısı $N=3$ için ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin yönü değişmeye başlamış, $N=5$ için eğimin yönü tamamen değişmiştir.
- Oturma miktarı arttıkça taşıma kapasitesi değerleri de yükselmiştir.
- Diğer donatı konfigürasyon parametreleri (u , h) sabit kalmak üzere, donatı genişliğinin (L) büyümesi ile aynı donatı tabakası sayılarına karşılık gelen BCR değerleri de artmıştır.
- Donatı genişliğinin $L>B$ olması halinde, donatı tabaka sayısı $N=5$ olduğunda yük hızla artarken oturmalar sabitleşmeye başlamıştır.

- Donatı sayısı arttıkça, ilk donatı derinliğinin (u/B) taşıma kapasitesine etkisi daha fazla olmuştur.
- $u/B=0,75$ donatı derinliğinde sisteme geosentetik eklenmesi taşıma kapasitesini arttırmıştır. Modelde, geotekstil sayısı artsa da, zemin yaklaşık aynı oturma miktarında aniden yük azalmasına maruz kalmıştır.
- Donatı sayısı arttıkça zemin temel kenarlarında meydana gelen kum kabarmaları da artmıştır.

4.2.2. Geogrid donatılı zeminin deney sonuçları

Bu bölümde, isimlendirmeleri Geogrid 1 (Fortrac 35/20-20 T), Geogrid 2 (7-States Geogrid 55/55) ve Geogrid 3 (Tenax TT045) olan üç farklı donatı kullanılarak güçlendirilen orta sıkı kum üzerindeki şerit temellerin plaka yükleme deney sonuçları açıklanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde; her bir geogrid çeşidi için donatı konfigürasyon parametrelerinin (u , h , L ve N) araştırıldığı test sonuçları sunulmuştur.

A. Geogrid 1 donatılı zeminin deney sonuçları:

Geogrid 1 olarak isimlendirilen deney serilerinde farklı donatı parametrelerinde taşıma kapasitesi hesapları yapılmıştır. Aşağıda her donatı konfigürasyon parametresi maddeler halinde incelenmiştir;

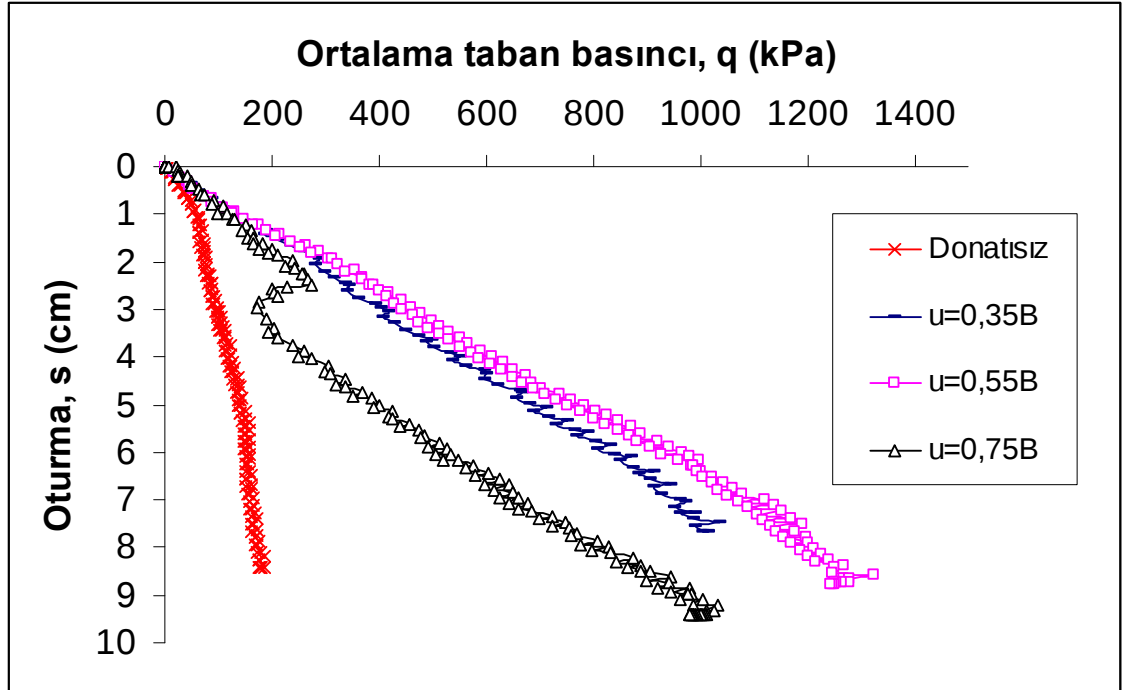
a. İlk donatı mesafesi;

Bu bölümde ilk donatı tabaka derinliğinin, çok tabaka geogrid donatılı orta sıkı kum zeminler üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde sadece ‘Geogrid 1’ donatısı için çok tabakalı durumda değerlendirmeler yapılmış, tek tabakalı hal göz önünde bulundurulmamıştır.

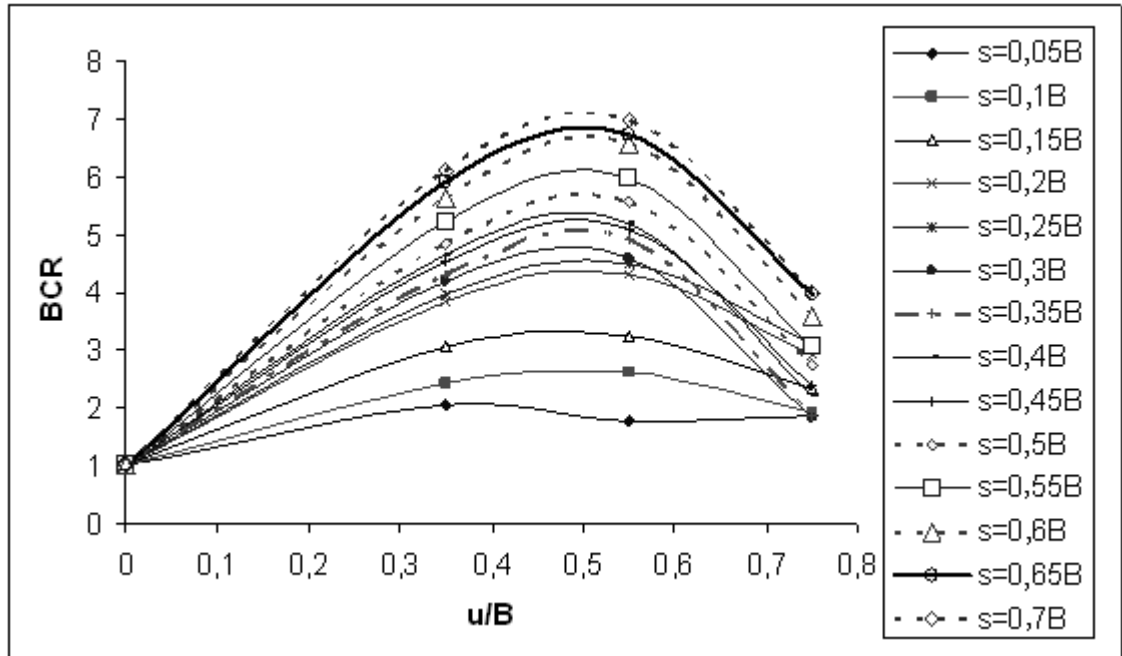
Deneylerde donatı boyu ($L=3B$) ve düşeyde donatı aralığı ($h/B=0,4B$) sabit alınmıştır. İlk ‘Geogrid 1’ donatı derinliği $u/B=0,35$; $0,55$ ve $0,75$ değerlerinde alınarak donatı sayısı sadece $N=3$ için deneyler yapılmıştır. Deneylerde seçilen parametreler yine literatür taranarak belirlenmiştir. Geotekstille yapılan deneylerde ilk donatı derinlik oranının $u/B=0,175$ olduğu deneylerde donatının temel plakasına çok yakın olduğu ve bir miktar oturmadan sonra zemin yüzeyine çıktığı gözlenmiştir. Bu nedenle $u/B=0,175$ için geogridli testler yürütülmemiştir. Yine geotekstilli deneyler sonucunda $u/B=0,75$ değerinden sonra göçmenin donatılı bölgenin üzerinde olduğu ve taşıma kapasitesinde ani bir düşüş olduğu görüldüğünden; ilk donatı derinlik oranının $0,75$ ’den daha büyük durumlar için deney yapılmamıştır.

İlk donatı derinlik oranının parametre olarak seçildiği ‘Geogrid 1’ deney sonuçlarından elde edilen Ortalama taban basıncı (q)-Oturma (s) eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları Şekil 4.66’da verilmiştir. Şekil 4.67’de ise ilk donatı derinliğinin taşıma kapasitesi ile olan ilişkisi farklı oturma oranlarıyla verilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- ‘Geogrid 1’ ile güçlendirilmiş orta sıkı kumda optimum ilk donatı derinliği $(u/B)_{opt}=0,55$ bulunmuştur.
- Temel plakasının yapmış olduğu oturma miktarı (s) arttıkça donatılı orta sıkı kumun taşıma kapasitesi de büyümüştür. Oturmanın gözlemlendiği bölgelerde zeminin sıkıştığı görülmüştür. Temele uygulanan yükün donatılara ulaşabilmesi ve taşıma kapasitesinde önemli artışların olabilmesi için temel plakasının bir miktar oturma yapması ve yükü donatılara aktarabilmesi gerekmiştir.
- $u/B=0,75$ için Geotekstilli deney sonuçlarına benzer ortalama taban basıncı-oturma eğrisinde ani bir düşüş olmuş, fakat temel yüklenmeye devam edildikçe taşıma kapasitesi yükselmeye devam etmiştir.
- İlk donatı derinliği $u=0,35B$ ve $0,55B$ ’nin ortalama taban basıncı ile oturma ilişkisini gösteren eğriler lineer artış göstermiştir.
- Oturma oranı arttıkça sistemlerin taşıma gücü de artmıştır. Örneğin; $s/B=0,15$ oturma oranında maksimum taşıma kapasitesi oranı $3,25$ ’dir. $s/B=0,45$ için taşıma kapasitesi oranı $BCR=5,2$; $s/B=0,7$ iken ise $BCR=7$ değerlerine yükselmiştir.



Şekil 4.66. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.67. Farklı ilk donatı derinliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)

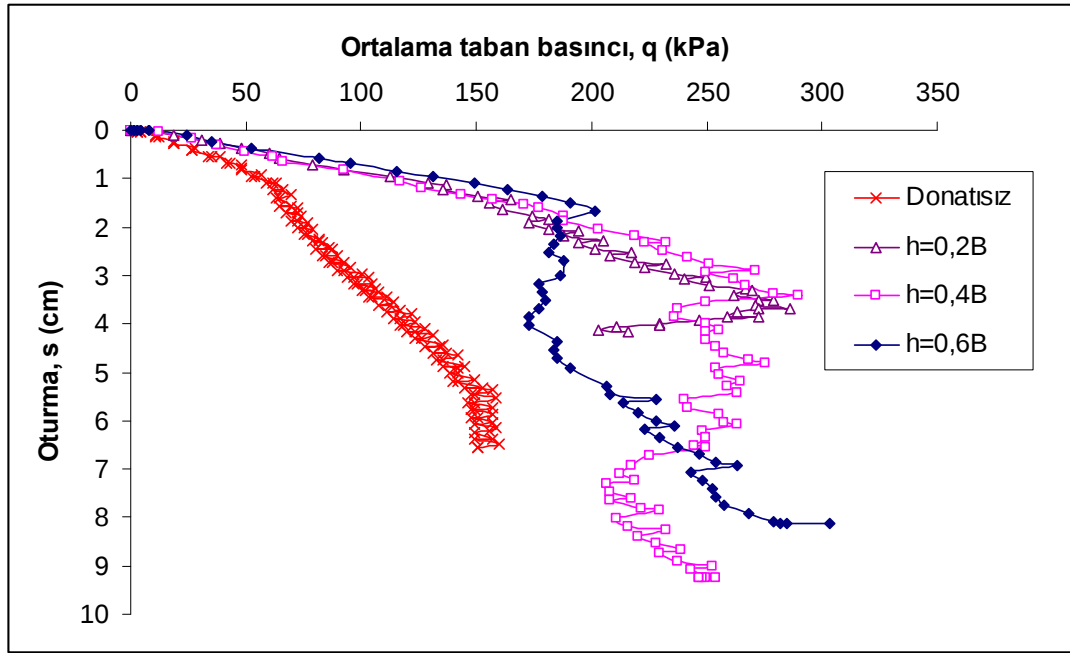
b. Donatı düşey aralığının etkisi;

Deney kasası içindeki kum zemin üzerine yatay olarak serilen ‘Geogrid 1’ donatı tabakaları arasındaki düşey mesafenin (h) yüzeysel şerit temelin yük-oturma davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu bölümde iki farklı seri deney yürütülmüştür.

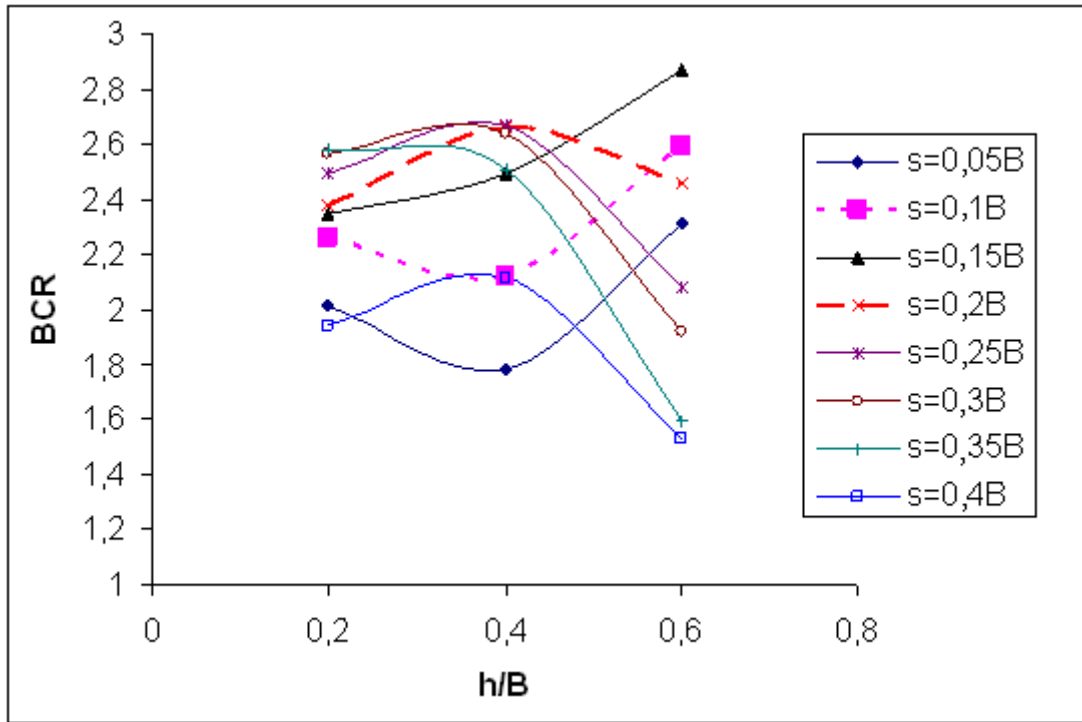
İlk seri deneylerde; geogrid donatı genişliği temel genişliği ile aynı ($L=B$) seçilmiştir. Donatı tabaka sayısı ($N=5$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Literatür incelenmiş ve testler $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ donatı düşey aralıklarında yürütülmüştür. İkinci seri deneyler ise ‘Geogrid 1’ donatı genişliği temel plakası genişliğinin üç katı boyutunda ($L=3B$) olması durumu için geosentetik düşey aralığı incelenmiştir. Donatı tabaka sayısının $N=3$ ve 5 olduğu farklı iki grup test yürütülmüştür. Deneylerde ilk donatı derinliği ($u=0,35B$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır. Düşeyde donatı tabaka aralığı $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ için testler tamamlanmıştır.

İlk seri deneylerde düşeyde donatı aralığının (h/B) değişik değerlerinde elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri Şekil 4.68’de verilmiştir. Test süresince meydana gelen farklı oturma oranları (s/B) için donatı düşey aralığı (h/B) ile taşıma kapasitesi oranı (BCR) ilişkilendirilmiştir. Oturma miktarlarının farklı değerlerinde oluşturulan grafikler Şekil 4.69’da sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- $N=5$ donatılı orta sıkı kumun yük-oturma eğrisi donatısız çok sıkı zemin gibi davranmıştır.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05$; $0,1$ ve $0,15$) donatı düşey aralığı $h/B=0,4$ diğer donatı aralıkları $h/B=0,2$ ve $0,6$ ’ya nazaran az taşıma kapasitelerini, $s/B>0,15$ oturma oranından sonra ise maksimum BCR’leri vermiştir.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05$; $0,1$ ve $0,15$) $h/B=0,6$ donatı aralığına sahip sistemin taşıma gücü diğerlerine ($h/B=0,2$ ve $0,6$) nazaran daha büyüktür.
- Donatının temel genişliğine eşit olduğu durumlarda donatısız duruma göre yaklaşık ortalama $2,5$ kat daha fazla taşıma gücü elde edilmiştir.

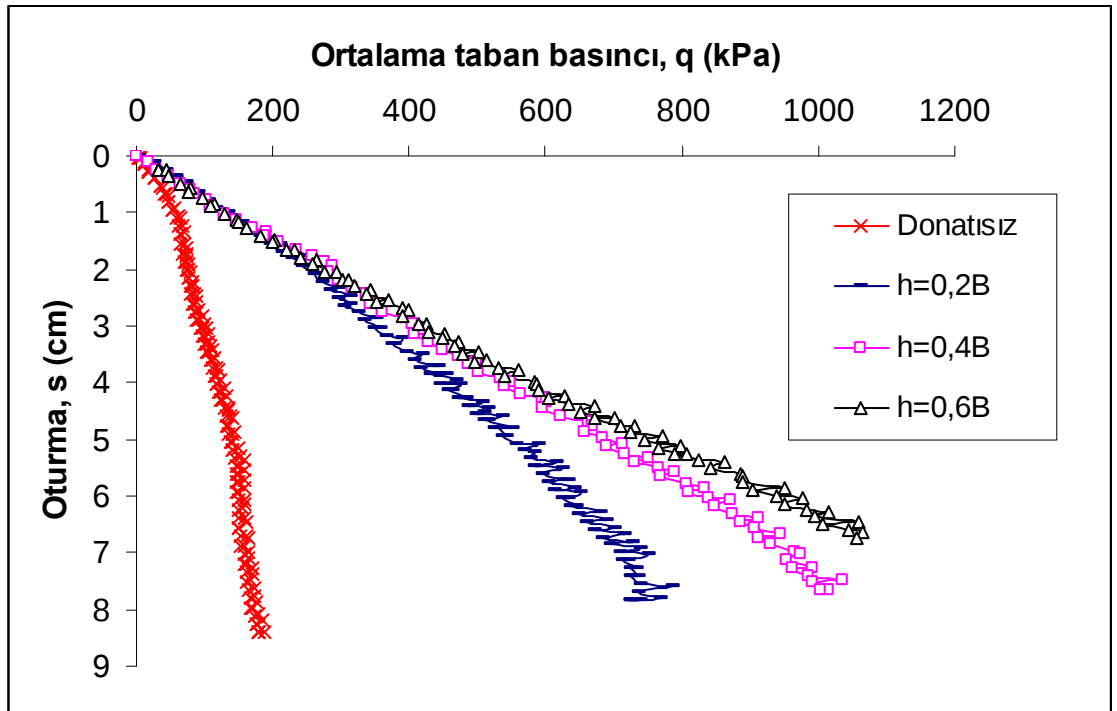


Şekil 4.68. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $L/B=1$, $N=5$)

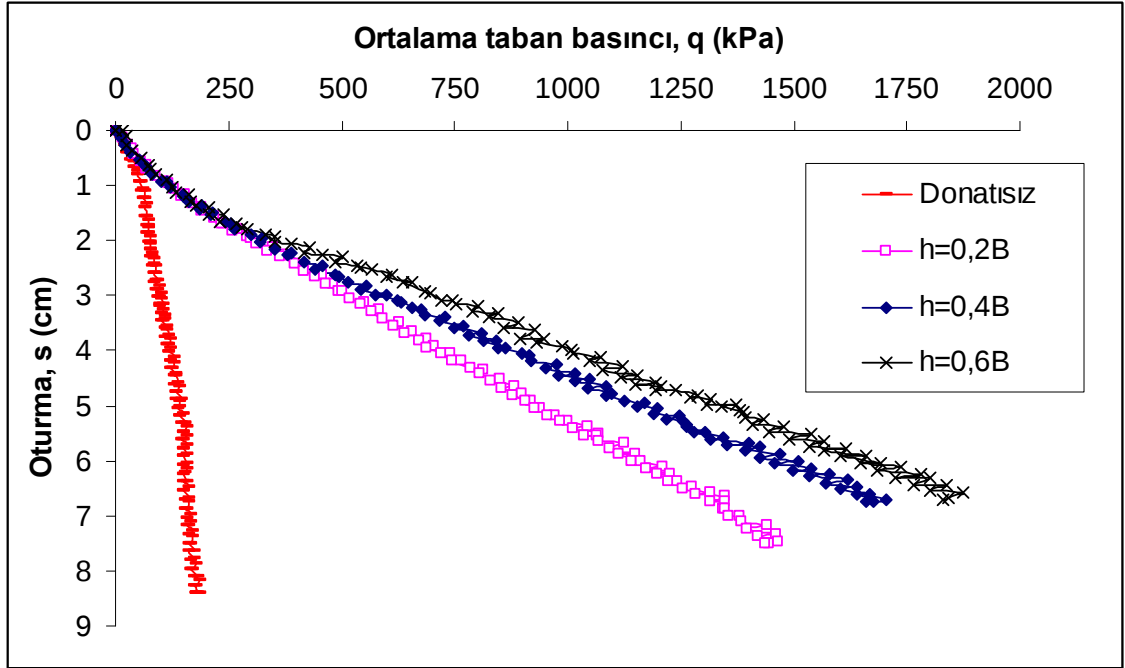


Şekil 4.69. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $N=5$)

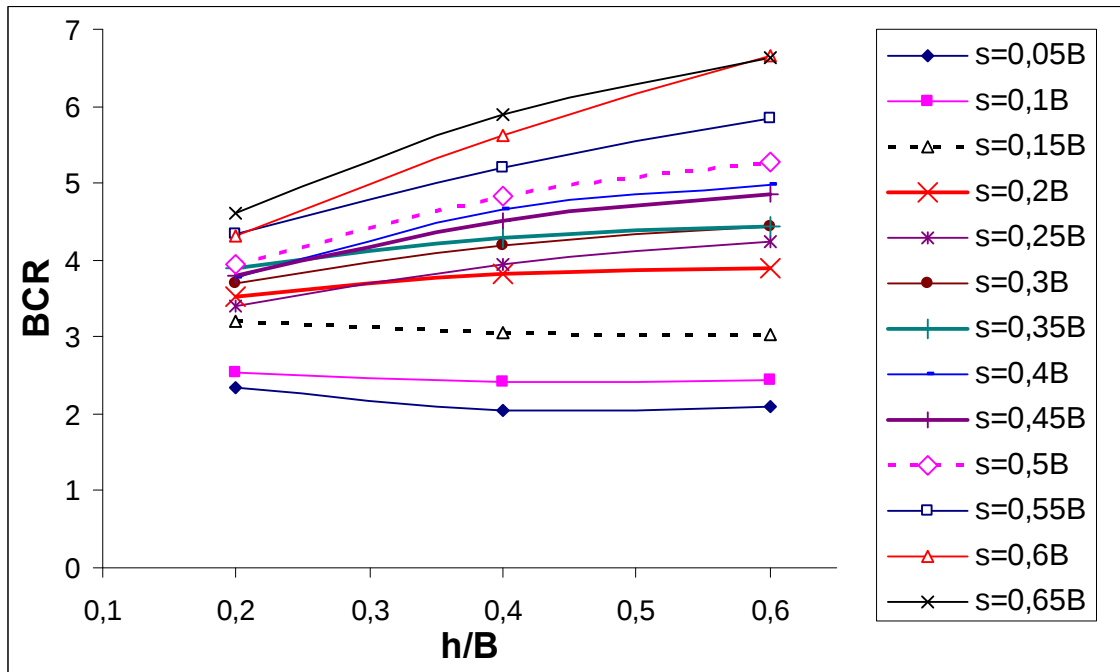
İkinci seri deneylerde donatı tabaka sayısının $N=3$ ve 5 olduğu farklı iki grup test yürütülmüştür. Deneylerde ilk donatı derinliği ($u=0,35B$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır. $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ donatı düşey aralıklarında yapılan test sonuçları incelenmiş ve Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de verilmiştir. Test süresince meydana gelen farklı oturma oranları (s/B) için donatı düşey aralığı (h/B) ile taşıma kapasitesi oranı (BCR) ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.72 ve Şekil 4.73). Söz konusu Şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;



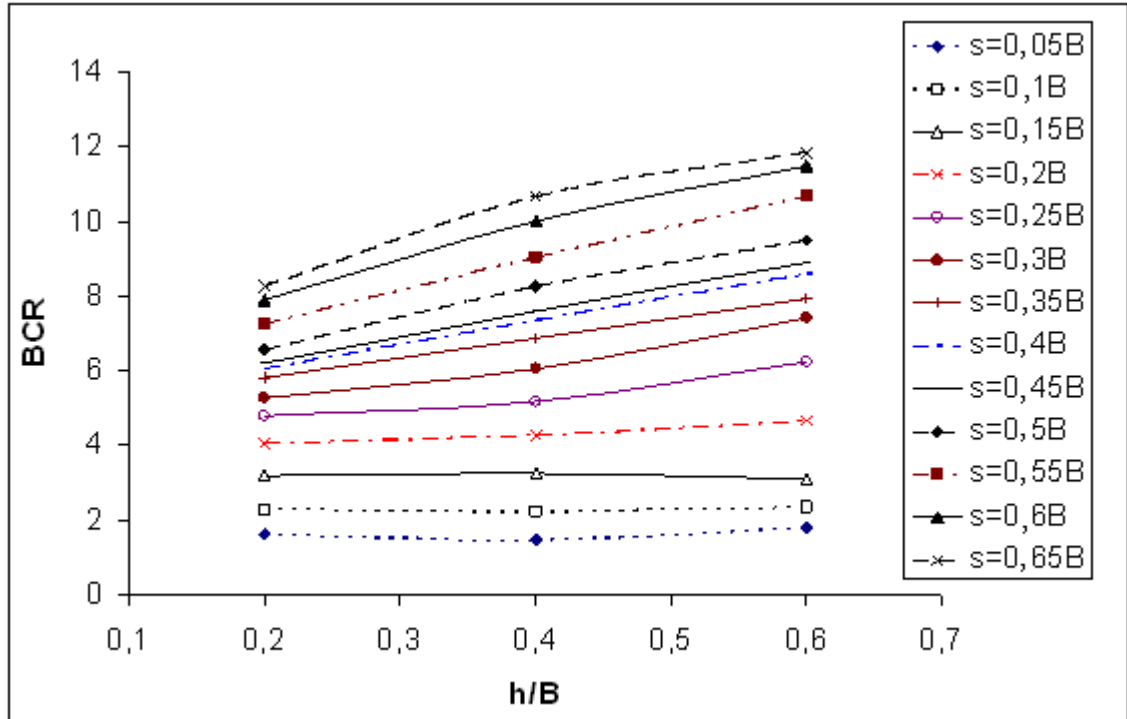
Şekil 4.70. Düşeyde donatı aralığının değişik değerlerinde elde edilen ortalama basınç-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=3$)



Şekil 4.71. Düşeyde donatı aralığının değişik değerlerinde elde edilen ortalama basınç-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=5$)



Şekil 4.72. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)



Şekil 4.73. Farklı donatı düşey aralık oranlarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)

- Çok tabakalı donatılı kumda düşeyde donatı aralığının yük-oturma davranışına etkisi donatı tabaka sayısına bağlı olarak değişmiştir. Donatı sayısı artınca yük-oturma eğrisinin eğilimi de farklılaşmıştır.
- $N=3$ ve 5 tabaka donatılı kumlarda nihai taşıma kapasitesi değeri donatı düşey aralığı arttıkça büyümüştür.
- Küçük temel plakası oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,2$) değişik geogrid donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları (BCR) arasındaki fark azdır.
- $s/B=0,05-0,15$ 'de maksimum taşıma kapasitesi $h/B=0,2$ donatı aralığında meydana gelmiştir. $s>0,15$ oturma oranlarında donatı aralığı ile taşıma gücü ilişkisi lineer davranış sergilemiştir. $h/B=0,6$ geogrid düşey aralığında maksimum BCR değerleri oluşmuştur.
- Temel plakasının oturma miktarı arttıkça (s) değişik geogrid donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları arasındaki fark yükselmiş ve BCR değerleri de büyümüştür.

- $h/B=0,2$ donatı düşey aralığında ve temel plakası oturma oranı $s/B=0,15$ 'de geogrid donatı sayısı $N=3$ ve 5 olan deneylerde, taşıma kapasitesi oranları yaklaşık aynıdır ($BCR=3,2$).
- Temel plakası oturma oranı $s/B=0,2$ 'de donatı düşey mesafesinin değiştirilmesi ($h/B=0,2; 0,4$ ve $0,6$) taşıma kapasitesinde yaklaşık aynı miktarda artışa neden olmuştur. Bu durum geogrid donatı sayısı $N=3$ ve 5 olan deneylerin her ikisinde de görülmüştür.
- Çok donatı tabakalı orta sıkı kumda düşeyde donatı aralığının taşıma kapasitesine etkisi donatı sayısına bağlı olarak değişmiştir. Donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi oranında meydana gelen artış miktarı da yükselmiştir. Bu durum temelin $s=0,2B$ 'lik oturma yapmasından itibaren gerçekleşmiştir. Örneğin; $h/B=0,6$ donatı düşey aralığında oturma oranı $s/B=0,2$ için donatı tabaka sayısı $N=3$ olduğunda taşıma kapasitesi oranı $BCR=3,9$, $N=5$ iken $BCR=4,68$ olmuştur. $s/B=0,4$ için donatı sayısının $N=3$ deneyinde taşıma kapasitesi $BCR=4,97$; $N=5$ testinde ise $BCR=8,6$ değerine yükselmiştir. $s/B=0,65$ için donatı sayısının $N=3$ deneyinde taşıma kapasitesi $BCR=6,63$; $N=5$ testinde ise $BCR=11,86$ değerine yükselmiştir.
- Deney sonlarında elde edilen veriler incelendiğinde donatı sayısının 2 adet arttırılması, donatı aralığının değişmesi ile test sonundaki taşıma kapasitesini yaklaşık 2 kat fazlalaştırmıştır.

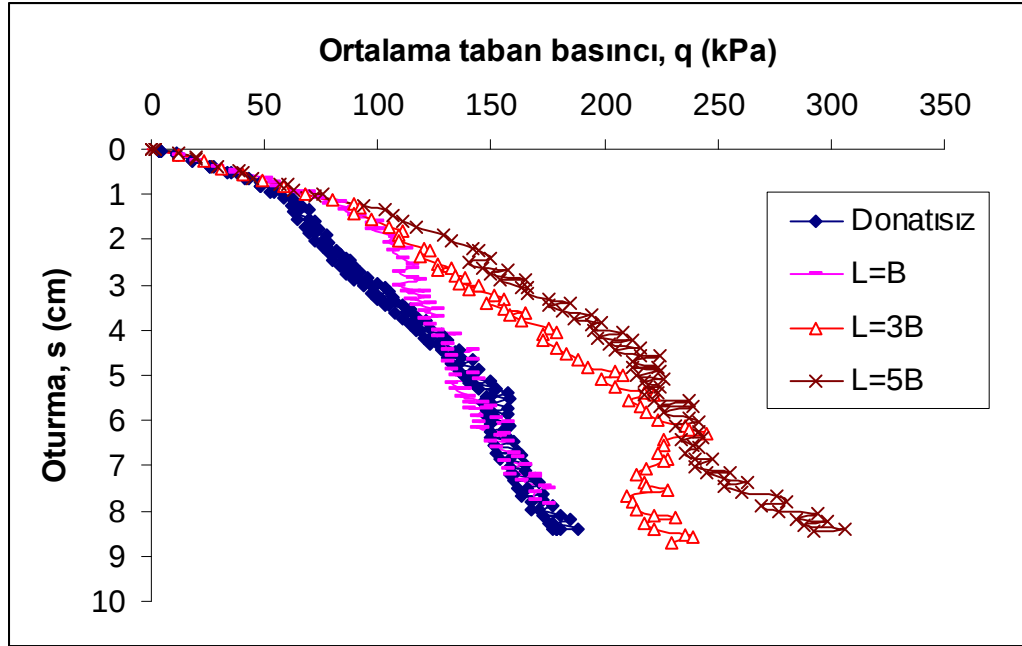
c. Donatı genişliği;

'Geogrid 1' donatı genişliğinin, donatılı orta sıkı kum zemine oturan şerit temelin taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla tek tabaka ve çok tabaka donatılı kumlarda iki farklı seri deney yapılmıştır. İkinci seri deney olan çok tabaka donatılı kumdaki deneyler, $N=3$ ve 5 donatı tabaka sayılarında yürütülmüştür. $N=5$ donatılı deney için donatı düşey aralığının üç değişik değerinde ($h=0,2B; 0,4B$ ve $0,6B$) donatı genişliği araştırılmaya devam edilmiştir. Deneylerde donatı genişlik oranı $L/B=1, 2, 3$ ve 5 alınarak taşıma gücü incelenmiştir.

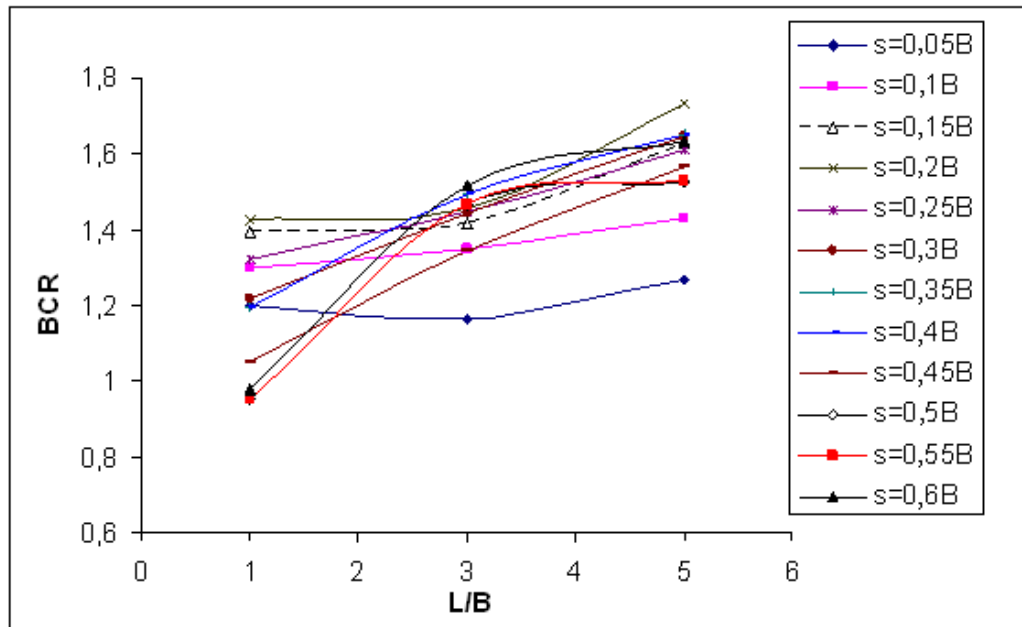
i. Tek donatı tabakası kullanılan deneyler;

İlk seri olan tek tabakalı ($N=1$) orta sıkı kumda ilk donatı tabaka derinlik oranı ($u/B=0,35$) ve donatı aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak, donatı genişlik oranının üç değerinde ($L/B=1, 3, 5$) testler yürütülmüştür. Şekil 4.74' de farklı donatı genişliklerinde tek donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temel için elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Temel plakasının farklı oturma aralıklarında taşıma kapasitesi oranının genişlik oranları ile değişimi Şekil 4.75'de gösterilmiştir. BCR davranışının daha net görülebilmesi için küçük ve büyük oturma oranları için değerler iki ayrı şekilde yeniden sunulmuştur (Şekil 4.76 ve Şekil 4.77). Donatı genişliğinin parametre olarak seçildiği tek donatılı orta sıkı kumdaki deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

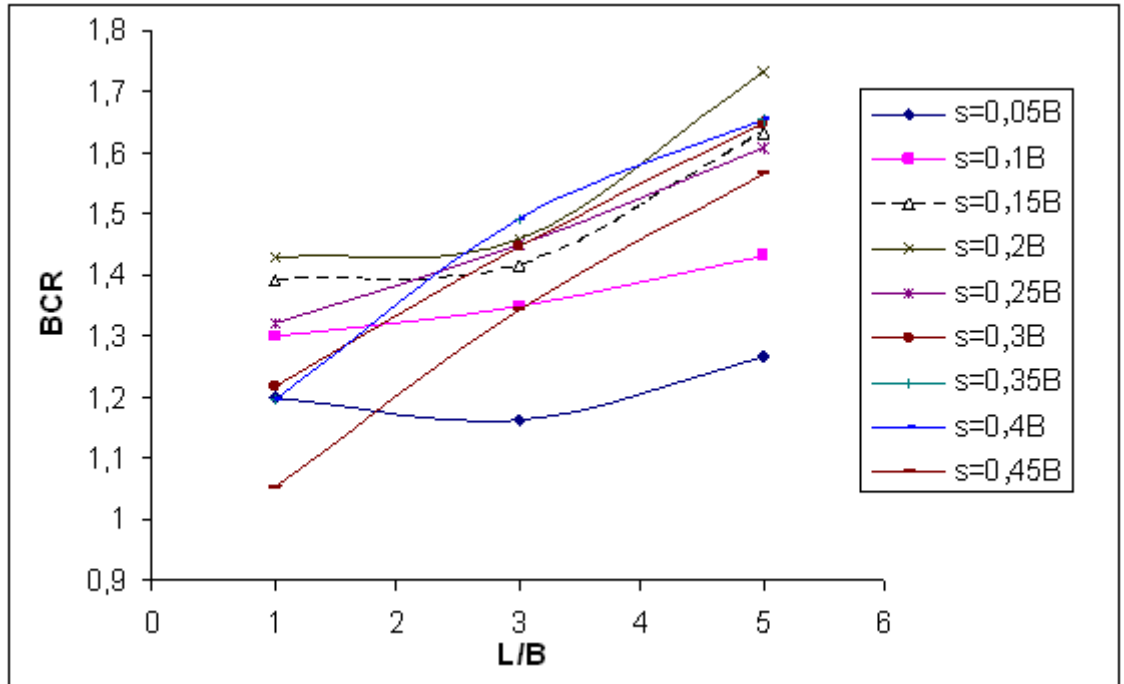
- Tek tabakalı deneylerde donatı genişliği arttıkça sistemin taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- Ortalama taban basıncı-oturma eğrisi incelendiğinde; donatı genişliğinin temel plakası genişliğine eşit olduğu durumda ($L=B$) yaklaşık $q=105$ kPa yükte $s/B=0,17$ oturma miktarında donatılı zemin göçmeye başlamıştır. Donatısız duruma nazaran sistem daha büyük oturma ve daha yüksek yüklemede göçme davranışı sergilemiştir.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B<0,25$) donatı genişlik oranları $L/B=1$ ile 3 için taşıma kapasitesi değerleri aralarındaki fark $L/B=5$ 'e nazaran daha azdır.
- Aynı şartlar altında yapılan $L=B$ deney sonuçlarından, Geogrid 1 donatısının Geotekstile nazaran taşıma kapasitesi ve oturma davranışlarını daha fazla etkilediği görülmüştür.
- $s/B=0,25-0,45$ oturma oranlarında donatı genişliği arttıkça zeminin taşıma gücü de büyümüştür. Bu durumu temsil eden eğriler lineer artış göstermiştir.
- Büyük oturma oranlarında ($s/B=0,5-0,6$) ise donatı genişliği arttıkça taşıma gücü artışı $L=3B$ donatı genişliğindekinden daha fazla oluşmamıştır.



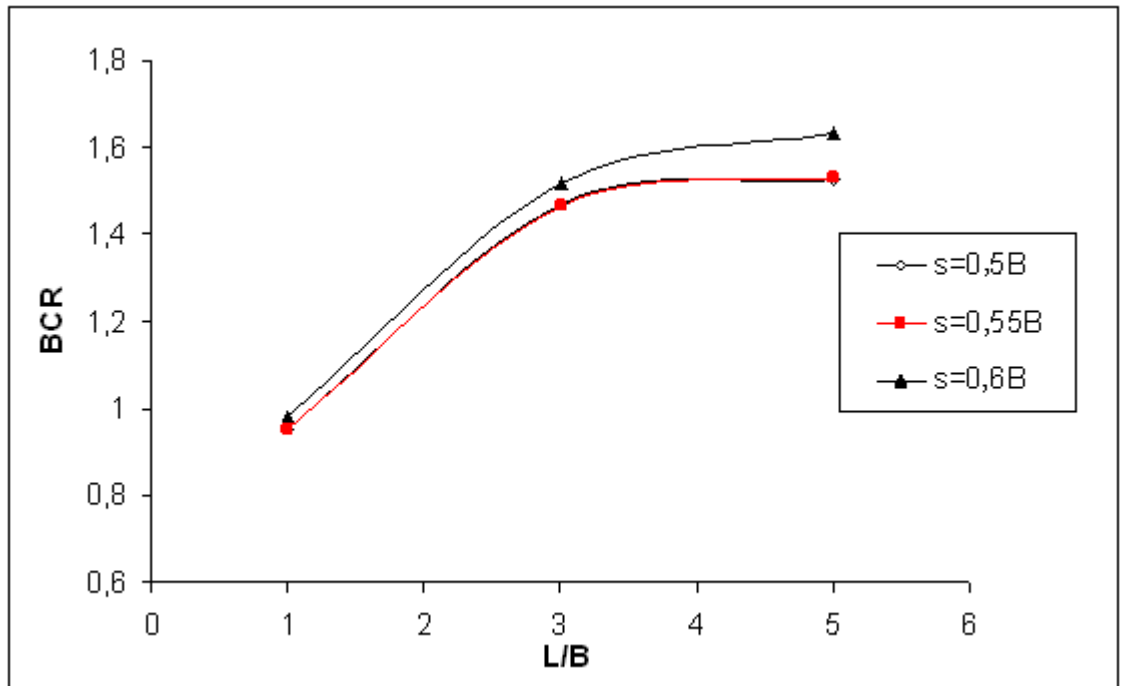
Şekil 4.74. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)



Şekil 4.75. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)



Şekil 4.76. Küçük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)



Şekil 4.77. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

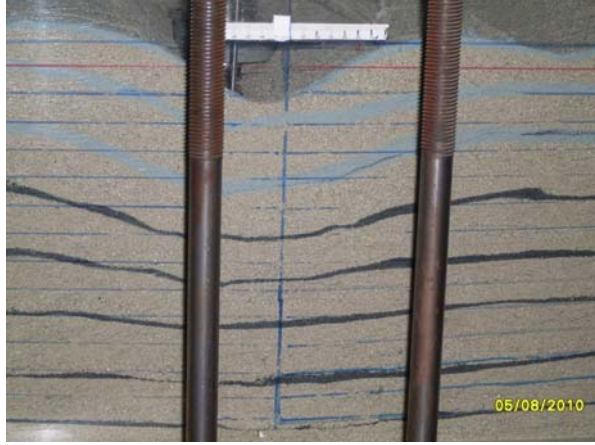
- Donatı tabaka sayısı $N=5$ için maksimum taşıma kapasitesi oranları her oturma oranında yaklaşık aynı çıkmıştır. Örneğin; oturma oranı $s/B=0,15$ için maksimum taşıma kapasitesi $L=5B$ genişlikli ‘Geogrid 1’ donatılı zeminin taşıma kapasite oranı $BCR=1,6$ ’dır. $s/B=0,4$ iken $BCR=1,65$ ve $s/B=0,6$ için $BCR=1,63$ ’tür.
- Tek donatılı orta sıkı kumda geogrid genişliğinin arttırıldığı deney sonuçlarının değerlendirildiği ortalama taban basıncı-oturma eğrileri, donatısız sıkı kum davranışına benzer bir karakter yansıtmıştır. Buradan yola çıkılarak, zemin içerisine yerleştirilen Geogrid 1 donatısının genişliğinin arttırılması, donatısız kumu sıkıştırarak taşıma kapasitesini yükseltme davranışına benzer bir etki yaptığı düşünülmüştür.

Aşağıdaki Şekil 4.78 ve Şekil 4.79’da tek donatılı sistemlerde donatı genişliği $L=B$ ve $L=5B$ için yapılan deneylerde meydana gelen oturmalar görülmektedir. Siyah çizgiler kum serilirken kasa cam yüzeyine yakın bölgeye yerleştirilen beyaza boyanan kumun yaptığı oturma profilidir. Mavi çizgiler ise cam yüzeyine deney öncesinden kalemle çizilen deformasyon kontrol şeritleridir. Oturma oranlarının daha net gözükmesi için modelin sadece üst yarısı fotoğraflanmıştır. Geogrid donatı genişliğinin arttıkça yukardan gelen yükün etkisiyle yapılacak deformasyonların yataya ve daha derine aktarıldığı görülmüştür. Buda donatı uzunluğunun artması donatının yükü dağıttığı ve düşeyde olan oturmaları azaltarak yatay yönler aktardığı düşüncesini güçlendirmiştir.

Geogrid 1 donatı genişliğinin incelendiği tek donatılı orta sıkı kumda yapılan deneylerin hepsinde temel kenarında oluşan kum kabarmaları fazladır. Zemin adeta genel kayma modundaki gibi temel kenarında fazlaca ve belirgin kabarmalar yaparak göçmüştür. Oysa $L=B$ geotekstilli deneylerde temel kenarlarında kabarma net olarak görülmemiştir.



Şekil 4.78. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $N=1$)



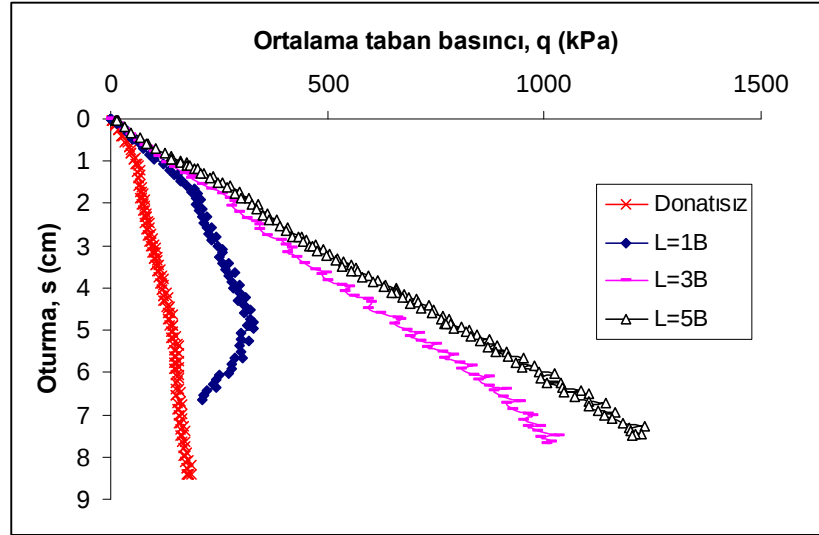
Şekil 4.79. Donatılı deney sonucunda meydana gelen göçme davranışı ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $N=1$)

ii. Çok tabaka donatılı deneyler;

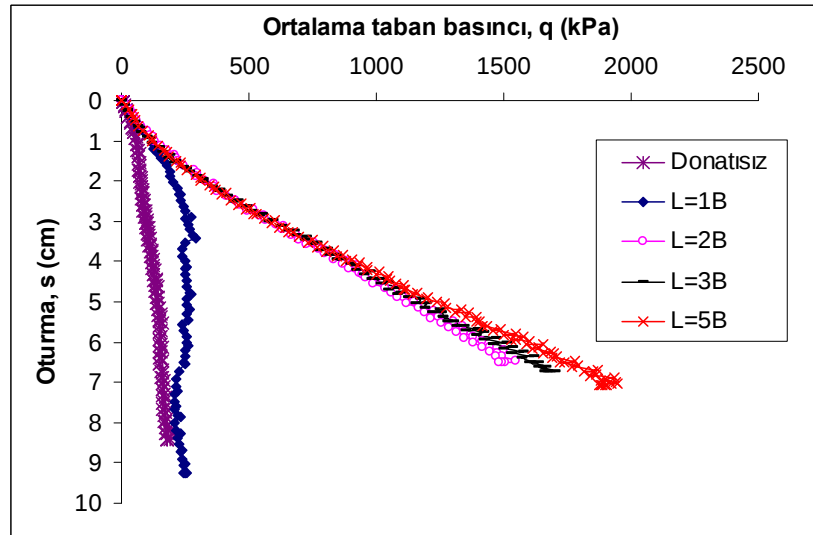
İkinci seri, çok tabaka donatılı deneylerde ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınarak donatı tabaka sayısı $N=3$ ve 5 için farklı donatı düşey aralıklarında ($h=0,4B$; $h=0,6B$ ve $h=0,2B$) üç ayrı grup deney yapılmıştır.

İlk grup deneyler $N=3$ ve 5 donatı tabaka sayılarında $u=0,35B$ ilk donatı derinliği ve $h=0,4B$ donatı düşey aralığı sabit alınarak değişik donatı genişliklerinde ($L=1B, 2B, 3B, 5B$) yapılan deneyleri içermektedir. Şekil 4.80 ve Şekil 4.81 Ortalama taban basıncı- Oturma eğrileri verilmiştir. Farklı temel plakası oturma aralıklarında taşıma kapasitesi

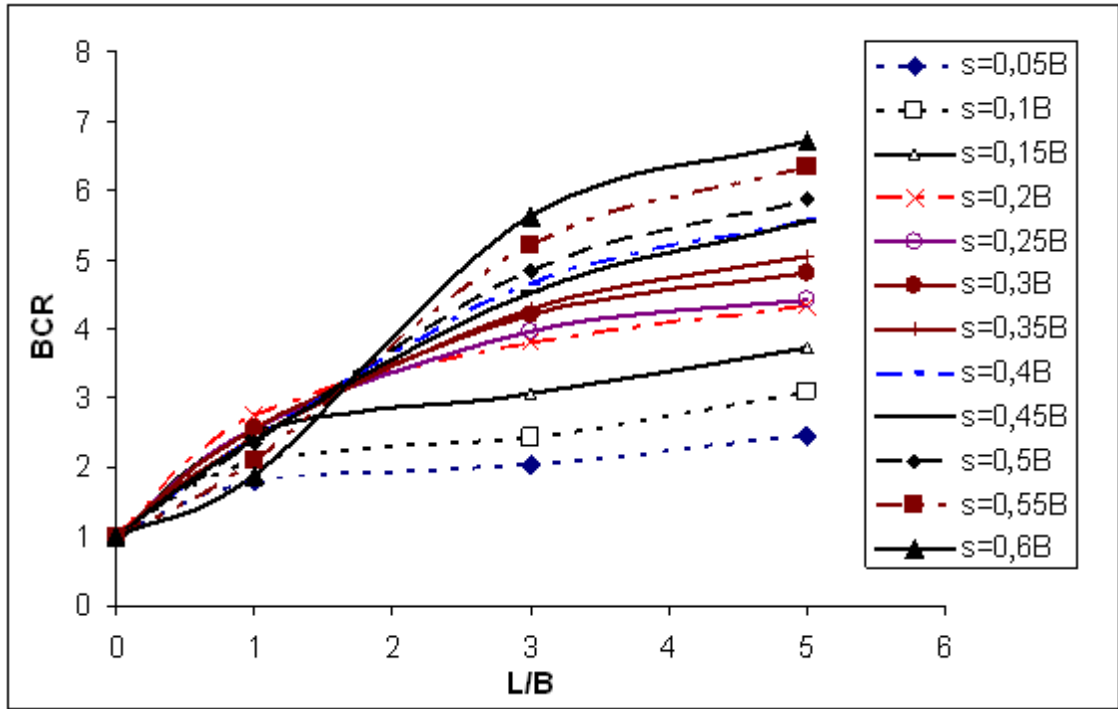
oranının geogrid genişlik oranları ile değişimi Şekil 4.82 ve Şekil 4.83’de gösterilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;



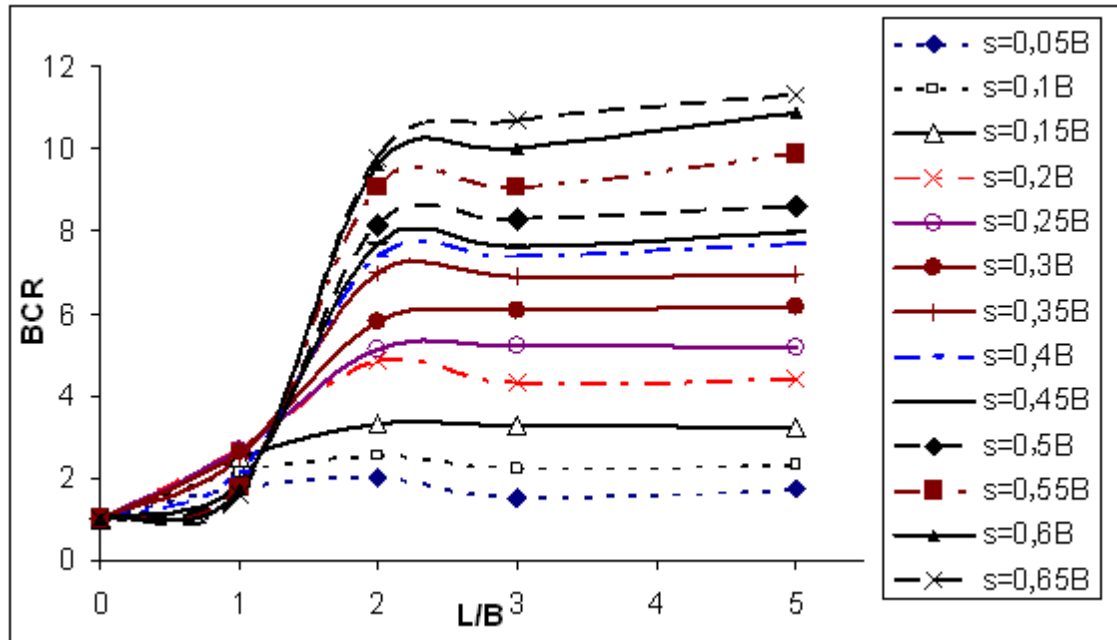
Şekil 4.80. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.81. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)



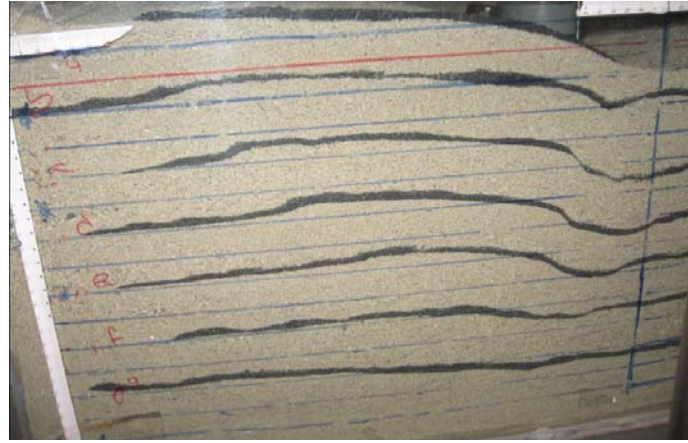
Şekil 4.82. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.83. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)

- Donatı genişliğinin temel plakası genişliğine eşit ($L=B$) olduğu Ortalama taban basıncı-oturma eğrisi diğerlerinden daha farklıdır. $N=3$ donatılı durumda yaklaşık $q=200$ kPa yüklemeden sonra birim yük artışı için meydana gelen deformasyonlarda artış gözlenmiş ve yaklaşık $q=330$ kPa'dan sonra ise artan oturma ile basınçta düşüş görülmüştür. $L=3B$ ve $5B$ donatı genişlikli sistemlerde ise yük-oturma eğrisi deney sonuna kadar lineer ilişki vermiştir.
- Donatı tabaka sayısı $N=3$ iken küçük oturma oranlarında donatı genişliği arttıkça taşıma kapasitesi farkı büyümüştür. Örneğin; $s/B=0,05$ oturma oranında taşıma gücü oranı $BCR=2,4$; $s/B=0,15$ için $BCR=3,72$; $s/B=0,4$ iken $BCR=5,5$ ve $s/B=0,6$ 'da $BCR=6,71$ olup, maksimum BCR değeri $5B$ donatı genişlikli deneylerden elde edilmiştir.
- $N=5$ 'de donatı genişliğinin temel genişliğinin iki katı uzunlukta olması taşıma kapasitesini farklı oturma oranları için yaklaşık 2 ile 10 kat arasında arttırmıştır. $L>2$ için donatı genişliğinin arttırılması taşıma kapasitesini fazla etkilememiştir.
- Oturma oranı arttıkça BCR 'de büyümüştür. Örneğin; $N=5$ iken; $s/B=0,05$ oturma oranında taşıma gücü oranı $BCR=2,2$ 'dir. $s/B=0,15$ için $BCR=3,3$; $s/B=0,4$ iken $BCR=7,4$ 'dir. Büyük oturma oranı $s/B=0,6$ 'da ise $BCR=11,3$ 'tür. Bu durum; zemin içerisine konan ve temel tabanından daha uzakta bulunan donatıların çalışmaya başlayabilmesi için temel plakasının bir miktar oturma yapması gerektiğini düşündürmüştür.
- Büyük oturma oranında donatı tabaka sayısı 2 arttığında taşıma kapasiteleri de yaklaşık 2 kat artmıştır.
- Donatı sayısı ve genişliği arttıkça yük-oturma eğrilerinin eğim yönü de değişmiştir. Özellikle $N=5$ olduğunda $L>B$ donatı genişlikli sistemlerin eğrilerinin hepsi artan yük azalan oturma yapmıştır.

Şekil 4.84 ve Şekil 4.85'te donatı tabaka sayısı $N=3$ olduğunda donatı genişliği $L=B$ ve $5B$ ile yapılan deneylerde meydana gelen oturmalar verilmiştir. Donatı genişliğinin artması temel altında meydana gelen oturma yüzey şekillerini de etkilemiştir. $L=B$ 'de temel altındaki oturmalar daha üniform olurken, donatı genişliği artınca temel merkezinde daha fazla oturma meydana gelmiştir. Temel plakası kenarlarında ise daha az oturmalar görülmüştür. $L=5B$ donatı genişlikli deneyde temel plakası yanlarında kum kabarmaları belirgin bir şekilde oluşmuştur.



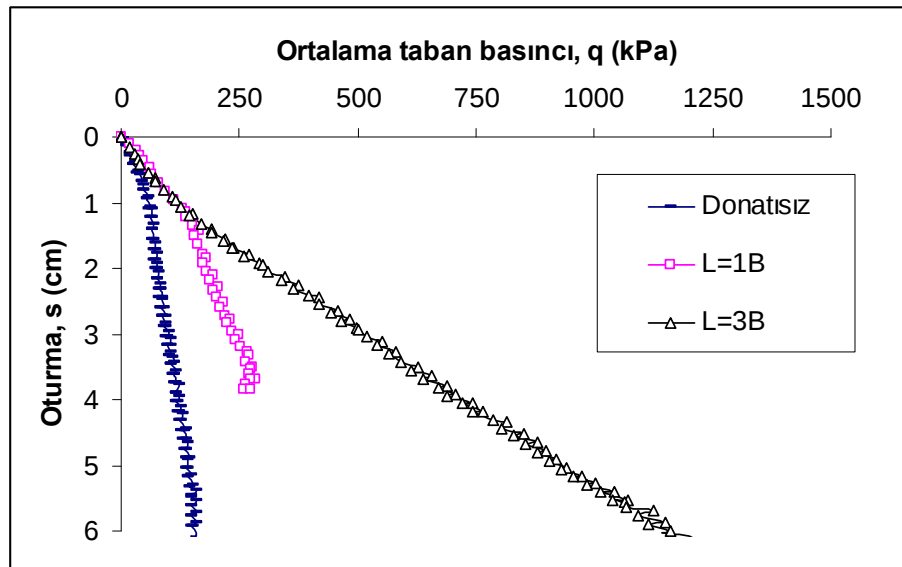
Şekil 4.84. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$; $N=3$)



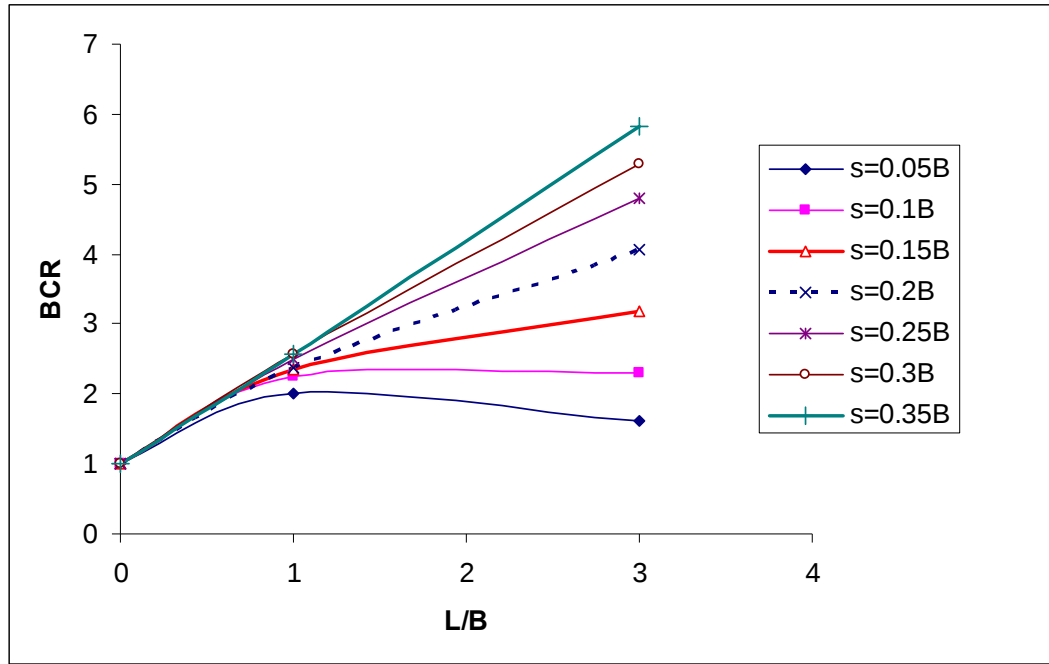
Şekil 4.85. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Diğer bir grup deneyde, donatı düşey aralığı değiştirilerek $h/B=0,2$ alınmıştır. Donatılı tabaka sayısı $N=5$ iken ilk donatı derinliğinin $u=0,35$ olduğu durumlardaki Geogrid 1 donatısı genişliğinin taşıma gücüne etkileri incelenmiştir. Donatı genişliği $L=B$ ve $3B$ için deneyler yapılmıştır. Şekil 4.86 ve Şekil 4.87’de Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Temel plakasının farklı oturma aralıklarında taşıma kapasitesi oranının geogrid genişlikleri ile değişimi Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’da gösterilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05$ ve $0,1$) donatı genişliği $L=B$ için BCR’ler $L=3B$ ’li sisteme nazaran daha büyük çıkmıştır. Daha büyük oturmalarda ise ($s/B>0,1$) $L=3$ donatı genişlikli model daha fazla BCR değerlerine sahip olmuştur.
- Donatı genişliği arttığında ortalama taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin davranışının değiştiği görülmüştür. Aynı oturma oranlarında daha fazla yük almaya başlanmıştır.
- Oturma oranı arttıkça elde edilen maksimum taşıma kapasitesi de artmıştır; Örneğin $s/B=0,05$ ’de maksimum taşıma kapasite oranı $BCR=2$ dir ve $s/B=0,15$ için $BCR=3,2$; $s/B=0,4$ ’de $BCR=6$ değerine çıkmıştır.



Şekil 4.86. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)

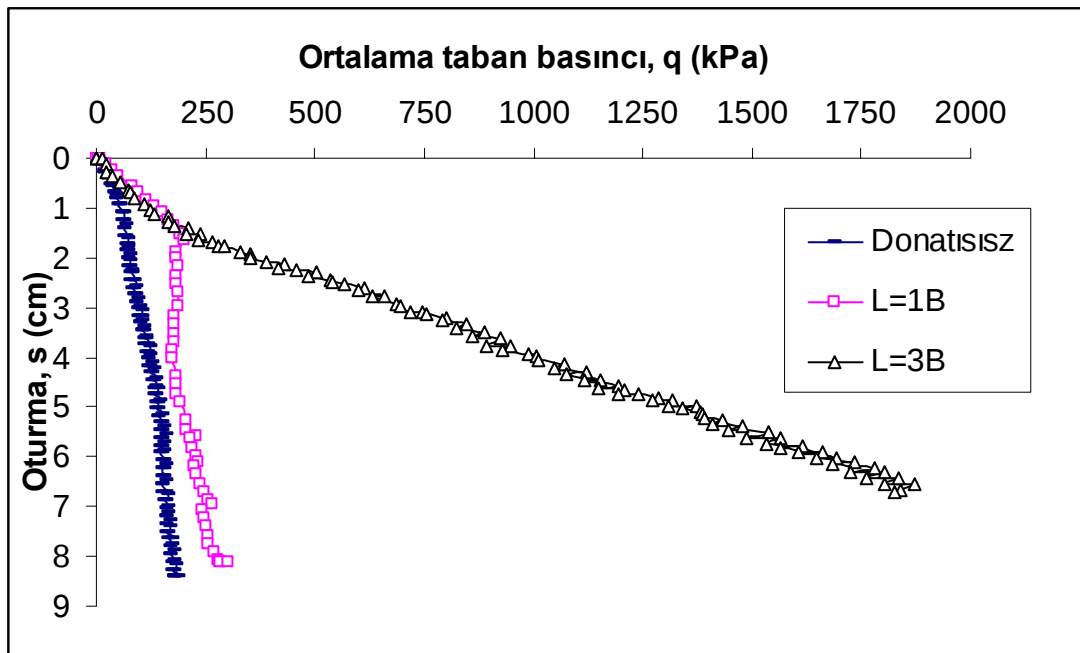


Şekil 4.87. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)

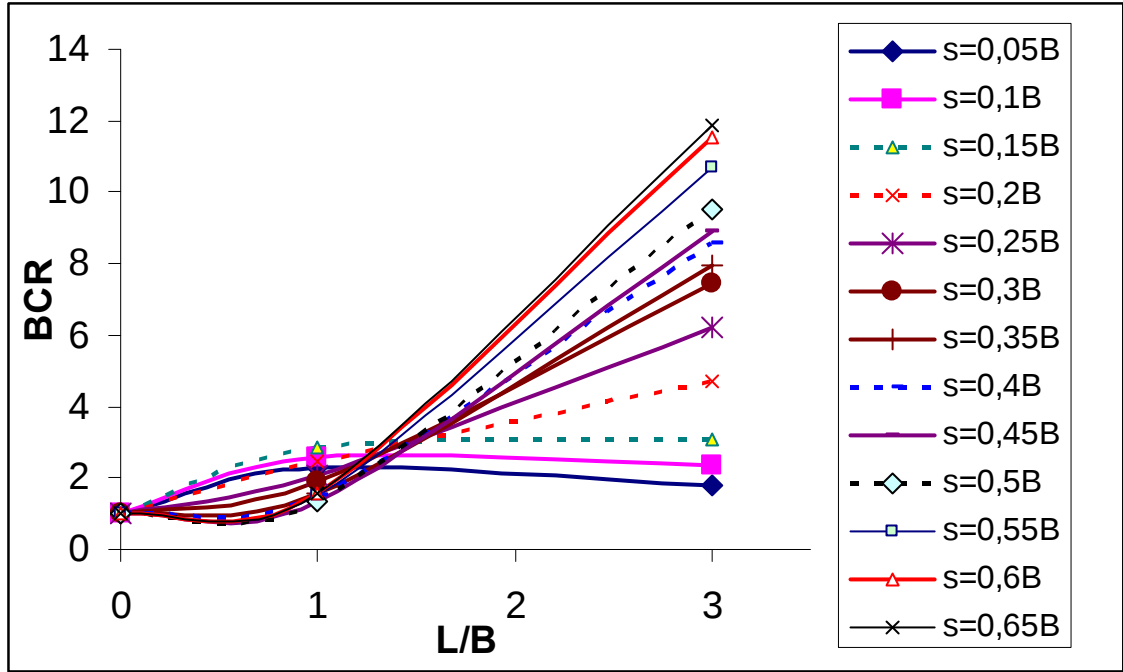
Bir başka grupta ise, donatı düşey aralığı $h/B=0,6$ alınarak $N=5$ iken ilk donatı derinliğinin $u=0,35$ olduğu sistemlerin donatı genişliğinin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Deneylerde donatı genişlikleri $L=B$ ve $3B$ alınmıştır. Şekil 4.88’de ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Temel plakasının farklı oturma aralıklarında taşıma kapasitesi oranının geogrid genişlik oranları ile değişimi Şekil 4.89-Şekil 4.91’de gösterilmiştir. Değişimin daha net görülebilmemesi için Şekil 4.89 ilk temel oturmaları ve büyük oturmalar olarak iki şekle ayrılmıştır (Şekil 4.90 ve Şekil 4.91). Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Geogrid genişliğinin temel genişliğine eşit olduğu ($L=B$) deneyde $s/B=0,15$ oturma oranından sonra temel zemini göçmeye başlamıştır.
- Küçük oturma oranlarında $L=B$ genişliğinde maksimum taşıma gücü oluşmuştur. $s>0,15$ ’de ise $L=3B$ ’de daha büyük BCR’ler gözlenmiştir. Büyük oturma oranlarında taşıma gücü yaklaşık 12 kat artmıştır.
- $L=3B$ genişlikli deneyde ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğiminin değiştiği görülmüştür.

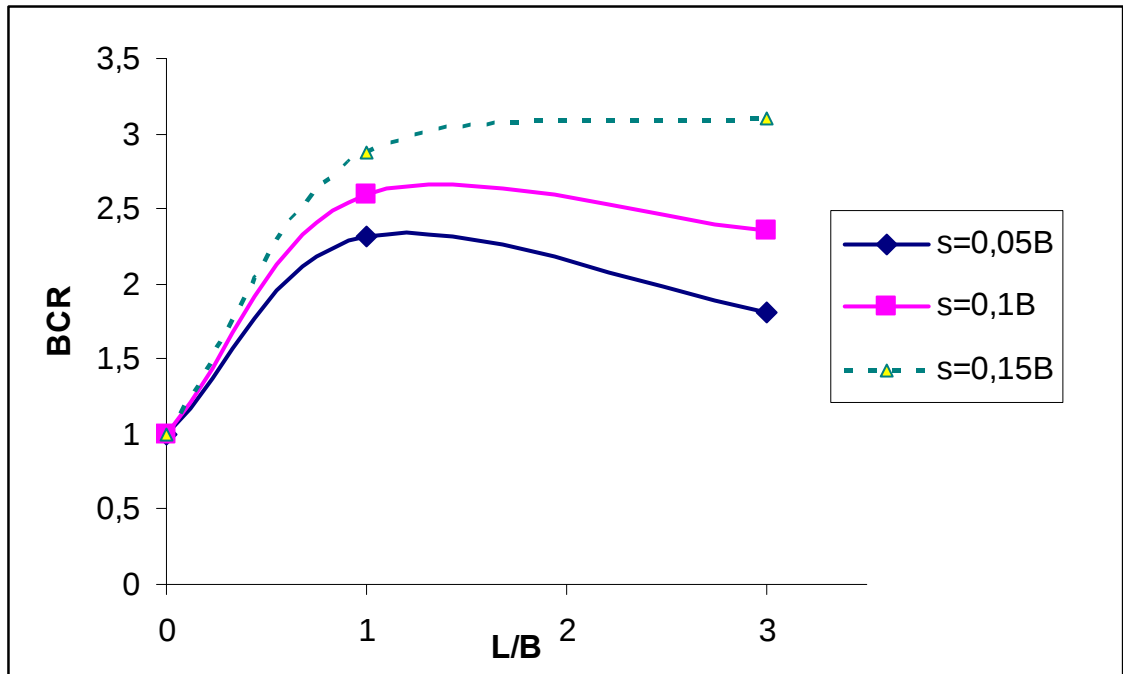
- $L=B$ ile $L=3B$ donatı genişlikli deneylerde; donatı düşey aralığı arttıkça ortalama taban basıncı-oturma davranışının tipik davranışlarının karakteristik özellikleri de büyümüştür. Yani $h=0,6B$ geogrid donatılı deneylerde $L=B$ deneyinde eğri $s/B=0,15$ 'den sonra donatısız deney eğrisine daha çok yaklaşmıştır. $L=3B$ deney grafiğinin ise daha küçük oturma miktarlarında daha büyük yükler alma eğilimi göstermiştir.
- Geogrid 1 donatı genişliğinin araştırma parametresi olarak seçildiği deney sonuçlarının tümü incelendiğinde; donatının diğer parametrelerinin sonuçları etkilediği görülmüştür. Maksimum nihai taşıma kapasitesinin elde edildiği Geogrid 1 donatı genişliği ortalama $L/B=3$ 'tür.



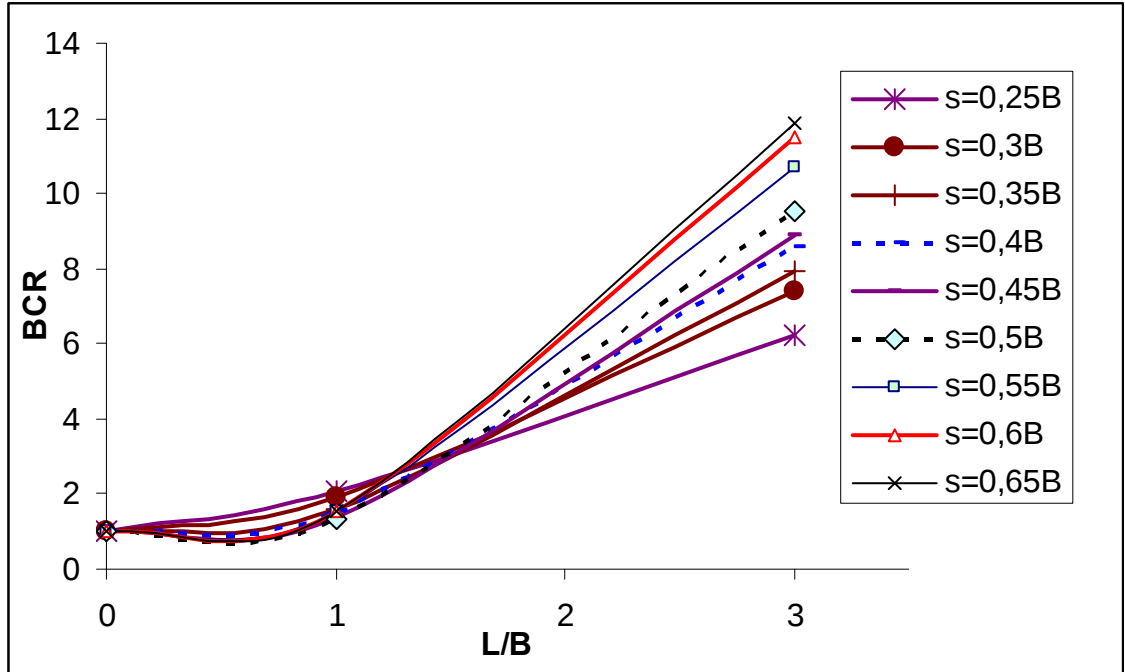
Şekil 4.88. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$)



Şekil 4.89. Farklı oturma oranlarında donatı genişliği ile taşıma kapasitesi oranının değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$)



Şekil 4.90. İlk oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$)



Şekil 4.91. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=5$)

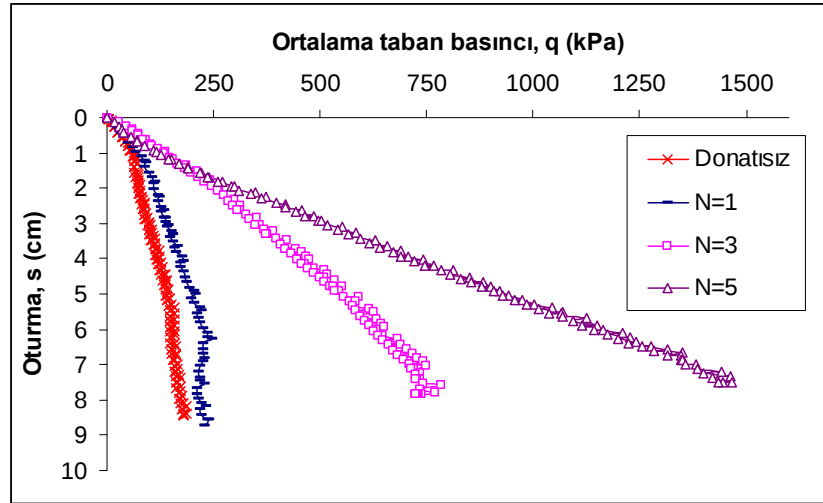
d. Donatılı tabaka sayısı;

‘Geogrid 1’ donatılı kum zemine oturan şerit temel plağının taşıma kapasitesi ile donatı sayısı (N) arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla beş seri deney yapılmıştır. İlk üç seride farklı donatı düşey aralıklarında, son iki seride ise değişik geogrid donatı genişliklerinde donatı tabaka sayılarının etkileri incelenmiştir. Her seri ayrı ayrı değerlendirilerek aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

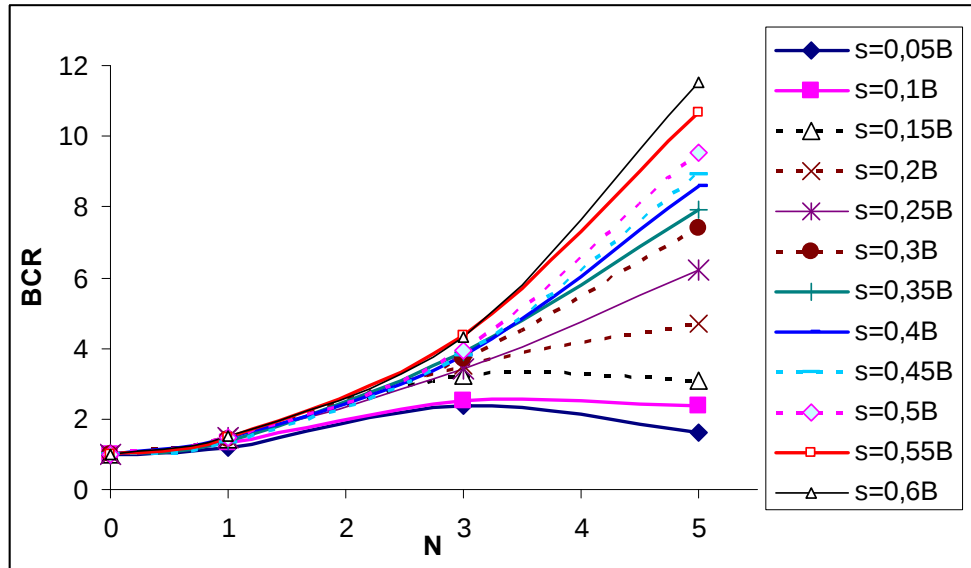
i. $h/B=0,2$ donatı düşey aralıklı sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Donatı genişliği ($L/B=3$); ilk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,2$) sabit alınarak donatılı tabaka sayısı $N=1, 3$ ve 5 için testler yürütülmüştür. Şekil 4.92’de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı- Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.93’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Küçük oturma oranlarında ($s/B \leq 0,15$) taşıma kapasitesinin maksimum olduğu $N_{opt}=3$ değeri optimum donatı sayısı gibi davranmıştır.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) maksimum taşıma kapasitesinin görüldüğü $N=3$ donatı tabaka sayılı deneyde taşıma kapasitesi 2,5-3,2 kat artmıştır.
- Temel plakasının oturma miktarı arttıkça zemine eklenen diğer donatılara da yük ulaşmış ve geogridler çekme mukavemeti ile taşıma kapasitesini arttırmıştır. Yani $s/B \geq 0,2$ oturma oranında sisteme geogrid donatı eklendikçe taşıma kapasitesi artarak büyümüştür.
- $N=5$ olduğunda ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin eğiminin yönü değişmiştir. Eğrinin deneyin karakteristik davranışını yansıtabilmek için takip ettiği eğim nedeniyle $s/B \leq 0,15$ değerinden önce taşıma kapasitesi $N=3$ 'den daha küçük olduğu tahmin edilmiştir.
- Oturma oranı arttıkça $N=5$ donatılı sistemde diğerlerine nazaran taşıma kapasitesi daha fazla büyümüştür. Örneğin; $s/B=0,05$ iken taşıma kapasitesi oranı $BCR \approx 1,6$ iken, $s/B=0,4$ değerinde $BCR \approx 8,6$ ve $s/B=0,6$ olduğunda ise $BCR \approx 11,5$ 'dir.
- Oturma oranı ($s/B > 0,15$) ve donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi değeri de yükselmiştir. Donatı tabakası fazlaştıkça sistemin yaptığı maksimum oturma miktarı azalmıştır. Yani büyük yükler altında temel plakasında küçük oturmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.92. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$)



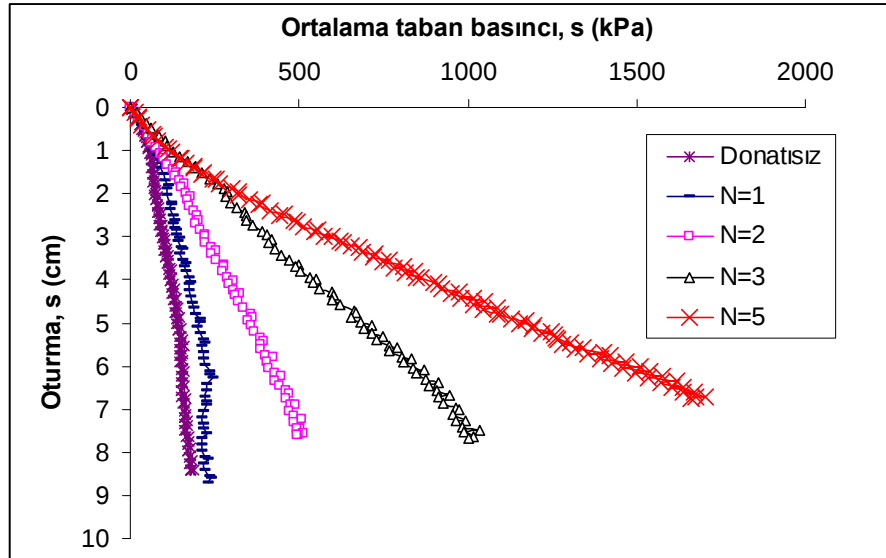
Şekil 4.93. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)

ii. $h/B=0,4$ donatı düşey aralıklı sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

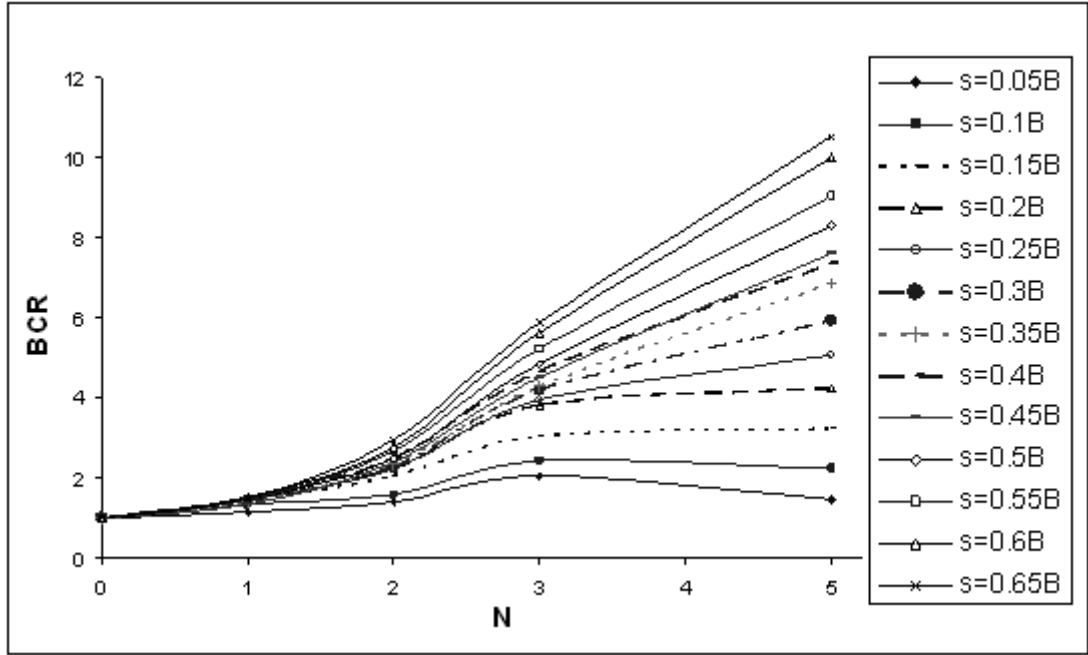
İkinci seride donatı genişliği ($L/B=3$); ilk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak donatılı tabaka sayısı $N=1, 2, 3$ ve 5 için deneyler

tamamlanmıştır. Şekil 4.94’de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı- Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.95’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Temel plakasının ilk oturma değerlerinde ($s=0,05B$ ve $0,1B$) donatı tabaka sayısının optimum bir değerinde orta sıkı donatılı kumun taşıma kapasitesi maksimuma ulaşmıştır. Bu değer $N_{opt}=3$ ’tür.
- Oturma oranları $s/B=0,15$ ve $0,2$ civarında donatı sayısı $N=3$ ve $N=5$ için taşıma kapasitesi maksimum olup yaklaşık aynı değerdedir. Oturma oranı $s/B \geq 0,25$ ’den itibaren donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüşür. Büyük oturma oranlarında ise ($s/B \geq 0,4$ ’den itibaren) bu artış oranı yükselmiştir.
- $N=5$ donatı sayılı deneyin ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin eğimi değişmiştir. $N=2$ ve $N=3$ donatı tabaka sayılı deney eğrilerinde ise $s=0,7B$ ’den sonra akma noktası oluşmuştur. Ortalama taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğriler lineer davranış göstermiştir.



Şekil 4.94. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



Şekil 4.95. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)

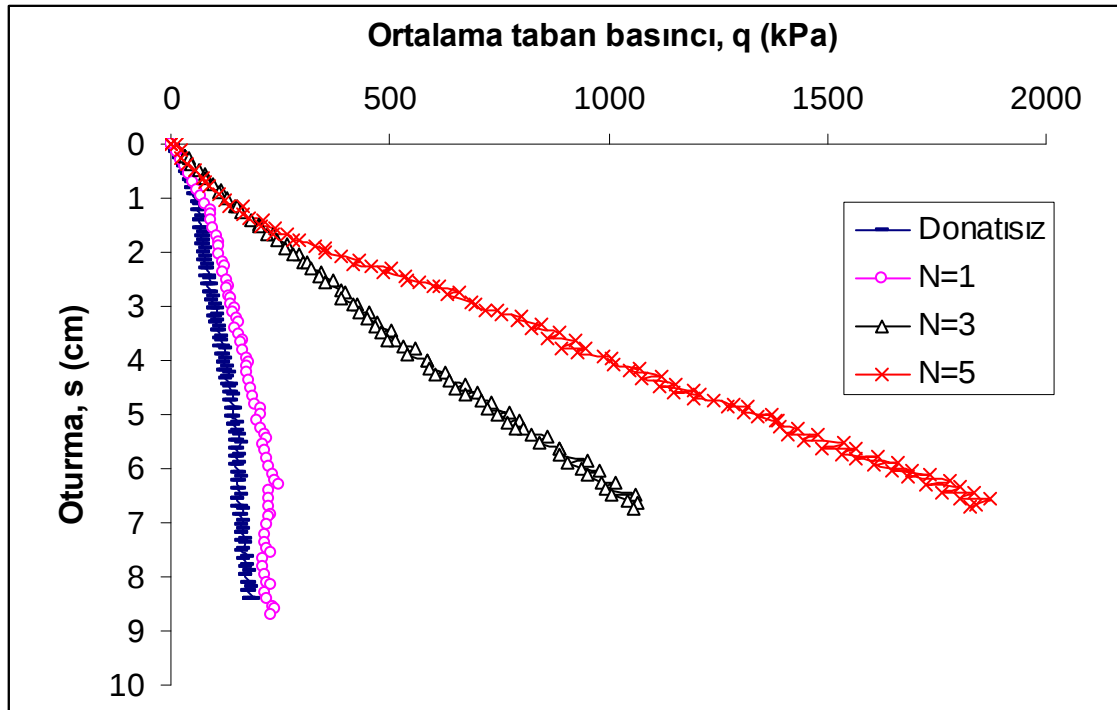
iii. $h/B=0,6$ donatı düşey aralıklı sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Üçüncü seride; donatı düşey aralığı $h/B=0,6$ 'da donatılı tabaka sayısı $N=1, 3$ ve 5 için araştırma yapılmıştır. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. Şekil 4.96'de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.97'de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

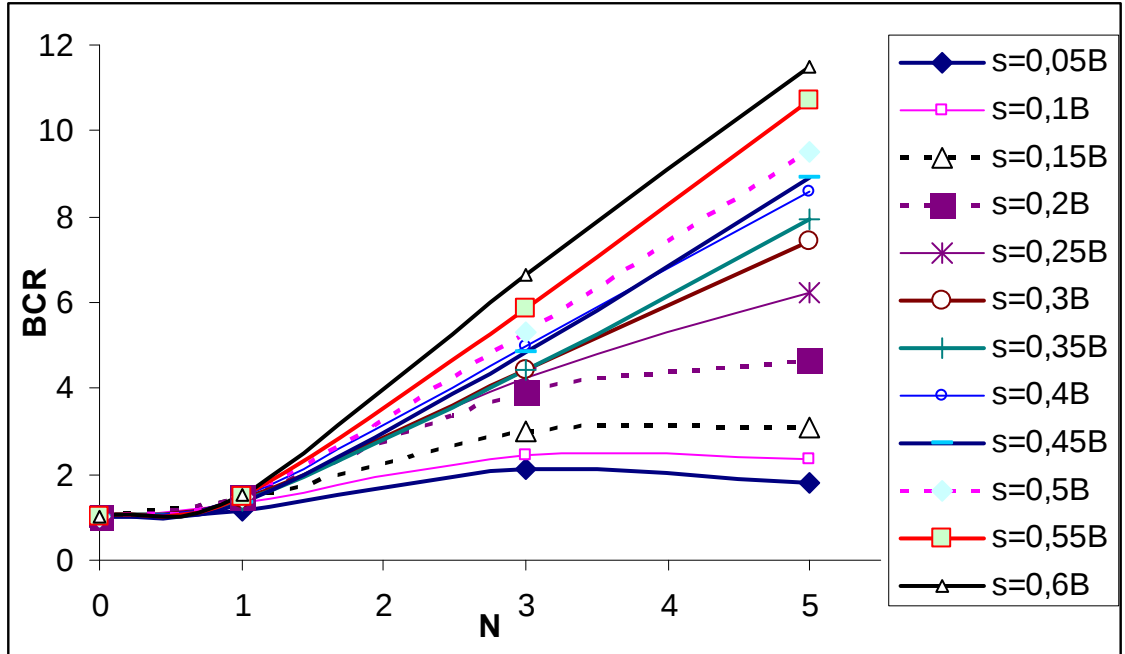
- Temel plakasının ilk oturma değerlerinde ($s=0,05B$ ve $0,1B$) donatı tabaka sayısının optimum bir değerinde orta sıkı donatılı kumun taşıma kapasitesi maksimuma ulaşmıştır. Bu optimum geogrid donatı tabaka sayısı bir önceki serideki gibi $N_{opt}=3$ 'tür.
- Oturma oranları $s/B=0,15$ ve $0,2$ civarında donatı sayısı $N=3$ ve $N=5$ için taşıma kapasitesi yaklaşık aynı değerdedir. Oturma oranı $s/B \geq 0,25$ 'den itibaren donatı sayısı

arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür. $s/B \geq 0,3$ 'den itibaren bu artış oranı yükselmiştir.

- N=3 ve 5 donatı sayılı deneyinin ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin davranışı diğerlerinden farklı çıkmıştır. Özellikle N=5 donatılı durumda yük-oturma eğrisinin eğimi gittikçe azalmış ve birim oturma için gerekli basınç miktarı daha da artmıştır.
- Donatı tabaka sayısı N=5 olduğunda yük hızla artarken oturmalar sabitleşmeye başlamıştır. Maksimum taşıma kapasiteleri ($s/B \geq 0,25$) donatı tabaka sayısı N=5 iken oluşmuştur.



Şekil 4.96. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$)

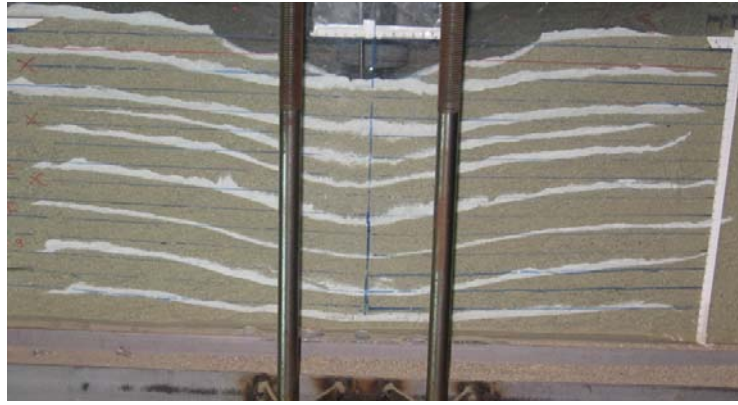


Şekil 4.97. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)

Aşağıdaki Şekil 4.98 ve Şekil 4.99’da $h/B=0,2$ ve $0,6$ donatı düşey aralıklarında Geogrid 1 donatısı ile yapılan $N=3$ tabaka sayılı deneyde meydana gelen oturmalar görülmektedir. Beyaz çizgiler kasaya tabakalar halinde kum serilirken kasa cam yüzeyine yakın bölgeye yerleştirilen ve beyaza boyanan kumun yaptığı oturma profilidir. Mavi çizgiler ise cam yüzeyine deney öncesinden kalemle çizilen deformasyon kontrol şeritleridir. Oturma yüzeylerinin daha net gözükmesi için modelin üst kısmı fotoğraflanmıştır. Söz konusu şekiller incelendiğinde; donatılı tabakaların daha üniform oturduğu, donatılı bölgenin altında kalan geogridsiz zonda ise meydana gelen oturmaların temel merkezinde daha fazla olduğu gözlenmiştir. $h/B=0,6$ ’da $h/B=0,2$ donatı aralıklı duruma nazaran oturmalar daha derinlerde de oluşmuştur.



Şekil 4.98. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$; $N=3$)

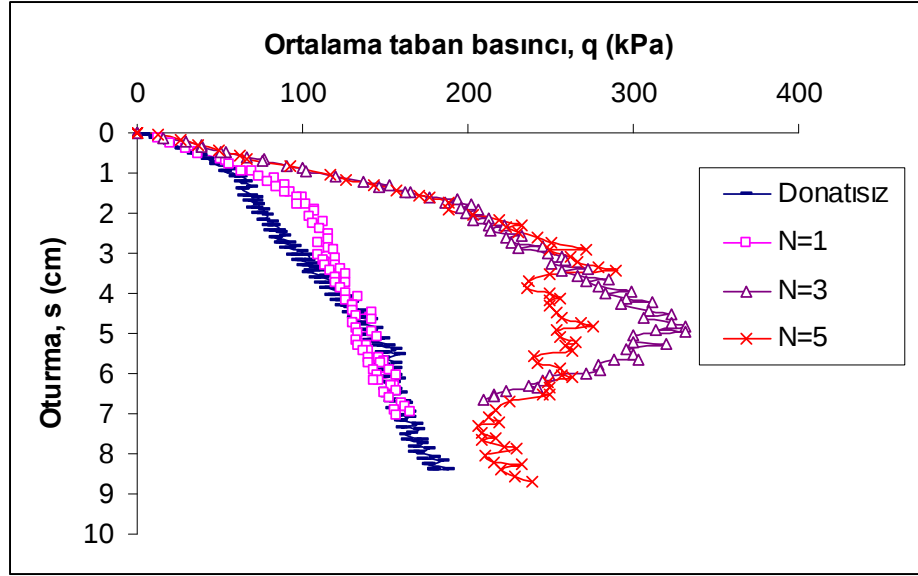


Şekil 4.99. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$; $N=3$)

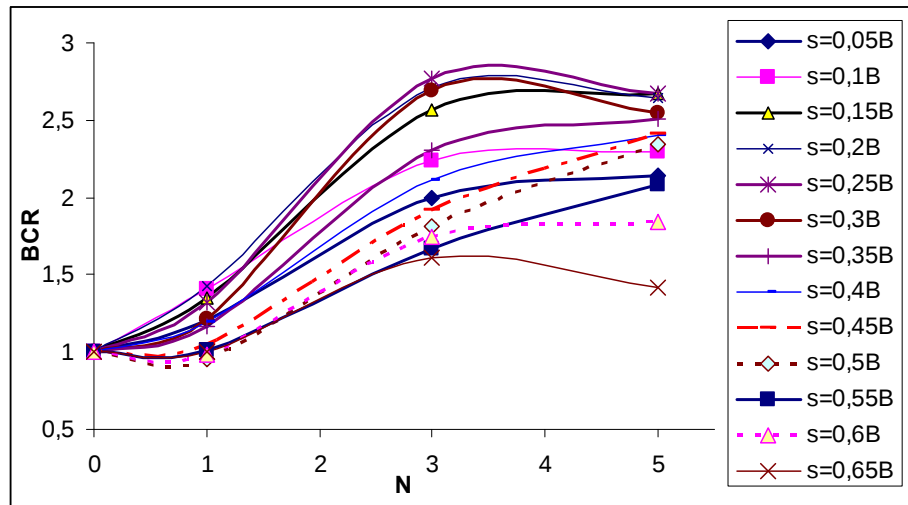
iv. $L/B=1$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Dördüncü seride; donatı genişliği $L/B=1$ için donatılı tabaka sayısının $N=1, 3$ ve 5 değerlerinde taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Deneylerde ilk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.100’de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.101’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Farklı oturma oranlarındaki davranışın daha net görülebilmesi için Şekil 4.101 iki parçaya ayrılmıştır (Şekil 4.102 ve Şekil 4.103). Gözlenen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

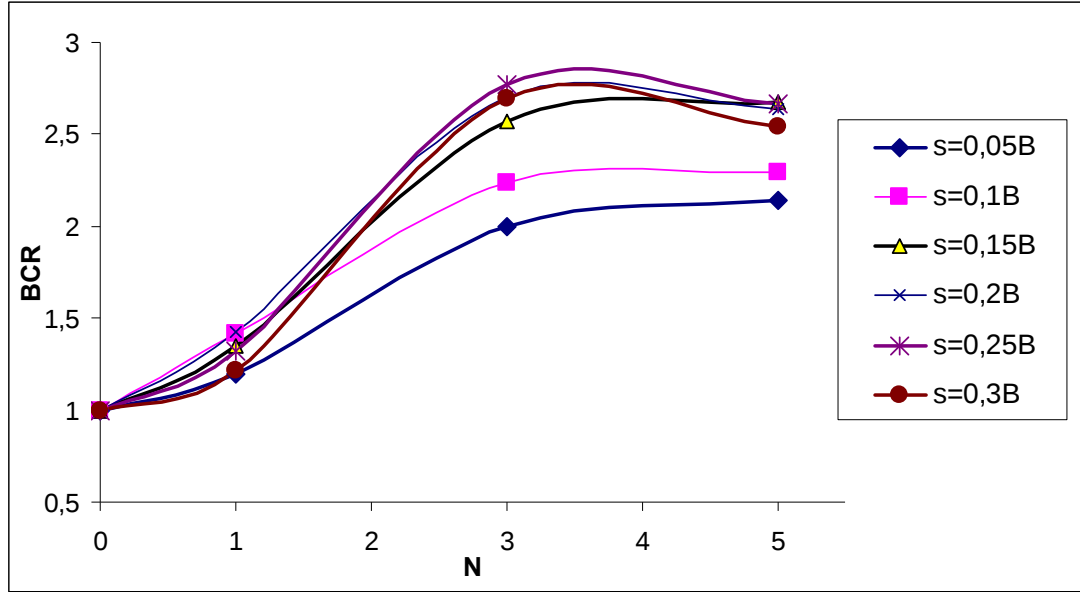
- Donatı tabaka sayısının optimum bir değerinde orta sıkı donatılı kumun taşıma kapasitesi maksimuma ulaşmıştır. Bu optimum geogrid donatı tabaka sayısı $N_{opt}=3$ 'tür. $N=3$ 'te BCR, donatısız duruma göre yaklaşık 2,8 kat artmıştır.
- $s/B=0,25$ oturma oranına kadar temel plakasının oturma miktarı arttıkça taşıma kapasite oranı da büyümüştür. Fakat $s/B=0,3$ 'ten itibaren şerit temel oturması arttıkça taşıma kapasitesi de aynı hızda azalmıştır.
- $s/B=0,35$ 'ten itibaren donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi oranı da büyümüştür.
- $L=B$ donatı genişlikli deneylerde donatılandırılmış orta sıkı kumda donatısız duruma nazaran daha fazla oturma yapıldıktan sonra ilk kırılma noktaları oluşmuştur
- $N=3$ ve $N=5$ donatı tabaka sayısına sahip deneylerde donatılı orta sıkı kumun göçme davranışı; donatısız sıkı kohezyonsuz zemine benzer ortalama taban basıncı-oturma eğrileri oluşmuştur.
- $s/B=0,25$ oturma oranına kadar oturma miktarı arttıkça taşıma gücü değerleri de büyümüştür. $s/B>0,25$ olduğunda ise tam tersi bir durum gözlenmiştir. Örneğin; küçük oturma oranlarında elde edilen maksimum taşıma kapasiteleri incelendiğinde; $s/B=0,05$ 'te $BCR_{max}=2,14$; $s/B=0,15$ için $BCR_{max}=2,67$; $s/B=0,25$ iken $BCR_{max}=2,8$ 'dir. Büyük oturma oranlarında ise; $s/B=0,4$ için maksimum taşıma kapasitesi oranı $BCR_{max}=2,4$; $s/B=0,6$ için $BCR_{max}=1,8$ 'dir.
- $L=B$ durumunda zeminde farklı donatı sayıları değişik maksimum ortalama taban basınçları vermiş ve yaklaşık 6 cm oturma mertebelerinde oturma devam ederken yük düşmeye başlamıştır. $N=3$ ile 5 donatılı zeminlerin nihai yük değerleri birbirine yaklaşmıştır.



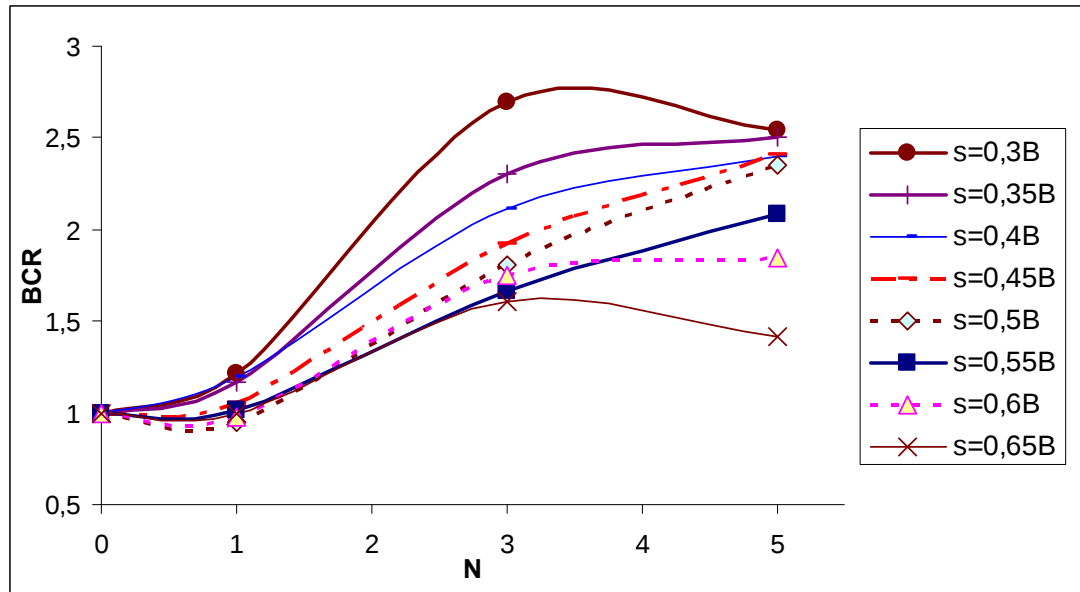
Şekil 4.100. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)



Şekil 4.101. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)



Şekil 4.102. İlk temel oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)

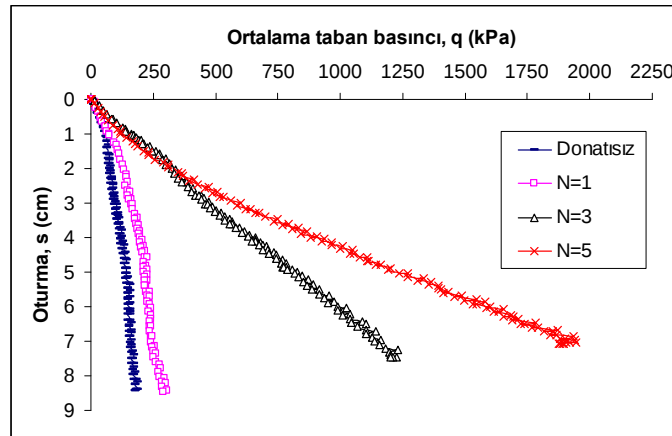


Şekil 4.103. Büyük oturma oranlarında taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)

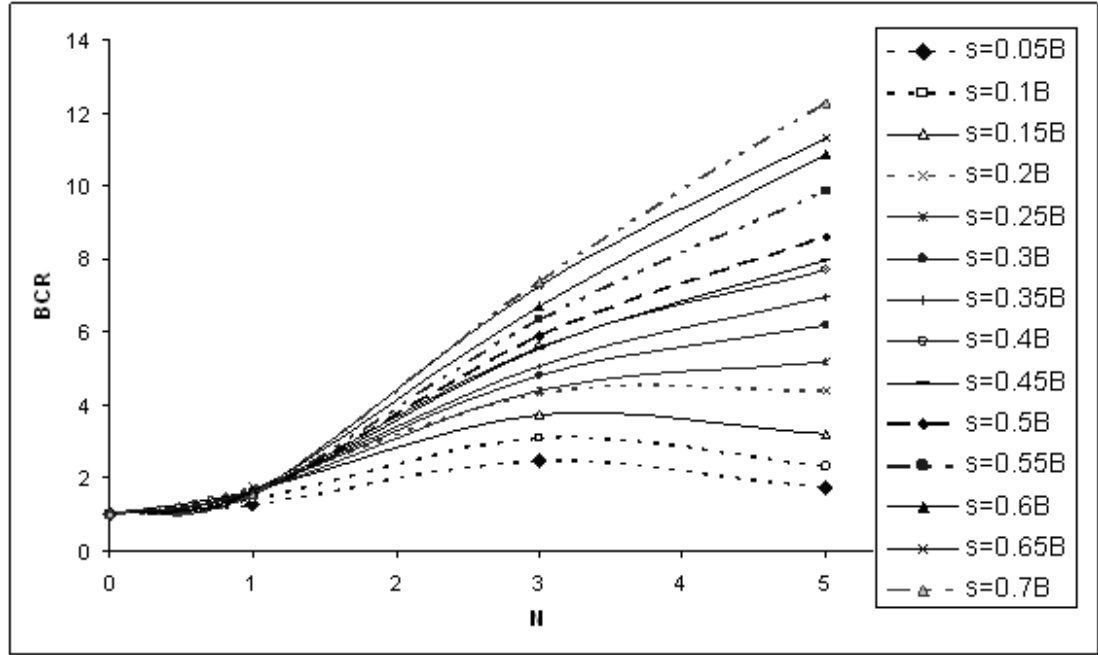
v. $L/B=5$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

Beşinci seride; donatı genişliğinin $L/B=5$ değerinde donatılı tabaka sayısı $N=1, 3$ ve 5 'de deneyler yapılmıştır. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.104'de testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.105'de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Şekiller incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- $s/B < 0,25$ 'de maksimum taşıma kapasitesine $N_{opt}=3$ optimum geogrid donatı sayısında ulaşılmıştır.
- Büyük oturma oranlarında ise ($s/B \geq 0,25$) donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasitesi oranı da büyümüşür.
- Oturma oranı arttıkça hesaplanan maksimum taşıma gücü de büyümüşür. Örneğin; $s/B=0,05$ oturma oranında $BCR=2,44$; $s/B=0,15$ için $BCR=3,72$ ve $s/B=0,2$ iken $BCR=4,39$ taşıma kapasitesi oranı değerleri okunmuştur. Büyük oturma değerlerinde; $s/B=0,4$ iken $BCR=7,7$ ve $s/B=0,6$ için $BCR=10,9$ 'dur.
- Ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde; donatı tabaka sayısı $N=5$ iken taşıma kapasitesi artarken, oturma oranı hızla azalma eğilimi göstermiştir. $N=3$ tabakalı deneyde ise ortalama taban basıncı ile temel plaka oturması lineer artmıştır.



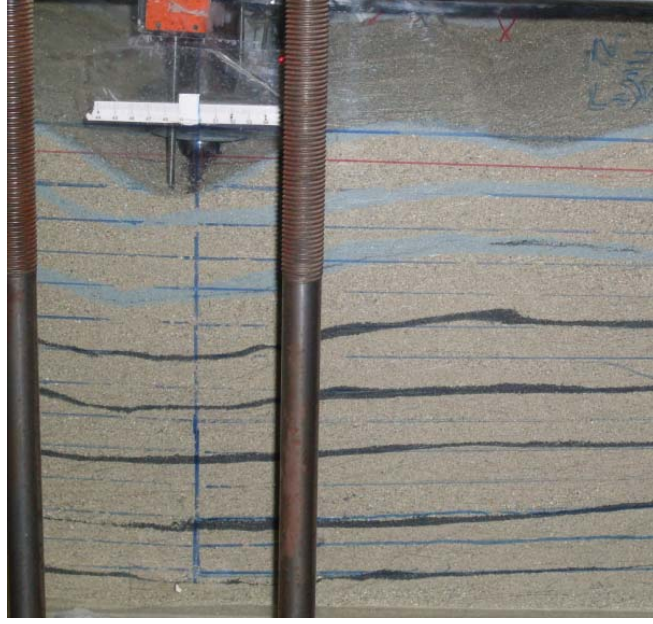
Şekil 4.104. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$)



Şekil 4.105. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$)

Aşağıdaki Şekil 4.106, Şekil 4.107 ve Şekil 4.108’de $h/B=0,4$ ’de, ilk donatı derinliği $u=0,35$ ve donatı genişliği $L=5B$ ve Geogrid 1 donatı tabaka sayısı $N=1, 3$ ve 5 olan modellerin üst kısmında oluşan oturma profilleri görülmektedir. Şekillerde kalın çizgiler kum tabakaları arasına serpilmiş boyalı kum, ince tek dikey ve yatay çizgiler ise cam üzerine kalemle çizilen koordinat şeritleridir.

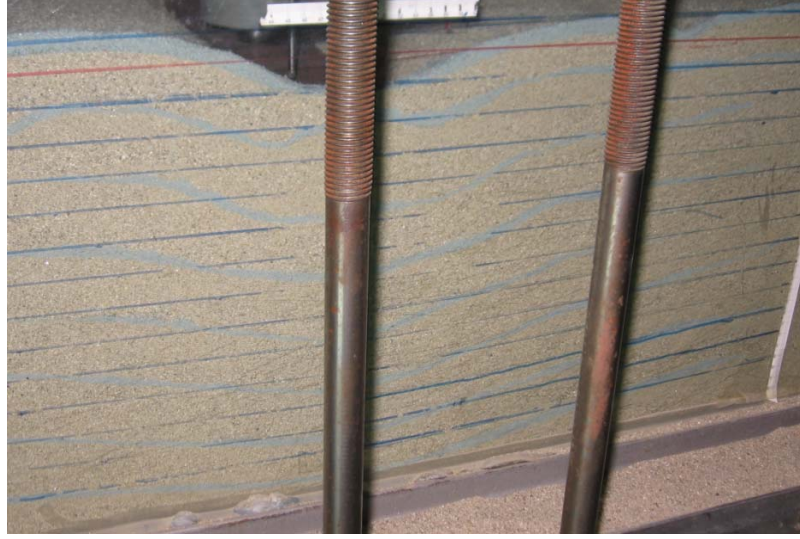
Donatılı sayısı değiştikçe oturma profillerinin şekli de farklılaşmıştır. Tek donatılı durumda oturma yüzeyleri daha üniform oluşmuştur. $N=3$ ve 5 olduğunda ise temel merkezinde temel kenarlarına nazaran daha fazla oturma meydana gelmiştir. Donatı sayısı arttıkça yanlarda ve derinlerde daha fazla değişim olduğu gözlenmiştir. $L=5B$ donatı genişlikli ve donatı sayısı $N=1, 3$ ve 5 olan tüm deneylerde; temel kenarlarında genel kayma göçmesinde olduğu gibi bariz zemin kabarmaları görülmüştür.



Şekil 4.106. Donatılı deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $N=1$)



Şekil 4.107. Donatılı deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.108. Donatılı deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=5$)

Geogrid 1 donatılı sistemlerde donatı sayısının araştırıldığı tüm deney sonuçları incelenmiş ve özet olarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır;

- $3B$ derinlik seviyesine kadar olan alan içinde donatı sayısı değiştirilmiş, donatı sayısı ile taşıma kapasitesi de artmıştır.
- Küçük oturma oranları için ($s/B < 0,3$) $2B$ 'den daha büyük derinliklerdeki donatı tabaka sayılarında, taşıma kapasitesinin artış hızı önemli mertebede olmamıştır. Efektif donatılı zon derinliği yaklaşık $2B$ 'dir. Büyük oturma oranlarında ise efektif zon derinliği yaklaşık $2,5B$ 'dir.
- Küçük oturma aralıklarında ($s=0,05-0,3$) taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum donatı sayısı $N=3$ 'tür. $s/B=0,25$ oturma oranına kadar temel plakasının oturma miktarı arttıkça taşıma kapasite oranı da büyümüştür. $s/B \geq 0,3$ 'den itibaren bu artış oranı yükselmiştir.
- Donatı genişliğinin $L > B$ olması halinde, donatı tabaka sayısı $N=5$ olduğunda yük hızla artarken oturmalar sabitleşmeye başlamıştır. Maksimum taşıma kapasiteleri ($s/B \geq 0,25$) donatı tabaka sayısı $N=5$ iken oluşmuştur.
- $L > B$ iken büyük donatı sayılı ($N > 3$) deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrisinin eğimi değişmiş ve birim düşey oturma için gerekli yük miktarı artmıştır.

- Diğer donatı konfigürasyon parametreleri (u , h) sabit kalmak üzere, donatı genişliğinin (L) büyümesi ile aynı donatı tabakası sayılarına karşılık gelen BCR değerleri de artmıştır.
- N , değişken seçilerek yürütülen deneylerde Geogrid 1 donatılı kumun nihai taşıma kapasitesi, donatısız kumunkine oranla küçük oturma oranlarında yaklaşık 4 kat, büyük oturma oranlarında ise yaklaşık 12 kat daha büyük değer alabilmiştir.

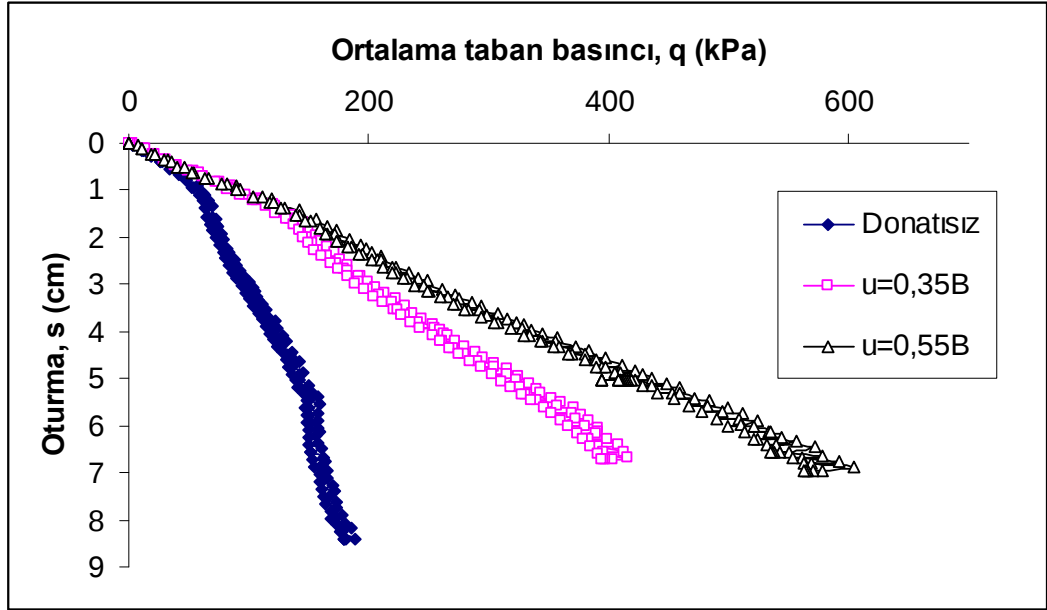
B. Geogrid 2 donatılı zeminin deney sonuçları:

Geogrid 2 olarak isimlendirilen geogrid donatı kullanılan orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temelin davranışı incelenmiştir. Deneylerde farklı donatı konfigürasyonu parametrelerinde taşıma kapasitesi hesapları yapılmıştır. Aşağıda her parametre ayrı maddeler halinde incelenmiştir;

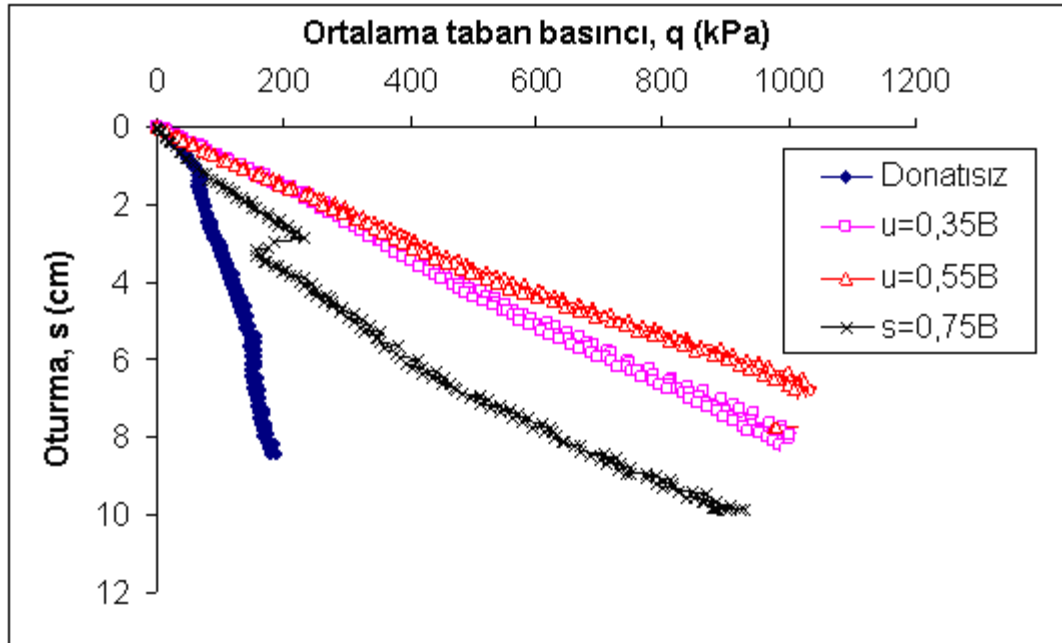
a. İlk donatı derinliği;

Bu bölümde ilk donatı tabaka derinliğinin, çok tabaka ‘Geogrid 2’ donatılı ($N \geq 2$) orta sıkı kum zeminler üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde sadece çok tabakalı durumlar için değerlendirmeler yapılmış, tek tabakalı durum göz önünde bulundurulmamıştır.

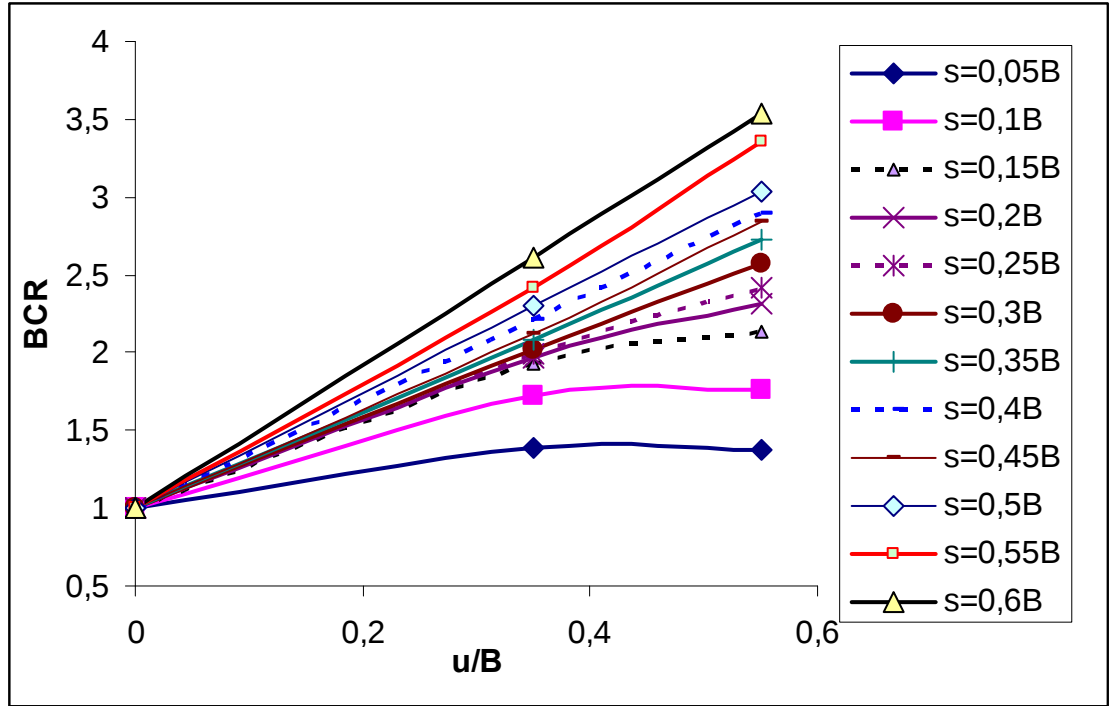
Deneylerde donatı boyu ($L=3B$) ve düşeyde donatı aralığı ($h/B=0,4B$) sabit alınmıştır. İlk donatı derinliği $u=0,35B$; $0,55B$ ve $0,75B$ değerlerinde alınarak donatı sayısı $N=2$ ve 3 için iki ayrı seri deney yapılmıştır. Ortalama taban basıncı (q)-Oturma (s) eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları Şekil 4.109 ve Şekil 4.110’da verilmiştir. Şekil 4.111 ve Şekil 4.112’de farklı oturma oranlarında ilk donatı derinliğinin taşıma kapasitesi ile olan ilişkisini verilmiştir. Söz konusu şekillerden çıkarılan değerlendirmeler aşağıdaki gibi sıralanmıştır;



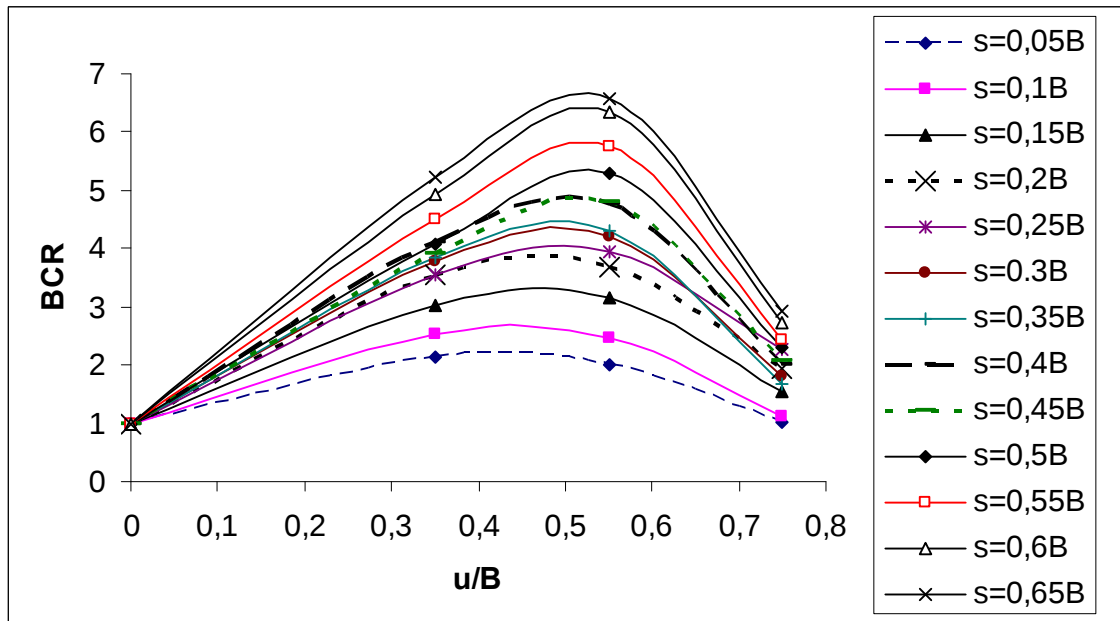
Şekil 4.109. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.110. Değişik derinlik değerlerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.111. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$)

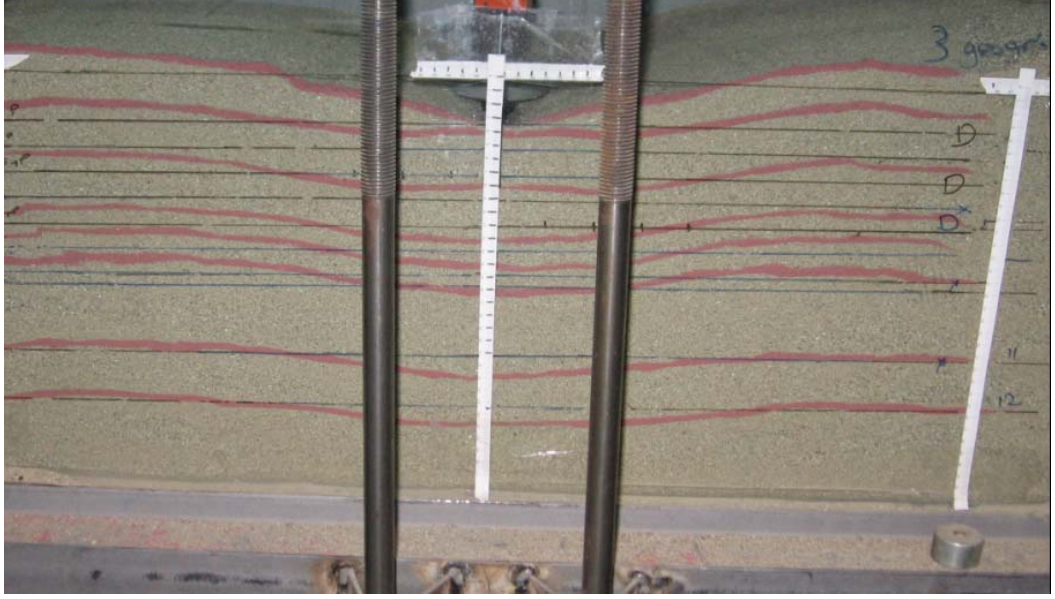


Şekil 4.112. Farklı oturma oranlarında u/B -BCR ilişkisi ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)

- N=2 ve 3 donatı tabaka sayılı her iki grupta deneyde de ortalama $u/B=0,55$ ilk donatı derinliğinde maksimum taşıma kapasitesine ulaşılmıştır.
- Donatı tabaka sayısı N=2 olan deneylerde küçük oturma oranlarında ($s/B \leq 1$), ilk donatı tabaka derinliği $u/B=0,35$ ve $0,55$ için taşıma kapasitesi oranları birbirine çok yakındır. Oturma oranı arttıkça u/B değerinin büyümesi ile taşıma kapasitesi oranı değerleri de artmıştır. Örneğin; $s/B=0,05$ oturma oranında $BCR=1,37$; $s/B=0,15$ için $BCR=2,14$; $s/B=0,4$ oturma oranında $BCR=2,89$ ve $s/B=0,6$ iken $BCR=3,5$ 'tur.
- N=3 donatı tabaka sayılı deneyde tüm oturma oranlarında maksimum taşıma kapasitesi $(u/B)_{opt}=0,55$ optimum donatı derinliğinde oluşmuştur.
- Farklı oturma oranlarında meydana gelen maksimum taşıma gücü değerleri değişmiştir. Oturma oranı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür. Örneğin; $s/B=0,05$ oturma oranında $BCR=2$; $s/B=0,15$ için $BCR=3,17$; $s/B=0,4$ oturma oranında $BCR=4,8$ ve $s/B=0,6$ iken $BCR=6,3$ 'tür.
- Donatı sayısı N=2'den 3'e çıkarıldığında maksimum taşıma kapasitesi oranı ortalama yaklaşık 1,5 kat artmıştır.
- $u=0,75B$ ilk donatı derinliğine sahip donatılı zeminde yapılan deneyde, uygulanan basınçla ani bir yük düşüşü oluşmuştur. Temel plakasına basınç uygulanmaya devam edildikçe, okunan yük değeri yeniden artmaya başlamıştır. Bunun nedeni olarak; zemine konan donatının temel plakası altında yeterli derinlikte olmadığı için meydana geldiği düşünülmüştür.

Aşağıdaki Şekil 4.113 ve Şekil 4.114'de ilk donatı derinliği $u=0,35$ ve $0,75$ olan orta sıkı kumda meydana gelen oturma profilleri görülmektedir. Testlerde; $h/B=0,4$; $L=5B$, ve $N=3$ 'tür. Söz konusu Şekiller incelenmiş ve şu değerlendirmeler yapılmıştır;

Donatı derinliği azaldıkça orta sıklıktaki deney zemini temel kenarında daha fazla kabarma yapmıştır. İlk donatı derinliği $u=0,35$ için deney kasasının temel plakası tabanına yakın donatılı bölge altında oturmalar artmıştır. $u/B=0,75$ olduğunda ise daha az yükte daha fazla oturma olmuştur. Her iki deneyde de donatı tabakaları üniforma yakın oturma yapmıştır ve donatı altlarında oturma şekli daha temel kenarlarına doğru daha fazla açılış yaparak devam etmiştir.



Şekil 4.113. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.114. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,75$; $L/B=5$; $h/B=0,4$; $N=3$)

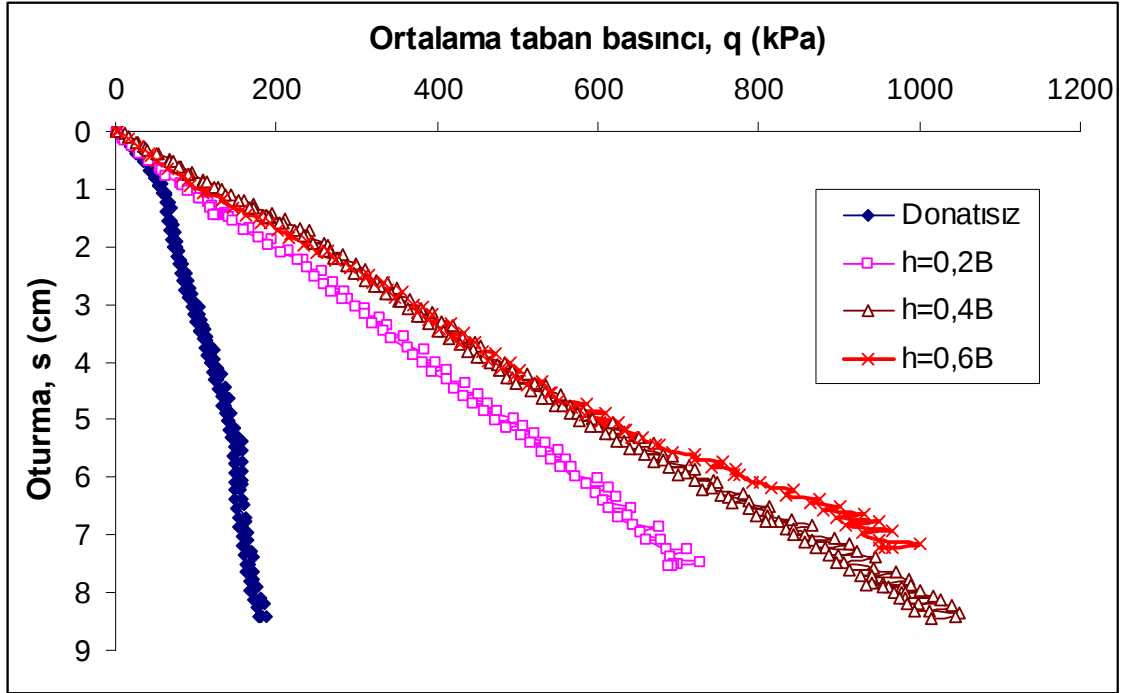
b. Donatı düşey aralığı;

Deney kasası içindeki kum zemin üzerine yatay olarak serilen ‘Geogrid 2’ donatı tabakaları arasındaki düşey mesafenin (h) yüzeysel şerit temelin yük-oturma davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu bölümde donatı düşey aralığının etkilerini görebilmek amacıyla tek seri deney yapılmıştır.

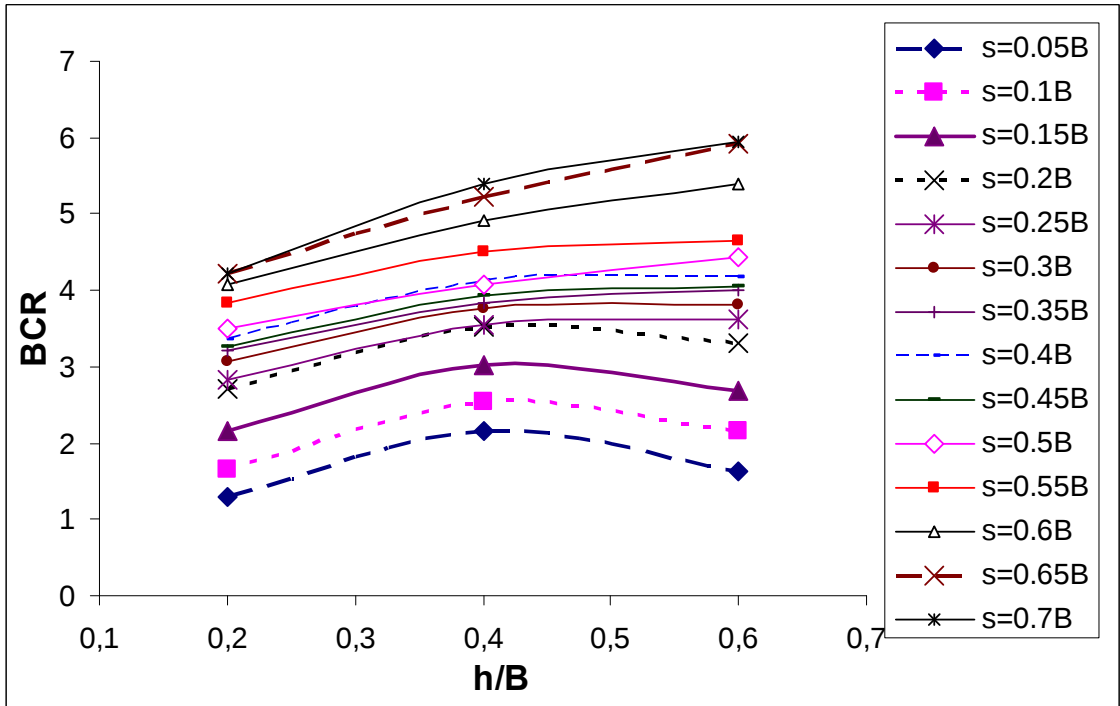
Testlerde; geogrid donatı genişliği temel genişliğinin üç katı ($L=3B$) seçilmiştir. Donatı tabaka sayısı ($N=3$) ve ilk donatı derinlik oranı ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Literatür incelenerek, düşeyde donatı tabaka aralık oranı $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ değerlerinde testler tamamlanmıştır.

Düşeyde donatı aralığının değişik değerlerinde elde edilen Ortalama taban basıncı- Oturma eğrileri Şekil 4.115’te verilmiştir. Test süresince meydana gelen farklı oturma oranları (s/B) için donatı düşey aralığı (h/B) ile taşıma kapasitesi oranı (BCR) ilişkilendirilmiştir (Şekil 4.116). Şekillerin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Çok donatılı orta sıkı kumlarda $N=3$ geogrid sayısı için temel plakasının yaptığı küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,2$) taşıma kapasitesinin optimum donatı aralığında olduğu görülmüştür. Bu değer $(h/B)_{opt}=0,4$ ’tür.
- $s/B=0,25-0,45$ oturma oranlarında donatı aralığının $h=0,2B$ ile $0,6B$ deneyleri aynı taşıma kapasitesine sahiptir.
- Büyük oturma oranlarında ise ($s/B \geq 0,5$) donatı aralığı arttıkça taşıma kapasitesi de lineer olarak artmıştır.
- Donatı derinliği (u) ve geogrid genişliği (L) parametreleri sabit alındığında, donatılı kumun maksimum taşıma kapasitesi oturma oranı arttıkça büyümüştür. Örneğin; $s/B=0,05$ için $BCR=2,15$; $s/B=0,15$ iken $BCR=3,01$ ve büyük oturma oranlarında ise $s/B=0,4$ $BCR=4,16$; $s/B=0,6$ ’da ise $BCR=5,4$ ’tür.



Şekil 4.115. Değişik donatı aralıklarındaki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=3$)



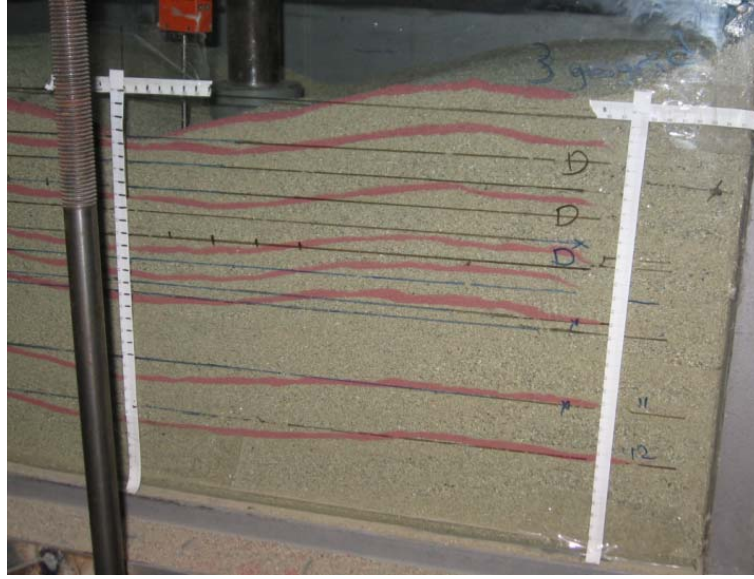
Şekil 4.116. Farklı oturma oranlarında donatı aralık oranı ile taşıma kapasitesi oranı değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)

Aşağıda Şekil 4.117, Şekil 4.118 ve Şekil 4.119’da farklı donatı düşey aralıklarına sahip Geogrid 2 donatılı sistemlerde meydana gelen oturma profilleri verilmiştir. Zemin içerisinde oluşan oturma davranışının da belirlenmesi için test öncesinde zemin içerisine tabakalar halinde kasa cam yüzeye yakın kısma ince film şeklinde boyalı kum serpilmiştir. Plaka yükleme deneyinde renkli kumun hareketinden belirlenen oturma şekilleri incelenmiştir.

Donatı düşey aralığı arttıkça ilk donatılı tabakanın deformasyonu daha fazla sınırlanmıştır. Donatı tabaka düşey aralığı azaldıkça, kayma zonu temel plakasına yakın donatılı bölge altında oluşmuştur. Donatı aralığı değiştiğinde oturma yüzey şekilleri de farklılaşmıştır. $h/B=0,2$ ’de temel merkezi altında kenarlara nispeten daha fazla oturma olmuştur. Diğerlerinde ise temel plakası genişliğince üniform oturmaya yakın deformasyon görülmüştür. her üç deneyde de temel kenarında genel kayma göçmesine benzer şekilde belirgin kum kabarmaları gözlenmiştir.



Şekil 4.117. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$; $N=3$)



Şekil 4.118. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.119. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$; $N=3$)

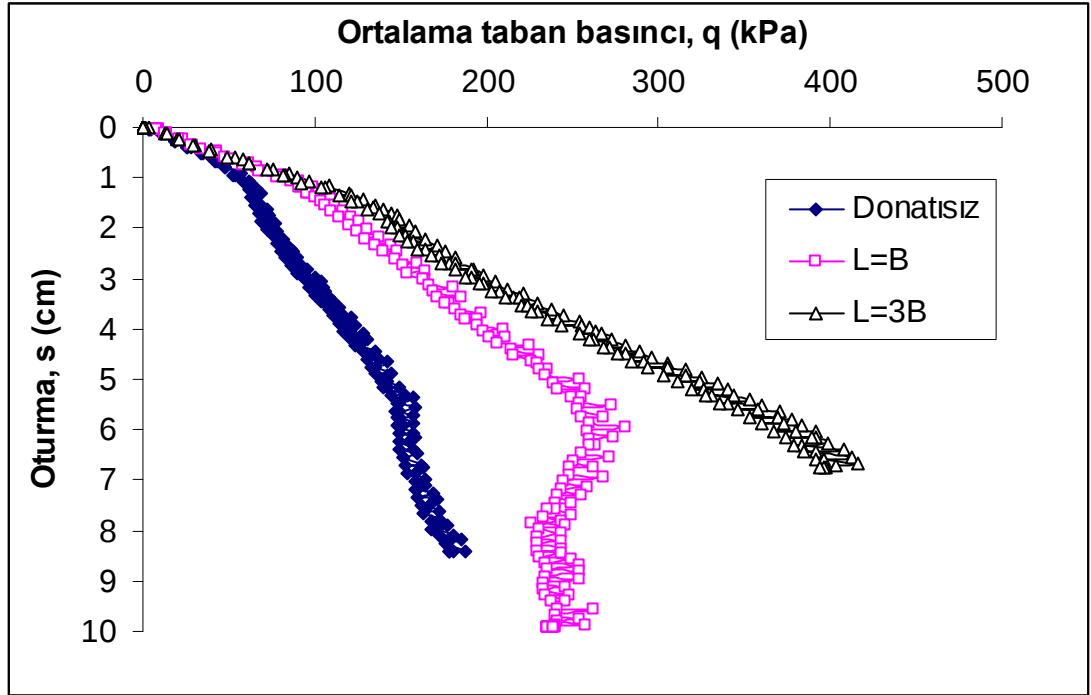
c. Donatı genişliği;

Geogrid 2 donatı levhası genişliğinin donatılı orta sıkı kum zemine oturan şerit temel plakının taşıma kapasitesine etkisini araştırılmıştır. Sadece çok tabaka donatılı kumlarda

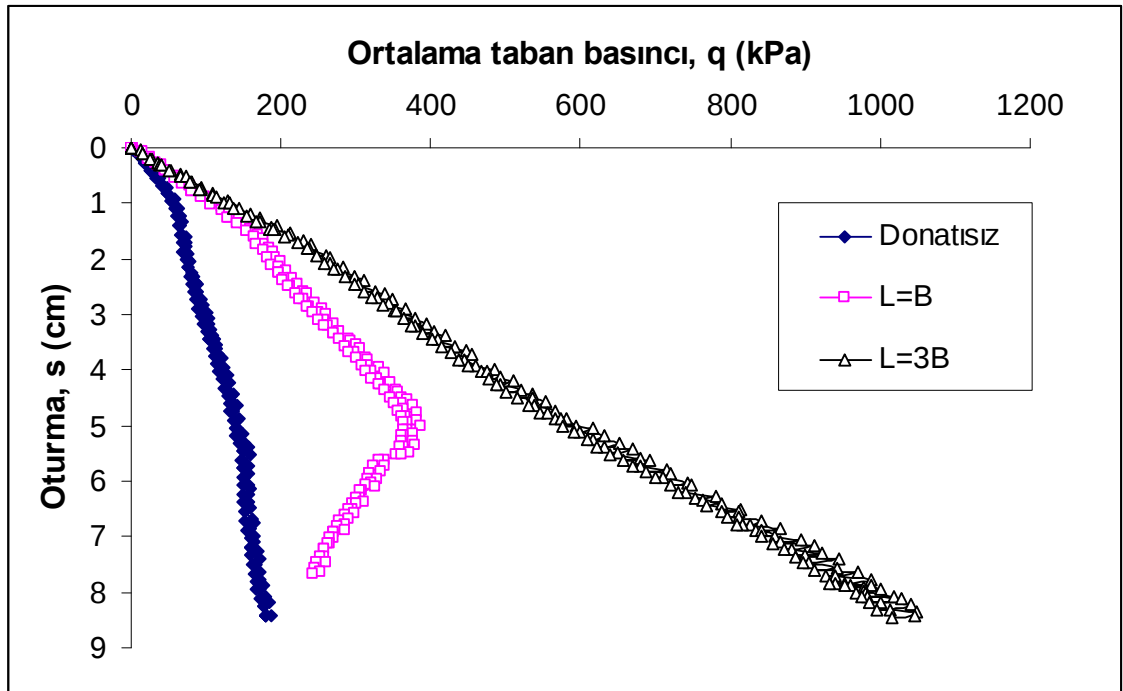
iki farklı seri deney yapılmıştır. Geogrid 1 ve Geotekstil deney sonuçları incelenmiş, bu bölümde sadece donatı genişliği temel genişliği ile aynı ($L=B$) ve üç katında alınarak ($L=3B$) araştırmaya devam edilmiştir. $N=2$ ve 3 donatı sayılarında donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak iki seri halinde donatı genişliğinin taşıma gücüne etkileri incelenmiştir.

Şekil 4.120 ve Şekil 4.121’de çok tabakalı zeminlerde iki farklı donatı genişliği için hesaplanan Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.122 ve Şekil 4.123’de farklı oturma oranları için donatı genişliği ile taşıma gücü oranı ilişkisi sunulmuştur. Donatı genişliğinin parametre olarak seçildiği deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

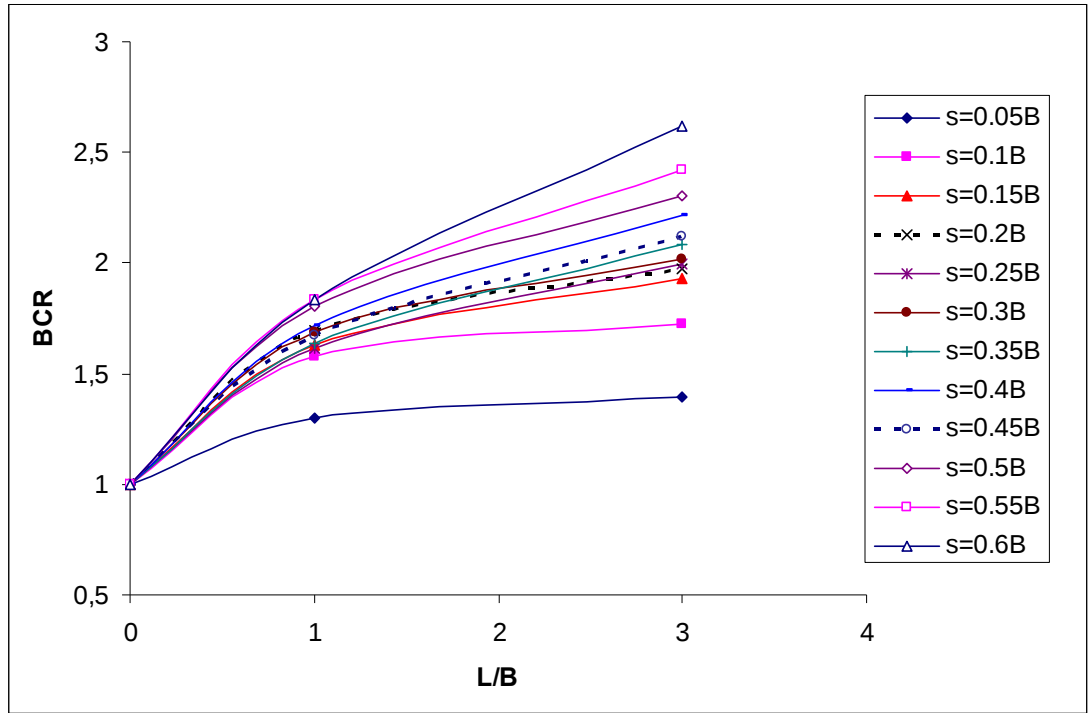
- Geogrid donatılı $L=B$ genişlikli çok tabakalı deney sonuçlarında ortalama taban basıncı-oturma eğrileri genel kayma göçme modundaki gibi davranmıştır.
- Çok donatılı deney sonuç verilerinden elde edilen taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimini veren grafikler benzer eğim göstermiştir.
- Temel plakasının yaptığı küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) donatı genişliğinin üç katına çıkarılması taşıma kapasitesini fazla etkilememiştir.
- Oturma oranı arttıkça ($s/B>0,15$) donatı genişliği taşıma gücü arasında lineer bir yükseliş olmuştur.
- Donatı genişliğinin büyük olduğu $L=3B$ testlerinde donatı sayısı arttıkça yük-oturma eğrisi lineere yakın karakterde davranmıştır. Donatı sayısı arttıkça taşıma kapasite değeri de büyümüştür. $N=2$ donatı tabakalı deneyde ilk oturma oranlarında taşıma kapasitesi şöyledir; $s/B=0,05$ ’de $BCR=1,4$; $s/B=0,15$ için $BCR=1,9$; $s/B=0,4$ iken $BCR=2,2$ ve $s/B=0,6$ ’da $BCR=2,6$ ’dır. $N=3$ donatı tabakalı deneyde ilk oturma oranlarında taşıma kapasitesi şöyledir; $s/B=0,05$ ’de $BCR=2,15$; $s/B=0,15$ için $BCR=3$; $s/B=0,4$ iken $BCR=4,1$ ve $s/B=0,6$ ’da $BCR=4,9$ ’dur.
- Donatı genişliği artınca, büyük oturma oranlarında ($s/B\geq 0,4$) donatı sayısının $N=2$ ’den $N=3$ ’e çıkarılması yani sisteme tek donatı daha eklenmesi taşıma kapasitesi oranını yaklaşık 2 kat arttırmıştır.



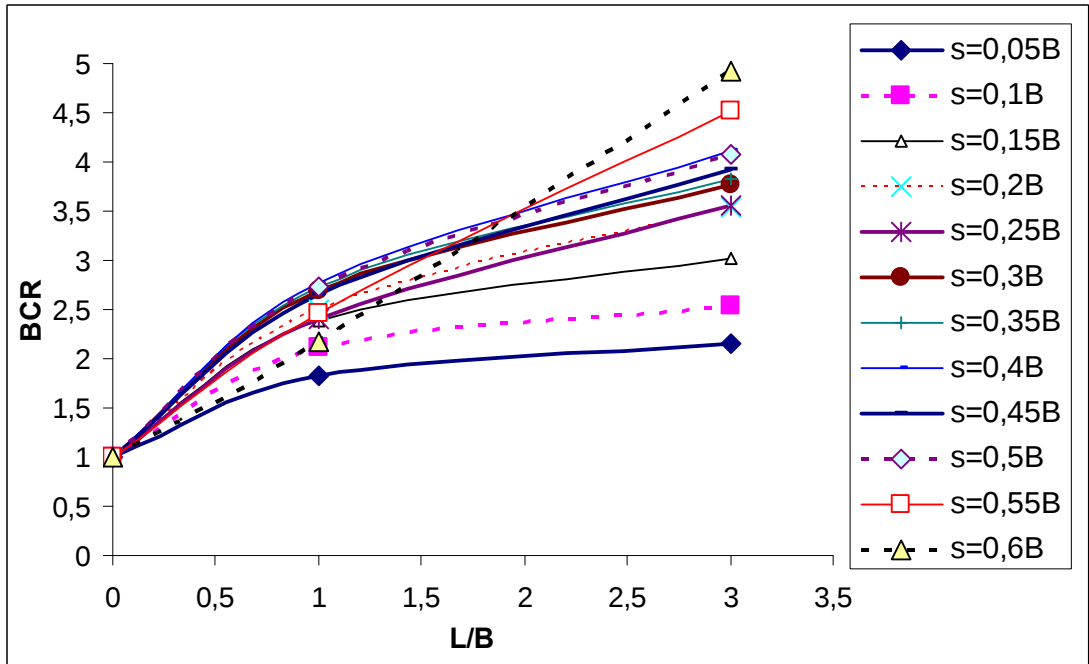
Şekil 4.120. Farklı donatı genişliklerine karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.121. Farklı donatı genişliklerindeki ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.122. Taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.123. Taşıma kapasitesi oranının donatı genişliği ile değişimi ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

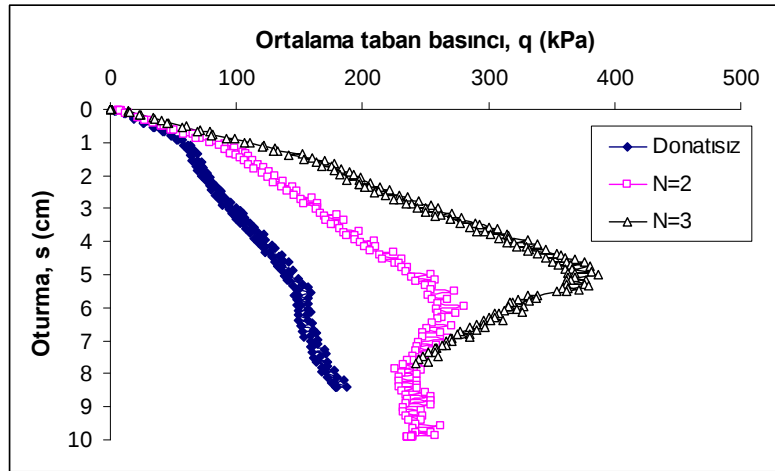
d. Donatılı tabaka sayısı;

Bu bölümde ‘Geogrid 2’ donatı sayısının arttırılmasının orta sıkı donatılı zemin üzerindeki şerit temel davranışları incelenmiştir. Deneyler üç seri şeklinde yapılmıştır. Deneylerde donatı genişliği ve derinliği değiştirilerek donatı sayısının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

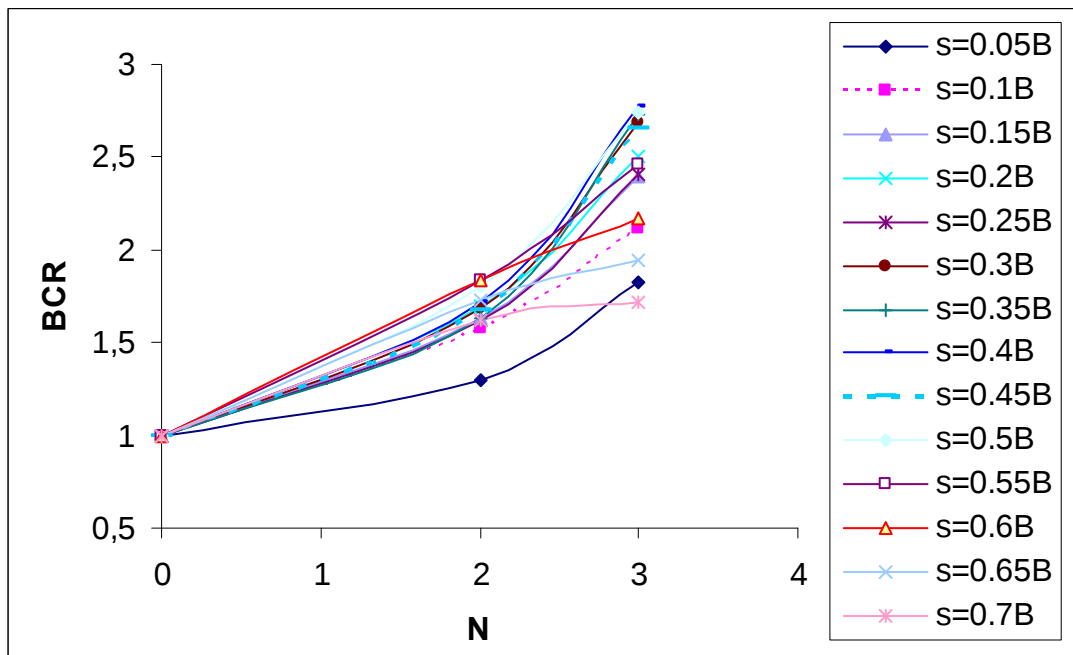
i. $L/B=1$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

İlk seri deneylerde; ‘Geogrid 2’ donatı genişliği $L/B=1$ alınarak testler yapılmıştır. İlk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak donatılı tabaka sayısının iki farklı değerinde ($N=2$ ve 3) deneyler yürütülmüştür. Şekil 4.124’de ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.125’te ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Söz konusu Şekiller incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatılı sayısının $N=2$ ve 3 olması durumlarında donatısız nazaran aynı yük altında şerit temel plakası daha az oturma yapmıştır. Donatı sayısının ikiden daha fazla olması durumunda taşıma gücü de artmıştır.
- Ortalama $s/B=0,5$ oturma oranından sonra donatılı orta sıkı kum akma noktasına ulaşmıştır. Temel genişliğinin yarısından daha büyük oturma oranlarında ($s/B>0,50$) donatı tabaka sayısının $N=2$ ’den 3 ’e çıkması taşıma gücünü fazla etkilememiştir.
- Donatı sayısı arttıkça; geogrid genişliğinin $L=B$ olduğu donatılı zeminin yük-oturma eğrisi, donatısız orta sıkı kumunkine benzer karakterde davranış sergilemiştir.
- Maksimum taşıma kapasitesi değerleri, geogrid sayısı arttıkça temel plakasının oturma miktarı ile doğru orantılı büyümüştür. Donatı sayısı artsa da $s/B>0,5$ ’de taşıma gücü değerleri azalmıştır. Örneğin; $s/B=0,05$ için $BCR_{max}=1,82$; $s/B=0,15$ iken $BCR_{max}=2,4$; $s/B=0,4$ ’de $BCR_{max}=2,76$; $s/B=0,6$ olduğunda yaklaşık $BCR_{max}=2,17$ ’dir.
- Hem $N=2$ hem de $N=3$ donatılı deney sonunda ulaşılan nihai yük değeri aynı olmuştur.



Şekil 4.124. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$)



Şekil 4.125. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h/B=0,4$)

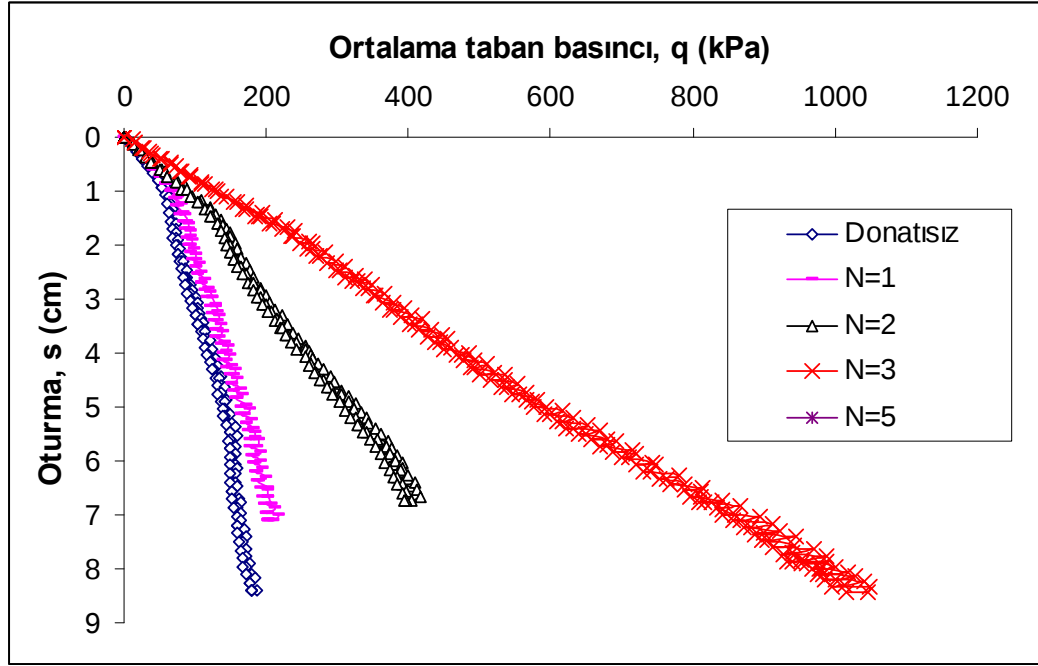
ii. $L/B=3$ donatı genişlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

İkinci seride; donatı genişliği ($L/B=3$); ilk donatı tabakası derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak donatılı tabaka sayısı $N=1, 2, 3$ ve 5 için testler

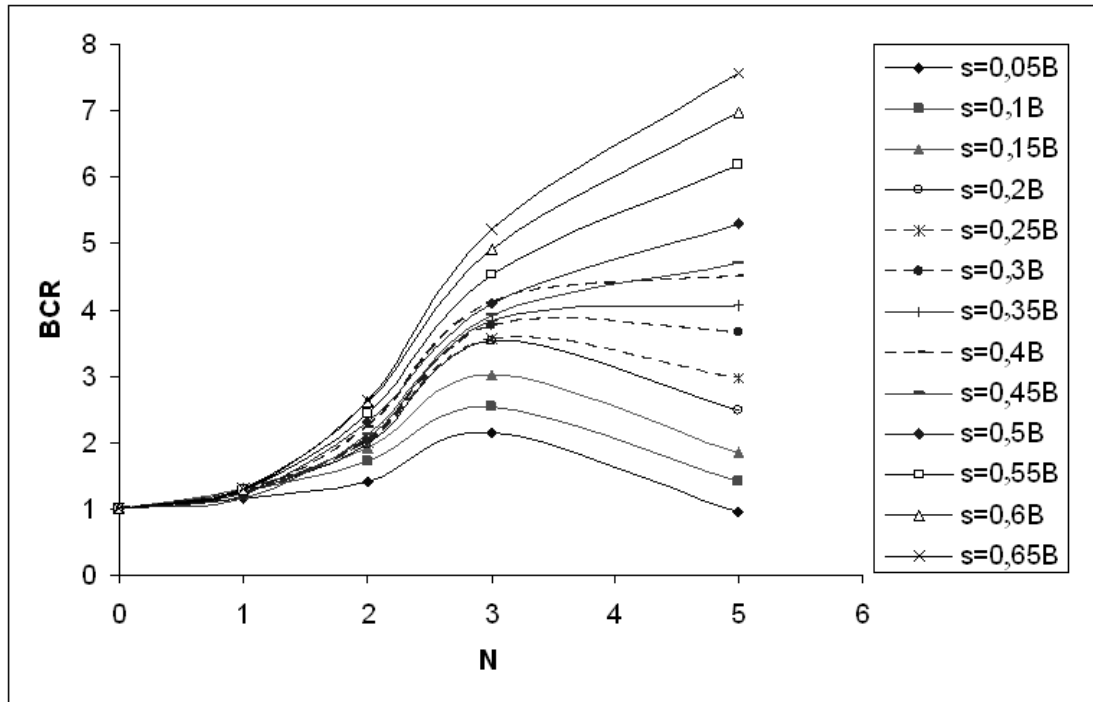
yürütülmüştür. Şekil 4.126'da, testler sonucunda elde edilen Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.127'de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Deney sonuçlarının verilerini içeren söz konusu Şekiller incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Temel plakasının küçük oturma oranlarında ($s/B \leq 0,3$) taşıma kapasitesi donatı tabaka sayısının optimum bir değerinde maksimum olmuştur. Bu optimum donatı tabaka sayısı $N_{opt}=3$ 'tür.
- $s/B=0,35-0,4$ oturma oranlarında donatı tabaka sayısı $N=1$ 'den $N=3$ 'e kadar artarak büyümüştür. $N=3$ ve 5 geogrid sayılı sistemler ise yaklaşık aynı taşıma gücü değerlerine sahip olmuştur.
- Büyük oturma oranlarında ($s/B \geq 0,45$) donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür.
- Donatı tabaka sayısı $N=5$ olduğunda yük-oturma eğrisi lineer karaktere yakın davranış göstermiştir.
- Temel plakasının oturma miktarı arttıkça, donatı tabaka sayısının fazlalaşması ile taşıma gücü de hızla yükselmiştir. Örneğin; temel plakasının değişik oturma değerlerindeki maksimum taşıma kapasite oranları şöyledir; $s/B=0,05$ için $BCR_{max}=2,15$; $s/B=0,15$ iken $BCR_{max}=3,01$; $s/B=0,4$ 'de $BCR_{max}=4,51$; $s/B=0,6$ olduğunda yaklaşık $BCR_{max}=7$ 'dir.
- Oturma oranı artınca farklı donatı sayıları arasındaki taşıma gücü farkı da yükselmiştir. Örneğin; küçük oturma oranında ($s/B=0,05$) taşıma kapasitesi donatı sayısı $N=2$ 'den $N=3$ 'e çıkınca 1,5 kat artmıştır. Büyük oturma oranında ise ($s/B=0,6$) taşıma kapasitesi donatı sayısı $N=2$ 'den $N=3$ 'e çıkınca yaklaşık 1,9 kat büyümüştür.

Aşağıdaki Şekil 4.128 ve Şekil 4.129'da farklı iki donatı tabaka sayısında yapılan deney sonucunda zeminde meydana gelen oturmalar gözükmemektedir. Şekiller incelendiğinde tek donatılı deneyde zemin temel plakasına yakın bölgede göçmüştür. Donatı sayısı $N=5$ olan testte ise geogrid yükü daha derinlere ve yanlara aktarılmıştır. Üst kısımdaki donatılar üniforma yakın otururken, aşağıdaki geogridler kenarlarında daha geniş açılar yaparak oturmuştur.



Şekil 4.126. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



Şekil 4.127. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)



Şekil 4.128. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=1$)



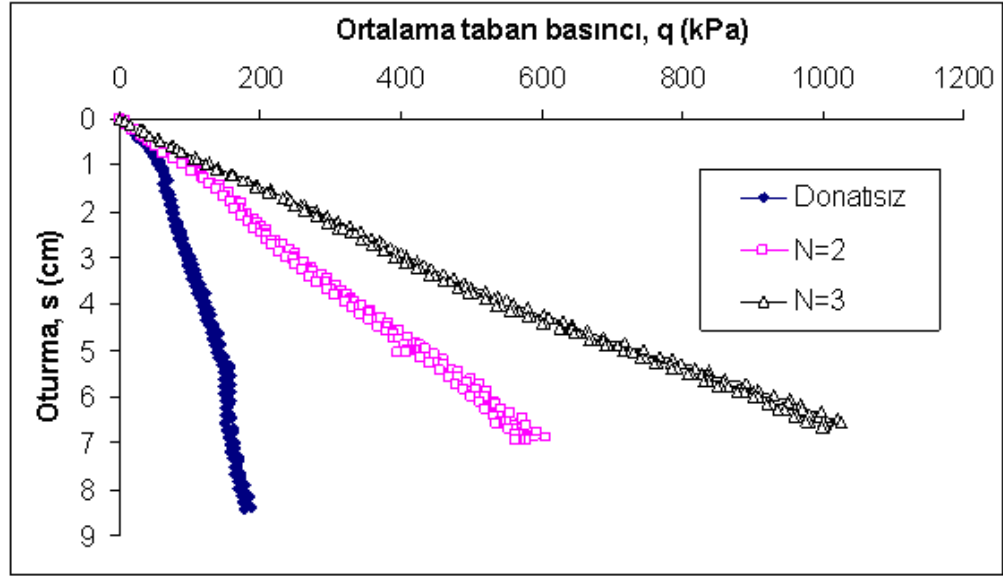
Şekil 4.129. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=5$)

iii. $u/B=0,55$ ilk donatı derinlikli sistemlerde donatı sayısının incelenmesi;

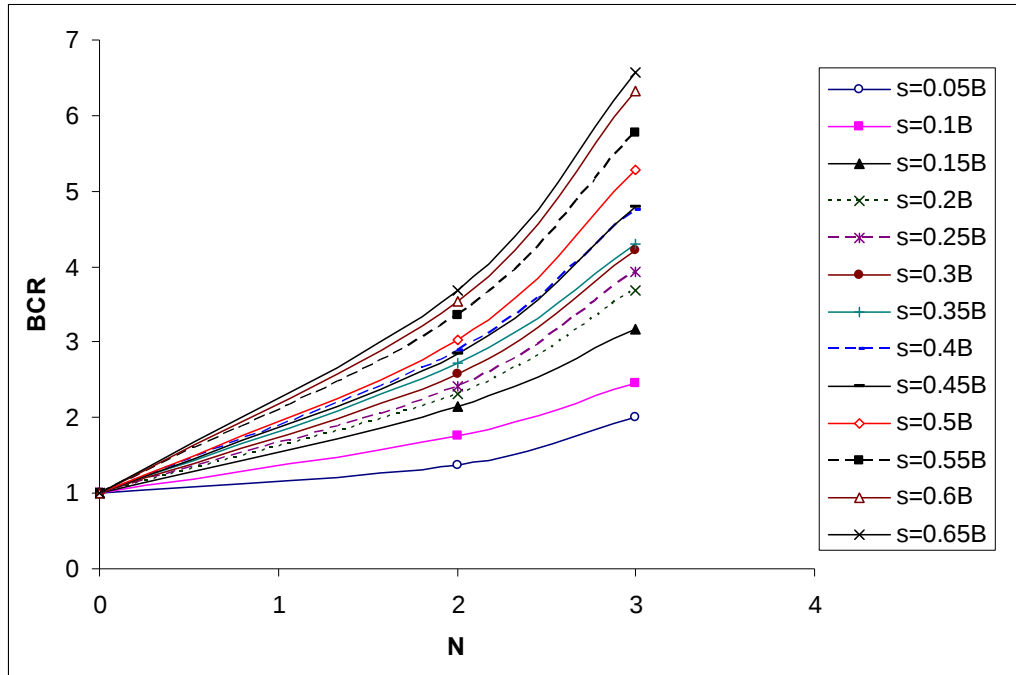
Üçüncü seride, ilk donatı derinliğinin $u/B=0,55$ değerinde $N=2$ ve 3 donatılı tabaka sayılarında deneyler yapılmıştır. ‘Geogrid 2’ genişliği ($L/B=3$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.130’da, testler sonucunda elde edilen Ortalama taban

basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.131’ de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Söz konusu Şekiller incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Donatı sayısı $N=3$ iken yük-oturma eğrisi lineer davranmıştır.
- Donatı sayısı fazlalaşınca taşıma kapasitesi de artarak büyümüştür. Örneğin; küçük oturma oranında ($s/B=0,05$) taşıma kapasitesi donatı sayısı $N=2$ ’den $N=3$ ’e çıkınca yaklaşık 1,46 kat artmıştır. Büyük oturma oranında ise ($s/B=0,6$) taşıma kapasitesi donatı sayısı $N=2$ ’den $N=3$ ’e çıkınca BCR yaklaşık 1,79 kat artmıştır.
- Oturma oranı arttıkça taşıma kapasite oranları ile donatı sayısı ilişkisini gösteren eğriler daha dik bir eğimle yükselmiştir. Bu da; orta sıkı kumda oturma oranının büyüdükçe geogrid donatı sayısının arttırılmasının BCR üzerindeki etkisini fazlalaştırdığını göstermiştir. Örneğin temel plakasının değişik oturma değerlerindeki maksimum taşıma kapasite oranları şöyledir; $s/B=0,05$ için $BCR_{max}=2$; $s/B=0,15$ iken $BCR_{max}=3,17$; $s/B=0,4$ ’de $BCR_{max}=4,75$; $s/B=0,6$ olduğunda yaklaşık $BCR_{max}=6,3$ ’dir.
- İlk donatı tabaka derinliği $u=0,55B$ değerinde yapılan deney sonuçları ile $u=0,35B$ ’li bir önceki serideki veriler karşılaştırılmıştır. $u=0,55$ olduğunda taşıma kapasitesi daha fazladır. $u=0,35B$ ilk donatı derinlikli $N=3$ tabaka sayılı deneyde $s/B=0,6$ oturma oranında taşıma kapasitesi maksimum $BCR=4,9$ ’dur. $u=0,55$ ilk donatı derinlikli $N=3$ tabaka sayılı deneyde $s/B=0,6$ oturma oranında ise taşıma kapasitesinin maksimum değeri $BCR=6,3$ ’tür. Fakat $u=0,35$ ’de $N=2$ ’den $N=3$ ’e çıkarıldığında taşıma kapasiteleri arasındaki oran daha büyüktür. $s/B=0,6$ oturma oranı için $u=0,35B$ ’de donatı sayısı $N=2$ ’den 3’e yükselince taşıma kapasitesi 1,9 kat artmıştır. $u=0,55$ ’de ise 1,79 kat büyümüştür.



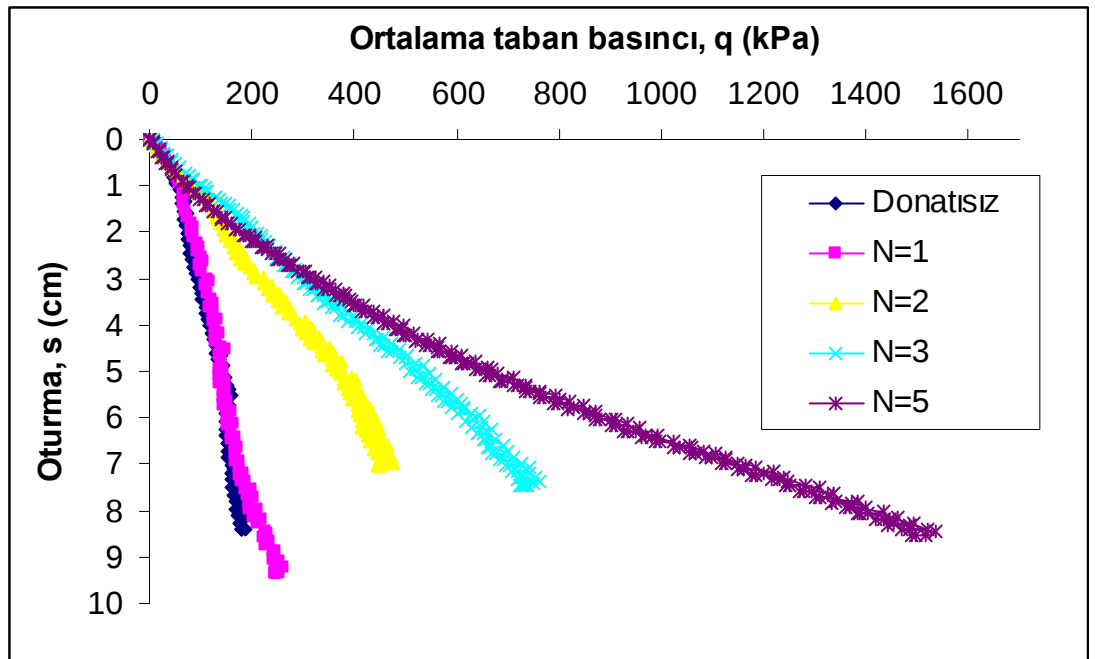
Şekil 4.130. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



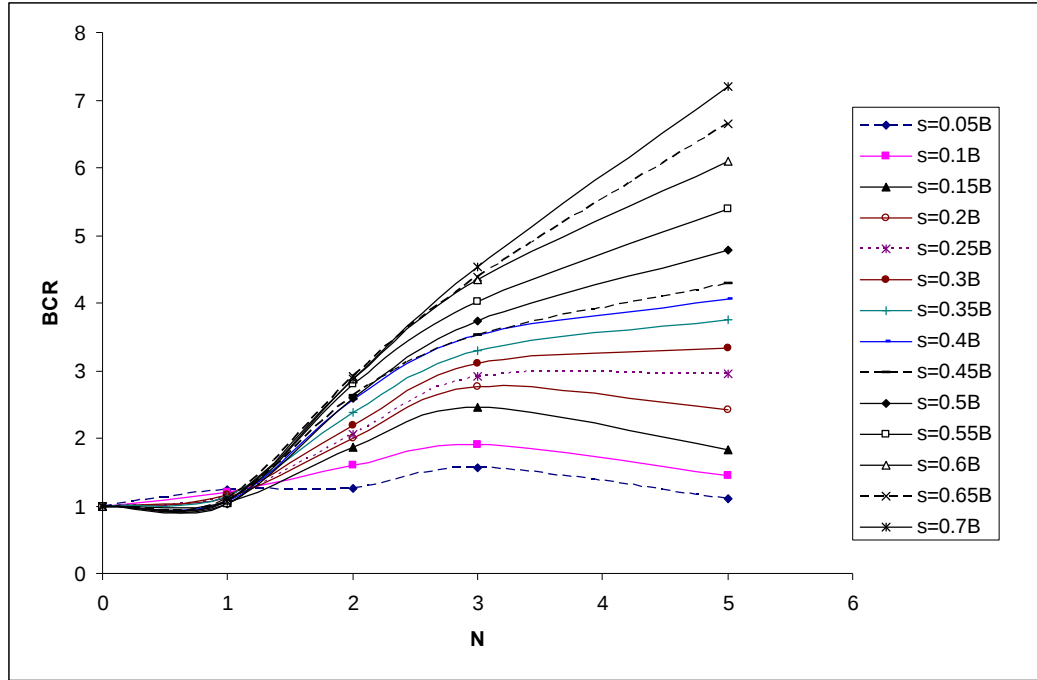
Şekil 4.131. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)

C. Geogrid 3 donatılı zeminin deney sonuçları:

Bu bölümde, ‘Geogrid 3’ donatısı ile güçlendirilen orta sıkı kum zeminler üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasitesine sadece donatı tabaka sayısının (N) etkisi araştırılmıştır. Dört farklı donatı sayısında tek tip deney serisi yapılmıştır. Geogrid donatı düşey aralık oranı ($h/B=0,4$); donatı derinlik oranı ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır. Donatı tabaka sayısı $N=1, 2, 3$ ve 5 değerlerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen veriler incelenmiştir. Şekil 4.132’de Ortalama taban basıncı-Oturma eğrileri verilmiştir. Şekil 4.133’de ise taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;



Şekil 4.132. Farklı donatı tabaka sayılarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)



Şekil 4.133. Taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısı ile değişimi ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$)

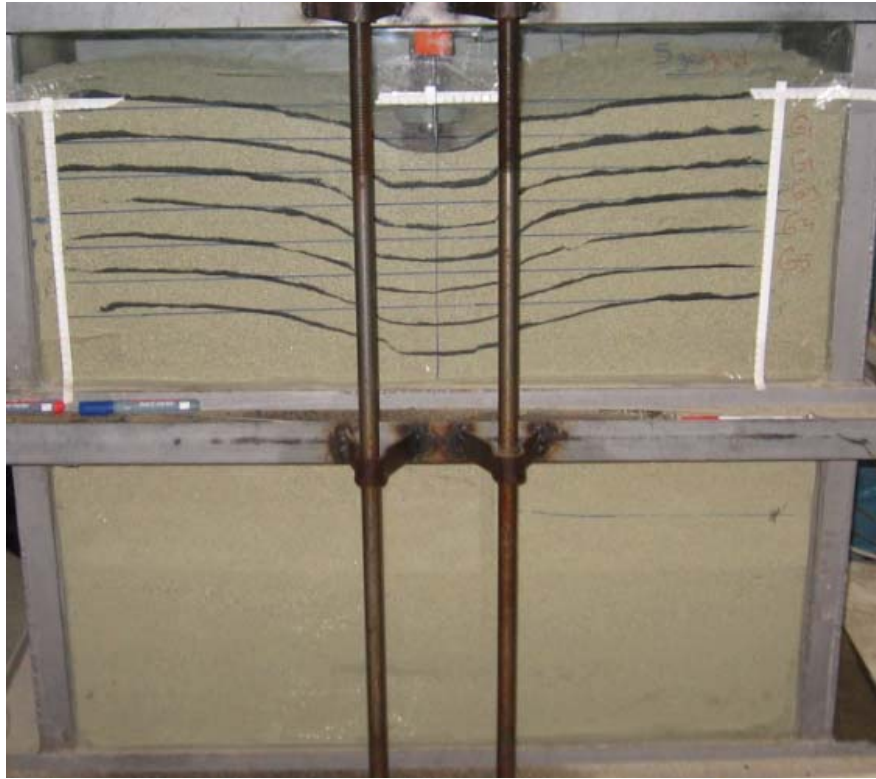
- Temel plakasının ilk oturma miktarlarında ($s \leq 0,3B$) taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum bir donatı sayısı vardır. Bu değer $N_{opt}=3$ 'tür.
- Oturma oranları arttıkça ($s/B \geq 0,35$) donatı tabaka sayısı arttıkça taşıma kapasite oranları da büyümüştür.
- Oturma oranı arttıkça, donatı sayısının fazlalaştırılmasının taşıma kapasitesine etkisi de artmıştır. Örneğin temel plakasının değişik oturma değerlerindeki maksimum taşıma kapasite oranları şöyledir; $s/B=0,05$ için $BCR_{max}=1,56$; $s/B=0,15$ iken $BCR_{max}=2,45$; $s/B=0,4$ 'de $BCR_{max}=4,05$; $s/B=0,6$ olduğunda yaklaşık $BCR_{max}=6,1$ 'dir.
- Donatı tabaka sayısı $N=5$ olduğunda geogrid donatılı orta sıkı zeminin yük-oturma eğrisinin eğimi değişmiştir. Temel plakası daha büyük yüklerde daha az oturmalar yapmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.134 ve 6.135'de farklı iki donatı tabaka sayısında ($N=2$ ve 5) yapılan deney sonucunda zeminde meydana gelen oturmalar gözükmemektedir. Şekil 4.134'de modelin sadece üst kısmı, Şekil 4.135'de ise modelin tamamı görülmektedir. Şekiller

incelendiğinde N=2 donatılı deneyde zeminin göçtüğü bölgenin N=5 donatılı sisteme nazaran temel plakasına daha yakın bölgede olduğu gözlenmiştir. Donatı tabakası sayısı N=5 olan testte ise yük daha derine ve temel yanlarındaki bölgeye aktarılmıştır.



Şekil 4.134. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.135. Donatılı deney sonucunda meydana gelen oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=5$)

4.2.3. Geotekstil ve geogrid deney sonuçlarının karşılaştırılması ve tartışma

Bu bölümde; donatı konfigürasyon parametresinin (u , h , L , N) değişik değerlerinde Dokunmuş geotekstil ve üç farklı geogrid donatı ile yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Geosentetik donatı çeşidi olarak; Geotekstil, Geogrid 1 (Fortrac 35/20-20 T), Geogrid 2 (7 States Geogrid 55/55) ve Geogrid 3 (Tenax TT045 geogridi) ile araştırma yapılmıştır. Tüm deneyler, aynı zemin şartları ve temel boyutunda yürütülmüştür. Zemin orta sıkı kumdur ve temel genişliği $B=10$ cm'dir. Aşağıdaki bölümlerde her bir donatı konfigürasyonu parametresi için farklı tip donatı kullanılmasının, zeminin taşıma kapasitesine etkisini veren sonuçlar sunulmuştur;

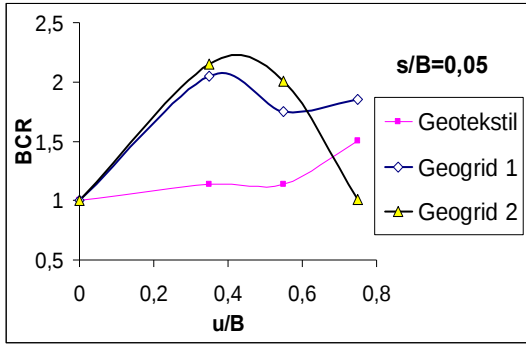
A. Farklı ilk donatı derinliğinde yapılan deneyler:

Orta sıkı kumun farklı tipteki geosentetikler kullanılarak donatılandırılmasının; ilk donatılı tabaka derinliğinin değişik değerlerinde ölçülen taşıma kapasitelerine etkisi incelenmiştir. Dokunmuş Geotekstil, Geogrid 1 (Fortrac 35/20-20 T) ve Geogrid 2 (7 States Geogrid 55/55) donatı çeşitleri ile yapılan deneylerden elde edilen gözlemler karşılaştırılmıştır.

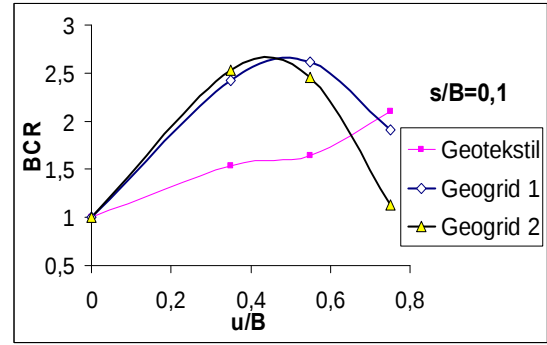
Deneylerde donatı sayısı ($N=3$), donatı boyu ($L=3B$) ve düşeyde donatı aralığı ($h/B=0,4B$) sabit alınmıştır. İlk donatı derinlik oranı $u/B=0,35$; $0,55$ ve $0,75$ değerlerinde deneyler yapılmıştır.

Gerek donatısız gerekse donatılı orta sıkı kum zeminin göçme anındaki oturma değerleri relatif olarak büyük (temel plaka genişliğinin %10 ile %60 civarında) olduğu için sonuçlar geniş bir aralıktaki oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasiteleri cinsinden karşılaştırılmıştır.

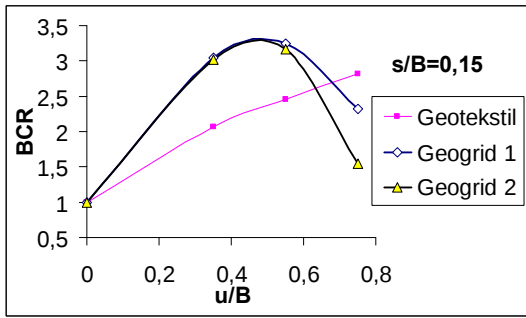
Şekil 4.136-Şekil 4.137'de farklı geosentetik çeşitlerine sahip donatılı orta sıkı kum zemin için ilk donatı derinliğinin taşıma kapasitesi ile olan ilişkisi, temel plakasının farkı oturma oranlarıyla verilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;



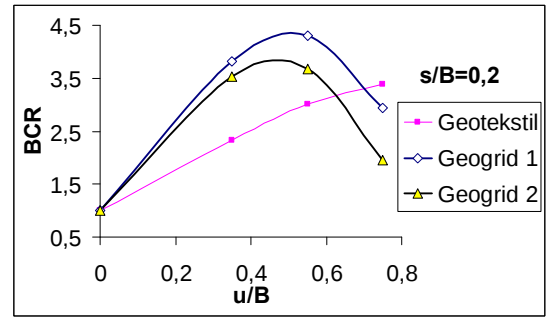
a



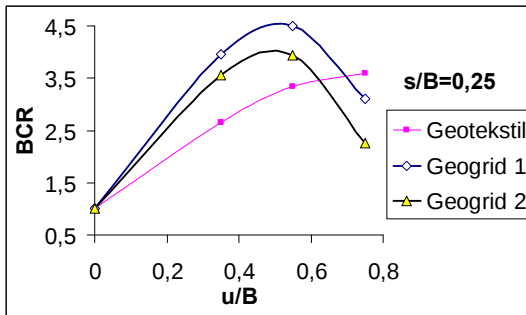
b



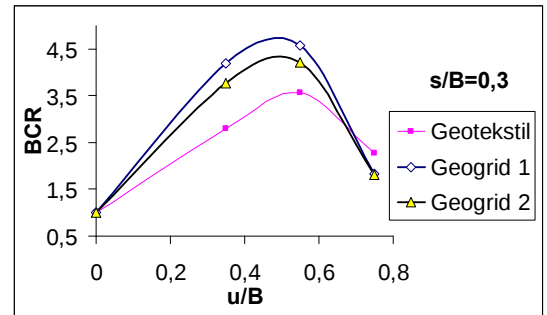
c



d



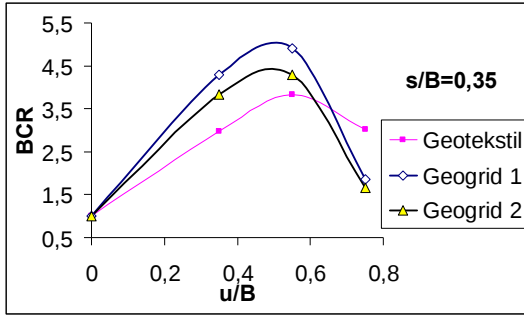
e



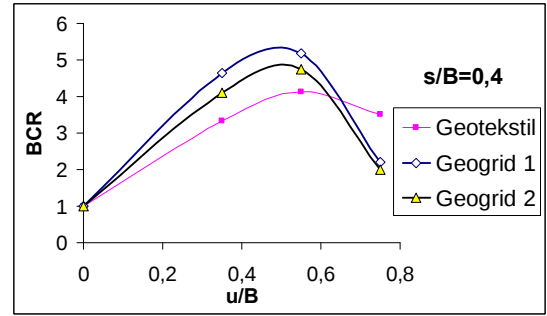
f

Şekil 4.136. Küçük oturma oranlarındaki farklı ilk donatı derinliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)

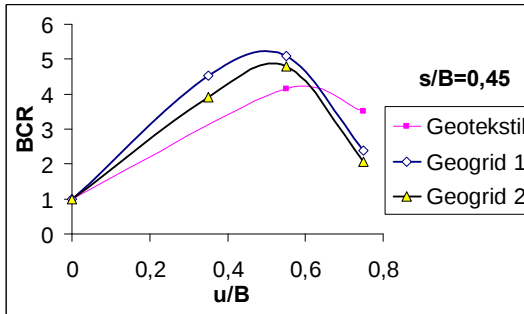
*a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



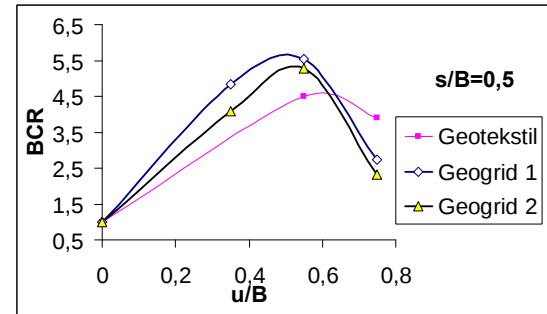
a



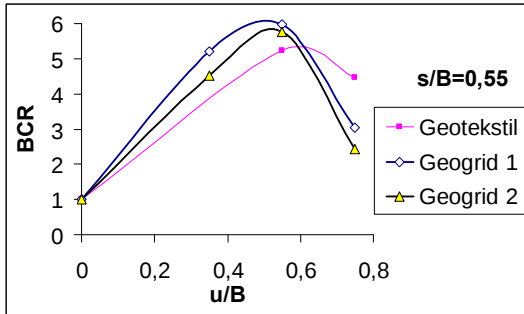
b



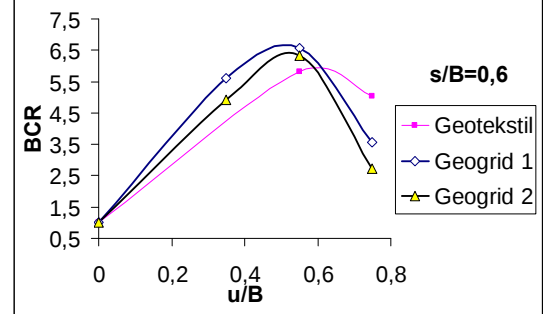
c



d



e



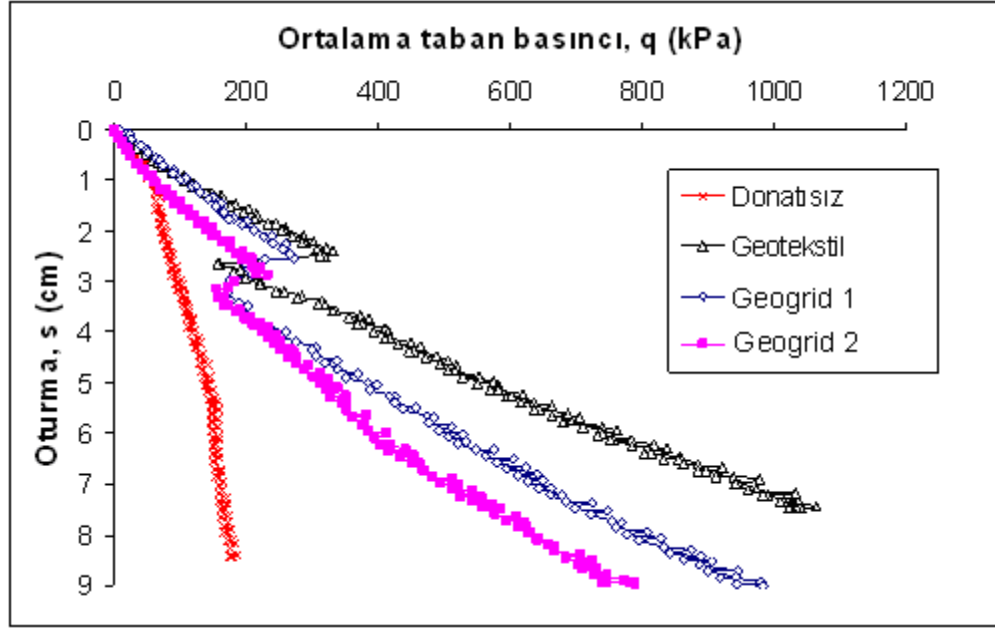
f

Şekil 4.137. Büyük oturma oranlarındaki farklı ilk donatı derinliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)

* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$

- Genellikle $N=3$ için geotekstil donatı kullanılarak hesaplanan taşıma kapasitesi, geogridli deney sonuçlarından daha küçüktür. Büyük donatı derinliğinde ($u/B=0,75$) ise geogridlere nazaran Geotekstil maksimum BCR değerlerine ulaşmıştır.
- Her iki geogridin ilk donatı mesafeleri ile taşıma kapasitesi oranı ilişkisini belirten eğriler, birbirleri ile yakın sonuçlar vermiştir.
- Çok küçük oturmalarda ($s/B=0,05$); $u/B=0,35$ ve $0,55$ donatı derinliklerinde Geogrid 2 donatılı, $u/B=0,75$ 'de ise Geotekstilli sistem maksimum BCR'ye sahiptir.
- Geotekstilli orta sıkı kumda, küçük oturmalarda ($s/B=0,05-0,25$) taşıma kapasitesi ilk donatı derinliği arttıkça büyümüştür. Daha büyük oturmalarda ($s/B>0,25$) ise $u/B=0,55$ değerinde taşıma gücü maksimuma ulaşmıştır.
- Geotekstil, Geogrid 1 ve Geogrid 2 donatıları ile ilk donatı derinliğinin üç farklı değerinde ($u/B=0,35$; $0,55$; $0,75$) yapılan deney sonuçlarında; taşıma kapasitesinin maksimuma ulaştığı ve optimum ilk donatı tabakası derinliğinin yaklaşık $(u/B=0,55)_{opt}$ olduğu görülmüştür.

Şekil 4.138'de $u/B=0,75$ ilk donatı derinliğinde farklı geosentetikler kullanılarak yapılan donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temel için ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde; tüm donatı çeşitleri için yaklaşık aynı oturma oranı ($s/B=0,25$) için ortalama taban basıncında ani bir düşüş gözlenmiştir. Temel plakasına basıncı uygulamaya devam edildiğinde yük okumalarındaki büyüme yeniden başlamıştır. $u=0,75B$ ilk donatı derinliğinde yapılan deneyler maksimum taşıma kapasitesi geotekstil donatılı zeminde yapılan deney sonucunda okunmuştur. Geogrid 2 geosentetikli zemin ise diğer donatılı sistemlere nazaran daha düşük taşıma gücüne sahiptir. Sadece $u/B=0,75$ donatı derinliğinde gözlemlenen bu davranışın sebebi olarak; ilk donatı derinliğinin temel plakasından çok aşağıda olması ve donatılı bölgenin zeminde oluşan üçgen kama ve kırılma yüzeylerinin küçük bir bölümüne temas ettiği tahmin edilmiştir. Böylelikle donatılı bölge üzerinde zemin kırılmaya başlamış, fakat donatılı bölgeye aktarılan yüklerin etkisi ile taşıma kapasitesinin yükseldiği düşünülmüştür. Geotekstil daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğundan gelen kuvveti bu bölgede daha hızlı etkilemiştir. Geogrid 1'in donatı ağ aralığı, Geogrid 2'ye nazaran daha küçük olduğu için taşıma gücünün daha yüksek çıktığı düşünülmüştür.



Şekil 4.138. $u/B=0,75$ ilk donatı derinliğinde farklı donatılı zeminler için ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$)

Literatür incelendiğinde, ilk donatı derinliği ile ilgili genel bir fikir birliğine rastlanmadığı görülmüştür. Yapılan her bir farklı donatı ve temel modeline göre sonuçlar değişmiştir. Bu araştırma da ise ilk donatı derinliğinin incelendiği geogrid donatılı verilerin birbirleri ile tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle temel plakası $s/B=0,35$ oturma yaptıktan sonra tüm donatılı sistemlerin optimum donatı derinliğinin aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

B. Farklı donatı düşey aralıklarında yapılan deneyler:

Orta sıkı kumun farklı tipteki geosentetikler kullanılarak donatılandırılmasının; donatı tabaka düşey aralığının değişik değerlerinde ölçülen taşıma kapasitelerine etkisi incelenmiştir. Bu bölümde donatı sayısının $N=3$ ve 5 değerinde yürütülen iki farklı serinin sonuçları değerlendirilmiştir.

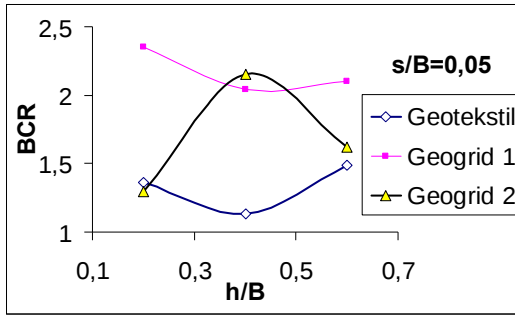
İlk seride donatı tabaka sayısı $N=3$ olan geotekstil ve iki farklı geogrid (Geogrid 1 ve Geogrid 2) kullanılan deneylerde ki taşıma kapasite oranları (BCR) sunulmuştur.

Testlerde, donatı genişliği ($L=3B$) ve ilk donatı derinlik oranı ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Farklı tip donatılar için düşeyde tabaka aralığı $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ 'da yapılan deneylerdeki BCR'ler incelenmiştir.

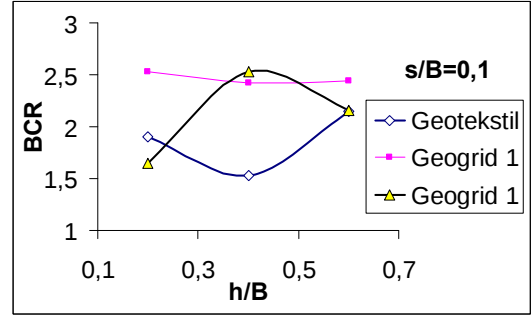
İkinci seride ise $N=5$ donatılı geotekstil ve tek tip geogrid kullanılarak yapılan geosentetikli orta sıkı kum üzerindeki şerit temel deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Testlerde donatı genişliği ($L=3B$) ve ilk donatı derinlik oranı ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. İki değişik tip donatı için düşeyde tabaka aralığı $h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$ 'da yapılan deneylerdeki BCR'ler değerlendirilmiştir.

İlk seri deney sonuçlarından elde edilen farklı donatılı zeminlerin donatı düşey aralığının taşıma kapasitesi ile olan ilişkisi farklı oturma oranlarında Şekil 4.139-Şekil 4.140'da, ikinci seri BCR'leri ise Şekil 4.141'de verilmiştir. Her iki serinin değerlendirmesi aşağıdaki gibi yapılmıştır;

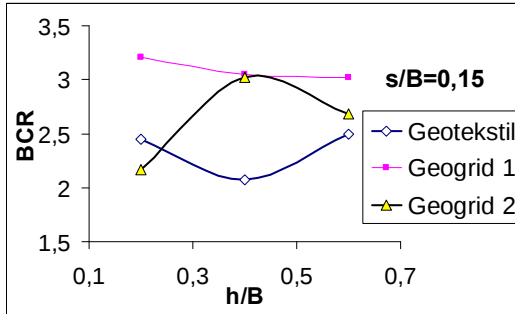
- Beklendiği üzere farklı donatı çeşitleri birbirinden değişik davranış sergilemiştir.
- Donatı düşey aralığının incelendiği araştırmada; deneylerde kullanılan geosentetikler içerisinde Geogrid 1, ortalama en iyi taşıma kapasitesine sahip olan donatı olarak tesbit edilmiştir.
- Geogrid 1 donatılı orta sıkı kumda küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) $h/B=0,2$ donatı düşey aralığında maksimum taşıma kapasitesi elde edilmiştir. Daha büyük oturmalarda ise ($s/B>0,15$) donatı düşey aralık miktarı arttıkça taşıma gücü de büyümüştür. Yani $h/B=0,6$ 'da maksimum BCR elde edilmiştir.
- Geogrid 1 donatılı sistemde, $s/B>0,15$ oturma oranlarında donatı düşey aralığı büyüdükçe taşıma kapasitesi yaklaşık lineer olarak artmıştır.
- Temel plaksının yaptığı küçük oturmalarda ($s/B=0,05-0,25$) Geogrid 2 donatısı, $h/B=0,4$ donatı düşey aralığında maksimum taşıma kapasitesine sahiptir. $h/B=0,2$ ve $0,6$ donatı aralıklarında ise daha düşük BCR değerleri hesaplanmıştır. Optimum donatı aralığının $(h/B)_{opt}=0,4$ olduğu görülmüştür.



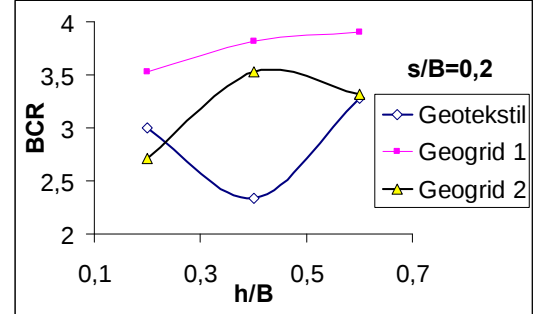
a



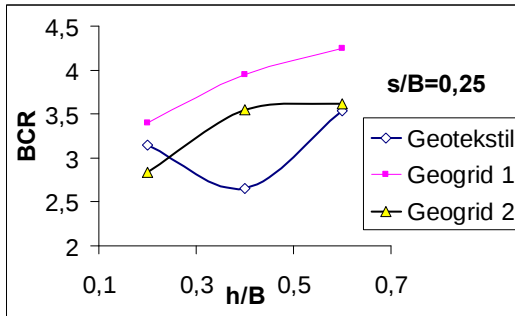
b



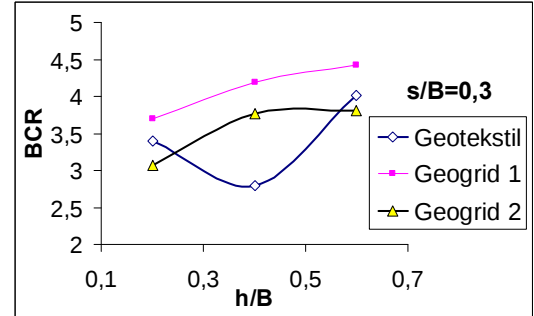
c



d



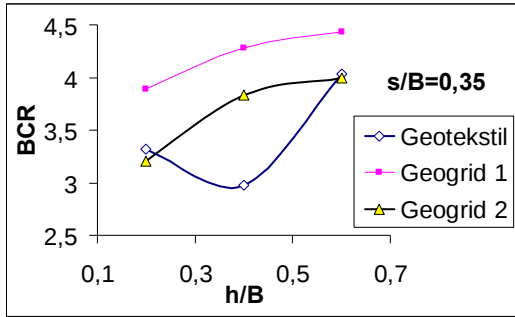
e



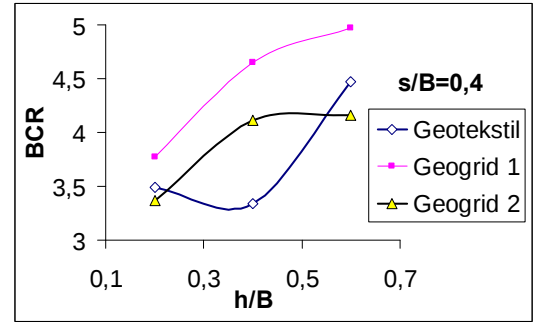
f

Şekil 4.139. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)

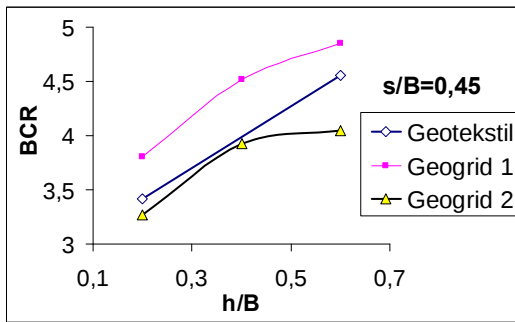
* a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



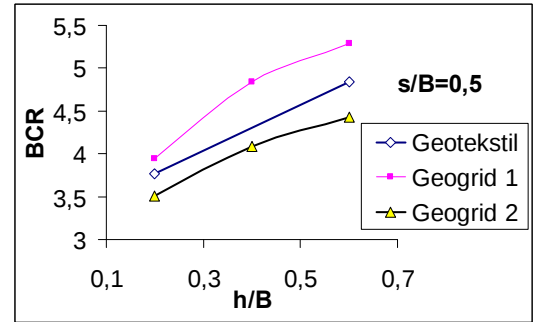
a



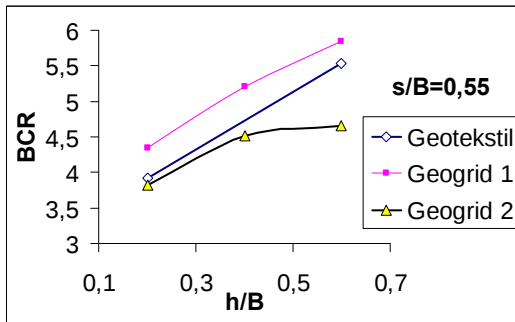
b



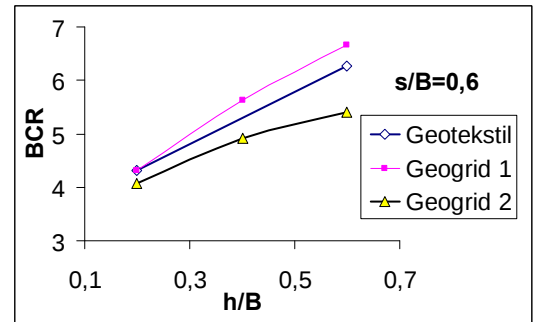
c



d



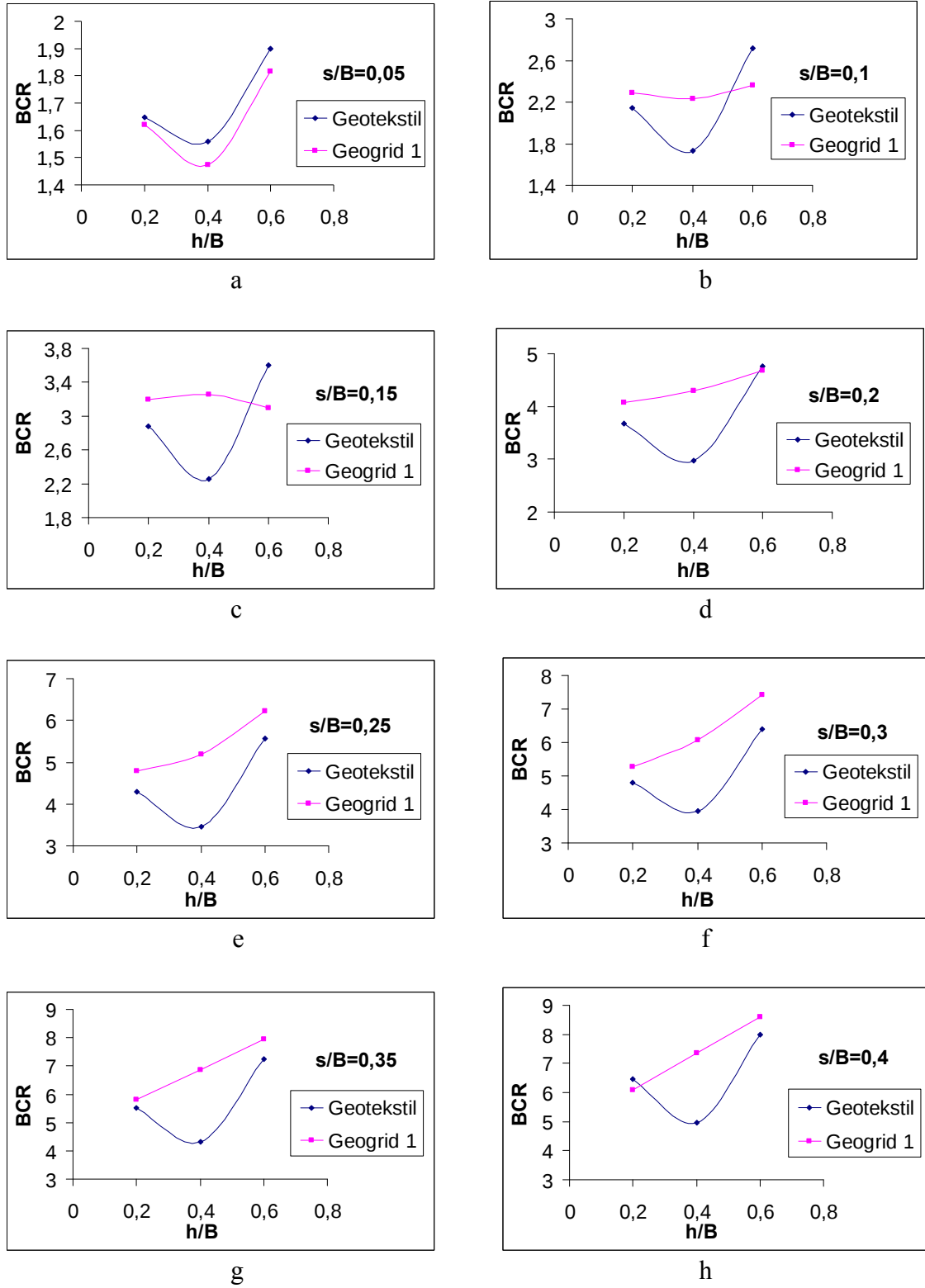
e



f

Şekil 4.140. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı düşey aralıklarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=3$)

* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$



Şekil 4.141. Farklı donatı düşey aralıklarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=5$)

*a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$; g. $s/B=0,35$; h. $s/B=0,4$

- Geogrid 2 donatısı kullanıldığı modelde büyük oturmalarda ($s/B > 0,25$) donatı düşey aralığı arttıkça taşıma gücü de büyümüştür. $h/B=0,6$ olduğunda maksimum BCR'ler elde edilmeye başlanmıştır.
- Geotekstil, $N=3$ ve 5 donatı tabaka sayılı serilerin her ikisinde de $h/B=0,4$ donatı düşey aralığında taşıma kapasite oranı, $h/B=0,2$ ve $0,6$ değerlerine nazaran daha düşüktür.
- Oturma oranı arttıkça Geotekstil donatının da taşıma gücü yükselmiştir. İlk seride, büyük oturma oranlarında Geogrid 2 donatılı sisteme nazaran daha yüksek BCR değerleri elde edilmiştir.

Literatürde yapılan deneylerde donatı düşey aralığı için kesin değerlere rastlanmamıştır. Diğer donatı parametrelerinin değişmesi ile hesaplanan optimum donatı düşey aralık değerleri de değişiklik göstermiştir. Bu çalışmada ise donatı sayısı değiştirilse dahi, donatılar kendilerine has karakteristik davranışları sergilemiştir. Geotekstilli kum için optimum bir donatı aralığı oluşmamıştır. Geogrid 1 kullanılan modeldelerde; donatı aralığı arttıkça BCR değerleri de büyümüştür. Geogrid 2 donatılı sistemde ise optimum donatı aralığı $h/B=0,4$ bulunmuştur. Böylece geosentetik çeşidinin; donatı aralığı ile BCR ilişkisine büyük miktarda etkisi olduğu fark edilmiştir.

C. Farklı donatı genişliklerinde yapılan deneyler:

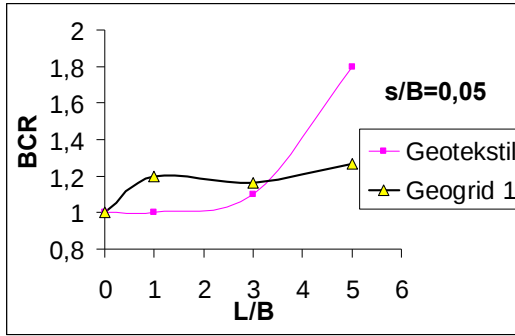
Orta sıkı kumun farklı tipteki geosentetikler kullanılarak donatılandırılmasının; donatı genişliğinin değişik değerlerinde ölçülen taşıma kapasitelerine etkisi incelenmiştir. Tek ve çok tabaka farklı çeşitte donatılandırılmış orta sıkı kumda yapılan deney sonuçları incelenmiştir.

Çok donatılı testler iki seri şeklinde yapılmıştır. İlk seride, donatı tabaka sayısı $N=2$ alınmıştır. Geotekstil ve Geogrid 2 donatısı ile yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. İkinci seride ise $N=3$ için üç farklı donatı çeşidinde (Geotekstil, Geogrid 1 ve Geogrid 2)

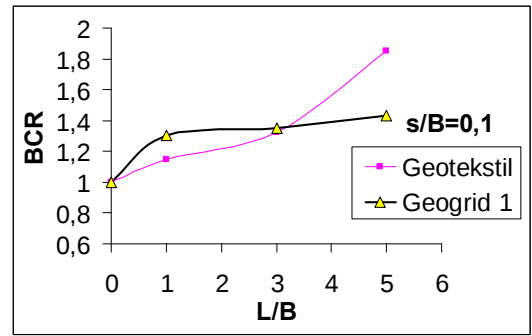
geosentetik genişlikleri ile taşıma kapasite oranı ilişkisi incelenmiştir. İki seride de, ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır.

Tek donatılı deneylerde Dokunmuş Geotekstil ve Geogrid 1 donatılarıyla güçlendirilmiş orta sıkı kumdaki deney sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. Şekil 4.142 ve Şekil 4.143’de iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test sonuçları, temel plakasının farklı oturma oranlarında verilmiştir. Şekillerden çıkarılan yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

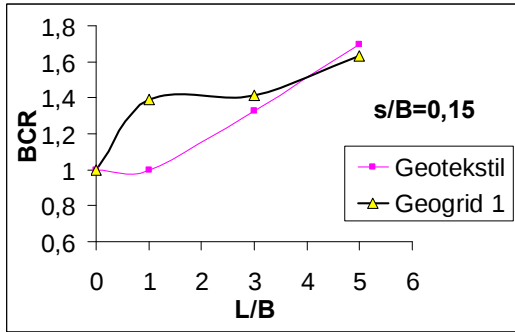
- Temel genişliği ile eşit boyuttaki ($L=B$) geotekstil donatı kullanıldığı durumda taşıma kapasitesinde önemli bir artış görülmemiştir. Buna karşılık $L/B=1$ genişlikli tabaka geogrid BCR oranını özellikle küçük oturma oranlarında ortalama %30 arttırmıştır.
- Geotekstil donatılı sistemde donatı genişliği arttıkça taşıma kapasitesi de büyümüştür. Donatı genişliği $L=3B$ ’den $L=5B$ ’ye çıkarıldığında özellikle küçük oturma oranlarında, taşıma gücü daha büyük bir artış göstermiştir.
- $s/B=0,5$ ’den sonra Geotekstil ile Geogrid 1 donatılı sistemlerin taşıma kapasiteleri arasındaki fark ortadan kalkmıştır.
- $L/B=3$ genişliğinde her iki donatı çeşidi içinde taşıma kapasitesi oranları (BCR) birbirlerine yaklaşmıştır.



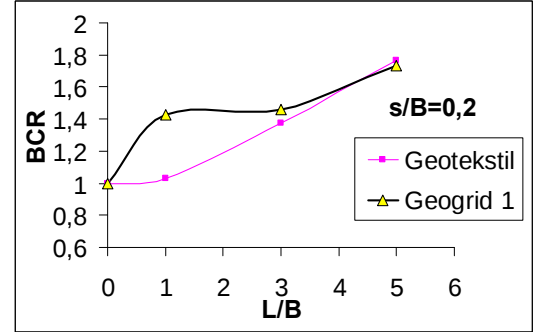
a



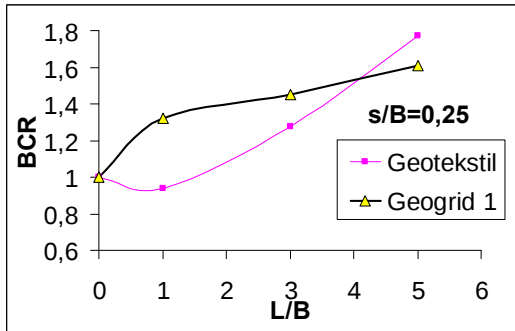
b



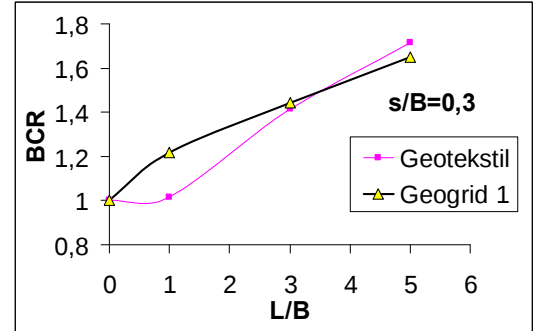
c



d



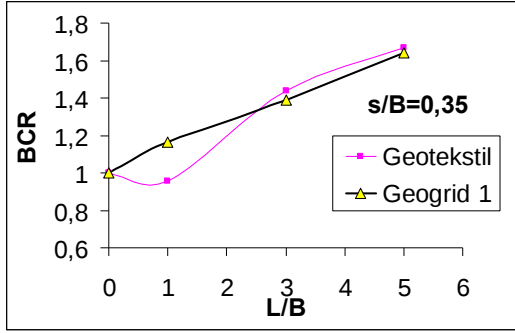
e



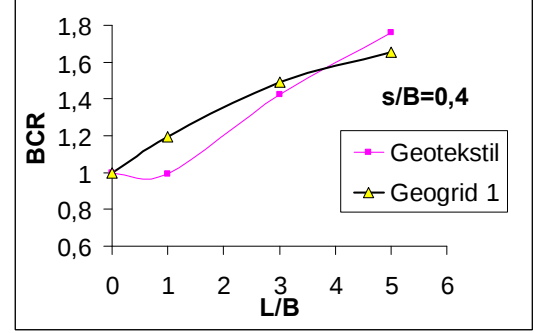
f

Şekil 4.142. Küçük oturmalarda farklı donatı genişliklerindeki kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

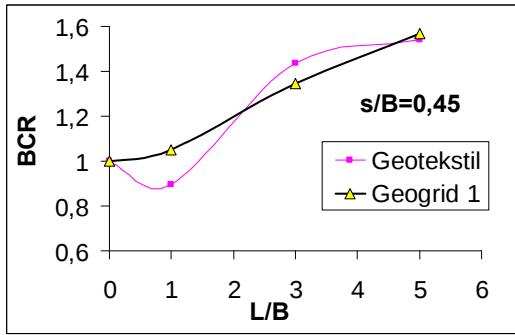
* a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



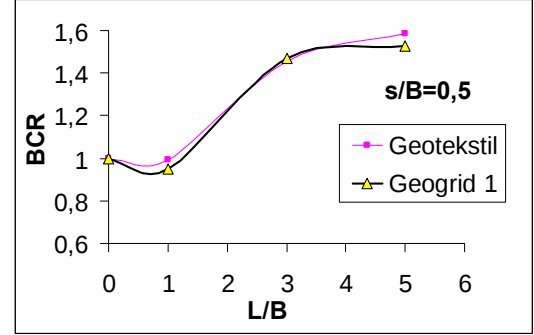
a



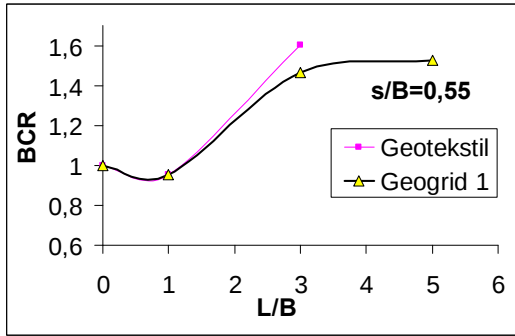
b



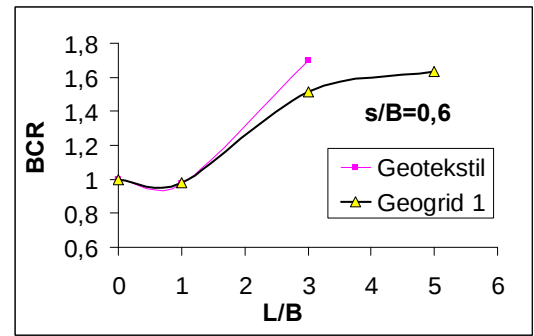
c



d



e

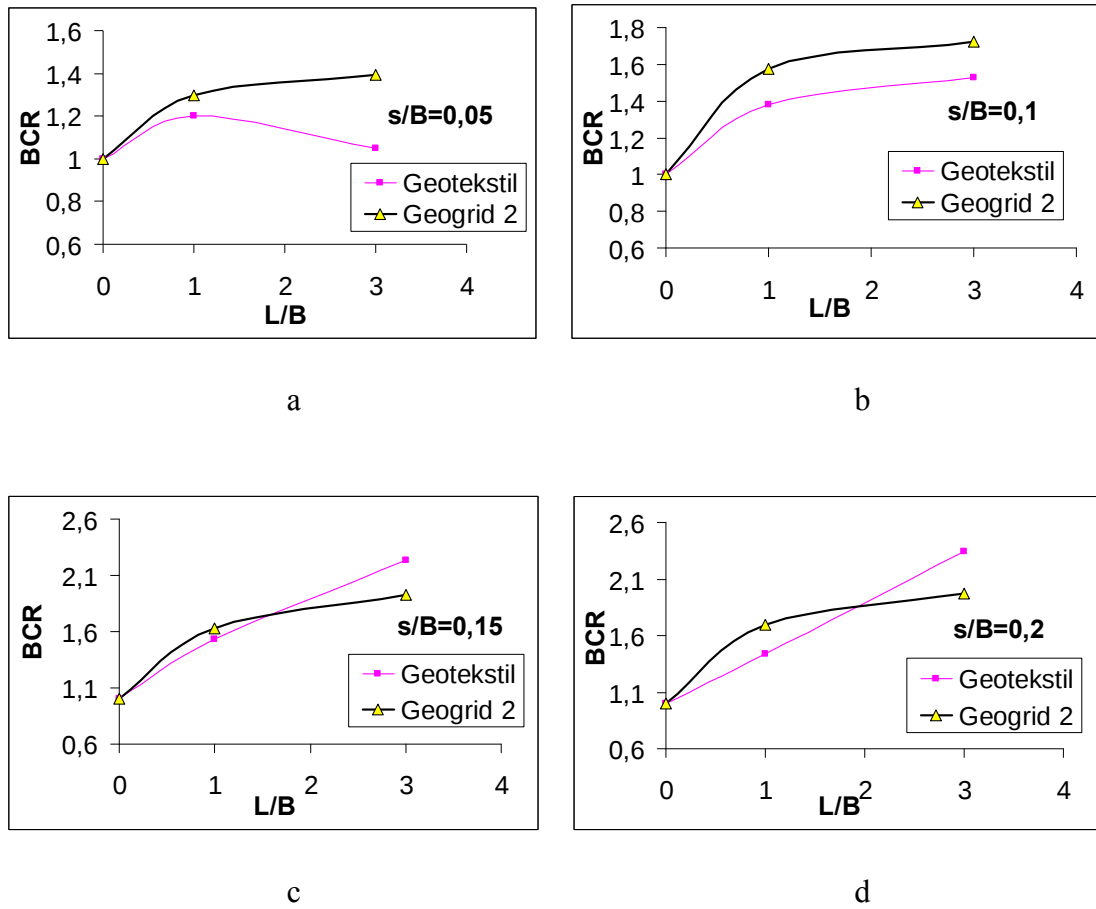


f

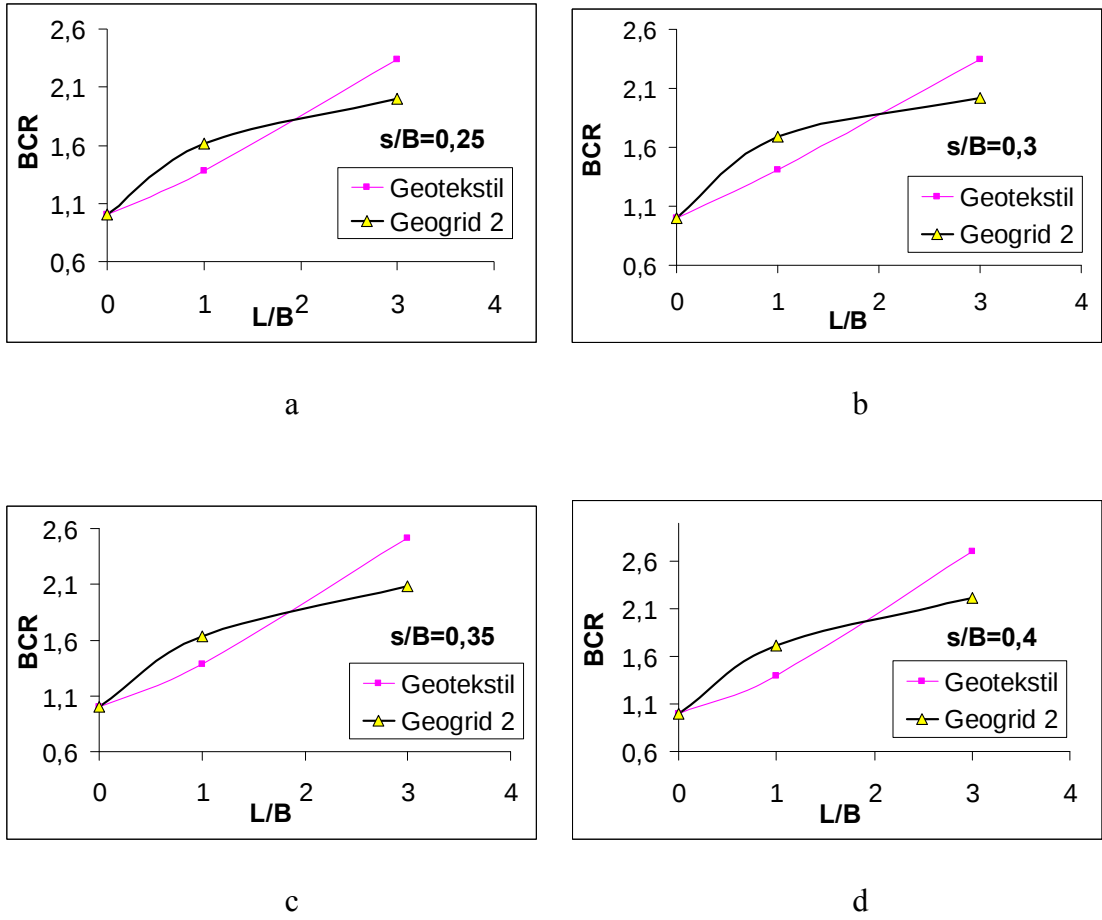
Şekil 4.143. Büyük oturmalarda farklı donatı genişliklerindeki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

*a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$

Çok donatılı testlerin ilk serisinde donatı tabaka sayısı $N=2$ alınmıştır. Dokunmuş Geotekstil ve Geogrid 2 donatı ile yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit tutulmuştur. Şekil 4.144-Şekil 4.145’de iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test verilerinde alınan sonuçlar, temel plakasının farklı oturma değerleri için verilmiştir.



Şekil 4.144. Farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$; $s/B=0,05-0,2$)



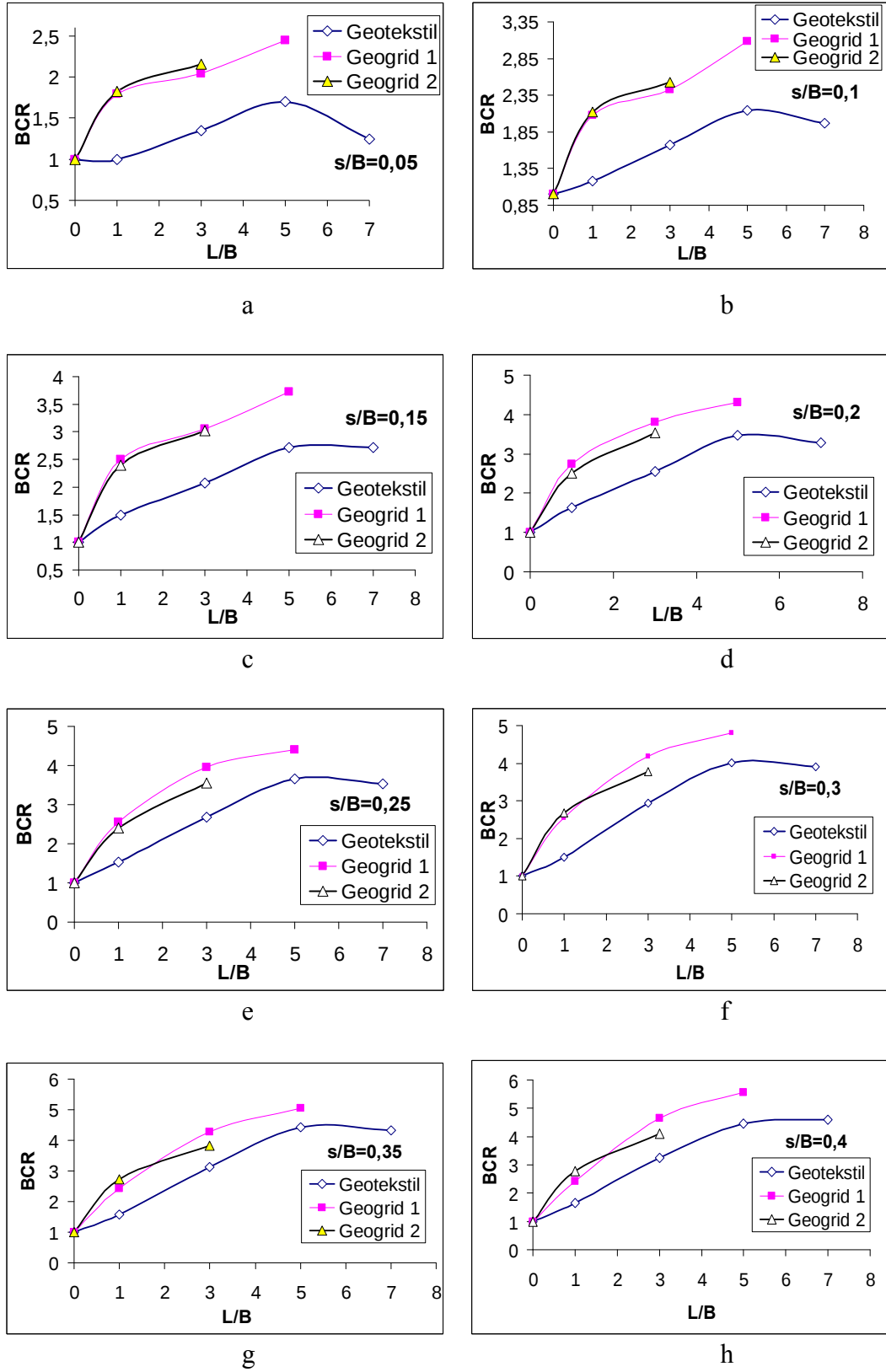
Şekil 4.145. Farklı donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$; $s/B=0,25-0,4$)

İkinci seride ise $N=3$ için Geotekstil, Geogrid 1 ve Geogrid 2 donatılı sistemlerle değişik donatı genişliklerinde yapılan testlerden elde edilen taşıma kapasitesi oranları incelenmiştir. Deneylerde ilk donatı tabaka derinlik oranı ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.146’da iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test verilerinde alınan sonuçlar temel plakasının $s/B=0,05$ oturma oranları için verilmiştir.

Çok donatı tabakalı orta sıkı kumda donatı genişliği ile taşıma kapasite oranı ilişkisini veren söz konusu Şekillerde çıkarılan yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Tek donatılı sistemlerde olduğu gibi çok donatılı sistemlerde de $L=B$ geosentetik genişliği için geogridler daha yüksek BCR oranları vermiştir.

- N=2 donatı sayısında oturma oranı $s/B \geq 0,15$ için donatı tabaka genişliği $L=3$ olduğunda Geotekstilli sistemin taşıma kapasitesi Geogrid 2'li kumunkinden daha yüksektir.
- N=3 donatı sayısında Geogridlerin taşıma kapasitesi, tüm oturma oranlarında Geotekstilden daha büyüktür. Her iki geogridin donatı genişliği ile taşıma kapasitesi ilişkisi birbiri ile çok yakın çıkmıştır.
- N=3 için, $s/B \geq 0,2$ oturma oranından sonra Geogrid 1 ile Geotekstil taşıma kapasitesi ile donatı genişliği ilişkisini gösteren eğriler benzer bir eğim oluşturmuştur.
- Araştırmada, ilk deneyler Geotekstille yapılmış ve maksimum taşıma kapasitesinin $L=5B$ donatı genişliğinde olduğu görülmüştür. Bu sebeple diğer donatı çeşitlerinde $L/B=7$ 'de testler yapılmamıştır.
- Donatı sayısı değiştikçe değişik geosentetiklerin taşıma kapasitesine etkileri de farklılık göstermiştir. Geotekstil donatılı sistem tek donatılı sistemde $L/B=5$ 'de Geogridden daha yüksek BCR'ye sahip olmuştur. N=2 olduğunda $L/B=3$ 'de Geotekstilin taşıma kapasitesi geogridden daha büyük çıkmıştır. Donatı sayısı N=3 olduğunda ise Geotekstil, donatı genişliği değişse de Geogridden daha büyük BCR değerine sahip olmamıştır.



Şekil 4.146. Değişik donatı genişliklerinde hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L=3B$; $h=0,4B$; $N=3$; $s/B=0,05-0,4$)

Literatür incelendiğinde tüm araştırmalarda maksimum taşıma kapasitesini veren sabit bir değere rastlanmamıştır. Fakat genellikle bu çalışmadaki sonuçlara benzer olarak genellikle $L/B=5$ 'ten sonra taşıma gücünün fazla etkilenmediği vurgulanmıştır. Bu çalışmada literatüre ek olarak; farklı donatı sayısı ve geosentetik çeşidinde, donatı genişliğinin orta sıkı kumun taşıma kapasitesine etkilerinin değiştiği gözlenmiştir. Donatı sayısı arttıkça ($N=3$) Geogridli deney sonuçları birbirine yaklaşmış ve geotekstilden çok daha büyük BCR'ler elde edilmiştir. $N=2$ olduğunda $L/B=3$ 'de Geotekstil taşıma kapasitesi geogridden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Geotekstil donatılı sistem tek donatılı sistemde $L/B=5$ 'de Geogridden daha yüksek BCR'ye sahip olmuştur. $L=B$ geosentetik genişliği için incelenen tüm donatı sayılarında ($N=1, 2$ ve 3) ise geogridler daha yüksek taşıma kapasiteleri vermiştir.

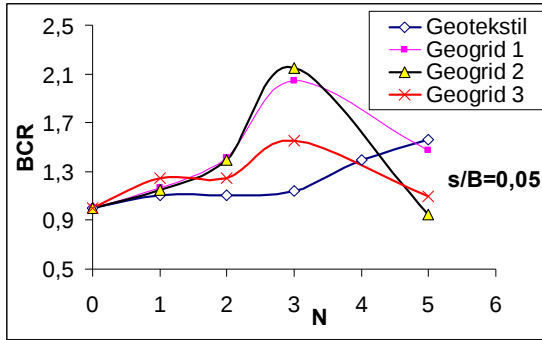
D. Farklı donatılı tabaka sayılarında yapılan deneyler:

Orta sıkı kumun farklı tipteki geosentetikler kullanılarak donatılandırılmasının; donatılı tabaka sayısının değişik değerlerinde ölçülen taşıma kapasitelerine etkisi incelenmiştir. Beş farklı seride yapılan değişik donatılı orta sıkı kumda yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk seride dört farklı geosentetik (Dokunmuş Geotekstil, Geogrid 1, Geogrid 2 ve Geogrid 3) çeşidi için donatı sayısı ile taşıma kapasitesi oranları incelenmiştir. Diğer serilerde ise Geotekstil ile Geogrid 1 veya Geogrid 2 donatılı kumun seçilen farklı parametrelerinde yapılan test sonuçları değerlendirilmiştir.

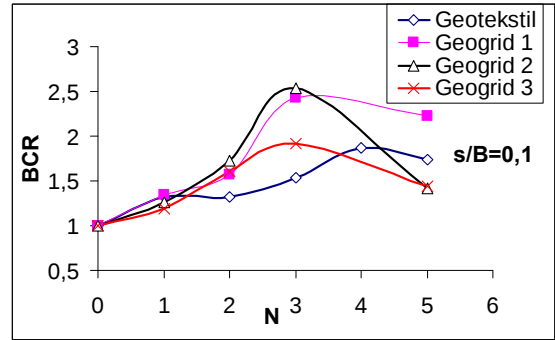
İlk seride dört farklı tipteki geosentetikli sistemin taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Geotekstil, Geogrid 1, Geogrid 2 ve Geogrid 3 ile yapılan deneylerde donatı genişliği ($L/B=3$), ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralıkları ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Donatı sayısı $N=1-5$ arasında değiştirilmiştir. Şekil 4.147 ve Şekil 4.148'de test verilerinden alınan sonuçlar, temel plakasının farklı oturma oranları için sunulmuştur. Söz konusu Şekillerden çıkarılan yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Genelde Geogrid 1 donatılı sistemler daha yüksek BCR değerleri vermiş olup, özellikle $N=5$ sıra donatı kullanıldığında BCR'deki artış daha da belirginleşmiştir.

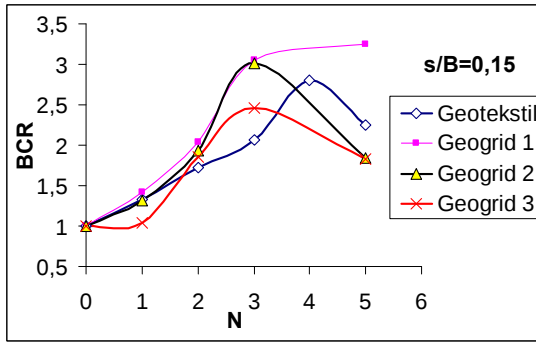
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,1$) Geogrid donatıların taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum donatı sayısı $N_{opt}=3$ 'tür. Geotekstil ise tüm oturma oranlarında $N_{opt}=4$ 'te maksimum BCR değerini almıştır.
- İlk oturma oranlarında maksimum taşıma kapasitesinin olduğu optimum donatı sayıları oluşurken, oturma oranının büyük değerlerine doğru donatılı sistemlerin tümü optimumluktan uzaklaşmıştır. Donatı sayısı çoğaldıkça taşıma kapasitesi artışı da büyümüş ve aralarındaki ilişki lineer devam etmiştir.
- $s/B \leq 0,15$ oturma oranına kadar $N=3$ donatı sayısında maksimum taşıma gücü oranına Geogrid 2 donatısı sahiptir. $s/B \geq 0,2$ 'den sonra ise Geogrid 1 donatısı maksimum BCR değerine ulaşmıştır.
- Donatı sayısının incelendiği maksimum değer olan $N=5$ 'te ise maksimum BCR değerini yine Geogrid 1 kullanılan sistem vermiştir. İkinci olarak geotekstil ve en düşük değeri ise Geogrid 3 donatılı model vermiştir.
- Buda göstermiştir ki, büyük oturma oranları ve donatı sayılarında Geogrid 1 donatılı modellerin taşıma gücü maksimum olmaktadır.
- Donatı sayısı $N > 2$ için değişik tipteki donatılar arasındaki taşıma kapasitelerindeki farklar artmıştır.



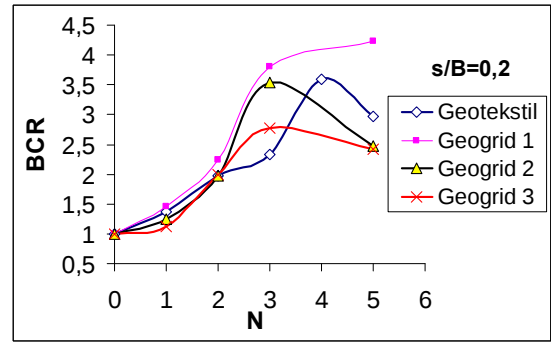
a



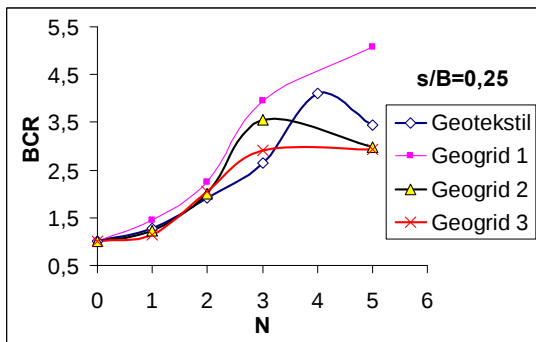
b



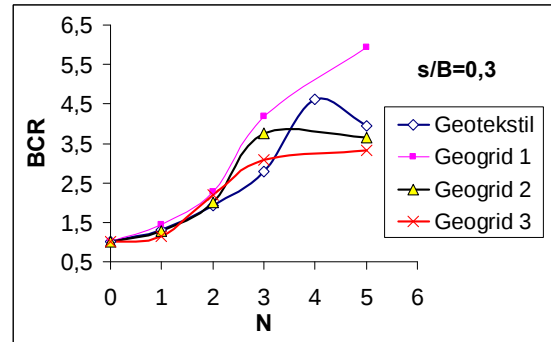
c



d



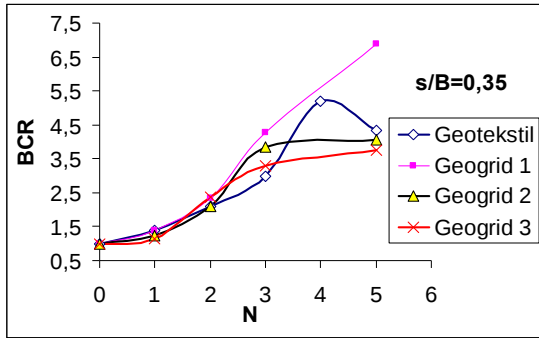
e



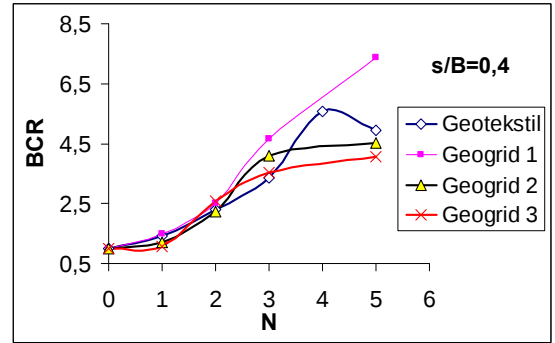
f

Şekil 4.147. Farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$)

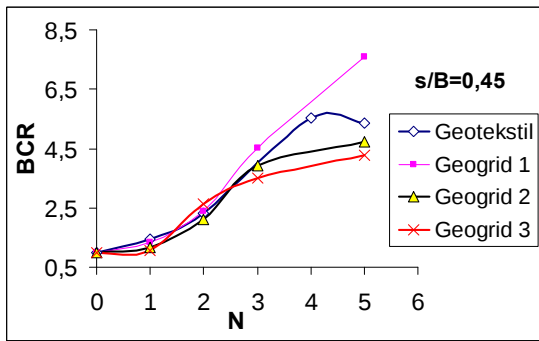
* a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



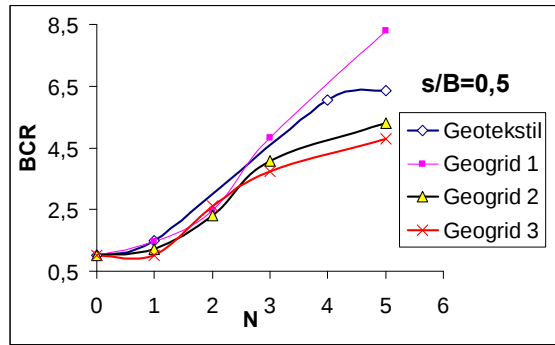
a



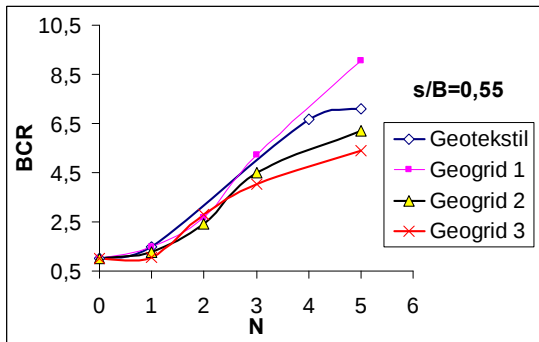
b



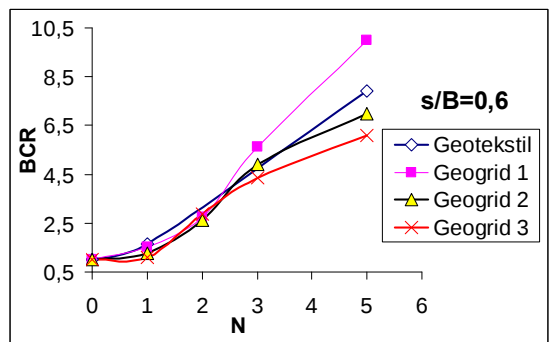
c



d



e



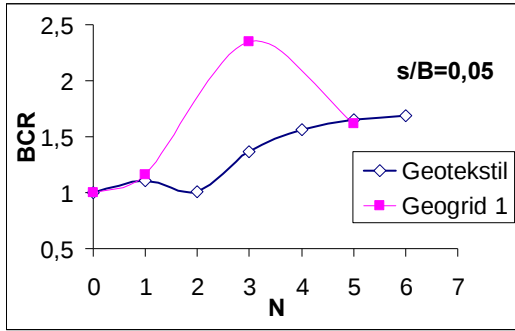
f

Şekil 4.148. Farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$)

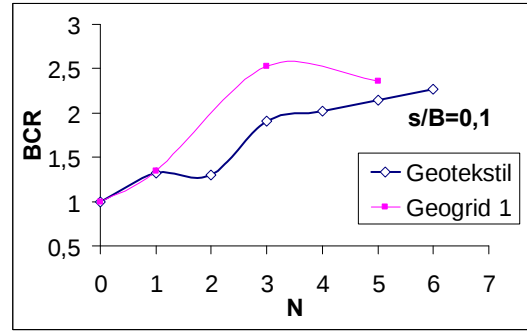
* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$

İkinci seri testlerde, $h/B=0,2$ donatı düşey aralığında iki farklı geosentetikli sistemin donatı sayısı ile taşıma kapasitesi değişimi araştırılmıştır. Geotekstil ve Geogrid 1 donatısı ile yapılan deneylerde donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. Şekil 4.149 ve Şekil 4.150’de iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test sonuçları, temel plakasının farklı oturma oranlar için verilmiştir. Şekillerden çıkarılan yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

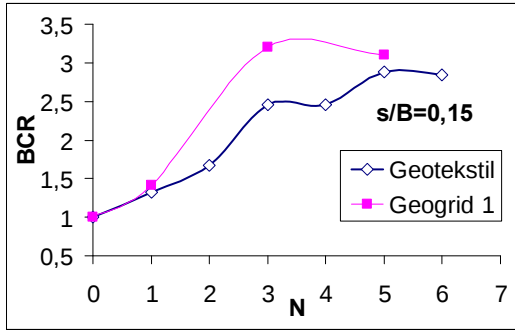
- Temel plakasının küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,2$) Geogrid 1 donatılı sistemin taşıma kapasitesi donatı sayısını optimum bir değerinde ($N_{opt}=3$) maksimum oluşmuştur. Oturma oranı $s/B>0,2$ ’de donatı sayısı ile taşıma kapasitesinin artışı lineere yakın artma eğilimi göstermiştir.
- Geosentetikli deneylerde ise $N=3$ donatı sayısına kadar taşıma gücü hızla artarken, $N=3$ ’ten sonra BCR daha düşük hızla büyümüştür.
- $s/B\geq 2$ ’den itibaren Geosentetikli test sonuçlarından $N=3$ ve 4 birbirine yakın taşıma kapasitelerine sahip olmuşlardır. $N=5$ ’te yeniden BCR artış göstermiş, $N=6$ ’da ise önemsenecek düzeyde ek bir yükseliş yapmamıştır.
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,35$) Geogrid 1 donatılı sistemin taşıma kapasitesi Geotekstil’e göre daha büyük hesaplanmıştır. $N>3$ olduğunda ise Geogrid 1 donatılı sistem ile geotekstilli deneyler arasındaki BCR farkı artmıştır.
- Temel plakasının oturma miktarı arttıkça donatı sayısı $N=3$ ’e kadar olan farklı geosentetikli sistemlerin taşıma güçleri yaklaşık aynı miktardadır.



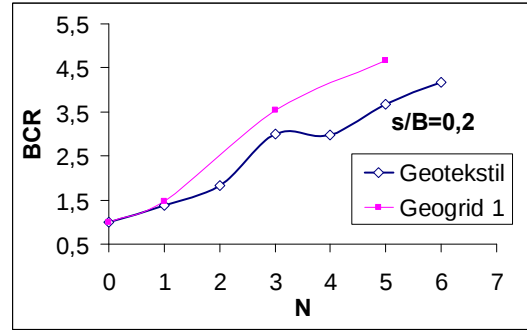
a



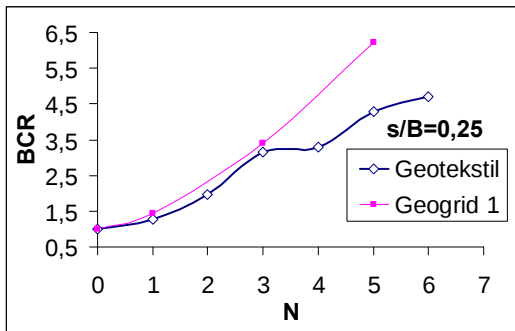
b



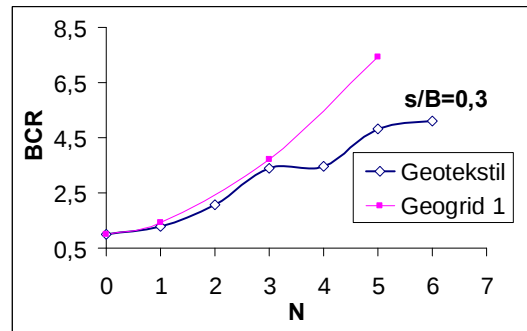
c



d



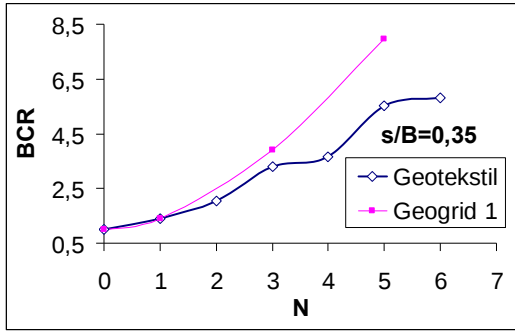
e



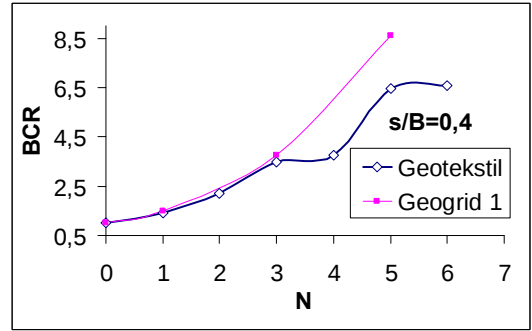
f

Şekil 4.149. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarındaki taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)

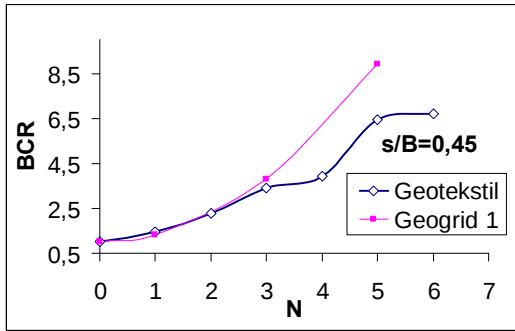
*a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



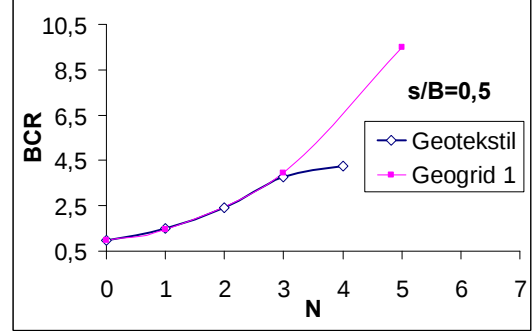
a



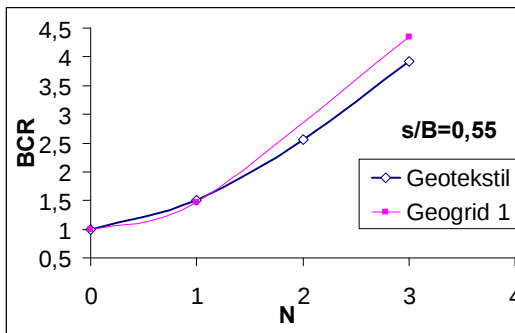
b



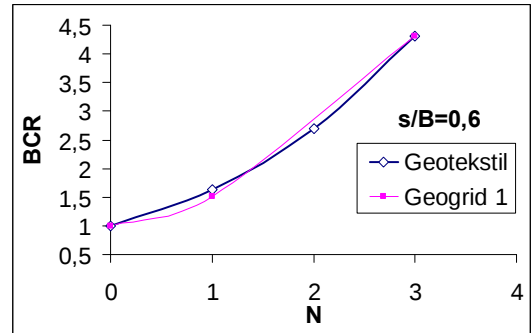
c



d



e



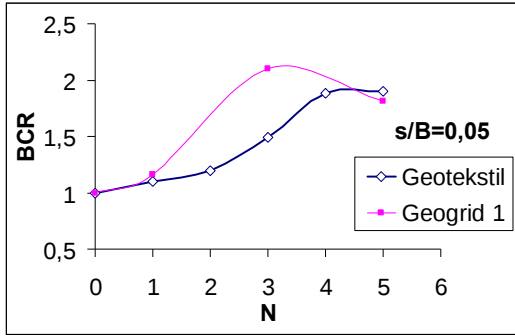
f

Şekil 4.150. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,2$)

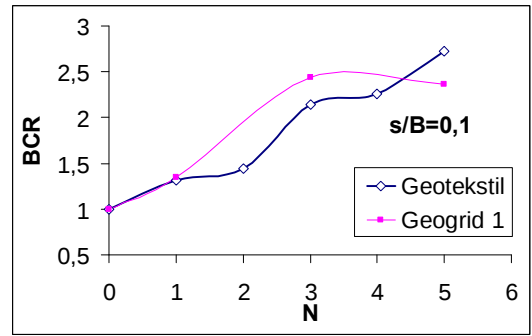
* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$

Üçüncü seride donatı düşey aralığı $h/B=0,6$ olan Geotekstil ve Geogrid 1 donatılı sistemde donatı sayısı ile taşıma kapasite değişimi incelenmiştir. Deneylerde donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. Şekil 4.151 ve Şekil 4.152’de iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test sonuçları farklı oturma oranları için verilmiştir. Şekillerden çıkarılan yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

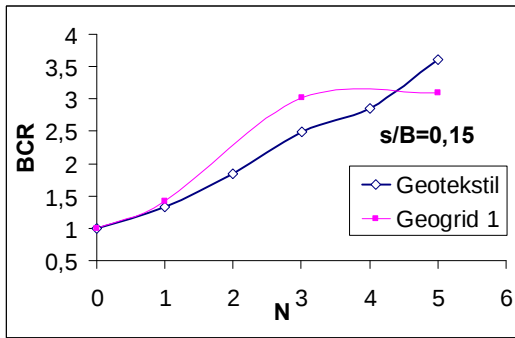
- Küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) Geogrid 1 donatılı sistemin taşıma kapasitesinin maksimum olduğu optimum donatı sayısı $N_{opt}=3$ ’tür. Oturma oranları arttıkça optimum donatı sayısı oluşmamıştır. Taşıma kapasitesi oranı (BCR)-donatı tabaka sayısı (N) ilişkisi lineerleşmiştir.
- Geotekstil donatılı sistemlerin taşıma kapasitesi oranı (BCR)-donatı tabaka sayısı (N) ilişkisinde, $N=3$ ’e kadar geogride göre daha hızlı bir artış olmuştur. $N>3$ ’ten sonra daha az miktarda artış gerçekleşmiştir.
- Geogrid 1, Geotekstil donatıya nazaran BCR’yi daha fazla yükseltmiştir. Fakat küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,2$) donatı tabaka sayısı $N=5$ için Geotekstil kullanılan deney sonuçlarının BCR’si daha büyük çıkmıştır. $N=5$ iken oturma oranı arttıkça $s/B=0,25-0,45$ ’te Geogrid 1’li deney sonunda BCR’ler daha fazla büyümüştür. $s/B>0,45$ ’te ise BCR değerleri her iki donatı çeşitli deneyde de benzer değer vermiştir.
- Oturma oranları arttıkça Geotekstil’in taşıma gücü Geogrid 1 donatılı deney sonuçlarına yaklaşmıştır. Büyük oturma oranlarında her iki donatı çeşidi kullanılan test sonuçlarında; donatı tabaka sayısının çoğalması ile taşıma kapasitesi oranı (BCR) da hızla yükselmiştir. Yani taşıma kapasitesi oranı (BCR)-donatı tabaka sayısı (N) ilişkisi hızla lineer artan bir grafik özelliği göstermiştir.



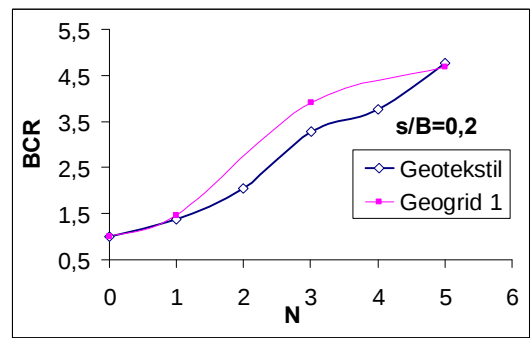
a



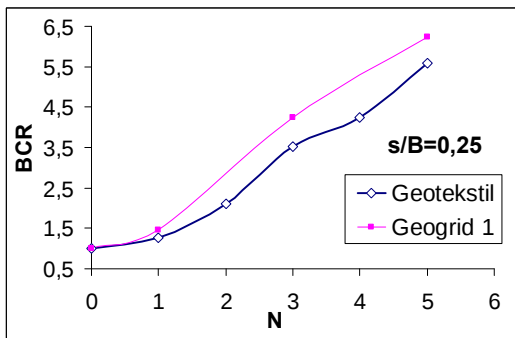
b



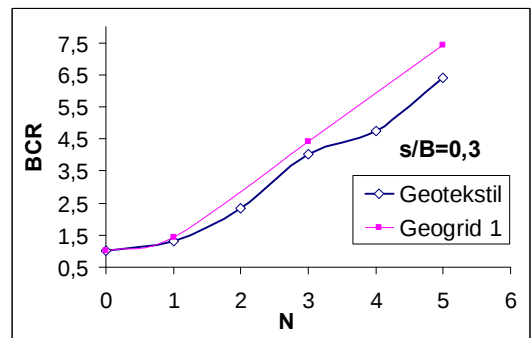
c



d



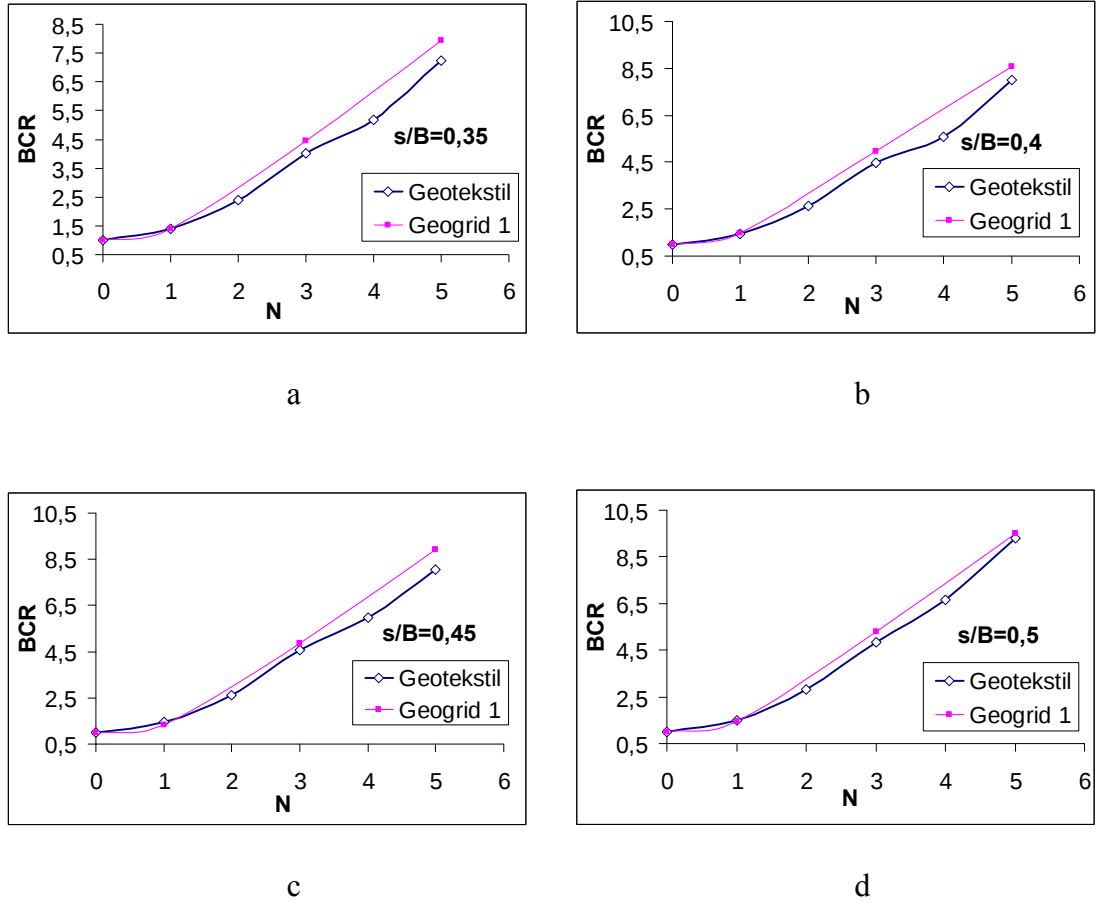
e



f

Şekil 4.151. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)

* a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



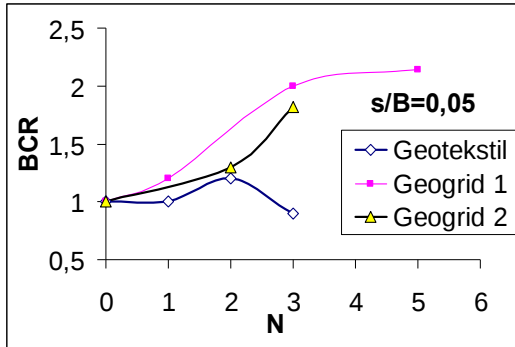
Şekil 4.152. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h/B=0,6$)

* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$

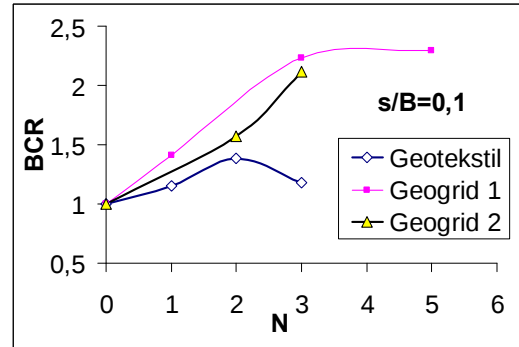
Dördüncü seride donatı genişliği temel genişliğine eşit ($L/B=1$) Geotekstil, Geogrid 1 ve Geogrid 2 donatılı sistemlerin taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralıkları ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.153 ve Şekil 4.154’da iki farklı donatı çeşidiyle yapılan test sonuçları farklı oturma oranları için verilmiştir. Yorumlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Temel plakasının küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,3$) Geogrid 1 donatılı sistemler, diğer donatılara nazaran maksimum taşıma kapasitesine sahiptir. Optimum donatı sayısı $N_{opt}=3$ ’te maksimum BCR oluşmuştur.

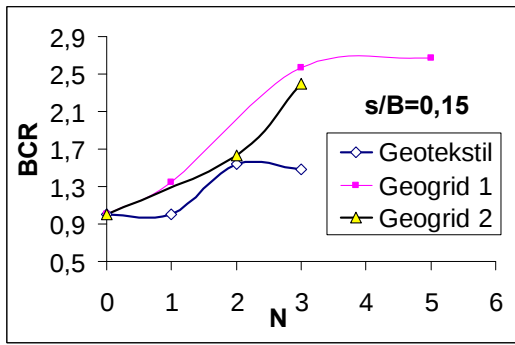
- Geotekstil kullanılan sistemin taşıma gücü diğer donatılı sistemlerden daha azdır ve küçük oturma değerlerinde ($s/B < 0,2$) optimum donatı sayısı $N_{opt}=2$ 'dir.
- Geogrid 2'li testlerde ise taşıma kapasiteleri donatı sayısı ile hızla artmıştır. $s/B=0,35$ oturma oranından sonra en iyi taşıma gücünü Geogrid 2 donatılı deney sonuçları göstermiştir. Temel plaksının oturma miktarı arttıkça diğer donatılar ile arasındaki taşıma kapasitesi oranı farkı büyümüşür.
- Geosentetik sayısı arttıkça sistemin taşıma kapasitesinde daha fazla büyüme olmuştur.
- $L=B$ donatı genişliği için BCR ile donatı sayısı ilişkisi; $L/B=3$ geosentetik genişlikli sistemlere nazaran farklı davranış sergilemiştir. Donatılı orta sıkı kumda maksimum taşıma kapasitesini $L/B=3$ iken tüm oturma oranlarında Geogrid 1'li sistem vermiştir $L/B=1$ olduğunda ise küçük oturma oranlarında Geogrid 1, $s/B > 0,3$ oturma oranında ise Geogrid 2'li modelin BCR'si maksimumdur.



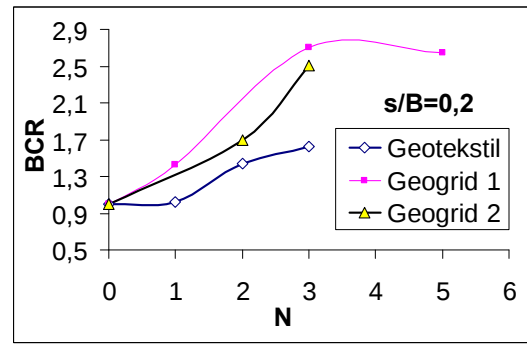
a



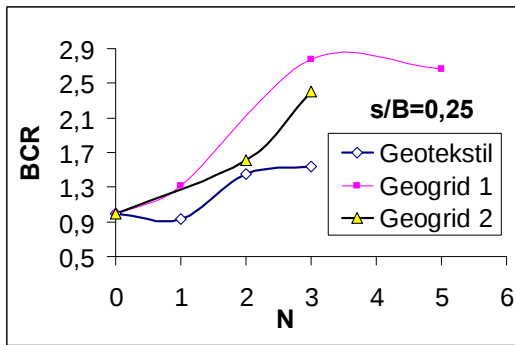
b



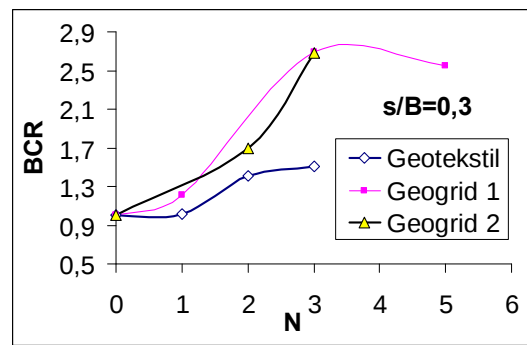
c



d



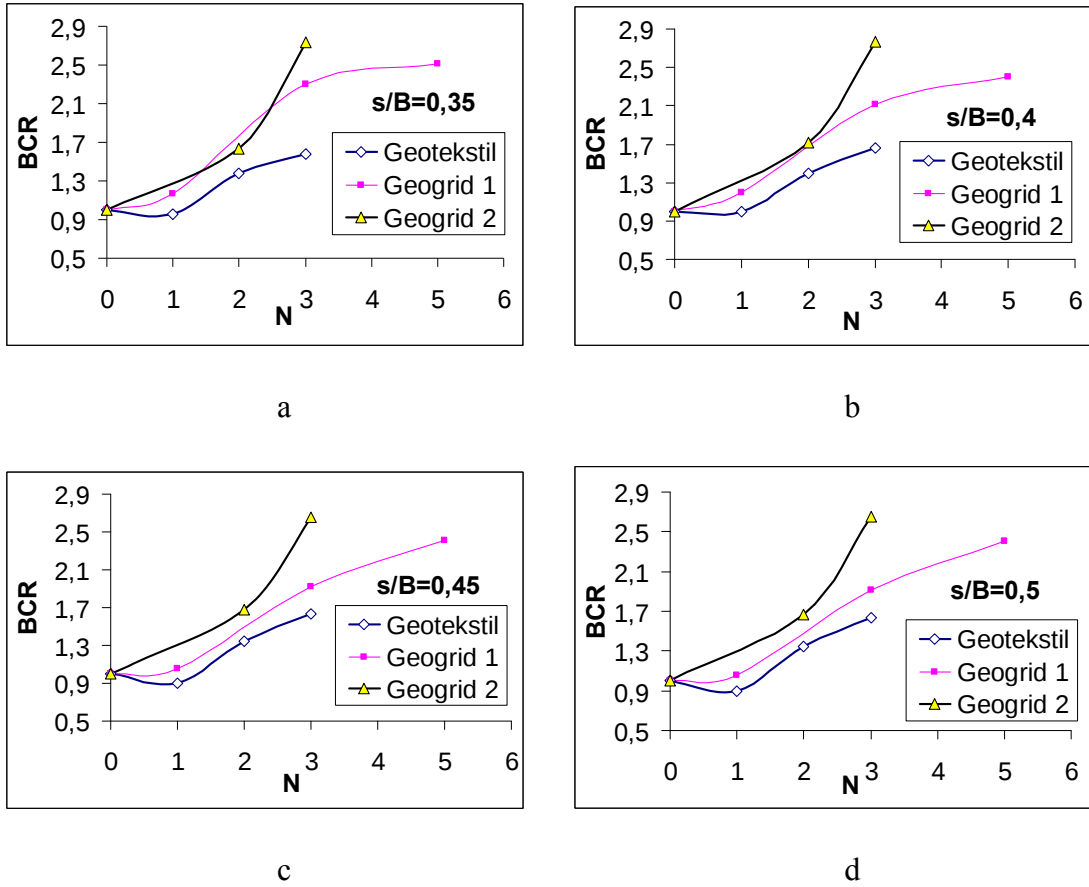
e



f

Şekil 4.153. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h=0,4B$)

* a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



Şekil 4.154. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,35$; $L/B=1$; $h=0,4B$)

* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$

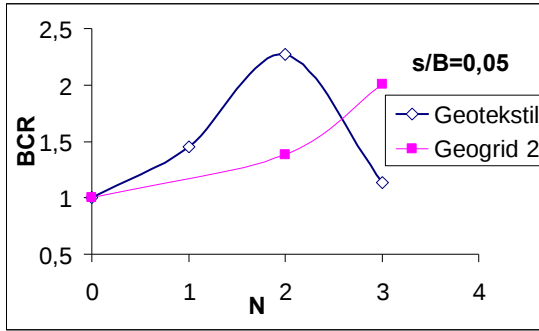
Beşinci seride ilk donatı derinliği $u/B=0,55$ alınarak Geotekstil ve Geogrid 2 donatısı kullanılarak güçlendirilen orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temellerin taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Deneylerde donatı genişliği ($L/B=3$) ve donatı düşey aralıkları ($h/B=0,4$) sabit alınmıştır. Şekil 4.155 ve Şekil 4.156’da iki farklı donatı çeşidi test sonuçları temel plakasının farklı oturma oranları için verilmiştir. Değerlendirmeler aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Temel plakasının küçük oturma oranlarında ($s/B=0,05-0,15$) geotekstilli sistem maksimum taşıma kapasitesini optimum donatı sayısında göstermiştir. Bu sayı $N_{opt}=2$ ’dir.
- Geogrid 2’li sistem ise donatı sayısı arttıkça taşıma kapasitesi de hızla artmıştır.

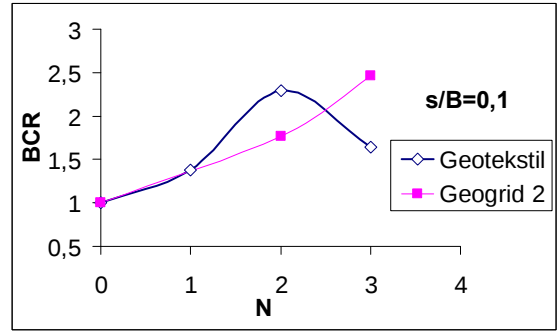
- $N=1$ ve 2 donatı sayıları için Geotekstil daha yüksek taşıma kapasite oranı verirken, $N=3$ 'te Geogrid 2 donatılı modelin BCR'si daha yüksektir.
- Temel oturmaları arttıkça Geotekstilli modellerde optimum donatı tabaka sayısı oluşmamıştır. Donatı sayısı arttıkça BCR'de büyümüştür.
- Temel oturması arttıkça iki farklı donatının taşıma gücüne etki değerleri birbiriyle benzerlik göstermeye başlamıştır. Büyük oturma oranlarında $N=1$ ve 2 donatı tabaka sayılı deneylerin taşıma kapasiteleri her iki donatı çeşidi içinde yaklaşık aynı çıkmıştır.

Şekil 4.157, Şekil 4.158 ve Şekil 4.159'da farklı iki donatı çeşidinde $u/B=0,55$ ve $0,35$ ilk donatı derinliklerinde değişik donatı sayılar için hesaplanan taşıma kapasitesi oranları görülmektedir. Bu grafikler birinci ve beşinci serilerin ortak karşılaştırılması olarak değerlendirilebilmiştir. Araştırmada, Geotekstil ve Geogrid 2 donatıları kullanılmıştır. Üç değişik temel plakası oturma oranında hesaplanan taşıma kapasiteleri incelenmiş ve aşağıdaki gibi yorumlanmıştır;

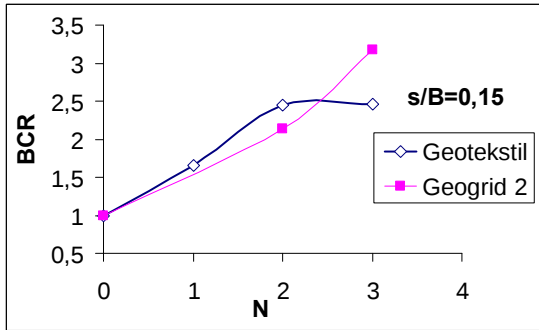
- Temel plakasının küçük oturma oranlarında ($s/B=0,1$) geogridli deneyler, farklı ilk donatı derinliklerinde aynı taşıma kapasiteleri vermiştir.
- Küçük oturma oranında ($s/B=0,1$) Geogridli modelin $u/B=0,35$ için optimum donatı sayısının $N_{opt}=3$ olduğu görülmüştür. Geotekstilli sistemlerde ise farklı ilk donatı derinliklerinde aynı donatı sayılarında değişik taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Geotekstil kullanılarak yapılan testlerde $u/B=0,35$ ilk donatı derinliğinde $N_{opt}=4$, $u/B=0,55$ 'de ise $N_{opt}=2$ olarak hesaplanmıştır.
- $s/B=0,4$ olduğunda taşıma gücü oranları birbirine yaklaşmaya başlamış ve optimumluk gözlenmemiştir.
- Tüm donatılı modellerde, $s/B=0,6$ 'da donatı sayısı arttıkça BCR'de yükselmiştir. Farklı ilk donatı derinliklerinin eğrileri birbirlerine yaklaşmıştır. Donatı çeşitleri değişik olsada aynı ilk donatı derinliğine sahip deney sonuçları benzer değerler vermiştir. Her iki donatı çeşidi için de $u/B=0,55$ ilk donatı derinlikli modellerin daha büyük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.



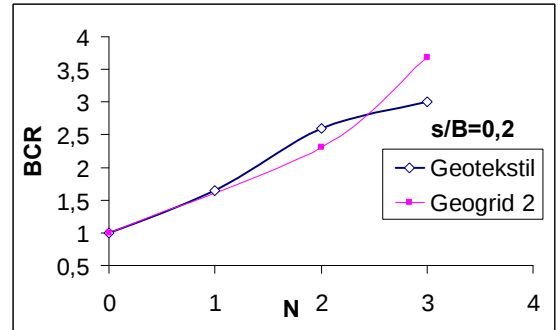
a



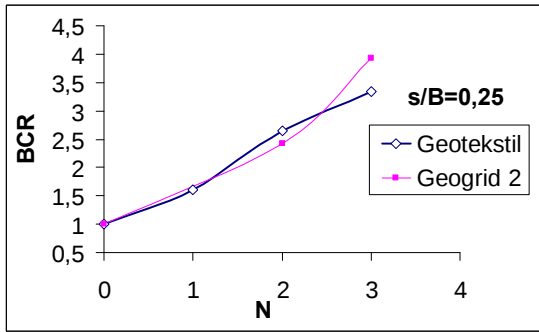
b



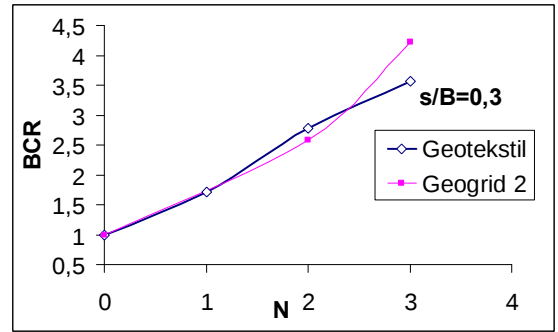
c



d



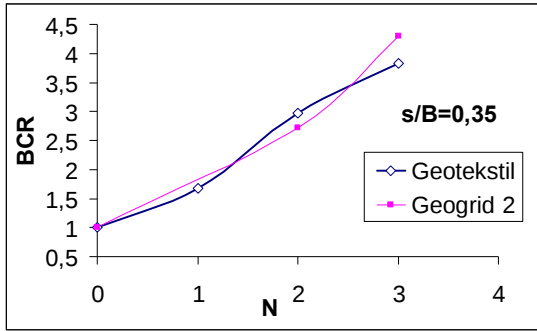
e



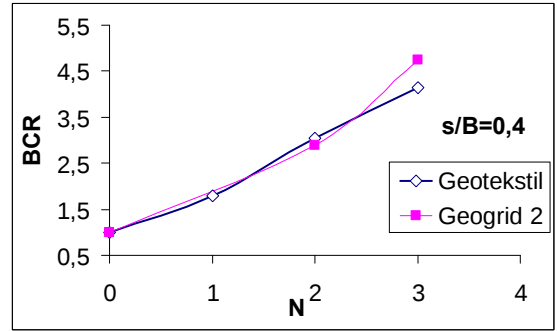
f

Şekil 4.155. Küçük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h=0,4B$)

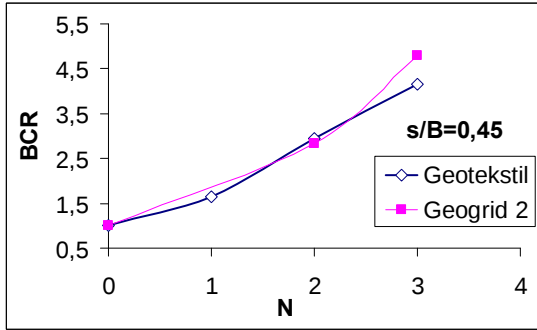
*a. $s/B=0,05$; b. $s/B=0,1$; c. $s/B=0,15$; d. $s/B=0,2$; e. $s/B=0,25$; f. $s/B=0,3$



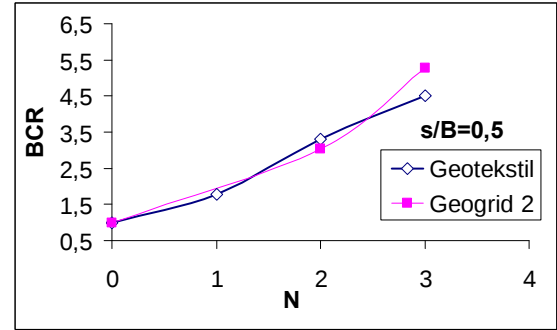
a



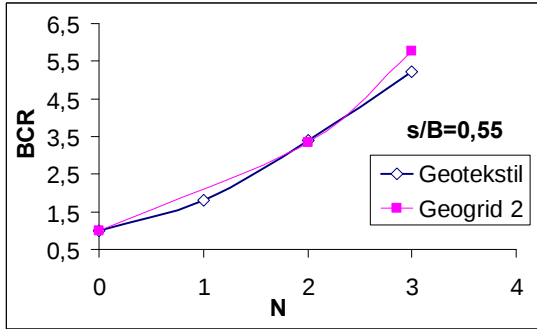
b



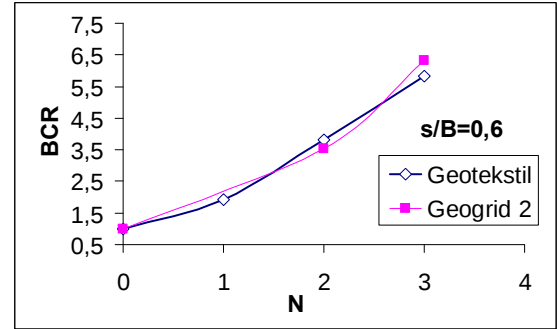
c



d



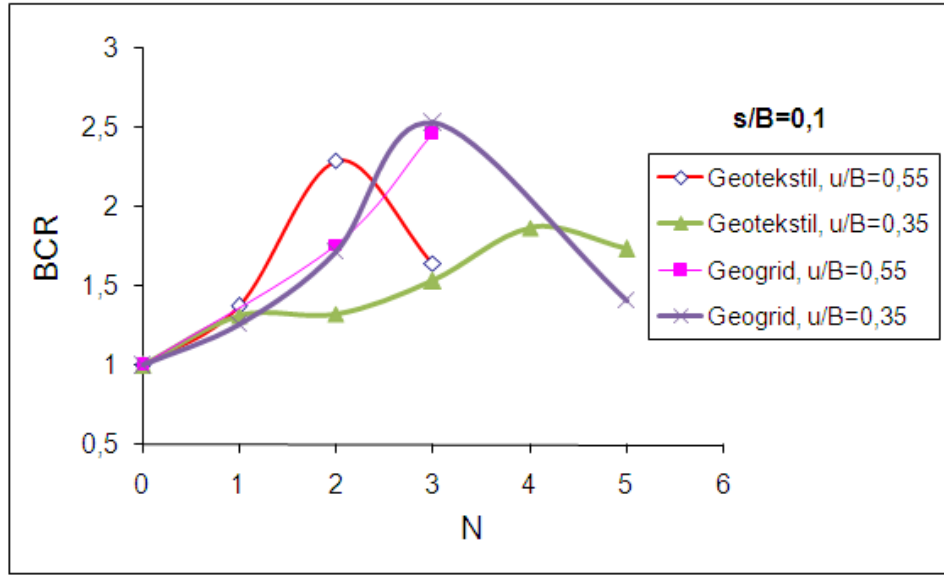
e



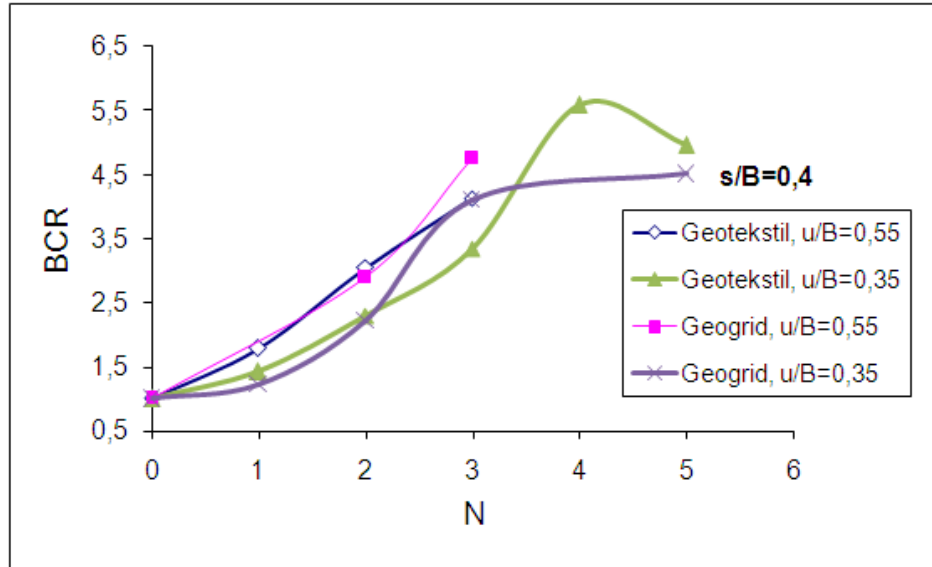
f

Şekil 4.156. Büyük oturma oranlarındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($u/B=0,55$; $L/B=3$; $h=0,4B$)

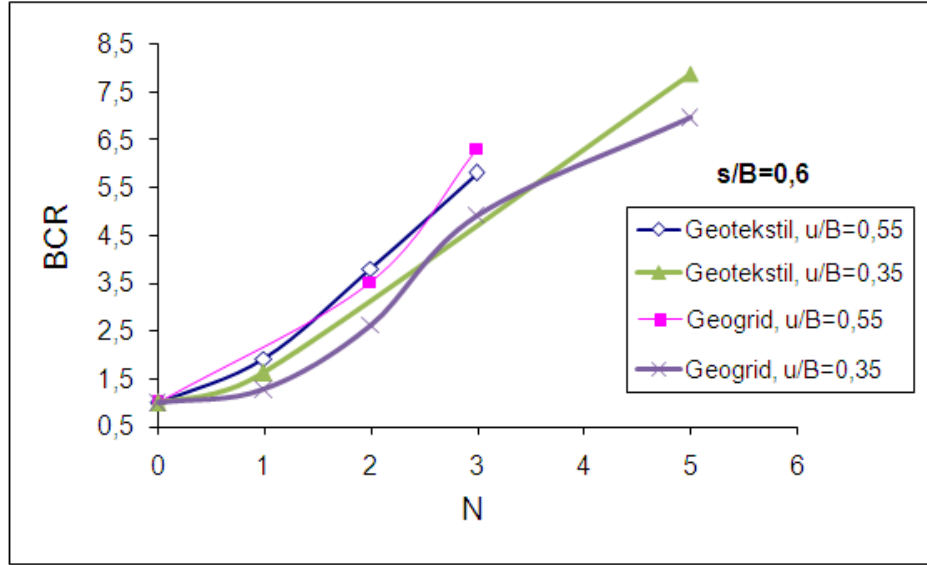
* a. $s/B=0,35$; b. $s/B=0,4$; c. $s/B=0,45$; d. $s/B=0,5$; e. $s/B=0,55$; f. $s/B=0,6$



Şekil 4.157. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)



Şekil 4.158. Temel plakasının $s/B=0,4$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)

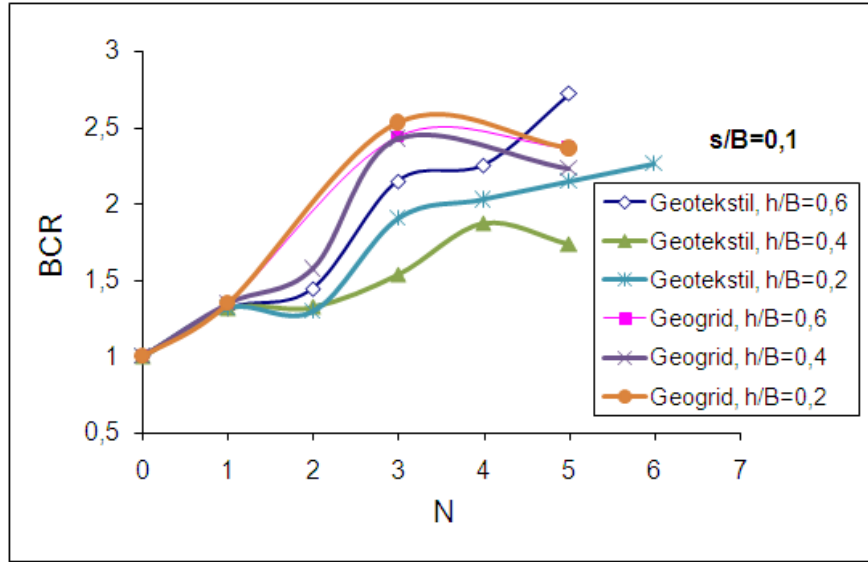


Şekil 4.159. Temel plakasının $s/B=0,6$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $h=0,4B$)

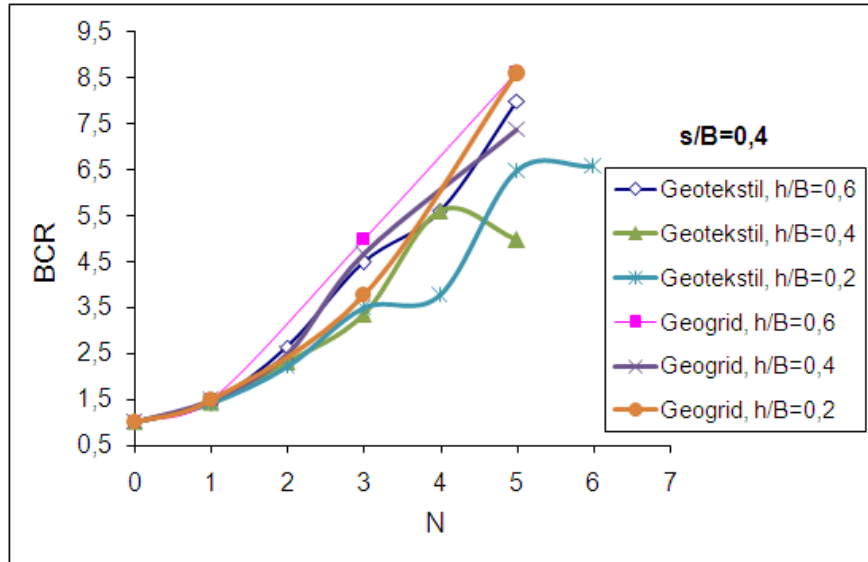
Şekil 4.160, Şekil 4.161 ve Şekil 4.162’de farklı iki donatı çeşidinde değişik donatı düşey aralıklarında ($h/B=0,2$; $0,4$; $0,6$) donatı sayısı ile taşıma kapasitesi oranı ilişkisi görülmektedir. Bu Şekiller ilk üç serinin ortak karşılaştırılması olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada Geotekstil ve Geogrid 1 donatısı kullanılmıştır. Sistemlerde meydana gelen davranışları temsilen seçilen üç değişik oturma oranında hesaplanan taşıma kapasiteleri incelenmiş ve aşağıdaki gibi yorumlanmıştır;

- Temel plakasının küçük oturma oranında ($s/B=0,1$) geogridler için maksimum taşıma kapasitesi Geogrid 1 ile yapılan $h/B=0,2$ donatı düşey aralıklı deneyde elde edilmiştir. Maksimum BCR optimum donatı sayısı $N_{opt}=3$ ’te hesaplanmıştır.
- Geotekstilli sistemlerde ise maksimum BCR değeri $h/B=0,6$ donatı aralıklı $N=5$ donatı sayılı sistemde elde edilmiştir. Optimum donatı sayısı sadece $h/B=0,4$ durumunda meydana gelmiştir. Bu değer Geotekstil için $N_{opt}=4$ ’tür.
- Oturma oranı artınca ($s/B=0,4$) donatılı sistemlerin taşıma gücü değerleri birbirine yaklaşılmaya başlamıştır.
- Tüm donatılı sistemlerde büyük oturma oranında ($s/B=0,6$), geosentetik sayısı arttıkça taşıma kapasitesi oranları da büyümüştür.

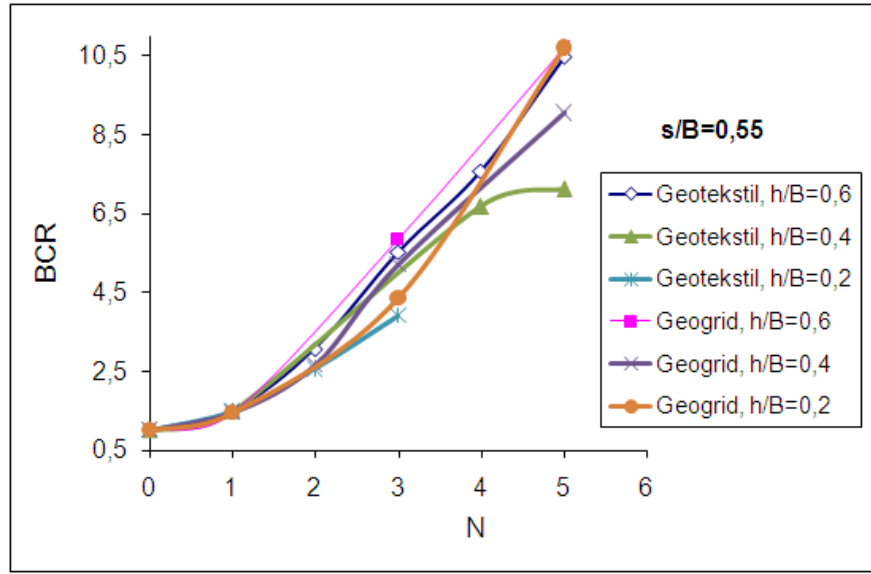
- Tüm donatı çeşitleri için ortalama $2B$ derinliği efektif donatılı zon derinliği olarak düşünülebilmektedir.



Şekil 4.160. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)



Şekil 4.161. Temel plakasının $s/B=0,4$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)



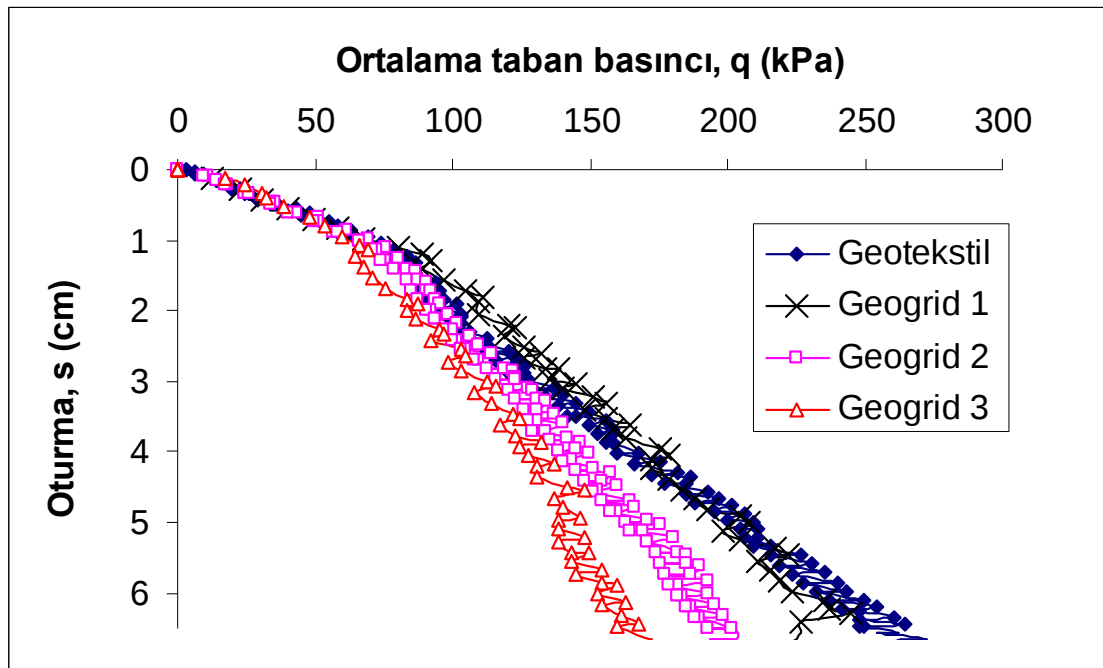
Şekil 4.162. Temel plakasının $s/B=0,1$ oturma oranındaki farklı donatı sayılarında hesaplanan taşıma kapasitesi oranları ($L/B=3$; $u/B=0,35$)

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, orta sıkı kum içine yerleştirilen her bir donatı çeşidinin maksimum taşıma gücünü kendine has donatı parametrelerinde verdiği görülmüştür. Yani değişik şekillere ve çeşide sahip her zemin donatısının çalışma kriterleri birbirinden farklı olabilmektedir. Literatürde farklı çeşitlerde donatılar kullanılarak yapılan deneylerin değişik optimum ve maksimum değerler verme sebebinin bu özellikten kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

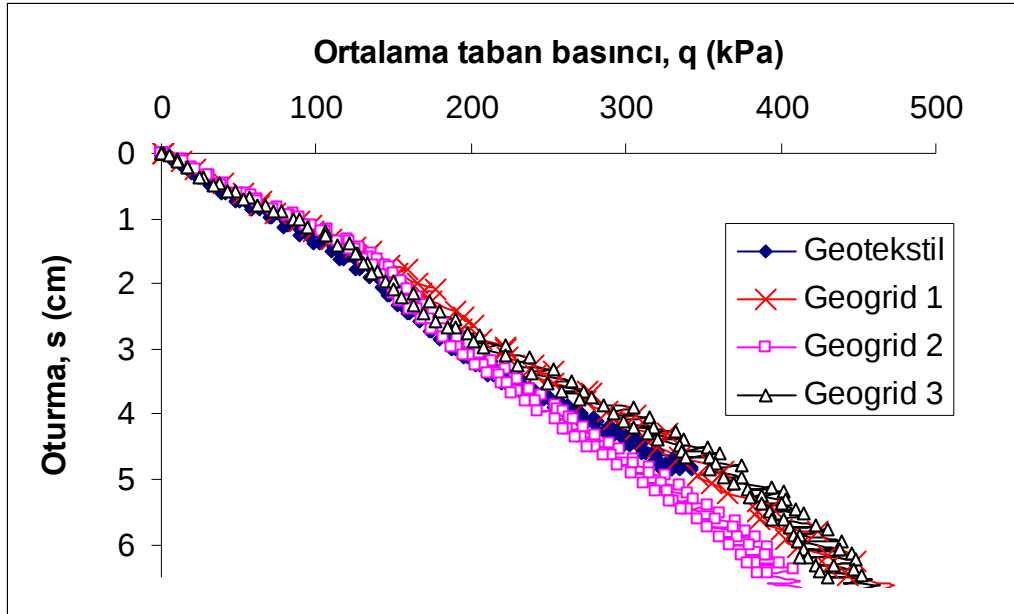
Şekil 4.157-Şekil 4.162 incelendiğinde; taşıma gücü açısından geosentetik özelliklerinin küçük oturma oranlarında önem kazandığı görülmüştür. Tasarımda nihai taşıma gücü değeri, göçmenin tamamlandığı büyük oturma oranları için limit denge analizi ile belirlenir. Bu değer güvenlik sayısına bölündüğünde servis yükleri altındaki farklı donatıların davranış şekilleri gözden kaçırılabilir. Oysa ki her sistemin kendi içerisinde bir dengeye sahip olduğundan bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Donatı sayısına bağlı olarak oluşturulan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri aşağıda Şekil 4.163-Şekil 4.164'te verilmiştir. Dört farklı geosentetik kullanılarak $u/B=0,35$ donatı derinliği, $h/B=0,4$ geosentetik aralığı ve $L/B=3$ donatı genişliğinde yapılan test

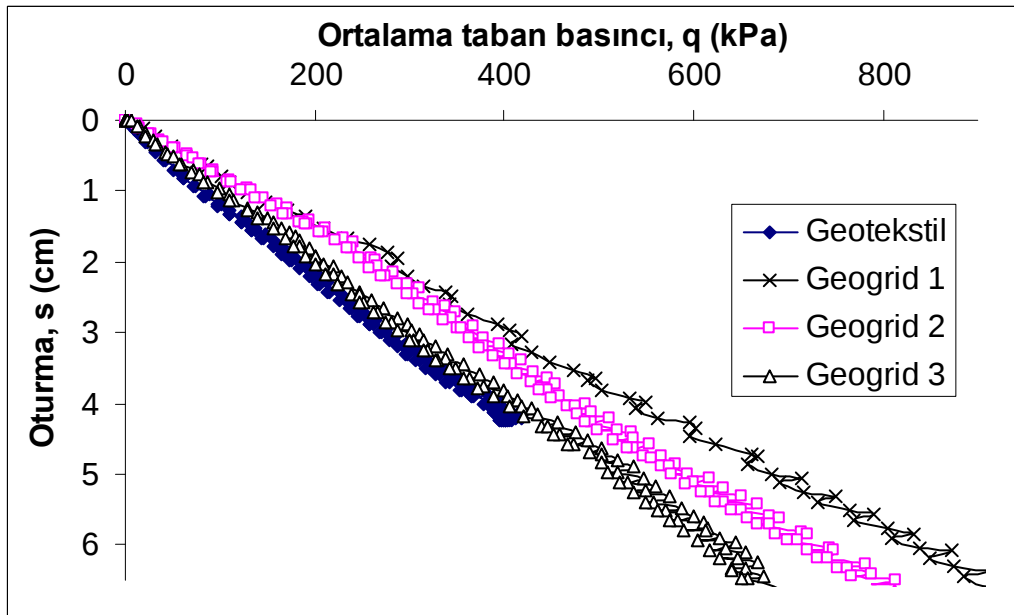
sonuçları incelenmiştir. Bu deneylerde donatı sayısı arttıkça en az oturmayı yaparak maksimum taşıma gücüne Geogrid 1 donatılı sistemin sahip olduğu görülmüştür. Dört donatı çeşidinde de geosentetik sayısının arttırılması ile ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğimleri değişmiştir. Tek donatılı durumda uygulanan basınç ile oturma eğrisinin eğimi yaklaşık 100 kPa değerine gelmeden değişmiş ve artan yük ile deformasyonlardaki artış büyümüştür (Şekil 4.163). Donatı sayısı arttıkça, sistemlerde böyle bariz bir kırılma noktası oluşmamıştır. Taban basıncı ile oturma eğrisi deney sonuna kadar yaklaşık lineer olarak devam etmiştir (Şekil 4.164 ve Şekil 4.165). N=5 sıra donatı kullanılması durumunda ise ilave oturma değerleri artan taban basıncı ile giderek azalmıştır (Şekil 4.166).



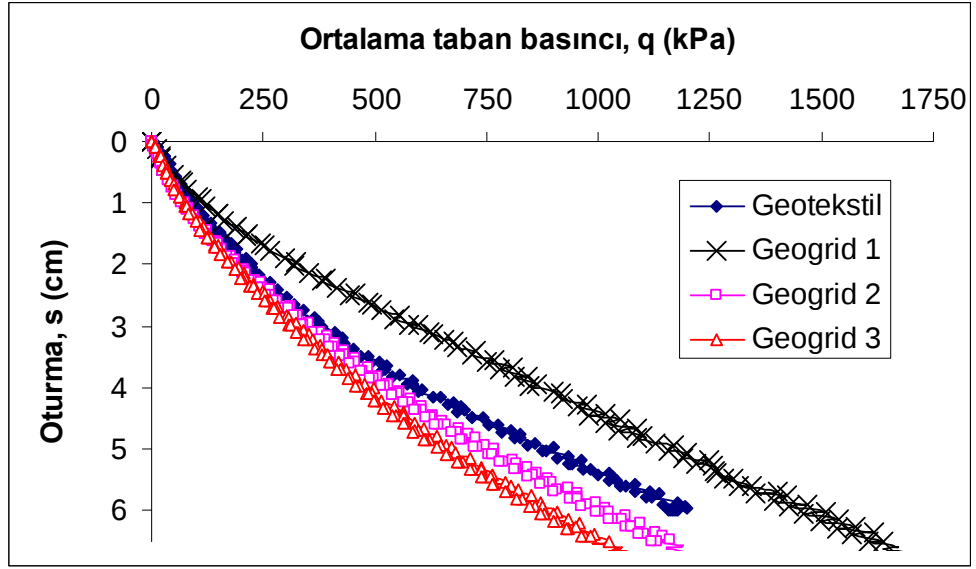
Şekil 4.163. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)



Şekil 4.164. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

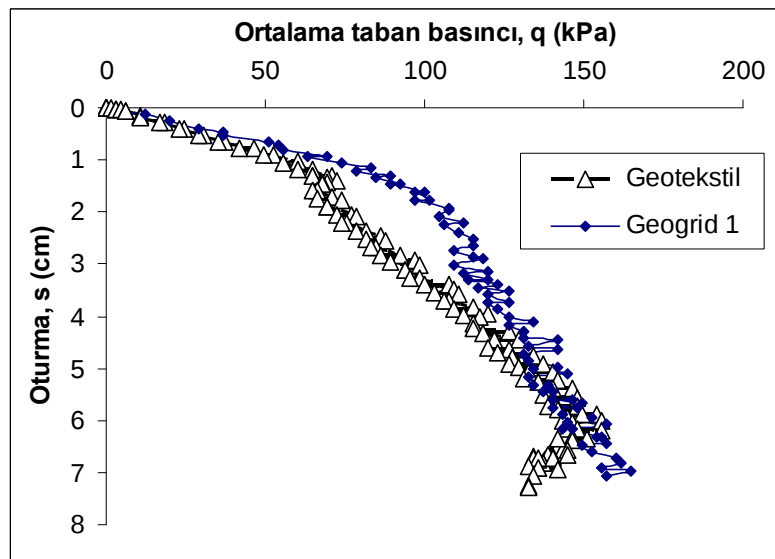


Şekil 4.165. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

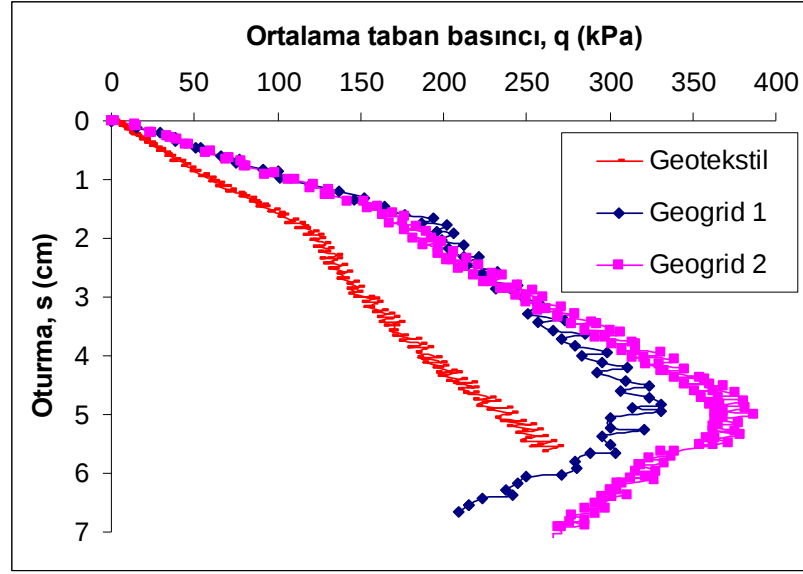


Şekil 4.166. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)

$L=B$ için donatı sayısına bağlı olarak oluşturulan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri aşağıda Şekil 4.32-Şekil 4.33’de verilmiştir. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$), geosentetik aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınan test sonuçları incelenmiştir. Bu durumda donatı sayısı artsa da yukarıda bahsedilen durum gözlenmemiştir.



Şekil 4.167. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $N=1$)



Şekil 4.168. Farklı geosentetik donatıları için ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Donatı genişliği $L > B$ olduğunda ve geosentetik sayısı $N > 3$ olan zeminlerde ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin eğiminin artan yükle oturma miktarının çok daha hızlı azalarak devam etmesi yani sistemin yük-oturma davranışının donatısız durumdakinin tam tersi yönde ilerlemesinin sebebinin aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanabileceği tahmin edilmiştir;

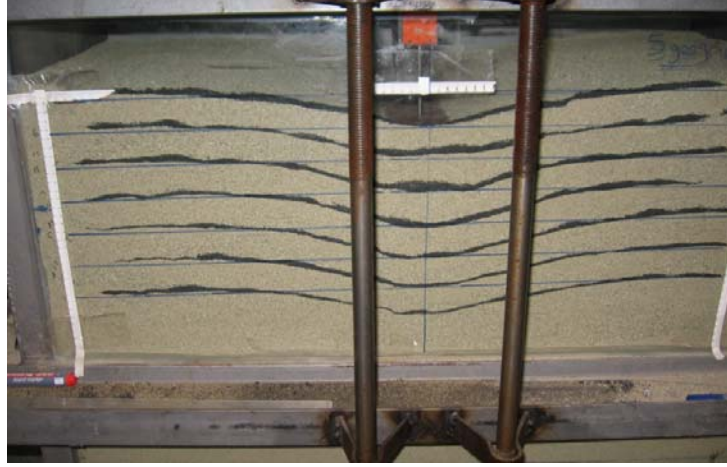
- İlerdeki açıklanacak olan zemin gerilmelerinin incelendiği deney ve Sonlu Elemanlar hesaplarında görüleceği gibi geosentetik donatılar; zeminde yanal basınçların değişmesine ve dolayısı ile kumun kayma direncinin farklılaşmasına sebep olmaktadır. Böylece kayma mukavemetine eşdeğer bir çevre basıncının etkili olduğu ve zeminin pasif kırılma yapma eğilimi gösterdiği tahmin edilmiştir.
- Donatı sayısının artması ile model derinliklerine aktarılmaya çalışılan gerilmeler sebebiyle göçmenin donatılı bölge altında oluşmuştur. Donatılı zon adeta derin temel gibi davranmış ve kayma yüzeyleri daha yanalarda ve derinde oluşmaya çalışmıştır. Böylece sistem, büyük yüklerde daha küçük oturmalar yapmıştır.

- Diğer bir teori ise, membran etkisi ile geosentetik sayısının artması ile donatılarda oluşan çekme kuvvetinin düşey bileşenlerinin yukardan gelen yükü daha fazla karşılamaları ve oturmaya engel olmaya çalışmaları tahminidir. $L=1B$ için donatılar zeminde membran etkisi yaratamadığından bu durumun gözlenmediği düşünülmüştür.

Maksimum donatı sayısı $N=5$ ile farklı çeşitteki geosentetikle yapılan deney sonuçlarında görülen oturma profilleri Şekil 4.169, Şekil 4.169 ve Şekil 4.171’de verilmiştir. Oturma değişiminin daha net görülmesi için bu fotoğraflarda modelin yalnız üst yarısı gösterilmiştir. Donatı çeşidinin değişmesi oturma profilinin şeklini de etkilemiştir. Her geosentetik çeşidinde donatının yükleme sonunda yatay düzlemde yapmış olduğu deformasyon açısı değişmiştir. Şekil 4.169’da Geotekstil donatı kullanıldığı durumda meydana gelen oturma profili verilmektedir. Meydana gelen oturmaların yataydaki değişimi büyük çaplı bir yaya benzemektedir. Şekil 4.170 ve Şekil 4.171’de ise Geogrid 2 ve Geogrid 3 donatılı kumun oturma profilleri görülmektedir. Geogrid 2 donatılı sistemde ise temel merkezi altındaki oturmaları daha üniform olduğu, temel kenarlarına gidildikçe oturmaların azaldığı gözlenmiştir. Geogrid 3 donatılı sistemde ise tüm temel plakası altında üniforma yakın oturma oluşmuştur.



Şekil 4.169. Geotekstil kullanılarak donatılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$)



Şekil 4.170. Geogrid 2 kullanılarak donatılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$)



Şekil 4.171. Geogrid 3 kullanılarak donatılan orta sıkı kumlu deneyin oturma profili ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $h=0,4B$; $N=5$)

Guido *et al.* (1986)'de plaka yükleme deneyleri ile farklı donatılardaki çekme kuvvetinin taşıma gücüne etkilerini incelemiş ve donatının sahip olduğu maksimum çekme kuvveti sınırının önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Fakat donatı ağ aralığının da önemli olabileceğini ve gelecekteki çalışmalarda bununla ilgili deneyler yapılması önerilmiştir. Literatürden alınan bu bilgi ışığında bu çalışmada da farklı donatı ağ aralıklarında yapılan deneylerde çekme kuvvetinin etkisinin yanı sıra donatı ağ aralığının da çok büyük bir öneme sahip olduğu gözlenmiştir. Hiç bir donatıda deney süresinde tamamen kopma oluşmamıştır. Orta sıkı kumda yapılan bu araştırmada en az maksimum çekme kuvveti alabilecek donatı olan Geogrid 1 birçok deneyde taşıma

kapasitesini maksimum arttıran donatı çeşidi olabilmektedir. Özellikle Geogrid 2'nin çekme kuvveti ve ağ açıklığı bu geogridden daha büyüktür. Geotekstilin ise çekme kuvveti en büyük olan bu çalışmada kullanılan donatı çeşididir. Farklı donatı sayıları için yapılan analiz sonuçları incelendiğinde; küçük donatı sayılarında çekme kuvvetinin büyüklüğü etkili olabilmüş, sistemdeki geosentetik donatı sayısının artması ile de ağ aralığının etkisinin arttırabildiği düşünülmüştür.

4.3. Zemin İçinde Oluşan İlave Düşey Gerilmeler

Bu bölümde, donatısız ve donatılı orta sıkı kum zeminde yapılan deneylerde zemin içerisine temelin orta noktasından düşey yönde yerleştirilen basınç sensörlerinden alınan okumaların sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçların doğruluğundan emin olabilmek amacıyla bazı testler tekrar edilmiş ve değerlerin ortalaması alınmıştır. Elde edilen veriler Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemi kullanılarak hesaplanan çözümler ile karşılaştırılmıştır. Donatılı zeminler için henüz tam anlamıyla literatürde kabul edilen genel bir gerilme değişim hesabı bulunmamaktadır. Bu nedenle, donatılı deneyler, donatısız zeminde yapıldığı gibi, ilave düşey gerilme değişimi ($\Delta\sigma$) Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

Donatısız ve donatılı deney sonuçlarında basınç sensör verileri Voltaj cinsinden alınmıştır. Bu değerler kalibrasyon formüllerinde Excel programı kullanılarak basınç birimine (kPa) çevrilmiştir. Deneylerde saniyede yüz data alınmıştır. Bu verilerin ortalaması alınarak, saniyede tek değere dönüştürülmüştür. Lazer sensörleriyle aynı okuma cihazına bağlı basınç sensör değerleri, temel plakası üzerine uygulanan yük değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bunun için yük hücresiyle aynı cihaza takılı olan LVDT (deplasman ölçerler) ile lazer sensör okumaları (oturma) eşleştirilmiştir. Böylece temel plakasına uygulanan her yük birimi için zeminde oluşan gerilme değerleri tespit edilebilmiştir. Deneye başlamadan önceki okumalar sıfırlanmış ve böylece sadece ilave düşey gerilmeler ölçülmüştür.

İlk olarak donatısız orta sıkı kum üzerindeki yüzeysel şerit temel için deneyler yapılmıştır. Dört kez tekrar edilen testlerden hesaplanan ilave düşey gerilme artışlarının ortalamaları alınmıştır. Daha sonra farklı donatı parametreleri seçilerek tek geosentetik çeşidi için (Geotekstil) orta sıkı kumda ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde deneylerden alınan ilave düşey gerilme ölçümleri ve yapılan değerlendirmeler sunulmuştur.

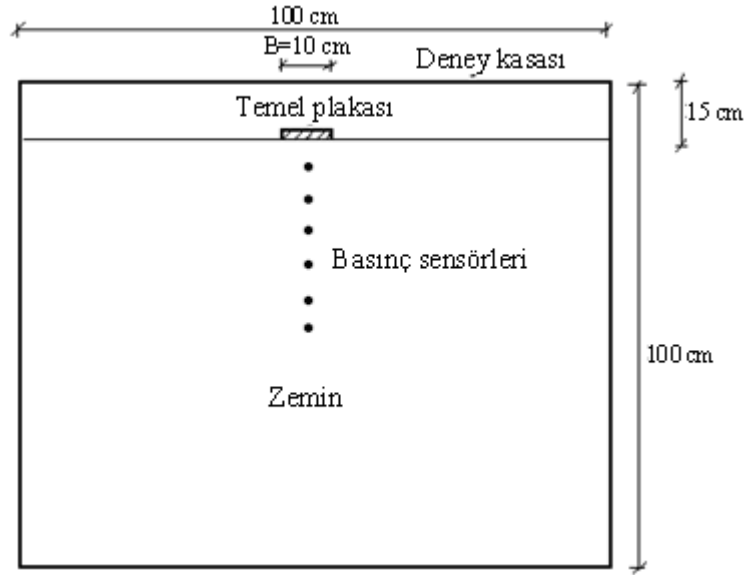
4.3.1. Donatısız kumda ilave düşey gerilme ölçümleri

Kum zemin, deney kasası içerisine 2-2,5 cm'lik tabakalar halinde $\gamma=15,00 \text{ kN/m}^3$ birim hacim ağırlığında serilmiştir. Yüzeysel şerit temel genişliği $B=10 \text{ cm}$, kalınlığı $2,5 \text{ cm}$ olan rijit şerit çelik plakadır. Deneylerde temel plakası kademeli olarak yüklenmiştir. Her bir kademede plaka merkezine uygulanan basınç ve zemin içerisinde temel merkezinde oluşan düşey gerilmeler ölçülmüştür. Kum zemin orta sıkı olduğu için deneylerin çoğunda temel plakası tamamen göçüp, zeminde göçme yüzeyleri belirginleşinceye kadar teste devam edilmeye çalışılmıştır.

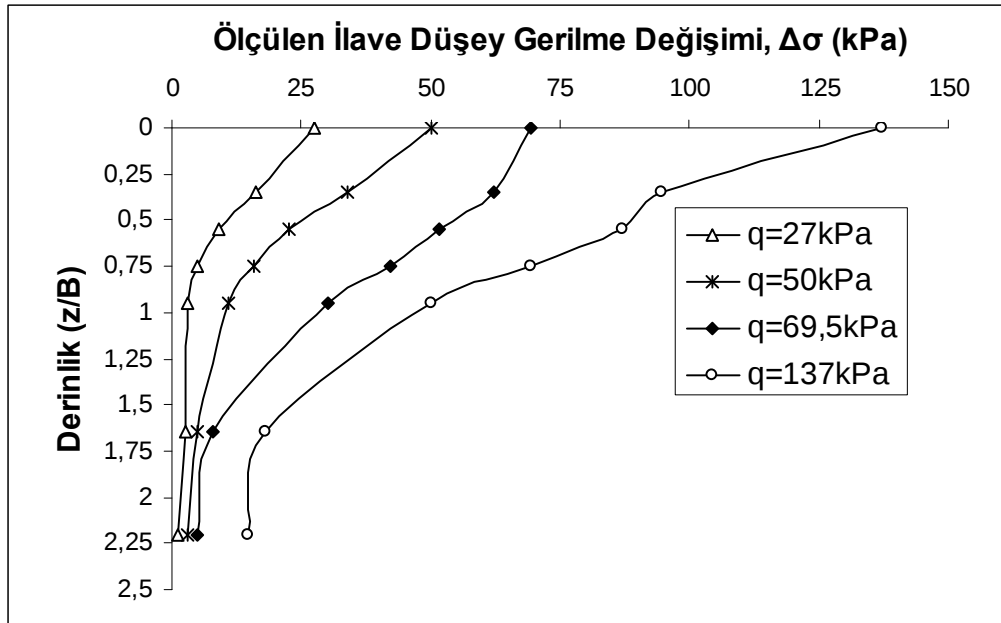
Basınç sensörleri, zemin içerisinde temel genişliğinin iki katı derinliğe kadar belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Sonuçların doğruluğunu kontrol edebilmek için bazı noktalara birden fazla sensör konulmuştur. Deney esnasında bazı cihazlar arızalanmış ve okuma alınamamıştır. Bu sebeple grafiklerde bu sensörlerin ölçümleri işaretlenememiştir. Şekil 4.172'de gerilme sensörlerinin sisteme yerleştirilme düzenine dair bir örnek görülmektedir.

Donatı kullanılmayan orta sıkı kumda dört kez tekrar edilen testlerden hesaplanan ilave düşey gerilme artışlarının ortalamaları alınmıştır. Temel plakasına uygulanan ortalama taban basıncının (q) değişik dört değerinde okunan sensör verileri Şekil 4.173'deki gibi sunulmuştur. Temel merkezi altındaki sıfır derinliğindeki gerilme değişimi olarak temel plakasına uygulanan basınç değerleri işaretlenmiştir. Şekil 4.173'de, temel plakasına uygulanan yük arttıkça ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri farklılık göstermiştir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi; donatısız zeminde göçme yüzeylerinin

oluştugu nihai taşıma kapasitesi yaklaşık ortalama $q_{ul} \approx 61$ kPa olarak tespit edilmiştir. Göçme yüzeylerinin oluşmaya başladığı q_{ul} değerinden sonraki basınç eğrileri, başlangıçtakilere nazaran değişiklik göstermiştir.



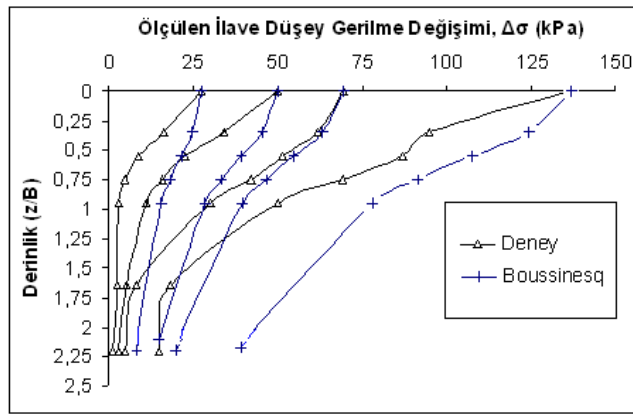
Şekil 4.172. Donatısız deneylerde kullanılan düzenek



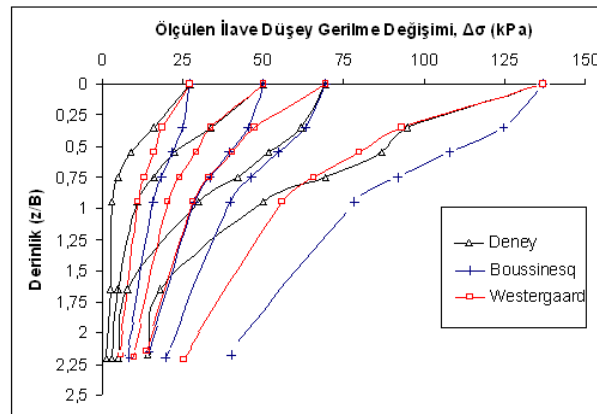
Şekil 4.173. Donatısız zeminde farklı derinliklerde ölçülen ilave gerilmeler

Donatısız zemindeki ilave düşey gerilmeler Boussinesq ve 2:1 yöntemi ile hesaplanan teorik değerlerle mukayese edilmiştir. Donatılı zeminlerde yapılacak deney ölçüm sonuçlarının karşılaştırılabilmesi ve farkların daha net görülebilmesi için Westergaard çözümleri ile de sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 4.174 ve Şekil 4.175'te şerit temel yüklemeleri sonucu donatısız orta sıkı kum içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme artışlarının Boussinesq ve Westergaard çözümleriyle karşılaştırılması verilmiştir. Söz konusu Şekiller incelendiğinde; göçme yüzeylerinin oluşmaya başladığı temel basınçlarında, ölçülen ilave düşey gerilmeler daha büyük miktarda artmıştır.



Şekil 4.174. Donatısız deney sonuçları ile Boussinesq teoreminin karşılaştırılması



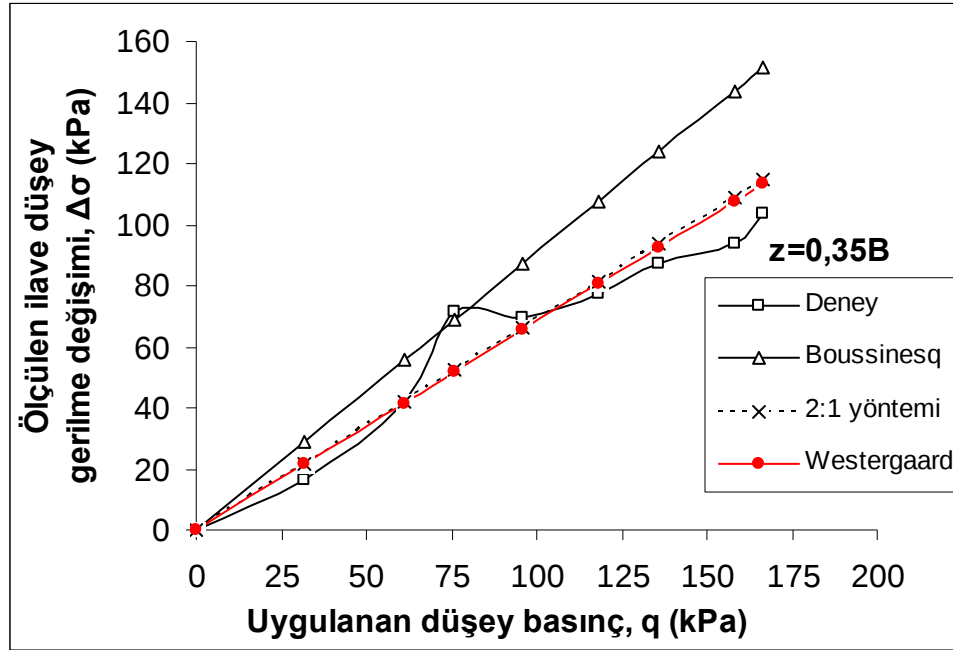
Şekil 4.175. Donatısız deney sonuçları ile Boussinesq ve Westergaard teorem çözümlerinin karşılaştırılması

İlk temel yüklerinde deney sonunda ölçülen değerler Boussinesq ve Westergaard çözümlerinden daha küçüktür. Temel yükünün artması ile deney ölçümleri Westergaard sonuçlarına yaklaşmıştır. Göçme yüzeylerinin oluşmaya başladığı ortalama $q_{ul} \approx 61$ kPa değerinden itibaren donatısız test okumaları Boussinesq çözümleri ile uyumludur. Zeminde göçme yüzeyleri belirginleştikten sonra, yükün artması ile deney verileri Boussinesq değerlerinden uzaklaşmış ve Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır.

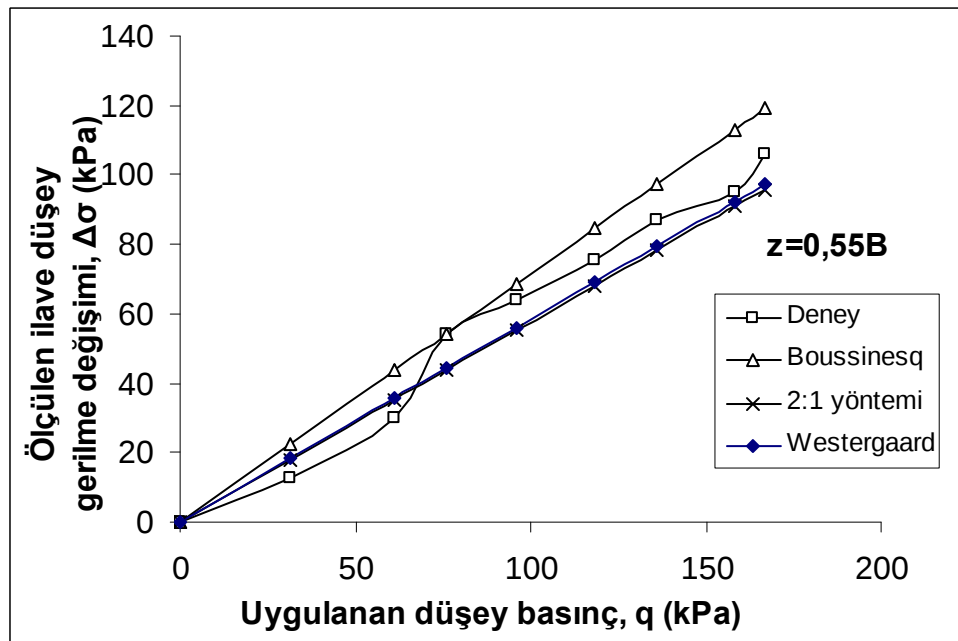
Şekil 4.176-Şekil 4.181’de, temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda zemin içine yerleştirilen basınç sensör okumaları gösterilmiştir. Şekil 4.173-Şekil 4.181’deki gibi literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Literatür sonuçları olarak adlandırılan veriler; Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemi kullanılarak aynı temel yükünde hesaplanan değerlerdir.

Temel plakasına yakın derinliklerde ($z/B=0,35$; $0,55$; $0,75$ ve $0,95$) ilk temel yüklemelerinde ölçülen ilave düşey basınç değerleri, literatür değerlerinden daha düşüktür. Göçmeye başlama yükü civarında ise Boussinesq hesaplarına yaklaştığı belirlenmiştir. Fakat yükleme arttıkça Boussinesq çözümlerinden uzaklaşmış ve 2:1 ile Westergaard basınçlarına yaklaştırmaya başlamıştır. Tüm hesaplarda 2:1 yöntemi ile Westergaard hesapları birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Temel plakasından daha uzaktaki derinliklerde ise deney ölçümleri, literatür değerlerinden çok daha küçük miktardadır. Ölçülen ilave düşey gerilmeler $z/B=2,2$ derinliğinde; zemin göçme yüzeylerinin tamamen oluşmasına yakın yüklemelerde Westergaard çözümlerine yaklaştırmaya başlamıştır.

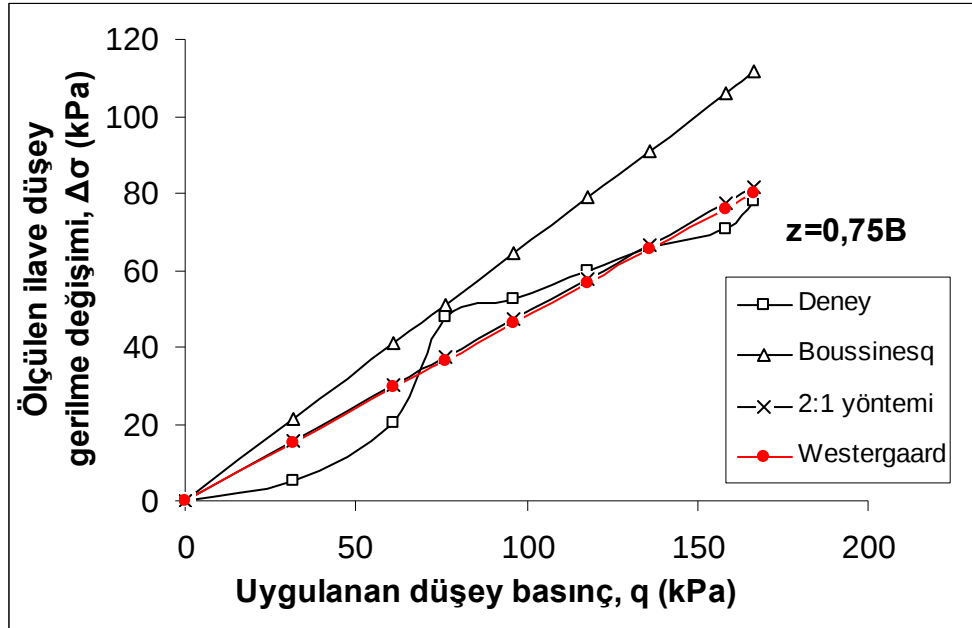
Deney kumu orta sıkıdır ve zemin sıkılığından ötürü deney ölçümlerinin Boussinesq ve Westergaard’dan farklı bulunduğu tahmin edilmiştir. Keskin (2004) yaptığı çalışmada Boussinesq sonuçlarının sıkı haldeki zeminlerdeki ölçümlere daha yakın değerler verdiğini belirtmiştir. Böylelikle zemin sıkılığının oluşan gerilmelerde etkili bir parametre olabileceği düşünülmüştür.



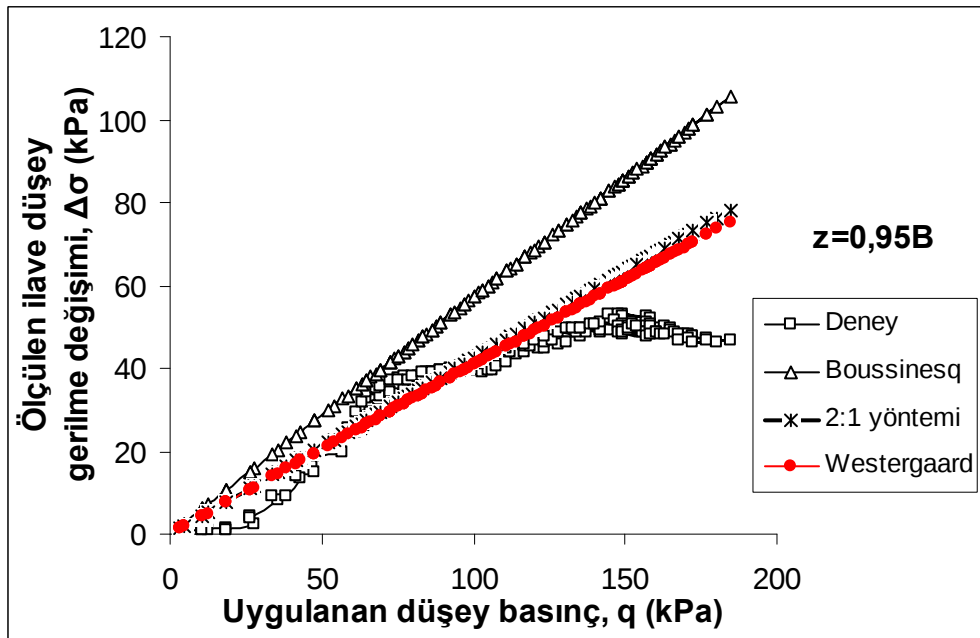
Şekil 4.176. Donatısız modelde $z=0,35B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması



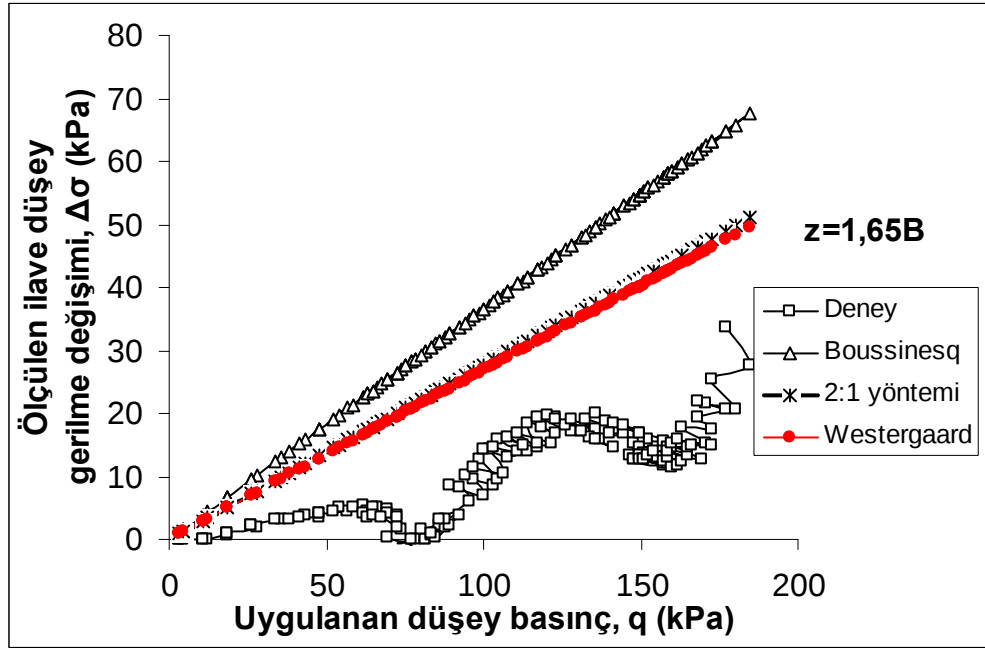
Şekil 4.177. Donatısız modelde $z=0,55B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması



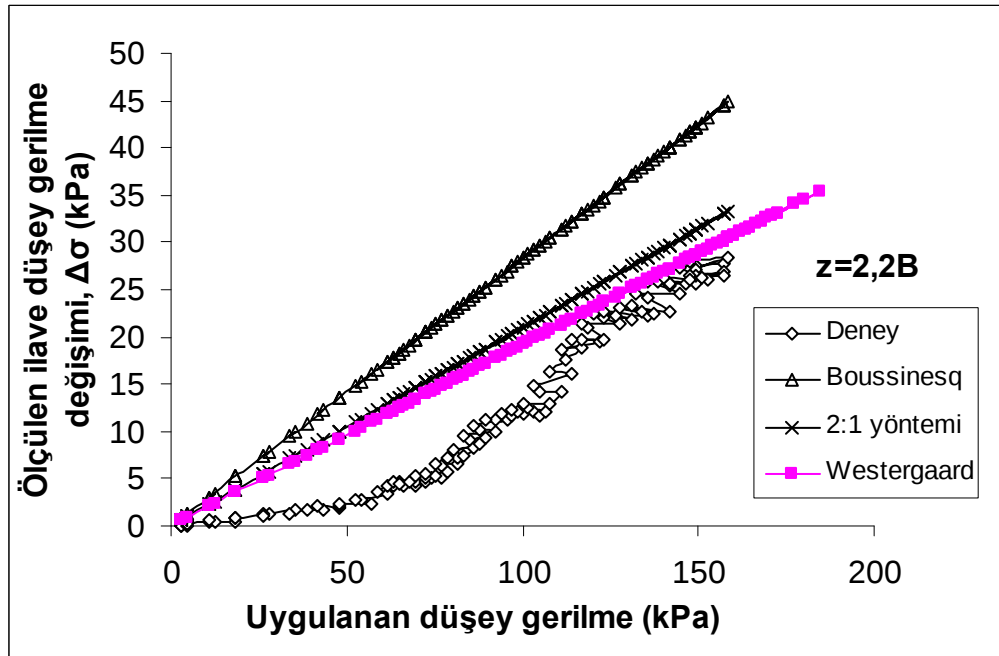
Şekil 4.178. Donatısız modelde $z=0,75B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 4.179. Donatısız modelde $z=0,95B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması

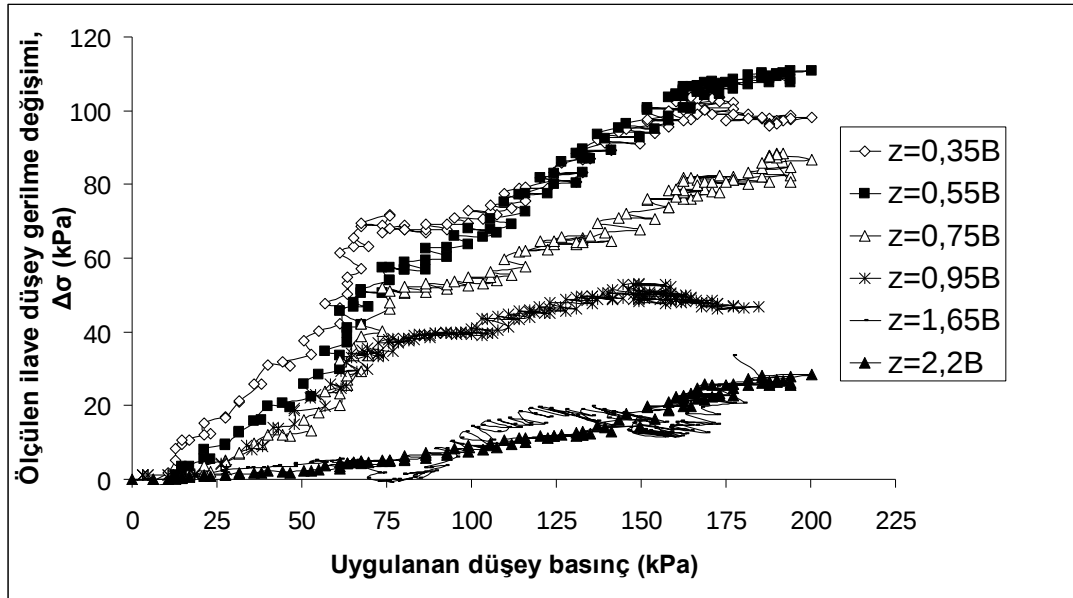


Şekil 4.180. Donatısız modelde $z=1,65B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 4.181. Donatısız modelde $z=2,2B$ derinliğindeki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması

Aşağıda Şekil 4.182’de temel plakasına uygulanan basınç ile farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri görülmektedir. Donatısız orta sıkı kum zeminin ilk kırılma yükünden sonra ($q_{u1} \approx 61$ kPa) İlave düşey gerilme-Uygulanan basınç eğrilerinin eğimi değişmiştir. Bu noktadan sonra, zemin içinde okunan gerilme değişimi, temele uygulanan yüke göre daha düşük hızla artış göstermiştir. $z/B=1,65$ derinliğinden itibaren; okunan ilave gerilmelerde artmaya başlamıştır. Göçme yüzeylerinin tamamen oluşmasından sonra ($q_{u2} \approx 145$ kPa) zemin içindeki gerilmeler sabitleşme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.182. Donatısız sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği

4.3.2. Donatılı kumda ilave düşey gerilme ölçümleri

Deneylerde, kum zemin deney kasası içerisine 2-2,5 cm'lik tabakalar halinde, $\gamma=15,00$ kN/m³ birim hacim ağırlığında serilmiştir. Tek tip yüzeysel şerit temel kullanılmıştır. Temel genişliği $B=10$ cm ve kalınlığı 2,5 cm olan rijit çelik plakadır. Zemin içerisine donatı çeşidi olarak sadece 'Geotekstil' serilmiştir. Farklı donatı konfigürasyonlarında deneyler yapılmış ve gerekli görülen bazı testler tekrarlanmıştır. Testlerde temel plakası

kademeli olarak yüklenmiştir. Her bir kademede temele uygulanan düşey basınç ve zemin içerisinde temel merkezi altında farklı derinliklerde oluşan düşey gerilmeler ölçülmüştür. Deneylerin çoğunda temel plakası göçüp, zeminde göçme yüzeyleri tamamen oluşana kadar teste devam edilmiştir.

Basınç sensörleri temel genişliğinin yaklaşık 2,5 katı derinliğine ($z=2,5B$) kadar, temel plakası merkezi düşeyinde yerleştirilmiştir. Deneye başlarken basınç sensör okumaları sıfırlanmıştır. Temel üzerine basıncın uygulanması ile sensör ölçümleri kaydedilmiştir. Okunan veriler, kalibrasyon formülleri içerisinde konmuş ve basınç birimine (kPa) çevrilmiştir. Uygulanan yükü ölçen yük hücresiyle zaman uyumu; LVDT ve lazer sensörleri incelenerek sağlanmıştır. Her bir yükleme kademesinde zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları hesaplanmıştır.

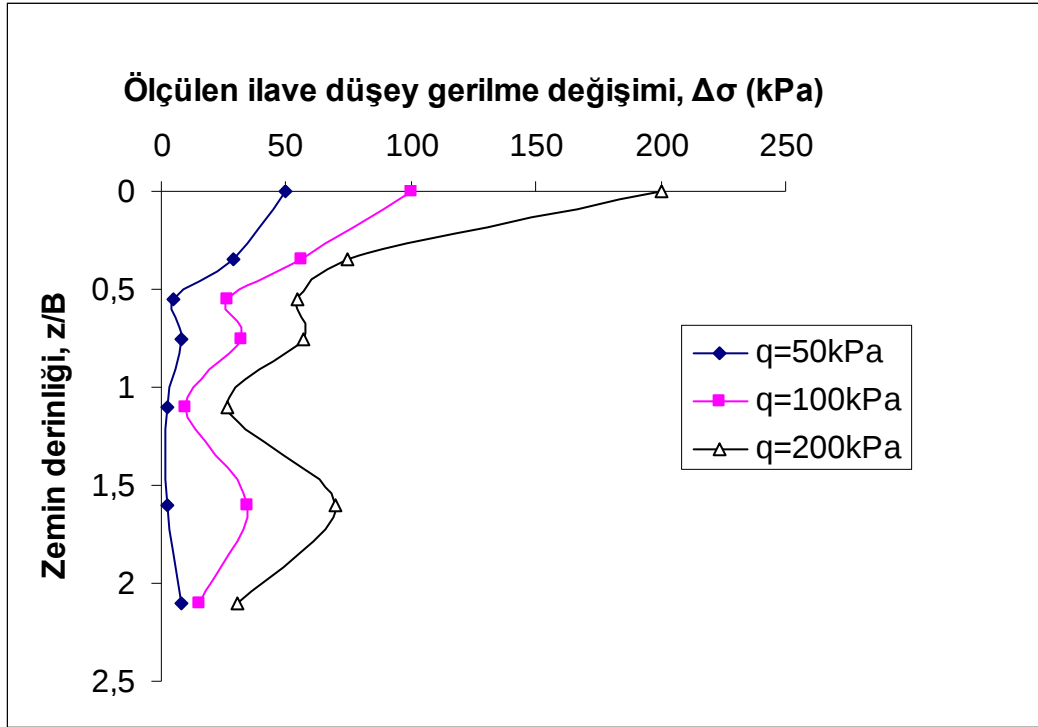
Deneyler, farklı donatı sayısı (N), geotekstil genişliği (L), donatı aralığı (h) ve ilk geosentetik derinliğinde (u) tekrar edilmiştir. Geotekstil donatılı kum zemine oturan yüzeysel şerit temel plağına uygulanan yük ile zemin içerisinde farklı derinliklerde oluşan ilave düşey gerilme artış miktarları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır;

A. Tek donatılı zemin için ilave düşey gerilme değişimleri:

Orta sıkı kum zemin içersine tek tabaka geotekstil donatı yerleştirilerek yapılan deneydir. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı tabaka derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Farklı derinliklere yerleştirilen basınç sensörlerinden ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50, 100$ ve 200 kPa yük değerlerinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilmelerin verildiği Şekil 4.183 incelenmiş ve aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır;

Temel plakasına $q=50$ kPa değerindeki yük uygulandıktan sonra; temel merkezi altındaki düşey gerilme değişimleri derinlik arttıkça azalmıştır. $z=0,35B$ derinliğinde, donatı altındaki ilave düşey gerilme ölçümlerinde azalma görülmüştür. $z=0,15B$ 'den sonra değerler bir miktar artmış, fakat $z>2B$ 'de değerler yeniden düşmüştür.

$q=100$ ve 200 kPa ortalama taban basınçlarında; zemin içindeki gerilme değerleri yine donatı tabakası hizasından ($z=0,35B$) sonra hızla düşmüştür. $z=0,75B$ derinliğinde ise yeniden artmıştır. İlave gerilme değişimi $z=1,1B$ noktasında küçülmüştür. Fakat $z=1,65B$ derinliğinde tekrar artıp, $z=2B$ derinliğinden sonra yeniden düşmüştür.



Şekil 4.183. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)

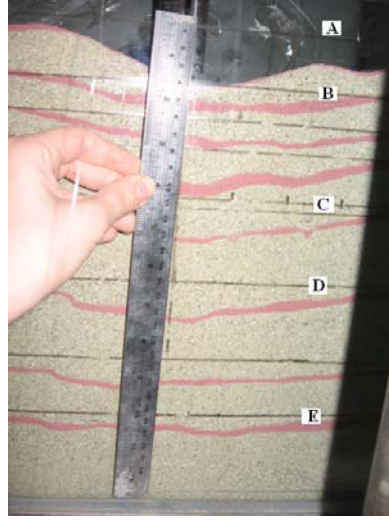
Daha önceki bölümlerde verilen tek donatılı sistemin ortalama taban basıncı-oturma eğrisi incelendiğinde; zeminin göçme başlangıcının $q=50-100$ kPa arasında olduğu görülmüştür. $q=100$ kPa ve 200 kPa ortalama taban basıncı için, $1,5B$ derinliğinden sonra ilave düşey gerilme değeri artmıştır. Yani, zeminde göçme yüzeyleri oluşmaya başladıktan sonra daha derinlere yük aktarılabilmiş ve $1,5B$ derinliğinde ölçülen ilave düşey gerilme değerleri de artmıştır.

Bunun nedeni olarak, temel zemininin kırılmaya başlamasından sonra donatı üzerine gelen yüklerin bir kısmı sürtünme etkisi ile yataya ötelendiğidir. Donatılı bölge

geçildikten sonra zemin bu yüklerden bir kısmını yeniden almış, fakat önemli yük toplama bölgesinin 1,5B derinliği civarında oluştuğu varsayılmıştır.

Şekil 4.184’de tek donatılı orta sıkı kumun oturma profili verilmiştir. Deformasyonların daha net gözükmesi için modelin sadece üst bölümü resimde gösterilmiştir. Fotoğraftaki kalın şeritler; test öncesi kasa cam yüzeyine yakın bölüme serpilene ve zemin tabaka oturmalarını temsil eden boyalı kumdur. ‘A’ harfi ile temsil edilen çizgi; deney başlangıcındaki zemin üst yüzeyinin bulunduğu seviyedir. ‘B’ harfi ilk donatı derinliğini temsil etmektedir. Temel plakası yüklendikçe temele yakın bölgede oturmalar artmış, derinlerde herhangi bir değişim olmamıştır. Yük değeri arttıkça ‘C’ ve ‘D’ noktalarındaki oturmalar büyümeye başlamıştır. Donatılı bölgedeki oturma yüzeyleri diğer zonlara nazaran daha üniform oluşmuştur. Donatısız zonda ise temel merkezi altındaki derinliklerde yanlara nazaran daha büyük deformasyon oluştuğu gözlenmiştir. Oturma miktarının fazla olduğu bölgelerde ilave düşey gerilme okumaları da artmıştır. Temel yükü $q=100$ ve 200 kPa civarındayken 1,5B derinliğinde (D noktası) gerilmelerin artması ve aynı noktada oturma yüzeylerinin derinlere aktarılması; deney zeminindeki gerilme ile oturma yüzeyi davranışının birbiri ile uyumlu olduğunu göstermiştir. ‘E’ noktası ve daha derinlerde ise fazla deformasyon gözlenmemiştir. Gerilme grafikleri incelendiğinde bu noktada $\Delta\sigma$ değerlerinin daha az oluştuğu sonucuna varılmıştır. Daha önceki bölümde verilen donatısız oturma profili ile karşılaştırıldığında; donatının üzerine gelen yükü yanlara ve donatı altına aktardığı görülmüştür.

Şekil 4.185-Şekil 4.190’da temel plakasına uygulanan yükler sonunda zemin içine yerleştirilen basınç sensör okuma sonuçları gösterilmiştir. Düşey yönde her bir noktada alınan veriler literatür sonuçları (Boussinesq, Westergaard, 2:1 yöntemi) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi yorumlanmıştır;

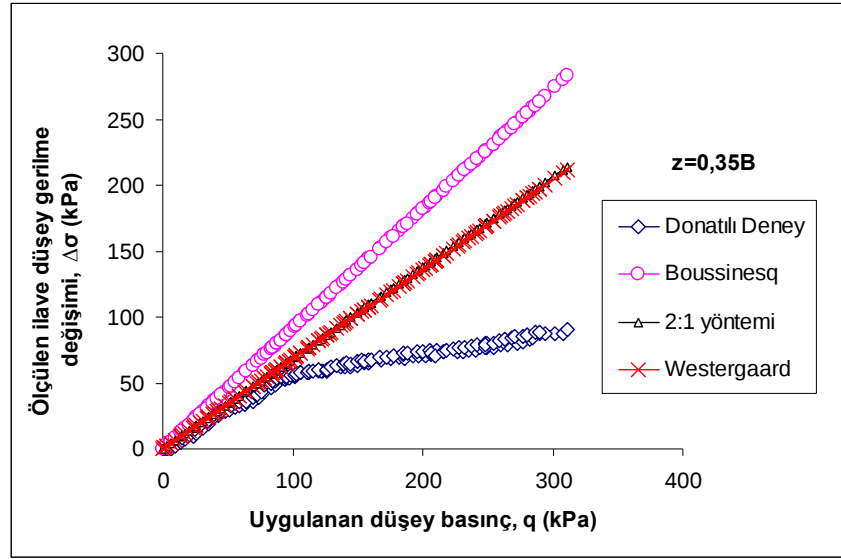


Şekil 4.184. Tek donatılı sistemde oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)

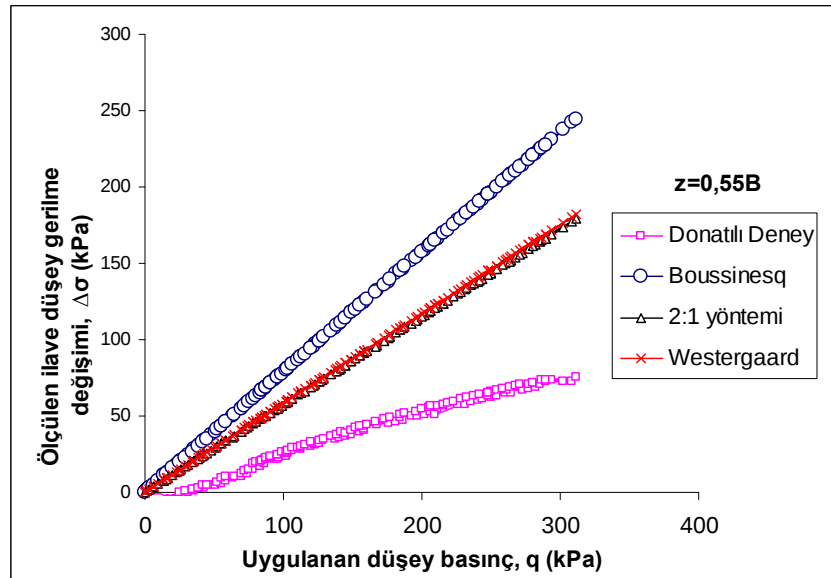
Donatı üzerindeki derinlikte ($z/B=0,35$); temel yüklemelerinde ölçülen ilave düşey basınç değerleri Westergaard çözümlerine daha yakındır. $q \approx 100$ kPa'dan sonra gerilme ile yük ilişkisini temsil eden eğrinin eğimi değişmiştir. Temel plakasına uygulanan basınca nazaran daha düşük hızda ilave düşey gerilmeler oluşmuştur. $q \approx 100$ kPa'dan itibaren deney ölçümleri literatür sonuçlarından uzaklaşmış ve sabitleşmeye başlamıştır.

Donatı altında bulunan derinliklerde ($z/B=0,55$; $0,75$ ve $1,1$) ise daha düşük $\Delta\sigma$ 'ler meydana gelmiştir. Bu değerler, literatür çözümlerinin yaklaşık yarısı kadardır. $\Delta\sigma$ değerleri $z/B=1,6$ ve $2,1$ derinliklerinde artmıştır. $z/B=1,6$ 'da deneyin başlarında literatürden daha düşük seviyelerde gerilmeler oluşurken, $q \approx 100$ kPa civarlarında Boussinesq değerlerine yükselmiştir. Yaklaşık $q \approx 150$ kPa yüke kadar gerilme sabit kalmış ve sonrasında yeniden artmıştır. Zeminde göçme yüzeylerinin oluşmasının tamamlandığı $q \approx 250$ kPa'a yaklaşıldığında ise yeniden Boussinesq çözümleri ile aynı okumalar alınmış ve sonrasında $\Delta\sigma$ değerleri sabitlenmiştir.

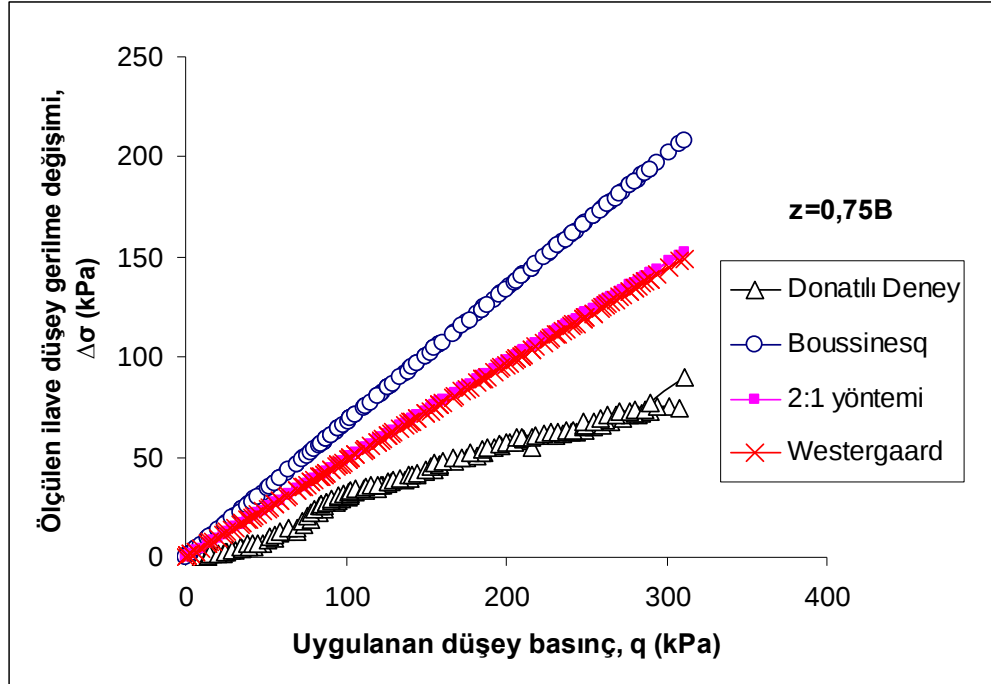
$z/B=2,1$ 'de ise ilave düşey gerilme artışları Westergaard eğrisi ile uyumlu devam etmiştir. $q \approx 100$ kPa temel basıncı sonrasında eğrinin eğimi düşmüş ve düşük hızla gerilme artışı meydana gelmiştir. $q \approx 250$ kPa civarlarında ise $\Delta\sigma$ değerler, sabitlenmeye başlamıştır.



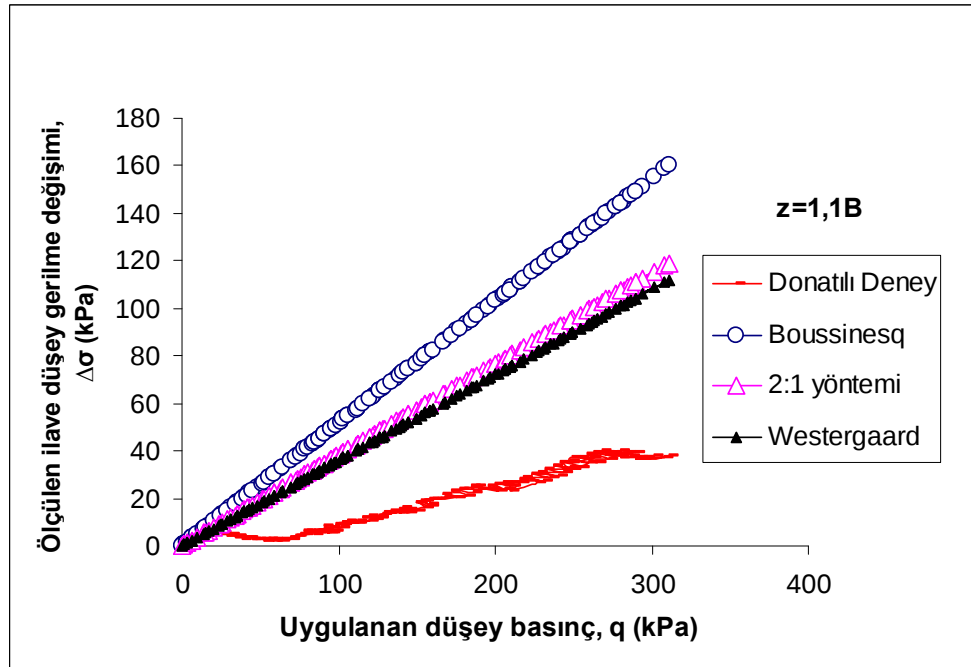
Şekil 4.185. Tek donatılı sistemde $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)



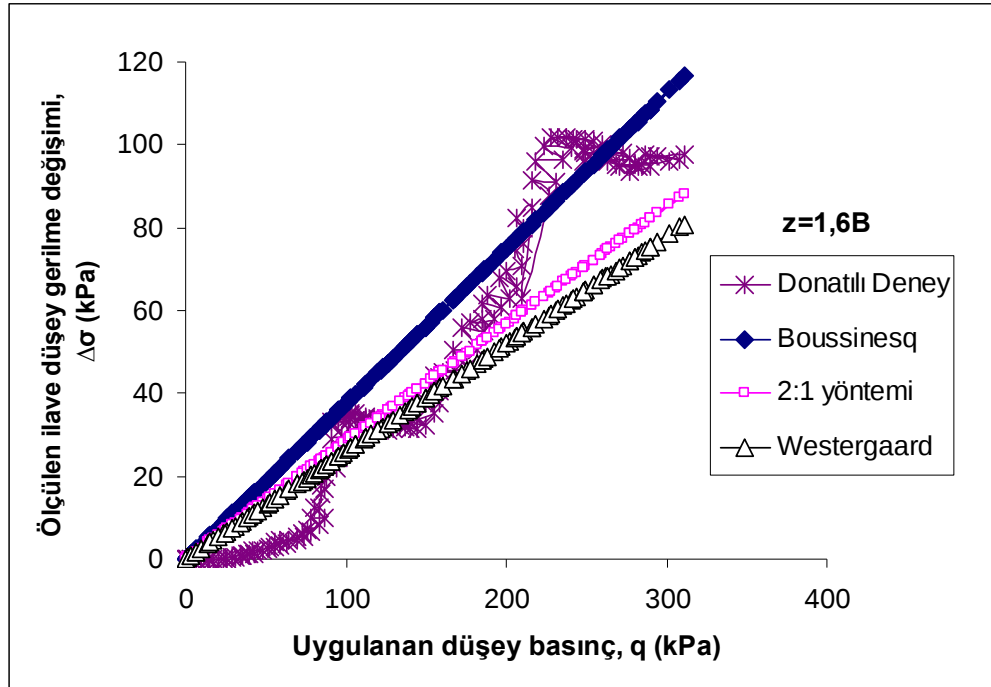
Şekil 4.186. Tek donatılı sistemde $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)



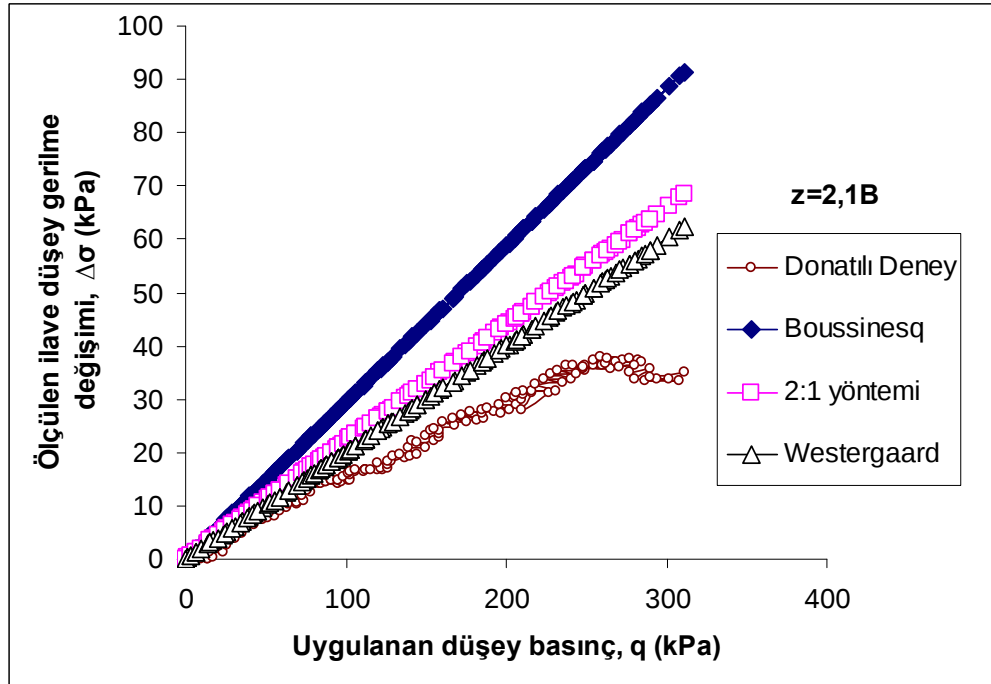
Şekil 4.187. Tek donatılı sistemde $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)



Şekil 4.188. Tek donatılı sistemde $z=1,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)

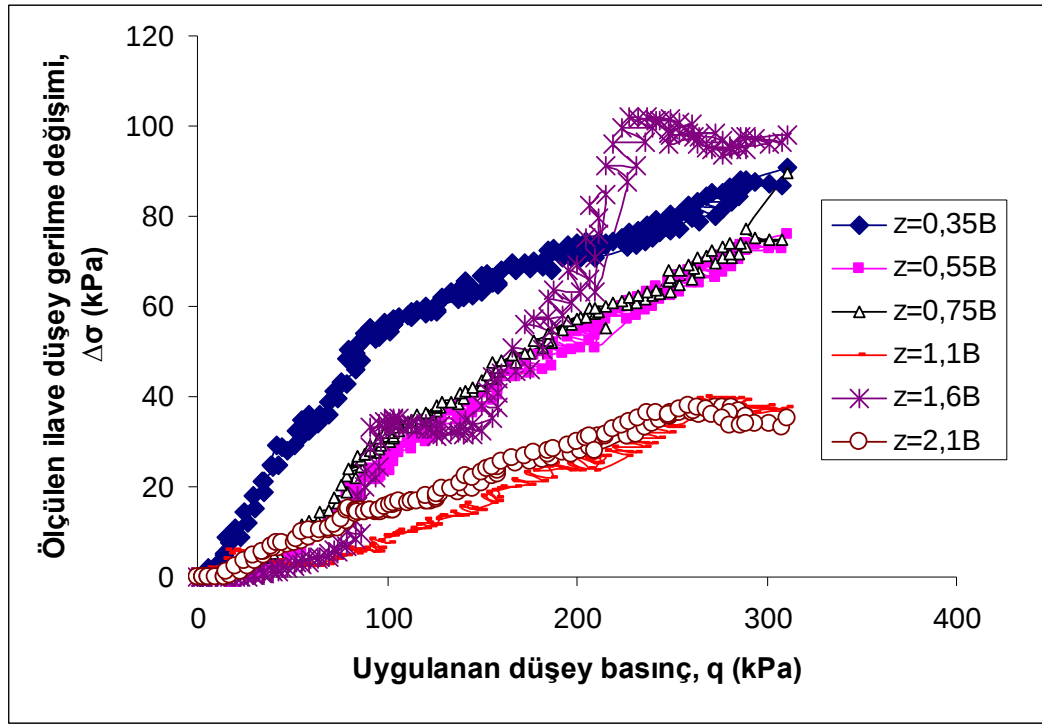


Şekil 4.189. Tek donatılı sistemde $z=1.6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0.35$; $N=1$)



Şekil 4.190. Tek donatılı sistemde $z=2.1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0.35$; $N=1$)

Şekil 4.191’de temel plakasına uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri görülmektedir. Yaklaşık $q \approx 100$ kPa’dan sonra ilave düşey gerilme ile uygulanan basınç arasındaki ilişkiyi temsil eden eğrilerinin eğimi değişmiştir. Bu noktadan sonra zemin içinde okunan gerilme değişimi, temele uygulanan yüke göre daha düşük hızla artış göstermiştir. $z/B=1,6$ derinliğinden itibaren; okunan $\Delta\sigma$ değerleri de artmıştır. Göçme yüzeyleri tamamen oluştuktan sonra ($q \approx 250$ kPa) zemin içindeki gerilmeler sabitlenmeye başlamıştır. Donatı altındaki $\Delta\sigma$ değerleri beklenenden daha düşüktür. Buda donatının üzerine gelen yükü yatay doğrultuya aktardığını göstermiştir.



Şekil 4.191. Tek donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $N=1$)

B. Farklı donatı düşey aralıkları için ilave düşey gerilme değişimleri:

Bu bölümde, geotekstil donatı kullanılarak farklı donatı düşey aralıklarında yapılan deneylerde, temel merkezi altındaki zeminde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Ölçülen ilave gerilmeler, 2:1 yöntemi, Boussinesq ve Westergaard hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Testler, donatı genişliği ($L=3B$) ve ilk donatı

tabakası derinliği ($u=0,35B$) sabit tutularak üç seri halinde yapılmıştır. Serilerde; geotekstil düşey aralığının üç değerinde ($h/B=0,6$; $0,4$ ve $0,2$) donatı sayıları değiştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, her seride yapılan deneyler ve sonuçları açıklanmıştır;

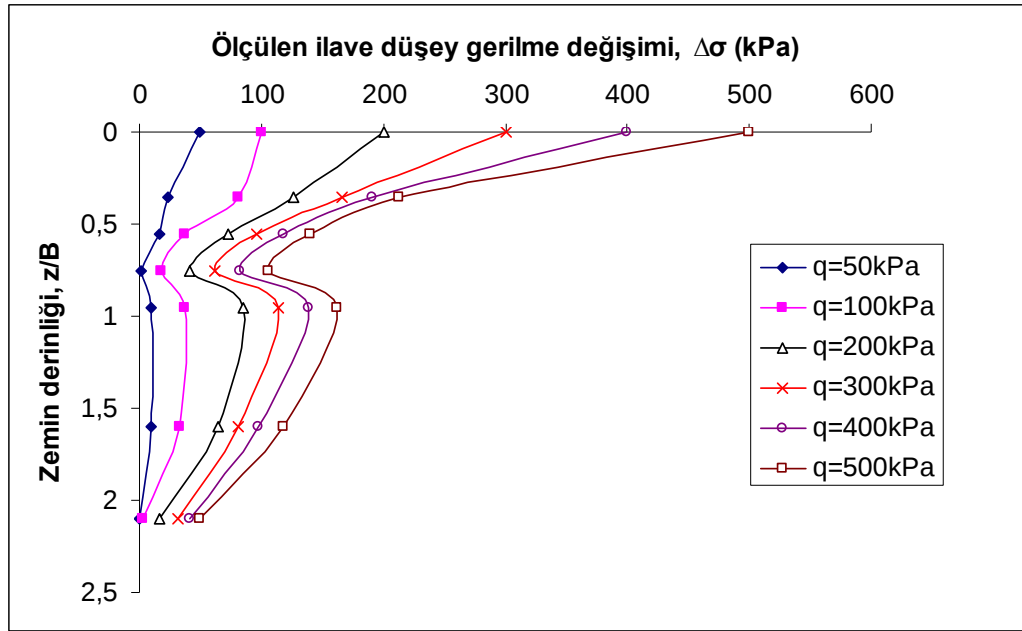
a. $h/B=0,6$ donatı düşey aralıklı sistemlerde gerilme ölçümleri;

Testler, donatı aralığı $h/B=0,6$ alınarak geotekstil sayısının farklı dört değerinde ($N=2, 3$ ve 4) yürütülmüştür. Deneylerde, donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı tabaka derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Her bir yükleme kademesinde donatılı orta sıkı kum içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarı incelenmiştir. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

▪ **İki donatılı zemin;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa düşey basınç değerlerinde, $h/B=0,6$ için $N=2$ donatılı zemin içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.192’de gösterilmiştir. Derinlik arttıkça oluşan ilave düşey gerilme değerleri de azalmıştır. $z/B=0,95$ derinliğinde yani ikinci donatı hizasında ani bir gerilme artışı olmuştur. Daha derinlere inildikçe $\Delta\sigma$ miktarları azalmıştır.

Şekil 4.193’te, donatılı zeminde meydana gelen oturma yüzeyleri gösterilmiştir. Modelin sadece üst bölümü resimde bulunmaktadır. Donatılı bölgede oturmalar üniforma yakın oluşmuştur. Yaklaşık $2,5B$ derinliğinden sonra zeminde oturmaların oluşmadığı gözlenmiştir. Şekil 4.192’de $z/B=2,1$ derinliğinde az miktarda ilave düşey gerilme ölçümü alınması ve bu nokta altında oturmaların daha fazla azalmasının birbiri ile uyumlu olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.192. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)



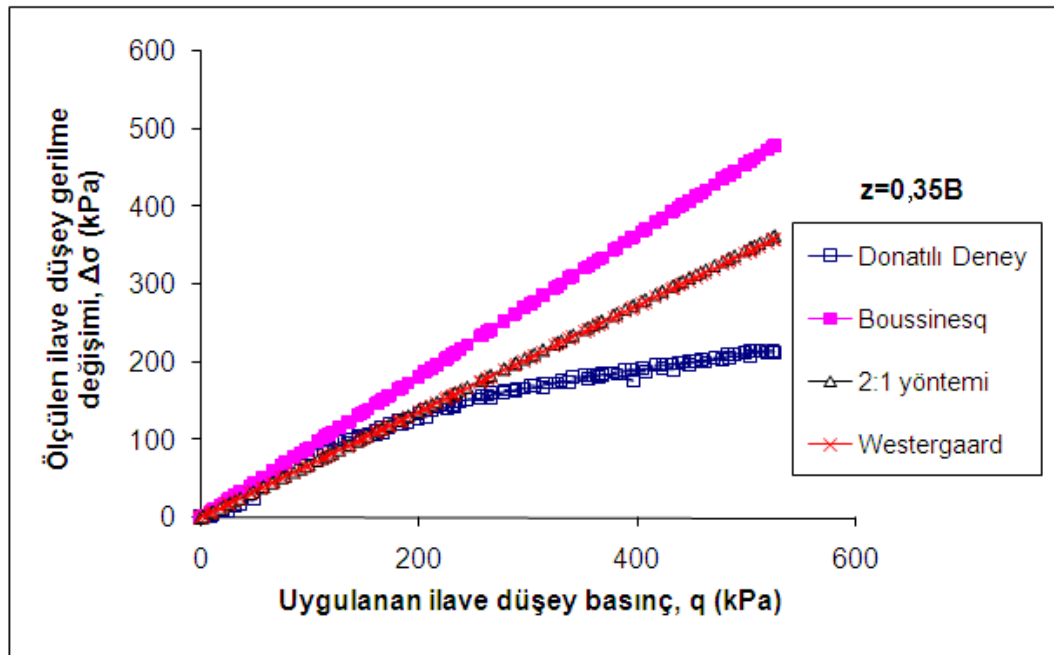
Şekil 4.193. İki donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)

Donatılı orta sıkı zeminin farklı derinliklerdeki ilave düşey gerilme değerleri ile literatür hesaplarının karşılaştırılması Şekil 4.194-Şekil 4.199'da verilmiştir. Donatılı bölgedeki düşey yük, donatı zemin etkileşiminden dolayı azalmıştır. $z/B=2,1$

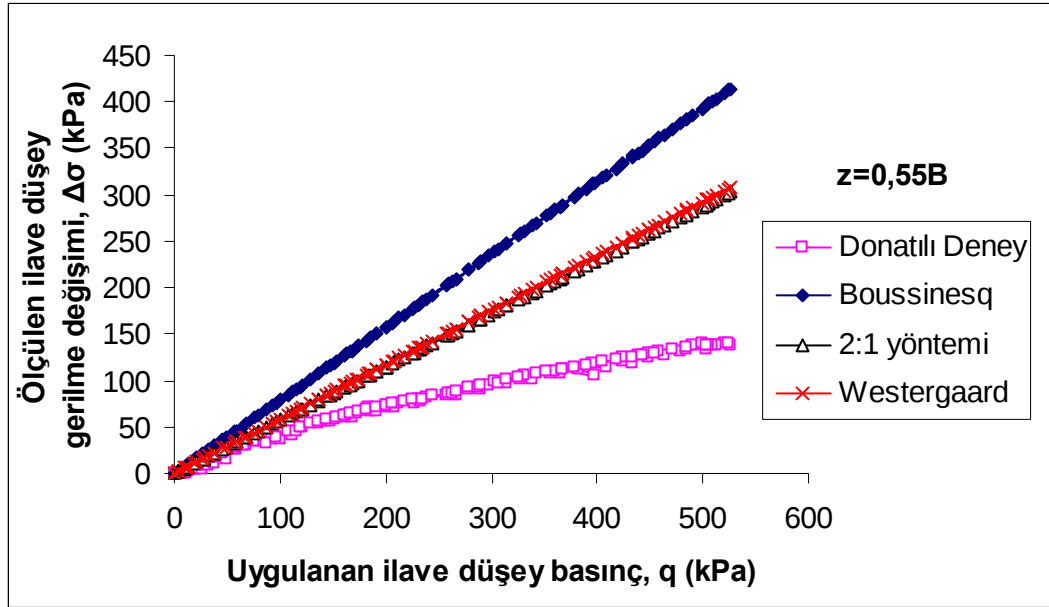
derinliğinde yeniden bir artış gözlenmiştir. Fakat derinlik miktarı büyüdükçe yeniden $\Delta\sigma$ değerleri küçülmüştür.

$z/B=0,35$ 'de Westergaard hesaplarıyla benzer değerler okunmuştur. $q \approx 250$ kPa temel yükünden sonra yük-gerilme eğrisinin eğimi azalarak, ölçümler literatür hesaplarından uzaklaşmıştır. $z/B=0,55$ 'de $q \approx 100$ kPa'a kadar Westergaard ile aynı değerler okunmuş ve $q \approx 100$ kPa'dan sonra literatür hesaplarına göre azalmıştır. $z/B=0,75$ 'de Westergaard ile 2:1 yöntemi ile hesaplanan verilerin yarısından daha küçüktür. $z/B=0,95$ ve 1,65 derinliklerinde ilave düşey gerilme değerleri literatürdeki verilere yaklaşmıştır. $z/B=0,95$ 'te Westergaard ile nerdeyse aynı sonuçlar bulunmuştur. $q \approx 300$ kPa civarında ise ilave düşey gerilme değerleri küçülmüştür.

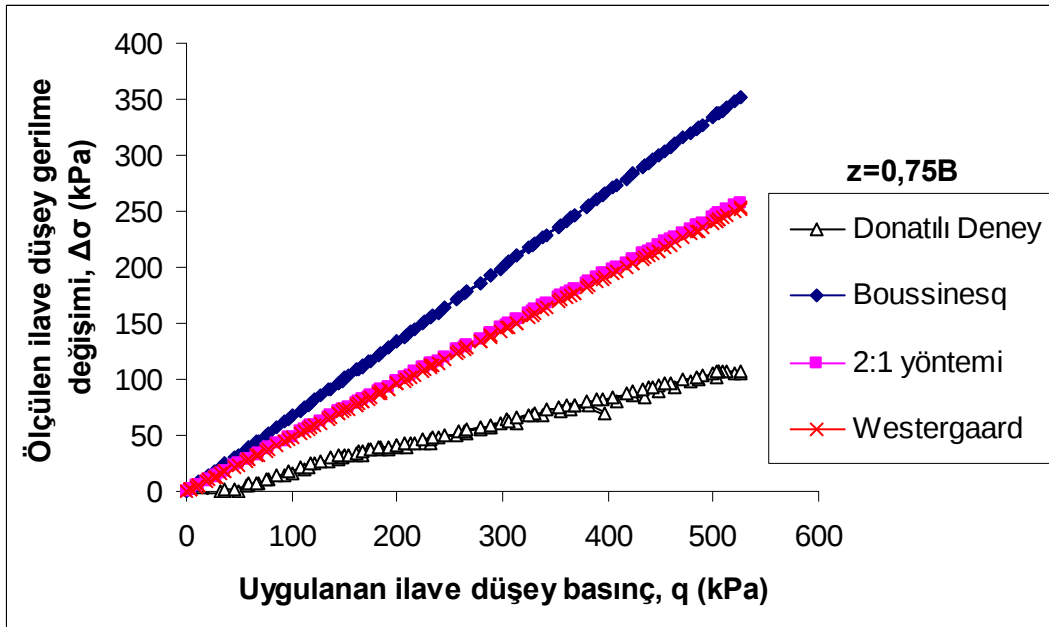
$z/B=1,6$ 'da; Boussinesq verileri ile $\Delta\sigma$ değerleri ölçülmüştür. Yaklaşık $q \approx 300$ kPa yükten sonra Westergaard sonuçlarına yaklaşmıştır. $z/B=2,1$ derinliğinde ise ilave düşey gerilmeler literatür hesaplarına göre daha düşüktür. $q \approx 200$ kPa yük uygulandıktan sonra Westergaard çözümlerinin yarısı kadar $\Delta\sigma$ ölçülmüştür.



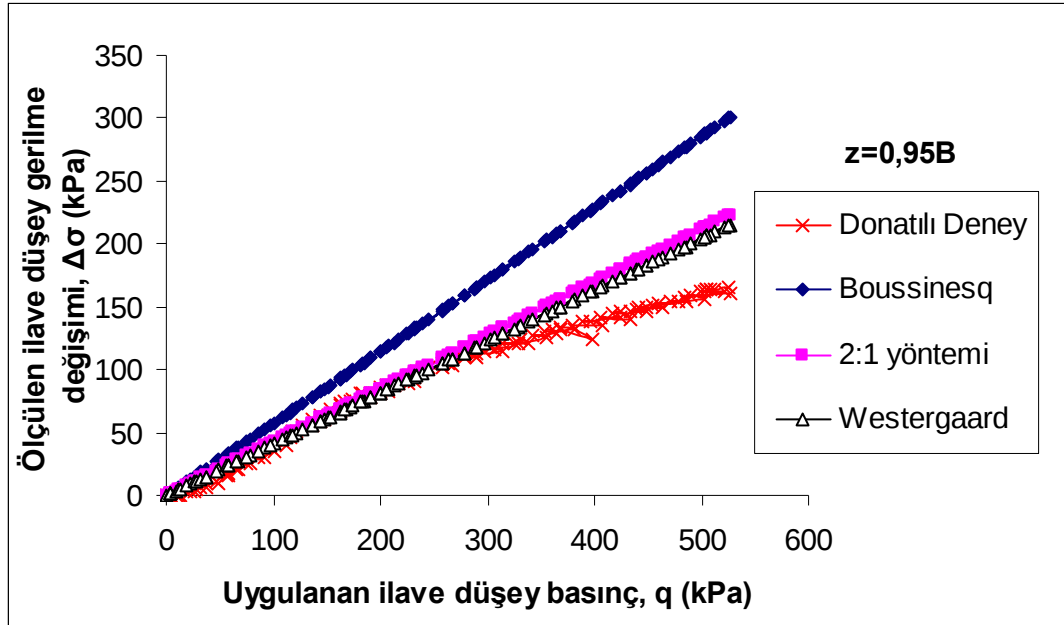
Şekil 4.194. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)



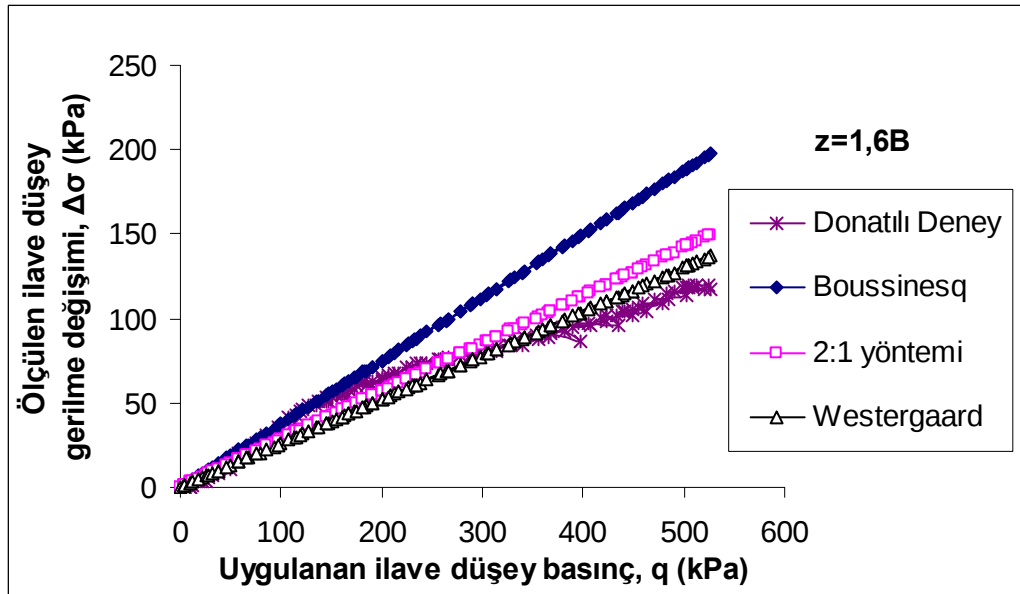
Şekil 4.195. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)



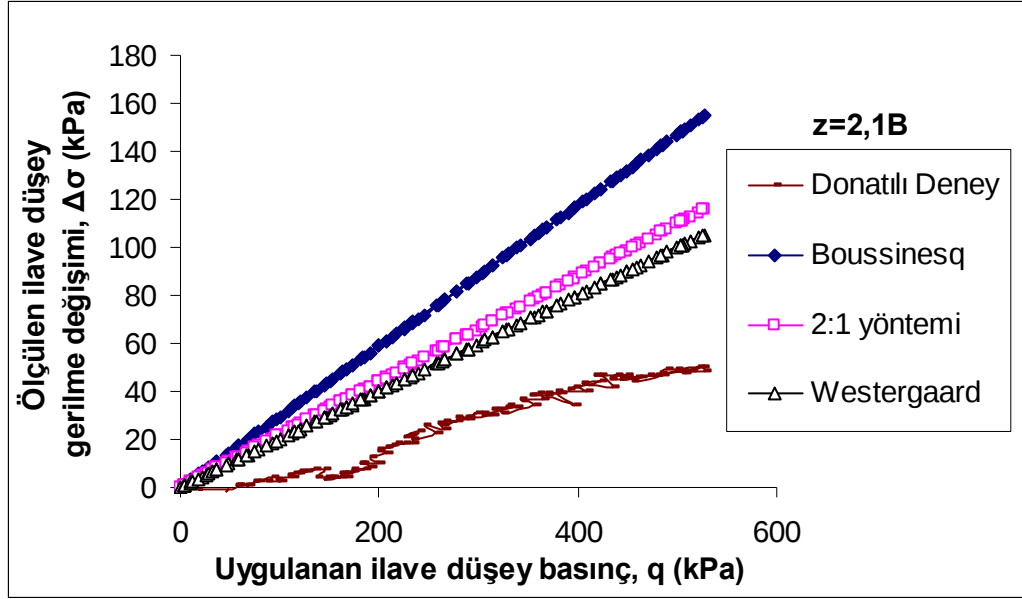
Şekil 4.196. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)



Şekil 4.197. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)

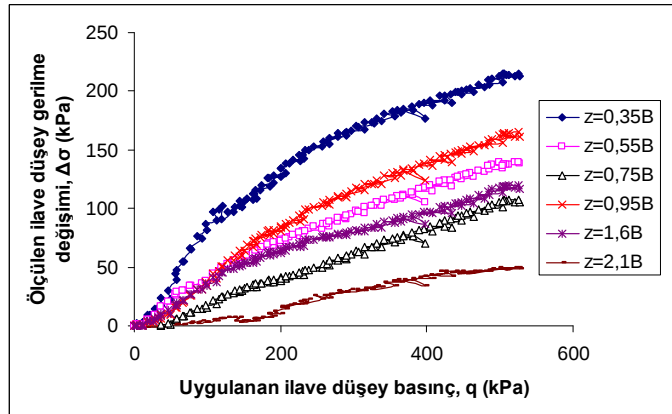


Şekil 4.198. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)



Şekil 4.199. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması (L/B=3; u/B=0,35; h/B=0,6; N=2)

$h/B=0,6$ donatı düşey aralığında $N=2$ geotekstil donatılı orta sıkı kumda, temele uygulanan basınç ile zeminde ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği Şekil 4.200'de verilmiştir. İlk donatı üzerinde en büyük ilave gerilme değişimi ölçümü yapılmıştır. Donatılı bölge altındaki $z/B=2,1$ derinliğinde en düşük $\Delta\sigma$ değerleri ölçülmüştür. Donatılar arasındaki $z/B=0,75$ noktasında $\Delta\sigma$ 'ler diğerlerine nazaran daha düşüktür. Buradan, donatının yükü yanlara aktardığı tahmini yapılmıştır.

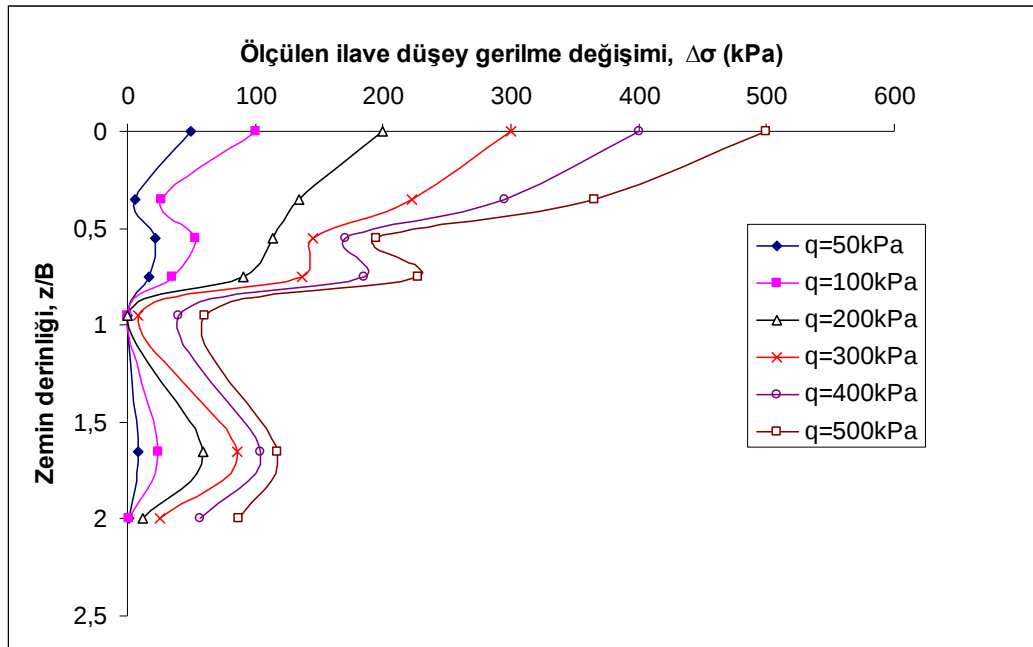


Şekil 4.200. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği (L/B=3; u/B=0,35; h/B=0,6; N=2)

■ Üç donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa düşey basınç değerlerinde $h/B=0,6$ donatı aralığında $N=3$ donatılı zeminde, farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.201’de gösterilmiştir. Donatılı bölgelere gelen düşey yük, donatı zemin etkileşiminin tesiri ile azalmış ve farklı derinlerde değişmiştir. Daha önceki bölümde verilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde; $h/B=0,6$ için çevre basıncının daha etkin olabileceği görülmüştür. Donatılar arasındaki mesafe büyük olduğu için; $h/B=0,2$ ve $0,4$ deneylerine nazaran yük daha derine aktarılmaya çalışılmıştır.

Zeminin yaptığı oturma profili Şekil 4.202’de verilmiştir. $N=2$ ’deki gibi donatılı bölgeler daha üniform oturmuştur. Donatısız bölgede temel merkezi hizasında kenarlara nazaran daha fazla oturma miktarı gözlenmiştir. İlave düşey gerilme değişimi ile oturma şekillerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



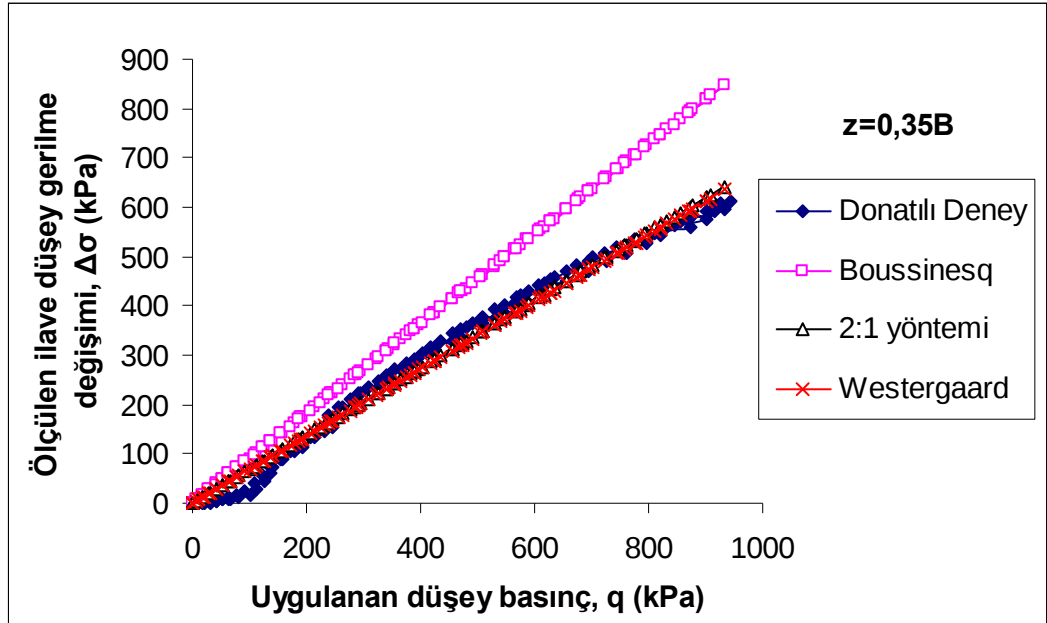
Şekil 4.201. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)



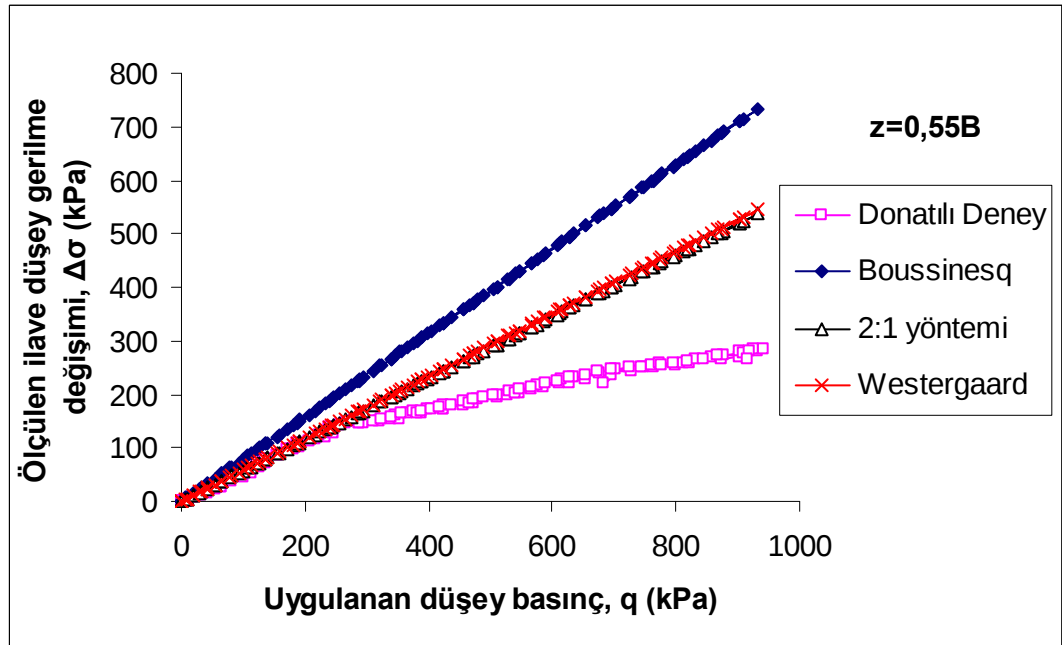
Şekil 4.202. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)

Şekil 4.203-Şekil 4.208’de, donatılı orta sıkı zeminde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$) literatür çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Temel merkezinin $z/B=0,35$ düşey derinliğinde Westergaard çözümlerine yakın ölçümler alındığı gözlenmiştir. İlk iki donatı arasındaki $z/B=0,55$ ve $0,75$ noktalarında Westergaard ile aynı ilave düşey gerilme değerleri hesaplanmıştır. $z/B=0,55$ ’de yaklaşık $q\approx 300$ kPa yüklemede $\Delta\sigma$ ölçülen ilave gerilmeler düşüş göstermiştir. $z/B=0,75$ derinliğinde ise $q\approx 500$ kPa’dan itibaren $\Delta\sigma$ bir miktar azalmıştır.

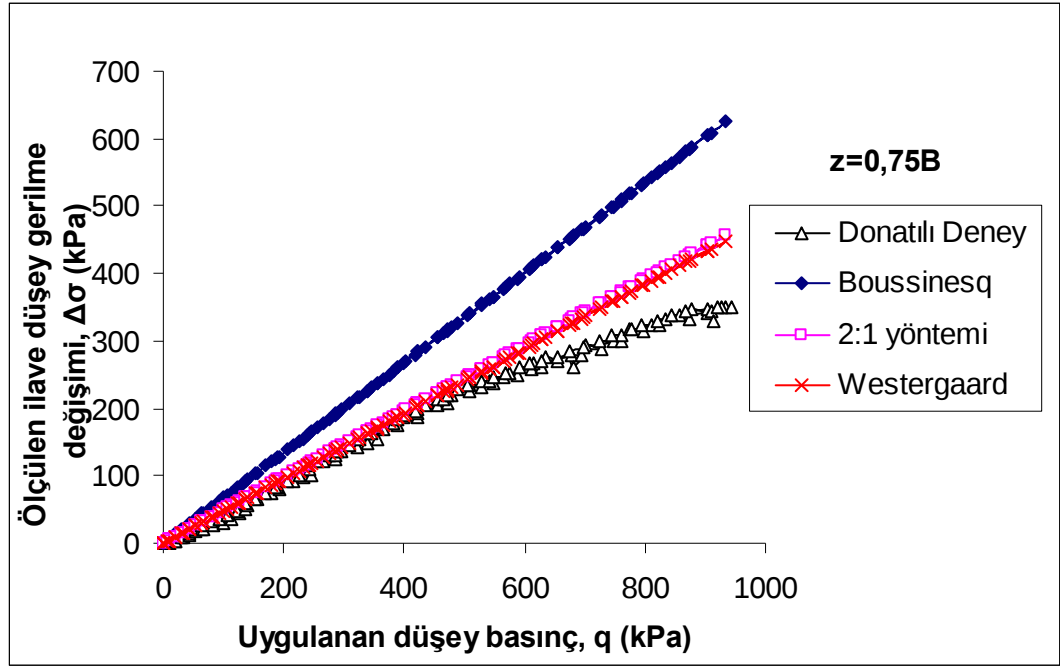
İkinci donatı üzerindeki $z/B=0,95$ derinliğinde, Westergaard değerlerinin yarısından daha az $\Delta\sigma$ okumaları kaydedilmiştir. Donatılı bölge altındaki $z/B=1,6$ noktasında Westergaard ile aynı çözümler bulunmuştur. $q\approx 500$ kPa’dan sonra ölçülen gerilmelerde düşüşler meydana gelmiştir. $z/B=2,1$ ’de ise $\Delta\sigma$ uygulanan basınçla artmış, $q\approx 500$ kPa yüklemeden sonra Westergaard çözümlerine yaklaşmaya başlamıştır.



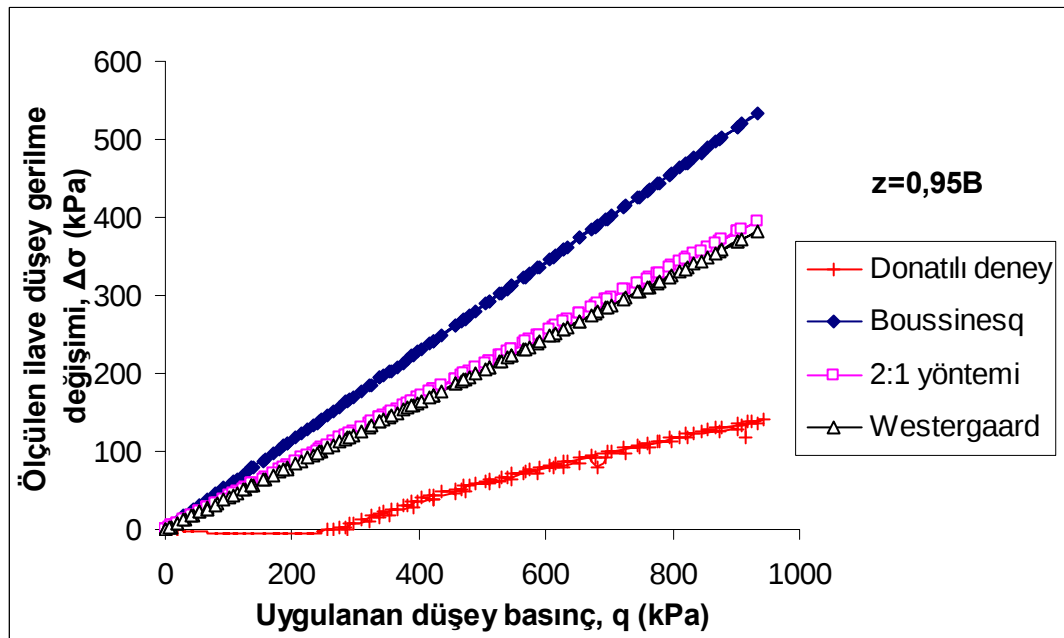
Şekil 4.203. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)



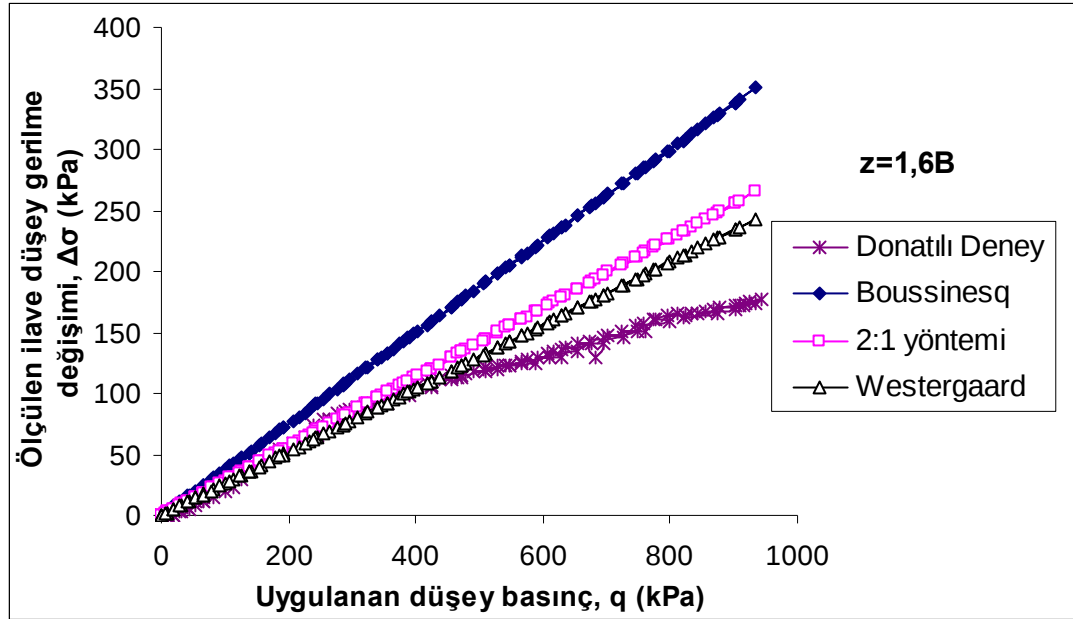
Şekil 4.204. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)



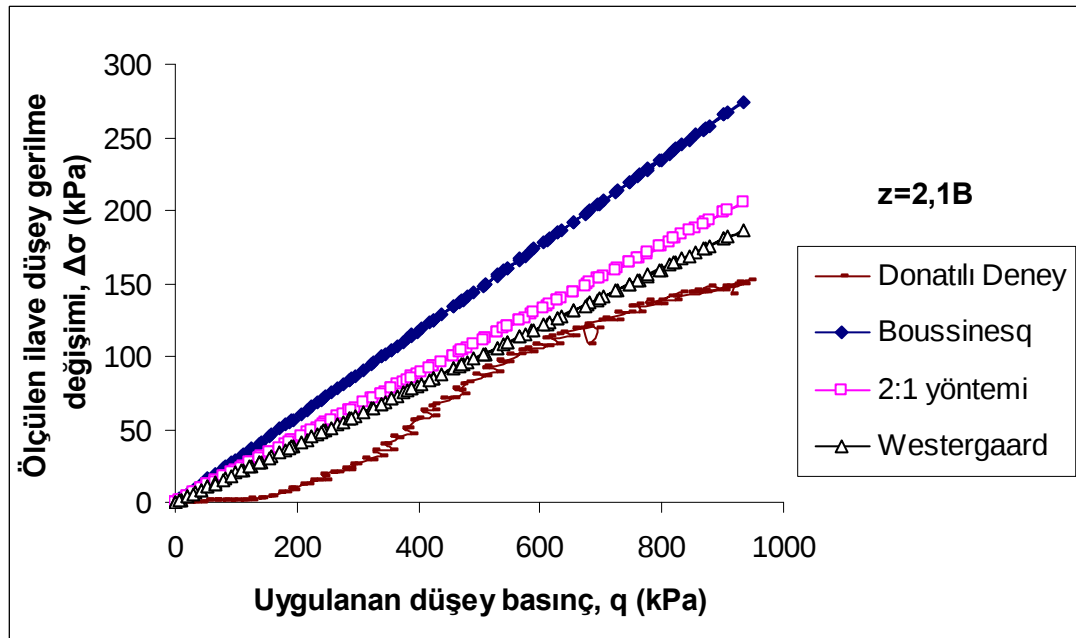
Şekil 4.205. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)



Şekil 4.206. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)

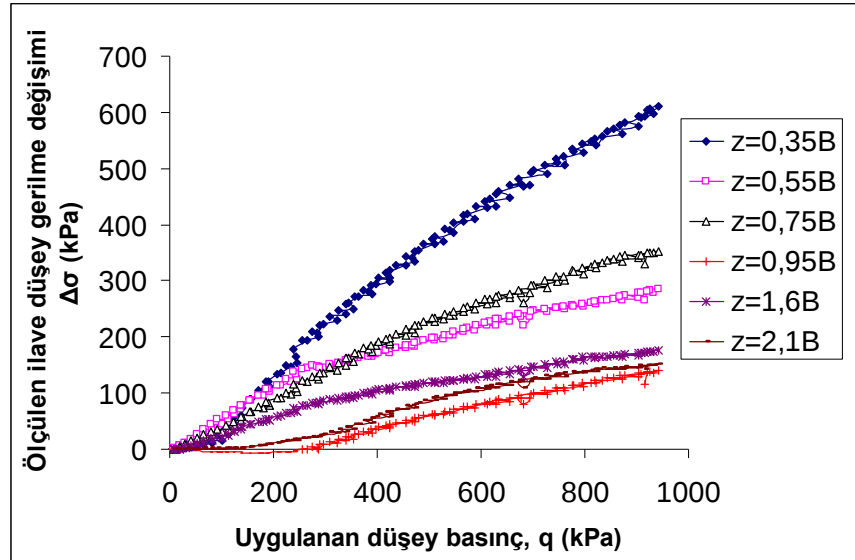


Şekil 4.207. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)



Şekil 4.208. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=3$)

$h/B=0,6$ donatı düşey aralığında $N=3$ donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği Şekil 4.209'da verilmiştir. İlk donatı üzerinde $q=200$ kPa yükten sonra en büyük $\Delta\sigma$ değeri okunmuştur. $z/B=0,95$ derinliğinde ise en düşük $\Delta\sigma$ değerlerinin olduğu gözlenmiştir. Donatılar arasında değerler düşmüş, son donatı tabakası üzerindeki noktada tekrar yükselmiştir. Yaklaşık $q=300$ kPa civarında $z/B=0,75$ derinliğindeki $\Delta\sigma$ değerleri, $z/B=0,55$ 'den daha büyük $\Delta\sigma$ 'ler vermiştir. Böylece, donatıların üzerlerine gelen yükü yanlara ve derine aktararak zemindeki düşey gerilme dağılışını değiştirdiği tahmin edilmiştir.



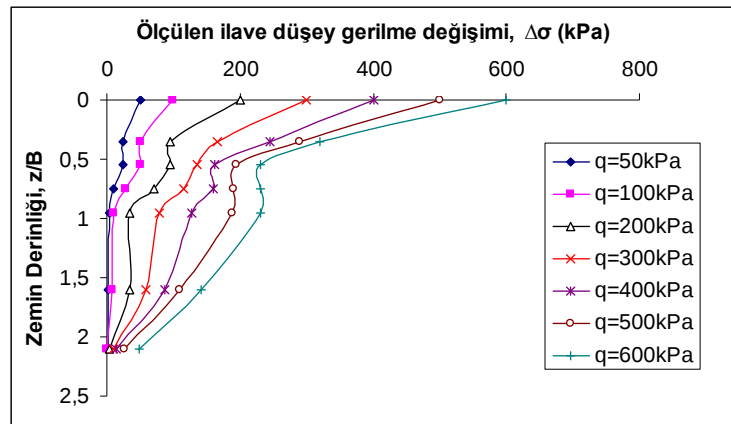
Şekil 4.209. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=2$)

▪ **Dört donatılı deney;**

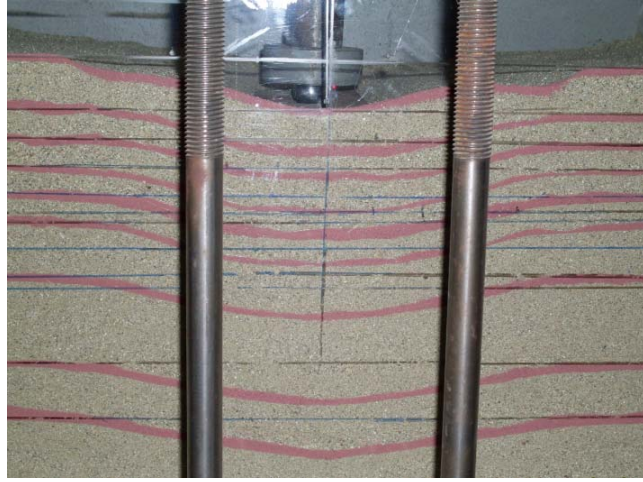
Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400, 500$ ve 600 kPa düşey basınç değerlerinde, $N=4$ donatılı zemin içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimi Şekil 4.210'da gösterilmiştir. Temel plakasına uygulanan yük arttıkça donatılı bölgede $\Delta\sigma$ değerleri ile yük arasındaki fark büyümüştür.

Şekil 4.211’de donatılı orta sıkı zeminin yaptığı oturma profili görülmektedir. Donatılı bölgede, modelin üst bölümünde oturmalar üniform olmuştur. Derinlere inildikçe temel kenarlarında daha az deformasyon gözlenmiştir. Donatı sayısının $N=4$ ’e çıkarılması ile oturmalar daha derinlere aktarılmıştır. Bu durum, hem taşıma kapasitesini hem de gerilme davranışını değiştirmiştir. Deneyin ortalama taban basıncı-oturma eğrisi incelendiğinde, bariz bir kırılma noktasının oluşmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle; gerilme davranışının da ani değişiklikler yapmadığı düşünülmüştür.

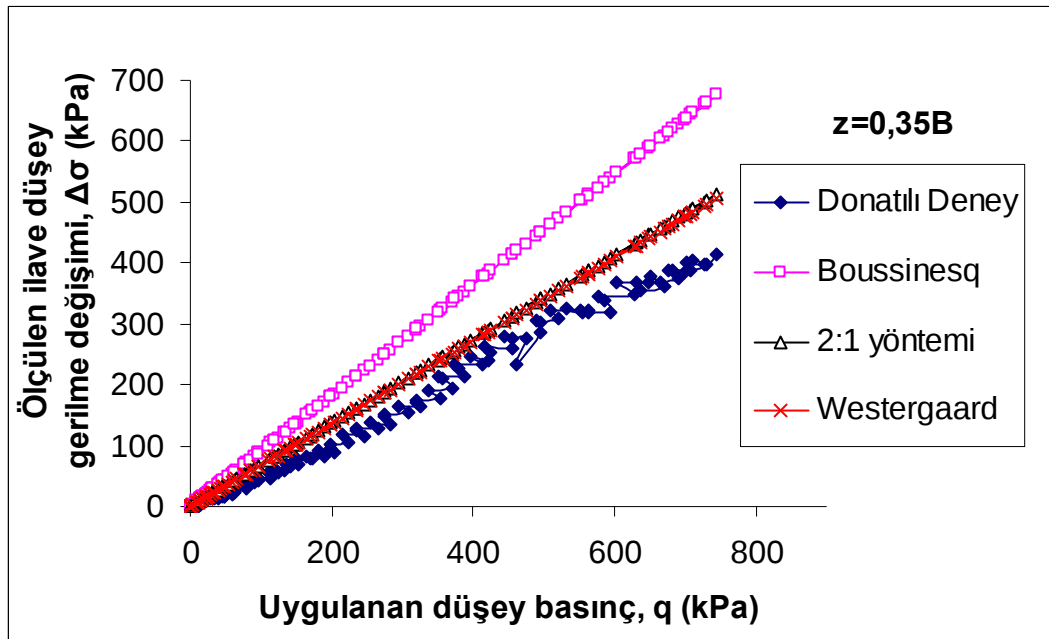
Şekil 4.211-Şekil 4.212’de farklı derinliklerdeki ilave düşey gerilme ölçümlerinin uygulanan basınçla ilişkisi verilmiştir. $z/B=0,35$ ’de (ilk donatı derinliği) Westergaard’a yakın değerler ölçüldüğü gözlenmiştir. $z/B=0,55$ ’de Westergaard ile aynı veriler okunmuş ve yaklaşık $q \approx 200$ kPa’dan sonra literatür değerlerinden uzaklaşmıştır. $z/B=0,75$ ’de $\Delta\sigma$, Westergaard’dan 0,8 kat daha küçüktür ve uygulanan yük ile lineer artmıştır. $z/B=0,95$ ’de (ikinci donatı derinliği) $\Delta\sigma$ hızla büyümüş ve temele yaklaşık $q \approx 600$ kPa basınç uygulandıktan sonra Westergaard hesaplarına yaklaşmıştır. $z/B=1,6$ ’da (üçüncü donatı derinliği) $\Delta\sigma$, Westergaard çözümlerine yakın ve uygulanan yük ile yaklaşık lineer artmıştır. $z/B=2,1$ ’de (dördüncü donatı derinliği) ise, deney başlarında çok az gerilme oluşmuştur. Yük arttıkça yaklaşık $q \approx 500$ kPa’da hızla gerilme ölçüm değişimleri de büyümüştür. Veriler literatürdeki değerlerden daha küçük çıkmıştır.



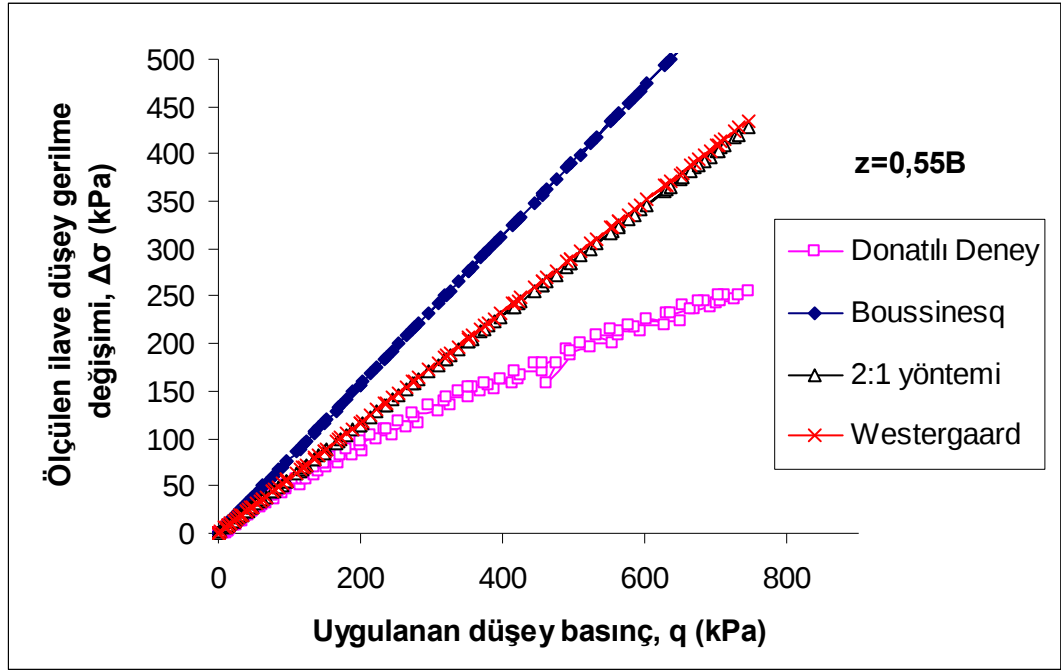
Şekil 4.210. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



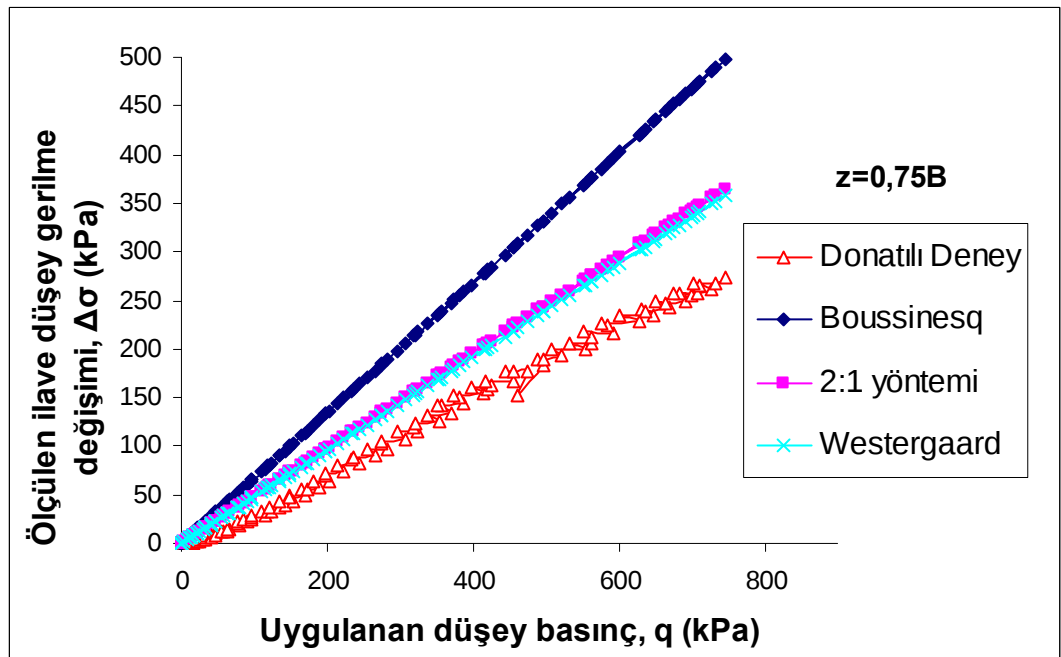
Şekil 4.211. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



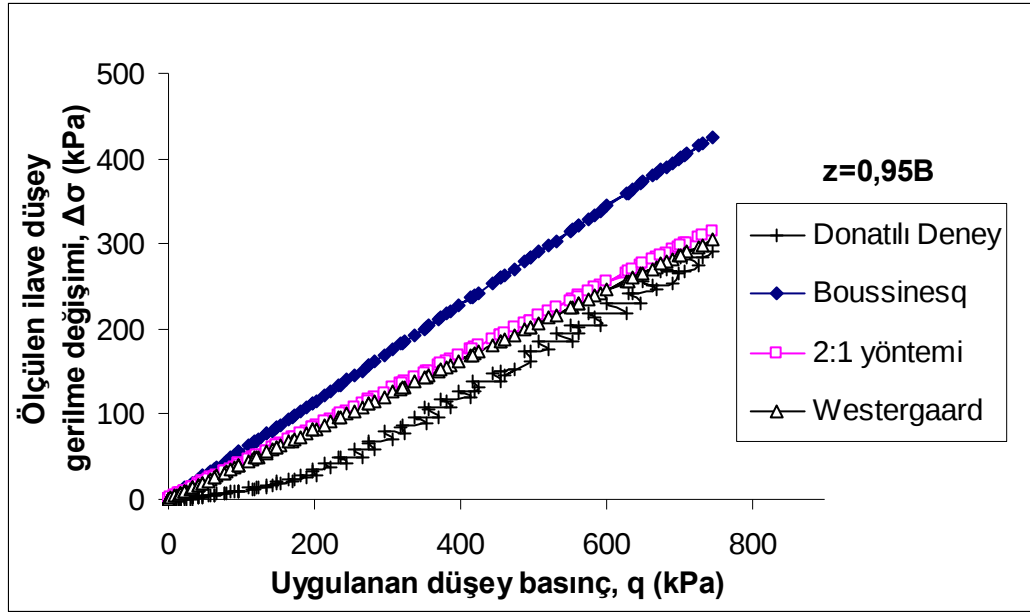
Şekil 4.212. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



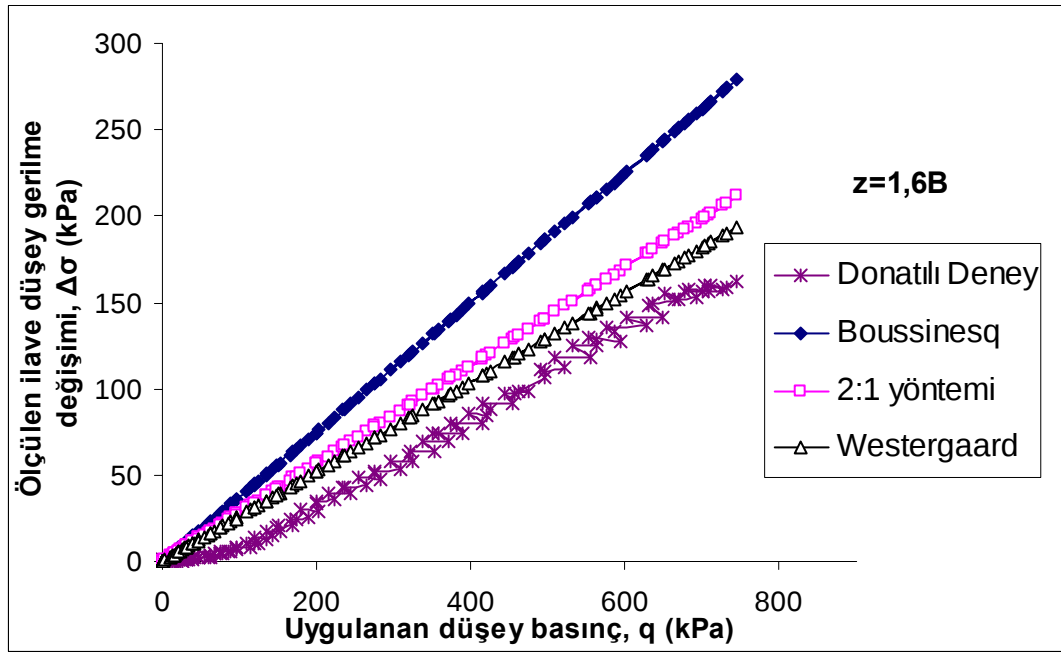
Şekil 4.213. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



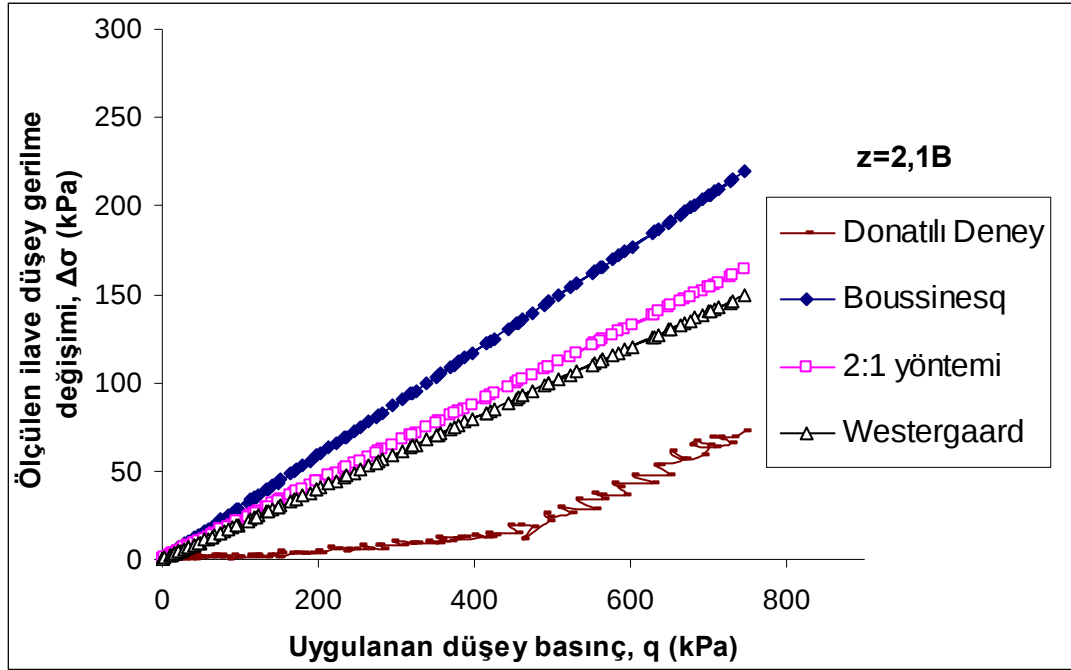
Şekil 4.214. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



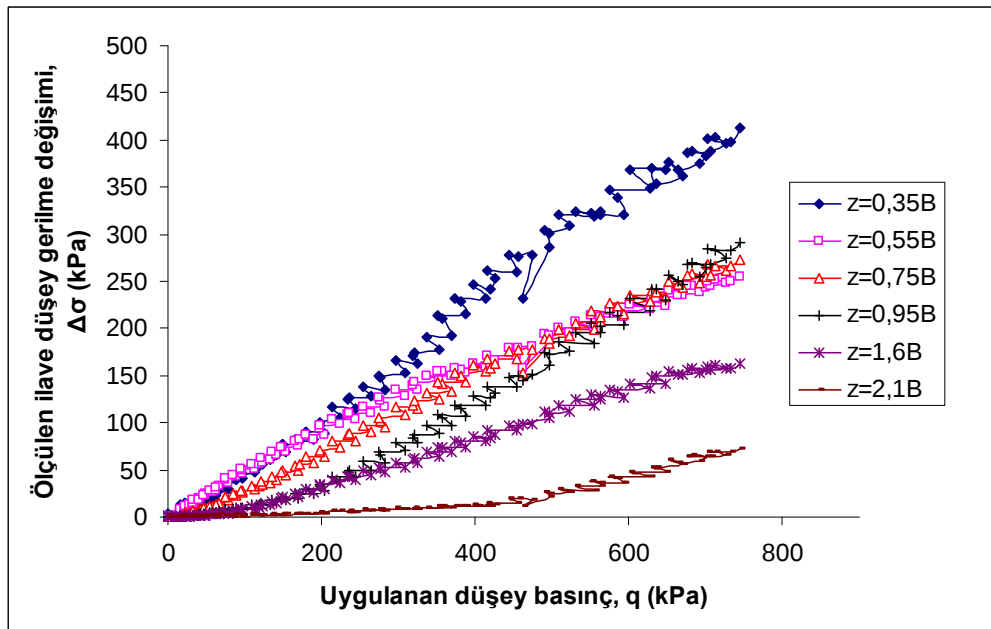
Şekil 4.215. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



Şekil 4.216. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



Şekil 4.217. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)



Şekil 4.218. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $N=4$)

$h/B=0,6$ düşey aralıklı $N=4$ donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği Şekil 4.218’de verilmiştir. İlk donatı üzerinde en büyük ilave gerilme ölçümü alınmıştır. Donatılarda ölçülen gerilme değişimlerini gösteren eğrilerinin yönü, donatılar arasında boş alanda bulunan $\Delta\sigma$ ’den farklıdır. Donatı civarında, temele uygulanan yük ile ilave düşey gerilme de hızla artmıştır. Donatılar arasındaki $\Delta\sigma$; ise yük ile daha az miktarda büyümüştür.

$h/B=0,6$ donatı derinliğinde yapılan deneylerde donatı sayısı arttıkça; temele uygulanan yük ile gerilmelerin daha derinlere aktarıldığı görülmüştür. Donatısız zeminde daha üstteki gerilmeler literatür (Westergaard ve Boussinesq) verilerine yakın iken, donatı sayısının artması ile derinlerdeki ilave düşey gerilmeler de Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır. Yük arttıkça üst noktalarındaki gerilmeler sabitlenmeye başlamış, daha derinlerde bulunan noktalarda ise uygulanan yük ile ölçülen gerilme daha fazla yükselme eğilimi göstermiştir. $\Delta\sigma$ sonuçları incelendiğinde; zemin bir miktar yük aldıktan sonra derinlerdeki noktalarda gerilmelerin arttığı gözlenmiştir. Donatılı bölge altına aktarılan gerilmeler ile zemindeki taşıma gücünün yükseldiği görülmüştür.

b. $h/B=0,4$ donatı düşey aralıklı sistemlerde gerilme ölçümleri;

Testler, donatı aralığı $h/B=0,4$ alınarak donatı sayısının farklı üç değerinde ($N=2, 3$ ve 4) yürütülmüştür. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı tabaka derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Her bir yükleme kademesinde donatılı orta sıkı kum içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları incelenmiştir. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

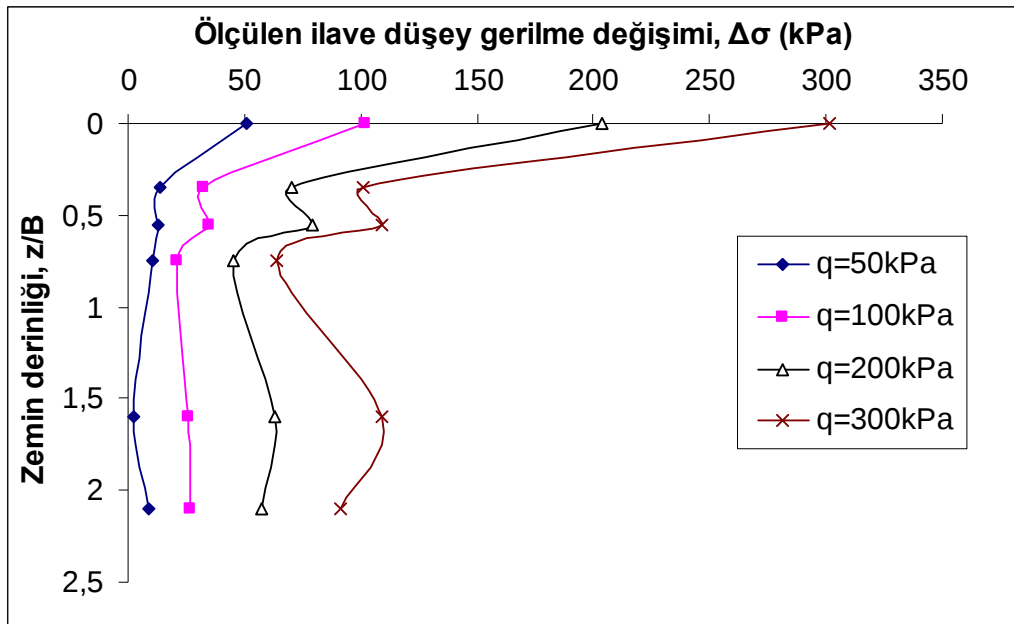
▪ İki donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200$ ve 300 kPa basınç değerlerinde $N=2$ donatılı zemin içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değerleri Şekil 4.219’da gösterilmiştir. $q=50$ ve 100 kPa ortalama taban basınç değerlerinde derinlik ile temel orta noktasında oluşan ilave düşey gerilmelerin değişimleri benzer bir eğri

çizmiştir. Donatı hizalarında (0,35B ve 0,75B) $\Delta\sigma$ değerleri değişmiştir. $q=200$ ve 300 kPa ortalama taban basınçlarında derinlik ile gerilme değişimi benzer bir davranış sergilemiştir. Donatısız bölgelerde, $\Delta\sigma$ artışları daha net ortaya çıkmıştır. 1,5B derinliğinden sonra $\Delta\sigma$ artmıştır.

Daha önceki bölümlerde verilen ortalama taban basıncı-oturma eğrisi incelendiğinde göçme başlangıcının $q=100$ kPa ile 200 kPa arasında olduğu görülmüştür. Tek donatılı duruma benzer şekilde, temel zemininin kırılmaya başlamasından itibaren derinlerde oluşan gerilme artışı büyümüştür.

Şekil 4.220’de iki donatılı zeminde meydana gelen oturmalar verilmiştir. Test başlangıcında 1,5B derinlikte oturma meydana gelmemiştir. Zeminde göçme yüzeyleri oluşmaya başladıktan sonra $z/B=1,5$ ’de oturmalar artmıştır. Donatı, üzerine gelen yükü dağıtmış ve göçme başlangıçlarında donatısız bölgede oturma gerçekleştikten sonra gerilme davranışı değişmiştir. Yükün donatılı bölge altına aktarılması ile zeminin taşıma kapasitesi de yükselmiştir.



Şekil 4.219. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

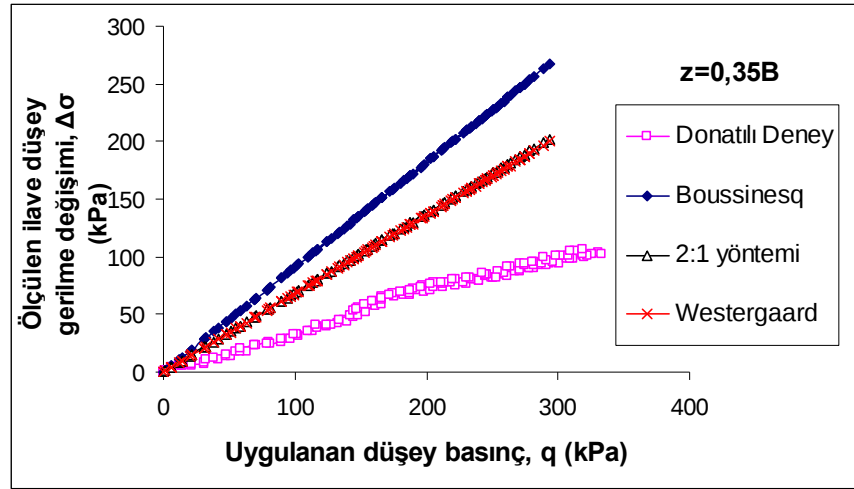


Şekil 4.220. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

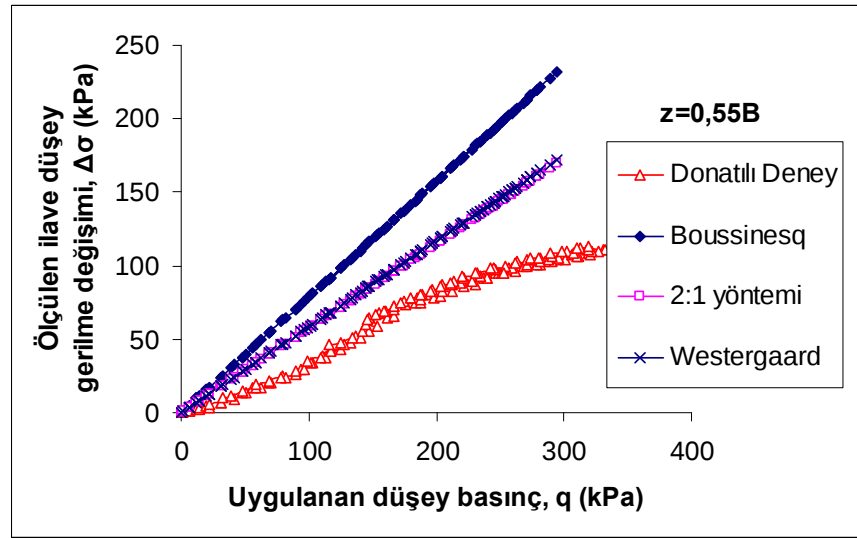
Temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda $N=2$ donatılı zemin içine yerleştirilen basınç sensör okumaları Şekil 4.221-Şekil 4.225’de gösterilmiştir. Donatı üzerindeki derinliklerde ($z/B=0,35$; $0,55$; $0,75$) $q=150$ kPa uygulanan temel basıncı sonrası ölçülen ilave düşey basıncı veren deney eğrilerinin eğimi azalmıştır. Temel plakasına uygulanan basınca nazaran daha düşük miktarda $\Delta\sigma$ değerleri oluşmuştur.

Donatılı bölge altındaki derinliklerde ($z/B=1,6$ ve $2,1$) ise ilave düşey gerilmeler, literatürdeki değerlere yaklaşmıştır. $q=100$ kPa yüklemekten sonra $z/B=1,6$ derinliğinde ilave düşey gerilme artarak Westergaard çözümlerine, $q=150$ ’den sonra ise Boussinesq hesaplamalarına yakın çıkmıştır. $z/B=2,1$ derinliğinde ise küçük yüklerde Westergaard değerleri ile, $q=100$ kPa taban basıncı uygulandıktan sonra ise Boussinesq sonuçlarıyla $\Delta\sigma$ değerleri ölçülmüştür.

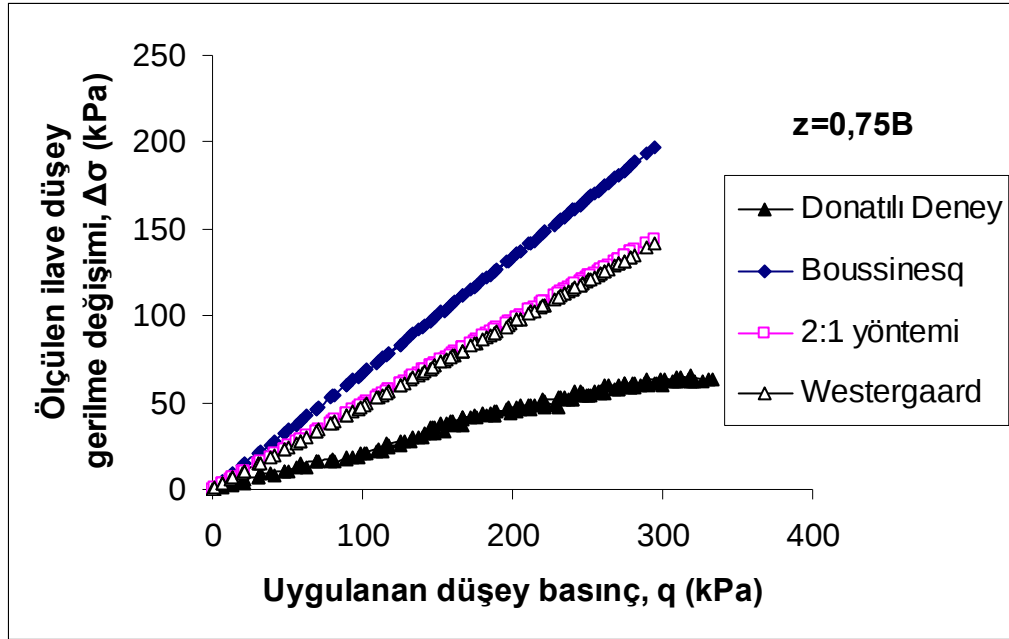
Şekil 4.226’da temel plakasına uygulanan yük ile $N=2$ donatılı zeminde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri görülmektedir. Yaklaşık $q=150$ kPa’dan sonra ilave düşey gerilme ile uygulanan basınç eğrilerinin eğiminin değiştiği gözlenmiştir. Zemin içinde okunan gerilme değişimi, temele uygulanan yüke göre daha düşük miktarda artmıştır. $z/B=1,6$ derinliğinden itibaren $\Delta\sigma$ büyümeye başlamıştır. Bu bulgu, donatıların yükü dağıtıp, donatılı bölge altına ve yanlara verdiği düşüncesini daha da kuvvetlendirmiştir.



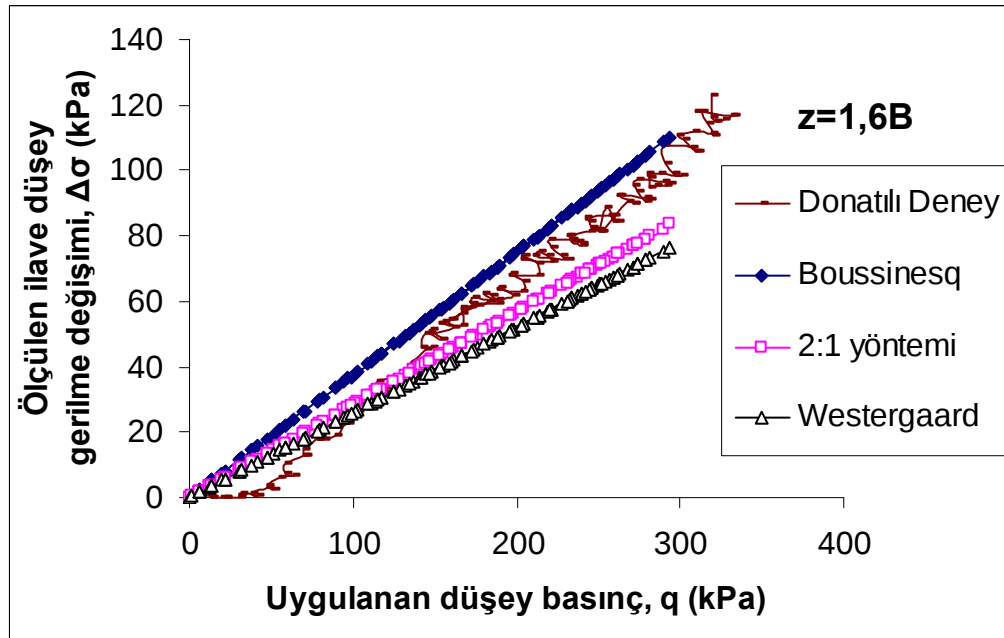
Şekil 4.221. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



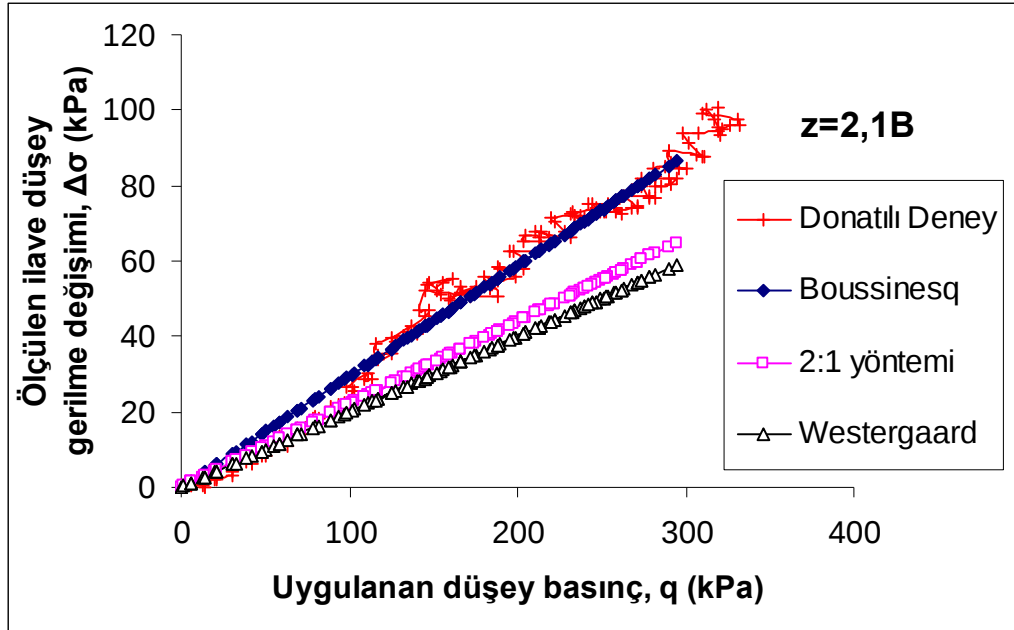
Şekil 4.222. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



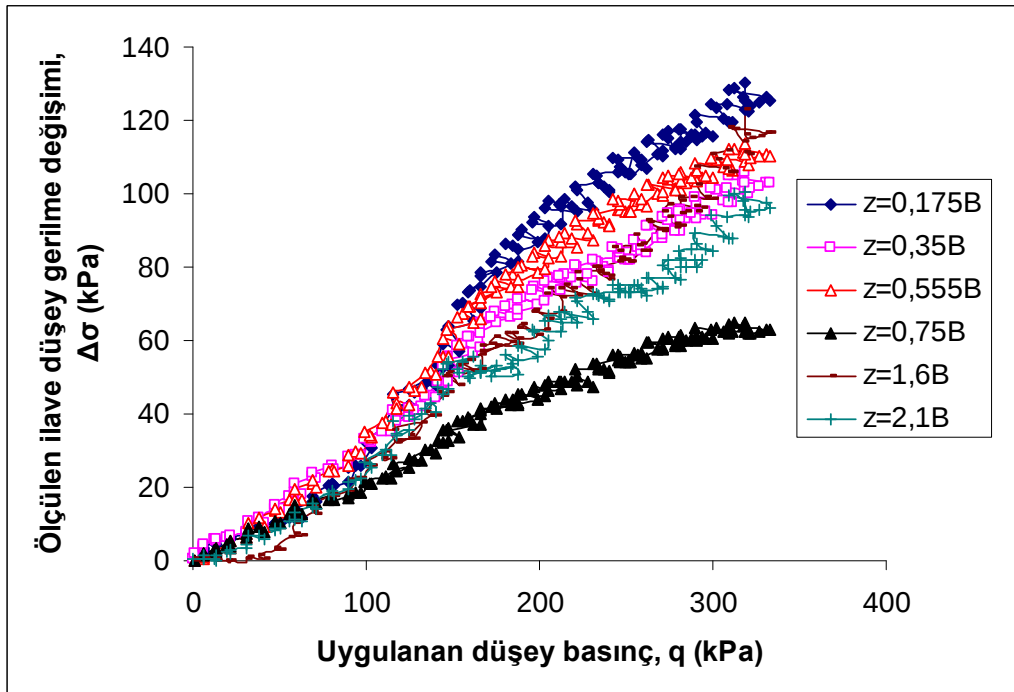
Şekil 4.223. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.224. $z=1,6B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



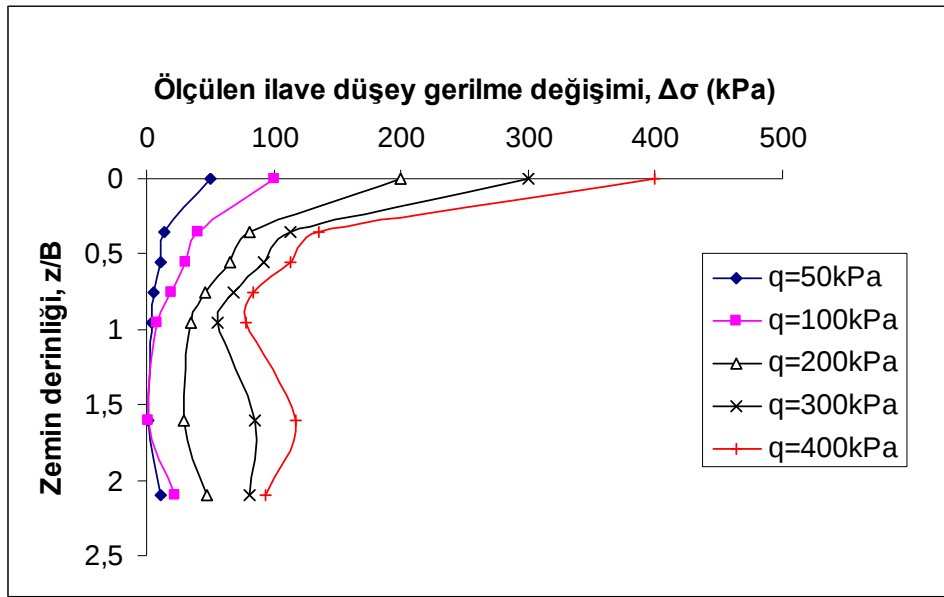
Şekil 4.225. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.226. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

▪ Üç donatılı deney;

$q=50, 100, 200, 300$ ve 400 kPa değerlerindeki temel yüklerinde, $N=3$ donatılı zemin içerisindeki farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.227’de verilmiştir. Donatılı bölgede ($0,35B, 0,75B$ ve $1,15B$) ilave düşey gerilme değerlerinde azalma gözlenmiştir. $q=50, 100$ ve 200 kPa eğrileri benzer davranış sergilemiştir. $q=300$ ve 400 kPa eğrilerinde ise $1,55B$ derinliğinde ani gerilme artışı gözlenmiştir.



Şekil 4.227. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



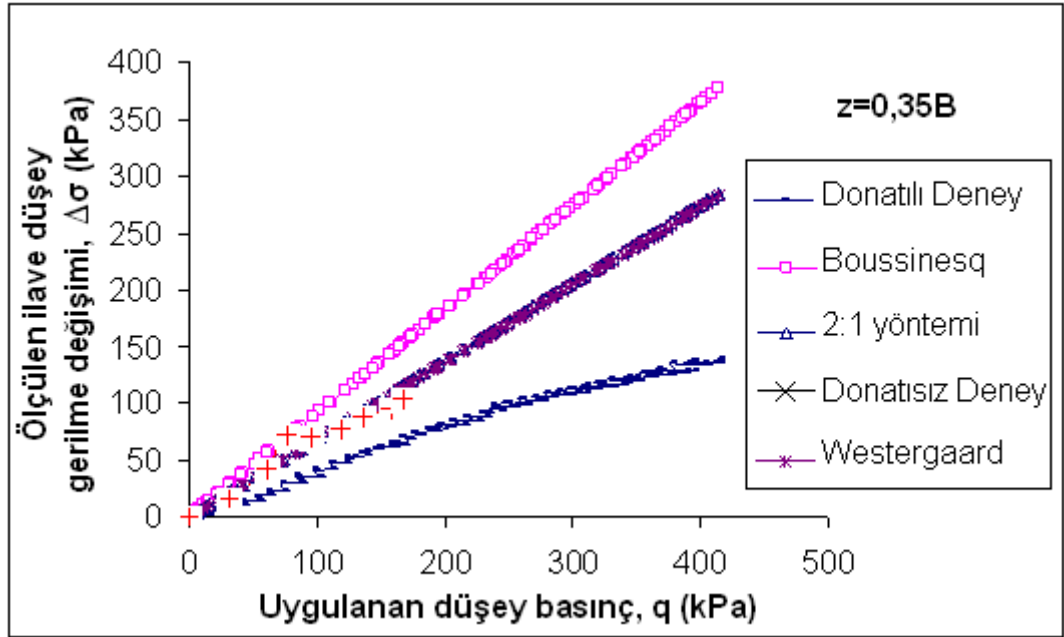
Şekil 4.228. Üç donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Şekil 4.228’de üç donatılı deney sonunda zeminde meydana gelen oturmalar görülmektedir. $z=1,6B$ derinlikte oturma; test başlangıcında meydana gelmezken, zemin göçmeye başladıktan sonra artmıştır. Donatılar üzerlerine gelen yükü dağıtmış, donatısız bölgede belli seviyelerde oturma gerçekleşikten sonra gerilme davranışı da değişmiştir.

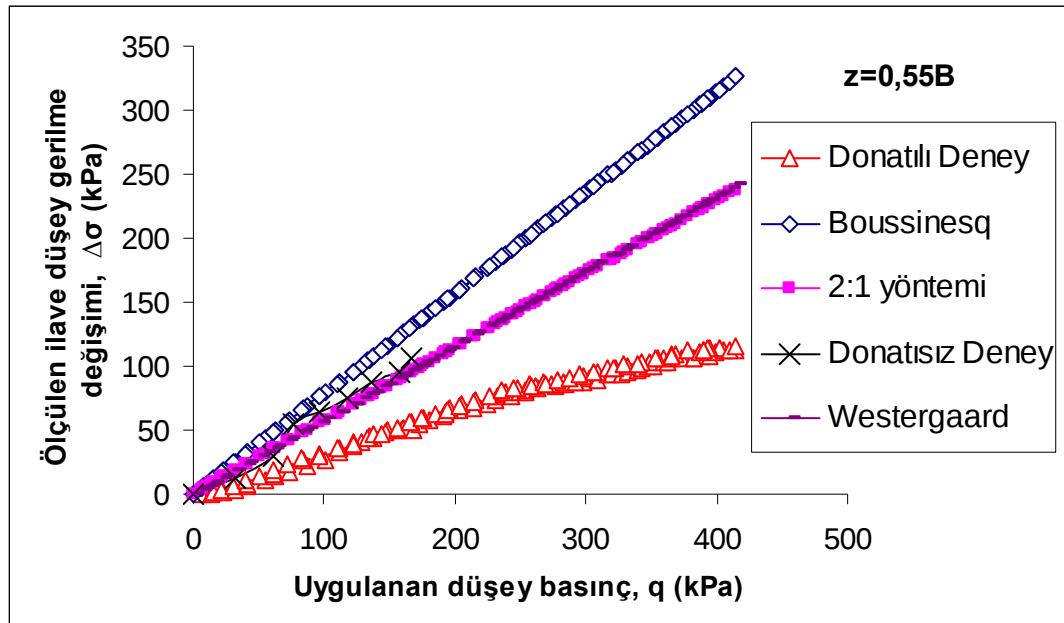
Temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda $N=3$ donatılı zemin içine yerleştirilen ilave gerilme ölçümleri Şekil 4.229-Şekil 4.234’de gösterilmiştir. Düşey yönde her bir noktada alınan veriler, Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemi kullanılarak aynı temel yükünde hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Donatılı bölgede oluşan ilave düşey gerilmeler literatürden daha düşük seviyededir. Donatılı bölgede ($z/B=0,35$; $0,55$; $0,75$ ve $1,15$), $q=200$ kPa uygulanan temel basıncı sonrası ölçülen ilave düşey gerilme eğrilerinin eğimi azalmıştır. $\Delta\sigma$, temel plakasına uygulanan yüke nazaran daha düşük miktarda oluşmuştur. Bu değerden itibaren deney verileri literatür sonuçlarından daha fazla uzaklaşmıştır.

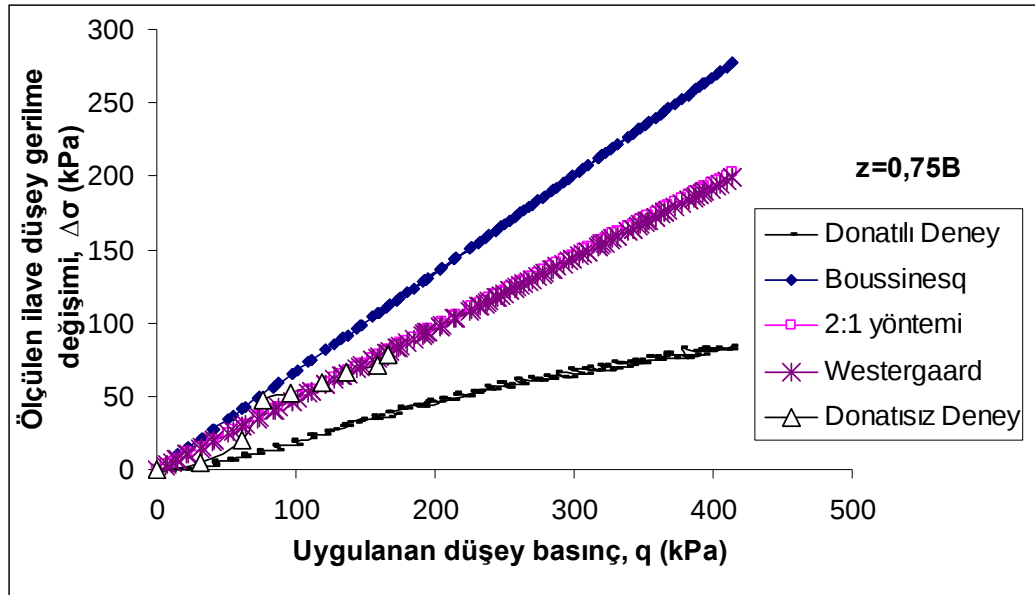
Donatılı bölgenin altında bulunan derinliklerde ($z/B=1,55$ ve $2,15$) ilave düşey gerilmeler literatürdeki değerlere yaklaşmıştır. $z/B=1,55$ noktasında yük arttıkça $\Delta\sigma$ değerleri de büyümüştür. $q=250$ kPa yüklemekten sonra $z/B=1,55$ derinliğinde $\Delta\sigma$ yükselerek Westergaard çözümleriyle yaklaşık aynı değerdedir. $z/B=2,15$ derinliğinde ise küçük yüklerde Westergaard’a yakındır ve temele $q=200$ kPa taban basıncı uygulandıktan sonra Boussinesq sonuçlarıyla aynı gerilme değerleri hesaplanmıştır. $q=300$ kPa’dan itibaren uygulanan temel yüküne göre ölçülen düşey gerilme değişimi azalmıştır.



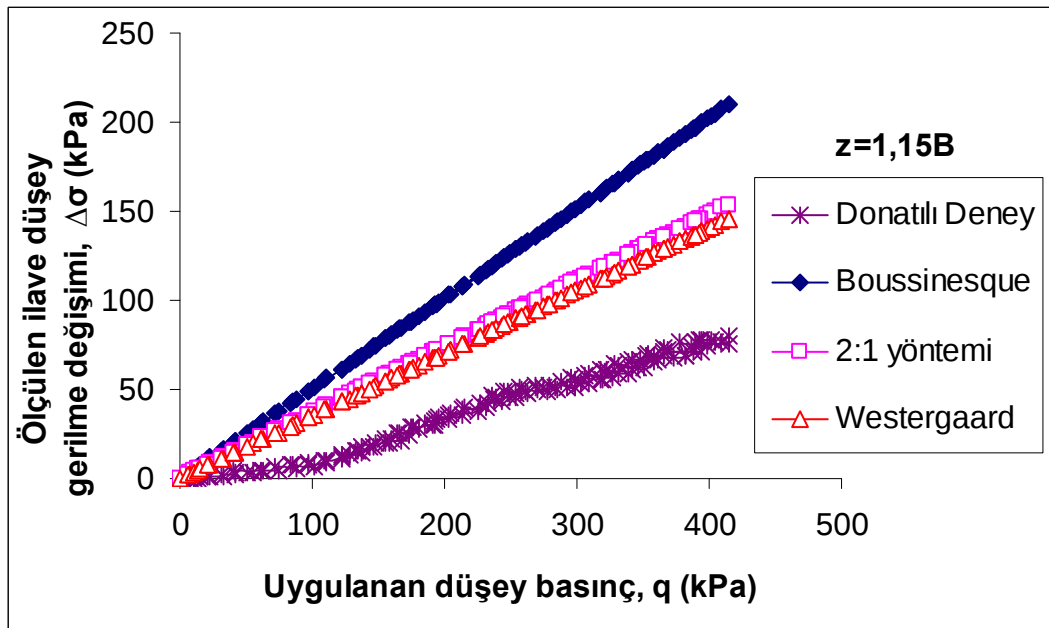
Şekil 4.229. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



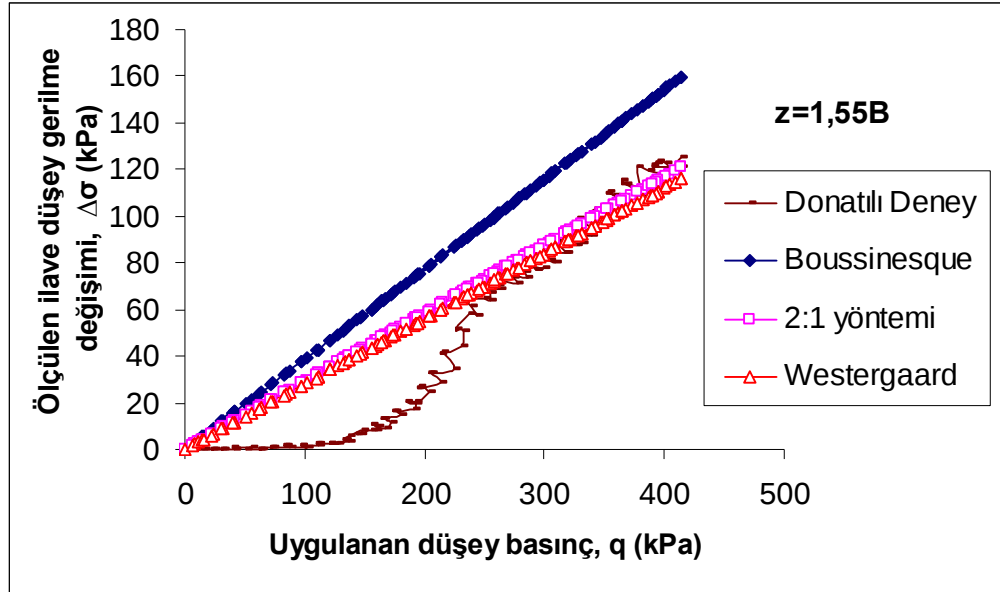
Şekil 4.230. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



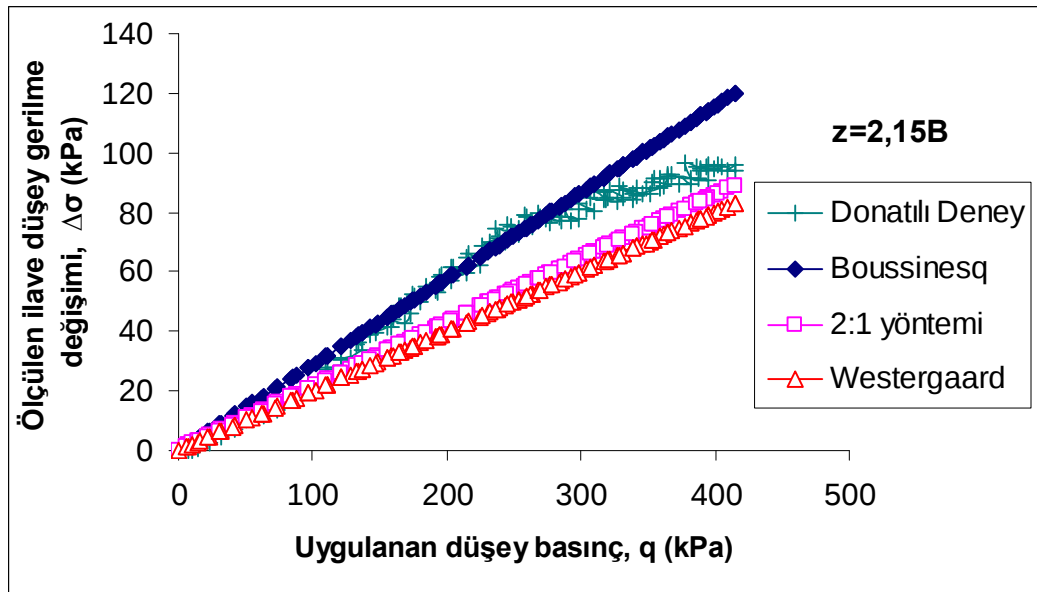
Şekil 4.231. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.232. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

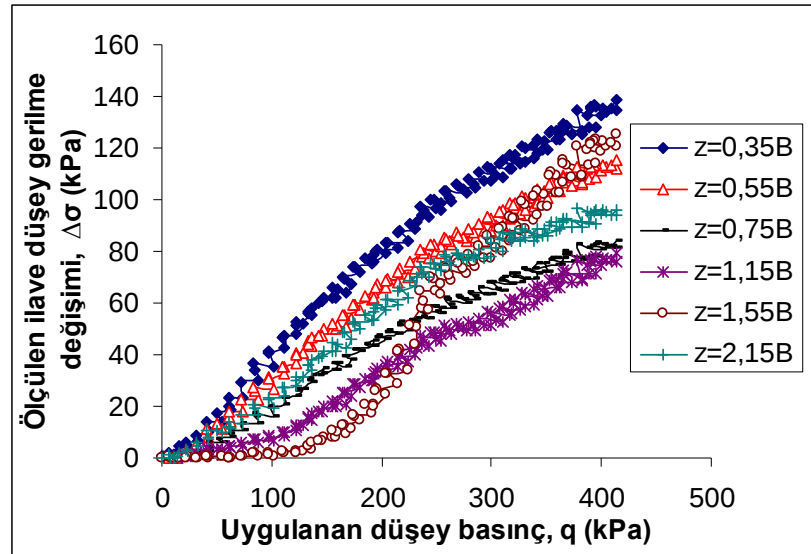


Şekil 4.233. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.234. $z=2,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Şekil 4.235’de temel plakasına uygulanan basınca karşılık gelen ilave düşey gerilme değişimleri görülmektedir. Yaklaşık ortalama $q \approx 250$ kPa’ dan sonra İlave düşey gerilme-Uygulanan basınç eğrilerinin eğiminin değiştiği belirlenmiştir. Zemin içinde okunan gerilmeler, temele uygulanan yüke göre daha düşük hızlı artma eğilimine girmiştir. $z/B=1,55$ derinliğinden itibaren $\Delta\sigma$ büyümüştür.

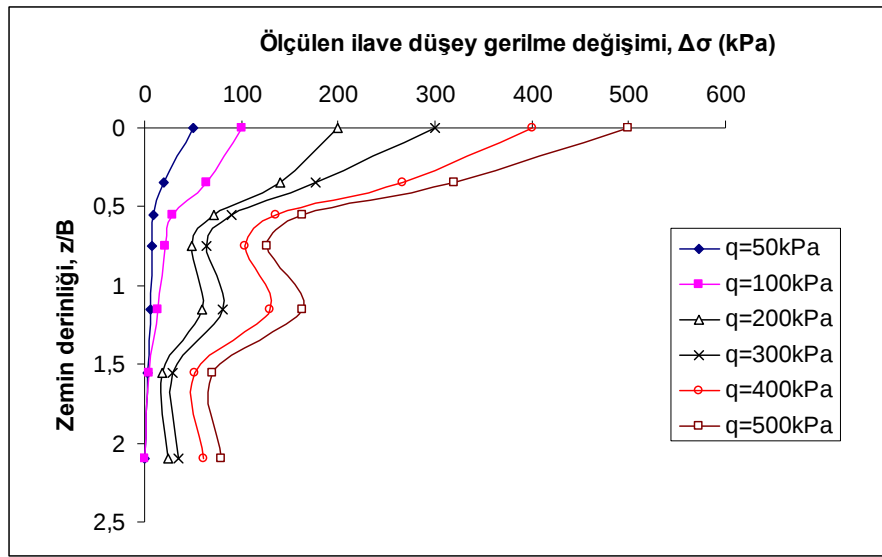


Şekil 4.235. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

▪ Dört donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa yüklemelerde $N=4$ donatılı orta sıkı kum içerisinde, farklı derinliklere ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.36’da gösterilmiştir. $q=50-100$ kPa, $q=200-300$ kPa ve $q=400-500$ kPa eğrilerinin birbirine yakın davranış gösterdiği görülmüştür. $q=50$ ve 100 kPa temel basınçlarında ölçülen ilave düşey gerilme eğrilerindeki değerler derinlikle azalmıştır. Donatılı bölge ve altında herhangi bir ani ilave gerilme artışı oluşmamıştır. $q=200$ ve 300 kPa yüklemelerde elde edilen eğrilerde $1,15B$ derinliğinde hesaplanan ilave gerilmelerde ani artış gözlenmiştir. $q=500-100$ kPa eğrilerinde ani gerilme artışı büyümüş ve fark daha fazla belirginleşmiştir. Dört donatı sayılı ($N=4$) deneyde $1,5B$ derinliğinde donatı

bulunmaktadır. Bu derinlikte zemin içindeki ilave düşey gerilme değerinde ani artış meydana gelmemiştir. Son donatının etkisi ile gerilme artışı sağlayacak yük, en alttaki donatı tarafından daha derine, yataya veya bir önceki donatı bölgesine (1,15B) aktarıldığı tahmin edilmiştir. Zemin dördüncü donatı etkisiyle daha derinlere yükü aktarmış ve bu bölgede oturmalar artmıştır.



Şekil 4.236. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)

Şekil 4.237'de zeminde meydana gelen oturmalar görülmektedir. Deneyde, 2,2B derinliği altında oturmaların oluştuğu gözlemiştir. Dört adet donatı kullanılması temel plakasına uygulanan yükü kasanın daha derinlerine iletmiş ve göçmeyi buralarda meydana getirmiştir. Böylece gerilme davranışı bu noktalarda değişmiştir.

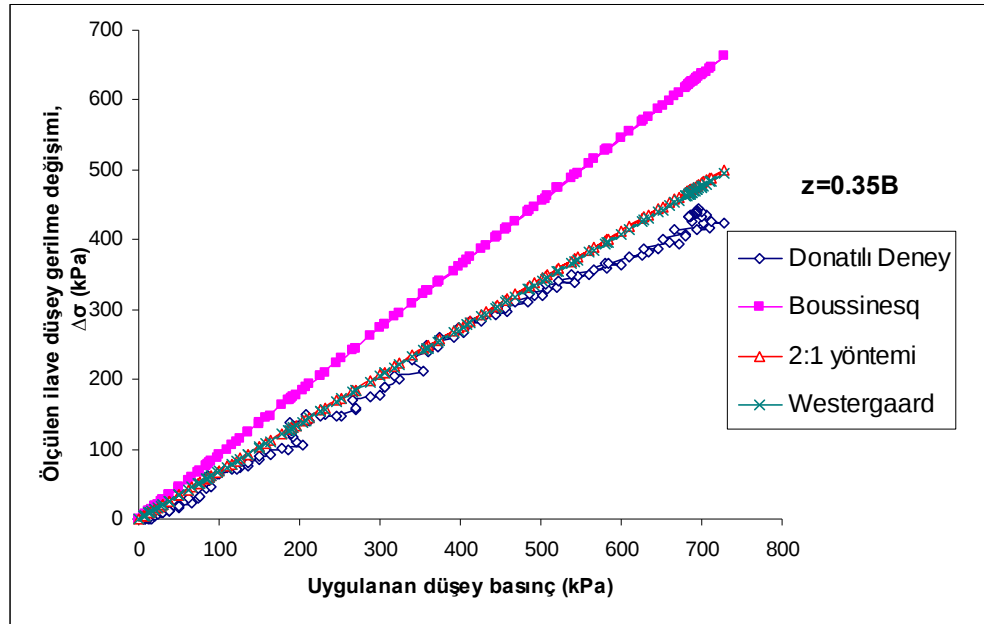
Şekil 4.238- Şekil 4.243'de temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda $N=4$ donatılı zeminde oluşan gerilmeler incelenmiştir. Düşey yönde her bir noktada alınan $\Delta\sigma$ değerleri, aynı temel yükünde hesaplanan Boussinesq, Westergaard ve 2:1 çözümleri ile karşılaştırılmıştır.



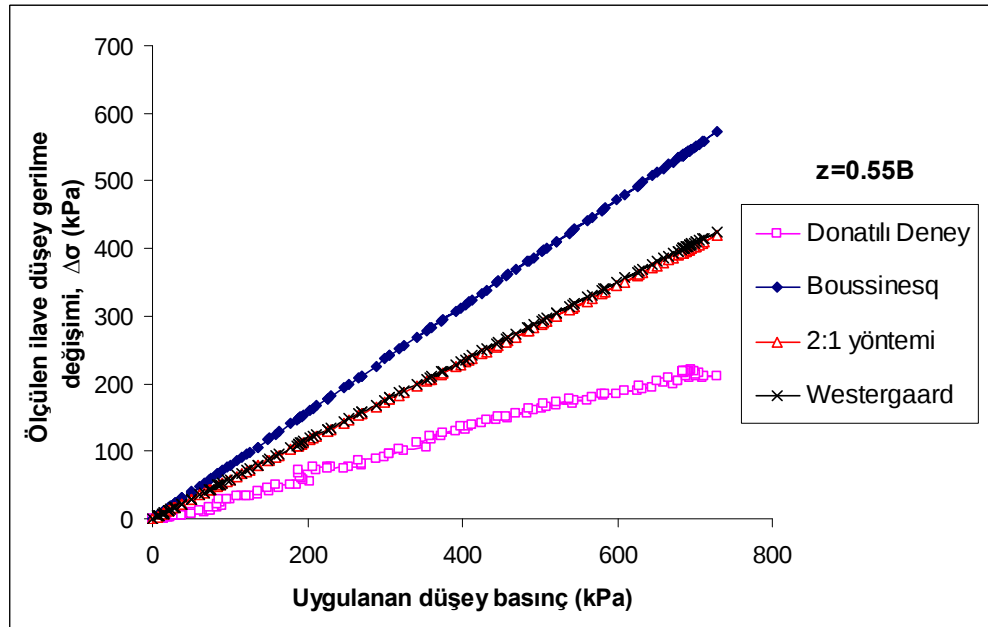
Şekil 4.237. Dört donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)

Geotekstil sayısı dört katına çıkarıldığında; donatılı bölgede oluşan ilave düşey gerilmeler önceki deney sonuçlarına ($N=1, 2$ ve 3) göre bir miktar farklılık göstermiştir. $z/B=0,35$ noktasındaki sensörden alınan okumalar Westergaard çözümlerine yakındır. Donatılar arasında bulunan $z/B=0,55$ ve $0,75$ derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimi yaklaşık Westergaard çözümlerinin yarısı kadardır. Üçüncü donatının tam üzerinde bulunan $z/B=1,15$ derinliğinde yine Westergaard’a yakın okuma almıştır. Dördüncü donatı üzerindeki $z/B=1,55$ derinliğinde ölçülen ilave gerilmeler Westergaard değerlerinin yaklaşık yarı değerindedir. Donatısız bölgedeki $z/B=2,1$ derinliğinde ise gerilme değerleri artarak Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır. Buda donatılı bölgenin altına yükün aktarıldığı göstermiştir.

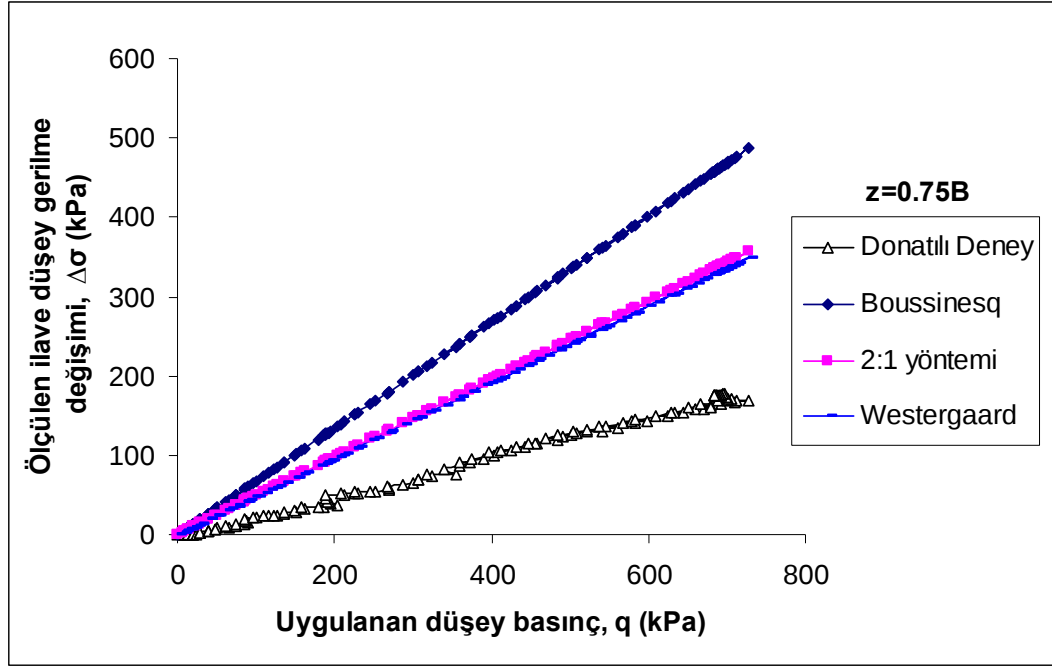
Şekil 4.244’de temel plakasına uygulanan basınca karşılık gelen $N=4$ donatılı zeminde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri verilmiştir. İlave düşey gerilmelerin uygulanan yüklerle lineer ve daha küçük miktarda bir artış yakaladığı gözlenmiştir. Donatıların zemin içindeki düşey gerilme dağılışını değiştirdiği gözlenmiştir.



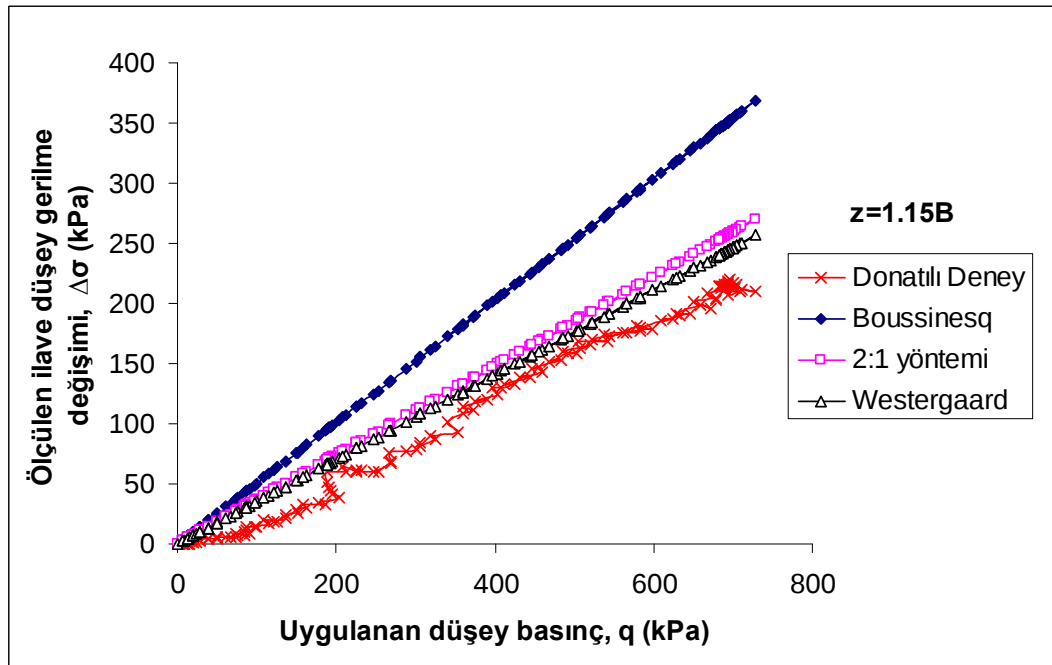
Şekil 4.238. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)



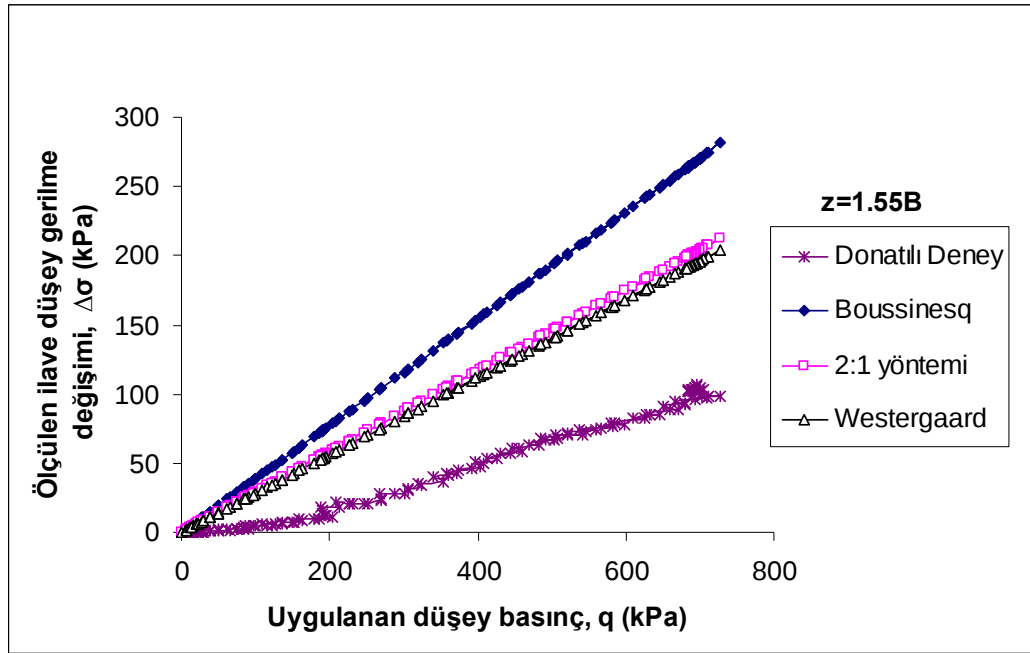
Şekil 4.239. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)



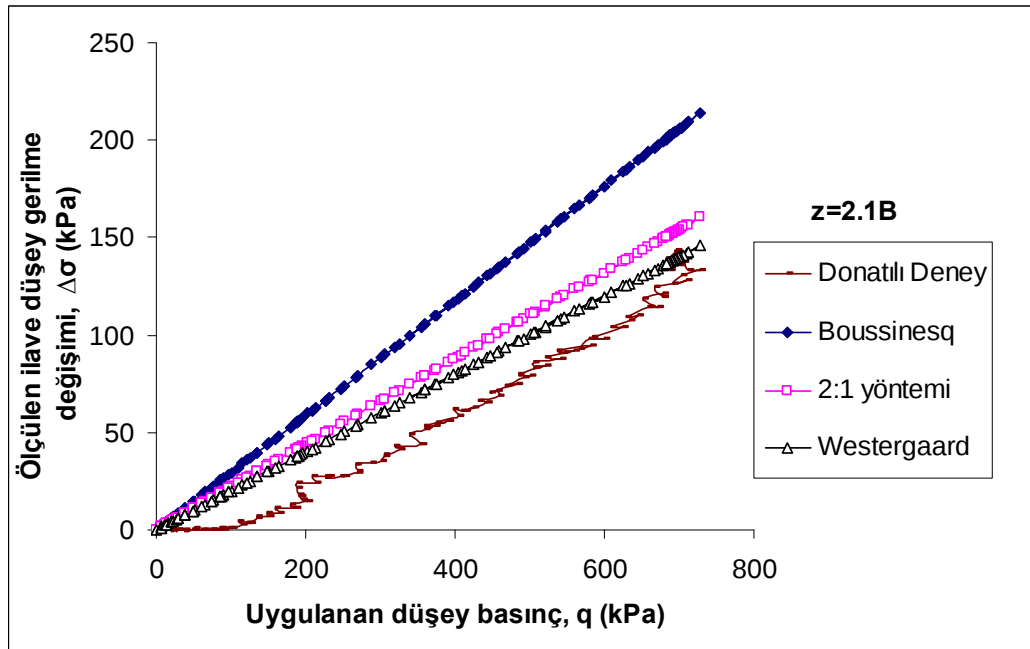
Şekil 4.240. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)



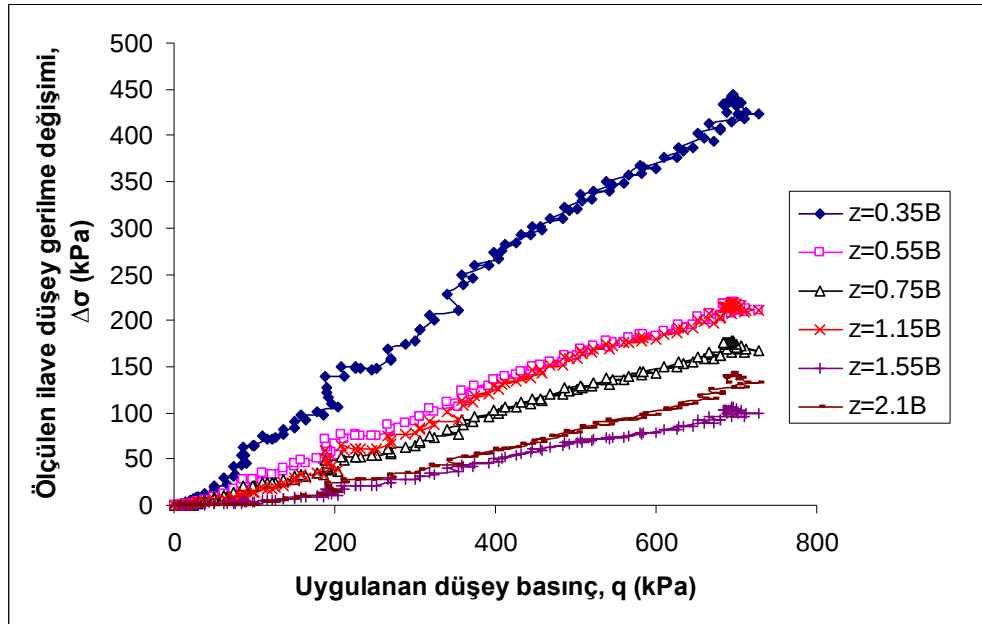
Şekil 4.241. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)



Şekil 4.242. $z=1.55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0.35$; $h/B=0.4$; $N=4$)



Şekil 4.243. $z=2.1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0.35$; $h/B=0.4$; $N=4$)



Şekil 4.244. Dört donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=4$)

$h/B=0,4$ donatı aralığında yapılan deney serisinde; donatı sayısı arttıkça derinlerdeki gerilme değişimlerin arttığı gözlenmiştir. Deneylerde küçük yüklerle büyük yüklemeler arasında oluşan ilave düşey gerilme değişimleri farklılık göstermiştir. Küçük yüklerde $\Delta\sigma$ miktarları uygulanan basınca daha yakın iken, büyük yüklerde daha küçük miktarda $\Delta\sigma$ 'ler oluşmuştur. Donatısız zemine göre derinlerde ($z>1,5B$) oluşan $\Delta\sigma$ değerleri daha büyük çıkmıştır. Deneyin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri değiştikçe gerilme dağılışı da farklılık göstermiştir.

c. $h/B=0,2$ donatı düşey aralıklı sistemlerde gerilme ölçümleri;

Testler, donatı aralığı $h/B=0,2$ alınarak donatı sayısının farklı dört değerinde ($N=2, 4, 5$ ve 6) yürütülmüştür. Donatı genişliği ($L/B=3$) ve ilk donatı tabaka derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutulmuştur. Her bir yükleme kademesinde donatılı orta sıkı kum içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları incelenmiştir;

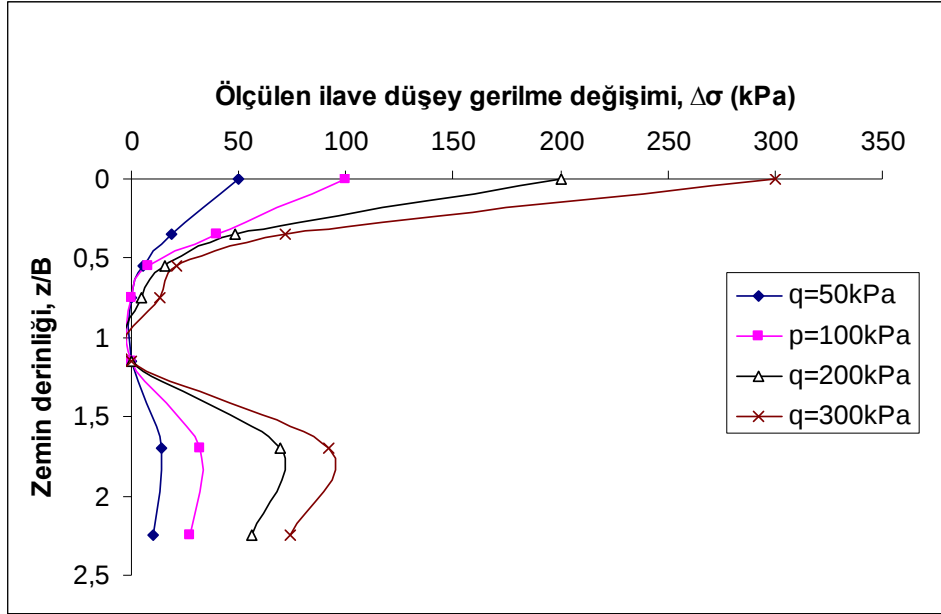
▪ **İki donatılı deney;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200$ ve 300 kPa düşey basınç değerlerinde iki donatılı ($N=2$) deney zemini içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.245'te sunulmuştur. Donatılı bölgede ($0,35B$ ve $0,55B$) ölçülen ilave gerilmelerde azalma görülmüştür. Tüm eğriler birbirine benzer bir davranış göstermiştir. Donatılı bölgenin hemen altında $\Delta\sigma$ sıfıra yaklaşmıştır. $z=1,7B$ derinliğinde $\Delta\sigma$ artmıştır.

$q=50$ ve 100 kPa'da $z=1,7B$ noktasında; $z=0,35B$ derinliğinde oluşan $\Delta\sigma$ 'den daha küçük bir artış gözlenmiştir. $q=200$ ve 300 kPa uygulanan yüklerde ise $z=1,7B$ 'de $\Delta\sigma$ ilk donatı hizasında ölçülen değerden daha büyüktür. $z=2B$ altında ise $\Delta\sigma$ 'de düşüş görülmüştür. Buradan, donatılı bölgenin aldığı yükü aşağıya aktararak göçmenin donatılı bölgenin altında oluşmasına sebep olabileceği tahmin edilmiştir.

$h/B=0,2$ geotekstil aralığında $N=2$ donatılı zeminin oturma profili Şekil 4.246'da görülmektedir. Donatılı bölge blok halinde birlikte hareket etmiştir. Yük yanlara ve donatılı bölgenin altına iletilmiş ve oturmalar donatı altına aktarılmıştır. Uygulanan basınç göçme yüküne ulaşıncaya kadar donatılı bölge ve üzerinde oturmalar olmuştur. Yüklemeye devam edildikçe donatı altında oturmalar meydana gelmiş ve zemin göçmeye başlamıştır. Oturma şekilleri ile farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

Şekil 4.247-Şekil 4.251'de temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda $h/B=0,2$ düşey aralıklı $N=2$ donatılı zemin içinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri verilmiştir. Temel merkezi altındaki derinliklerde Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemi ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.245. Değişik zemin derinlik noktalarında ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



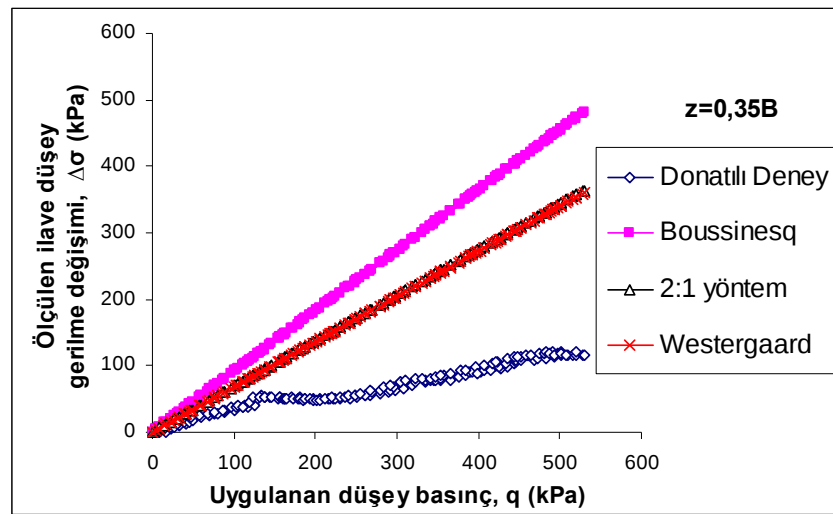
Şekil 4.246. İki donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)

Önceki bölümlerde verilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde $N=2$ donatı sayılı deneyin yaklaşık ortalama $q \approx 120$ kPa basınç altında kırılmaya başladığı görülmüştür. $z=0,35B$ derinliğinde deney başlarında Westergaard çözümlerine yakın

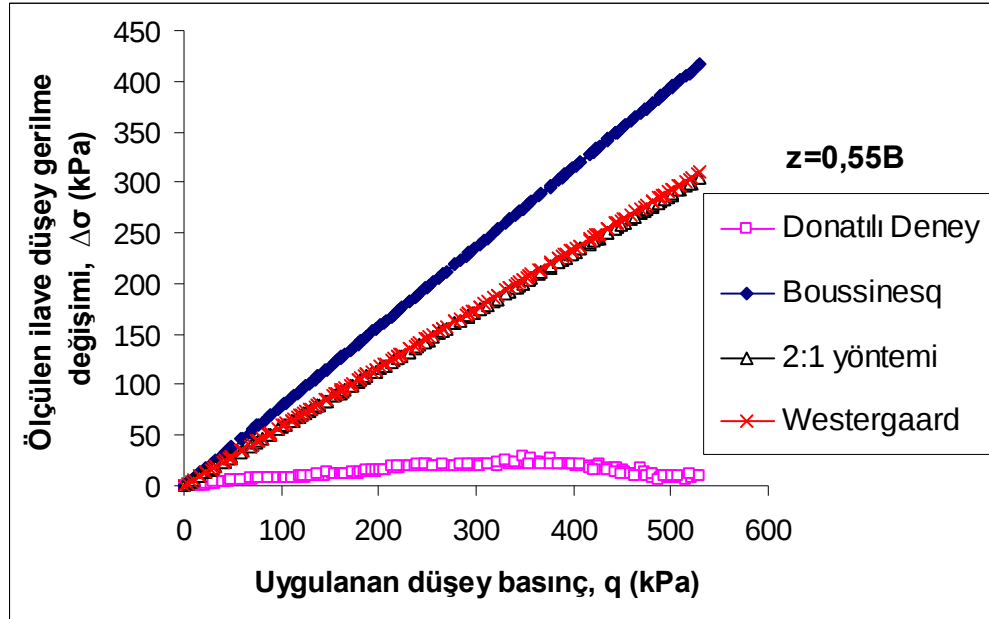
ölçümler alınmıştır. Yaklaşık $q \approx 120$ kPa'dan sonra Ölçülen ilave gerilme-Zemin derinliği eğrisinin eğimi azalarak, literatürden daha düşük değerler gözlenmiştir.

Donatılı bölgede ($z/B=0,55$ ve $0,75$) çok düşük miktarda $\Delta\sigma$ değerleri ölçülmüştür. Donatısız bölgede ve geosentetiklerden daha derinde bulunan $z=1,65B$ noktasında $\Delta\sigma$; Boussinesq değerlerine daha yakın çıkmıştır. Yaklaşık $q=250$ kPa'dan sonra uygulanan basınca göre daha az miktarda ilave gerilmeler ölçülmüş ve Westergaard çözümleriyle aynı okumalar almıştır. $z/B=2,1$ derinliğinde; Boussinesq ile yaklaşık aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Yaklaşık $q=250$ kPa'da Westergaard çözümlerine yakın $\Delta\sigma$ değerleri elde edilmiştir.

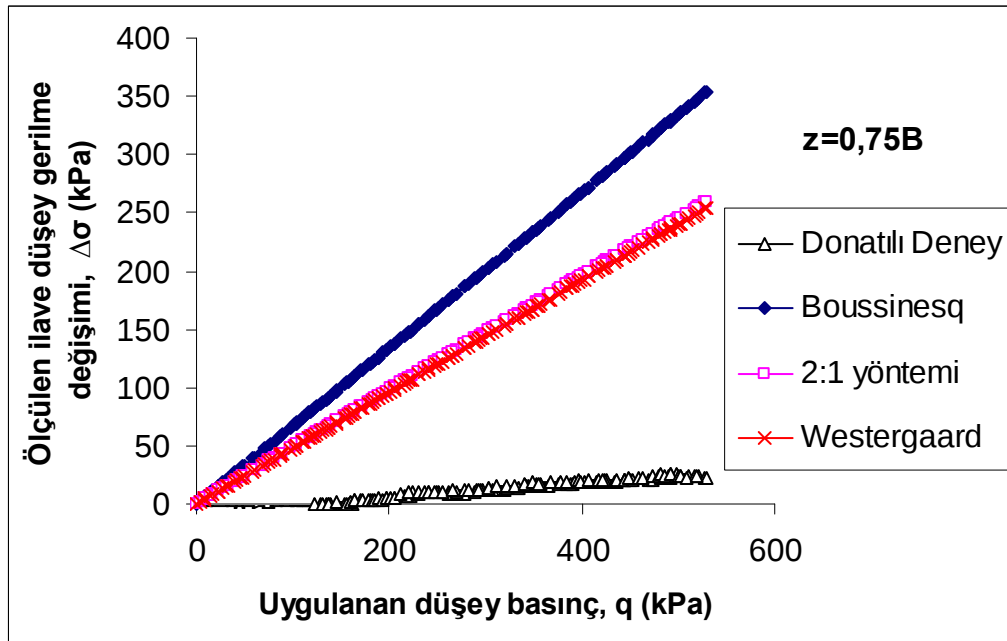
$h/B=0,2$ aralıkla $N=2$ donatı sayılı orta sıkı kumda, temel plakasına uygulanan basınç ile zemin içinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.252'de görülmektedir. $z/B=0,35$ eğrisinin eğimi $q=120$ kPa uygulanan basınç seviyelerinde değişmiştir. Donatılar arasında ve hemen alt seviyesindeki derinliklerde ($z/B=0,55$ ve $0,75$) $\Delta\sigma$ diğer noktalardan çok daha küçük olduğu gözlenmiştir. $z/B=1,65$ derinliğinden itibaren ölçülen ilave düşey gerilmeler uygulanan basınçla artmış ve $q=250$ kPa'dan sonra daha düşük miktarda değerler artmıştır.



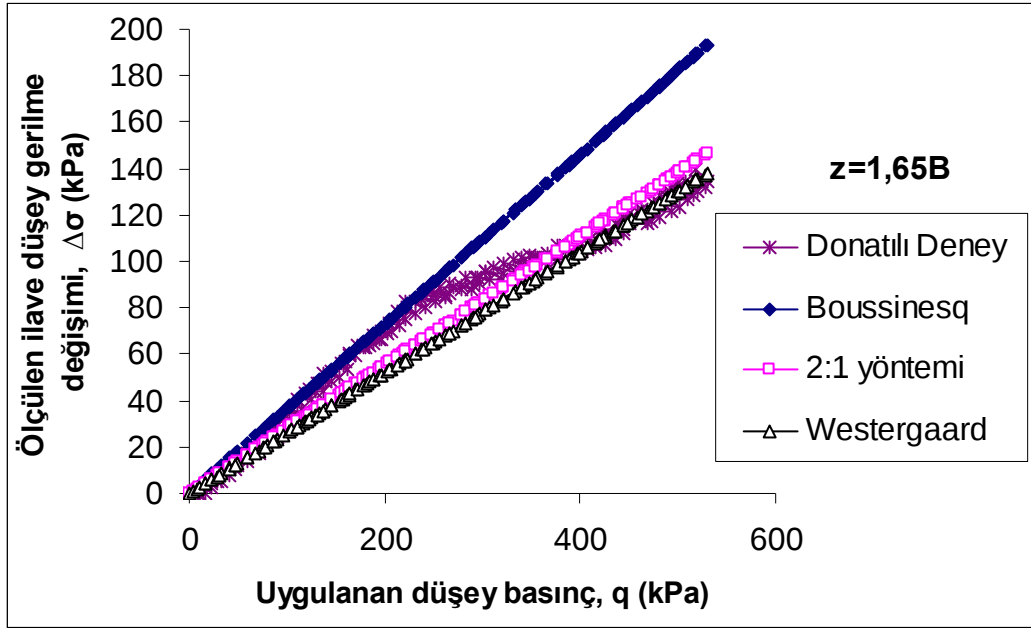
Şekil 4.247. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



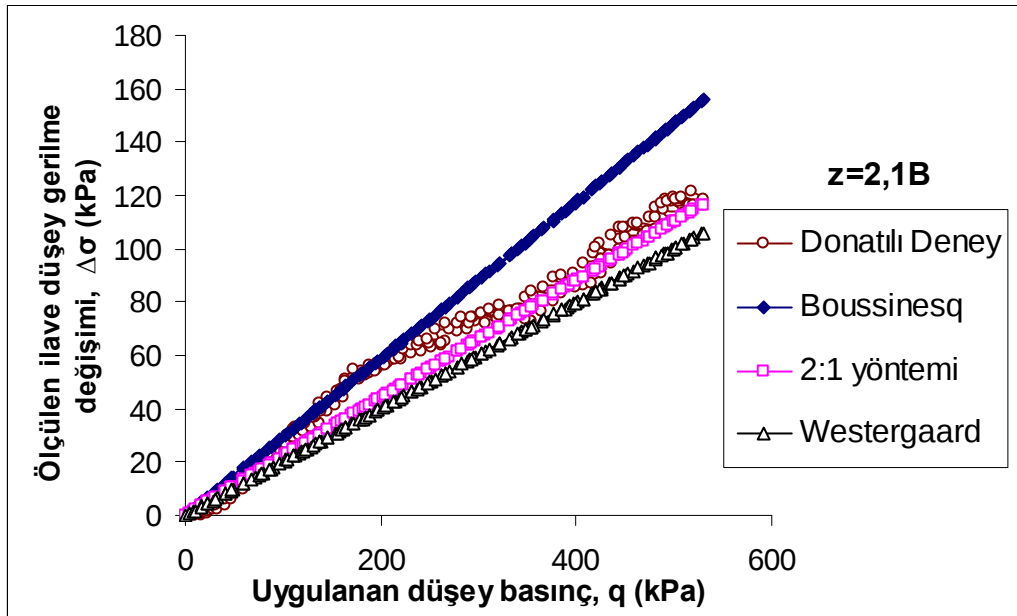
Şekil 4.248. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



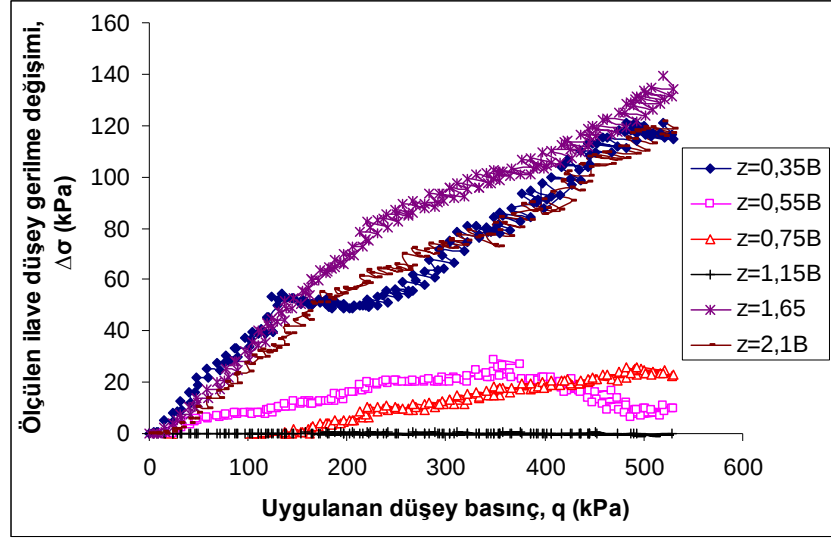
Şekil 4.249. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



Şekil 4.250. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



Şekil 4.251. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)



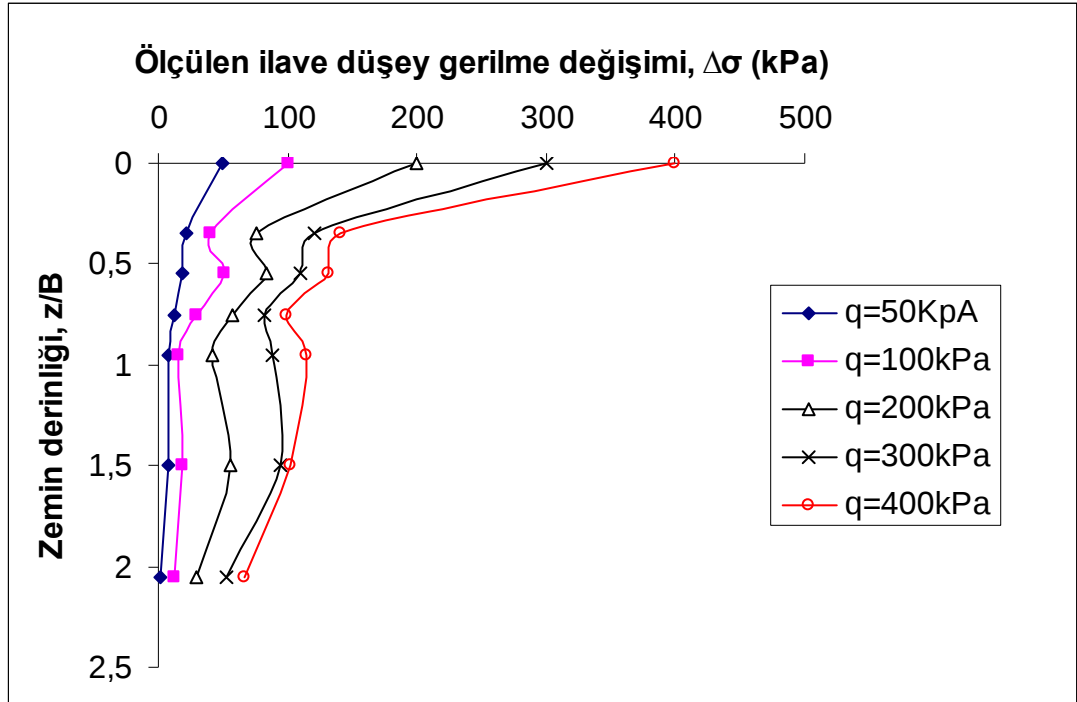
Şekil 4.252. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=2$)

▪ **Dört donatılı deney;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300$ ve 400 kPa yüklerde $h/B=0,2$ aralıklı $N=4$ donatılı deney zemini içerisinde, temel merkezi altında, farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.253'te gösterilmiştir. Derinlik arttıkça ölçülen ilave düşey gerilme değerleri de azalmıştır. $1,5B$ derinliğinde $\Delta\sigma$ 'de ani artış meydana gelmiştir.

Şekil 4.254'de $h/B=0,2$ aralıklı $N=4$ donatı deneyde meydana gelen oturmalar görülmektedir. $z/B=1,5$ derinliği altındaki oturmaların yaklaşık üçgen şeklinde olduğu görülmüştür. Bu durum, kayma kamasının bu bölgede oluşmaya başladığını düşündürmüştür. $q=200, 300$ ve 400 kPa'da $1,5B$ derinliğinde $\Delta\sigma$ 'nin artması; zemin göçmeye yaklaştığını gösterdiği tahmin edilmiştir.

Şekil 4.255-Şekil 4.260'da temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda $h/B=0,2$ düşey aralıklı $N=4$ donatılı zemin içine oluşan $\Delta\sigma$ sonuçları gösterilmiştir. Düşey yönde temel merkezi altındaki derinliklerde oluşan gerilmeler Boussinesq, Westergaard ve 2:1 yöntemi ile aynı temel yükünde hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.253. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



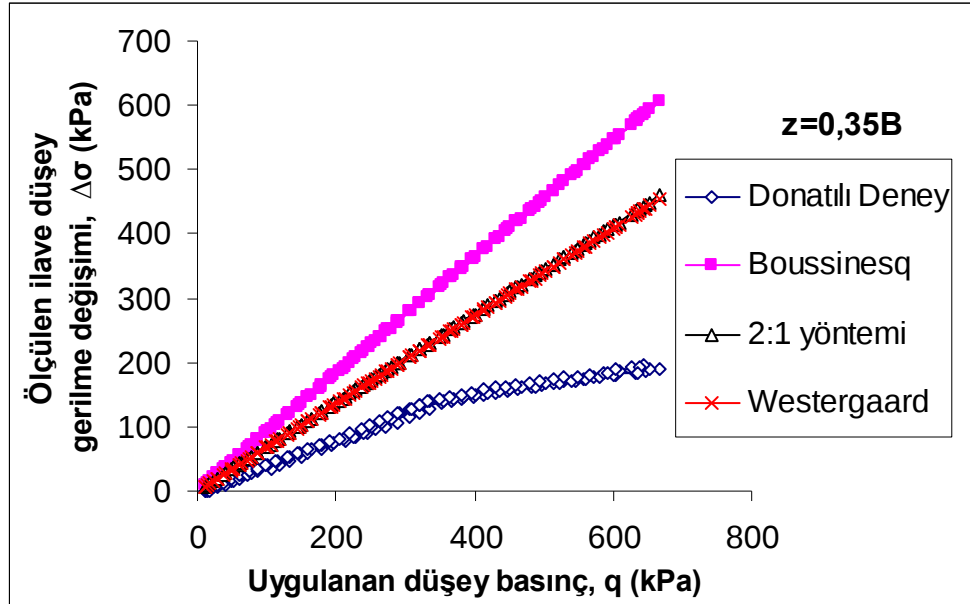
Şekil 4.254. Dört donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)

Küçük yüklerde, $z=0,35B$ derinliğinde ilave düşey gerilmeler literatür değerlerinden daha küçüktür. Yaklaşık $q=350$ kPa'da $\Delta\sigma$ 'nın derinlikle değişimini gösteren eğrinin

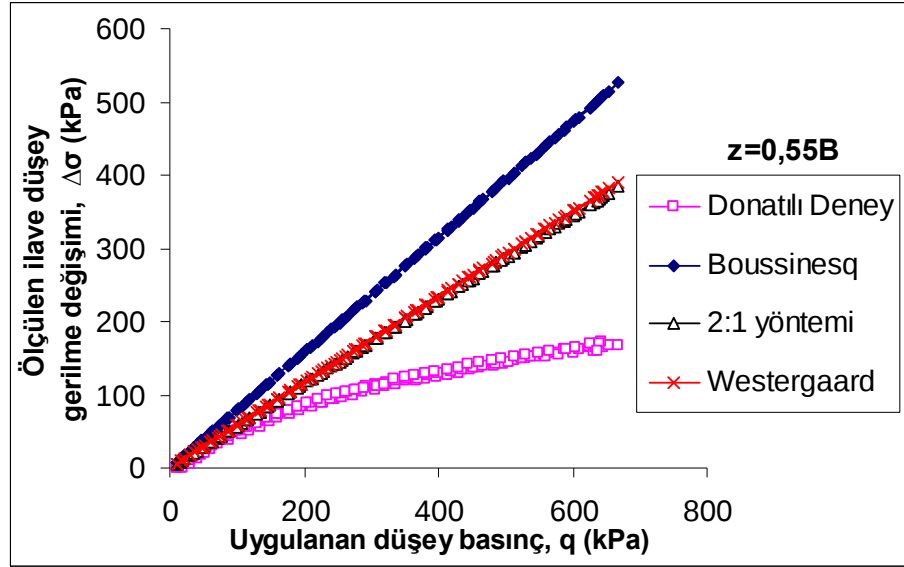
eğimi azalmıştır. Temele uygulanan yük arttıķa daha küçük ilave düşey gerilmeler okunmuştur. $\Delta\sigma$, Westergaard çözümlerinin yaklaşık yarısı kadardır.

$z/B=0,55$ 'de küçük yüklemelerde, Westergaard hesaplarına yakın lmler alınmıştır. Yaklaşık $q=200$ kPa basınç uygulandıktan sonra $\Delta\sigma$ 'de azalma meydana gelmiştir. Değerler, Westergaard çözümlerinin yaklaşık yarısına kadar inmiştir. $z/B=0,75$ derinliğinde; okunan gerilmeler literatürden daha küçüktür. $z/B=1,15$ 'de $q=250$ 'ye yaklaşınca gerilme artışı olmuş, $q=350$ kPa'da Westergaard çözümüyle yaklaşık aynı $\Delta\sigma$ görülmüştür. Uygulanan basınç arttıķa ilave düşey gerilmeler literatür değerlerinden daha küçük çıkmıştır.

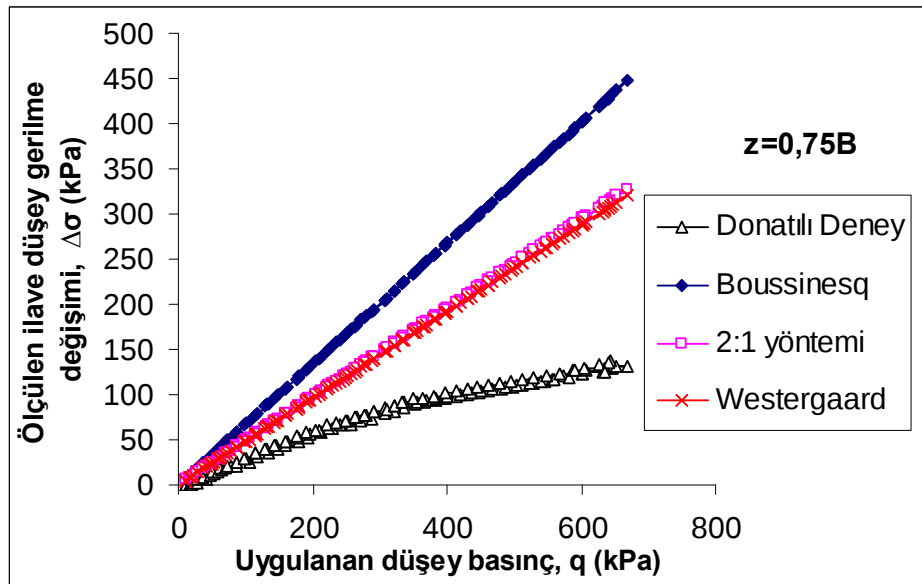
$z/B=1,65$ derinliğinde Westergaard çözümlerine yakın değerler ölçülmüştür. Yaklaşık $q=200$ kPa'da ilave düşey gerilmeler de artmış ve ortalama 250 kPa'dan sonra Boussinesq ile aynı verilere ulaşılmıştır. Temele yk uygulandıķa ölçülen ilave düşey gerilmeler de düşmüştür. Westergaard ile yaklaşık benzer sonuçlar alınmıştır.



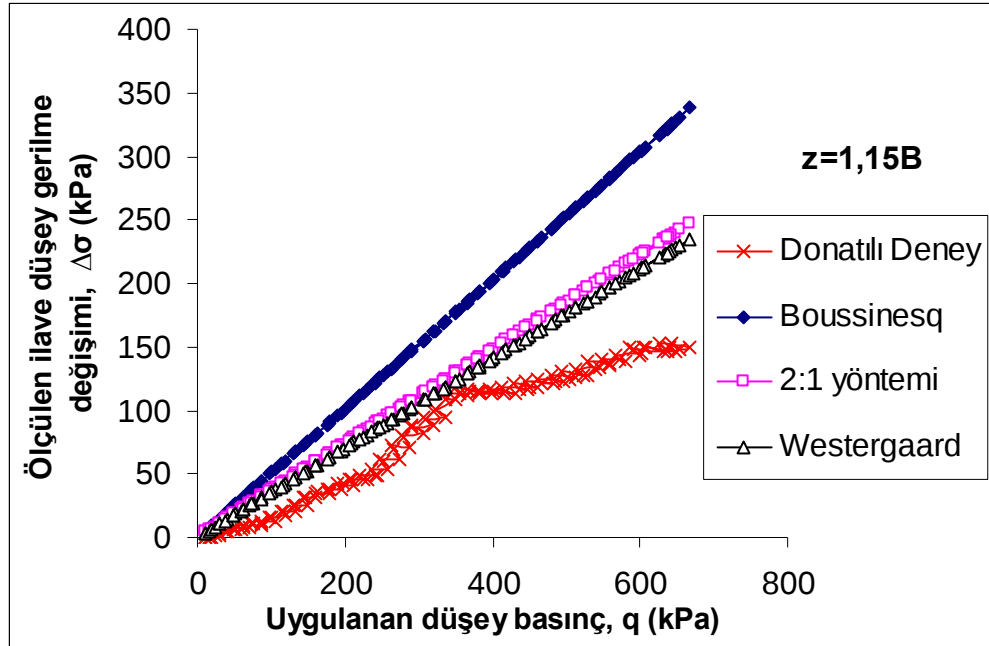
şekil 4.255. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonularla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



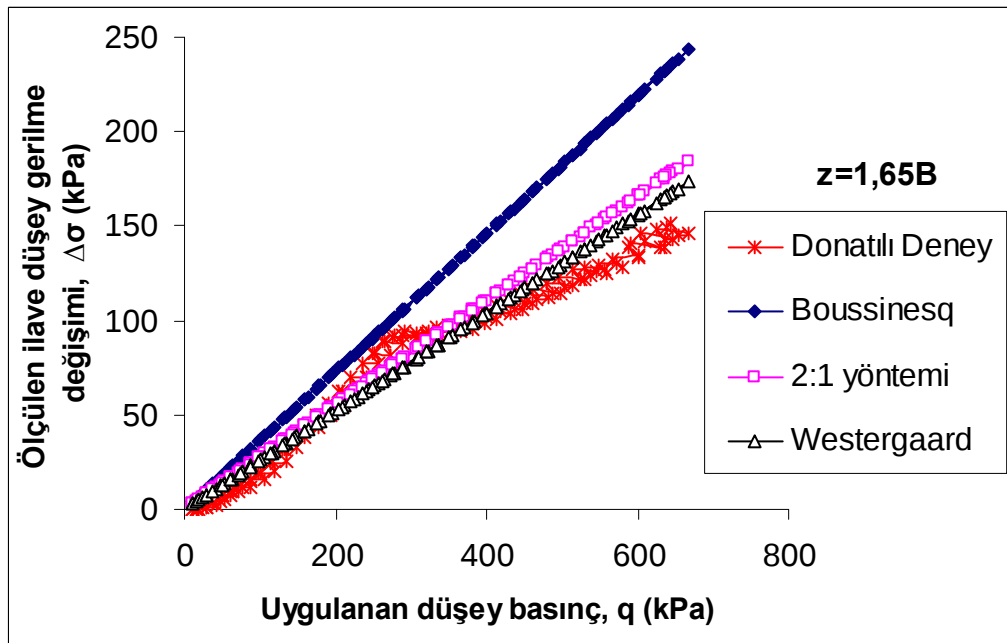
Şekil 4.256. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



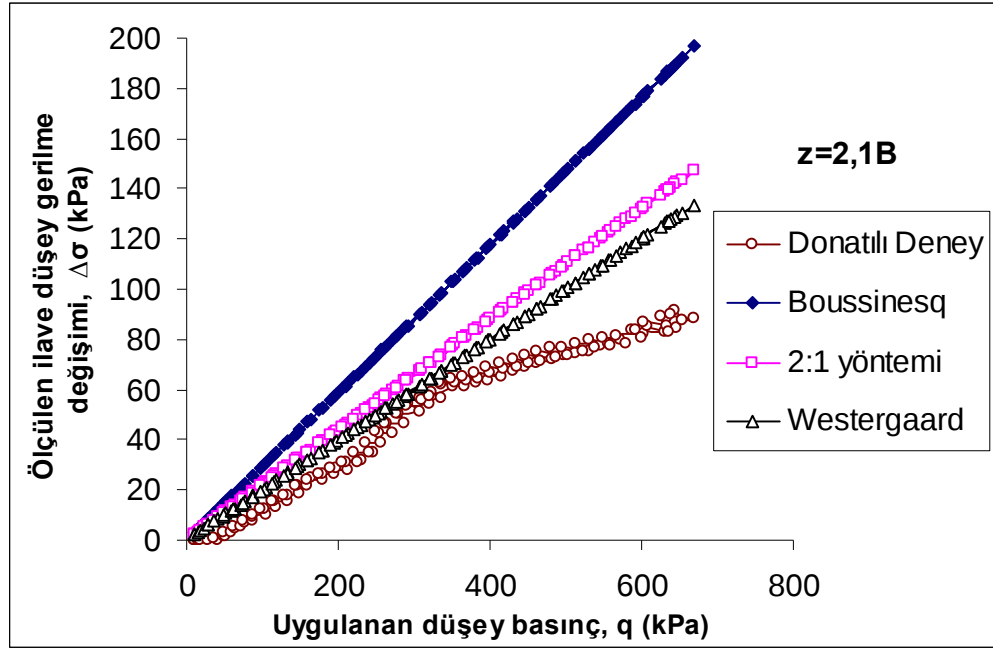
Şekil 4.257. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



Şekil 4.258. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



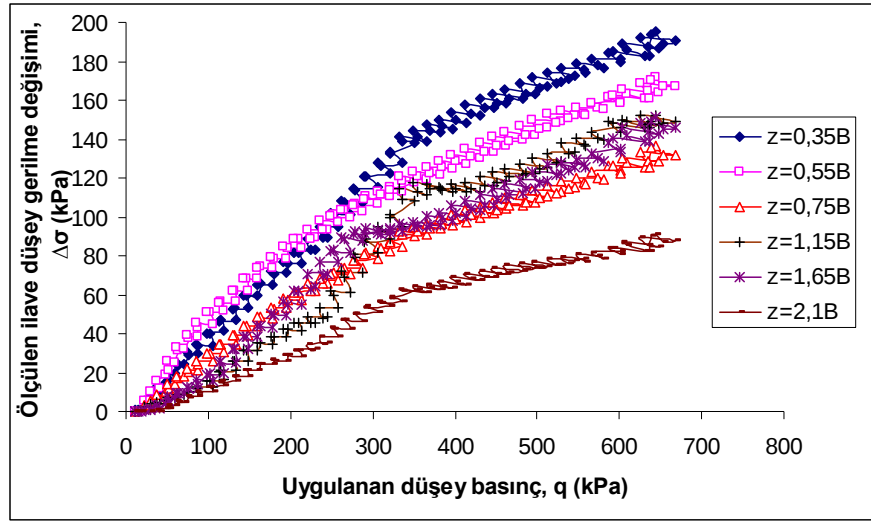
Şekil 4.259. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)



Şekil 4.260. $z=2.1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0.35$; $h/B=0.2$; $N=4$)

$z/B=2.1$ derinliğinde $\Delta\sigma$, Westergaard değerlerine yakın ölçülmüştür. $q=350$ kPa'dan sonra Uygulanan düşey basınç-Ölçülen ilave düşey gerilme değişimi eğrisinin eğimi değişmiş ve literatürden daha az miktarda $\Delta\sigma$ meydana gelmiştir.

Dört donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği Şekil 4.261'de verilmiştir. $q=350$ kPa civarında tüm gerilme eğrilerinin eğimi azalmış ve $\Delta\sigma$ değerleri yüke göre daha az oluşmuştur. Donatılı bölge altındaki $z/B=1.65$ derinliğinde ölçülen ilave düşey gerilmeler, donatılar arasındaki $z/B=1.15$ ve 0.75 noktalarındaki $\Delta\sigma$ değerlerinden daha büyüktür. $z/B=2.1$ derinliğinde ise en düşük ilave düşey gerilme okumaları alınmıştır.



Şekil 4.261. Dört donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=4$)

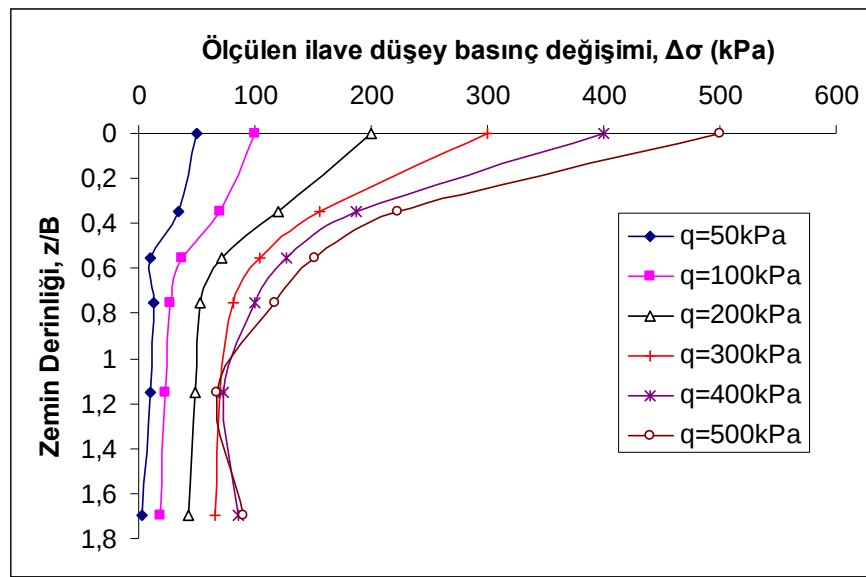
▪ Beş donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa basınç değerlerinde $h/B=0,2$ aralıklı $N=5$ donatılı deney zemini içerisinde, farklı derinliklere ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.262’de gösterilmiştir. $q=300$ kPa’dan itibaren yapılan yüklemelerde, farklı temel basınçlarında oluşan ilave düşey gerilme miktarları arasındaki fark azaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.263’de deneyde donatılı kumun oturma profili verilmiştir. Zemin, az donatılı sistemlere göre daha üniform bir oturma yapmıştır. Oturmanın yüzeylerinin derinliğinin arttığı bölgelerde, $\Delta\sigma$ değerleri oluşmuştur.

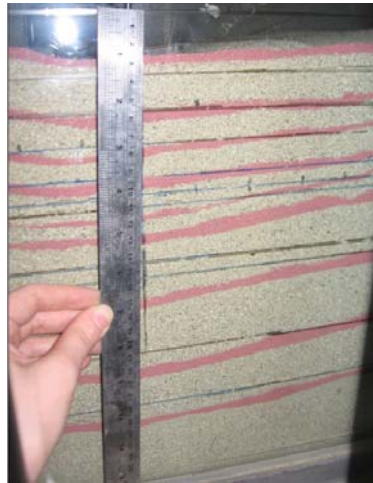
Şekil 4.264-Şekil 4.268’de ölçülen ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$ derinliğinde $\Delta\sigma$, Westergaard çözümleriyle yaklaşık aynı değerdedir. $q=200$ kPa basınç uygulandıktan sonra $q-\Delta\sigma$ eğrisinin eğimi değişmiş, uygulanan basınca göre daha az ilave düşey gerilmeler gözlenmiştir.

Donatılı bölgedeki $z/B=0,55, 0,75$ ve $1,15$ noktalarında (donatı seviyeleri) $\Delta\sigma$ değerleri azalmış ve literatürden daha küçük olduğu fark edilmiştir. $z/B=1,15$ derinliğinde $q=400$

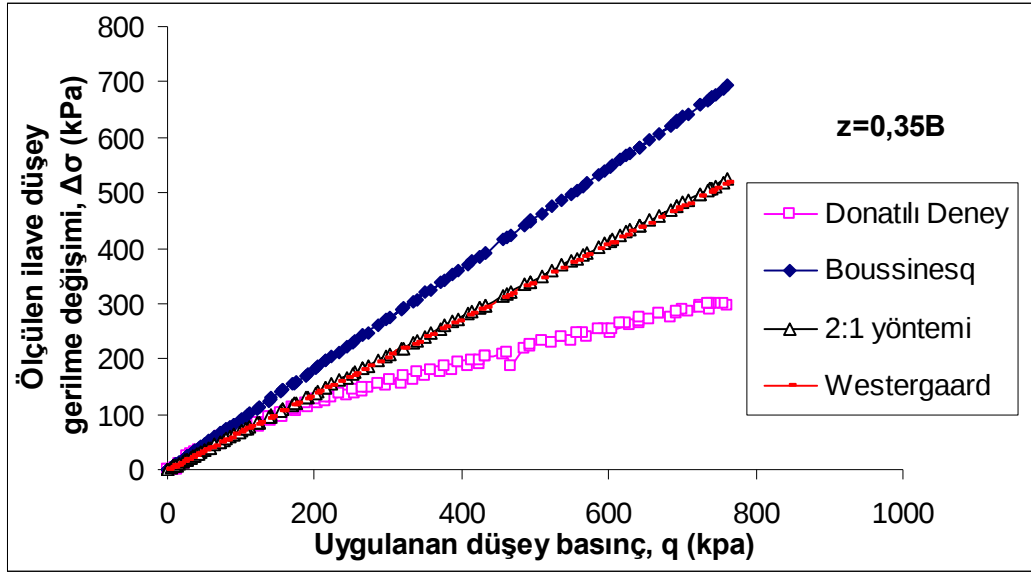
kPa yüklemeden sonra, $\Delta\sigma$ uygulanan basınç artsa da yaklaşık sabit kalmıştır. Donatılı bölge altında bulunan $1,75B$ derinliğinde ise Westergaard ile benzer sonuçlar okunmaya başlanmıştır. $q=400$ kPa basınç uygulandıktan sonra okunan $\Delta\sigma$ 'ler düşmüştür. İlave düşey gerilmeler ile oturma profili birlikte incelendiğinde; maksimum oturmaların $z/B=1,75$ 'e doğru aktarıldığı ve okunan gerilmelerle oturma profilinin uyumlu olduğu gözlenmiştir.



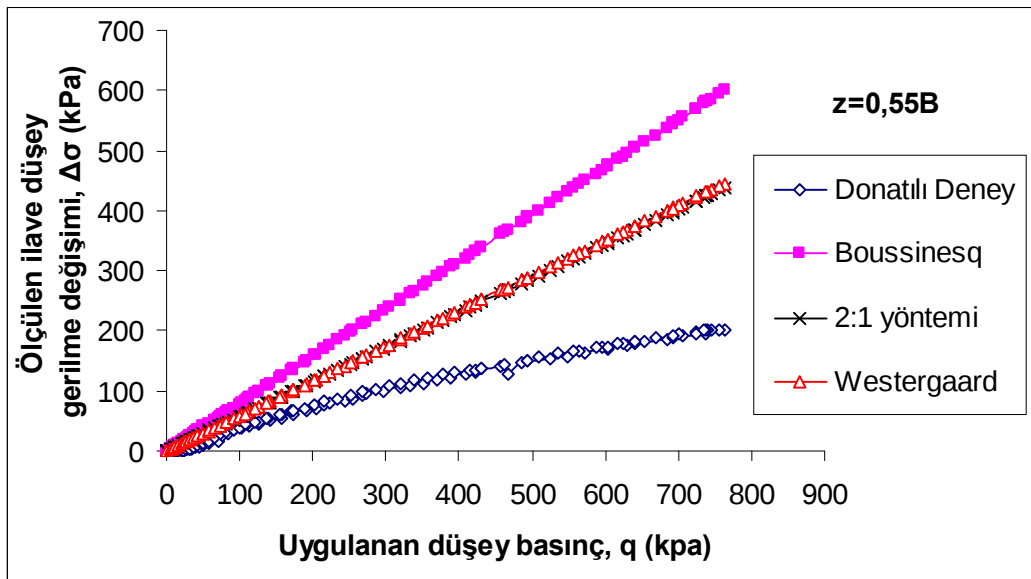
Şekil 4.262. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)



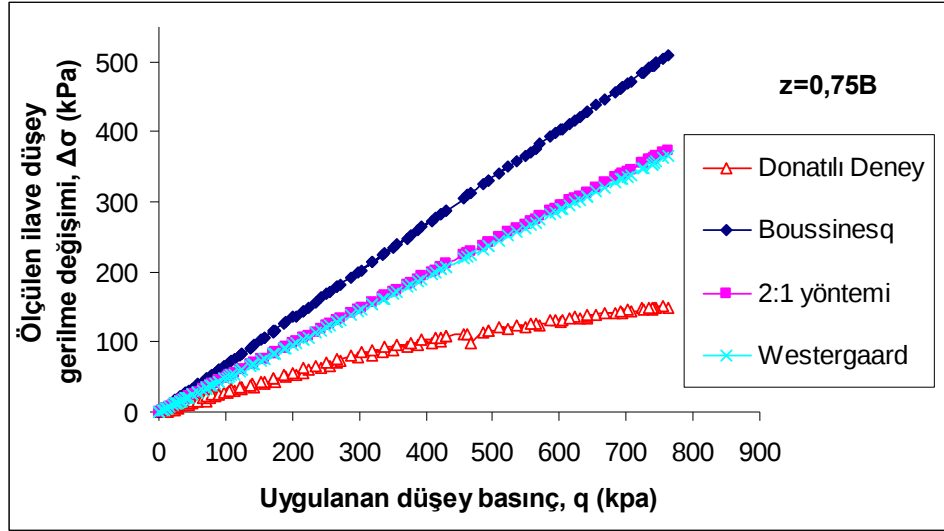
Şekil 4.263. Beş donatılı sistemde temel yüklemesi sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)



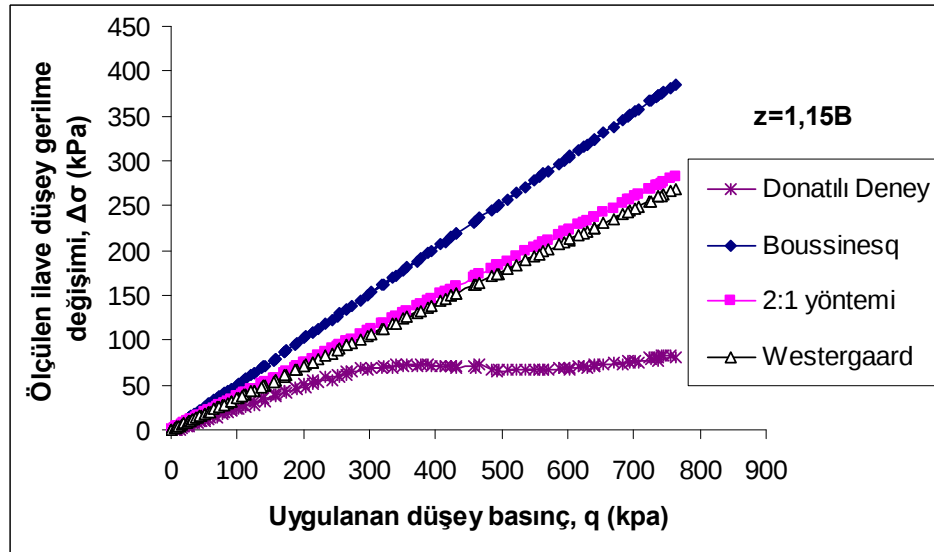
Şekil 4.264. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)



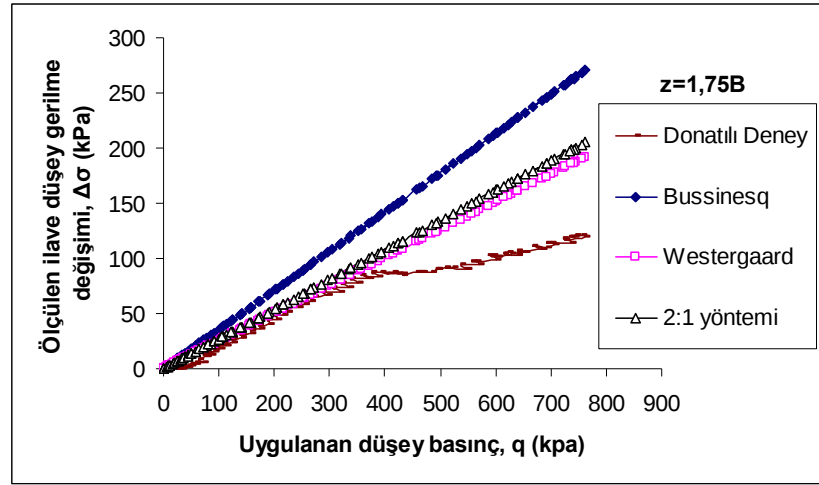
Şekil 4.265. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)



Şekil 4.266. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)

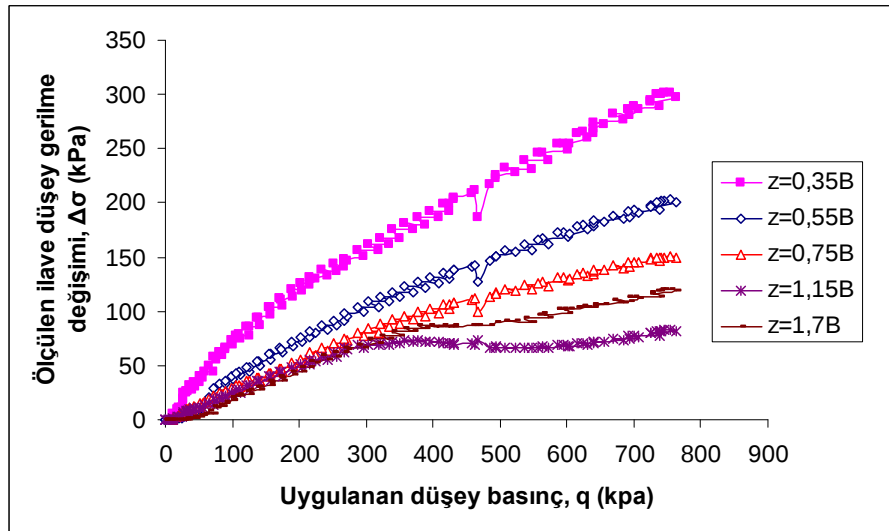


Şekil 4.267. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=5$)



Şekil 4.268. $z=1,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması (L/B=3; u/B=0,35; h/B=0,2; N=5)

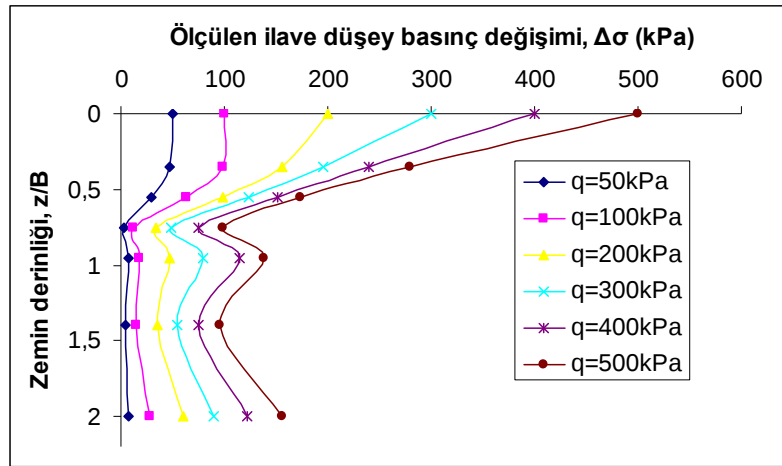
Şekil 4.269'da zemin içerisine temel merkezi altında farklı düşey derinliklere ölçülen ilave düşey gerilmeler verilmiştir. Derinlik arttıkça ölçülen ilave düşey gerilmelerinde azaldığı görülmüştür. Yaklaşık $q=300$ kPa yüklemekten sonra ilave gerilme değerleri uygulanan yüke göre fazla küçülmüştür. $z/B=1,15$ derinliğindeki $\Delta\sigma$ yaklaşık ortalama $q=400$ kPa'dan sonra sabitleme eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.269. Beş donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği (L/B=3; u/B=0,35; h/B=0,2; N=5)

▪ **Altı donatılı deney;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa düşey basınç değerlerinde $N=6$ donatılı deney zemini içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.270’de gösterilmiştir. Şekil 4.271’de ise deneyde donatılı orta sıkı zeminin yaptığı oturma profili verilmiştir. Donatılı bölgede temel yükü yanlara aktarılmış ve zemin içerisindeki gerilmeler değişmiş ve $\Delta\sigma$ azalmıştır. Temel plakasına yakın bölgedeki oturma miktarı ile yaklaşık benzer miktarda oluşmuştur. Düşey oturma miktarının benzeştiği derinliklerde oluşan ilave düşey gerilme değerleri de yaklaşık aynı miktardadır.



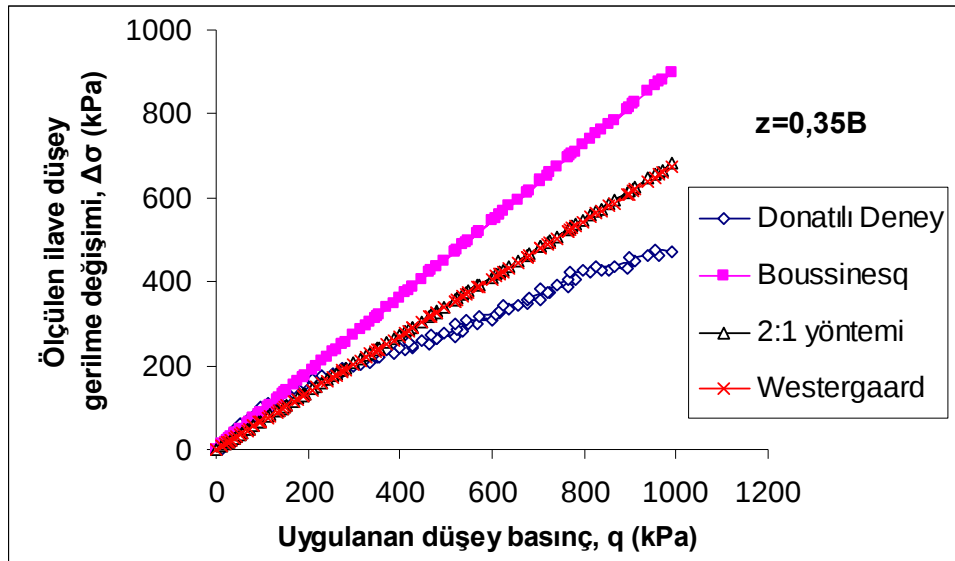
Şekil 4.270. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)



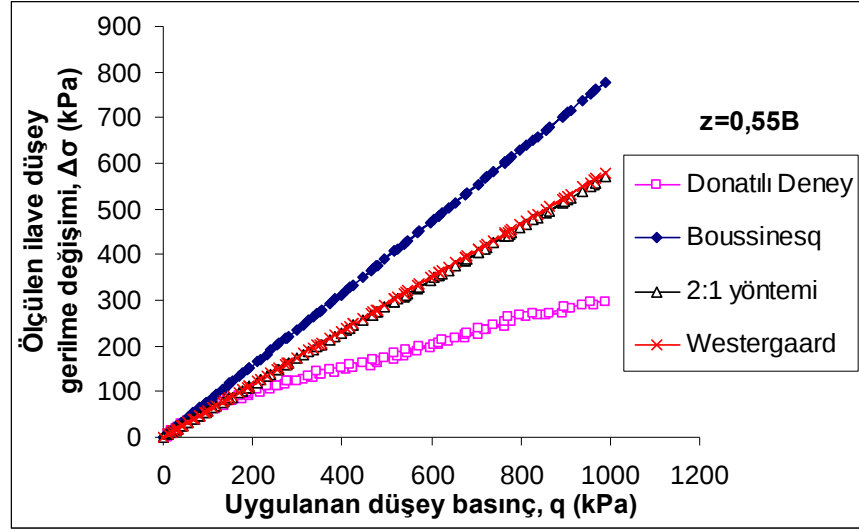
Şekil 4.271. Altı donatılı sistemde temel yükleme sonucu oluşan oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)

Şekil 4.272-Şekil 4.277’de donatılı orta sıkı zeminin farklı derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilmeler verilmiştir. Dördüncü donatı üzerinde okunan yük değeri artmış, fakat donatı ile karşılaşınca azalarak devam etmiştir. $z/B=0,35$ ’de Westergaard hesaplarıyla benzer değerler okunmuştur. $q>400$ kPa’da $q-\Delta\sigma$ eğrisinin eğimi azalmış, okunan gerilmeler literatür hesaplarında uzaklaşmıştır.

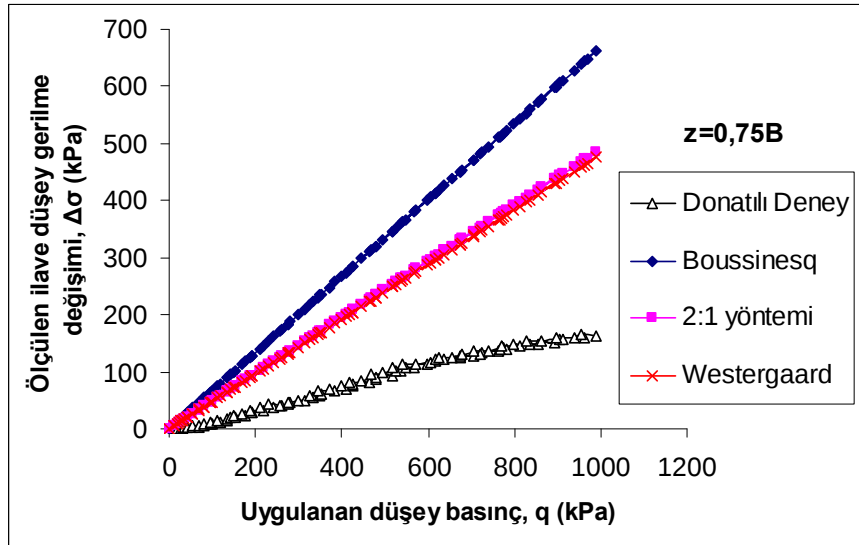
$z/B=0,55$ ’de $q=200$ kPa yük değerine kadar Westergaard ile aynı ölçümler okunmuştur. Yaklaşık $q=200$ kPa’dan itibaren $\Delta\sigma$ ’ler azalmıştır. $z/B=0,75$ ’de (üçüncü donatı tabaka seviyesi) gerilme değerleri azalmıştır. Westergaard ile hesaplanan verilerin yaklaşık yarısından daha azdır. Dördüncü ve beşinci donatı seviyesinde ise $\Delta\sigma$ değerleri artmış ve literatürdekilere yaklaştırmaya başlamıştır. Donatılı bölge altında $\Delta\sigma$ Boussinesq ile yaklaşık aynı sonuçlar alınmıştır.



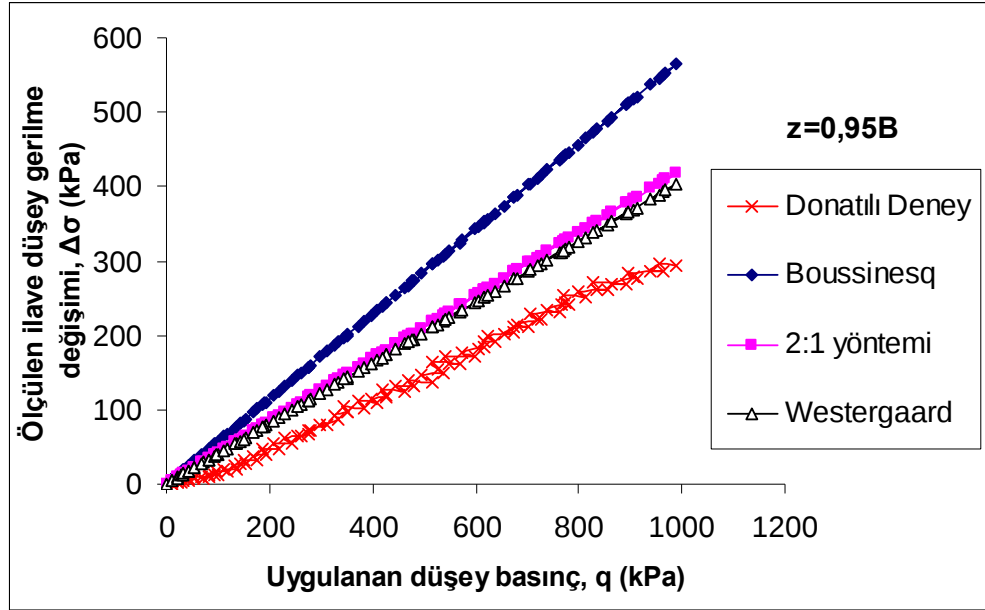
Şekil 4.272. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)



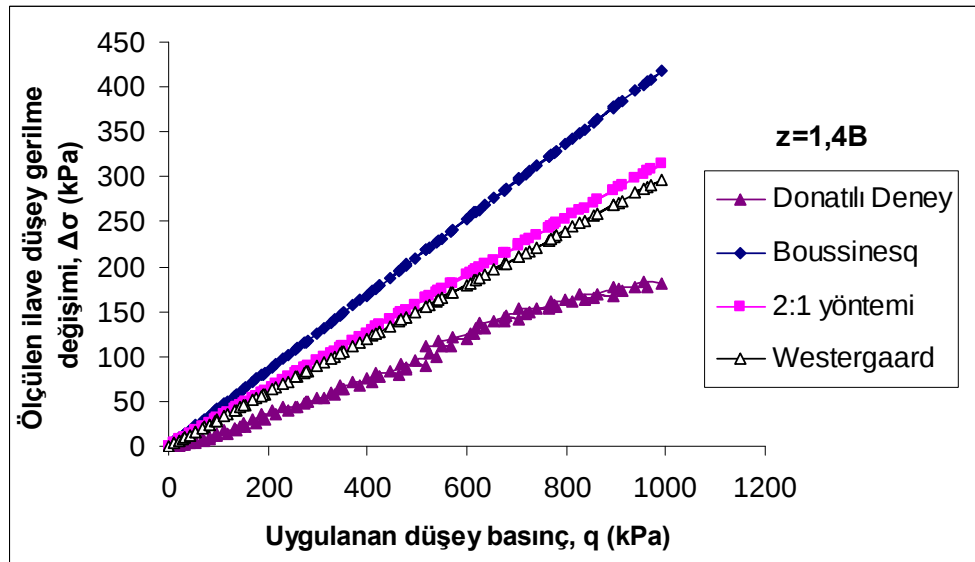
Şekil 4.273. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)



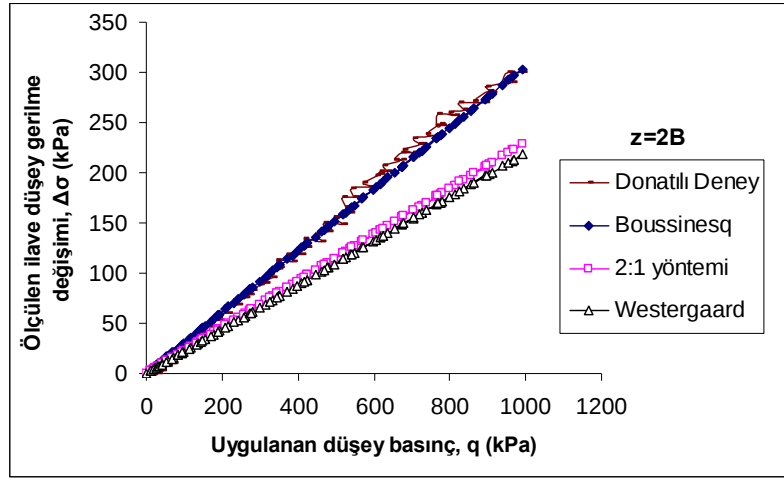
Şekil 4.274. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)



Şekil 4.275. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)

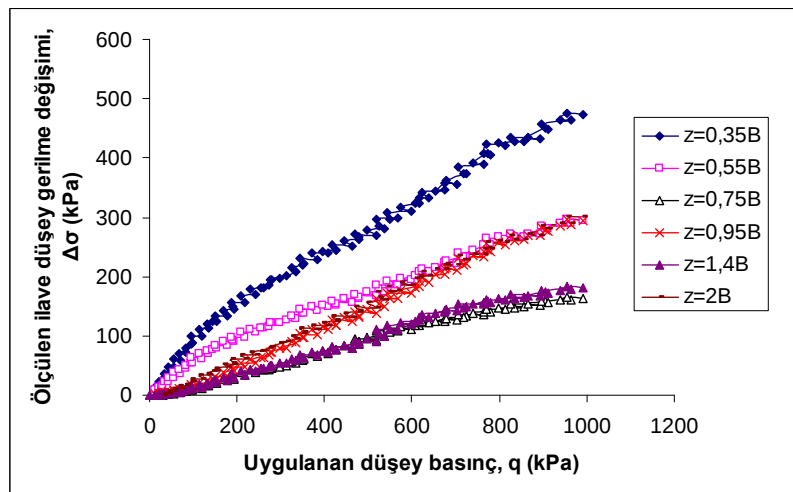


Şekil 4.276. $z=1,4B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)



Şekil 4.277. $z=2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)

Şekil 4.278’de $N=6$ donatı levhasına sahip orta sıkı kum üzerindeki şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ilişkisi verilmiştir. Donatılı bölgede geosentetik etkisiyle ilave düşey gerilme değerleri derinlikle azalmıştır. Fakat donatılı bölgenin altında bulunan geosentetiksiz derinlikte alınan veriler, daha üst noktalarındaki gerilme miktarlarıyla benzerlik göstermiştir. $z=0,95B$ ile $2B$ düşey noktalarındaki $\Delta\sigma$ yaklaşık aynı çıkmıştır. $z=0,75B$ ile $1,4B$ derinliklerindeki $\Delta\sigma$ eğrileri de birbiri ile benzerdir.



Şekil 4.278. Altı donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $N=6$)

Donatı aralığı değiştirilerek yapılan incelemelerde aşağıdaki detaylar göze çarpmıştır;

$h/B=0,4$ aralıklı $N=3$ donatı sayılı deney ile $h/B=0,2$ aralıklı $N=5$ geotekstil sayılı test sonuçlarındaki ilave düşey gerilme davranışları birbirleri ile benzerlik göstermiştir. Her iki sistemde, son donatı tabakası $z/B=1,15$ derinliğindedir. Okunan ilave düşey gerilmeler; miktar olarak değişse de farklı düşey noktalardaki azalış ve artış davranışları benzerdir.

$h/B=0,4$ aralıklı $N=4$ donatı sayılı deney ile $h/B=0,2$ aralıklı $N=6$ geotekstil sayılı test sonuçlarındaki ilave düşey gerilme davranışları birbirleri ile benzerlik göstermiştir. Her iki sisteminde son donatı tabakaları temel genişliğinin 1,5 katına yakın derinliklerdedir. Okunan ilave düşey gerilmeler; yine miktar olarak değişse de farklı düşey noktalardaki azalış ve artış davranışları benzeşmiştir.

Buradan yola çıkarak donatılı zon derinlik miktarının aynı olduğu sistemlerin gerilme davranışlarının da benzeyebileceği düşünülmüştür. $1,5B-2B$ derinliği ilave düşey gerilme dağılımında önemli bir mesafedir. Çoğu deneyde bu derinlikte ani gerilme artışı oluşmuştur. Ortalama taban basıncı ile oturma ilişkisini temsil eden eğrilerin eğim karakterinin benzediği testlerde, ilave düşey gerilmelerin değişiminin birbiri ile yakın karakterde olduğu gözlenmiştir.

Donatılı deneylerde temel plakasına uygulanan yük donatılı bölge altına atılmaya çalışılmıştır. Donatı sayısı arttıkça donatılı bölgede oluşan ilave düşey gerilmeler azalmış, daha derinlerde oluşan $\Delta\sigma$ artmıştır.

Donatılar arası düşey mesafenin $h/B=0,2$ olduğu deneylerde; donatılı bölgede oluşan düşey gerilmeler diğer testlere nispeten daha çok azalma eğilimi göstermiştir. Donatılı bölge blok halinde çalışmıştır. $\Delta\sigma$, donatılı zon altında ani artış göstermiştir. $h/B=0,6$ donatı aralıklı modelde ise donatılı alan daha geniş olduğu için $\Delta\sigma$ miktarı derinlikle daha lineer karakterde azalma eğilimi yapmıştır. Donatılı zon altına aktarılmaya çalışan

yük aniden oluşmamış ve zeminin daha fazla mukavemet kazanarak kırılmış olabileceği tahmin edilmiştir.

Küçük yüklerde ölçülen ilave düşey gerilmeler uygulanan yüke daha yakın iken, büyük yüklerde aradaki fark daha fazla artmıştır.

C. Farklı donatı derinlikleri için ilave düşey gerilme değişimleri:

Bu bölümde, geotekstil donatı kullanılarak donatı derinliğinin değiştirilmesi ile yapılan testlerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Zeminde farklı düşey derinliklerde ölçülen ilave gerilmeler, 2:1 yöntemi, Boussinesq ve Westergaard hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Testler, donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı düşey aralığı ($h=0,4B$) sabit tutularak üç seri halinde yapılmıştır. Serilerde; Geotekstil donatı derinliğinin üç değerinde ($u/B=0,75$; $0,55$ ve $0,175$) donatı sayıları değiştirilmiştir. Aşağıda her seride yapılan deneyler ve sonuçları açıklanmıştır.

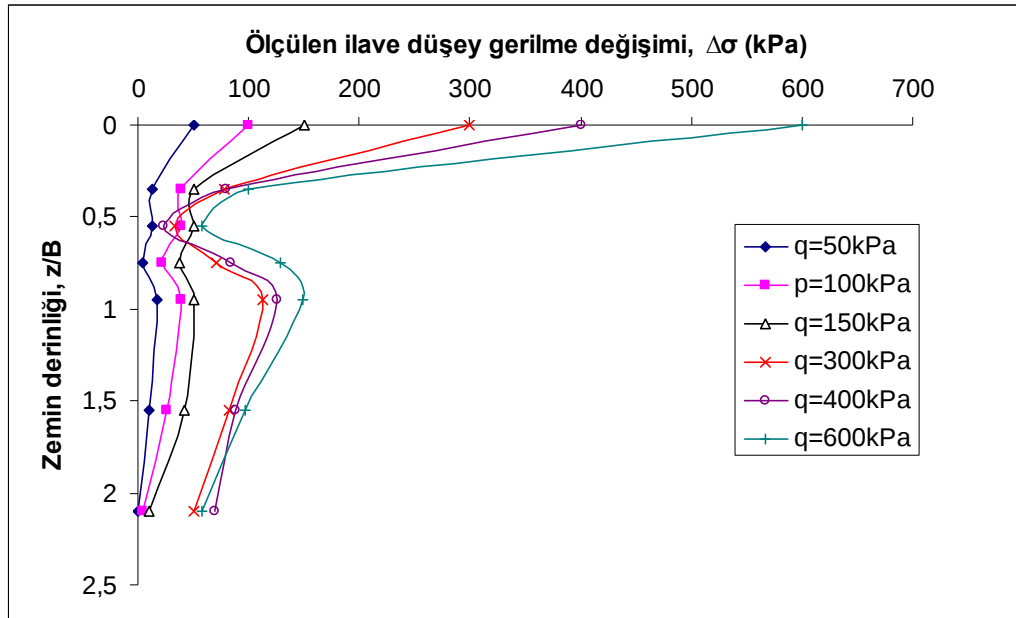
a. $u/B=0,75$ ilk donatı derinlikli sistemlerde gerilme ölçümleri;

Bu seride ilk donatı tabakası derinliği $u=0,75B$ alınarak, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmeye çalışılmıştır. Testler, donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı aralığı ($h=0,4B$) sabit tutularak donatı sayısının farklı iki değerinde ($N=2$ ve 3) yürütülmüştür. Temel genişliğinin yaklaşık 2,5 kat derinliğine kadar basınç sensörleri zemin içine temel merkezi altına yerleştirilmiştir. Her bir yükleme kademesinde zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları okunmuştur. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

▪ İki donatılı deney;

$N=2$ donatılı orta sıkı kumda ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.279'da verilmiştir. Bu deneyde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ile uyumlu gerilme değişimleri

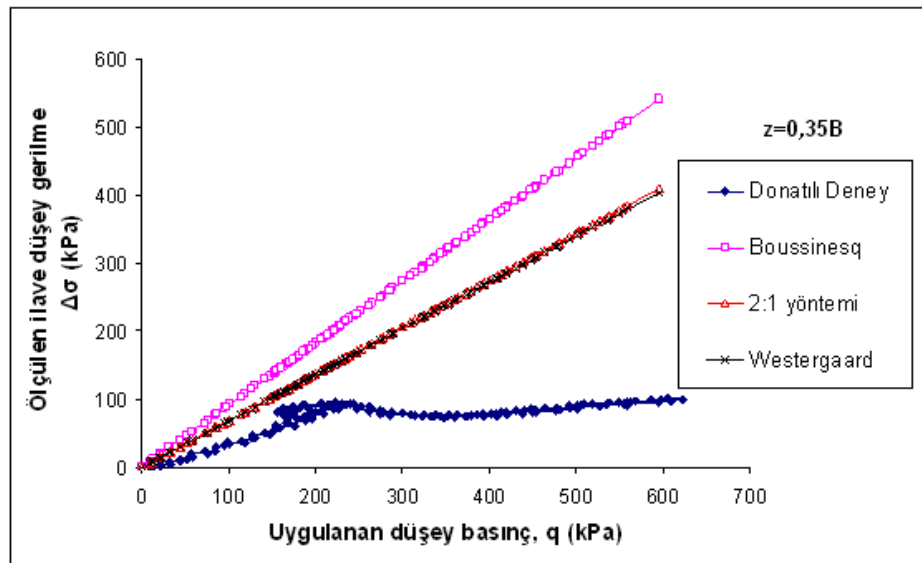
meydana gelmiştir. Zemin yaklaşık $q \approx 200$ kPa'dan itibaren oturma miktarı artarken yükte boşalma meydana gelmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde sistemde yeniden basınç artışları görülmüştür. Gerilme değişimleri incelendiğinde $q=150$ kPa'a kadar normal bir ilave düşey gerilme değişimi oluşurken, $q>200$ kPa'dan itibaren donatılı bölge üstünde gerilme artışı olmamış ve yaklaşık sabit kalmıştır. Donatı altındaki gerilme değerleri ise çok az miktarda artış göstermiştir. Bu durum; donatı tabakası üzerinde kırılmanın başladığını düşündürmüştür.



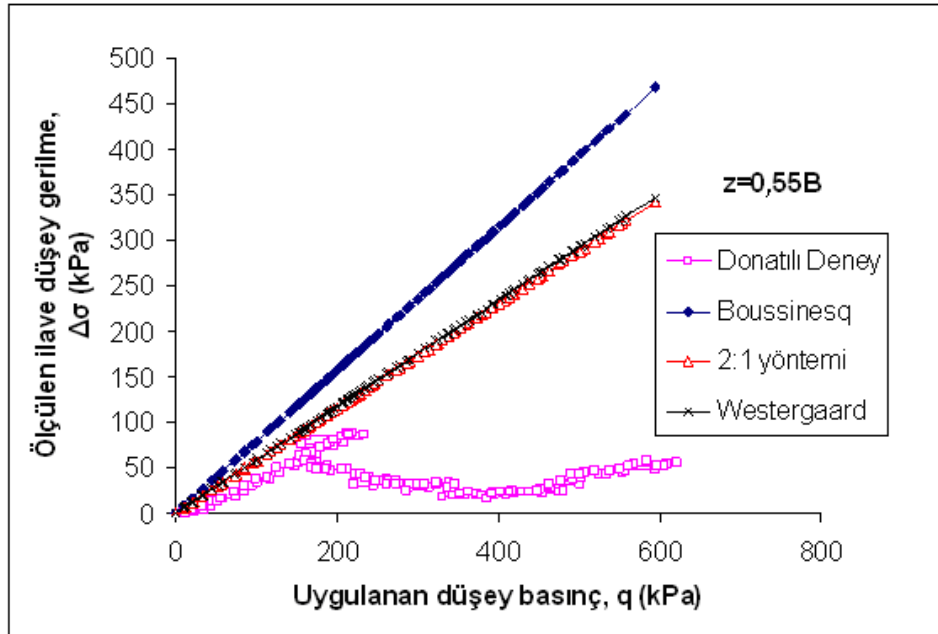
Şekil 4.279. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)

Şekil 4.280-Şekil 4.285'de, $u/B=0,75$ ilk donatı derinlikli $h/B=0,4$ donatı aralıklı $N=2$ geosentetik sayılı deney sonucunda ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$; $0,55$ ve $0,75$ derinliklerinde literatür değerlerinden bir miktar daha küçük ilave düşey gerilme değerleri okunmuştur. Yaklaşık ortalama $q=200$ kPa basınç uygulandıktan sonra okunan gerilme değerleri sabitlenmeye başlamıştır.

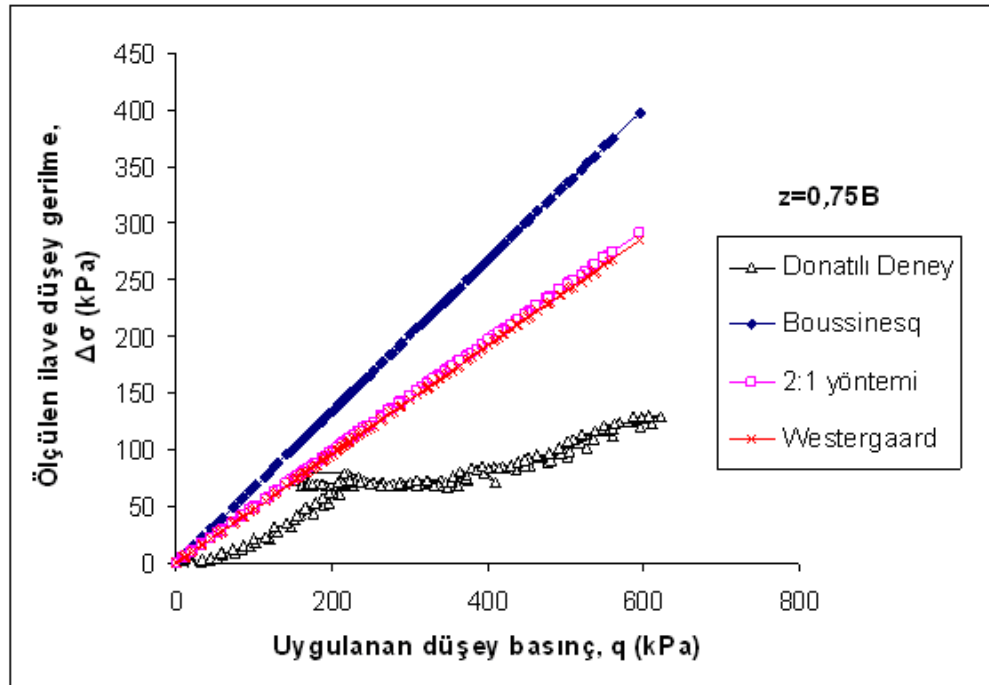
İlk donatı altında $z/B=0,95$ derinliğinde Westergaard ile aynı değerler ölçülmüştür. $q>200$ kPa'da uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilmeler azalarak sabitlenmiştir. Yaklaşık $q\approx 250$ kPa değerinde yükleme civarında literatür değerlerinden daha düşük $\Delta\sigma$ okumaları alınmıştır. İkinci donatı üzerinde $z/B=1,55$ noktasında Westergaard ile aynı $\Delta\sigma$ 'ler ölçülmüştür. $q>200$ kPa civarında bir gerilme sabit kalıp, yük azalmıştır. Yaklaşık $q=300$ kPa'dan sonra okunan gerilmeler sabitlenmeye başlamıştır. $z/B=2,1$ 'de deney başlarında gerilme değişimi olmazken, yaklaşık $q\approx 100$ kPa basınç civarında $\Delta\sigma$ değeri okunmuştur. $q=200$ kPa'da diğer noktalara nazaran daha küçük bir değişim meydana gelmiştir. Yaklaşık $q=400$ kPa'da Westergaard verilerine ulaşılmıştır. Yaklaşık $q>400$ kPa'da ölçülen ilave düşey gerilme değerleri düşüş göstermiştir.



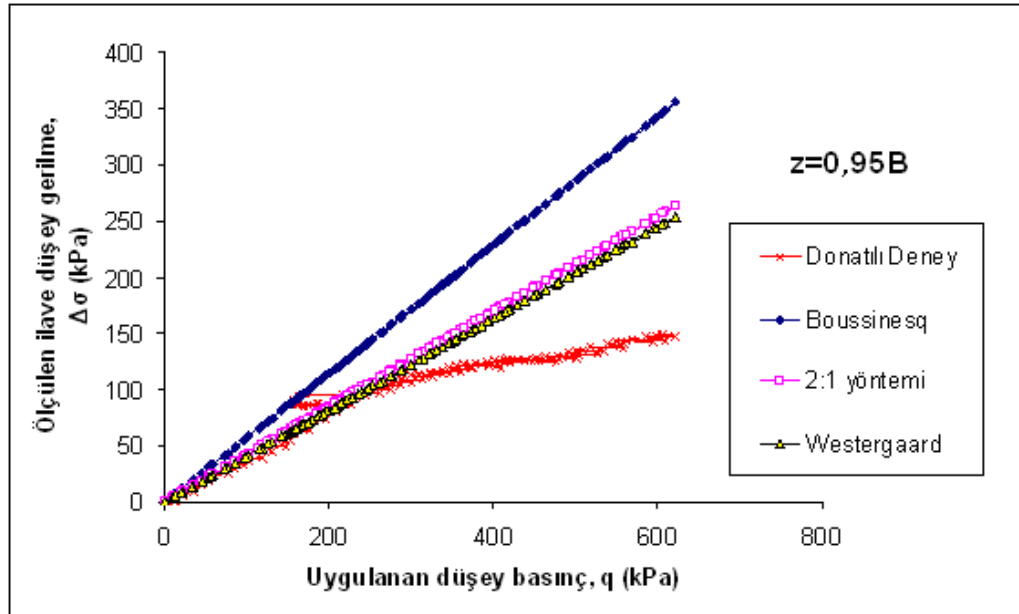
Şekil 4.280. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)



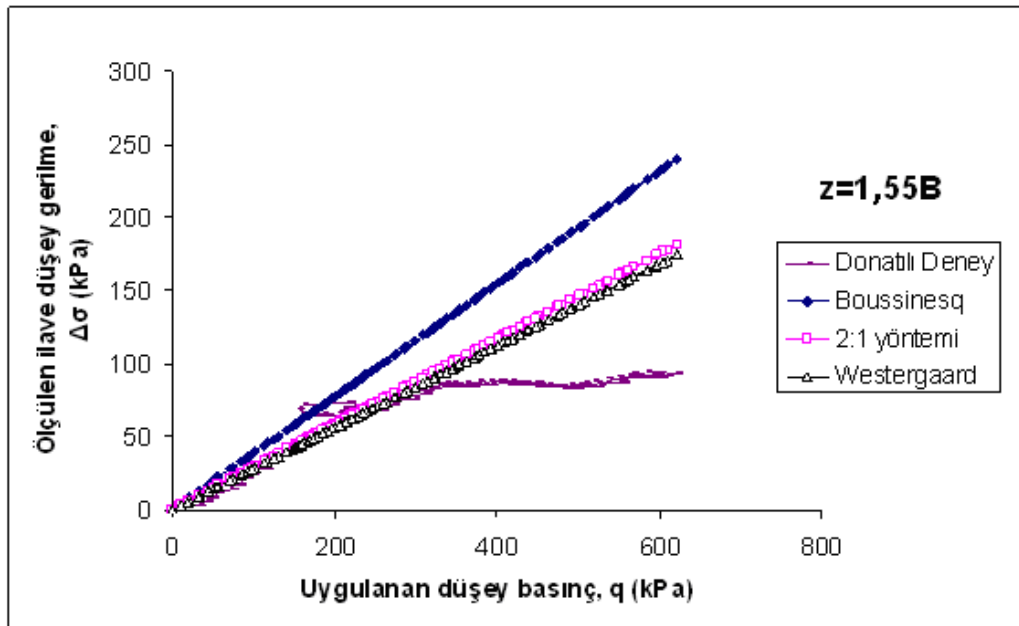
Şekil 4.281. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)



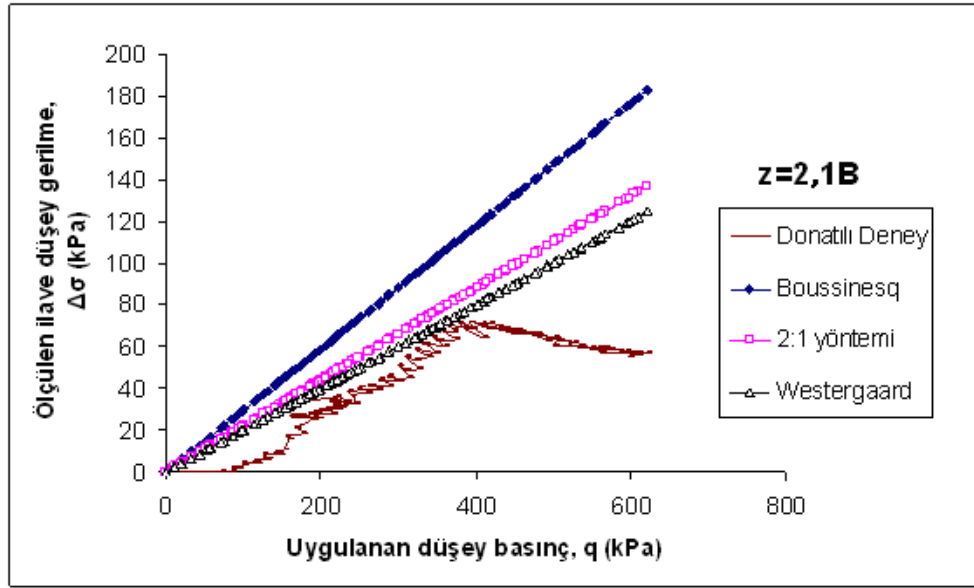
Şekil 4.282. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.283. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)

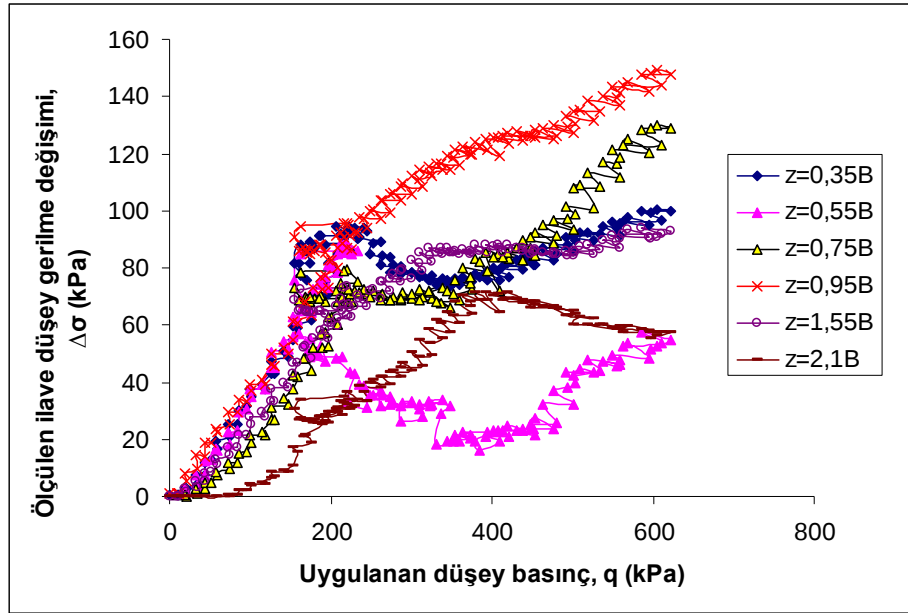


Şekil 4.284. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.285. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)

$u/B=0,75$ donatı derinliğinde $N=2$ geotekstil donatılı orta sıkı kum üzerindeki şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği Şekil 4.286'da verilmiştir. Bu deneyde ilk donatı derinliği diğer testlerdeki değerlerden daha büyük olduğu için, farklı bir gerilme davranışı gözlemlendiği tahmin edilmiştir. Yaklaşık $q \approx 200$ kPa civarında ölçülen ilave düşey gerilmeler ile uygulanan yük arasında sabitleme gözlemlenmiştir. Bu değerden sonra önceki bölümlerde sunulan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde yeniden sistem yük almaya başlamıştır. Uygulanan basınç okumalarının aniden düşmesi durumunda, donatılı bölge üzerinde gerilmeler yaklaşık sabitlemiştir. Donatı altında ise önce bir artış meydana gelmiş, sonra $\Delta\sigma$ azalmıştır. Bu durum; donatı üzerinde ani kırılmaya yaklaşıldığını, fakat alttaki donatı etkisiyle yeniden taşıma kapasitesinin arttırılabildiğini düşündürmüştür.



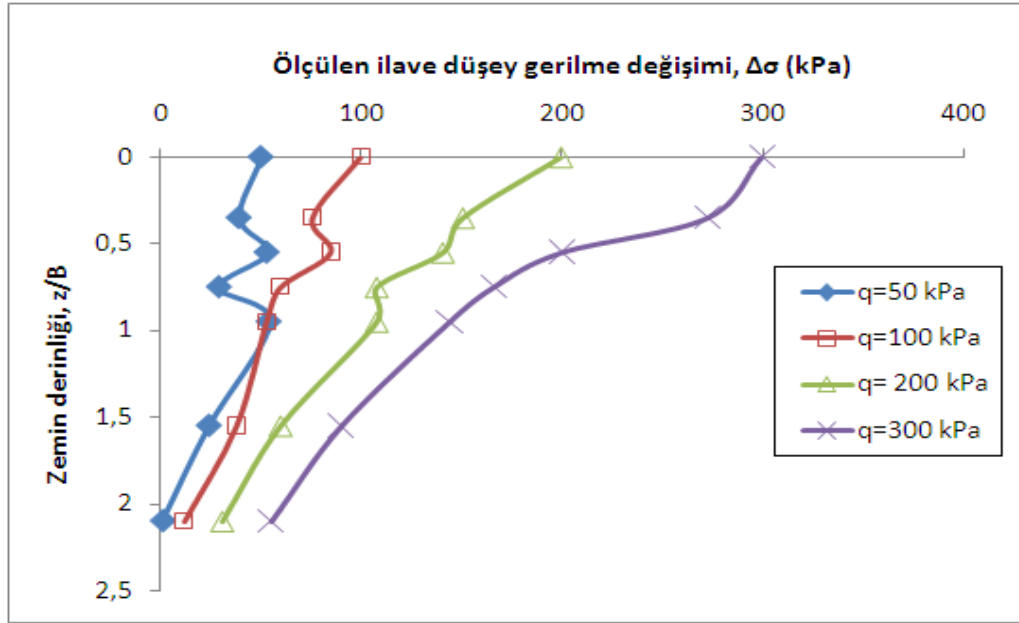
Şekil 4.286. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=2$)

▪ **Üç donatılı deney;**

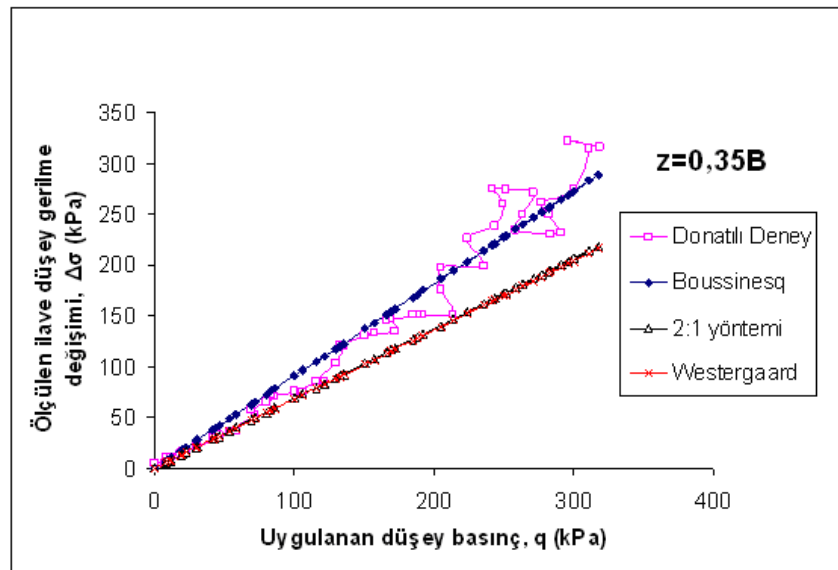
İlk donatı derinliği $u/B=0,75$ olan, $h/B=0,4$ donatı aralıklı ve $N=3$ geotekstilli deney sonuçları incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200$, ve 300 kPa düşey basınç değerlerinde zemin içerisinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.287’de gösterilmiştir. Aynı koşullarda yapılan $N=2$ donatı sayılı testteki gibi; $z/B=0,55$ derinliğinde bir miktar gerilme artışı meydana gelmiştir.

Şekil 4.288-Şekil 4.293’de ölçülen ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$; $0,55$ ve $0,75$ derinliklerinde ilave düşey gerilme değerleri Boussinesq ve Westergaard hesapları arasındadır. İki donatı arasında bulunan $z/B=0,95$ noktasında Boussinesq değerleri ile yaklaşık aynı ölçümler alınmıştır. Üçüncü donatı civarındaki $z/B=1,55$ noktasında; $z/B=0,55$ derinliğinde olduğu gibi ilk önce Boussinesq hesaplarına ve yaklaşık $q>200$ kPa’dan itibaren Westergaard sonuçlarına yakın değerler okunmuştur. $z/B=2,1$ ’de ise yaklaşık $q=300$ kPa değerinde Westergaard değerlerine yakın okumalar alınmıştır. Yaklaşık $q=300$ kPa basınç uygulandıktan sonra noktadaki ilave düşey gerilme değerlerin sabitlenmeye

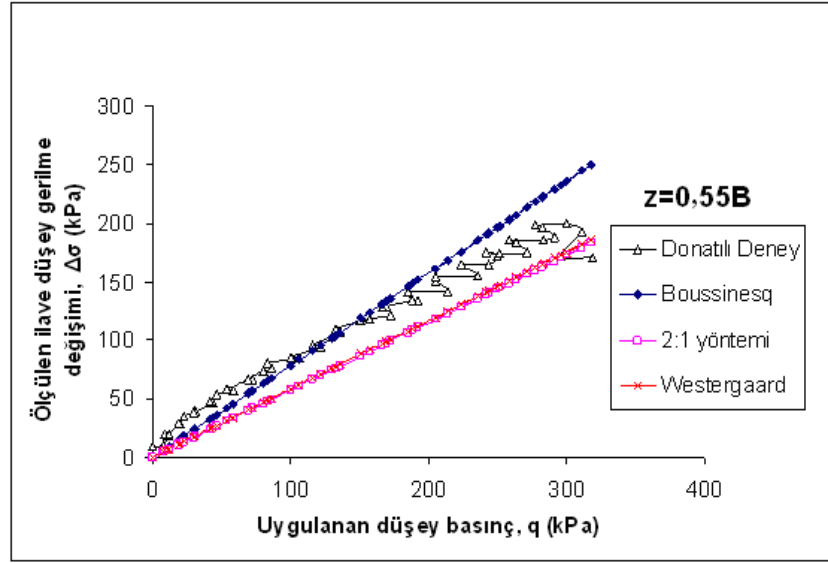
başlamıştır. Bu testte sadece $q=300$ kPa yüklemeye kadar olan $\Delta\sigma$ değerleri dikkate alınmıştır. Basınç sensörlerinden alınan ölçümler ile ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



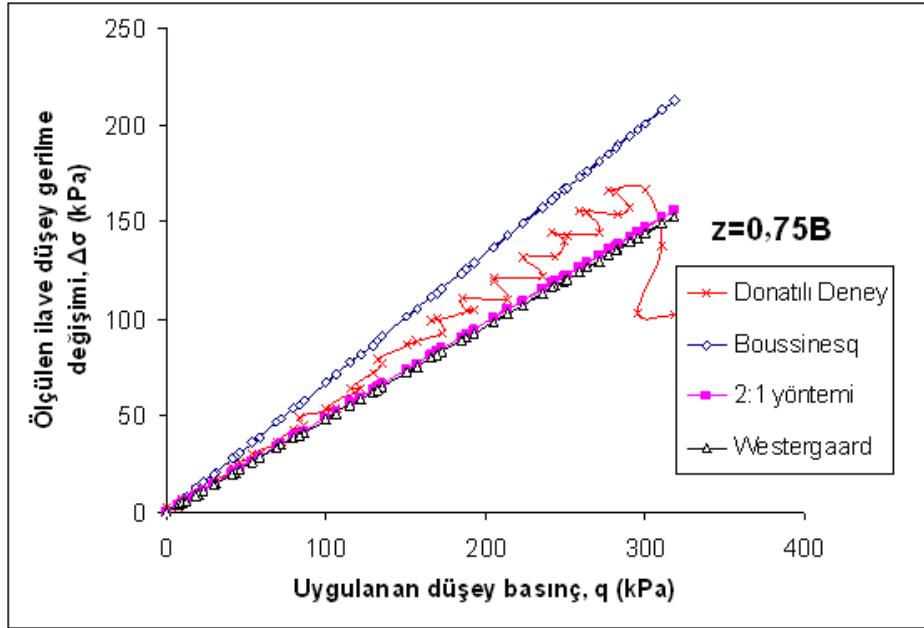
Şekil 4.287. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)



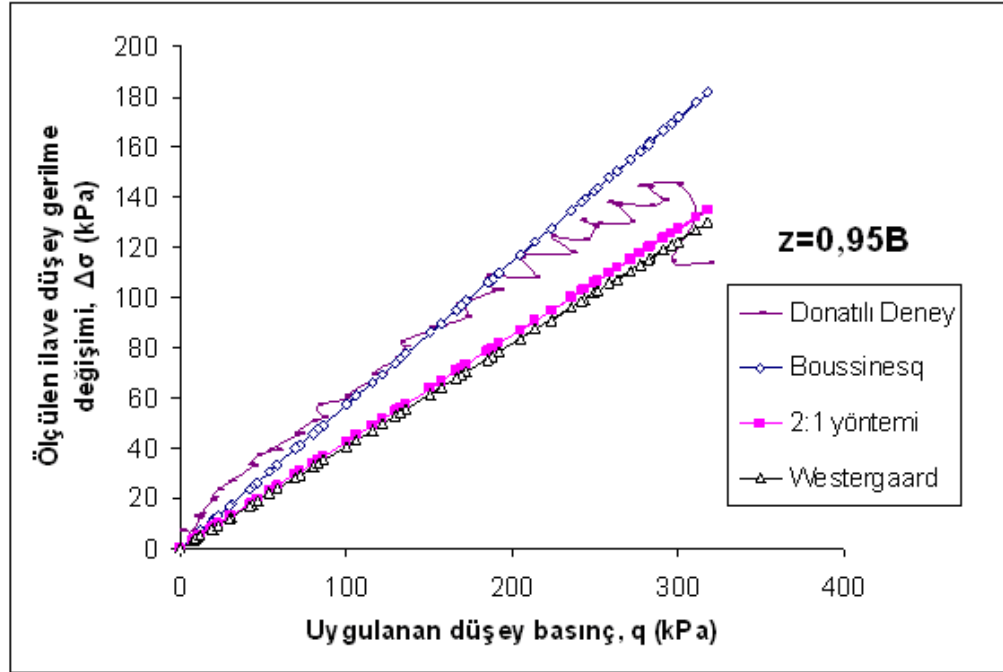
Şekil 4.288. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)



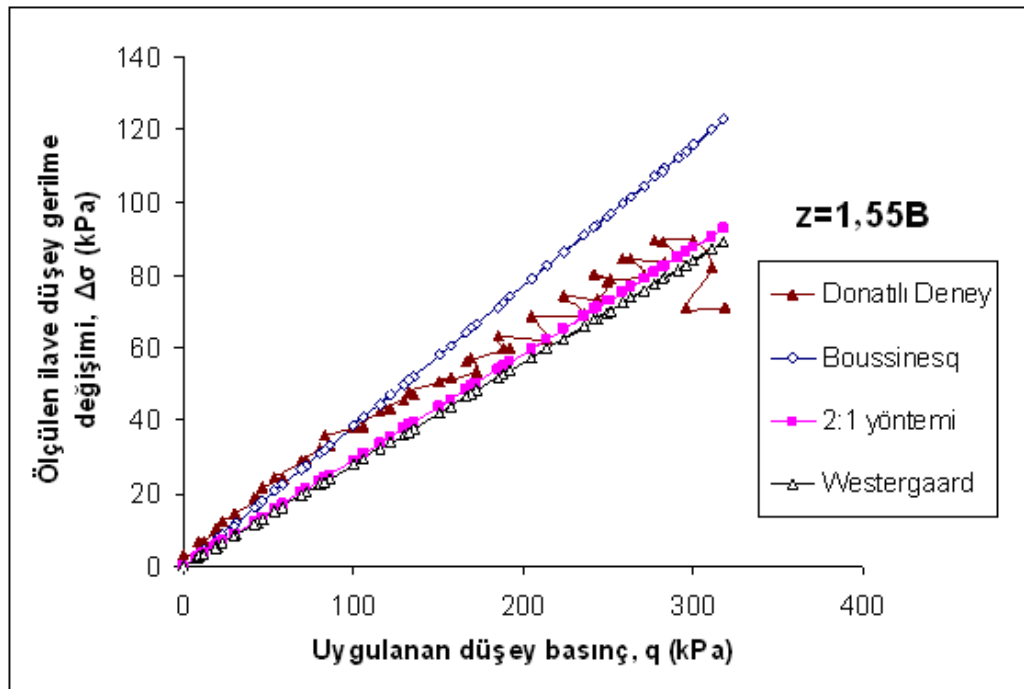
Şekil 4.289. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)



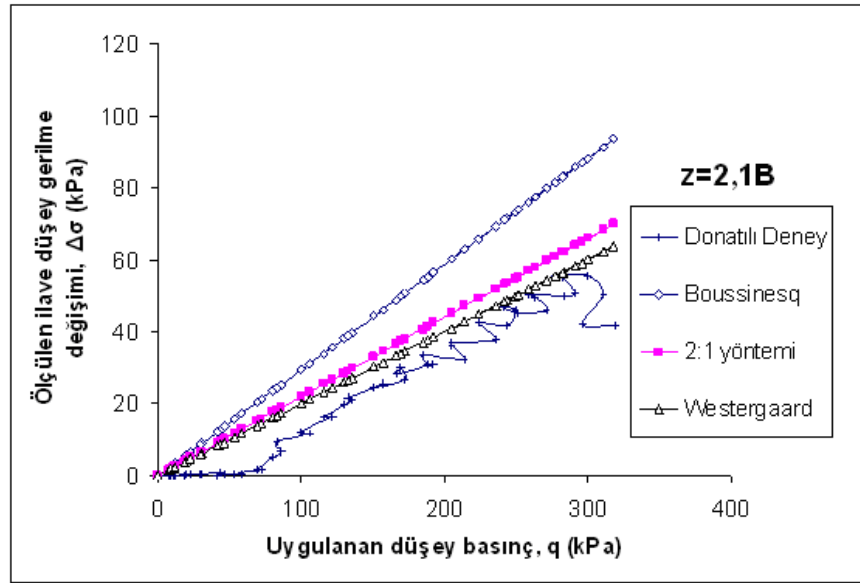
Şekil 4.290. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.291. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)

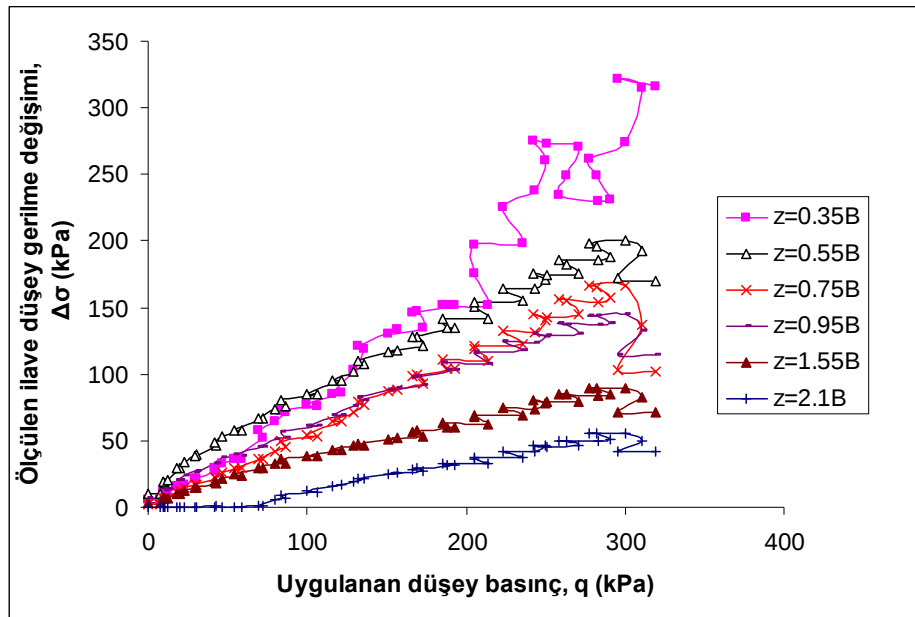


Şekil 4.292. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.293. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Aşağıdaki Şekil 4.294’de; temele uygulanan basınç ile zeminde ölçülen ilave düşey gerilme ilişkisi verilmiştir. Yaklaşık olarak, derinlik arttıkça ölçülen ilave düşey gerilme değerleri de azalmıştır.



Şekil 4.294. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $N=3$)

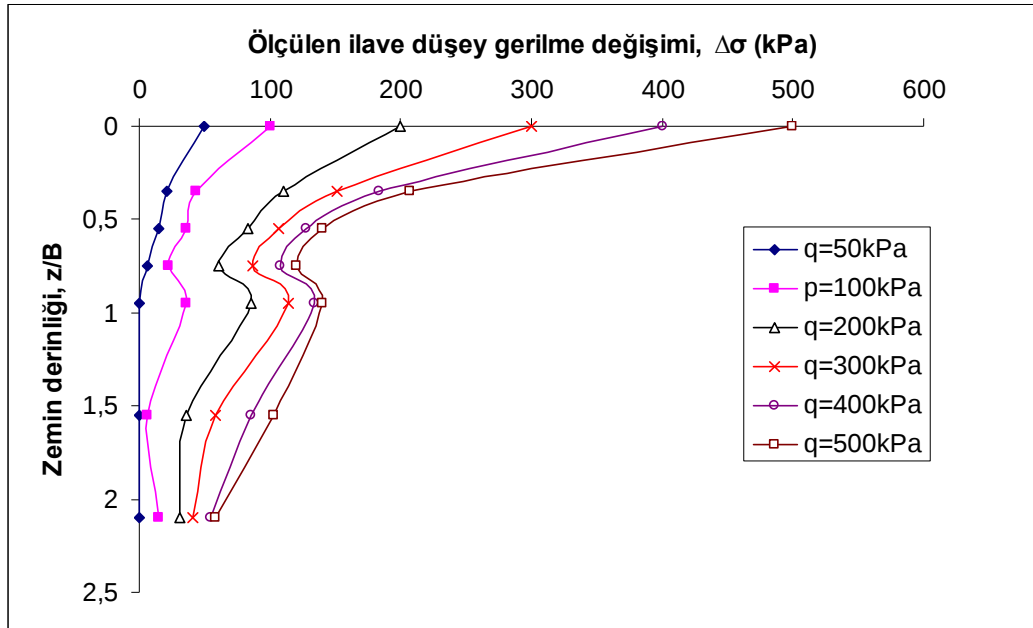
b. $u/B=0,55$ ilk donatı derinlikli sistemlerde gerilme ölçümleri;

Bu seride, ilk donatı tabakasının derinliği $u=0,55B$ alınarak zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmeye çalışılmıştır. Testler, donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı aralığı ($h=0,4B$) sabit tutularak donatı sayısının farklı iki değerinde ($N=2$ ve 3) yürütülmüştür. Temel genişliğinin yaklaşık 2,5 kat derinliğine kadar basınç sensörleri zemin içine temel merkezi altına yerleştirilmiştir. Her bir yükleme kademesinde zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları okunmuştur. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

▪ **İki donatılı deney;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400$ ve 500 kPa düşey basınç değerlerinde $N=2$ donatılı deney zemini içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.295’de gösterilmiştir. Şekil 4.296’da deneyde donatılı orta sıkı zeminin yaptığı oturma profili görülmektedir. Yaklaşık $2,5B$ ’den daha derinde oturma gözlenmediğinden daha alt kısımlarda sensör olmasının önemli olmadığı düşünülmüştür. Küçük yüklerde yaklaşık $2B$ derinliğinde oturma gözlenmemiş ve gerilme değişimi çok az miktarda ölçülmüştür. Yük arttıkça hem oturma hemde düşey gerilme artışı meydana gelmiştir.

Önceki bölümde verilen ortalama taban basıncı-oturma grafikleri incelendiğinde $u/B=0,35$ ilk donatı derinlikli $h/B=0,6$ donatı düşey aralıklı $N=2$ adet donatılı deney ile $u/B=0,55$; $h/B=0,4$ ve $N=2$ donatı sayılı test eğrilerinin benzeştiği görülmüştür. Bu iki deneyde zeminin farklı derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme davranışlarının da uyumlu olduğu gözlenmiştir. Her iki testte; son donatı olan ikinci geotekstil levhası $z/B=0,95$ derinliğindedir ve $z/B=0,95$ noktasında her iki deneyde de ani gerilme artışı meydana gelmiştir.



Şekil 4.295. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



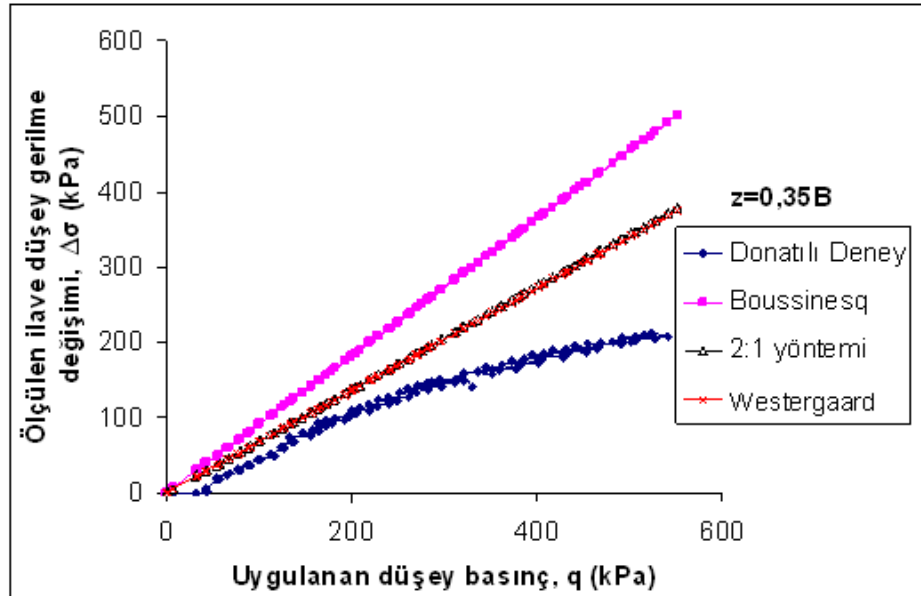
Şekil 4.296. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)

Şekil 4.297-Şekil 4.302'de donatılı orta sıkı zeminin farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilmelerin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$ derinliğinde Westergaard çözümlerine yakın değerler hesaplanmıştır. Yük arttıkça ölçülen ilave

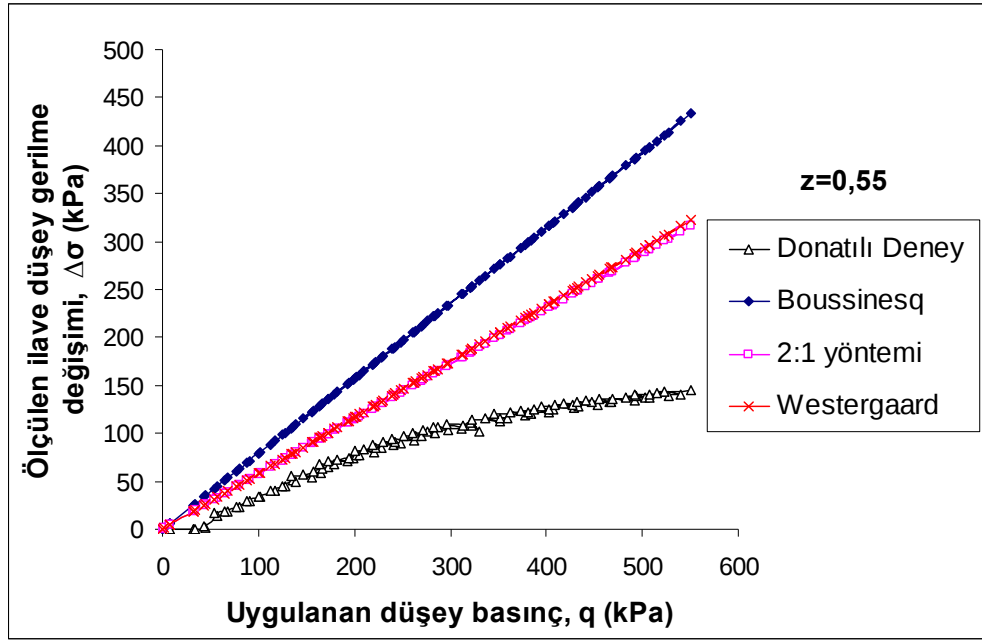
düşey gerilme değerleri de azalmıştır. $z/B=0,55$ ve $0,75$ 'de literatür değerlerinden daha küçük veriler okunmuştur. İkinci donatı levhası seviyesinde ($z/B=0,95$) ise Westergaard ile benzer ölçümler alınmıştır. Yaklaşık $q \approx 300$ kPa basınçta $\Delta\sigma$ azalmaya başlamıştır.

Donatılı bölge altında $z/B=1,55$ noktasında, Westergaard çözümleri ile benzer değerler bulunmuştur. $z/B=2,1$ derinliğinde yaklaşık $q=200$ kPa 'a yaklaşıncaya kadar Westergaard hesaplarına yakın ilave gerilmeler okunmu ve $q>200$ kPa'dan itibaren $\Delta\sigma$ azalmıştır.

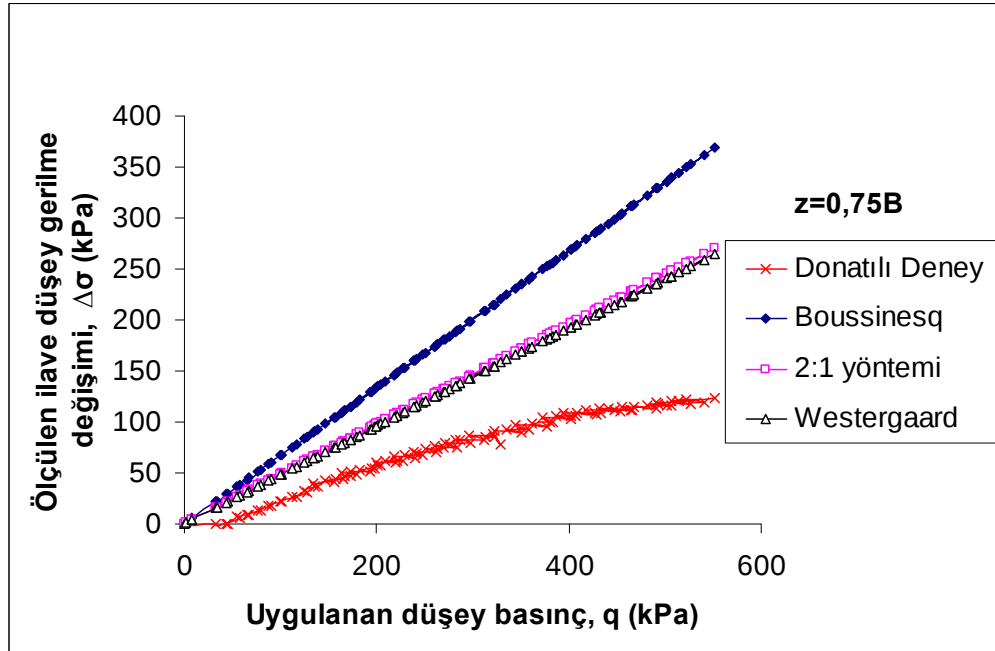
Şekil 4.303'de temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ilişkisi verilmiştir. Maksimum ilave düşey gerilme ilk donatı $z/B=0,35$ derinliğinde okunmuştur. İkinci maksimum gerilme ölçümü ise ikinci donatı seviyesinde gerçekleşmiştir. Donatılı bölge altındaki geotekstilsiz alanda diğer düşük gerilme değerleri bulunmuştur. En düşük okuma temel genişliğinin yaklaşık iki katı civarındaki donatısız alanda alınmıştır.



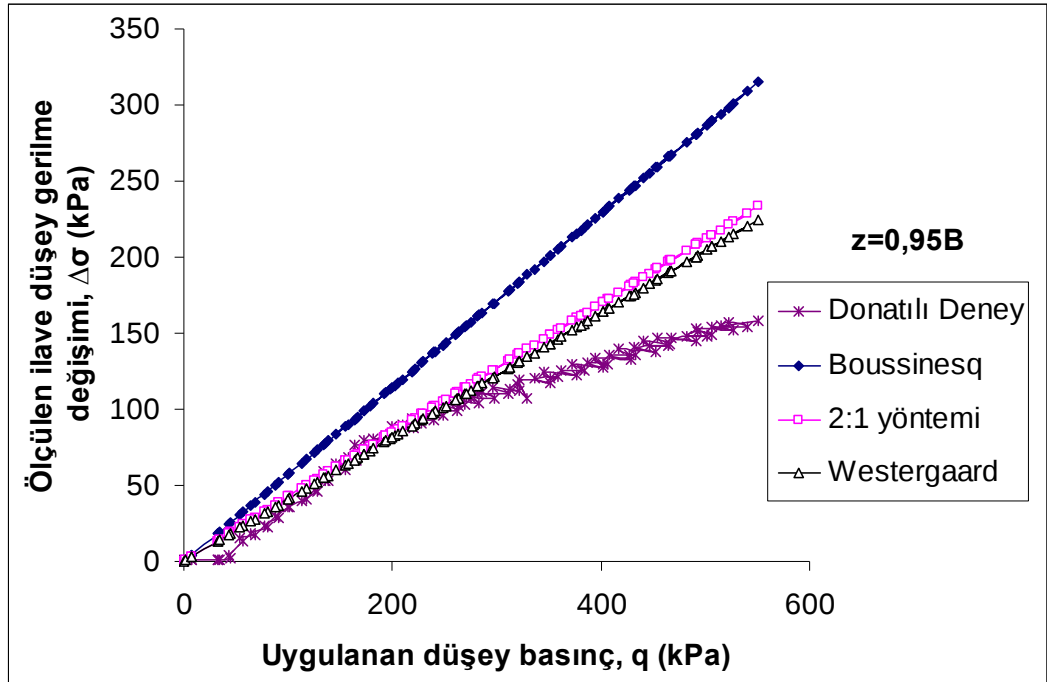
Şekil 4.297. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



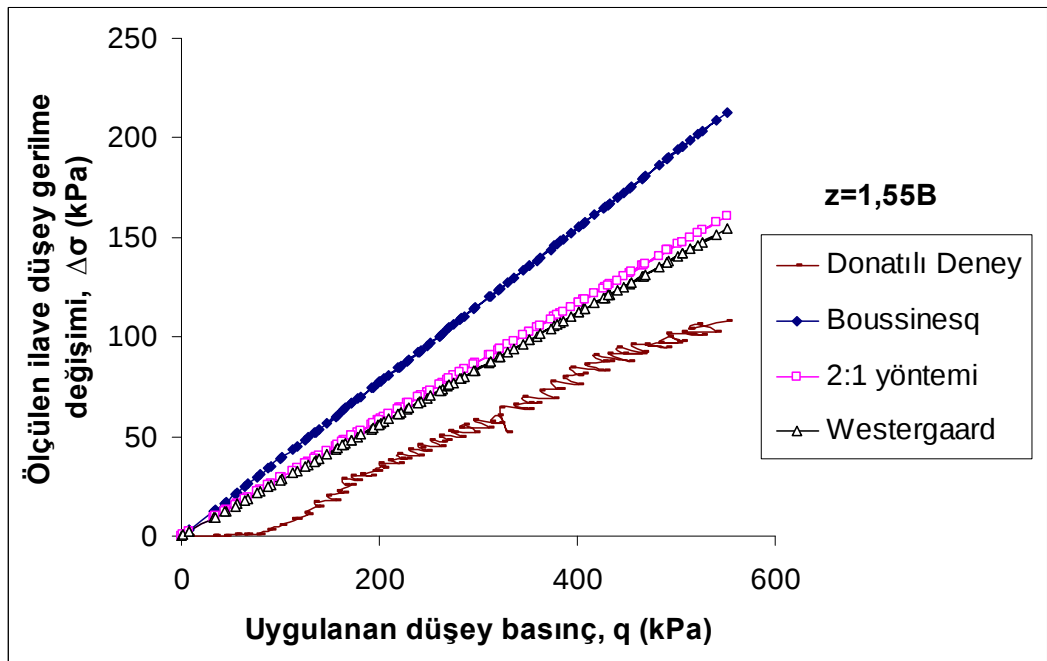
Şekil 4.298. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



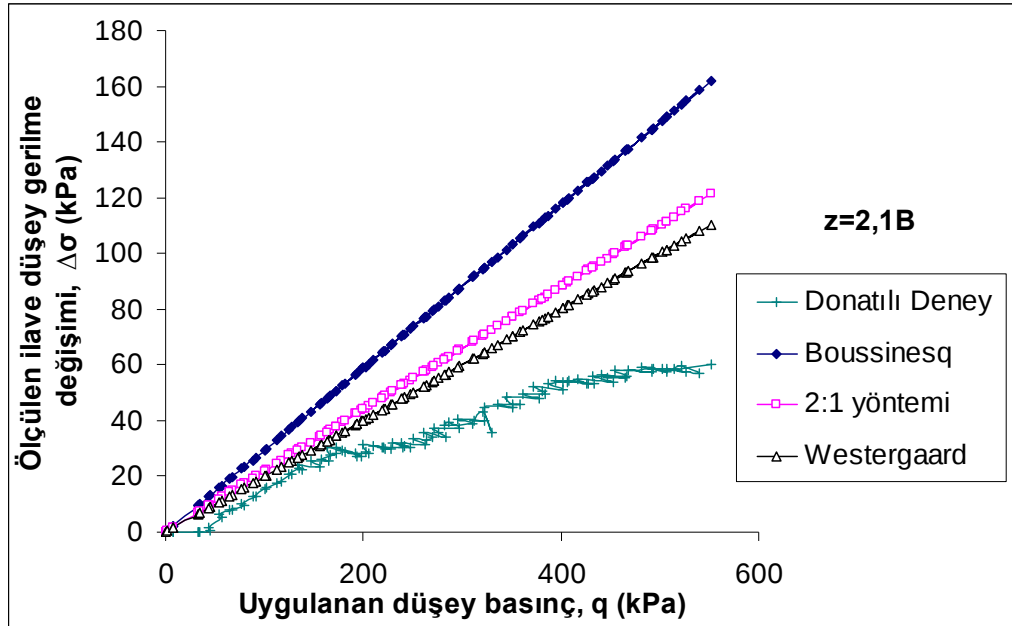
Şekil 4.299. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



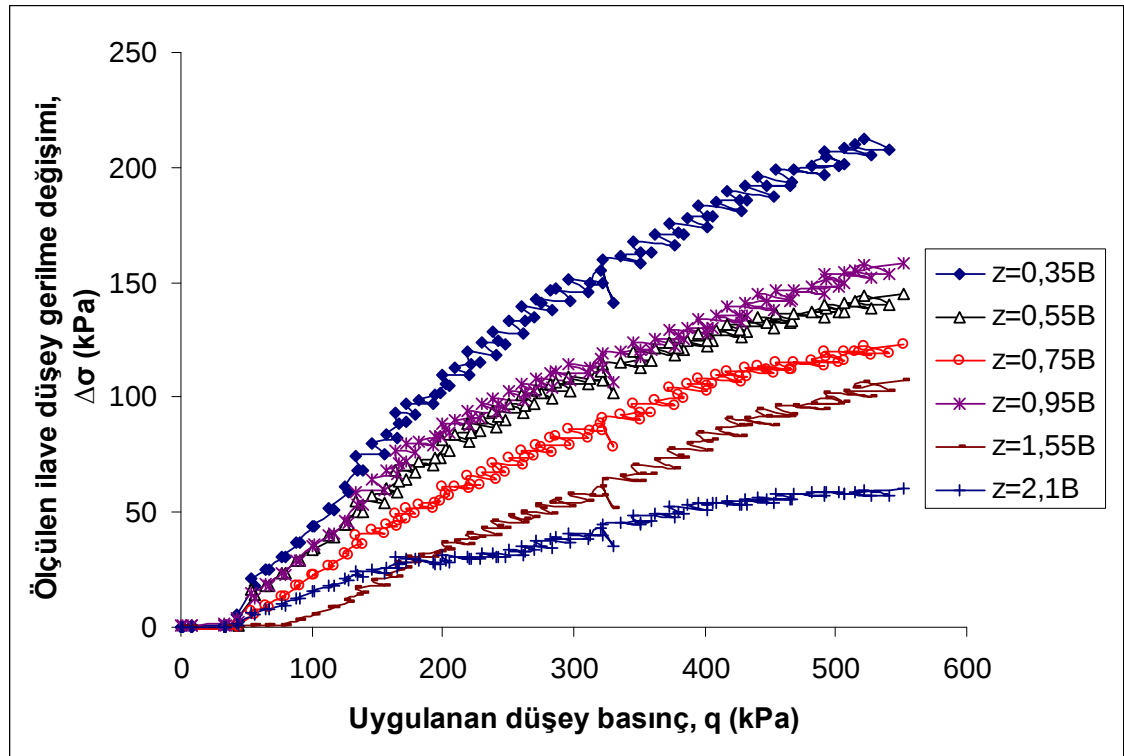
Şekil 4.300. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.301. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.302. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması (L/B=3; u/B=0,55; h/B=0,4; N=2)

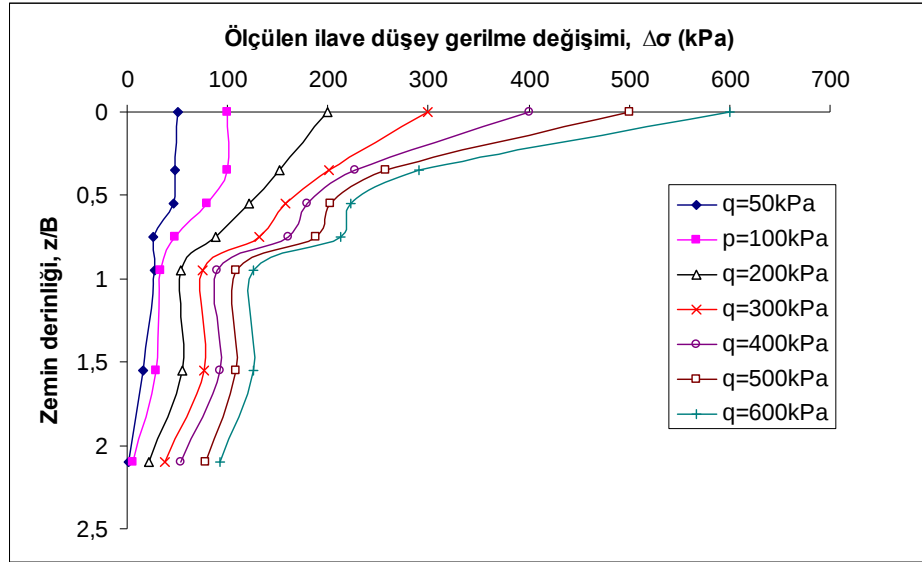


Şekil 4.303. İki donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği (L/B=3; u/B=0,55; h/B=0,4; N=2)

▪ Üç donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, 300, 400, 500$ ve 600 kPa düşey basınç değerlerinde $N=3$ geotekstilli zemin içerisinde farklı derinliklere ölçülen ilave düşey gerilmeler Şekil 4.304’de gösterilmiştir. Şekil 4.305’de ise donatılı orta sıkı zeminin yaptığı oturma profili verilmiştir. $2B$ derinliğinde küçük yüklerde oturma ve gerilme değişimi olmazken, yük miktarı büyüdükçe her iki ölçümde artmıştır.

Küçük yüklemelerde uygulanan basınç ile gerilme değişim miktarı arasındaki fark deney sonundaki değerlere nazaran daha düşüktür. Donatılı zemin göçme yüküne yaklaştıktan sonra üst tabakalarda bulunan basınç sensör okumaları azalmıştır. Büyük yüklerde daha düşük ilave gerilme değerleri okunmuştur. Zemin göçme yüküne ulaşırken oturma ve gerilmeleri yataya aktarmaya çalışmıştır. Böylece üst tabakalarda okunan gerilmeler ile uygulanan basınç arasındaki fark artmıştır.



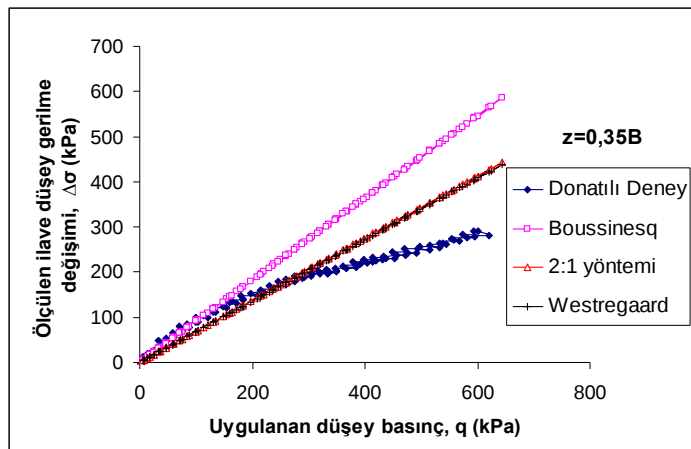
Şekil 4.304. Uygulanan farklı düşey gerilme değerlerinde değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)



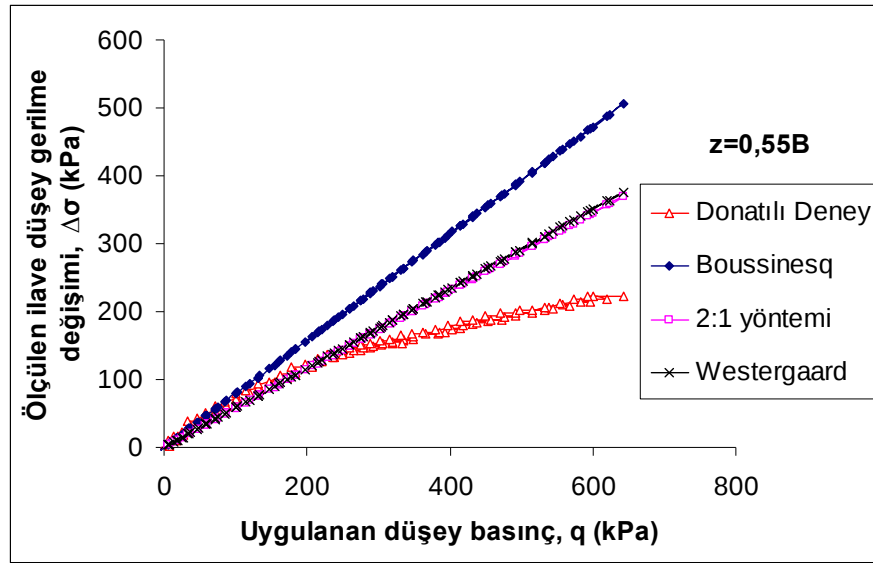
Şekil 4.305. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Şekil 4.306-Şekil 4.311’de farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$ derinliğinde Boussinesq ile benzer gerilme verileri alınmıştır. Yaklaşık $q=200$ kPa yük civarında $\Delta\sigma$ azalmış ve literatürden küçük değerler ölçülmüştür. $z/B=0,55$ ve $0,75$ ’de Westergaard değerlerine yakın $\Delta\sigma$ elde edilmiştir. $q \approx 250$ kPa’dan sonra literatürden daha küçük veriler okunmuştur. İkinci donatı seviyesinde ($z/B=0,95$) ise küçük yüklerde Westergaard verilerine yakın gerilme değerleri okunmuş ve uygulanan basınçla daha küçük artışlar meydana gelmiştir. $\Delta\sigma$, Westergaard verilerinin yaklaşık yarısı kadardır.

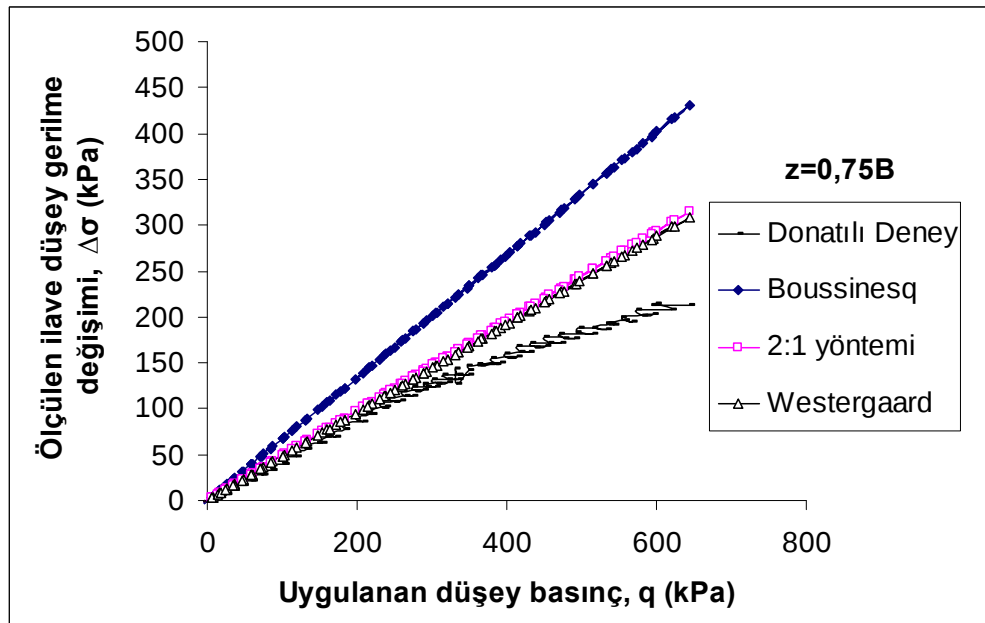
Donatılı bölge altında $z/B=1,55$ ’de yine Westergaard ile aynı $\Delta\sigma$ değerleri okunmuştur. Yaklaşık $q=300$ kPa ‘dan sonra azalarak literatürden daha küçük değerler elde edilmiştir. $z/B=2,1$ ’de ise literatürden daha düşük ilave düşey gerilmeler ölçülmüştür.



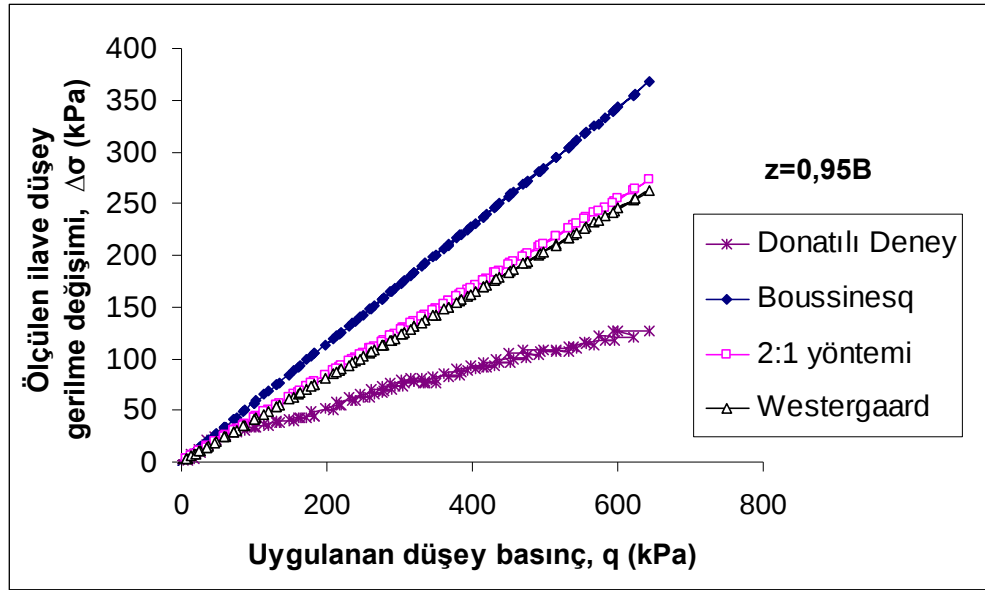
Şekil 4.306. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)



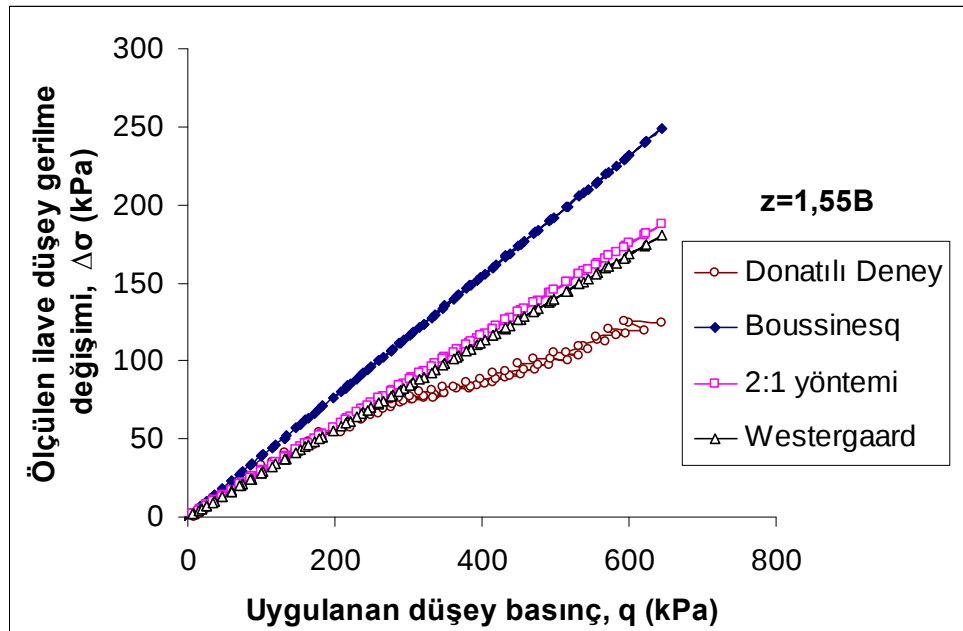
Şekil 4.307. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)



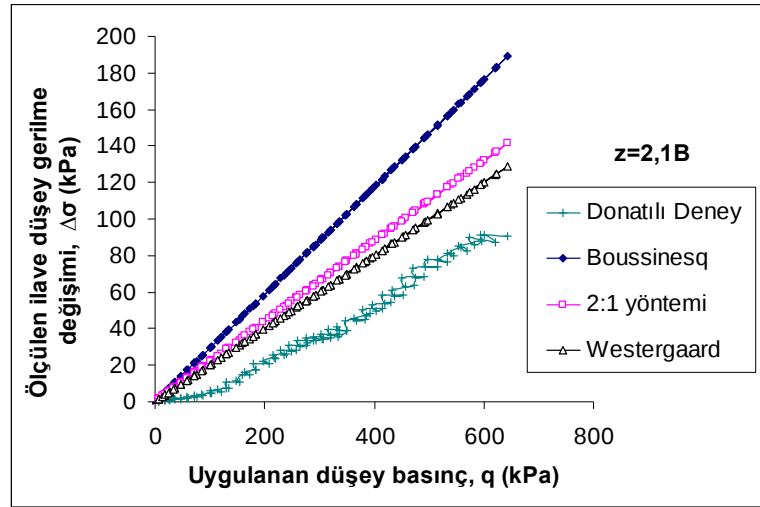
Şekil 4.308. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.309. $z=0,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)

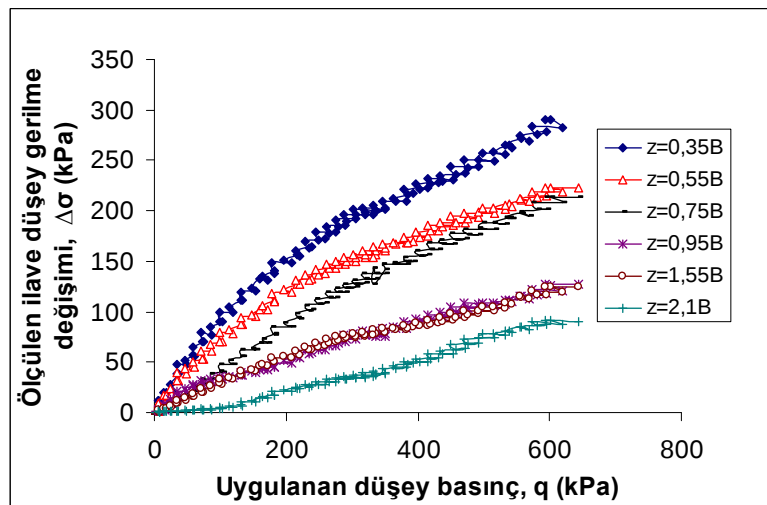


Şekil 4.310. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.311. $z=2,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Aşağıdaki Şekil 4.312’de şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği verilmiştir. Bu deneyde, zemin derinliği arttıkça okunan düşey gerilme değerleri düşük hızla büyümüşür. Yaklaşık $q=300$ kPa şerit temel yüklemesinden sonra gerilme değerlerindeki artış miktarı daha da azalmıştır. İkinci donatı civarında ile üçüncü donatı altında bulunan basınç okuma sensöründen alınan gerilme değişim miktarları yaklaşık aynı çıkmıştır.



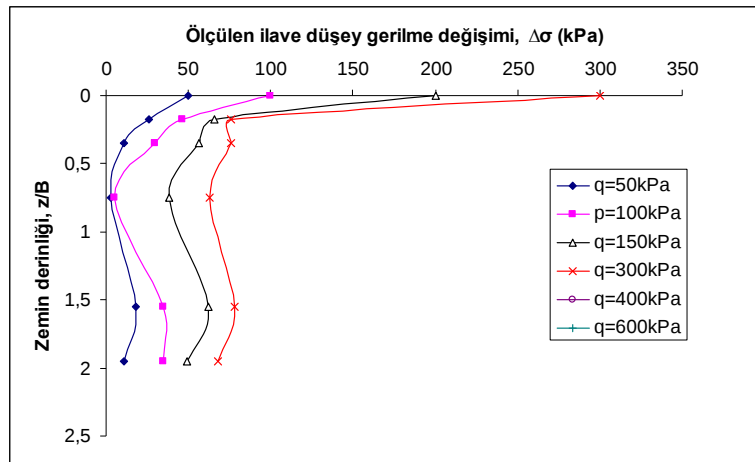
Şekil 4.312. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)

c. $u/B=0,175$ ilk donatı derinlikli sistemlerde gerilme ölçümleri;

Bu seride; ilk donatı tabakasının derinliği $u=0,175B$ alınarak zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmüştür. Testler, donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı aralığı ($h=0,4B$) sabit tutularak donatı sayısının farklı iki değerinde ($N=2$ ve 3) yürütülmüştür. Temel genişliğinin yaklaşık 2,5 kat derinliğine kadar basınç sensörleri zemin içine temel merkezi altına yerleştirilmiştir. Her bir yükleme kademesinde zemin içerisinde meydana gelen ilave düşey gerilme değişim miktarları okunmuştur. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

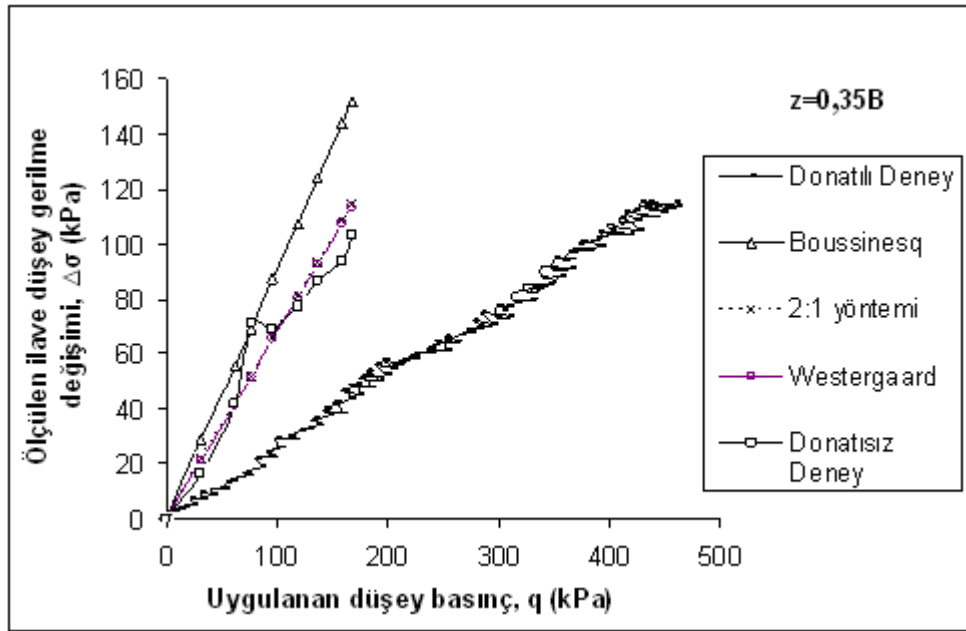
▪ **İki donatılı deney;**

Temel plakasına uygulanan $q=50, 100, 200, \text{ ve } 300 \text{ kPa}$ düşey basınç değerlerinde $N=2$ geotekstil donatılı zemin içerisinde farklı derinliklere ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.313’de gösterilmiştir. İlk uygulanan basınç (q) değerlerinde ölçülen ilave gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$) basınç değerine daha yakın olduğu gözlenmiştir. Yük arttıkça $\Delta\sigma$ ile q arasındaki fark miktarı diğer testlerden daha fazladır. Donatı tabakasının temele yakın olması ile sürtünme kuvvetinin daha etkili olduğu düşünülmüştür.

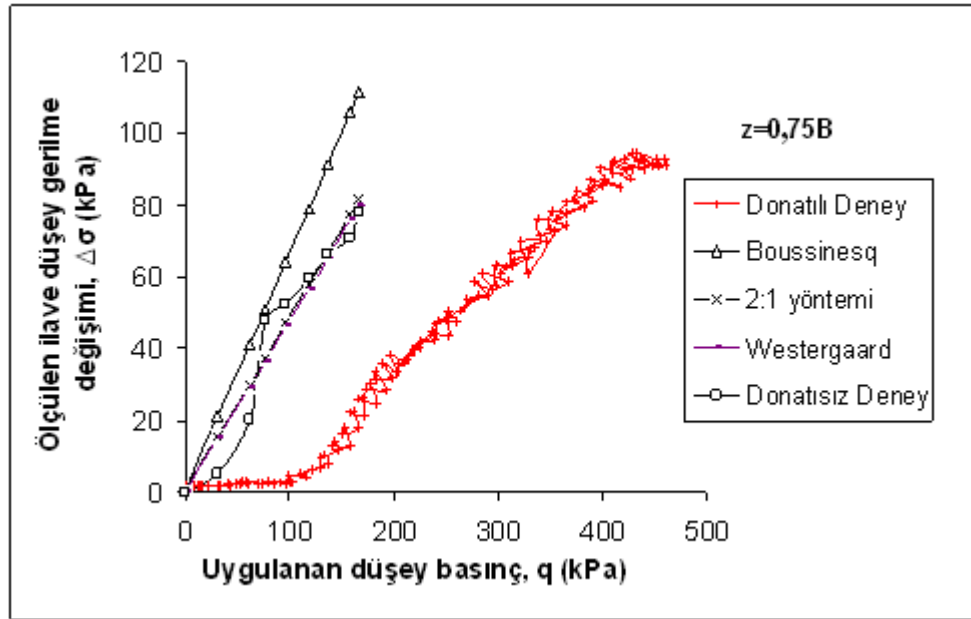


Şekil 4.313. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$)

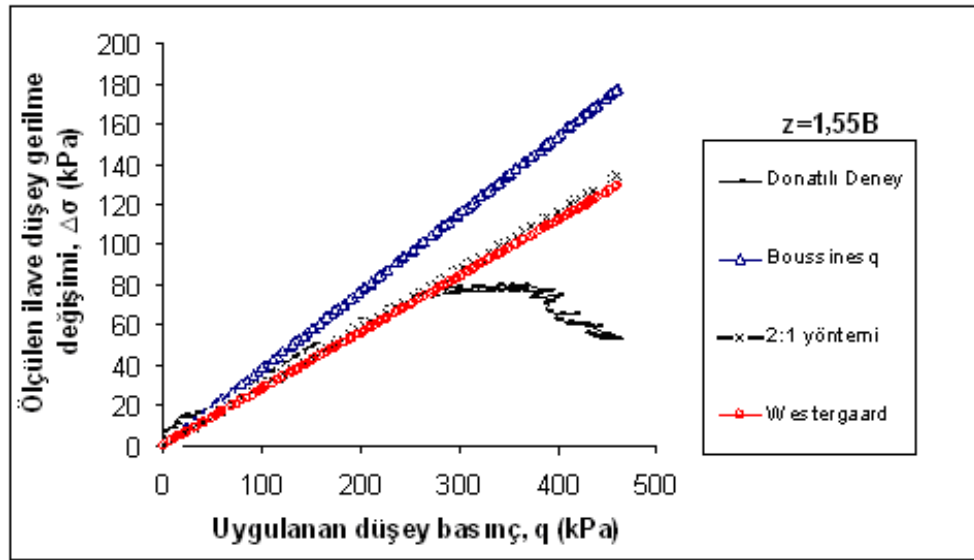
Şekil 4.314-Şekil 4.317’de; $N=2$ geosentetik sayılı zeminde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$ derinliğinde literatür sonuçlarından daha düşük değerlerde $\Delta\sigma$ oluşmuştur. $z/B=0,75$ ’de $q=100$ kPa’a yaklaştıktan sonra ilave düşey gerilmeler meydana gelmiştir. Bu derinlik donatılar altında bulunmaktadır. Donatılı zon düşey gerilmeleri yanlara ve membran etkisi ile derinlere aktardığı bu nedenle bu noktada gerilmenin düşük olduğu düşünülmüştür. $z/B=1,55$ noktasında Westergaard değerleri ile yaklaşık aynı $\Delta\sigma$ meydana gelmiştir. Yaklaşık $q=300$ kPa yükte literatür değerlerinden daha küçük miktarda ilave düşey gerilmeler oluşmaya başlamıştır.. $z/B=1,95$ ’de Boussinesq ile ortalama aynı değerle alınmıştır. $q\approx 150$ kPa civarında $\Delta\sigma$ değerleri düşmüştür. $q\approx 200$ kPa’dan sonra Westergaard ölçümleri ile aynı miktarda ilave düşey gerilmeler ölçülmüştür. $z/B=0,55$ ve $0,95$ ’e konan sensörler deney esnasında koptuğu için sonuçlar değerlendirilememiştir.



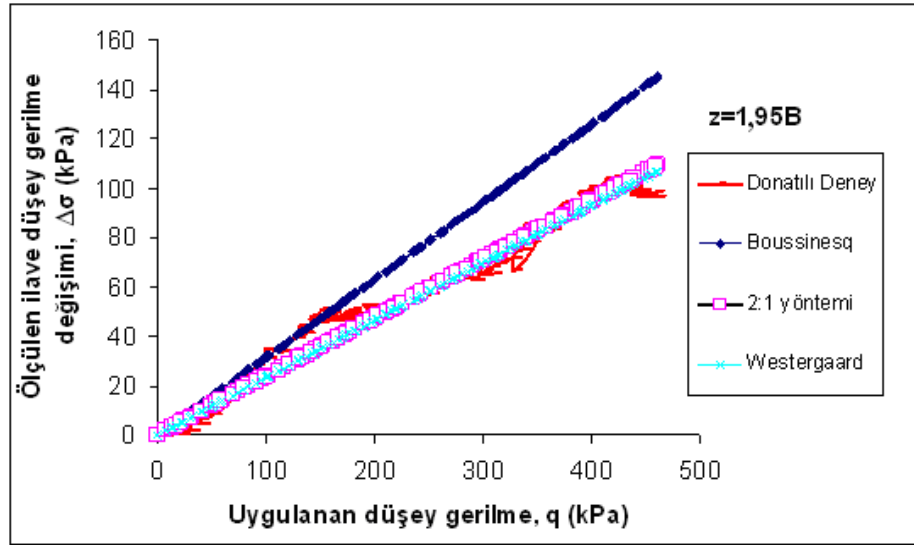
Şekil 4.314. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.315. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması (L/B=3; u/B=0,175; h/B=0,4; N=2)

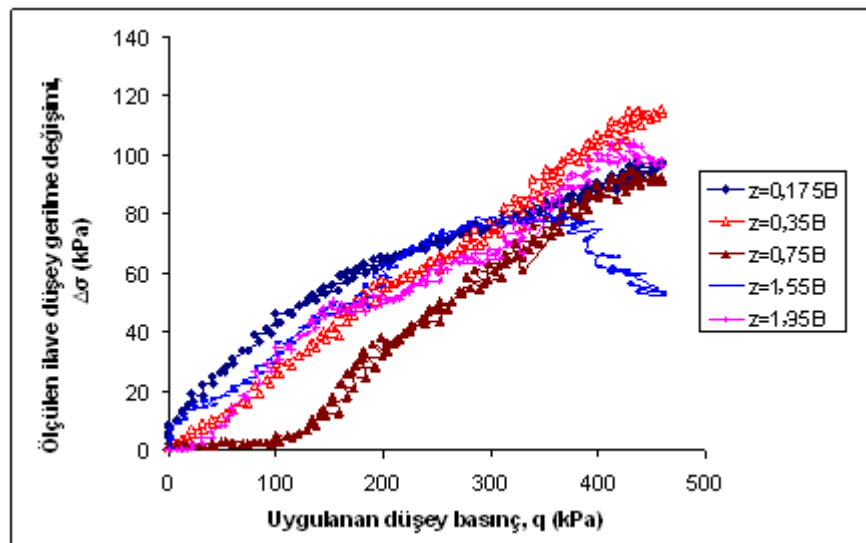


Şekil 4.316. $z=1,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması (L/B=3; u/B=0,175; h/B=0,4; N=2)



Şekil 4.317. $z=1,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=2$)

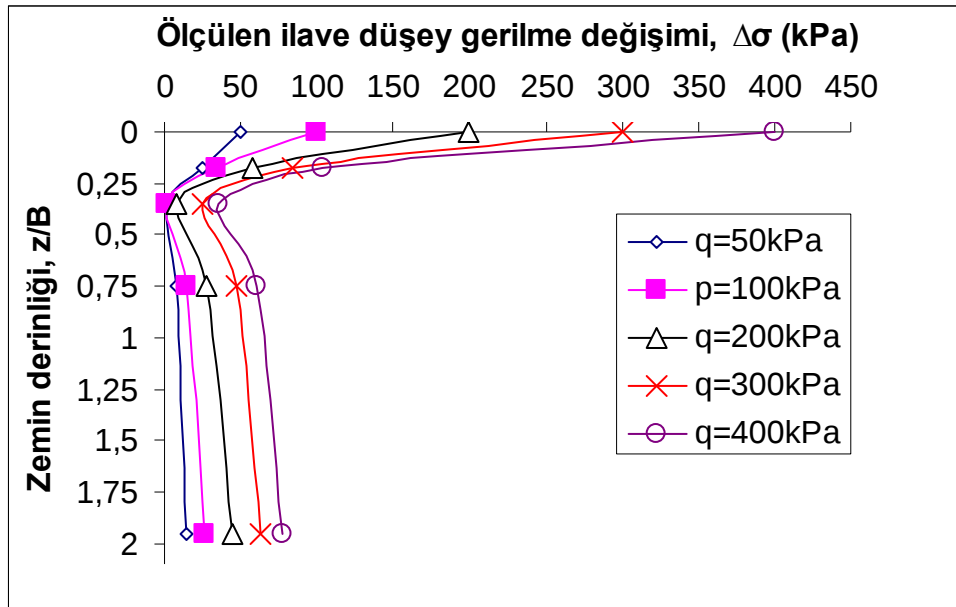
$N=2$ donatı levhasına sahip orta sıkı kum üzerindeki şerit temele uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişimi ilişkisi Şekil 4.318'de verilmiştir. Bu deneyde ilk donatıdan itibaren yükler diğer yönlerde aktarılmış ve donatılar arasında daha düşük seviyelerde düşey gerilme değerleri hesaplanmıştır. Donatılı bölge altında ise gerilmeler artma eğilimi göstermiştir.



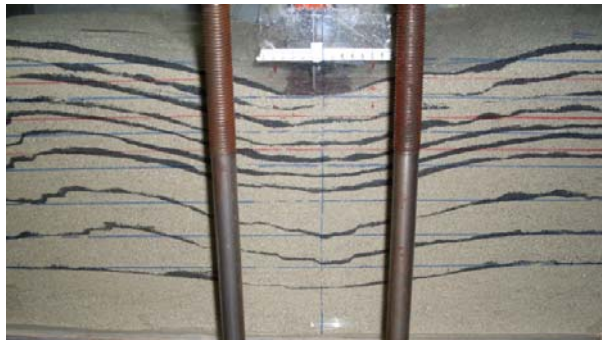
Şekil 4.318. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $N=3$)

▪ Üç donatılı deney;

Temel plakasına uygulanan $q=50-400$ kPa ortalama taban basınçlarında $N=3$ donatılı zemin içerisinde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.319’da gösterilmiştir. Şekil 4.320’de teste ait donatılı zeminin yapmış olduğu oturma profili görülmektedir. Şekil incelendiğinde oturmaların daha fazla yanlara ve modelin derinliklerine doğru aktarılmaya çalışıldığı görülmüştür. Bu durum, düşeyde gerilme artımının az miktarda olmasını açıklamaya yardımcı olmuştur.



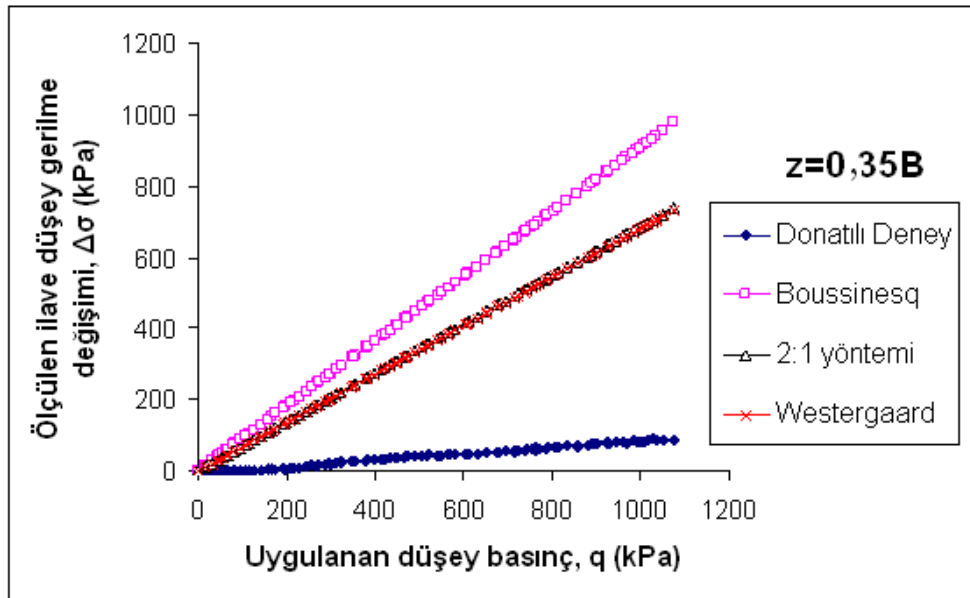
Şekil 4.319. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)



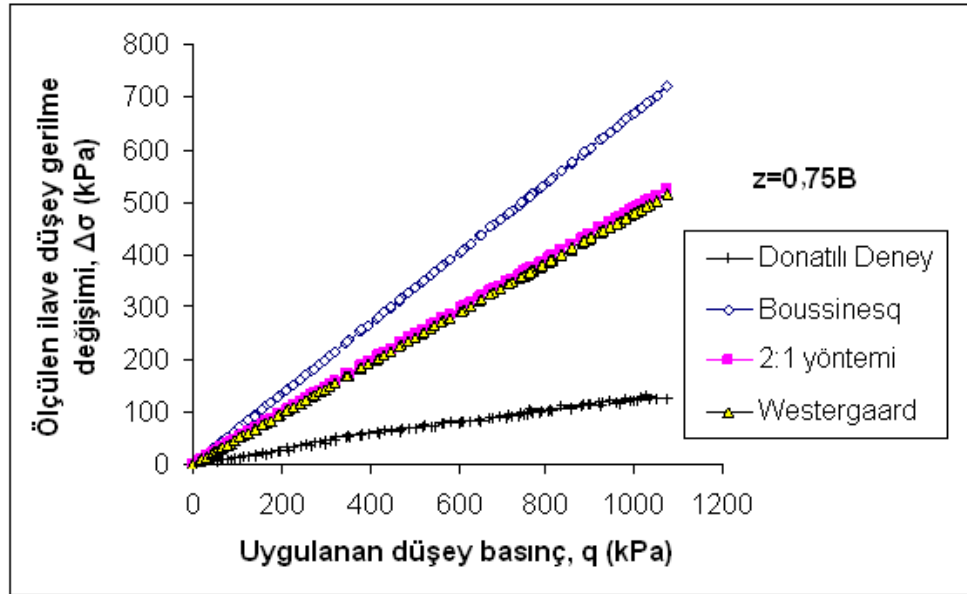
Şekil 4.320. Oturma profili ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Aşağıdaki Şekil 4.321-Şekil 4.323’de farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması verilmiştir. $z/B=0,35$ derinliğinde literatür sonuçlarından çok daha düşük değerlerde ilave düşey gerilmeleri oluşmuştur. Son iki donatı arasında bulunan $z/B=0,75$ ’de gerilme değerleri daha fazla artmıştır. Fakat yine $\Delta\sigma$, literatür değerlerinden daha küçüktür. Donatılı bölge altında önceki deneyde olduğu gibi düşey gerilme değerleri daha fazla artmıştır. $z/B=1,95$ noktasında Westergaard değerleri ile aynı gerilme değişimleri meydana gelmiştir. Yaklaşık $q=400$ kPa basınçta literatür değerlerinden daha az miktarda ilave düşey gerilmeleri oluşmaya başlamış ve uygulanan yükle artış miktarı büyümüştür. Diğer noktalara konan basınç sensörleri deney esnasında koptuğu için sonuçları değerlendirilememiştir.

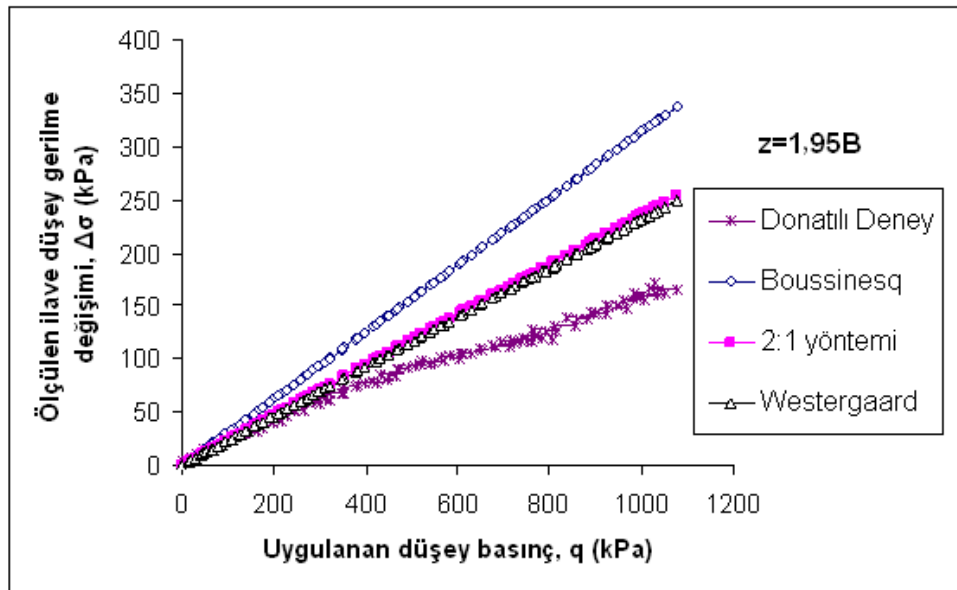
Şekil 4.324’de şerit temele uygulanan basınç ile zeminde farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ilişkisi verilmiştir. Donatı altında düşey gerilme değerleri daha fazla artış göstermiştir. Ölçülen ilave düşey gerilmelerin uygulanan yüke nazaran çok az miktarda olduğu gözlenmiştir.



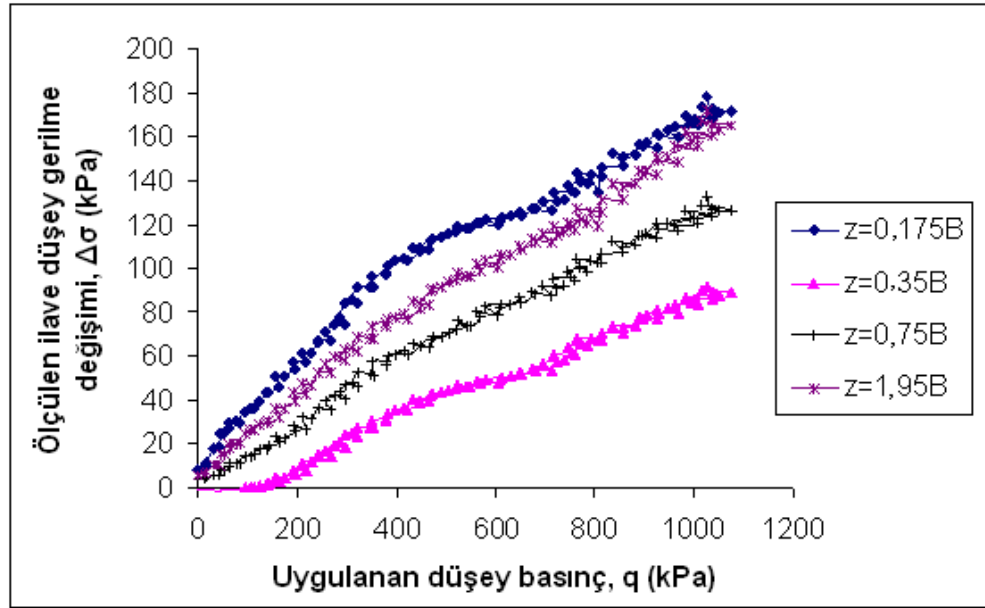
Şekil 4.321. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.322. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.323. $z=1,95B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.324. Üç donatılı sistemde uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=3$; $u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $N=3$)

İlk donatı derinliğinin azalması halinde $u/B=0,175$ değerinde çok küçük ilave düşey gerilmeleri oluşmuştur. Donatı temel plakasına daha yakın olduğu için yukardan gelen yükler sürtünme kuvveti ile yanlara daha fazla aktarılmıştır. Donatı derinliğinin değişmesi ile ölçülen ilave düşey gerilmeler daha önceki bölümde sunulan u/B -BCR ilişkisi ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

D. Farklı donatı genişlikleri için ilave düşey gerilme değişimleri:

Bu bölümde, donatı genişliğinin değiştirilmesi ile yapılan testlerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Zeminde değişik derinliklerde ölçülen ilave gerilmeler, 2:1 yöntemi, Boussinesq ve Westergaard hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Testler, ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı düşey aralığı ($h=0,4B$) sabit tutularak iki seri halinde yapılmıştır. Serilerde; Geotekstil genişliğinin iki değerinde ($L/B=5$ ve 1) donatı sayıları $N=2$ ve 3 olarak değiştirilmiştir. Aşağıda, her seride yapılan deneyler ve sonuçları açıklanmıştır.

a. $L/B=5$ donatı genişlikli sistemlerde gerilme ölçümleri;

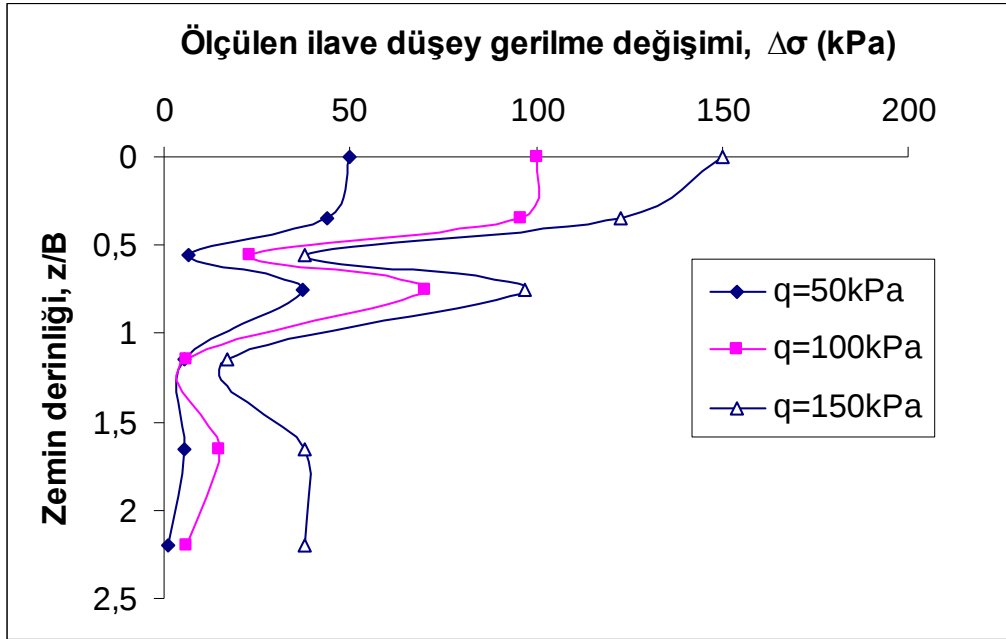
Donatı genişliğinin $L/B=5$ alınarak yapılan plaka yükleme deneylerinde, zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmeye çalışılmıştır. Donatı aralığı ($h=0,4B$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutularak donatı sayısının farklı iki değerinde ($N=2$ ve 3) testler yürütülmüştür. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

▪ **İki donatılı deney;**

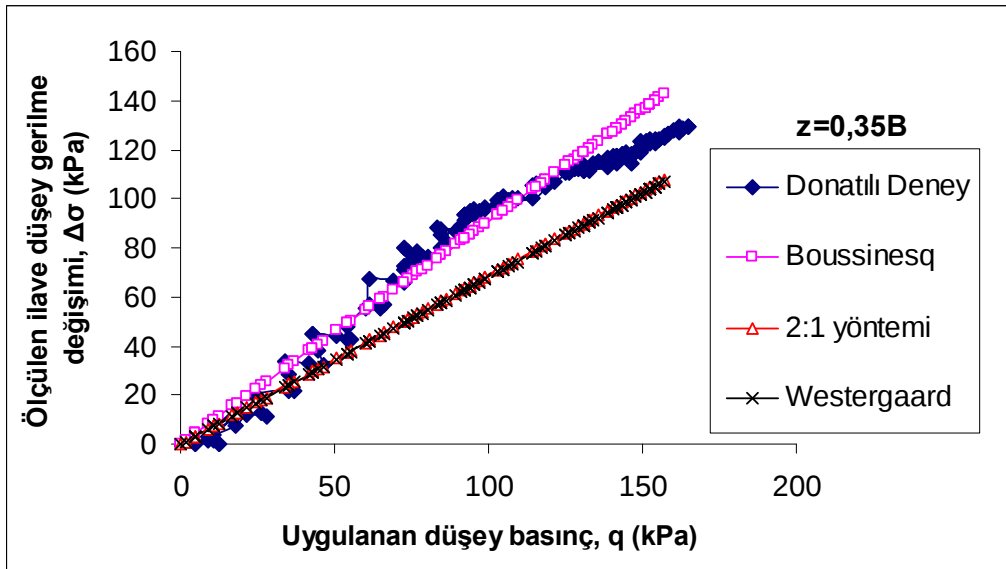
$N=2$ donatı sayılı orta sıkı kumdaki plaka yükleme deneylerinde, zemin içindeki ölçülen ilave düşey gerilme değişimi incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50-150$ kPa değerindeki yüklerde zemin içinde temel merkezi altındaki farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.325’de gösterilmiştir. İlk donatı plakası seviyesinde, uygulanan yüke çok yakın ilave düşey gerilme ölçümleri yapılmıştır. Sistem içerisine konan iki donatı plakası altlarında ilave düşey gerilme değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.

Temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda zemin içine yerleştirilen basınç sensör okuma sonuçları Şekil 4.326- Şekil 4.330’da verilmiştir. Düşey yönde her bir noktada alınan veriler literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

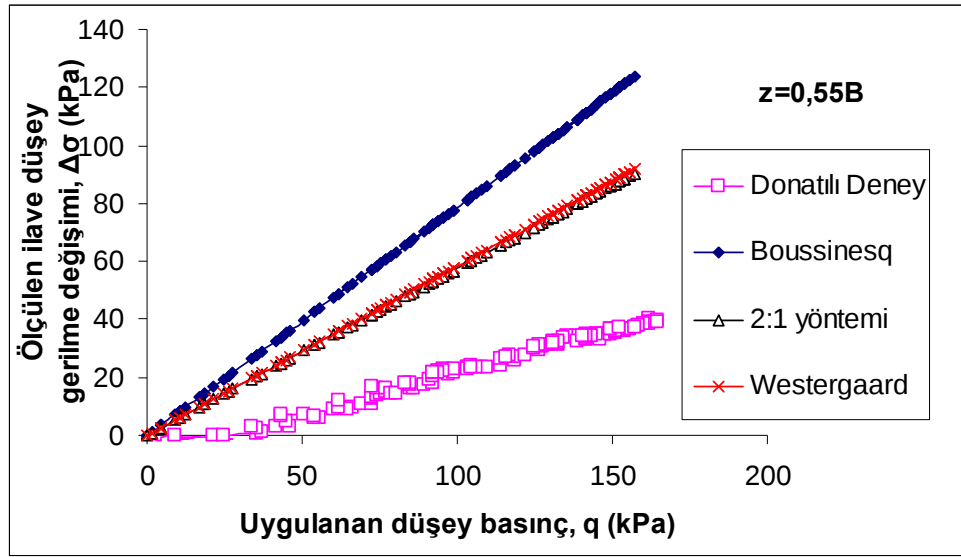
Donatı tabakaları üzerindeki noktalarda ($z/B=0,35$ ve $0,75$) ölçülen ilave düşey gerilmelerin uygulanan basınç ile ilişkisi Boussinesq değerlerine yakın çıkmıştır. Donatılar arasındaki $z/B=0,55$ derinliğinde $\Delta\sigma$, Westergaard değerlerinin yaklaşık yarısından daha küçüktür. Donatılı bölge altında bulunan $z=1,65$ ve $2,2$ noktalarında, deney başlarında literatürden daha düşük okumalar alınmıştır. Temel plakasına uygulanan basınç arttıkça, bu noktalarda meydana gelen ilave düşey gerilme okumaları da büyümüş ve deney sonuna doğru Westergaard değerine yaklaşmıştır.



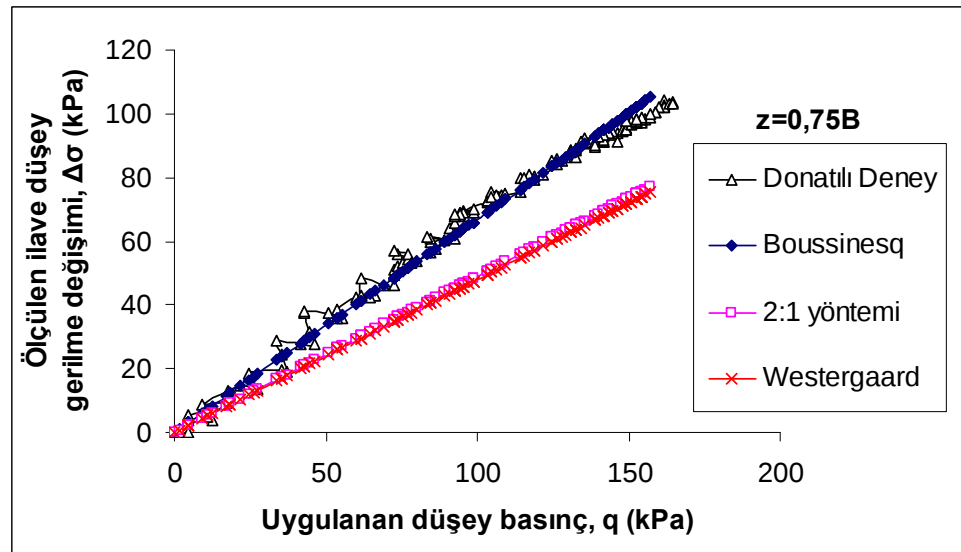
Şekil 4.325. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



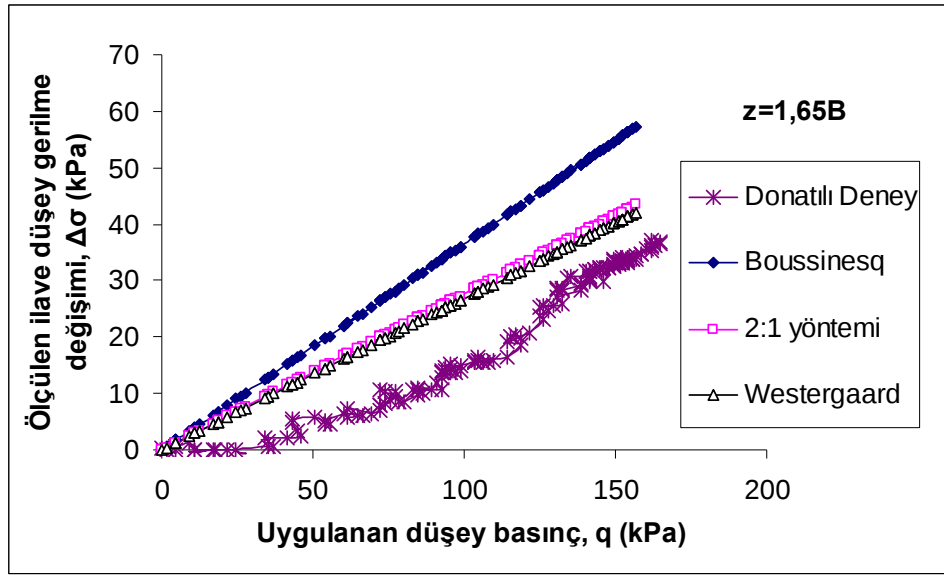
Şekil 4.326. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



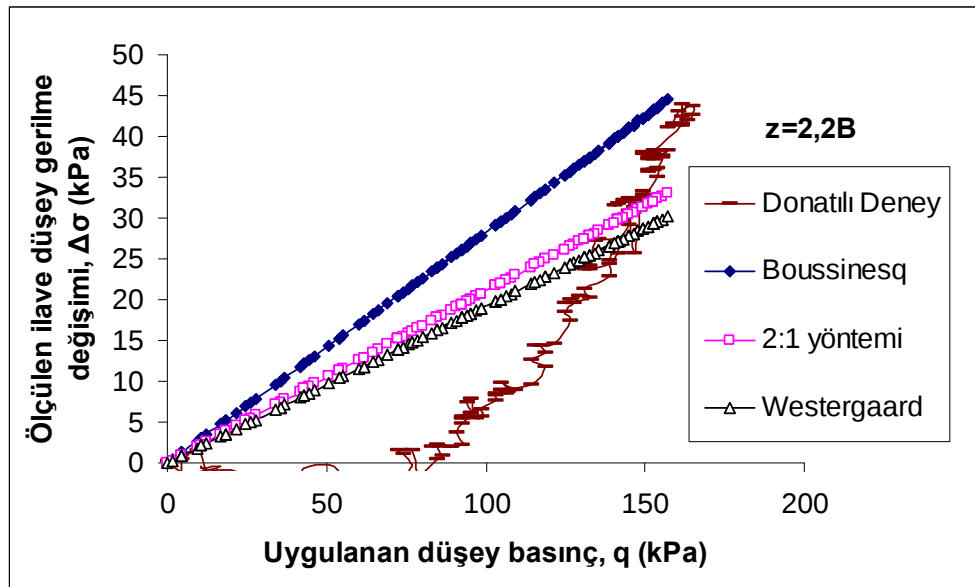
Şekil 4.327. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.328. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



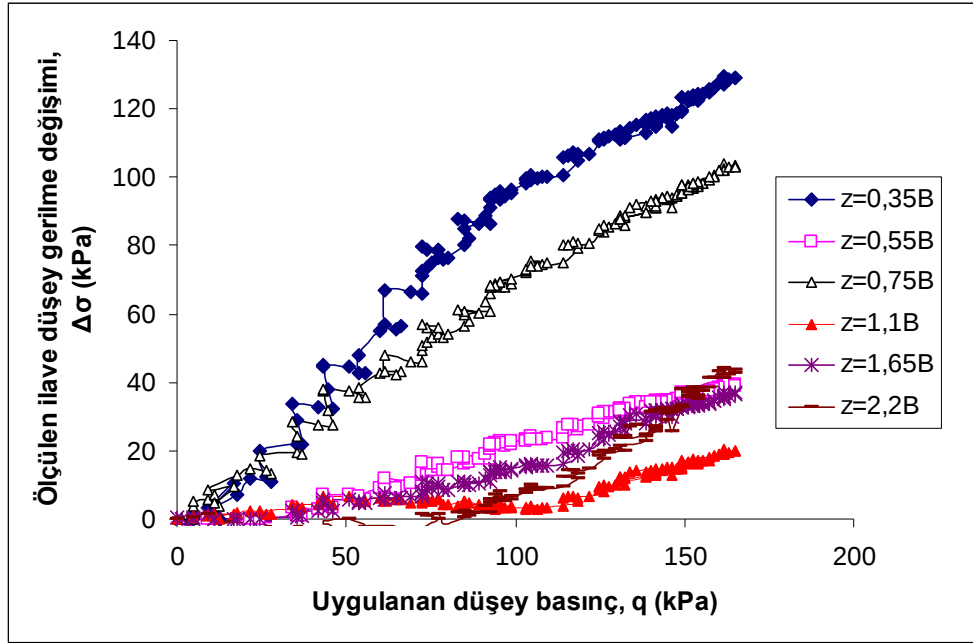
Şekil 4.329. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.330. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

Aşağıdaki Şekil 4.331’de temel plakasına uygulanan basınca karşılık gelen basınç sensörlerinden ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Donatılı noktalar haricindeki diğer değerlerin daha fazla azladığı görülmüştür. Böylece, geotekstillerin bir

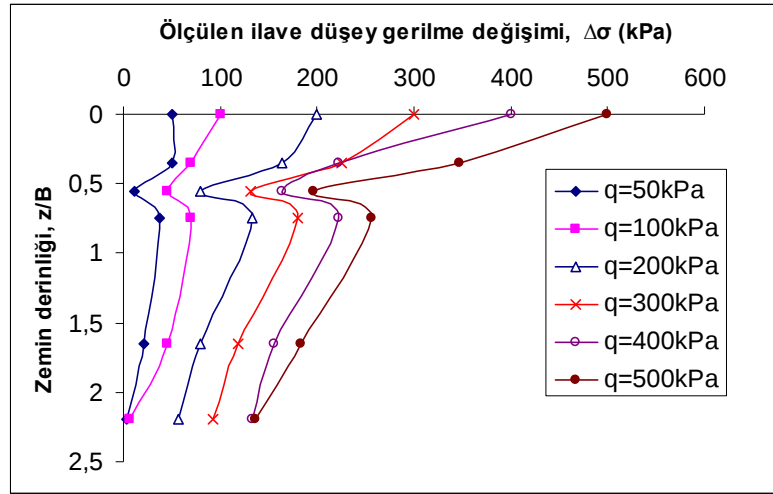
blok hattı oluşturduğu, yükün buralarda toplandığı ve donatısız kısımlara daha az gerilme değerlerinin aktarıldığı görülmüştür. Deney sonuna doğru donatılı bölge altındaki gerilme miktarının artması, zeminin kırılma bölgesinin bu derinliklerde meydana geleceği izlenimi doğurmuştur.



Şekil 4.331. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

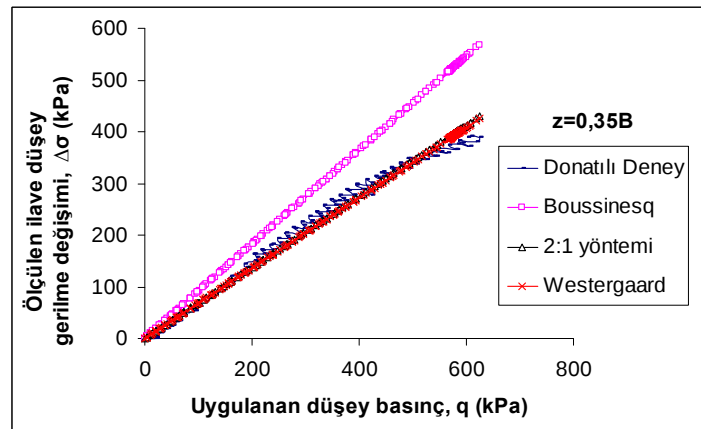
▪ Üç donatılı deney;

$N=3$ donatı sayılı orta sıkı kumdaki plaka yükleme deneylerinde, zemin içindeki ölçülen ilave düşey gerilme değişimi incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50-500$ kPa değerindeki yüklerde zemin içinde temel merkezi altındaki farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.332’de gösterilmiştir. Donatılı zonda ani gerilme azalması meydana gelmiştir.

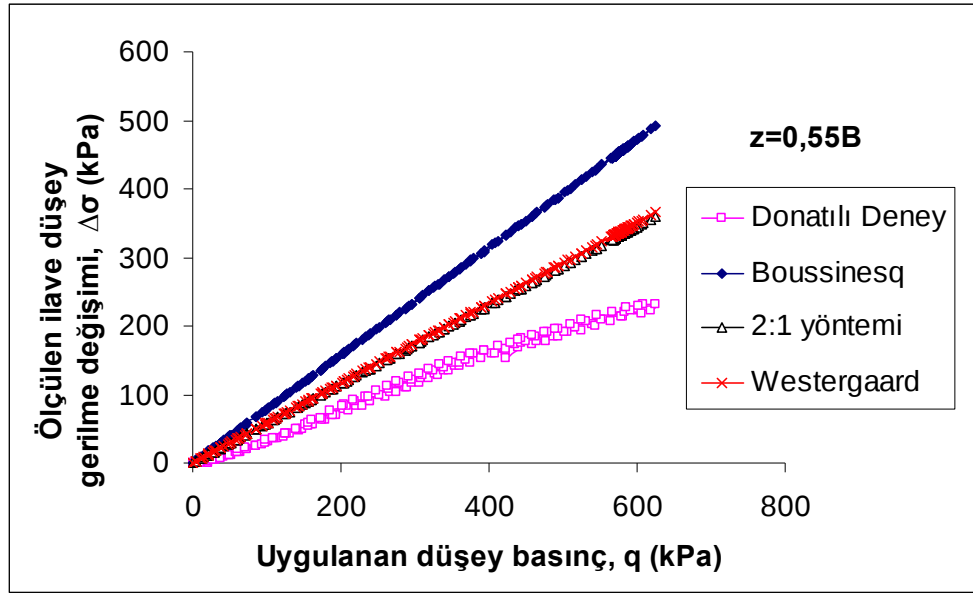


Şekil 4.332. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

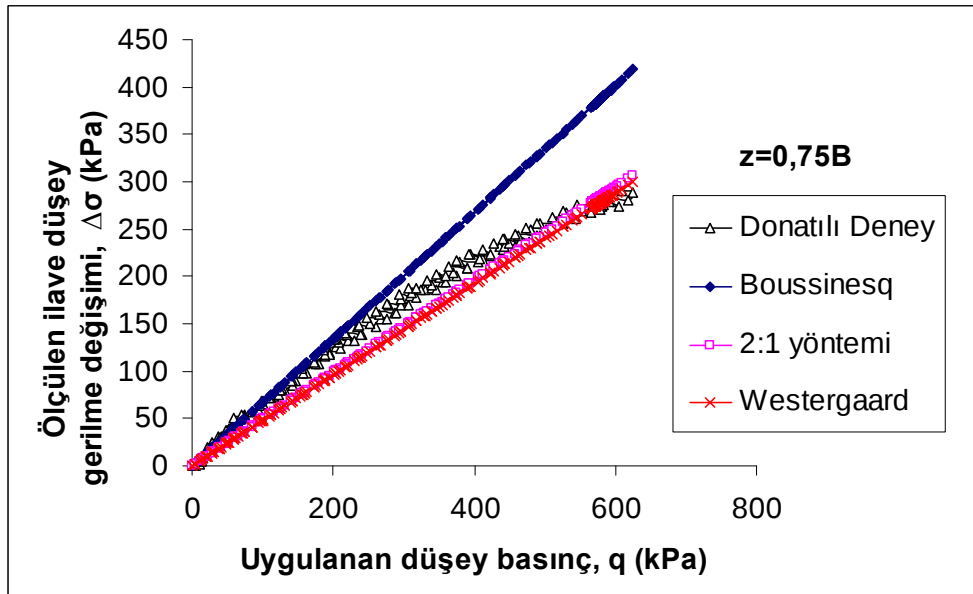
Şekil 4.333-Şekil 337’da temel plakasına uygulanan yüklemeler sonunda zemin içine yerleştirilen basınç sensör okuma sonuçları gösterilmiştir. İlk donatı plakası üzerinde $z/B=0,35$ noktasında $\Delta\sigma$; Westergaard çözümü ile yakın değerler okunmuştur. $z/B=0,55$ ’de literatür çözümlerinden daha küçük miktarda $\Delta\sigma$ elde edilmiştir. İkinci donatı mesafesinde $z/B=0,75$ noktasında Boussinesq ile benzer değerler ölçülmüştür. Büyük yüklerde ($q>300$ kPa) gerilmeler azalarak Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır. Donatılı bölge altındaki derinliklerde ($z/B=1,65$ ve $2,2$) ölçülen ilave düşey gerilme miktarları artarak Boussinesq verileri ile aynı olmuştur.



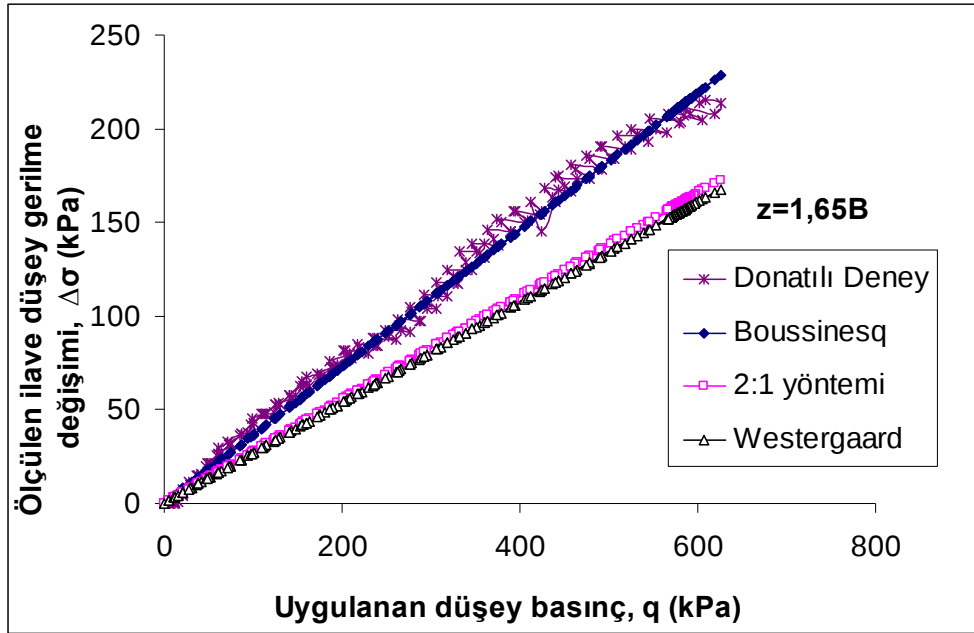
Şekil 4.333. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



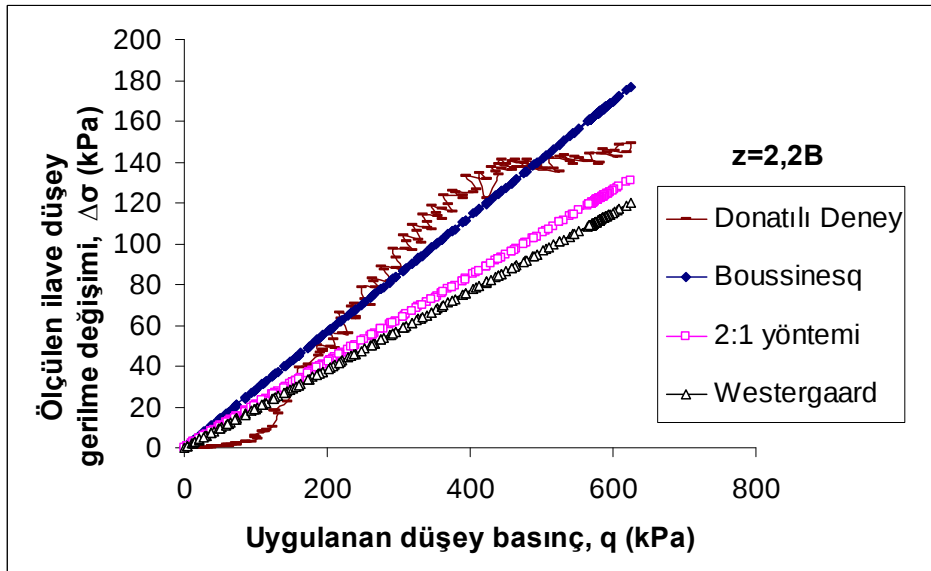
Şekil 4.334. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.335. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



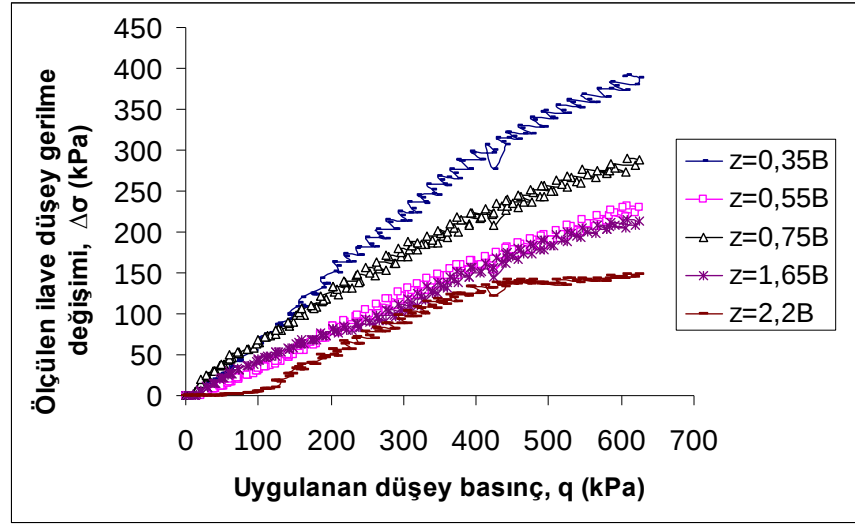
Şekil 4.336. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.337. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Aşağıdaki Şekil 4.338'de temel plakasına uygulanan basınca karşılık gelen basınç sensörlerinden ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. $N=2$ donatılı

deneydeki gibi; donatılarda $\Delta\sigma$ değerleri büyük ve geotekstil levhaları arasında daha düşük ilave gerilmeler meydana gelmiştir. Donatılı bölge altında ($z/B=2,2$ derinliğinde) ise yük miktarı arttıktan sonra $\Delta\sigma$ değerleri artmıştır.



Şekil 4.338. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=5$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

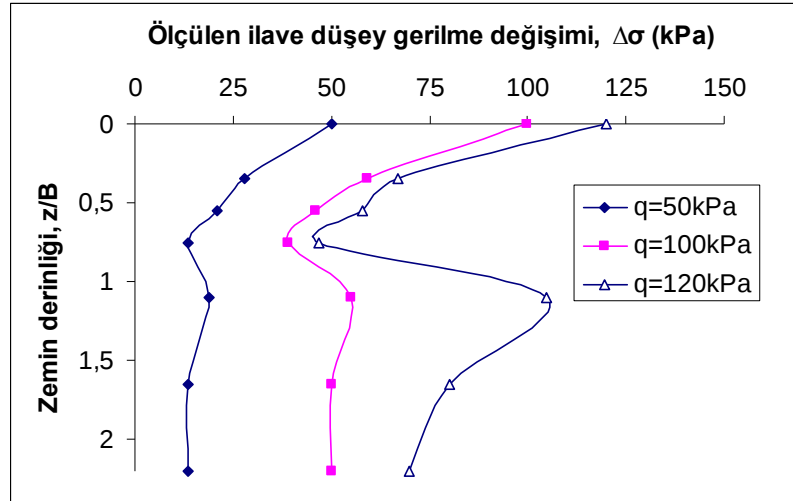
b. $L/B=1$ donatı genişlikli sistemlerde gerilme ölçümleri

Donatı genişliğinin $L/B=1$ alınarak yapılan plaka yükleme deneyinde zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmeye çalışılmıştır. Donatı aralığı ($h=0,4B$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit tutularak donatı sayısının farklı iki değerinde ($N=2$ ve 3) testler yürütülmüştür. Aşağıdaki maddelerde farklı donatı sayıları için yapılan değerlendirmeler açıklanmıştır;

▪ İki donatılı deney;

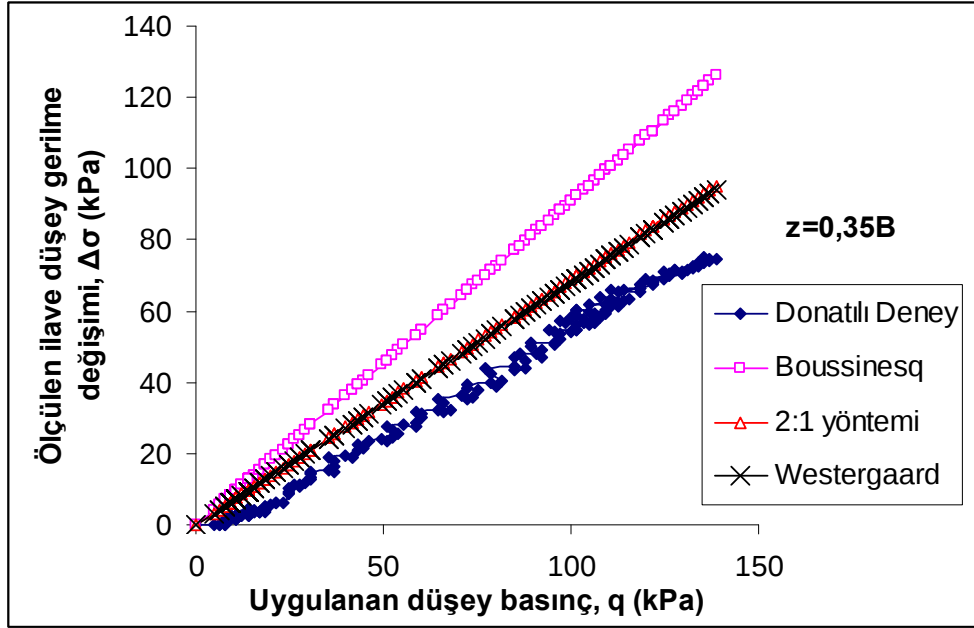
$N=2$ donatı sayılı orta sıkı kumdaki plaka yükleme deneylerinde, zemin içindeki ölçülen ilave düşey gerilme değişimi incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50, 100$ ve 120 kPa düşey basınç zemini içerisindeki farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değerleri incelenmiştir (Şekil 4.339). Donatılar arasında gerilme değerlerinin

azaldığı gözlenmiştir. Yaklaşık $q=100$ kPa'dan sonra ki yüklemelerde (örneğin $q=120$ kPa) donatılı zon içerisindeki ilave düşey gerilme değişimi fazla değildir. Fakat geotekstil donatılı bölge altında ani bir $\Delta\sigma$ artışı meydana gelmiştir. Bu durum, kırılmanın bu hat üzerinde oluşma ihtimalini düşündürmüştür.

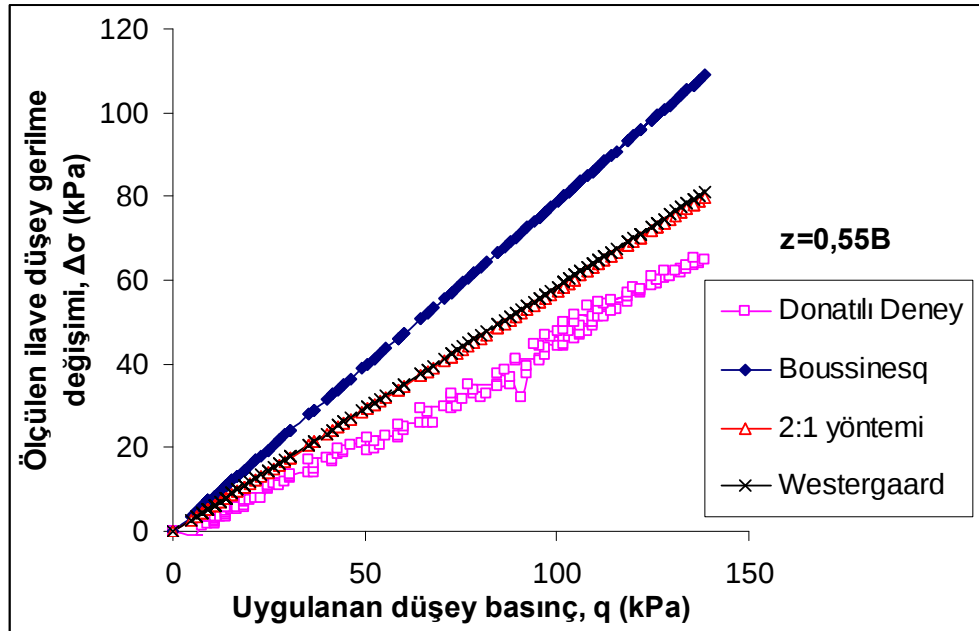


Şekil 4.339. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

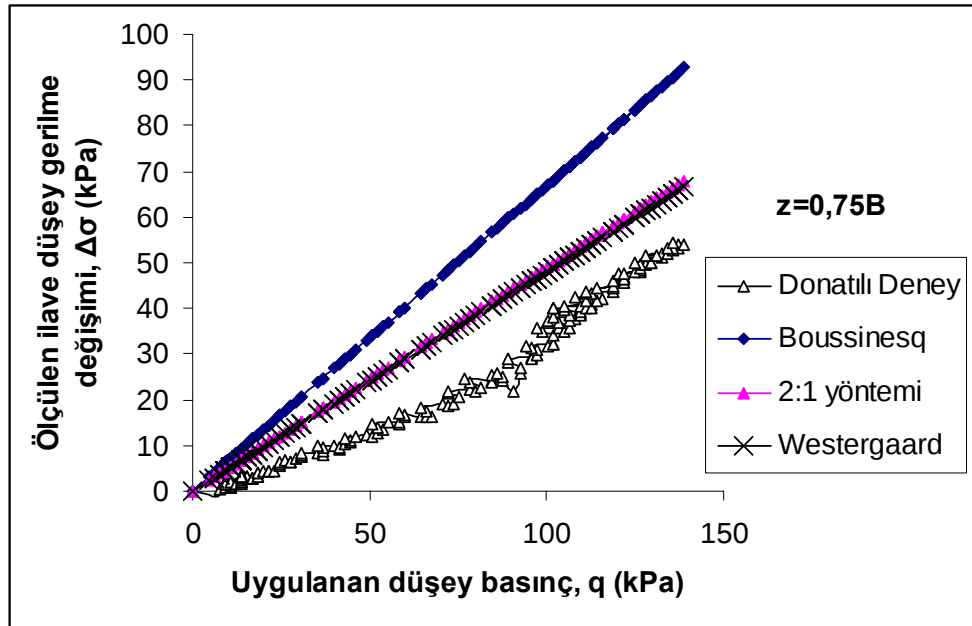
Şekil 4.340-Şekil 4.345'de temel plakasına uygulanan yükler ile zemin içine yerleştirilen basınç sensör okuma sonuçları gösterilmiştir. Donatılı bölgede; $z/B=0,35$; $0,55$ ve $0,75$ noktalarında ilave düşey gerilme değişimi Westergaard çözümünden biraz daha küçükçkmıştır. İkinci donatı civarında $z/B=0,75$ derinliğinde, yaklaşık $q \approx 100$ kPa basınçta ani ilave düşey gerilme artışı olmuştur. Önceki bölümlerde sunulan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde ortalama $q=100$ kPa civarında zeminin kırılmaya başladığı gözlenmiştir. Donatılı bölge altındaki zondaki derinliklerde ($z/B=1,1$; $1,65$ ve $2,2$) Westergaard ile benzer değerler ölçülmüş, yaklaşık $q=50$ kPa'dan sonra Boussinesq ile aynı veriler gözlenmiştir. Ortalama yaklaşık $q=100$ kPa 'dan sonra ölçülen ilave düşey gerilme değerleri daha da artarak literatür değerlerinden daha büyük veriler okunmuştur. Bu durum, zeminin yaklaşık $q=100$ kPa değerinden sonra göçmeye başladığı izlenimi vermiştir. Böylece, gerilme değişiminin ortalama taban basıncı-oturma eğrisi ile uyumlu çıktığı anlaşılmıştır.



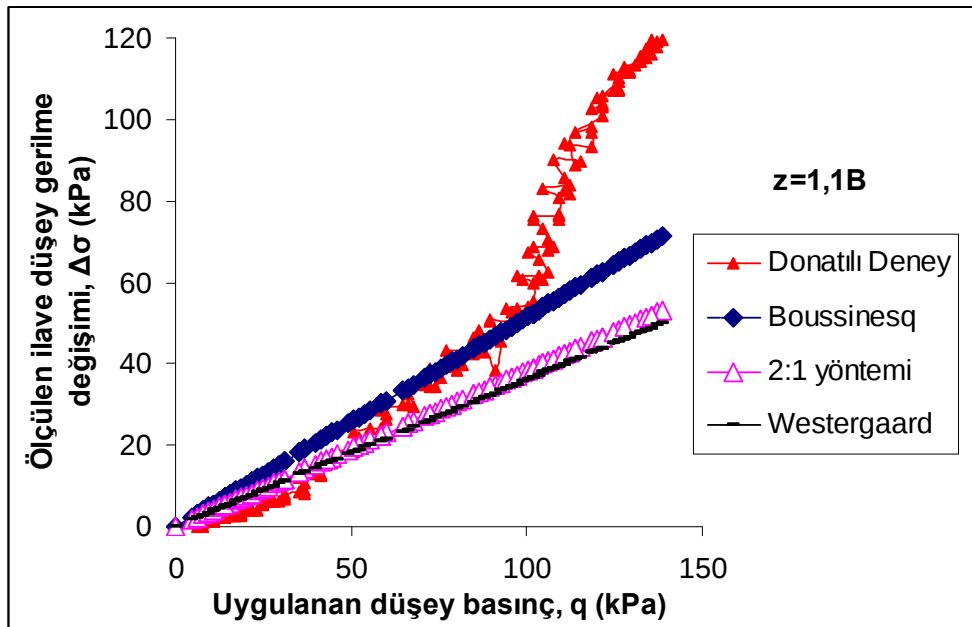
Şekil 4.340. $z=0,35B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



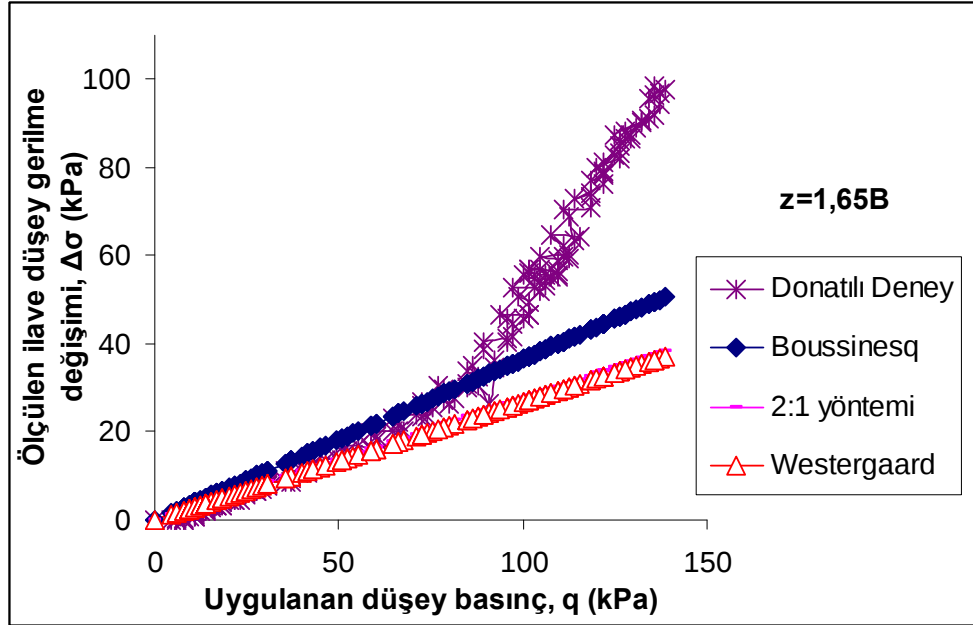
Şekil 4.341. $z=0,55B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



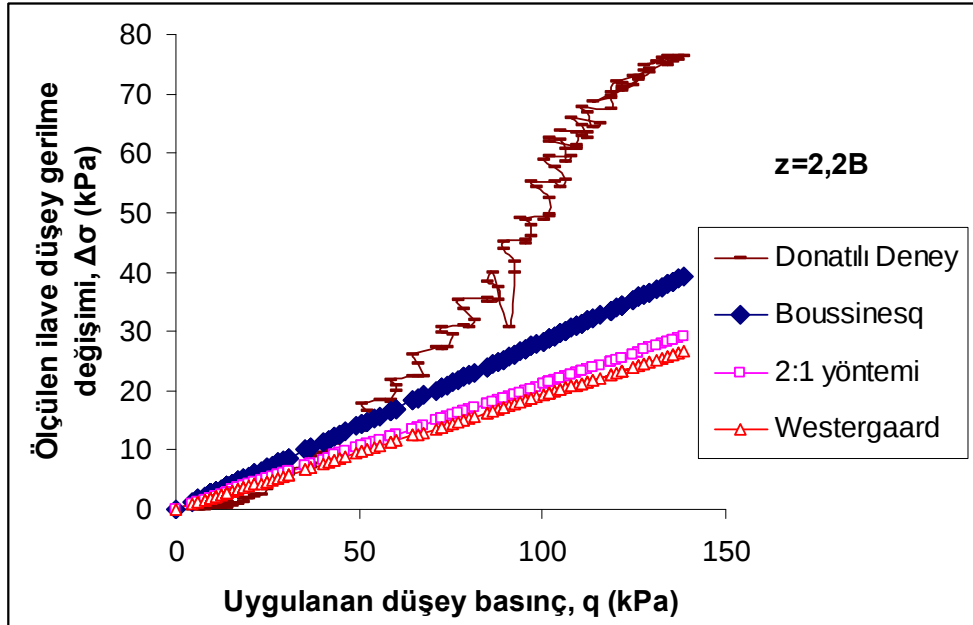
Şekil 4.342. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.343. $z=1,1B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

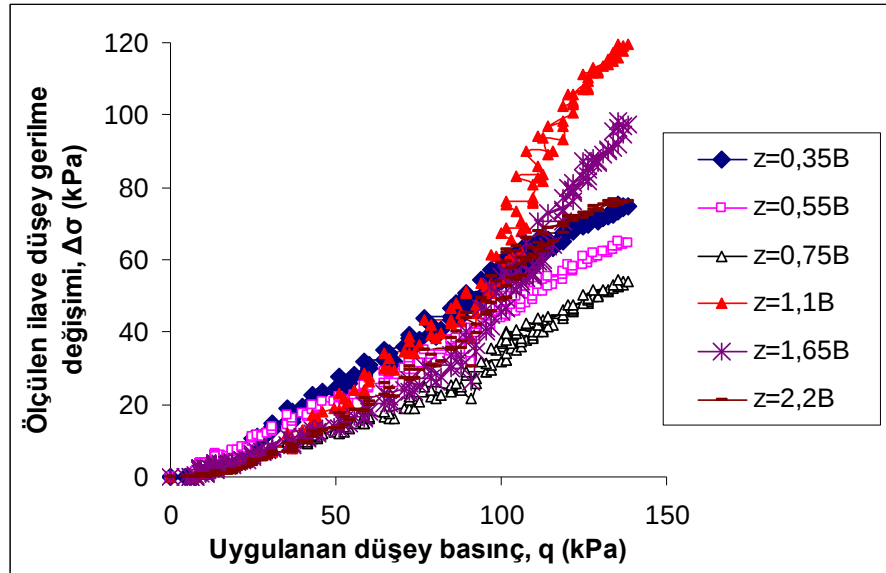


Şekil 4.344. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)



Şekil 4.345. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

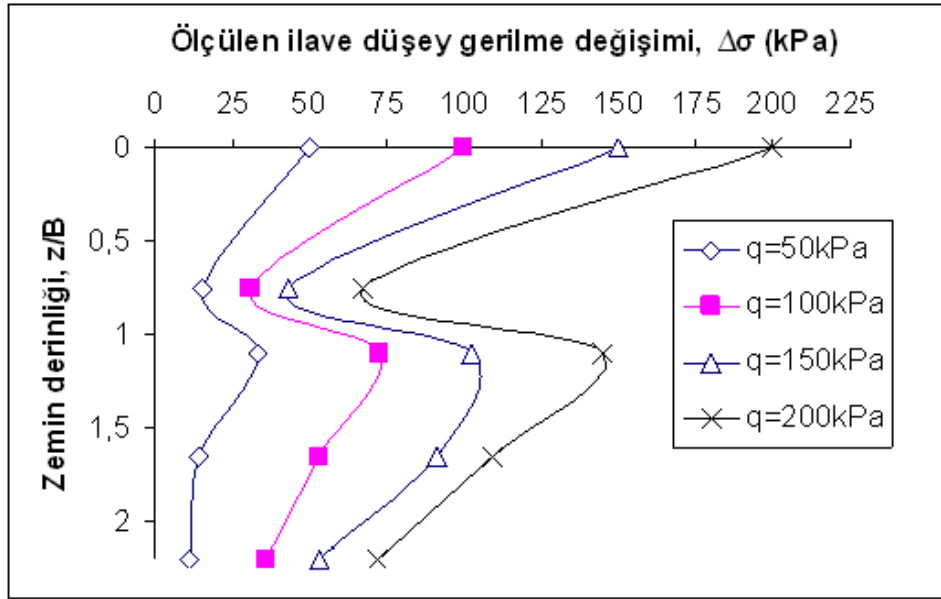
Şekil 4.346’da temel plakasına uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri görülmektedir. $z/B=1,1$ ve $1,65$ derinliklerinde deney ani basınç artışları meydana gelmiştir. Bu, zeminin bu derinliklerde kırılmaya çalıştığı düşünülmüştür.



Şekil 4.346. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=2$)

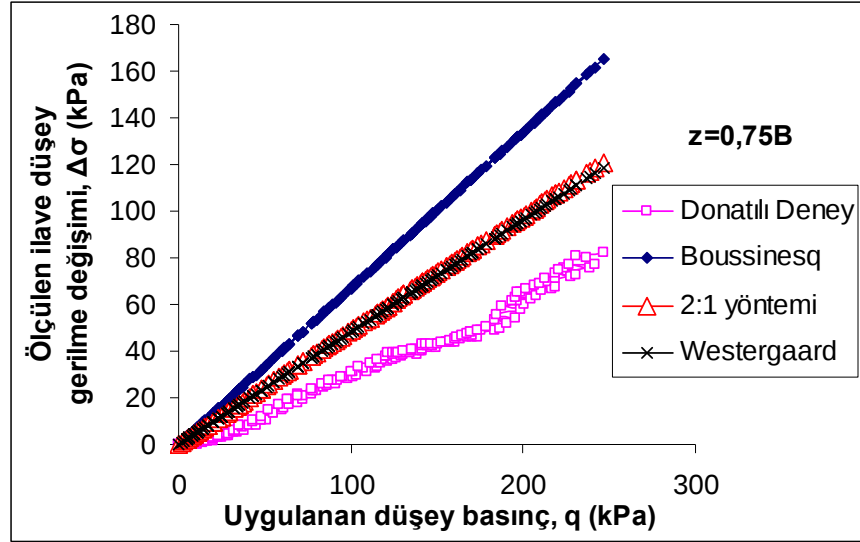
▪ Üç donatılı deney;

$N=3$ donatı sayılı orta sıkı kumda yapılan plaka yükleme deneylerinde, zemin içinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimi incelenmiştir. Temel plakasına uygulanan $q=50-200$ kPa değerindeki yüklerde zemin içinde temel merkezi altındaki farklı derinliklerde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri Şekil 4.347’de gösterilmiştir. Üst kısımlarda bulunan sensörlerden cihaz sayısının yeterli olmamasından ötürü okuma alınamamıştır. Donatılı bölge altında oluşan ilave düşey gerilme artış miktarı büyümüştür.

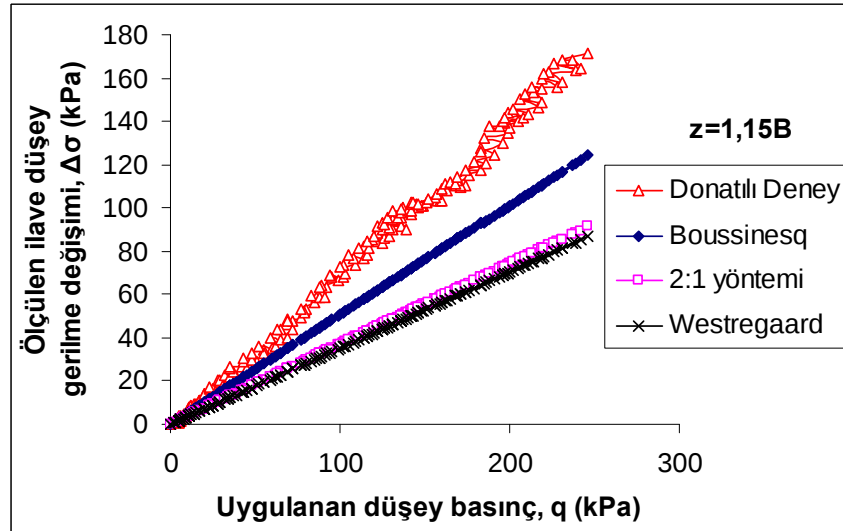


Şekil 4.347. Değişik zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

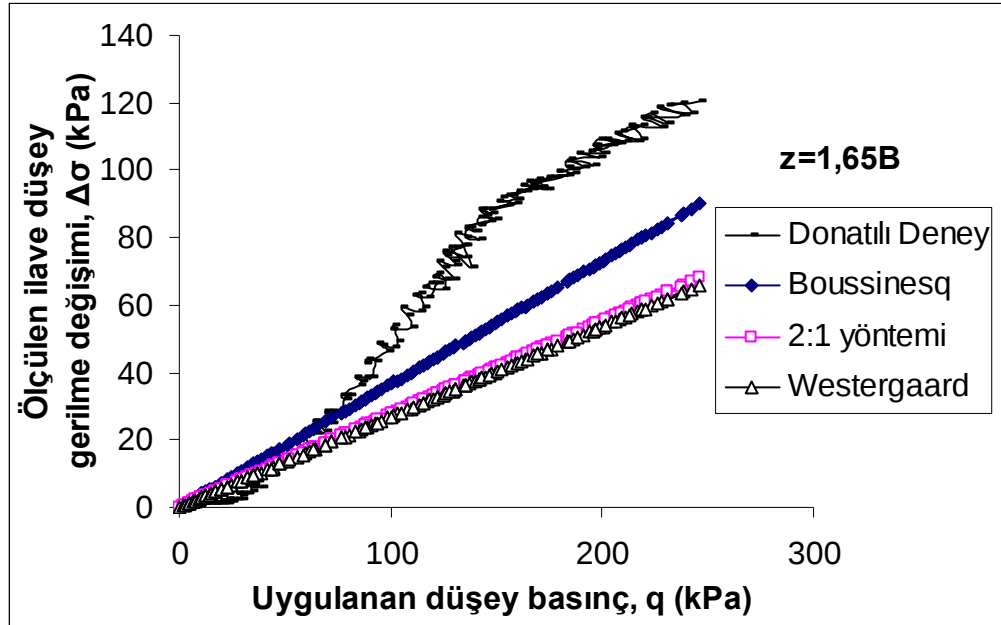
Şekil 4.348-Şekil 4.352’de temel plakasına uygulanan yükler ile zemin içine yerleştirilen basınç sensör okuma sonuçları gösterilmiştir. $z/B=0,75$ derinliğinde Westergaard çözümlerine yakın değerler okunurken yaklaşık $q \approx 120$ kPa yüklemede $\Delta\sigma$ değerleri ile uygulanan basınç arasındaki fark artmıştır. Donatılı bölge altındaki tüm derinliklerde Boussinesq hesaplarından daha büyük ilave düşey gerilme ölçümler alınmıştır. yaklaşık $q=120$ kPa yük değerinden sonra uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değerleri arasındaki ilişkiyi temsil eden grafiğin eğimi değişmiştir. Önceki bölümlerde sunulan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde ortalama yaklaşık $q \approx 120$ kPa yük civarında zeminin kırılmaya başladığı gözlenmiştir. Böylece donatının, göçme yükünü donatılı zon altına aktardığı düşünülmüştür.



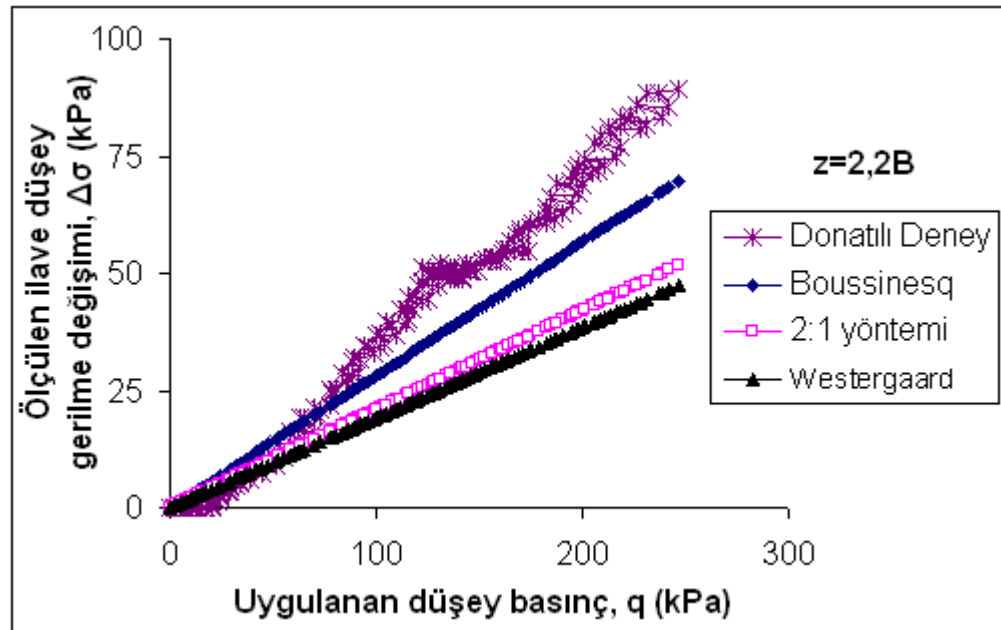
Şekil 4.348. $z=0,75B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



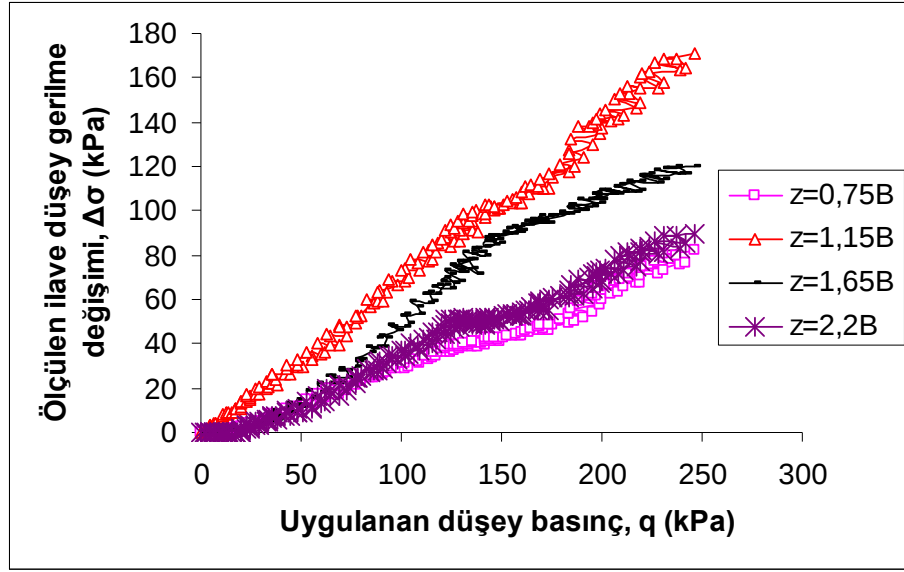
Şekil 4.349. $z=1,15B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.350. $z=1,65B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.351. $z=2,2B$ derinlikteki basınç okuma değerlerinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.352. Uygulanan basınç ile ölçülen ilave düşey gerilme değişim grafiği ($L/B=1$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Donatı genişliğinin parametre olarak seçildiği deneylerde, donatı genişliğinin küçülüp $L/B=1$ olduğunda, donatılı bölge altında daha fazla ilave düşey gerilme artışı meydana gelmiştir. Göçme yüzeyinin oluşmaya başladığı tahmin edilen yükten sonra; zemin tamamen göçene kadar donatılı bölge altındaki $\Delta\sigma$ değerlerinin uygulanan yük arasındaki artış miktarı büyümüşür.

Düşey gerilme değişimlerinin belirlenmesi için yapılan tüm deney sonuçları incelendiğinde aşağıdaki ortak sonuçlara ulaşılmıştır;

- Donatısız zeminde temel plakasına yakın zemin derinliklerinde ölçülen ilave düşey gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$) Westergaard hesaplarına yakın çıkmıştır. İlk göçme yükünde ise Boussinesq çözümlerine yaklaşılmıştır. Bu yük değeri geçildikten sonra ise yeniden $\Delta\sigma$ miktarı azalmış ve yük arttıkça yaklaşık Westergaard ile benzer okumalar alınmıştır.
- Donatı sayısı arttıkça, ilave düşey gerilme artışının etkilendiği bölgenin derinliğinin de büyüdüğü gözlenmiştir.

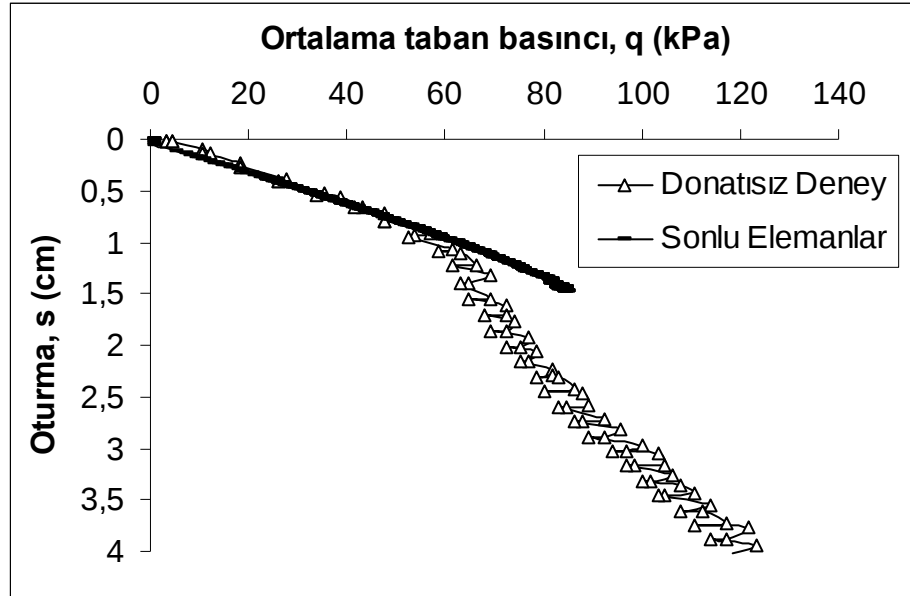
- Donatılı deneylerde düşey ilave yük dağılımı, plaka üzerine uygulanan yüklerle lineer orantılı olmamıştır. Küçük düşey yüklerde temel plakasına yakın bölgelerde $\Delta\sigma$ /düşey yük değeri daha büyükken, artan düşey yük değeri ile bu oran küçülmüştür. Daha büyük derinliklerde ise bunun tam tersi davranışlar da gözlenmiştir.
- Farklı donatı parametreleri $\Delta\sigma$ davranışları üzerinde etkili olmuştur. Donatılı bölge derinliğinin yaklaşık benzer olduğu sistemlerde derinlerde oluşan ilave düşey gerilme değişimlerinin davranışı birbiri ile uyum göstermiştir.

4.4. Teorik Analizler ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde, deneysel çalışmaya benzer olarak donatısız ve donatılı kum zemine oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi ve gerilme davranışı Sonlu Elemanlar (SE) ile araştırılmıştır. Analizlerde zemin cinsi, temel boyutları, sınır koşulları ve yükleme durumu gibi özellikler deneydekilere yakın alınmaya çalışılmıştır. Deney ve analizlerden elde edilen donatısız ve donatılı kum zeminin yük-oturma ilişkisi, donatı yerleşim parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisi ve zemin içerisinde ilave basınç dağılım değişimleri incelenmiştir. SE analiz hesapları, deney ölçümleri ve teorik değerler ile karşılaştırılmıştır

4.4.1. Donatısız kum zemindeki analizler

Donatısız orta sıkı kum zemine oturan $B=10$ cm genişlikli yüzeysel şerit temelin deney sonucu ile Sonlu Elemanlarda yapılan model analizi karşılaştırılmıştır. Şekil 4.353’de deneyden ve Sonlu Elemanlarda elde edilen sonuçların grafiği çizilmiştir. Yaklaşık $s/B=1$ oturma oranına kadar eğriler üst üste çıkmıştır. Fakat deney orta sıkı kumda yapıldığı için SE’da orta sıkı zeminin ilk taşıma gücü yenilmesinden sonraki davranışını tanımlamak zorlaşmıştır. Deney sonucunun ilk kırılma noktasına kadar analiz ile yaklaşık aynı değerler elde edilmiştir.

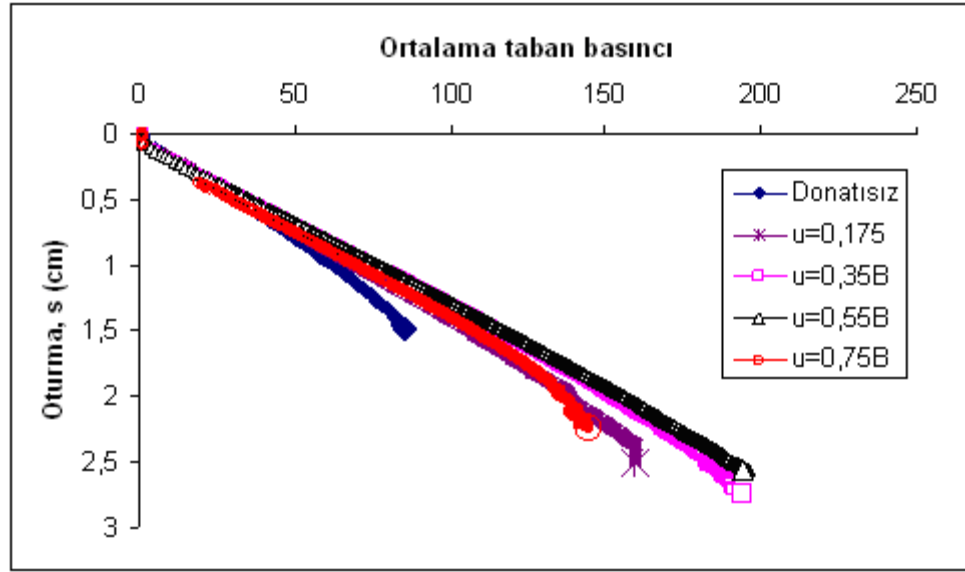


Şekil 4.353. Donatısız zeminde deney ve SE sonuçlarının karşılaştırılması

4.4.2. Donatılı kum zemin analizleri

Analizlerde şerit temel plak genişliği ($B=10$ cm) sabit alınarak SE analizlerinde düzlem deformasyon koşullarında donatı yerleşim faktörlerinin taşıma kapasitesi oranına (BCR) etkisi incelenmiştir. BCR hesaplarında deneylerde olduğu gibi, temel plakasının belirli oturma oranlarına karşılık gelen donatısız taşıma kapasiteleri ile donatılı model sonuçlarının oranlanması ile elde edilmiştir.

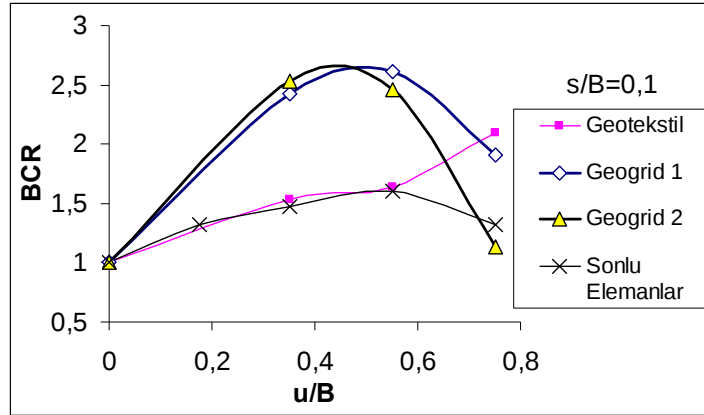
Sisteme yerleştirilen ilk geosentetik donatının temel plakasına olan düşey derinliğinin taşıma kapasitesine etkisini SE analizleri ile araştırılmıştır. Hesaplarda ilk donatı derinliği ($u=0,35B$) ve donatı genişliği ($L=3B$), donatı tabaka sayısı ($N=3$) ve donatı düşey aralığı ($h=0,4B$) sabit alınmıştır. Şekil 4.354’de değişik ilk donatı derinliklerinde yapılan analizlerden elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir.



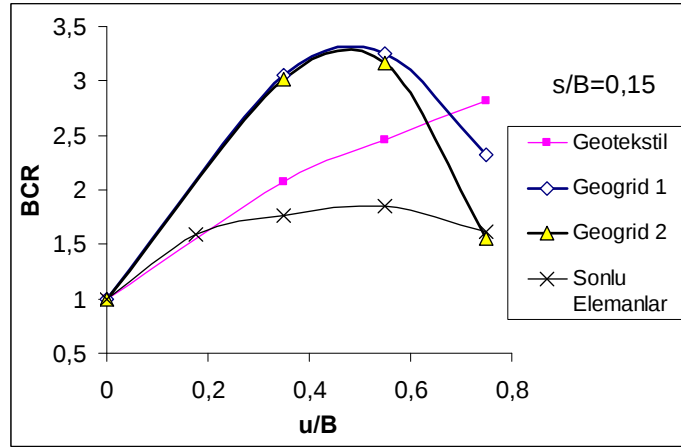
Şekil 4.354. SE analizlerinden hesaplanan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $h/B=0,4$; $N=3$)

$s/B=0,1-0,15$ oturma oranları için SE analiz sonuçları ile laboratuvar model deneylerinde 3 farklı geosentetik (Geotekstil, Geogrid 1 ve Geogrid 2) kullanılarak elde edilen değerler Şekil 4.355’de incelenmiştir. Donatısız durumdaki taşıma kapasite oranını; $u/B=0$ ’da $BCR=1$ ifadesi temsil edilmiştir.

Donatılı SE analizlerinden elde edilen değerler $s/B=0,1$ oturma oranında, Dokunmuş Geotekstilli deney sonuçlarına çok daha yakın bulunmuştur. Oturma oranı arttıkça deneylerden elde edilen taşıma kapasite oranları SE hesaplarına göre daha büyük çıkmıştır. Buradan küçük oturma ve yük değerlerindeki sonuçların Geotekstil donatılı zemin davranışını modelleyebildiği görülmüştür.



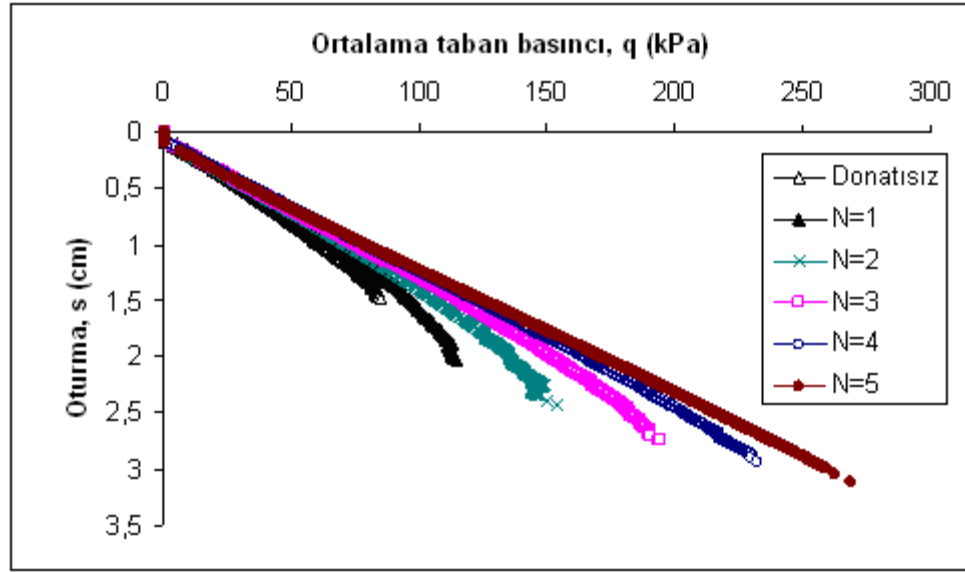
a



b

Şekil 4.355. $s/B=0,1$ ve $0,15$ oturma oranında İlk donatı derinliği-Taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

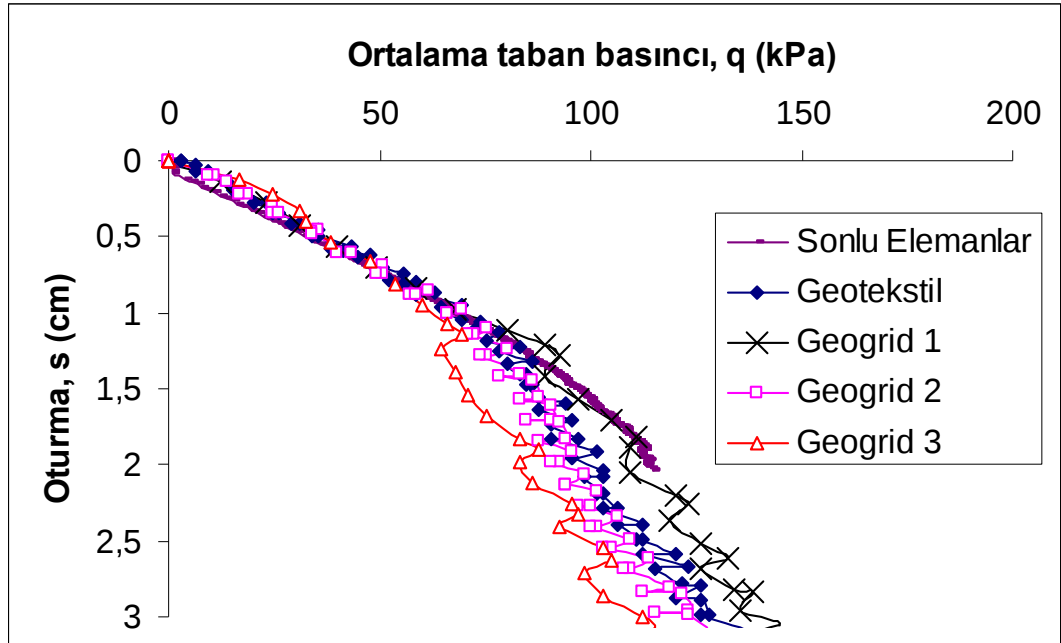
Geosentetik donatı sayısının taşıma kapasitesine etkisini araştırmak ve ilerde incelenecek olan gerilme davranışına etkisi hangi kademeye kadar deneyile örtüşebileceğini belirlemek amacıyla SE analizlerine devam edilmiştir. Donatı sayısı $N=1-5$ arasında alınarak yapılan hesaplamalarda ilk donatı derinliği ($u=0,35B$), donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır. Şekil 4.356’da SE analizleri sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri verilmiştir.



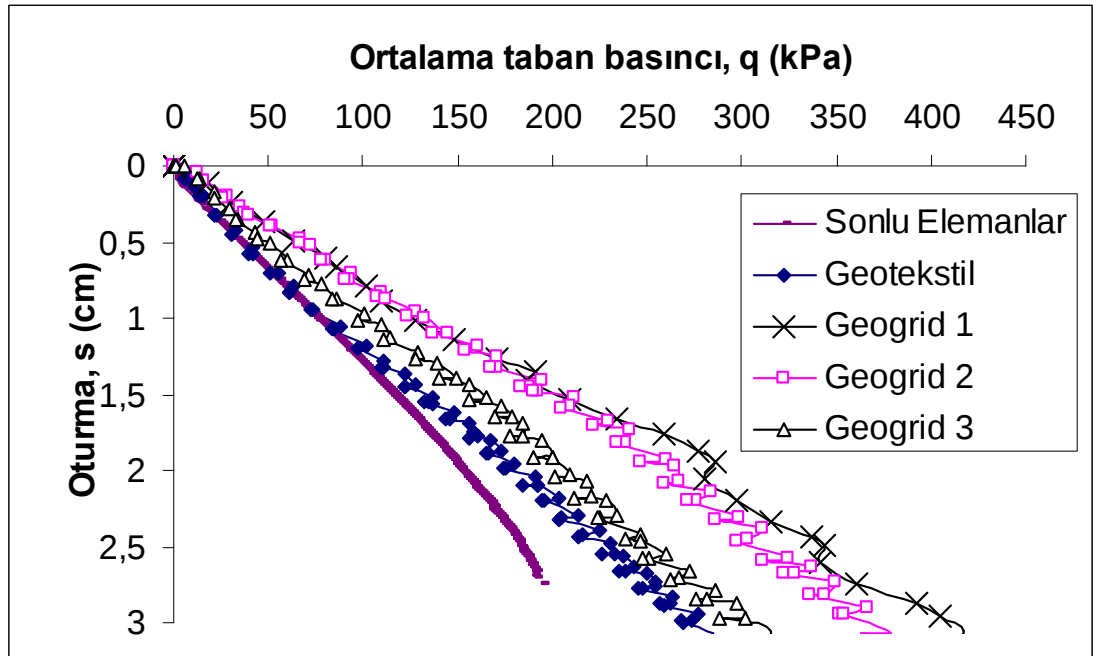
Şekil 4.356. SE analizlerinden hesaplanan ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$)

Temel plakası oturma miktarının artması ile sisteme eklenen donatılara yük aktarılabilmiş ve taşıma kapasitesi yükselmiştir. Daha büyük oturma oranlarında analiz sonuçlarından elde edilen nihai taşıma kapasiteleri de yükselmiştir. Daha büyük oturma oranlarında farklı donatı sayılarında oluşan taşıma gücü değerleri arasındaki fark artmıştır. Benzer değerlendirme laboratuvar model deneylerinde de görülmüştür.

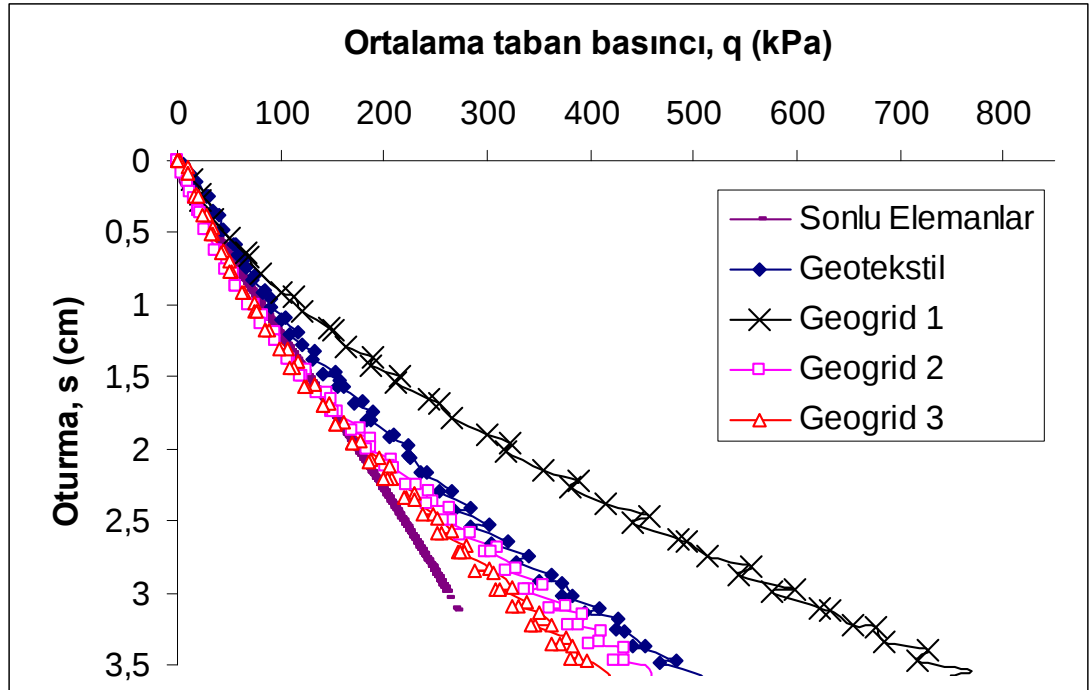
Farklı donatı sayıları için deneylerden ve SE analizlerinden elde edilen ortalama taban basıncı-oturma ilişkisi aşağıdaki gibi Şekil 4.357-Şekil 4.359'da incelenmiştir. Araştırmada farklı donatı çeşitleri ve SE analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Donatı sayısı arttıkça SE analiz sonuçları deney verilerinden daha küçük değerler vermiştir. Temel plakasının yaptığı oturma miktarının düşük değerlerinde deney ile SE sonuçları birbirine daha yakın olup, büyük oturma oranlarında SE ile deneyler arasındaki fark artmıştır. SE hesaplamaları Geotekstil donatılı deney ölçümleri ile küçük yük değerlerinde uyduğu gözlenmiştir. Bu sebepten bu araştırma için, büyük oturma oranlarında ve 100 kPa'dan daha yüksek yüklemelerde deney verileri ile SE sonucunda bulunan ilave düşey gerilmelerin incelenmemesine karar verilmiştir.



Şekil 4.357. Tek donatı sayılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=1$)

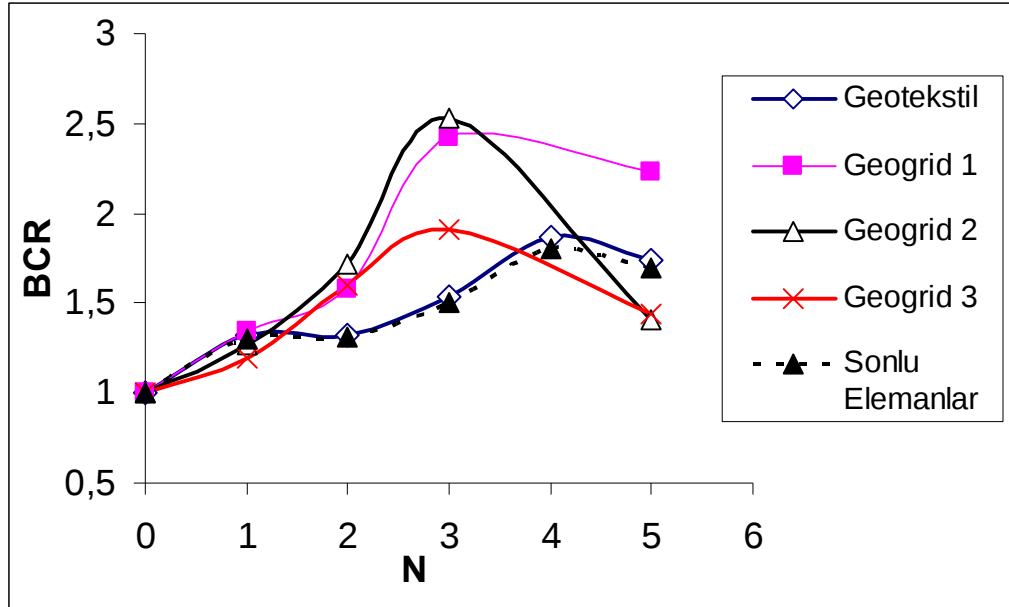


Şekil 4.358. Üç donatılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)



Şekil 4.359. Beş donatılı sistemde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=5$)

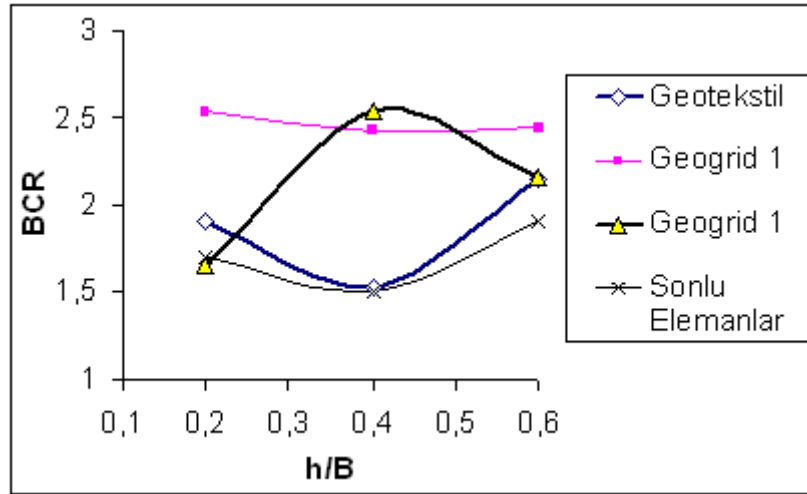
Oturma oranının küçük değerinde ($s/B=0,1$ için) SE analiz hesapları, donatı sayısının değişmesiyle taşıma kapasitesi ilişkisi; Geotekstil donatılı orta sıkı kum laboratuvar model deneyleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.360). Sonlu Elemanlar analizlerinde farklı donatı sayıları için $s/B=0,1$ oturma oranında incelenen BCR değerleri değerlendirildiğinde, maksimum taşıma kapasitesinin $N=4$ 'de olduğu gözlenmiştir. Bu durum, küçük yüklerde SE analiz sonuçlarının, geotekstil kullanılarak yapılan laboratuvar deney ölçümleri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.360. $s/B=0,1$ oturma oranında farklı aralıklarda donatı sayısı-taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$; $h/B=0,4$)

Tüm parametrelerin sabit alınıp farklı donatı düşey aralıklarında yapılan analiz sonuçları laboratuvar deney verileri ile değerlendirilmiştir (Şekil 4.361). Donatı sayısı ($N=3$), ilk donatı derinliği ($u=0,35B$) ve geosentetik genişliği ($L=3B$) sabit alınmıştır. Araştırmada donatı düşey aralıkları $h/B=0,2$; $0,4$; $0,6$ değerlerindedir. Aşağıdaki Şekil 4.361 farklı donatı aralıklarında hesaplanan BCR'ler verilmiştir. Temel plakasına uygulanan küçük yüklerde Sonlu Elemanlar ile Geotekstil kullanılarak yapılan laboratuvar deney sonuçları birbiri ile daha uyumlu gözükmiştir.

Yapılan tüm analiz sonuçları değerlendirildiğinde küçük oturma aralıklarında yani küçük temel yüklemelerinde SE hesaplarının kısmen de olsa Geotekstilli deney sonuçlarını temsil edebileceği görülmüştür. Bu nedenle aşağıdaki bölümde sunulacak olan zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmelerin değerlendirilmesinde; sadece küçük yükler ($q \leq 100$ kPa) için alınan sonuçlar incelenmiştir.



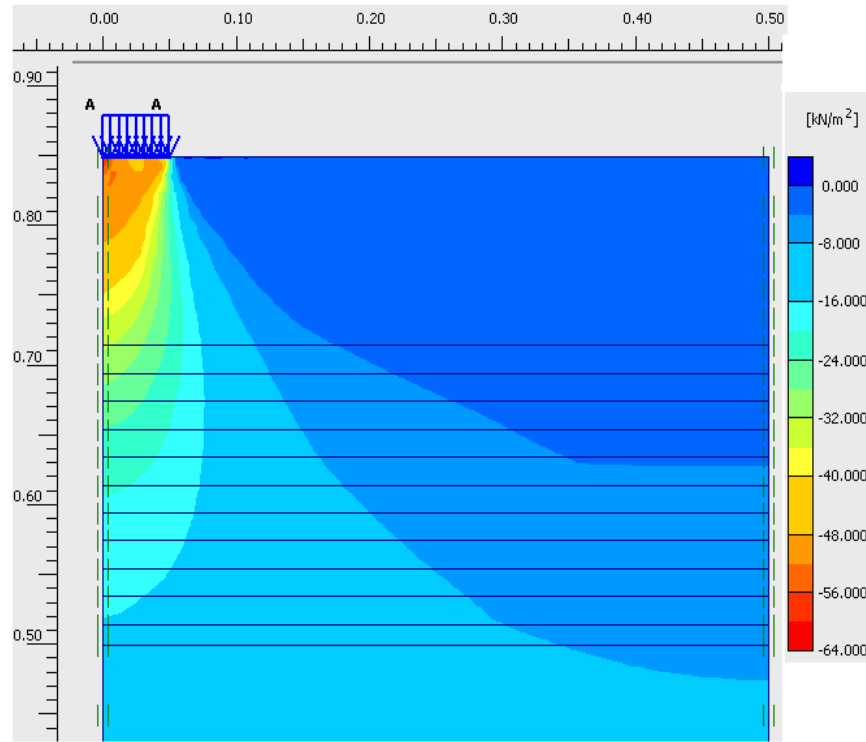
Şekil 4.361. $s/B=0,1$ oturma oranında Donatı düşey aralığı-Taşıma kapasite oranı ilişkisi ($L/B=3$; $u/B=0,35$, $N=3$)

4.4.3. Zemin içinde oluşan ilave düşey gerilme değişimleri

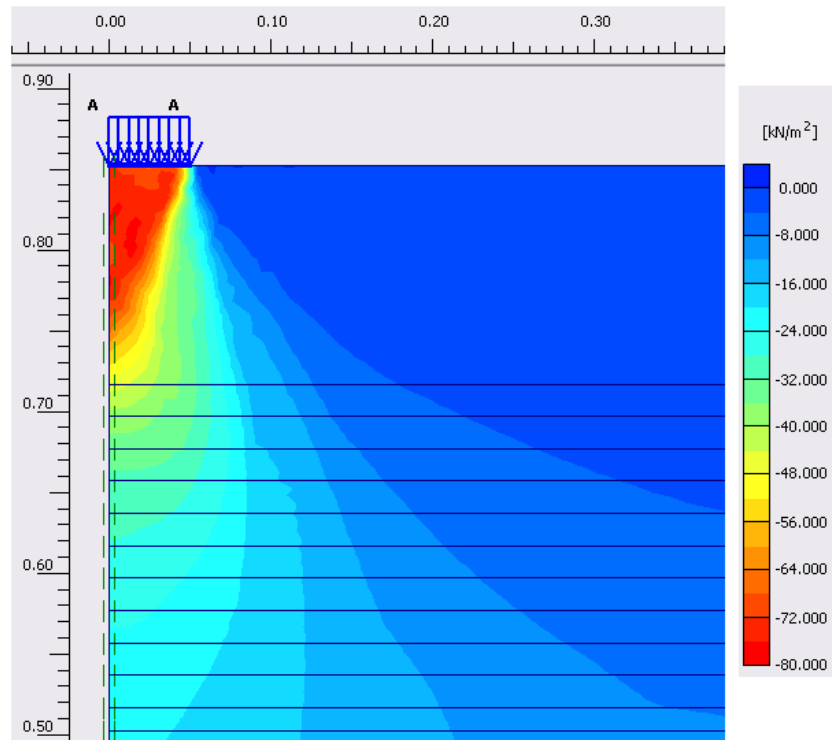
Bu bölümde donatısız ve donatılı Sonlu Eleman analizlerinden hesaplanan kum zemin içindeki ilave düşey gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$) incelenmiştir. Farklı donatı parametreleri için yapılan analiz sonuçları deney ve teorik (Boussinesq ve Westergaard) hesaplamalar ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Analizler donatısız ve donatılı olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

a. Donatısız analizler;

Bölüm başında sunulan sistem kullanılarak analizler yapılmıştır. Temel plakasına $q_u=50$ kPa ve 70 kPa yük uygulandıktan sonra oluşan ilave düşey gerilmeler araştırılmıştır. Şekil 4.362'de $q_u=50$ kPa ve 70 kPa değerindeki temel plaka yüklemeleri sonucunda düşey yönde oluşan gerilme dağılışı verilmektedir. Temele uygulanan yük arttıkça $\Delta\sigma$ 'de büyümüştür. Düşey gerilmeler yaklaşık temel genişliğinin yaklaşık 3B derinliğine kadar etkili olmuş olup, maksimum gerilmeler yaklaşık 1,5B'ye kadar inmiştir.



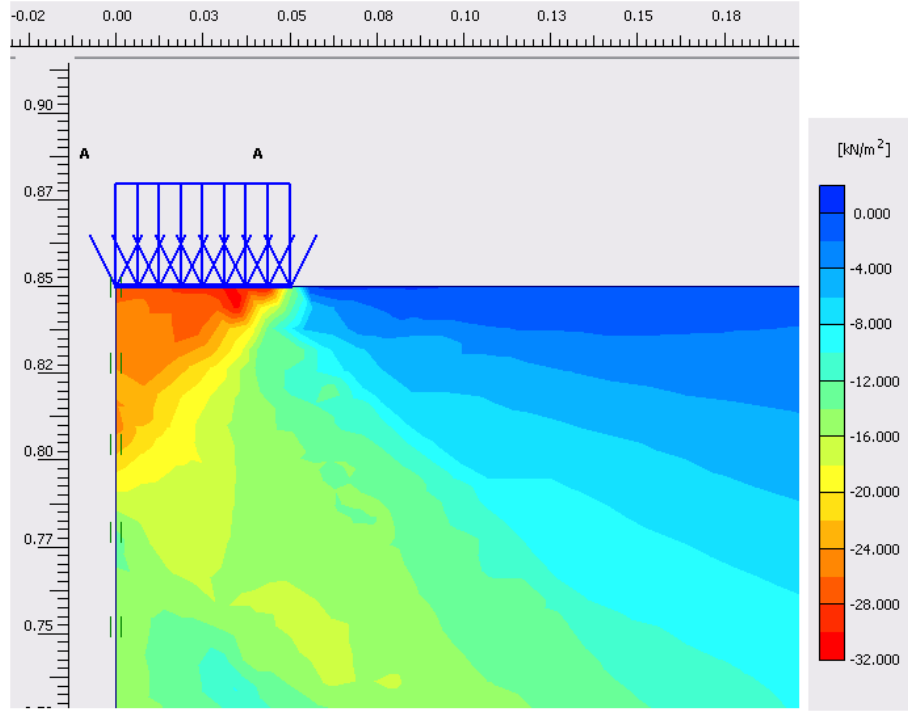
a



b

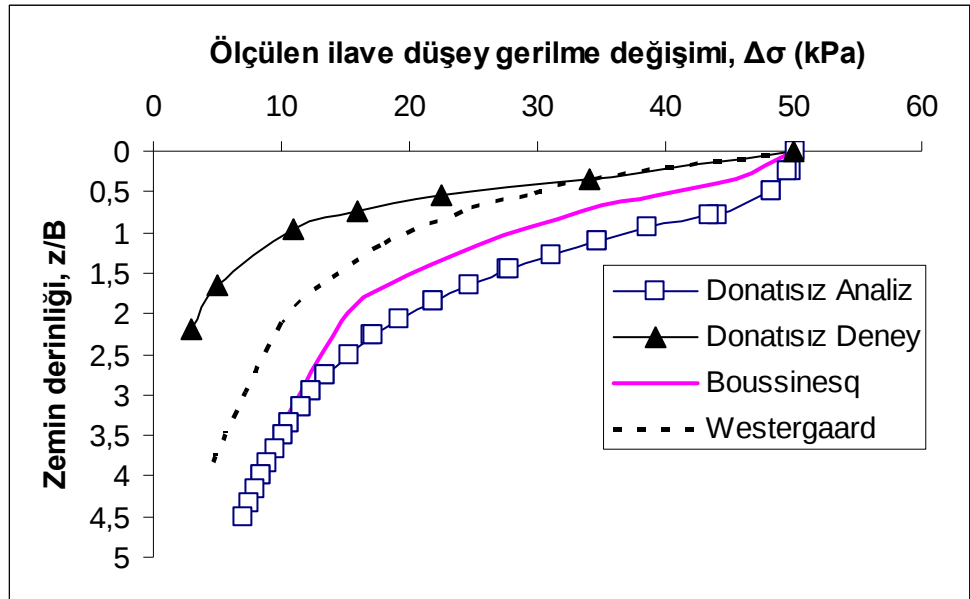
Şekil 4.362. Donatısız modelde oluşan düşey gerilme dağılımı
 * a.q=50kPa, b.q=70kPa

$q=70$ kPa yatay doğrultuda oluşan gerilme dağılımı Şekil 4.363’de verilmiştir. Bu Şekil donatılı analizlerde geosentetiğin etkisinin anlaşılabilmesi açısından sunulmuştur.

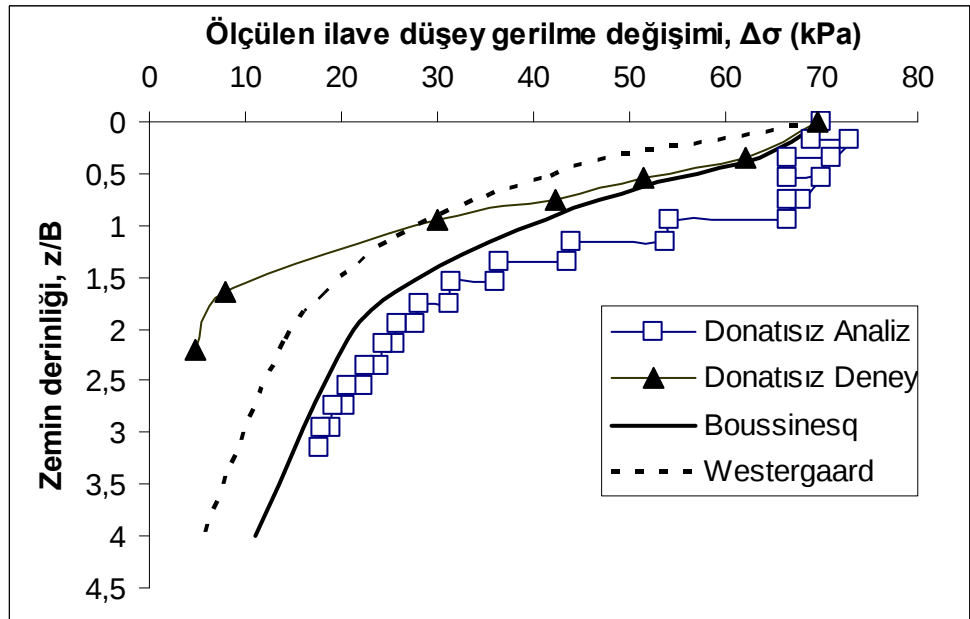


Şekil 4.363. Donatısız modelde oluşan yatay gerilme dağılımı ($q=70$ kPa)

Donatısız zemine 50 kPa ve 70 kPa yük uygulandığında 4,5B derinliğine kadar düşey yönde meydana gelen gerilme değerleri aşağıdaki Şekil 4.364’deki gibidir. Geotekstil kullanılarak yapılan bu çalışmadaki deneysel ve teorik (Boussinesq ve Westergaard) çalışmalar karşılaştırılmıştır. Donatısız analizler sonucunda hesaplanan ilave düşey gerilmelerin, teorik çözümlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Deneylerde ölçülen ilave düşey gerilmeler ise 50 kPa’da temel plakasına yakın derinliklerde Westergaard ile, $q=70$ kPa yüklemede ise Boussinesq ile yakın çözümler sunmuştur. Temel plakasından uzaklaştıkça ölçülen basınçlar deneylerde daha hızlı azalmıştır. Analiz sonuçlarında ise Boussinesq’ya yakın sonuçlar alınmıştır. Temel plakasından uzaklaştıkça ölçülen ilave düşey gerilmeler deneyde diğer sonuçlara nazaran çok daha hızlı azalmıştır.



a



b

Şekil 4.364. Donatısız zeminde ilave düşey gerilme değişimleri

* a. $q=50$ kPa, b. $q=70$ kPa

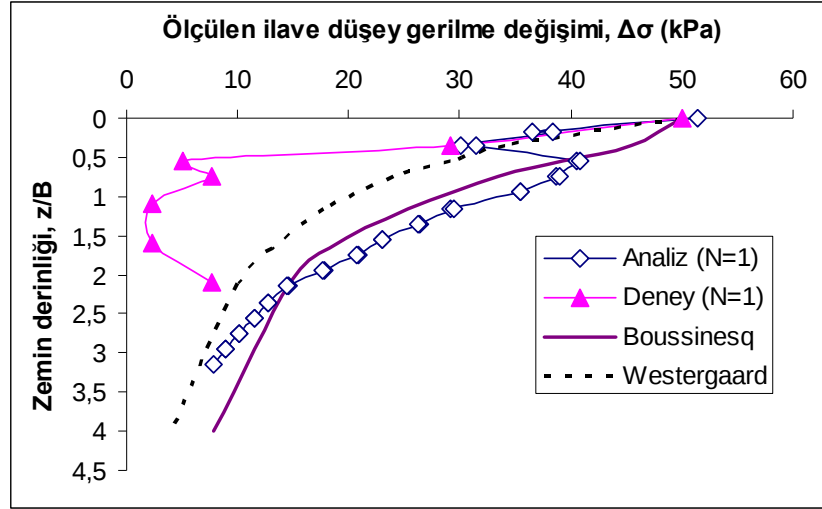
b. Donatılı analizler;

Zemin ve temel özellikleri donatısız durumdaki ile aynı alınmıştır. Geosentetik donatı Geotekstil modellenmeye çalışılmış ve eksenel rijitlik $J=550 \text{ kN/m}$ alınmıştır. Zemin ile donatı arasında ara yüzey tanımlanmış olup, ara yüzey katsayısı $R_{\text{inter}}=0,7$ 'dir. Değişik donatı parametrelerinde SE analizleri yapılarak zemin içinde temel merkezi altında oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Deneylerde temel plakası altındaki sıfır derinlikte ($z=0$) basınç sensörü konmamıştır. Bu derinlikteki gerilme değeri olarak, temel plakasına uygulanan ortalama taban basıncı (q) işaretlenmiştir. Aşağıda analizlerden hesaplarının, deney ölçümleri ve teorik değerler ile değerlendirilmiştir;

i. Tek donatı kullanılması;

Tek donatı kullanılması halinde temel merkezi altında zemin içinde farklı düşey derinliklerde Sonlu Elemanlar ile analiz edilen ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir (Şekil 4.365). Temel plakası altındaki donatı derinliği $u/B=0,35$ ve genişliği $L=3B$ alınmıştır. Temel plakasına yakın bölgede analiz ve deney $\Delta\sigma$ ölçümleri yaklaşık Westergaard çözümleri ile aynıdır. Donatılı bölge altında deneyde oluşan ilave düşey gerilmeler analiz ve teorik çözümlere nazaran çok daha düşüktür. Analiz sonucunda donatı geçildikten sonra $\Delta\sigma$ Boussinesq değerlerine yaklaşmış, model derinlerine inildikçe Westergaard ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Donatı sayısının değiştirilmesi ile ilave düşey gerilme değişimine farklı donatı parametrelerinde devam edilmiştir. Farklı donatı aralığı, derinliği ve genişliğinde yapılan analiz sonuçları aşağıdaki gibi bulunmuştur;



Şekil 4.365. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=1$)

ii. Farklı donatı düşey aralıklarındaki SE analizleri;

Bu bölümde, donatı düşey aralığının üç farklı değerinde ($h/B=0,6$; $0,4$ ve $0,2$) yapılan analizlerden okunan ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-5$) analizler yapılmıştır. Aşağıda üç ayrı seride yapılan hesaplar değerlendirilmiştir;

▪ $h/B=0,6$ donatı düşey aralıklı analizler;

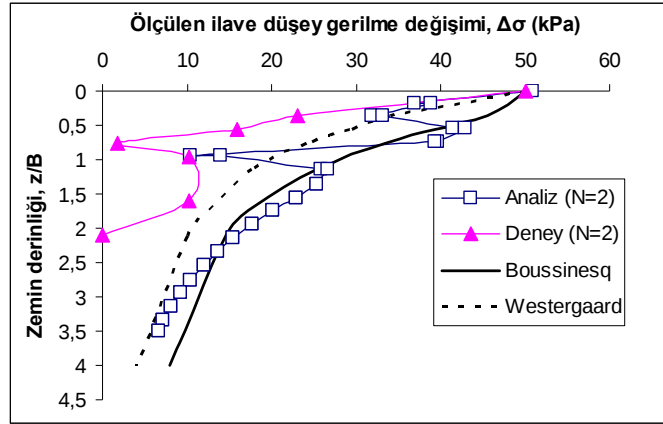
Bu seride $h/B=0,6$ donatı aralığında donatı sayısı değiştirilerek temel yükleme analizlerinde temel merkezi altında zemin içinde hesaplanan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-5$) analizler yapılmıştır. Sonlu Elemanlar ile temel plakasına $q=50-100$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan düşey gerilmeler deney ölçümleri ve teorik (Westergaard ile Boussinesq) çözümler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.366 ve Şekil 4.367). Analiz sonuçları ile deney ölçümleri arasında uyum gözlenmiştir. Deney ölçümleri analizlere nazaran bir miktar daha küçüktür. Fakat donatı etkisi her iki araştırmada da benzer bir etki yaratmıştır. Deneylerde sınırlı sayıda sensör

kullanıldığından, bazı noktalardaki gerilme değişimleri değerlendirilememiştir. Analiz sonuçları ile deneylerin benzerlik göstermesi, küçük yüklerde oluşan ilave düşey gerilme değişimlerin incelenmesinde SE yönteminden yararlanılması açısından önemlidir.

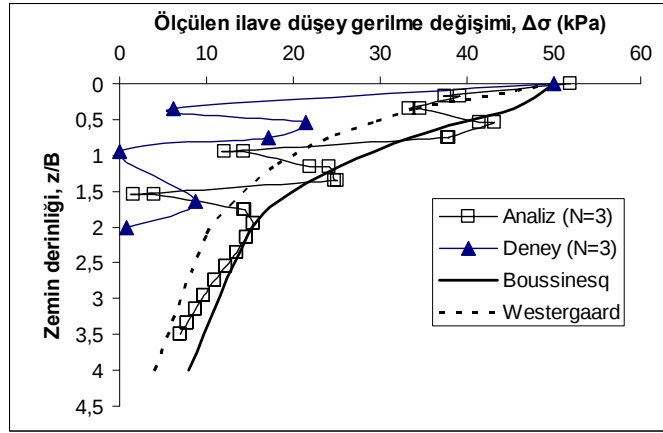
Şekil 4.368’de donatılı sistemin $q=50$ kPa yükleme sonrası düşey ve yatay gerilme profili gösterilmektedir. Büyük donatı aralığında, daha derinlerde de yüklerin yataya aktarıldığı gözlenmiştir.

SE analizleri ile hesaplanan ilave düşey gerilmeler deney ölçümlerinden bir miktar daha yüksek çıkmıştır. Fakat donatı bölgede gerilme değişimleri yaklaşık aynı davranış sergilemiştir. Böylece SE ile deney verileri birbirleri ile uyumlu oldukları gözlenmiştir.

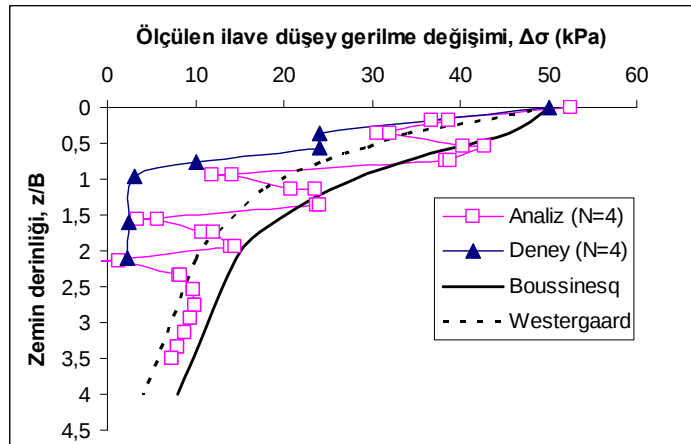
Donatısız analizde gerilmeler Boussinesq’den biraz daha büyük $\Delta\sigma$ değerleri vermiştir. modellerde donatı konulunca $\Delta\sigma$, Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır. Donatı sayısı arttıkça Westergaard’dan daha küçük ilave düşey gerilme değerleri hesaplanmıştır.



a

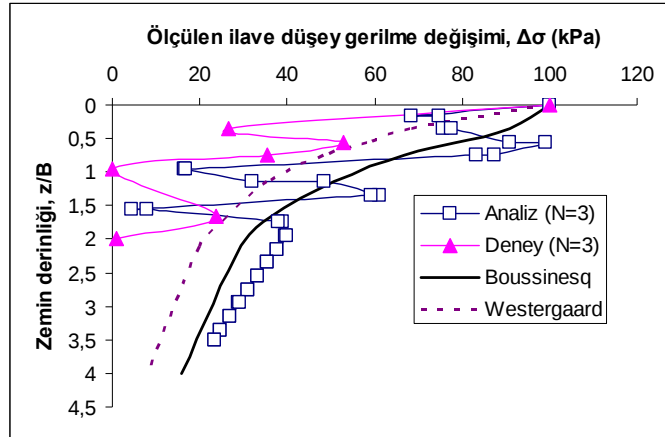


b

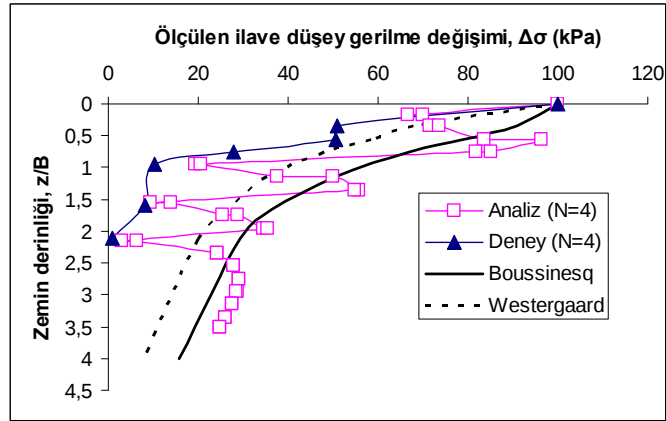


c

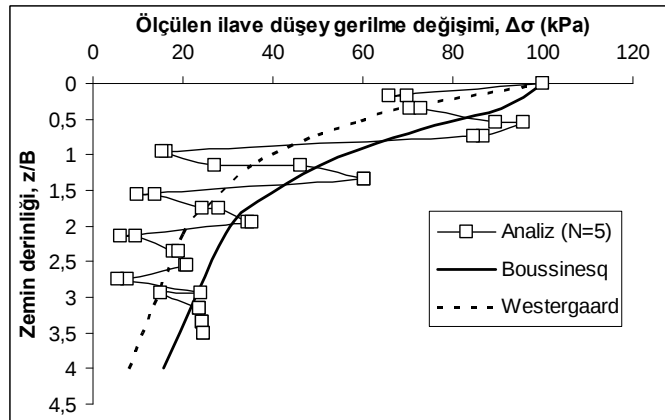
Şekil 4.366. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$, c. $N=4$



a

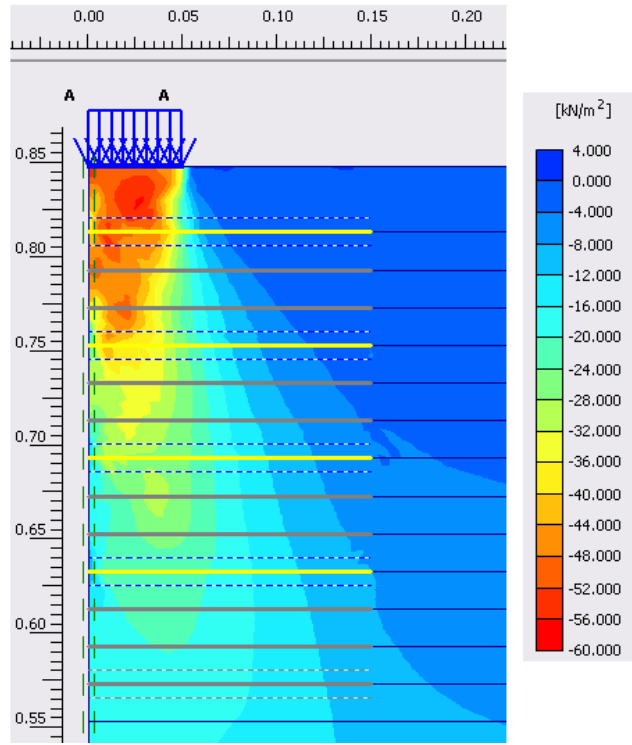


b

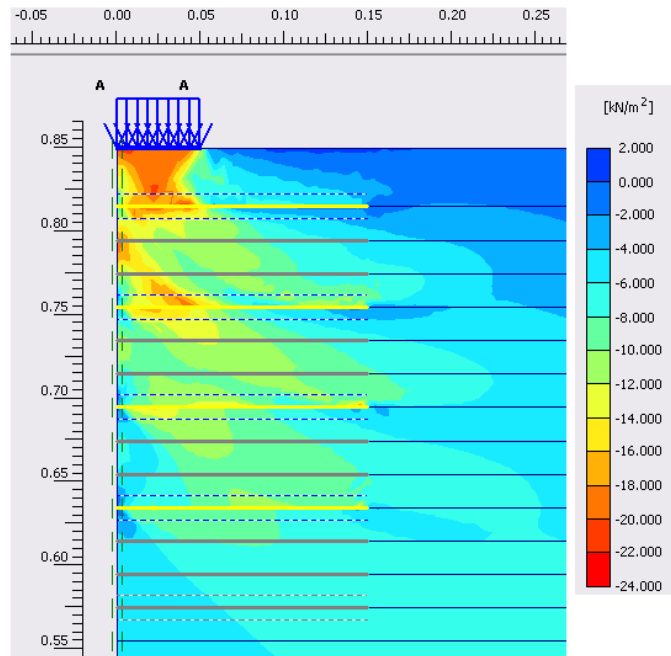


c

Şekil 4.367. Donatılı zeminde $q=100$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$); a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$



a



b

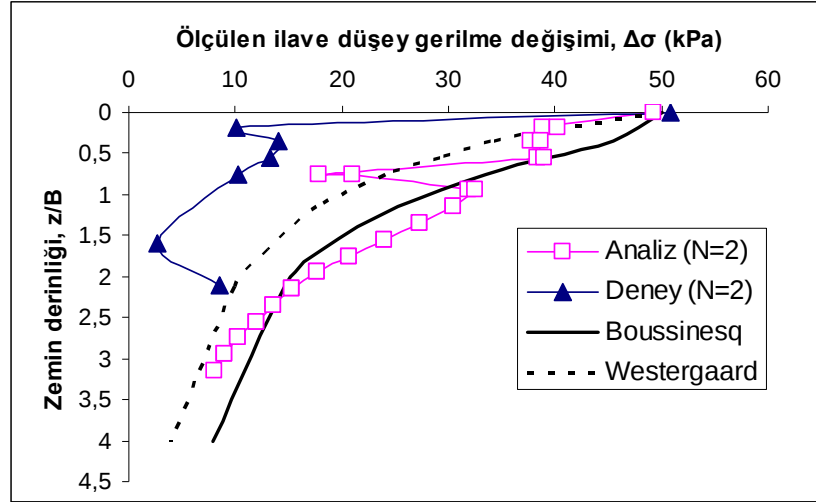
Şekil 4.368. Donatılı modelde $q=50$ kPa'da oluşan gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,6$; $L/B=3$; $N=4$); a.Düşey, b.Yatay

▪ **$h/B=0,4$ donatı düşey aralıklı analizler;**

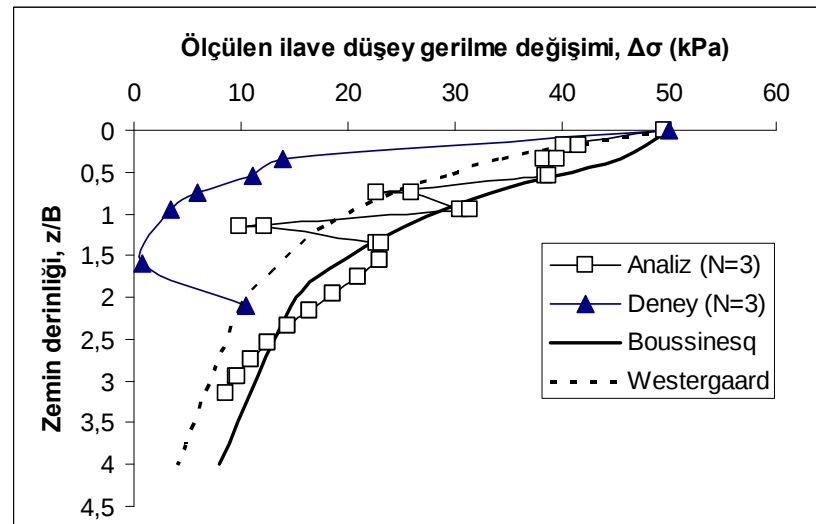
Bu seride $h/B=0,4$ donatı aralığında donatı sayısı değiştirilerek temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-5$) analizler yapılmıştır. SE ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler, deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.369 ve Şekil 4.370).

Donatılı deneylerde oluşan ilave düşey gerilmeler analiz ve teorik çözümlere nazaran daha düşüktür. SE analizlerinden hesaplanan $\Delta\sigma$, donatı tabakalarında azalarak Westergaard ve Boussinesq değerlerine yaklaşmıştır. Donatı sayısı arttıkça gerilmeler daha da küçülmüştür. Donatılı bölge geçildiğinde $\Delta\sigma$ artmış ve teorik çözümlerinden daha büyüktür.

Deney ölçümleri tekil noktalarda olduğu için ölçüm devamlılığını sağlamak amacıyla Sonlu Elemanlarda da sonuçlar kontrol edilmiştir. sensör bulunan noktalarda ani ilave düşey gerilme artışları yakalanmış, bulunmayan derinliklerde ise ölçülememiştir. Bu bakımdan SE küçük yüklerde deneylerde ölçülemeyen noktalar için alternatif sunmuştur. Böylece $\Delta\sigma$ farkları incelenebilmiştir.



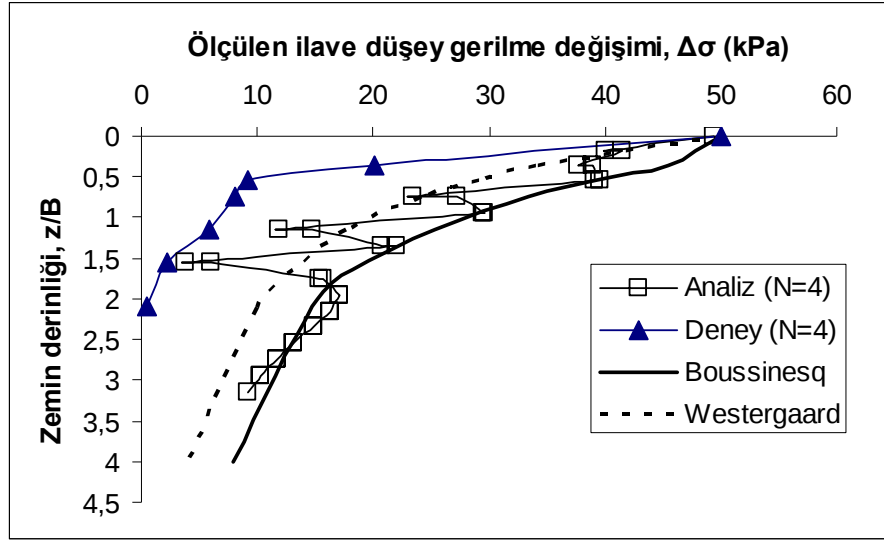
a



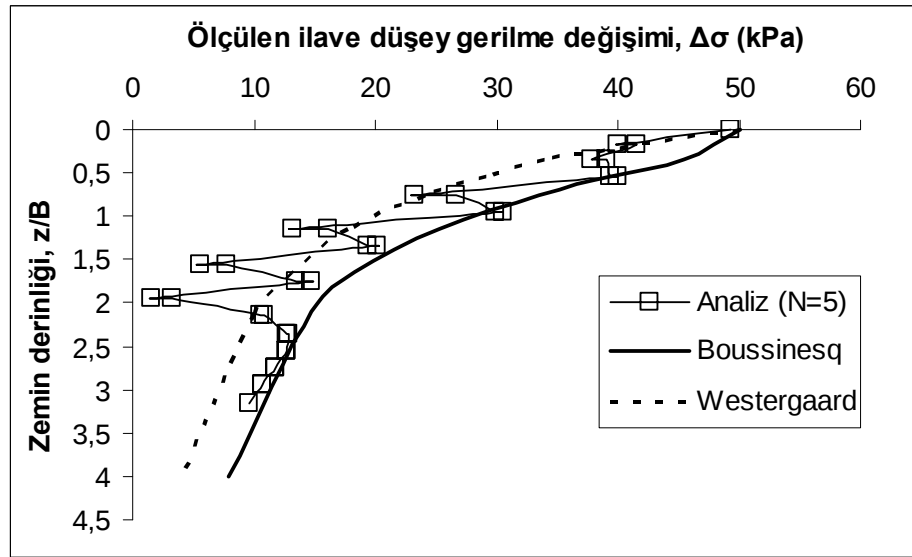
b

Şekil 4.369. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

* a. N=2; N=3



a



b

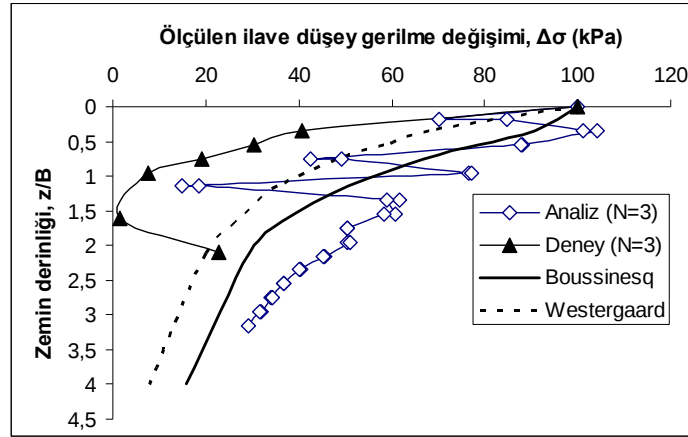
Şekil 4.370. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

* a. $N=4$; b. $N=5$

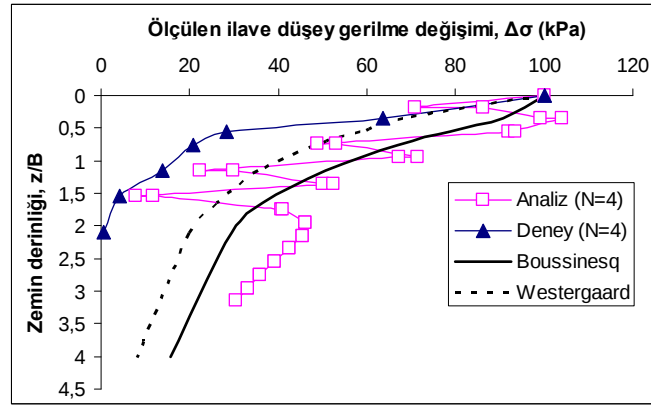
Temel plakası üzerine $q=100$ kPa basınç uygulandığında donatılı zemin içerisinde oluşan ilave düşey gerilmeler SE ile hesaplanmıştır. Analiz değerleri; deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleriyle Şekil 4.371’de karşılaştırılmıştır. Donatı sayısı arttıkça düşey gerilme artışları da küçülmüştür. Deney sonuçları ile SE analiz sonuçları $q=50$ kPa yükleme sonrası değerlerine nazaran deney ölçümlerine daha fazla yaklaşmıştır. SE analizlerinde donatı sayısı arttıkça ilave düşey gerilmeler Westergaard çözümlerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir.

SE analizlerinde donatının düşey ve yatay gerilmelere etkisi Şekil 4.372 ve Şekil 4.373’de görülmektedir. Herbir donatı levhası; üzerine gelen basıncı bölmüş ve yanlara atmaya çalışmıştır. Temel plakasına uygulanan yük miktarı büyüdükçe donatının etkisi de artmıştır. Uygulanan basıncın artması ile alttaki donatı levhalarında da yük aktarılabilmektedir. Böylece derinlerde bulunan donatılar da çalışmaya başlamış ve gerilmeye etki etmiştir.

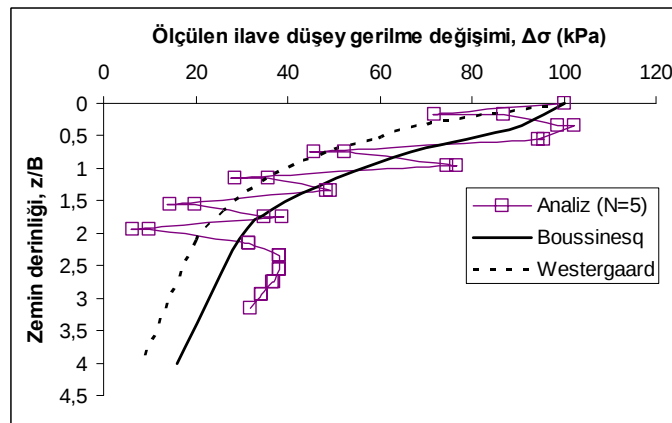
Temele uygulanan yük arttığında, geosentetik donatıların etkisi ile düşeyden yana aktarılan gerilmeler daha fazla belirginleşmiştir. Böylece donatılı bölgede ilave düşey gerilmeler ile temel yükü arasında lineer bir değişim gözlenmemiştir.



a



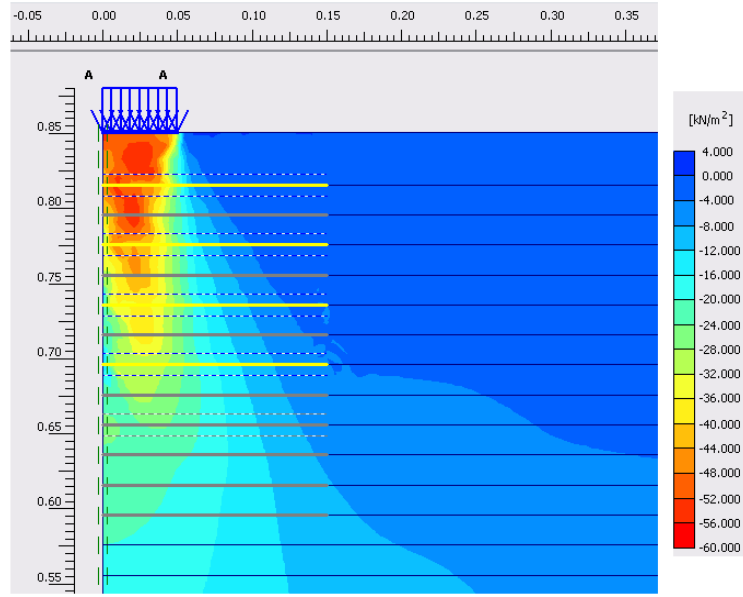
b



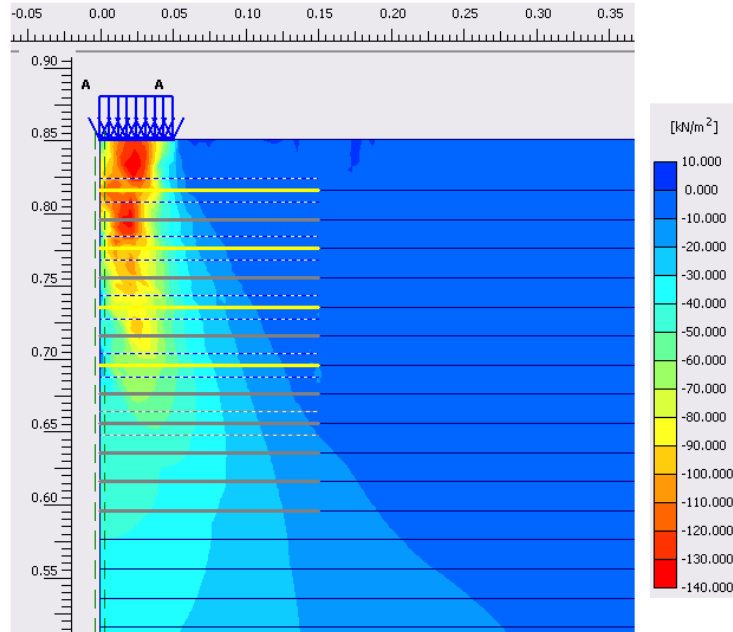
c

Şekil 4.371. Donatılı zeminde $q=100$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$)

* a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$

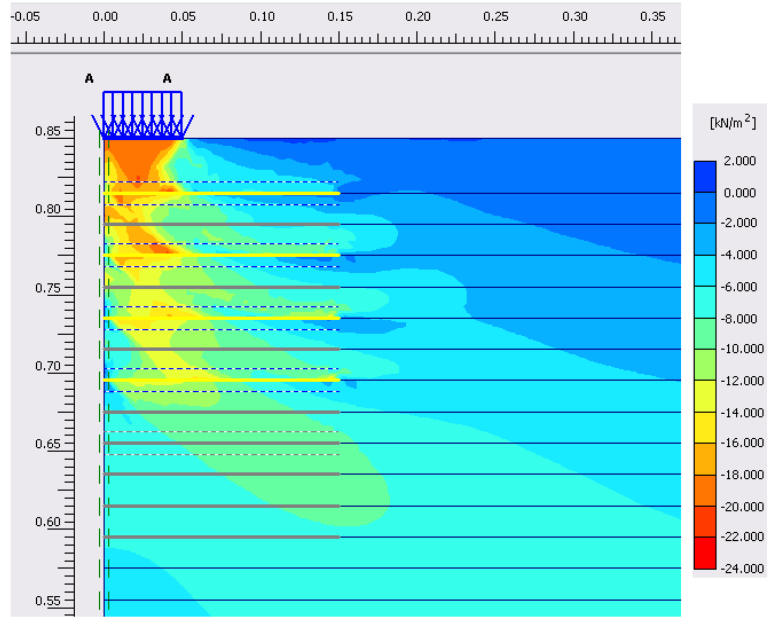


a

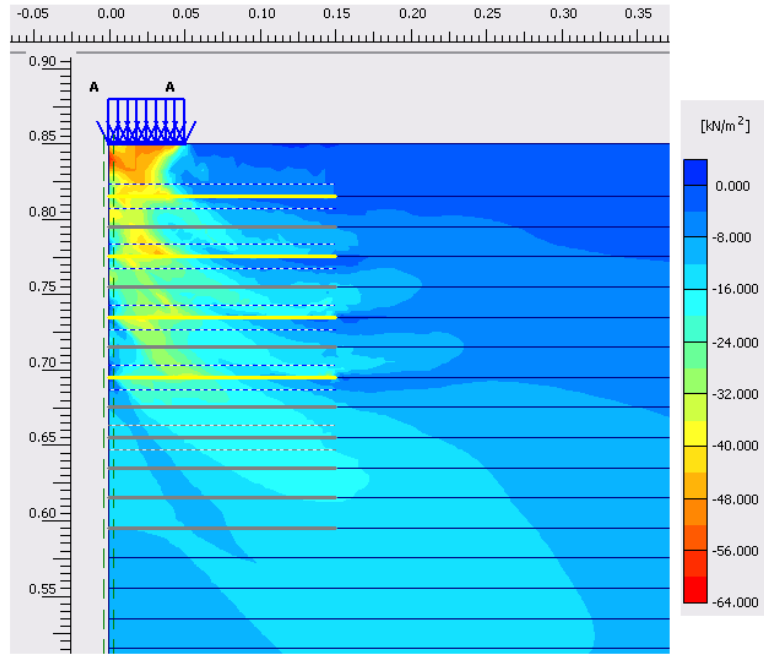


b

Şekil 4.372. Donatılı modelde oluşan düşey gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=4$); a. $q=50$ kPa, b. 100 kPa



a



b

Şekil 4.373. Donatılı modelde oluşan yatay gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=4$); a. $q=50$ kPa, b. 100 kPa

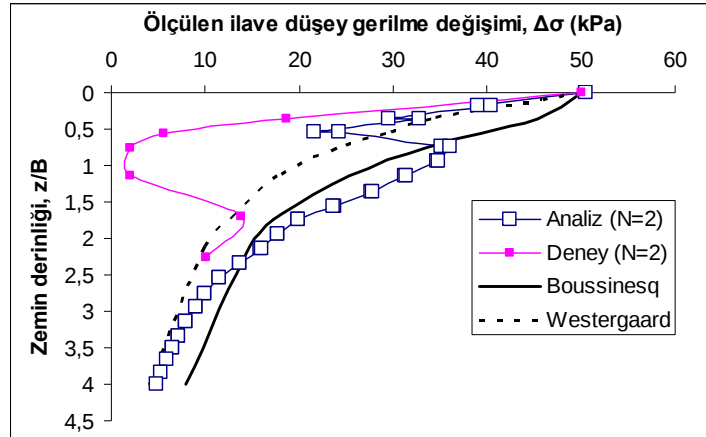
▪ **$h/B=0,2$ donatı düşey aralıklı analizler;**

Bu seride $h/B=0,2$ donatı aralığında donatı sayısı değiştirilerek temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Bu seride donatılar arası düşey $h/B=0,2$ için donatı sayısının etkisi incelenmiştir. İlk donatı derinliği ($u/B=0,35$) ve donatı genişliği ($L=3B$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-5$) analizler yapılmıştır. SE ile temel plaksına $q=50-100$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan düşey gerilmeler deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.374 ve Şekil 4.375).

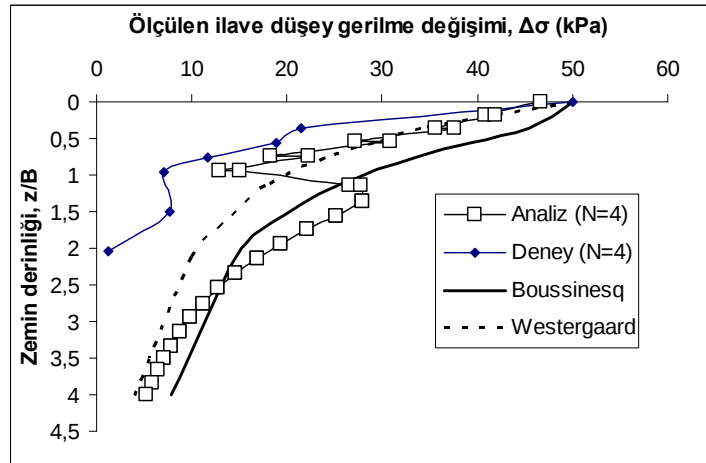
Şekil 4.376'da $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan düşey ve yatay gerilme profili gözükmektedir. Donatısız analizdeki profillerle karşılaştırıldığında donatıların yükleri yataya doğru aktardığı görülmektedir. Donatılı bölge blok halinde davranmıştır. Donatı aralığı küçük olduğundan dolayı geosentetiklerin etki ise yataya aktarılan yükler daha küçük bir alanda oluşmuştur. Donatılar ile gerilmeler daha derinlere ve yanlara atılarak donatısız nazaran daha farklı profiller elde edilmiştir.

Bu seride SE analizleriyle bulunan ilave düşey gerilmeler, deney ölçümlerine daha fazla yaklaşmıştır. Önceki seri de olduğu gibi donatının gerilmeye etkisi deneyler ile SE analizlerinde benzer grafikler sergilemiştir.

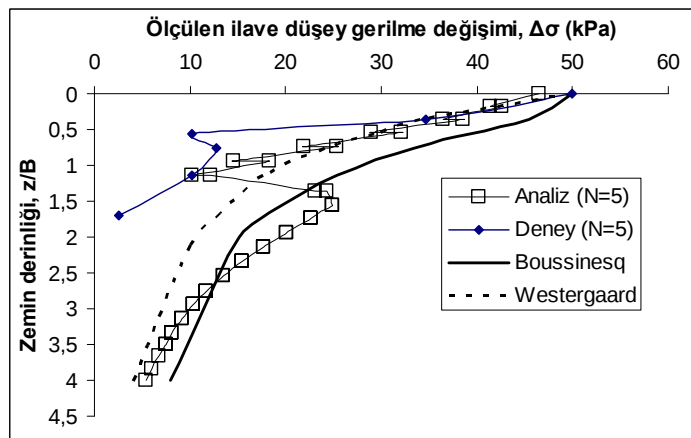
Sonlu Elemanlar analizlerinde; donatılı bölgede ilave düşey gerilmeler Westergaard çözümlerine yaklaşmıştır. Donatılı bölge altında ani gerilme artışı meydana gelmiş ve Boussinesq değerlerine yaklaşılmıştır. Model derinlerine inildikçe sonuçlar tekrar Westergaard değerlerine yaklaşmıştır.



a

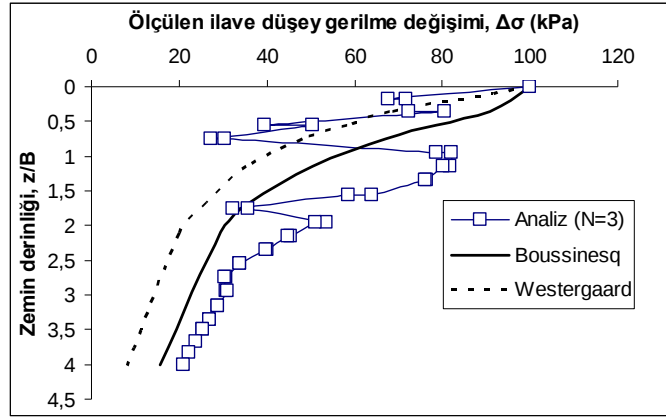


b

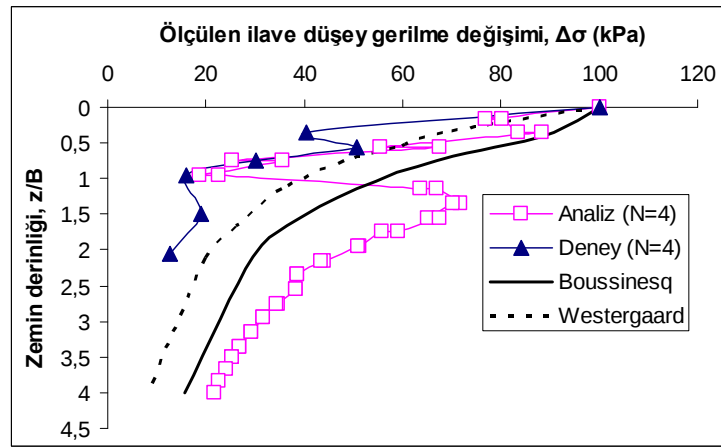


c

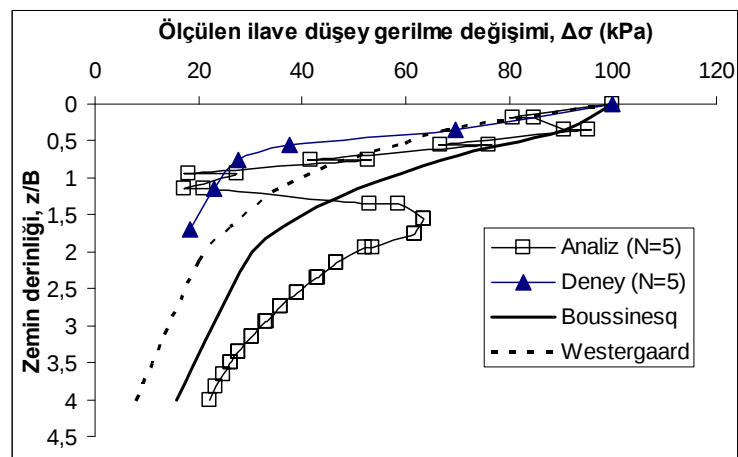
Şekil 4.374. Donatılı zeminde $q=50\text{kPa}$ yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=4$, c. $N=5$



a

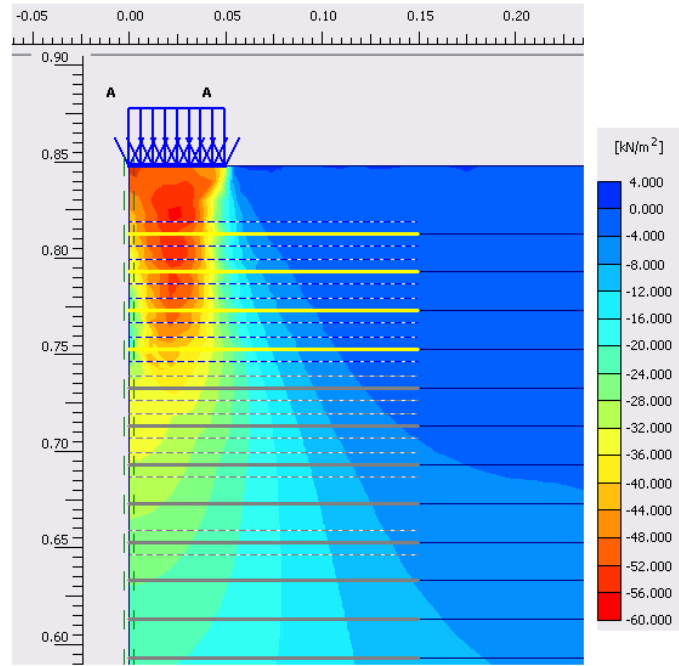


b

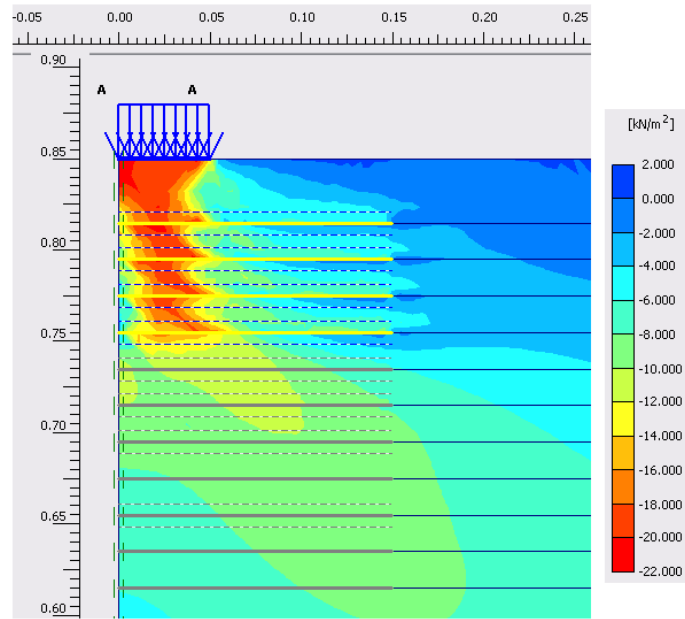


c

Şekil 4.375. Donatılı zeminde $q=100\text{kPa}$ yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$); a. $N=3$, b. $N=4$, c. $N=5$



a

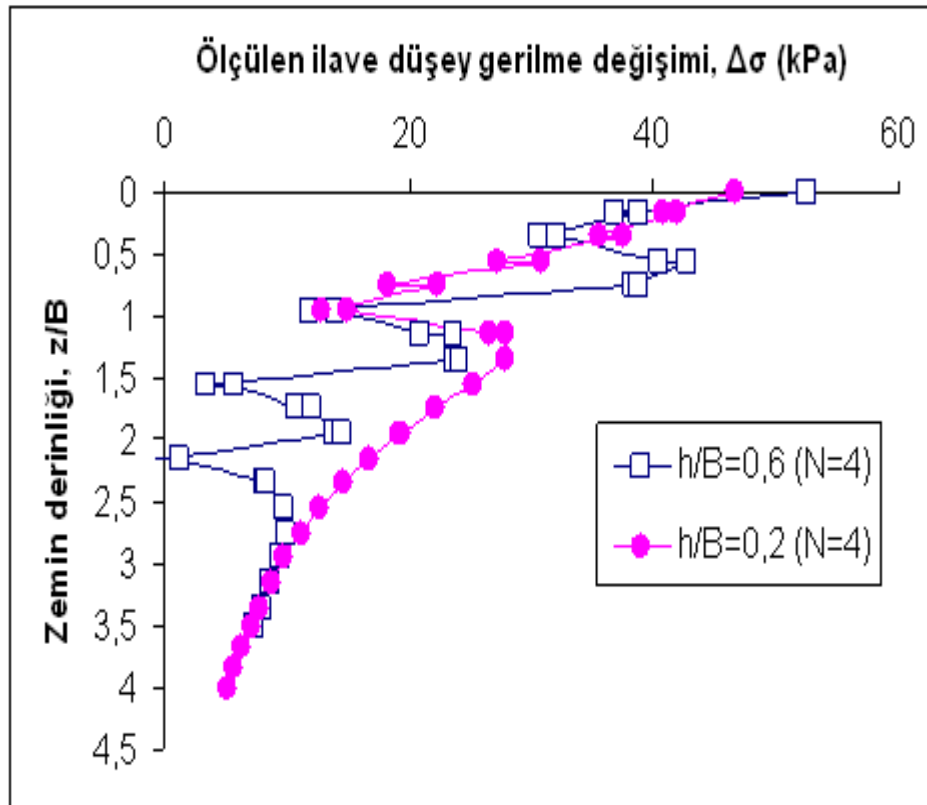


b

Şekil 4.376. Donatılı modelde $q=50$ kPa’da oluşan gerilme dağılımı ($u/B=0,35$; $h/B=0,2$; $L/B=3$; $N=4$); a.Düşey, b.Yatay

Farklı h/B oranları için elde edilen Sonlu Elemanlar sonuçları değerlendirildiğinde şu sonuçlarda bahsedilebilir;

Donatısız SE modellerinde ilave düşey gerilmeler Boussinesq'ya yakın çıkarken, sisteme donatı konulması $\Delta\sigma$ sonuçlarını Westergaard değerlerine yaklaştırmıştır. Donatı sayısı arttıkça geosentetikli bölgede oluşan $\Delta\sigma$ 'ler teorik sonuçlara nazaran daha da küçülmüştür. Donatı derinliğinin daha küçük olduğu $h/B=0,2$ serisinde; donatılı bölge temel plakasına daha yakın olduğu için ilave düşey gerilmeler temele yakın derinliklerde azalmıştır. Donatılar arası mesafe $h/B=0,6$ olduğunda $\Delta\sigma$ daha derinlerde minimuma inmiştir. Donatı derinliğinin $h/B=0,6$ olması halinde düşey gerilmeler donatılı bölgede, $h/B=0,2$ 'ye nazaran daha fazla azalmıştır. Donatılı bölge geçtikten sonra daha derinlerdeki $\Delta\sigma$ 'ler yaklaşık aynı artımlarla devam etmiştir (Şekil 4.377).



Şekil 4.377. Farklı donatı aralıklarında $q=50$ kPa'da düşey gerilme analiz sonuçları ($u/B=0,35$; $L/B=3$; $N=4$)

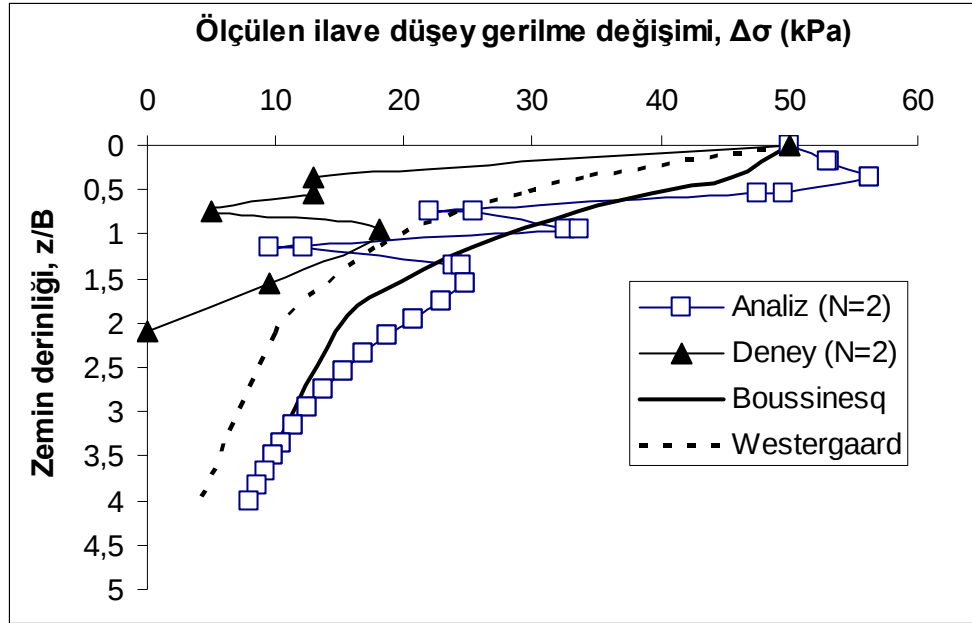
b. Farklı donatı derinliklerinde SE analizleri;

Bu bölümde, ilk donatı derinliğinin üç farklı değerinde ($h/B=0,75$; $0,55$ ve $0,175$) yapılan analizlerden okunan ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Donatı derinliği ($u/B=0,4$) ve geosentetik genişliği ($L=3B$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-3$) analizler yapılmıştır. Aşağıda üç ayrı seride yapılan hesaplar değerlendirilmiştir;

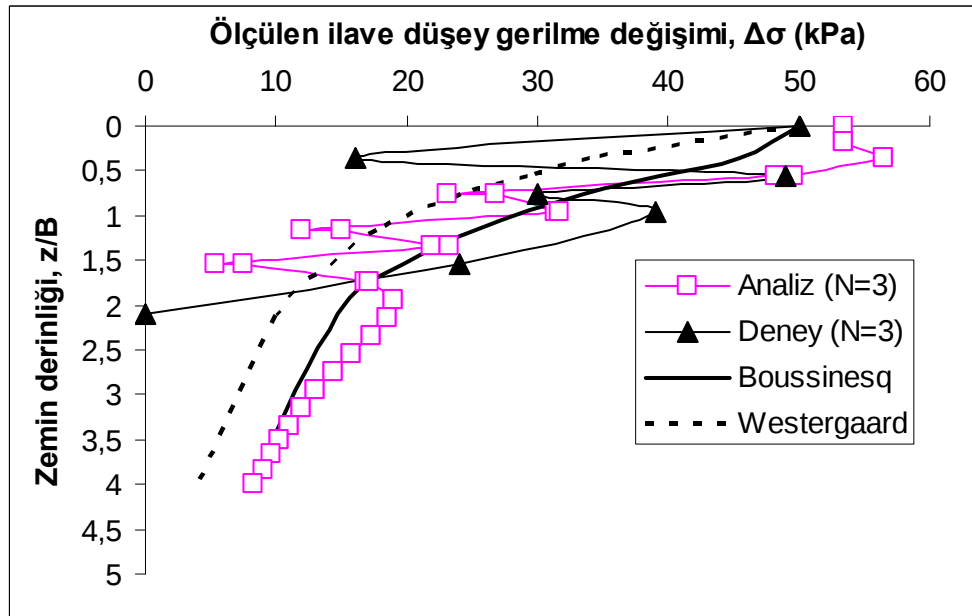
▪ $u/B=0,75$ donatı derinlikli analizler;

$u/B=0,75$ ilk donatı derinliğinde donatı sayısı değiştirilerek temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak $N=2$ ve 3 donatı sayılarında analizler yapılmıştır. SE ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler, deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.378).

Analizlerde, deney sonuçları ile uyumlu değerler hesaplanmıştır. Deneylerde ilave düşey gerilme değerleri biraz daha küçüktür. Sonlu Elemanlar analizlerinde her bir donatı levhasında ilave düşey gerilme değerleri azalma eğilimi göstermiştir. İlk donatı levhasında Westergaard çözümlerine yaklaşılmıştır. Donatı sayısı arttıkça derinlerde okunan gerilmeler Westergaard'dan daha küçük miktardadır. Donatılı bölge geçildikten sonra $\Delta\sigma$, Boussinesq ile benzer ölçüde azalmıştır.



a



b

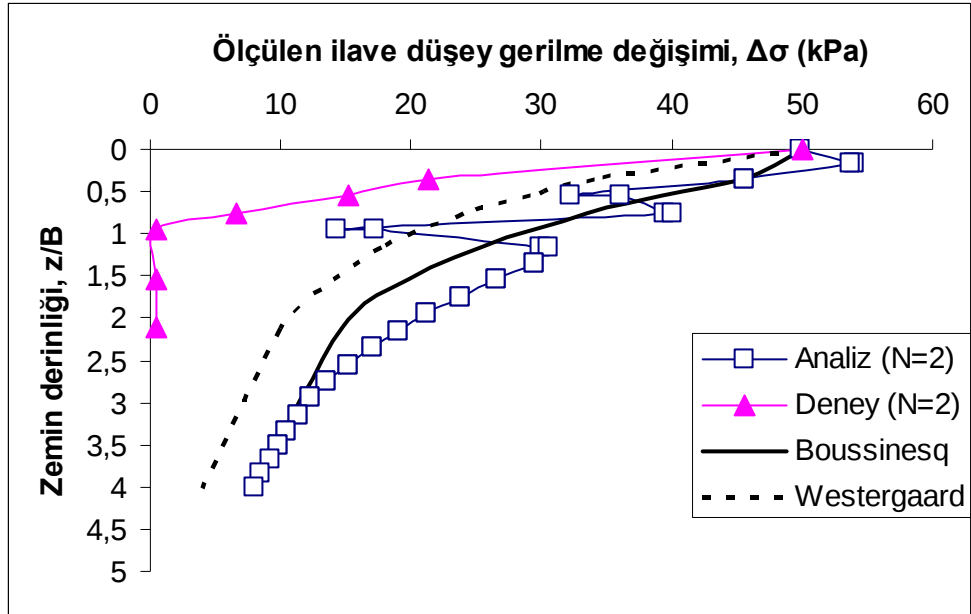
Şekil 4.378. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,75$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$

▪ **$u/B=0,55$ donatı derinlikli analizler;**

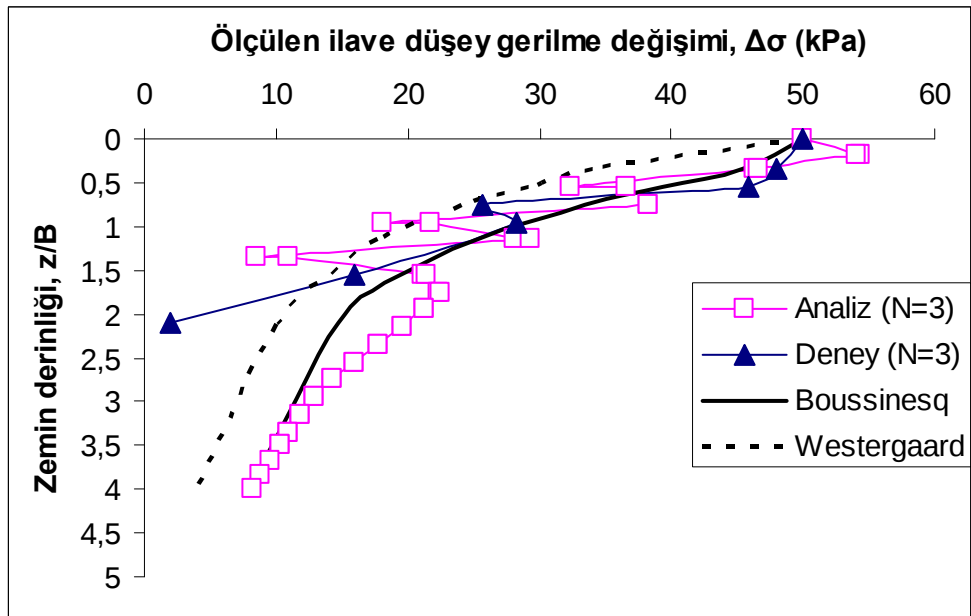
$u/B=0,55$ ilk donatı derinliğinde donatı sayısı değiştirilerek temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak $N=2$ ve 3 donatı sayılarında analizler yapılmıştır. SE ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler; deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.379).

Deneylerde donatılı bölge altındaki ilave düşey gerilmelerin daha küçük olduğu gözlenmiştir. Donatı sayısının $N=3$ 'e çıkarılması ile Deney ile SE analiz sonuçları birbirine daha fazla yaklaşmıştır. İlk donatı levhasında Westergaard çözümlerine yaklaşılmıştır. Donatı sayısı arttıkça derinlerde okunan gerilmeler Westergaard'dan daha küçük miktarda oluşmuştur. Donatılı bölge geçildikten sonra Boussinesq ile azalma miktarı ile $\Delta\sigma$, derinlik arttıkça yaklaşık aynı miktarda azalmıştır.

Deneylerde donatılı bölge altında SE analizlerine nazaran daha az miktarda ilave düşey gerilme artışı meydana gelmiştir. Daha derinlere basınç sensörü konulamadığı için model derinliklerindeki değişimler daha fazla incelenememiştir.



a



b

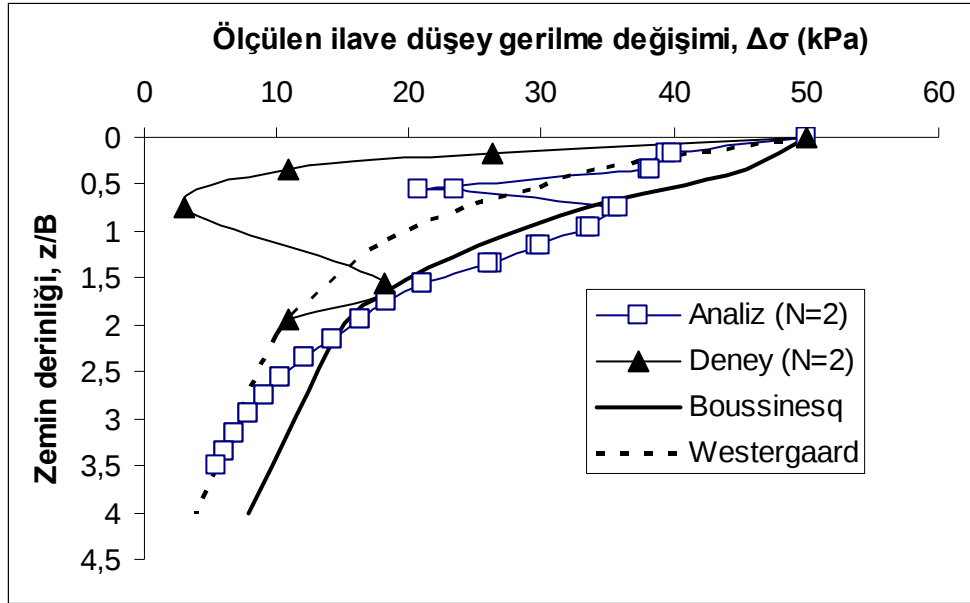
Şekil 4.379. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,55$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$

▪ **$u/B=0,175$ donatı derinlikli analizler;**

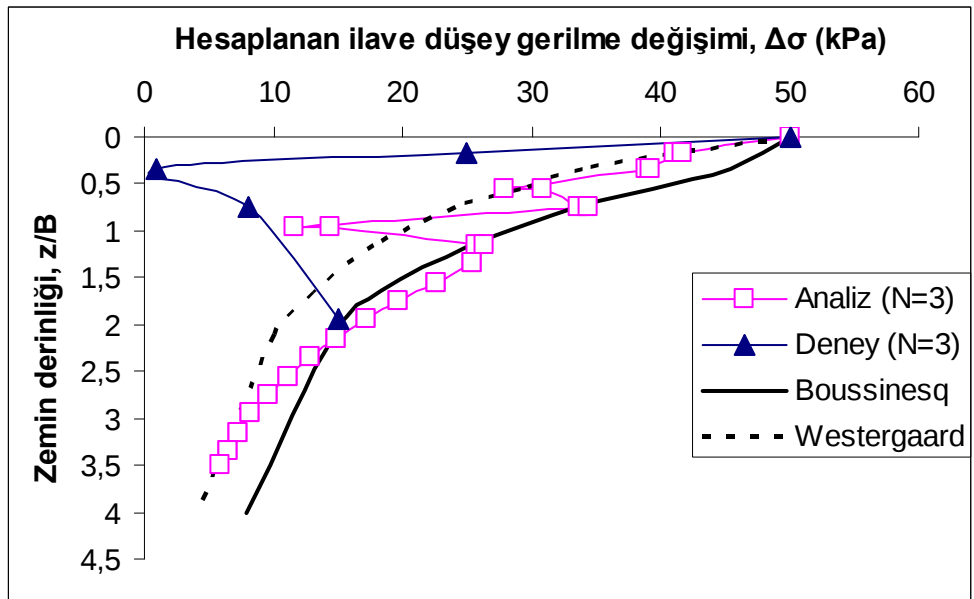
$u/B=0,175$ ilk donatı derinliğinde donatı sayısı değiştirilerek temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Donatı genişliği ($L=3B$) ve donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak $N=2$ ve 3 donatı sayılarında analizler yapılmıştır. SE ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler; deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.380).

SE analizlerinden hesaplanan ilave düşey gerilmeler donatılı deney ölçümlerinden daha büyüktür. Analizlerde $N=2$ iken Boussinesq, donatı sayısı artıp $N=3$ olduğunda ise Westergaard çözümlerine yaklaşılmıştır.

Şekil 4.381'de ilk donatı derinliği $u/B=0,75$ ve $0,175$ olan iki sitemde $q=50$ kPa yükleme altında zemin içinde farklı derinliklerde oluşan ilave düşey gerilmeler verilmiştir. Donatılı bölgede yaklaşık benzer gerilme değişimi olmuşken, donatılı zon altındaki alanda küçük değerdeki ($u/B=0,175$) ilk donatı derinliği oranında oluşan $\Delta\sigma$ değerleri; derinlik arttıkça daha fazla azalma eğilimi göstermiştir.

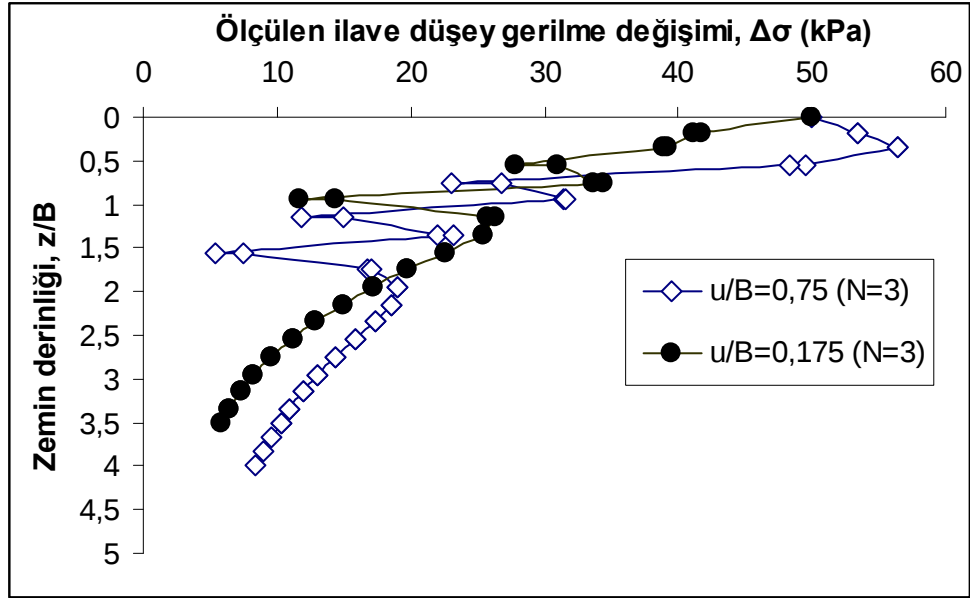


a



b

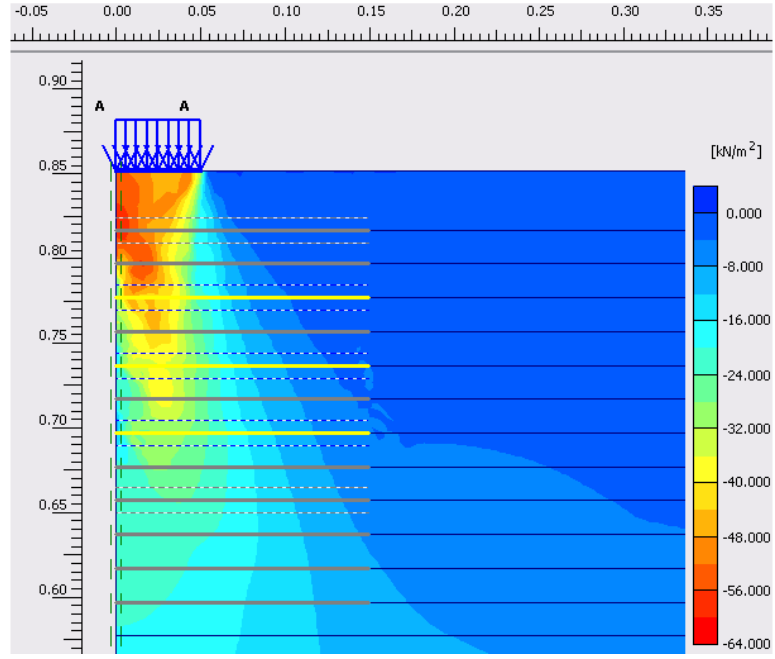
Şekil 4.380. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,175$; $h/B=0,4$; $L/B=3$); a. $N=2$, b. $N=3$



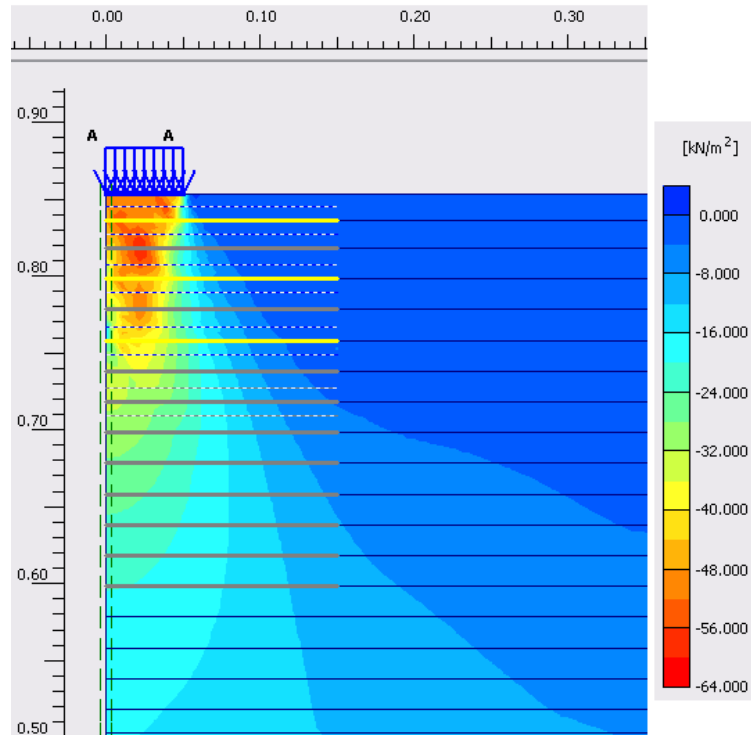
Şekil 4.381. Farklı donatı derinliklerinde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$)

Şekil 4.382’de $u/B=0,75$ ve $0,175$ donatı derinliklerinde $q=50$ kPa yükleme sonrası modellerde oluşan gerilme dağılımı gözükmemektedir. İlk donatı derinliğinin küçük olduğu mesafede aktif zon donatı tarafından daha fazla kesilmektedir. $u/B=0,75$ ’de ise donatı aktif zonun sadece uç kısmına temas edebilmiştir. $u/B=0,175$ ’de ise üçgen kama daha fazla donatı tarafından kuşak gibi çevrelenmiştir. Böylece donatılı zon altında daha düşük miktarda ilave düşey gerilmenin oluştuğu tahmin edilmiştir.

Deneyde $u/B=0,75$ donatı derinlikli modelde ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelendiğinde donatının taşıma gücünü arttırdığı, fakat yaklaşık 200 kPa yüklemelerde aniden yükte boşalma olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.382 incelendiğinde; donatının aktif zonun uç kısmına doğru temas etmesi ve modelin yeterli ilk donatı derinliğine sahip olmadığı için böyle bir davranışın oluştuğu tahmin edilmiştir.



a



b

Şekil 4.382. Donatılı modelde $q=50$ kPa'da oluşan düşey gerilme dağılımı ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$); a. $u/B=0,75$; b. $u/B=0,175$

c. Farklı donatı genişliklerinde SE analizleri;

Bu bölümde, donatı genişliğinin iki farklı değerinde ($L/B=5$ ve 1) yapılan analizlerden okunan ilave düşey gerilme değişimleri incelenmiştir. Donatı derinliği ($u/B=0,4$) ve geosentetik düşey aralığı ($h/B=0,4$) sabit alınarak farklı donatı sayılarında ($N=2-3$) analizler yapılmıştır. Aşağıda iki ayrı seride yapılan hesaplar değerlendirilmiştir;

▪ $L/B=5$ donatı genişlikli analizler;

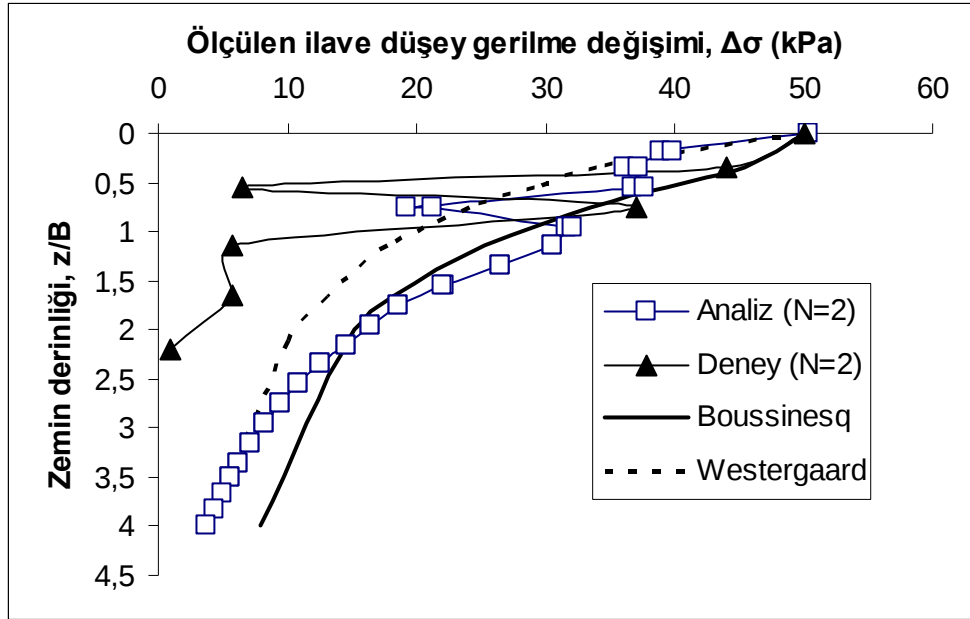
Donatı genişliği $L/B=5$ alınarak, donatı sayısının $N=2$ ve 3 değerlerinde temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. SE analizleri ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler; deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.383).

SE analizlerinden hesaplanan ilave düşey gerilmeler donatılı deney ölçümleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Deneylerde donatı kullanılması $\Delta\sigma$ 'yi SE analizlerine nazaran daha fazla etkilemiştir.

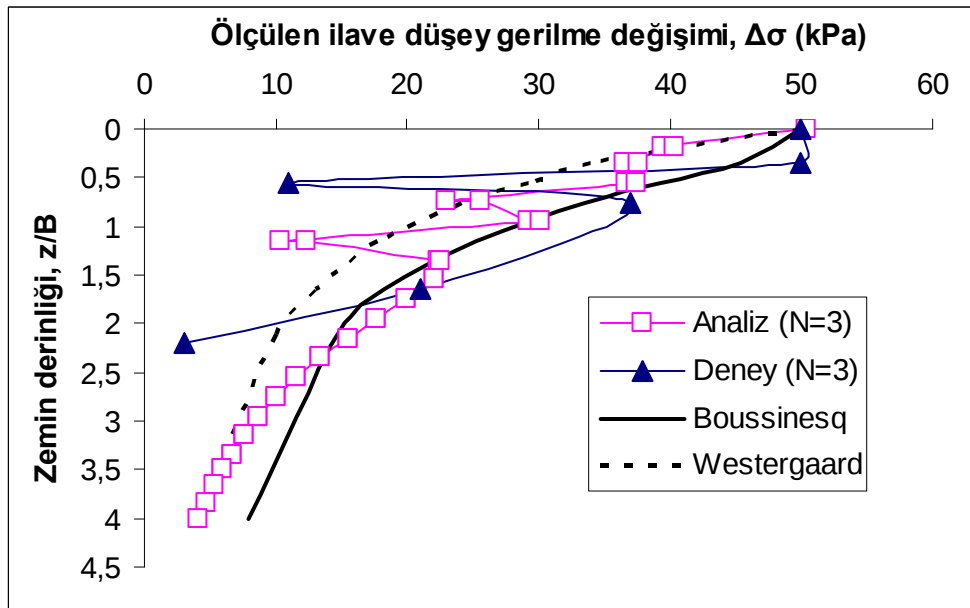
▪ $L/B=1$ donatı genişlikli analizler;

Donatı genişliği $L/B=1$ alınarak, donatı sayısının $N=2$ ve 3 değerlerinde temel merkezi altındaki zemin içinde oluşan ilave düşey gerilmeler incelenmiştir. Donatı düşey aralığı ($h/B=0,4$) ve ilk donatı derinliği ($u/B=0,35$) sabit alınmıştır. SE analizleri ile temel plakasına $q=50$ kPa basınç uygulanması halinde hesaplanan $\Delta\sigma$ 'ler; deney ölçümleri ve Westergaard ile Boussinesq çözümleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.384).

SE analizlerinden hesaplanan ilave düşey gerilmeler donatılı deney ölçümleri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Fakat donatılı bölge altında analizlerde teorik yaklaşım ve deneylere nazaran daha büyük miktarda $\Delta\sigma$ 'ler oluşmuştur.

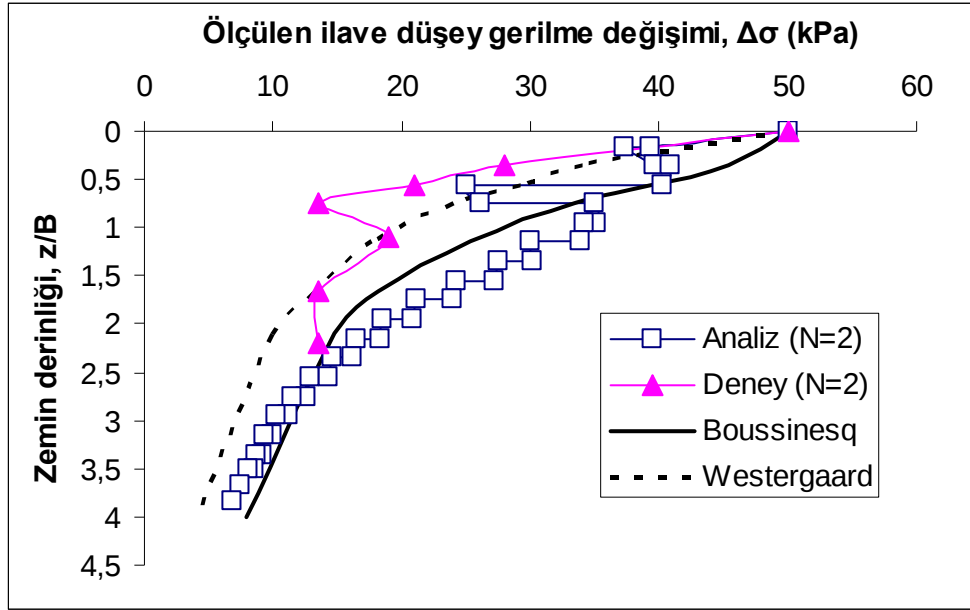


a

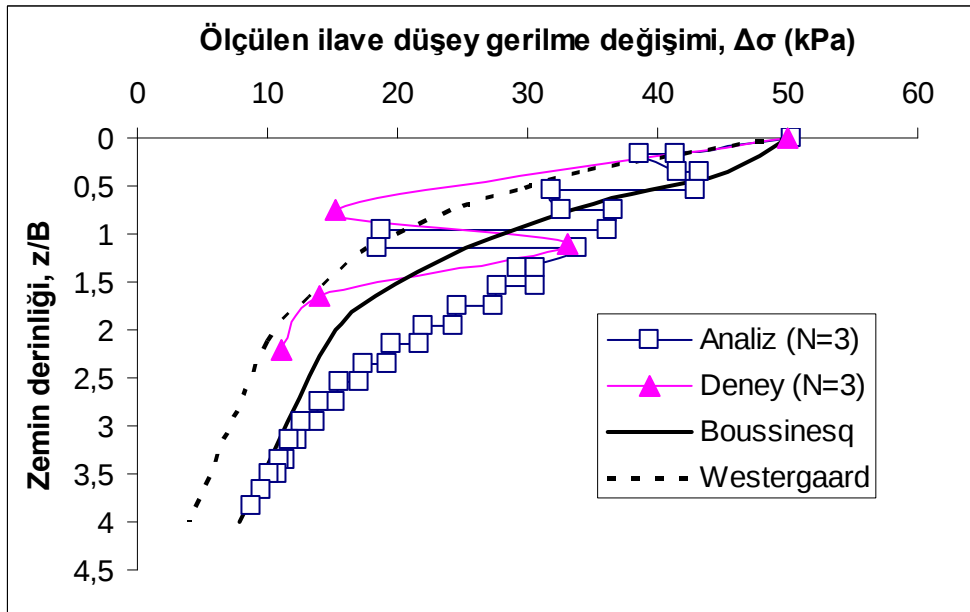


b

Şekil 4.383. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=5$); a. $N=2$, b. $N=3$



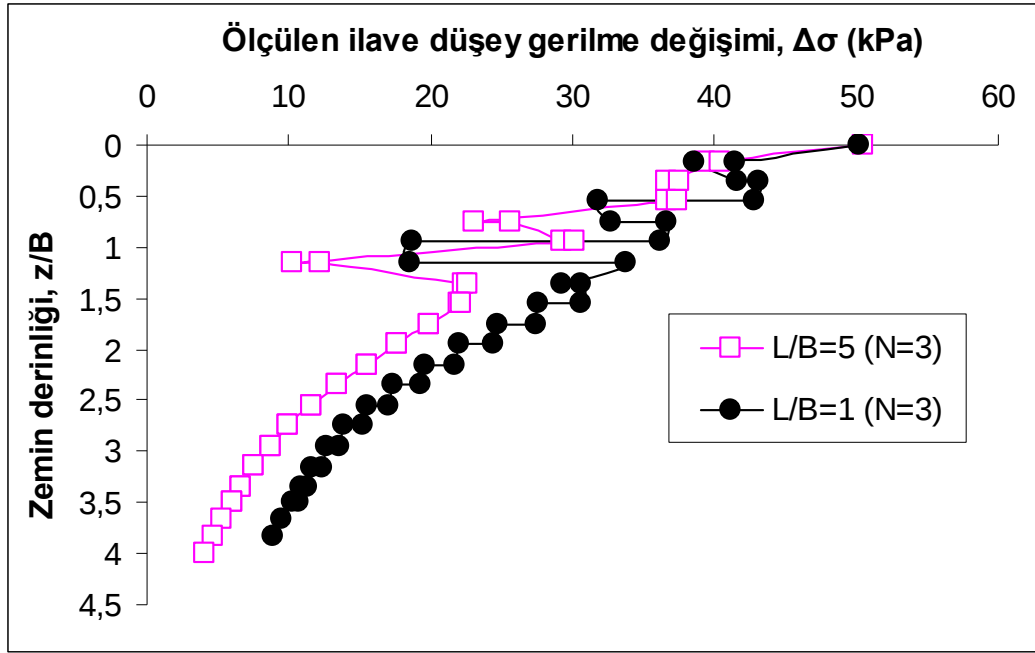
a



b

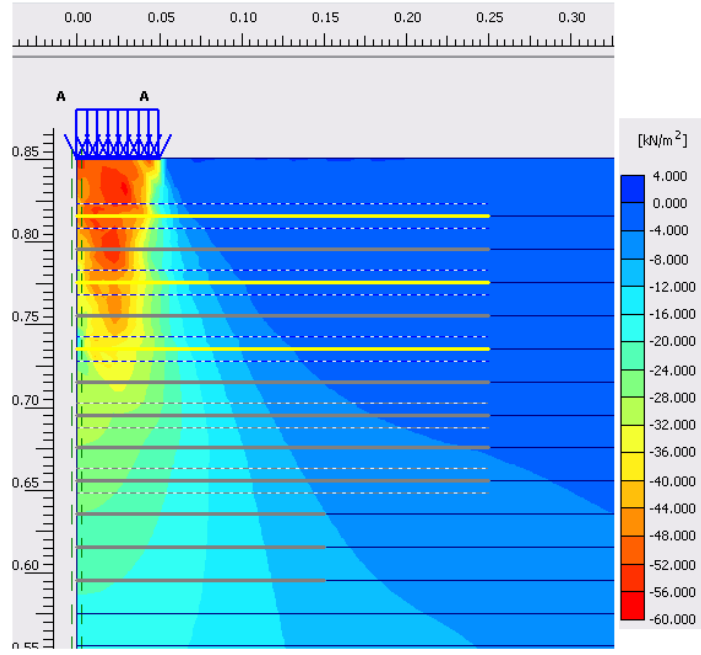
Şekil 4.384. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $L/B=1$); a. $N=2$, b. $N=3$

Şekil 4.385’de $L/B=5$ ve 1 donatı genişlikli analiz modellerinden $q=50$ kPa yükleme sonrası zemindeki farklı derinliklerinde hesaplanan ilave düşey gerilme değişimleri verilmiştir. İki eğri karşılaştırıldığında; Donatı genişliğinin artması ile $\Delta\sigma$ değerlerinin aynı yük altında daha fazla azaldığı gözlenmiştir.

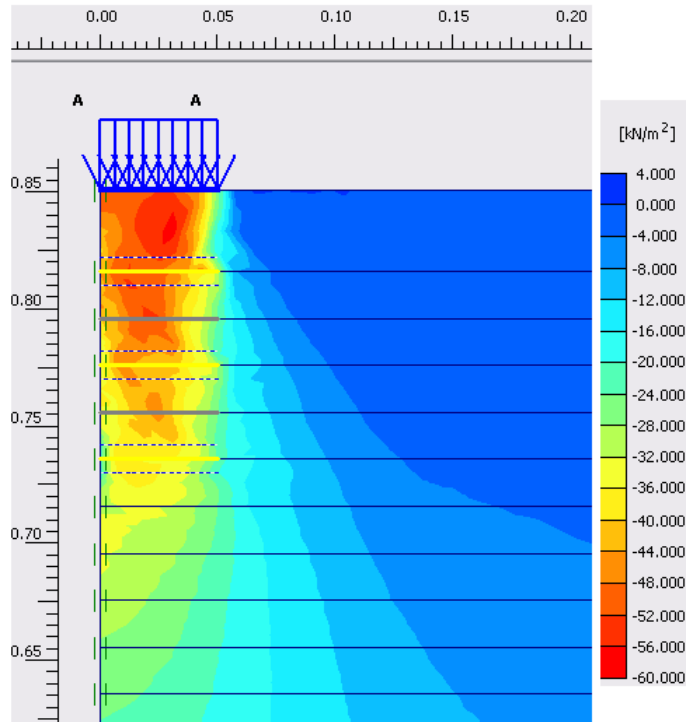


Şekil 4.385. Donatılı zeminde $q=50$ kPa yükleme sonrası oluşan ilave düşey gerilme değişimleri ($u/B=0,35$; $h/B=0,4$; $N=3$)

Şekil 4.386’da $q=50$ kPa yükleme sonrası donatılı bölgede oluşan düşey gerilme değişimi görülmektedir. Donatısız gerilme profili ile karşılaştırıldıklarında; geosentetiğin oluşturduğu sürtünme etkisi ile düşey gerilmelerin parçalar halinde aşağılara itildiği gözlenmiştir. Donatı genişliğinin kısa olması halinde sadece aktif bölgeye tesir edilebilmiştir. Uzun olduğu durumda etki alanı daha büyüktür.



a



b

Şekil 4.386. Donatılı modelde $q=50$ kPa’da oluşan düşey gerilme dağılımı ($h/B=0,4$; $L/B=3$; $N=3$); a. $L/B=5$; b. $L/B=1$

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Geosentetik donatılı zeminlerin gerek kullanımı ve gerekse kullanım sahaları birçok ülkede ve Türkiye’de günbegün artış göstermektedir. Diğer uygulamalarının yanında donatılı zemin yataklarına oturan temeller üzerine de yayınlanmış birçok araştırma bulunmaktadır. Ancak, literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğu geosentetik donatılı sıkı kumlara oturan model temellerin taşıma kapasitesi ile ilgilidir. Yine, bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda, tek tür geosentetik kullanılmış ve farklı donatı özelliklerinin taşıma kapasitesine etkisi üzerine genel bir fikir birliği oluşmamıştır. Ayrıca, şerit temel altındaki kum zeminde oluşan ilave düşey gerilmeler üzerine yapılan çalışmalar da çok daha az sayıda kalmıştır.

Bu çalışmada; donatılı ve donatısız orta sıklıktaki bir kum zemine oturan yüzeysel bir şerit temelin davranışı bir seri laboratuvar model yükleme deneyi ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Deneylerde donatı olarak bir adet dokunmuş geotekstil ve üç adet farklı geogrid kullanılmış ve her bir donatı için donatı konfigürasyon parametrelerinin yani ilk donatı derinliği (u), donatı düşey aralığı (h), donatı genişliği (L) ve donatı tabakası sayısı (N)’nın taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, donatısız ve geotekstil donatılı kuma oturan şerit temelin merkezi altında farklı derinliklerde oluşan ilave düşey gerilmeler ölçülmüş ve sonuçlar değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Sonlu elemanlar analizleri ise donatısız ve sadece geotekstil donatılı zemine oturan şerit temeller üzerinde yürütülmüştür. Analizlerde, deney sonuçlarıyla uyumlu bir donatılı zemin modeli oluşturulup bazı yük kademelerinde temel merkezi altındaki düşey gerilme değişimleri araştırılmıştır. Sonuçlar hem deneysel bulgular ve hem de Boussinesq ve Westergaard yöntemleriyle hesaplanan değerler ile karşılaştırılıp yorumlanmaya çalışılmıştır.

Deneylerden ve sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Donatısız deneylerde zeminin yük-oturma ilişkisi incelendiğinde grafik eğiminin iki farklı noktada değiştiği ve literatürdeki orta sıkı zemin davranışı ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deney fotoğraflarında zemin içerisine yerleştirilen renkli kum ile donatısız kum tabakalarının yaptığı oturma profilleri, yük-oturma eğrileri ile birlikte değerlendirilmiştir. Donatısız orta sıkı deney zemini üzerindeki yüzeysel şerit temelin yaklaşık yerel kayma modunda göçtüğü belirlenmiştir.
- Zemine yerleştirilen donatı çeşidi ve diğer donatı parametreleri göçme modunu etkilemiştir. Donatılı zeminler, genel kayma ve zımbalama moduna yaklaşıp kırılmışlardır. Uzun donatılı ($L > B$) zeminlerin büyük çoğunluğunda, genel kayma modundaki gibi temel kenarında kum kabarması görülmüştür.
- Deney sonuçlarından farklı oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasitesi oranları (BCR) hesaplanmıştır. Her geosentetik çeşidi ve donatı konfigürasyonu için değişik s/B -BCR davranışı gözlenmiştir. Ayrıca, temel plakasının yaptığı oturmanın artmasına bağlı olarak sistemin davranış karakterleri de değişmiştir. Bu gözlem sonucunda taşıma gücü açısından geosentetik özelliklerinin özellikle küçük oturma oranlarında önem kazandığı görülmüştür. Farklı donatı çeşitleri kullanılarak yüklenen zeminde artan temel oturmaları ile sistem davranışlarının birbirine yaklaştığı gözlenmiştir. Bilindiği gibi rutin tasarımlarda nihai taşıma gücü değeri, göçmenin tamamlandığı büyük oturma oranları için limit denge analizi ile belirlenir ve bu değer güvenlik sayısına bölünerek müsaade edilen taşıma gücü belirlenir. Oysa yapılmış olan deneyler, bu şekilde belirlenen taşıma kapasitesi değerlerinin farklı donatıların taşıma gücü üzerinde küçük oturmalarda gösterdiği etkinin göz önüne alınamaması sonucunu doğurabileceğini göstermiştir.

- Orta sıkı kumda ilk donatı tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine etkisi incelendiğinde, küçük ve büyük oturma değerlerinde bulunan sonuçların geneli için, maksimum taşıma kapasitesine ortalama $u/B=0,55$ değerinde ulaşıldığı görülmüştür.
- Düşeyde donatı aralığının üç farklı değerinde ($h/B=0,2$; $0,4$ ve $0,6$) yapılan deneylerde, farklı donatı çeşidi ve donatı parametrelerinde farklı taşıma gücü değerleri elde edilmiş ve kesin bir yargıya varılamamıştır. Ancak deneylerin önemli bir miktarında taşıma kapasitesinin artan h/B oranı ile arttığı gözlenmiştir.
- Farklı donatı genişliklerinde yapılan çalışmaların geneline bakıldığında; donatı genişliğinin $L=5B$ değerine kadar uzatılmasının sonuçlar üzerinde etkili olabildiği, geosentetik donatıyı daha fazla uzatmanın taşıma gücüne önemli bir faydasının olmayacağı gözlenmiştir.
- Farklı sayıda donatı kullanılmasının kumun taşıma kapasitesi üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Bir ve iki sıra geosentetik donatı kullanıldığında bazı durumlarda geotekstil donatı ile elde edilen taşıma kapasitesinin geogrid donatı ile elde edilenden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Donatı sayısı arttıkça geogrid donatılı deney sonuçları birbirine yaklaşmış ve geotekstilden çok daha büyük BCR'ler elde edilmiştir. $L=B$ geosentetik genişliği için incelenen tüm donatı sayılarında ($N=1, 2$ ve 3) ise geogridler geotekstile oranla daha yüksek taşıma kapasiteleri vermiştir.
- Temel plakası altında ortalama $2B$ derinliğinin donatılandırılması genellikle taşıma gücü değerini arttıran yönde etki etmiştir. Daha büyük derinliklerdeki donatıların etkisi ise ihmal edilebilir mertebede kalabilmiştir.
- Geosentetik donatı genişliği $L=B$ olan donatılı sistemlerde yük-oturma ilişkisi incelendiğinde eğrinin kırıldığı ve eğiminin değiştiği noktaların bulunduğu, fakat $L>B$ olduğunda donatı sayısı arttıkça bariz kırılma noktasının oluşmadığı gözlenmiştir. $L>B$ için donatı sayısı arttıkça özellikle ortalama $N>3$ için yük-oturma eğrisinin davranışı

tamamen değişmiş ve artan taban basıncı ile oluşan temel plakasının ilave oturma değerleri, diğer bir ifadeyle oturma hızı azalmıştır.

- Farklı donatı sayılarında yapılan deneyler, küçük donatı sayılarında çekme mukavemetinin daha etkili olabildiğini ortaya koymuştur. Sistemdeki geosentetik donatı sayısının artması ile de geogrid ağ aralığı etkisinin arttıabildiği gözlenmiştir. Ayrıca ağ aralığının taşıma gücüne tesirinin, farklı donatı parametreleri (u , h , L) için değişebildiği görölmüştür.
- Her geosentetik donatı, farklı şekillerde oturma yüzeyle (yer değiştirme izleri) oluşturmuştur. Oturma yüzeylelerinin yatay ve düşey yönlerde yaptığı açılar donatı çeşidi ile değişebilmiştir.
- $L=B$ olduğu durumda da geosentetik donatı taşıma kapasitesinde iyileştirme yapabilmüştir. Bu kadar kısa bir donatının dahi taşıma kapasitesini 2-3 kata kadar arttırabildiği görölmüştür.
- Deneylerde donatısız zeminde temel plakasına yakın zemin derinliklerinde ölçölen ilave düşey gerilme değişimleri ($\Delta\sigma$) Westergaard hesaplarına yakın çıkmıştır. İlk göçme yükünde ise Boussinesq çözümlerine yaklaşılmıştır. Bu yük değeri geçildikten sonra ise yeniden $\Delta\sigma$ miktarı azalmış ve yük arttıka yaklaşık Westergaard ile benzer ölçömler kaydedilmüştir.
- Donatılı zonda ilave düşey zemin gerilmeleri derinlikle tedrici olmayan bir değişim sergilemiş diğer bir ifadeyle ilave düşey zemin gerilmelerinde ani değişimler gözlenmiştir. Bu gözlem, sonlu elemanlar sonuçlarıyla da doğrulanmıştır.
- Deneysel ve sonlu elemanlar analizi, donatı sayısı arttıka ilave düşey gerilme artışlarının da daha büyük derinliklere kadar önemli mertebede olabileceğini ortaya koymuştur.

- Donatılı deneylerde ilave düşey gerilme ($\Delta\sigma$) dağılımı, plaka üzerine uygulanan yüklerle lineer orantılı olmamıştır. Küçük düşey yüklerde temel plakasına yakın bölgelerde $\Delta\sigma$ /düşey yük değeri daha büyükken, artan düşey yük değeri ile bu oran küçülmüştür. Daha büyük derinliklerde ise bunun tam tersi davranışlar da gözlenmiştir.
- Farklı donatı konfigürasyonu parametreleri, ilave düşey gerilme-derinlik davranışları üzerinde etkili olmuştur. Donatılı bölge derinliğinin birbirine yaklaşık olduğu sistemlerde, ilave düşey gerilme değişimlerinin de genellikle birbiri ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Konu ile ilgili gelecekte devam edilmesi ve yapılması tavsiye edilebilecek bazı çalışmalar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Farklı donatı çeşitleri kullanılan deneylere devam edilmelidir. Donatı çekme dayanımları veya donatı ağ aralığının taşıma kapasitesine ve gerilme dağılışına etkileri incelenebilir.
- Donatılı zemin deneylerinde yatay gerilme değişimleri de incelenerek taşıma gücündeki artışın nedenleri daha detaylı araştırılabilir.
- Benzer araştırmalar farklı zemin koşullarında da yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Farsakh M., Chen Q., Sharma R. and Zhang X., 2008. Large-scale model footing tests on geogrid-reinforced foundation and marginal embankment soils. *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 31, (5), 413-423.
- Adams, M.T. and Collin, J.G., 1997. Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123 (1), 66-72.
- Akinmusuru, J.O. and Akinbolade, J.A., 1981. Stability of loaded footings on reinforced soil. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 107 (GT6), 819-827.
- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975a. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 101 (GT12), 1241-1255.
- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975b. Bearing capacity analysis on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 101 (GT12), 1257-1276.
- Boussinesq, J., 1885. *Application des Potentiels a L'etude de L'equilibre et du Movement des Solids Elastiques*. Gauthier-Villars, Paris.
- Çelik, S., 1997. Geogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Geogridin Zemin Taşıma Gücüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Chen, Q., 2007. An Experimental Study on Characteristics and Behavior of Reinforced Soil Foundation. PhD dissertation, Louisiana State University, US.
- Das, B.M. and Omar, M.T., 1994. The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 12 (2), 133-141.
- Das, B.M., Shin, E.C. and Omar, M.T., 1994. The bearing capacity of surface strip foundations on geogrid reinforced sand and clay—A comparative study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 12 (1), 1-14.
- Das B.M., 2007, *Principles of Foundation Engineering*. Sixth Edition, Thomas, USA.
- Deb, K., Sivakugan, N., Chandra, S. and Basudhar, P.K., 2007. Numerical analysis of multi layer geosynthetic-reinforced granular bed over soft fill. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25 (6), 639-646.
- DeMerchant, M.R., Valsangkar, A.J. and Schriver, A.B., 2002. Plate load tests on geogrid reinforced expanded shale lightweight aggregate. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 20 (3), 173-190.
- Desai, C.S. and Abel, J.F. 1972. *Introduction to the finite element method*. Val Nostrand Reinhold, New York, N.Y. (Kurian, N., Beena, K.S. and Kumar, R.K., 1997. Settlement of Reinforced Sand in Foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 123(9), 818-827. 'da referans gösterilmiştir).
- Desai, C.S., 1979. *Elementary Finite Element Method*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Duncan, M. and Chang, C.Y., 1970. Nonlinear analysis of stress and strain in soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, 96 (SM5), 1629-1653.
- Gök, S., 2007. Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Guido, V.A., Biesiadecki, G.L. and Sullivan, M.J., 1985. Bearing capacity of a geotextile reinforced foundation. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 3, 1777-1780.
- Guido, V.A., Chang, D.K. and Sweeney, M.A., 1986. Comparison of geogrid and geotextile reinforced earth slabs. Canadian Geotechnical journal, 23 (4), 440-435.
- Guido, V.A., Knueppel, J.D. and Sweeny, M.A., 1987. Plate loading tests on geogrid-reinforced earth slabs. Geosynthetics 87' Conference Proceedings, New Orleans, U.S.A., 216-225.
- Huang, C.C. and Tatsuoka, F., 1990. Bearing capacity reinforced horizontal sandy ground. Geotextiles and Geomembranes, 9 (1), 51-82.
- Huang, C.C. and Menq, F.Y., 1997. Deep-footing and wide-slab effects in reinforced sandy ground. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123 (1), 30-36.
- Jumikis, A.R., 1969. Theoretical soil mechanics: with practical applications to soil mechanics and foundation engineering. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Keskin, M.S., 2004. Zeminlerde oluşan ilave düşey gerilmelerin değişik yöntemlerle irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E. and Yen, S.C., 1993. The bearing capacity of a strip foundation on geogrid reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes, 12 (4), 351-361.
- Kondner, R.L., 1963. Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, 89 (SM1), 115-143.
- Kurian, N.P., Beena, K.S. and Kumar, R.K., 1997. Settlement of reinforced sand in foundations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123 (9), 818-827.
- Laman, M. ve Babacan, Ş.D., 2004. Donatılı kum zemin üzerine oturan ring (halka) temellerin analizi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19 (2), 281-289.
- Laman M. ve Keskin S., 2004a. Farklı sıklıktaki kumlu zeminlere oturan şerit temeller altında gerilme analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 19 (1), 71-82.
- Laman, M. ve Keskin, M.S., 2004b. Kumlu zeminlere oturan kare temeller altında düşey gerilme analizi. Türkiye Mühendislik Haberleri, İMO, 431, 53-57.
- Maharaj, D.K., 2003. Nonlinear finite element analysis of strip footing on reinforced clay. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 8 (C), 241-256.
- Mahmutyazıcıoğlu, N., 2002. Manufacturing of rigid porous filters. Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Mandal, J.N. and Sah, H.S., 1992. Bearing capacity tests on geogrid-reinforced clay. Geotextiles and Geomembranes, 11 (3), 327-333.
- Meyerhof, G.G. and Hanna A.M., 1978. Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined loads. Canadian Geotechnical Journal, 15 (4), 565-572.
- Michalowski, R.L., 2004. Limit loads on reinforced foundation soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 130 (4), 381-390.

- Nishigata, T. and Yamaoka, I., 1992. Ultimate bearing capacity of unpaved road reinforced by geotextile. Proc. of the Int. Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka-Japan, 659-664 (Yetimoğlu, T., 1994. Geogrid-Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul'da referans gösterilmiştir).
- Omar, M.T., Das, B.M., Puri, V.K. and Yen, S.C., 1993a. Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with geogrid reinforcement. Canadian Geotechnical Journal, 30 (3), 435-440.
- Omar, M.T., Das, B.M., Yen, S.C., Puri, V.K. and Cook, E.E., 1993b. Ultimate bearing capacity of rectangular foundations on geogrid-reinforced sand. Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16 (2), 246-252.
- Otani, J., Ochiai, H. and Yamamoto, K., 1998. Bearing capacity analysis of reinforced foundations on cohesive soil. Geotextiles and Geomembranes, 16 (4), pp. 195-206.
- PLAXIS Manual, 2002. User Manual. 2D Version 8, (Edited by BRINKGREEVE, R.J.B.), Delft University of Technology & PLAXIS B.V., The Netherlands.
- Sağlam, A. ve Özkan, T., 1978. Rijit Temel Altındaki Zemin Gerilmelerinin Deneysel İncelenmesi. TÜBİTAK, MAG-361 Araştırma Projesi, İstanbul.
- Schlosser, F., Jacobsen, H.M. and Juran, I., 1983. Soil reinforcement. General Rep., 8th Eur. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engrg., Balkema, Helsinki, 83-103.
- Schmertmann, J.H., Hartman, J.P. and Brown, P.R., 1978. Improved strain influence factor diagrams. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE 104 (GT8), 1131-1135.
- Sharma, R., Chen, Q., Abu-Farsakh, M. and Yoon, S., 2009. Analytical Modeling of geogrid reinforced soil foundation. Geotextiles and Geomembranes, 27 (1), 63-72.
- Shin, E.C., Das, B.M., Puri, V.K., Yen, S.C. and Cook, E.E., 1993. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced clay. Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16 (4), 534-541.
- Singh, H.R., 1988. Bearing Capacity of Reinforced Soil Beds. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India (Yetimoğlu, T., 1994. Geogrid-Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul'da referans gösterilmiştir).
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, New York.
- Uzuner, B.A., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Derya Kitapevi, Trabzon.
- Vesic, A.S., 1973. Analysis of ultimate loads of shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, 99 (SM1), 45-73.
- Wayne, M.H., Han, J. and Akins, K., 1998. The design of geosynthetic reinforced foundations. Proceedings of ASCE's 1998 Annual Convention & Exposition, ASCE Geotechnical Special Publication, 76, 1-18.
- Westergaard, H.M., 1938. A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: Soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. Contributions to the Mechanics of Solids, S. Timoshenko 60th Anniversary Volume, New York-Mac Millan, 268- 277.

- Yamamoto, K. and Otani, J., 2002. Bearing capacity and failure mechanism of reinforced foundations based on rigid-plastic finite element formulation. *Geotextiles and Geomembranes*, 20 (6), 367-393.
- Yetimoğlu, T., 1994. Geogrid-Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul.
- Yetimoğlu, T., Wu. J. and Sağlamer, A., 1994. Bearing capacity of rectangular footings on geogrid reinforced sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120 (12), 2083-2099.
- Yıldız, A.A., 2002. Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

20.10.1982 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzurum’da tamamladı. 2000 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2004 yılında yine Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde direkt doktora eğitimine başladı. 2005’te TÜBİTAK yurt içi doktora bursiyeri oldu. Doktora derslerini, Atatürk Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüleri ile Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsünden alarak tamamladı. 2007’den itibaren doktora tezinin deneysel ve teorik kısımlarının çalışmalarını Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı.