



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLEN KUMLU ZEMİN ÜZERİNE
OTURAN, YÜZEYSEL TEMEL ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Nail Metin YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
Şubat - 2010**

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLEN KUMLU ZEMİN
ÜZERİNE OTURAN, YÜZEYSEL TEMELİN İNCELENMESİ**

Nail Metin YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No :

Bu Tez 04 / 02 / 2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Doç Dr. Cafer KAYADELEN
DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇANAKÇI
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Remzi GEMCİ
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma.....tarafından desteklenmiştir.
Proje No:.....

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

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| İÇİNDEKİLER..... | I |
| ÖNSÖZ | V |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | VI |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | X |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 2 |
| 2.1 Deneysel Çalışmalar | 2 |
| 2.1.1. Geogrid İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller | 3 |
| 2.1.2. Geotekstil İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller | 10 |
| 2.1.3 Diğer Malzemeler İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller | 16 |
| 2.2. Zemin Islah Yöntemleri | 18 |
| 2.2.1. Mekanik Stabilizasyon | 19 |
| 2.2.2. Tesviye | 19 |
| 2.2.3. Zemin Değişirme | 19 |
| 2.2.4. Suyun Uzaklaştırılması | 20 |
| 2.2.5. Kompaksiyon (Sıkıştırma) | 20 |
| 2.2.6. Enjeksiyon | 20 |
| 2.2.7. Termal | 21 |
| 2.2.8. Yeraltı Suyu Kontrolü (Drenaj) | 21 |
| 2.2.9. Geosentetikler ve Donatılı Zemin..... | 21 |
| 2.2.10. Ankrajlar | 21 |
| 2.2.11. Diyafram Duvarlar | 22 |
| 2.2.12. Katkı Maddeleri Uygulaması | 22 |
| 2.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü | 22 |
| 2.3.1. Taşıma Gücü Teorileri | 25 |
| 2.3.2. Rankine Taşıma Gücü Teorisi..... | 25 |
| 2.3.3. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi..... | 27 |
| 2.3.4. Meyerhof Teorisi..... | 30 |
| 2.3.5. Brinch Hansen Teorisi | 32 |
| 2.4. Geosentetik Malzemeler..... | 32 |
| 2.4.1. Geotekstiller | 33 |
| 2.4.1.1. Örgüsüz Geotekstiller..... | 33 |
| 2.4.1.2. Örgülü Geotekstiller..... | 34 |
| 2.4.1.3. Geotekstillerin Genel Özellikleri..... | 35 |
| 2.4.1.4. Geotekstillerin Fonksiyonları | 36 |
| 2.4.2. Geogridler | 40 |
| 2.4.3. Geonet..... | 42 |
| 2.4.4. Geomembran..... | 43 |
| 2.4.5. Geosentetik Kil Kaplamalar | 45 |
| 2.4.6. Geoboru | 46 |
| 2.4.7. Geokompozitler..... | 47 |
| 2.4.8. Geofam..... | 48 |
| 2.4.9. Geotüp | 50 |
| 2.4.10. Geohücre | 52 |
| 2.4.11. Geo Diğerleri..... | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 3. MATERYAL METOD | 54 |
| 3.1. Deney Düzeni | 54 |
| 3.1.1. Deney Kasası | 54 |
| 3.1.2. Kullanılan Temel Plakası..... | 55 |
| 3.1.3. Yükleme Sistemi | 55 |
| 3.1.4. Yük Halkası..... | 56 |
| 3.2. Zemin Özellikleri | 56 |
| 3.2.1. Elek Analizi | 57 |
| 3.2.2. Piknometre Deneyi | 57 |
| 3.2.3. Kesme Kutusu Deneyi | 57 |
| 3.3. Kullanılan Geotekstilin Özellikleri | 58 |
| 3.4. Deney Yöntemi | 58 |
| 3.4.1. Aletlerin Kalibrasyonu..... | 58 |
| 3.4.2. Deneyin Yapılışı | 59 |
| 3.4.2.1. Kum Numunelerin Kasaya Yerleştirilmesi | 59 |
| 3.4.2.2. Geotekstilin Yerleştirilmesi | 60 |
| 3.4.2.3. Temel Plakasının ve Ölçüm Aletlerinin Yerleştirilmesi..... | 60 |
| 3.4.2.4. Yüklemenin Yapılması..... | 61 |
| 3.4.2.5. Deney Verilerinin Yorumlanması | 61 |
| 3.5. Deney Programı | 61 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 62 |
| 4.1. Donatısız Kum Zeminlerde Taşıma Gücü | 62 |
| 4.2. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi | 63 |
| 4.2.1. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=2,5)..... | 63 |
| 4.2.2. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=3,0)..... | 65 |
| 4.2.3. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=4,0)..... | 66 |
| 4.2.4. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=5,0)..... | 68 |
| 4.3. Donatı Boyunun (L) Etkisi | 71 |
| 4.3.1. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,25)..... | 71 |
| 4.3.2. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,375)..... | 72 |
| 4.3.3. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,5)..... | 73 |
| 4.3.4. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,625)..... | 75 |
| 4.3.5. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,75)..... | 76 |
| 4.3.6. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=1)..... | 78 |
| 4.4. Donatı Tabaka Sayısının (N) Etkisi | 81 |
| 4.4.1. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,50)..... | 81 |
| 4.4.2. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,625)..... | 82 |
| 4.4.3. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,625)..... | 83 |
| 4.4.4. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=3, d/B=0,625)..... | 86 |
| 4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi | 88 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 92 |
| 5.1. Donatısız Deney Sonuçları | 92 |
| 5.2. Donatılı Deney Sonuçları | 92 |
| 5.3. Öneriler | 93 |
| KAYNAKLAR | 94 |
| ÖZGEÇMİŞ | 99 |

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

**GEOTEKSTİL İLE GÜÇLENDİRİLEN KUMLU ZEMİN ÜZERİNE
OTURAN, YÜZEYSEL TEMELİN İNCELENMESİ**

Nail Metin, YILMAZ

DANIŞMAN : Doç. Dr. Cafer KAYADELEN

Yıl : 2010, Sayfa : 99

Jüri : Doç. Dr. Cafer KAYADELEN
: Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇANAKÇI
: Yrd. Doç. Dr. Remzi GEMCİ

Bu çalışmada, geotekstil ile güçlendirilmiş kum zemin üzerine oturan yüzeysel temel laboratuvar ortamında küçük ölçekli model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Yüzeysel temel olarak kare temel kullanılmıştır. Model deneylerde; ilk donatı derinliği, donatı tabaka uzunluğu ve donatı tabaka sayısı gibi parametrelerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan en uygun donatı yerleşim düzeni araştırılarak maksimum taşıma kapasitesi elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere tasarım parametreleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler : donatılı zemin, geotekstil, taşıma kapasitesi

**UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN SCIENCE AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

MASTER THESIS

ABSTRACT

**ANALYSIS OF SHALLOW FOUNDATION ON
GEOTEXTIL-REINFORCED SAND**

Nail Metin, YILMAZ

SUPERVISOR : Assoc. Prof. Dr. Cafer KAYADELEN

Year : 2010, Pages : 99

**Jüri : Assoc. Prof. Dr. Cafer KAYADELEN
: Asst. Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI
: Asst. Prof. Dr. Remzi GEMCİ**

In this study, analysis of shallow foundation on reinforced sand with geotextil layers was investigated using a small scale laboratory tests. Square footing was used in model tests. The parameters investigated include the location of the first layer of reinforcement, length of reinforcement layer and number of reinforcement layers. Experimental results can be investigated from the most appropriate equipment layout maximum bearing capacity has been trying to achieve. The results of experiments some practical design parameters were suggested for the relevant foundation engineering applications.

Key Words : reinforced soil, geotextil, bearing capacity

ÖNSÖZ

Çalışmalarında beni yönlendiren, bilgi ve ilgisini esirgemeyen saygı değer hocam Doç. Dr. Cafer KAYADELEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında, her döneminde olduğu gibi bu çalışmalarım sırasında da bana destek olan ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkür ediyorum.

Şubat 2010, KAHRAMANMARAŞ

Nail Metin YILMAZ

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Terzaghi Temel Şekil Katsayıları | 30 |
| Çizelge 2.2. Hansen Temel Şekil Katsayıları..... | 32 |
| Çizelge 2.3. Ayırma Amaçlı Örgüsüz Polipropilen Geotekstil Tipleri ve Özellikleri.. | 36 |
| Çizelge 2.4. Geogrid Özellikleri..... | 41 |
| Çizelge 3.1. Elek Analizi Sonuçları | 57 |
| Çizelge 3.2. Piknometre Deneyi Sonuçları | 58 |
| Çizelge 3.3. Geotekstil Özellikleri | 58 |
| Çizelge 4.1. Değişik Tabaka Boylarında ve Farklı u/B Sonuçları..... | 70 |
| Çizelge 4.2. Değişik İlk Donatı Kalınlıklarında ve Farklı L/B Sonuçları..... | 80 |
| Çizelge 4.3. Çift Donatılı Deney Sonuçları | 85 |
| Çizelge 4.4. Üç Donatılı Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar | 88 |
| Çizelge 4.5. Literatürde yer alan Geotekstil ile yapılan Deney Sonuçları..... | 90 |
| Çizelge 4.6. Literatürde yer alan Geogrid ile yapılan Deney Sonuçları..... | 91 |
| Çizelge 5.1. Donatısız ve Donatılı Deney Sonuçları | 92 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Geosentetik ile Güçlendirilmiş Temel Zemini Parametreleri | 2 |
| Şekil 2.2. Çelik Model Temellerin Detayları (Laman ve Yıldız, 2003) | 6 |
| Şekil 2.3. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (Laman ve Yıldız, 2003)..... | 6 |
| Şekil 2.4. Tabaka Sayısı İle Taşıma Gücü Arasındaki İlişki (Laman ve Yıldız, 2003) . | 6 |
| Şekil 2.5. u/B Sonuçlarının Karşılaştırılması (Yıldız L., 2005) | 7 |
| Şekil 2.6. Donatı Sayısının Karşılaştırılması (Yıldız L., 2005) | 7 |
| Şekil 2.7. u/B İle Nihai Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki (Laman ve ark., 2007) | 8 |
| Şekil 2.8. N İle Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki (Laman ve ark., 2007)..... | 8 |
| Şekil 2.9. B İle S/N Oranları Arasındaki Değişim (Demiröz ve Tan, 2008) | 9 |
| Şekil 2.10. Df İle S/N Oranları Arasındaki Değişim (Demiröz ve Tan, 2008)..... | 9 |
| Şekil 2.11. Taşıma Gücü İle Çökme Oranı arasındaki Dağılım (Puri ve ark., 2009) .. | 10 |
| Şekil 2.12. Yük-Çökme Değerleri (Df=40 cm) (Dembicki ve Duszynski, 2003) | 12 |
| Şekil 2.13. Yük-Çökme Değerleri (Df=60 cm) (Dembicki ve Duszynski, 2003) | 12 |
| Şekil 2.14. Yük-Oturma Eğrisi (Moroglu ve ark., 2006)..... | 13 |
| Şekil 2.15. Donatısız Deneylerin Yük-Oturma Eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008) ... | 14 |
| Şekil 2.16. Donatılı Deneylerin Yük-Oturma Eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008)..... | 14 |
| Şekil 2.17. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (Yasrobi ve ark., 2009)..... | 15 |
| Şekil.2.18. Donatı Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (Yasrobi ve ark., 2009) . | 16 |
| Şekil 2.19. Zemin İslah Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Tumluer, 2006)..... | 18 |
| Şekil 2.20. Tipik Bir Yük-Oturma Eğrisi | 23 |
| Şekil 2.21. Temel ve Zeminin Karşılıklı Etkileşimi | 23 |
| Şekil 2.23. Elastik Denge Durumunda Temel Zemin Etkileşimi..... | 24 |
| Şekil 2.24. Pürüzlü Bir Temelde Artan Yük İle Birlikte Oluşan Zemin Hareketleri . | 24 |
| Şekil 2.25. Rankine Kamalarına Etkiyen Yükler (Çelik, 1997) | 25 |
| Şekil 2.26. Terzaghi Teorisinde Kayma Bölgeleri (Çelik, 1997)..... | 28 |
| Şekil 2.27. ABC kamasına Etkiyen Yükler (Çelik, 1997)..... | 28 |
| Şekil 2.28. Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997) | 30 |
| Şekil 2.29. Meyerhof Teorisinde Kayma Yüzeyleri (Çelik, 1997) | 31 |
| Şekil 2.30. Meyerhof Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997) | 31 |
| Şekil 2.31. Hansen Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997)..... | 32 |
| Şekil 2.32. Örgüsüz Geotekstil (www.geotextile.com) | 34 |
| Şekil 2.33. Örgüsüz geotekstil mikrofilmi (www.geotextile.com)..... | 34 |
| Şekil 2.34. Örgülü Geotekstil (www.geotextile.com) | 35 |
| Şekil 2.35. Örgülü Geotekstil Mikrofilmi (www.geotextile.com) | 35 |
| Şekil 2.36. Geotekstillerin Fonksiyonları (www.payteks.com) | 37 |
| Şekil 2.37. Geotekstillerin Kullanımı (www.grupo.com.tr) | 38 |
| Şekil 2.38. Güçlendirilmiş ve Korunmuş Zemin (www.isdunyasi.net) | 38 |
| Şekil 2.39. Geotekstil Kullanımı Uygulamaları (www.geotextile.com)..... | 39 |
| Şekil 2.40. Geogrid (www.geogrid.com) | 40 |
| Şekil 2.41. Geogrid Uygulaması (www.geogrid.com) | 41 |
| Şekil 2.42. Dolgularda Geogrid Kullanımı (www.geogrid.com)..... | 42 |
| Şekil 2.43. Geogrid Kullanılarak Yapılan İstinat Duvarı (www.geogrid.com)..... | 42 |
| Şekil 2.44. Değişik Geonet Çeşitleri (www.istanbulteknik.com) | 42 |
| Şekil 2.45. Geonet saha uygulaması (www.istanbulteknik.com) | 43 |
| Şekil 2.46. Değişik Geomembran Çeşitleri (www.angoraplastik.com) | 44 |
| Şekil 2.47. Geomembranın saha uygulaması (www.terrafixgeo.com) | 44 |
| Şekil 2.48. Su deposu yalıtımı yapılması (www.isdunyasi.net) | 44 |

| | |
|---|----|
| Şekil 2.49. Geomembran kullanılarak yalıtımının yapılması (www.aquatan.com) | 45 |
| Şekil 2.50. PVC Geomembran Kullanımı (www.bacanaklar.com.tr)..... | 45 |
| Şekil 2.51. Geosentetik Kil Kaplama (www.naue.com)..... | 46 |
| Şekil 2.52. Geosentetik Kil Kaplama Uygulaması (www.irrigation.org.au) | 46 |
| Şekil 2.53. Geoboru (www.yapikatalogu.com)..... | 47 |
| Şekil 2.54. Atık Su Taşımada Geoboru Kullanımı (www.savastepe.bel.tr)..... | 47 |
| Şekil 2.55. Tünel inşaatında geokompozit kullanımı (www.geosentetikler.com) | 48 |
| Şekil 2.56. Geofom (wsdotblog.blogspot.com)..... | 49 |
| Şekil 2.57. İstinat Duvarları Arkasında Geofom Kullanımı (www.powerfoam.net). 49 | |
| Şekil 2.58. GeoFoam ile Şev Oluşturma (www.insulfoam.com) | 50 |
| Şekil 2.59. Geotüpün Sahil Korumada Kullanılması (www.thepetitionsite.com)..... | 51 |
| Şekil 2.60. Depolama işlemlerinde Geotüp Kullanımı (www.merchantcircle.com) | 51 |
| Şekil 2.61. Geohücre (www.kercherei.com) | 52 |
| Şekil 2.62. Geohücre Uygulaması (www.geomembranes.com)..... | 52 |
| Şekil 3.1. Deney Kasası..... | 54 |
| Şekil 3.2. Deney Düzenegi | 55 |
| Şekil 3.3. Yükleme Sistemi..... | 55 |
| Şekil 3.4. Yük Halkası | 56 |
| Şekil 3.5. Kum Numunelerinin Yıkanarak Elenmesi | 56 |
| Şekil 3.6. Tane Büyüklüğü Dağılım Eğrisi | 57 |
| Şekil 3.7. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi..... | 59 |
| Şekil 3.8. Kum Numunelerin Kasaya Yerleştirilmesi..... | 59 |
| Şekil 3.9. Geotekstilin Kum Üzerine Yerleştirilmesi..... | 60 |
| Şekil 3.10. Model Temelin Yerleştirilmesi..... | 60 |
| Şekil 3.11. Ölçüm Aletlerinin Yerleştirilmesi..... | 61 |
| Şekil 4.1 Geosentetik ile Güçlendirilmiş Temel Zemin Parametreleri | 62 |
| Şekil 4.2. Donatısız Zeminde Yük-Oturma Eğrisi..... | 63 |
| Şekil 4.3. Donatısız Zeminde Temel Basıncı – Oturma Oranı Eğrisi | 63 |
| Şekil 4.4. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=2,5)..... | 64 |
| Şekil 4.5. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=2,5)..... | 64 |
| Şekil 4.6. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=2,5) | 65 |
| Şekil 4.7. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=3,0)..... | 65 |
| Şekil 4.8. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=3,0)..... | 66 |
| Şekil 4.9. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=3,0) | 66 |
| Şekil 4.10. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=4,0)..... | 67 |
| Şekil 4.11. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=4,0).... | 67 |
| Şekil 4.12. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=4,0) | 68 |
| Şekil 4.13. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=5,0)..... | 68 |
| Şekil 4.14. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=5,0).... | 69 |
| Şekil 4.15. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=5,0) | 69 |
| Şekil 4.16. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi..... | 70 |
| Şekil 4.17. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=0,25)..... | 71 |
| Şekil 4.18. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (u/B=0,25)..... | 71 |
| Şekil 4.19. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi (u/B=0,25)..... | 72 |
| Şekil 4.20. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=0,375)..... | 72 |
| Şekil 4.21. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (u/B=0,375)..... | 73 |
| Şekil 4.22. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi (u/B=0,375)..... | 73 |
| Şekil 4.23. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=0,5)..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.24. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,5$)..... | 74 |
| Şekil 4.25. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,5$)..... | 75 |
| Şekil 4.26. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=0,625$)..... | 75 |
| Şekil 4.27. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,625$)..... | 76 |
| Şekil 4.28. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,625$)..... | 76 |
| Şekil 4.29. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=0,75$)..... | 77 |
| Şekil 4.30. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,75$)..... | 77 |
| Şekil 4.31. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,75$)..... | 78 |
| Şekil 4.32. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=1$)..... | 78 |
| Şekil 4.33. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=1$)..... | 79 |
| Şekil 4.34. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=1$)..... | 79 |
| Şekil 4.35. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi..... | 80 |
| Şekil 4.36. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,50$) .. | 81 |
| Şekil 4.37. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,50$) .. | 81 |
| Şekil 4.38. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi ($N=2, d/B=0,50$)..... | 82 |
| Şekil 4.39. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,625$) | 82 |
| Şekil 4.40. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,625$) | 83 |
| Şekil 4.41. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi ($N=2, d/B=0,625$)..... | 83 |
| Şekil 4.42. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,625$) | 84 |
| Şekil 4.43. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=2, d/B=0,625$) | 84 |
| Şekil 4.44. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi ($N=2, d/B=0,625$)..... | 85 |
| Şekil 4.45. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi ($N=2$) | 86 |
| Şekil 4.46. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=3, d/B=0,625$) | 86 |
| Şekil 4.47. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($N=3, d/B=0,625$) | 87 |
| Şekil 4.48. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi ($N=3, d/B=0,625$)..... | 87 |
| Şekil 4.49. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi | 88 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-------------------------------------|---|
| A | : Alan |
| ABS | : Akrilonitril bütadien stiren |
| ASTM | : Amerikan Society for Testing Materials |
| B | : Temel Genişliği |
| c | : Kohezyonu |
| C_a | : Kohezyon dirençleri |
| CAB | : Selüloz asetat bütrit |
| C_c | : Derecelenme katsayısı |
| C_u | : Üniformluk katsayısı |
| d | : Zemin Güçlendirme Derinliği |
| d/B | : Güçlendirme derinliği oranının |
| D₁₀ | : Efektif çapı |
| D₃₀ | : Gronülometri eğrisinde %30'a karşılık gelen dane çapı |
| D₆₀ | : Gronülometri eğrisinde %60'a karşılık gelen dane çapı |
| D_f | : Temel Derinliği |
| D_f/B | : Temel derinliği oranı |
| D_r | : Röletif sıklık derecesi |
| DSİ | : Devlet Su İşleri |
| EN | : Avrupa Standartları |
| EPS | : Genleştirilmiş polistiren |
| GS | : Güvenlik sayısı |
| G_s | : Özgül ağırlık |
| h | : Geosentetik tabakalar arası mesafe |
| h/B | : Tabakalar arası mesafe oranı |
| HDPE | : Yüksek yoğunluklu polietilen |
| ISO | : Uluslararası Standart Organizasyonu |
| İ | : Hansen yük eğim katsayısı |
| k₁, k₂ | : Temel şekil katsayıları |
| KSÜ | : Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi |
| L | : Geosentetik tabaka uzunluğu |
| L/B | : Donatı tabaka uzunluğu oranı |
| N | : Geosentetik Tabaka Sayısı |
| N_c | : Taşıma gücü katsayısı |
| N_q | : Taşıma gücü katsayısı |
| N_γ | : Taşıma gücü katsayısı |
| Ø | : Kesme mukavemeti açısı |
| O₉₅ | : Filtrasyon çapı olarak ifade edilen |
| P | : Taban Basıncı |
| PA | : Poliamid (Naylon) |
| PE | : Polietilen |
| P_p | : Pasif Toprak Basıncı |
| PB | : Polibütillen |
| PP | : Polipropilen (PP) |
| P_{pn} | : Pasif toprak basıncının normal bileşeni |
| PVC | : Polivinilklorit |
| q | : Taban Basıncı |

| | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| Q | : Temelden zemine aktarılan düşey yük |
| q_{emin} | : Zemin emin taşıma gücü qemin |
| q_s | : Sınır taşıma gücü |
| q_{sınır} | : Sınır taşıma gücü |
| q_{tab} | : Birim alana gelen taban basıncı |
| q_u | : Serbest basınç mukavemetidir. |
| s | : Çökme (Oturma) |
| S | : Hansen temel şekil katsayısı |
| s/B | : Çökme oranı |
| SP | : İyi derecelenmiş (Üniform) kum |
| SW | : Kötü derecelenmiş kum |
| TCK | : Türkiye Cumhuriyeti Karayolları |
| TS | : Türk Standartları |
| U | : İlk Geosentetik (Donatı) Derinliği |
| u/B | : İlk donatı derinliği oranı |
| W | : Ağırlık |
| XPS | : Sıkıştırılmış polistiren |
| γ | : Birim Hacim Ağırlık |
| γ_k | : Kuru birim ağırlığı |
| σ₀ | : Normal gerilme |
| τ₀ | : Kayma gerilmesi |

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var oluşundan bu yana inşa ettiği yapıların emniyetini sağlamak üzere zemin üzerinde iyileştirmeler yapmaya çalışmıştır. Bataklık benzeri gevşek zeminler içerisine ağaç gövdeleri ve dallar gibi değişik malzemeler ekleyerek zemin ıslahına çalışılmıştır. Eklenen malzemenin gevşek zemin içerisine batması, kullanılan malzemenin boşluklarından zemin kabarmaları olması ve eklenen malzemenin zamanla çürümesi, bu uygulamada karşılaşılan zorluklardan bazılarıdır. Zaman içerisinde karşılaşılan zorluklar, insanları daha dayanıklı ve kullanışlı çözümler üretmeye zorlamıştır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında Batı, tekstil endüstrisinde yüksek teknoloji ve sentetik hammadde kullanımına yönelmiştir. İç pazarda rekabetin ve talebin düşmesi sonucunda tekstil endüstrisi kapasite fazlalığıyla karşı karşıya kalmıştır. Bu durum tekstil üreticilerinin başka sahalarda olduğu gibi, inşaat mühendisliğinin ilgi alanına giren konularda da pazar arayışına girmelerine yol açmıştır. Tekstil ürünlerinden pamuklu lifler inşaat mühendisliğinde 1926 yılında kullanılmıştır. Ancak sentetik liflerin keşfi ve uygulamaya girmesiyle yeni bir dönem başlamış oldu.

Geosentetik terimi geotekstil, geomembran ve inşaat mühendisliğinde kullanılan benzeri ürünleri kapsamaktadır. Son yıllarda zemini iyileştirmek üzere çeşitli yöntemlerin yanında, geosentetiklerin kullanımına da başlanmış olup, kullanımları gittikçe artmaktadır. Özellikle otoyollardaki dayanma (istinat) yapılarında, dolgularda, temel zeminlerinde, yol, havaalanı temellerinde vb. alanlarda sıklıkla ve artan bir şekilde kullanılmaktadır. Geosentetikler, plastik veya fiberglastan üretilir ve gözenekli kumaş, ince keçe, seyrek gözlü ağ veya deliksiz (geçirimsiz) örtü gibi malzemelerdir. Genellikle zeminin taşıma gücünün artırılması (güçlendirme), geçirimsizliğin sağlanması (yalıtım), filtre, drenaj, ayırma vb. amaçlar için kullanılmaktadır.

Türkiye’de geosentetiklerin kullanımı batılı ülkelere oranla daha geç başlamasına rağmen tüm dünyada olduğu gibi giderek yaygınlaşmaktadır. Önceleri filtre malzemesi olarak kullanılan geotekstillere Türkiye’de ilk olarak Elmadağ üst geçidinde donatılı zemin uygulamasında kullanılmıştır.

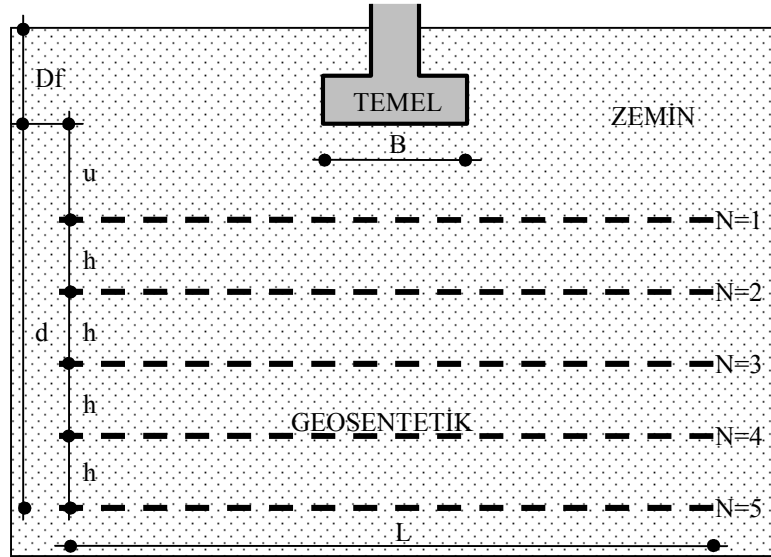
Son 20 yılda giderek artan kullanımı geleneksel yöntemlere göre kesin bir üstünlük sağlaması nedeniyle olmuştur. Ancak, donatılı zemin duvarların inşası ve kullanımı sırasında yük altında sergilediği davranış çok karmaşıktır ve halen yeni araştırmaların konusudur.

Bu çalışmada, geotekstil donatı ile güçlendirilmiş kum zeminlere oturan yüzeysel temel, model deneyler yapılarak incelenmiştir.

Yüzeysel temel olarak kare temel seçilmiştir. Model deneylerde; ilk donatı derinliği, donatı uzunluğu ve donatı tabaka sayısının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan en uygun donatı yerleşim düzeni araştırılarak maksimum taşıma kapasitesi elde edilmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güçlendirilmiş temel zemininin davranışını araştırmak için son otuz yılda birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda zeminin güçlendirilmesi ile zemin taşıma gücünün arttığı ve temel boyutlarının küçüldüğü belirtilmektedir. Araştırmacılar katkısız temel zeminleri ile güçlendirilmiş temel zeminlerinin taşıma gücü oranlarını değerlendirerek, takviye kullanmanın faydalarını değerlendirmeye çalışmışlardır. Bu araştırma çalışmalarında güçlendirilmiş zeminlerin taşıma gücünde birçok parametre ve değişkenlerin etkisi olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda zemin içerisine yerleştirilen takviye tabakalarının belli bir derinlikte yerleştirilmesi halinde daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Literatürde çoklukla yer alan güçlendirilmiş temel zemini parametreleri; Temel Genişliği (B), İlk Geosentetik (Donatı) Derinliği (u), Geosentetik tabakalar arası mesafe (h), Zemin Güçlendirme Derinliği (d), Geosentetik Tabaka Sayısı (N), Geosentetik tabaka uzunluğu (L), Temel Derinliği (Df), Zemin Cinsi, Temel Şekli olarak belirlenmiştir. Şekil 2.1 'de Literatürde sıklıkla uygulanan, geosentetik ile güçlendirilmiş temel zeminlerinde parametrelerin yerleşim konumu gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Geosentetik ile Güçlendirilmiş Temel Zemin Parametreleri

2.1 Deneysel Çalışmalar

Fransız mimar-mühendis Henry Vidal 1960'ların ortalarında, çekme dayanımlı metal donatılarla güçlendirilmiş zemin kullanımı üzerine rasyonel dizayn prosedürleri ortaya koymuştur. Sonrasında geogrid ile güçlendirilen kum zeminlerdeki temeller ve taşıma kapasiteleri üzerine (örneğin, Khing ve ark. 1993, Omar ve ark. 1993, Das ve Omar 1994, Yetimoğlu ve ark. 1994, Mandal ve Manjunath, 1995, Adams ve Collin 1997, Çelik 1997, Gabr ve ark. 1998, Gabr ve Hart 2000, Alawaji 2001, Shin ve ark. 2002, Laman ve Yıldız 2003, Laman ve Yıldız 2004, Yıldız L. 2005, Laman ve ark. 2007, Demiröz ve Tan 2008, Puri ve ark. 2009), geotekstil ile güçlendirilen kum zeminlerdeki temeller ve taşıma kapasiteleri üzerine (örneğin, Patel 1982, Guido ve ark. 1985, Dembicki ve ark. 1986, Guido ve ark. 1986, Moroğlu ve Uzuner 2002, Dembicki ve Duszynski, 2003, Moroğlu ve ark. 2004a, 2004b, Göktepe ve ark. 2005, Moroğlu ve ark. 2006, Tuna 2008, Yasrobi ve

ark. 2009), diğer malzemeler ile güçlendirilen kum zeminlerdeki temeller ve taşıma kapasiteleri üzerine (örneğin, Binquet ve Lee 1975, Akinmusuru ve Akinbolade 1981, Fragaszy ve Lawton 1985, Huang ve Tatsuoka 1990, Al-Refeai 1992, Yetimoğlu ve Salbaş 2002, Tumluer 2006), killi zeminler ve taşıma kapasiteleri üzerine (örneğin, Ingold ve Miller 1982,; Saki ve Das, 1987; Dawson ve Lee 1988; Mandal ve Şah, 1992; Ramaswamy ve Purushothaman, 1992, Shin ve ark., 1993, Das ve ark., 1996), tuvenan zeminler ve taşıma kapasiteleri üzerine (DeMerchant, ve ark., 2002 ; ve Raymond James, 2002; Sharma, ve ark., 2004), ve gölet ve sahillerdeki zeminler ve taşıma kapasiteleri üzerine (Ghosh ark., 2005; Bera ve ark., 2005) çok sayıda deneysel çalışmalar bildirilmiştir. İleriki bölümlerde güçlendirilmiş kum zeminler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar detaylı olarak bildirilmektedir.

2.1.1. Geogrid İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller

Khing ve ark. (1993), şerit temellerde, geogrid ile güçlendirilmiş kum zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için, 304,8 mm genişliğinde, 1 100 mm uzunluğunda ve 914 mm yüksekliğinde çelik bir kasada deneyler yapmışlardır. Model temel olarak 304,8 mm uzunluğunda 101,6 mm genişliğinde ve 25,4 mm kalınlığında sert kereste kullanmışlardır. Temel zemini olarak, üniformluk katsayısı (C_u) 1,53, derecelenme katsayısı (C_c) 1,10, kuru birim ağırlığı (γ_k) 17,14 kN/m³, Rölatif sıklık derecesi (D_r) %70 ve kesme mukavemeti açısı (ϕ) 40,3° olan iyi derecelenmiş yuvarlak ince silisli kum kullanmışlardır.

İlk donatı derinliği oranının (u/B) diğer tabakalar arası mesafeden (h) fazla olması gerektiğini, güçlendirme derinliği oranının (d/B) 2,25 'den fazla olması halinde sonuç alınamayacağını, donatı tabaka uzunluğu oranı (L/B) maksimum fayda elde etmek amacıyla 6 eşit tabaka olması gerektiğini, taşıma gücü oranı hesaplamalarında, çökme oranının (s/B) 0,25, 0,50 ve 0,75 değerleri için yaklaşık %67 - %75 oranında nihai taşıma gücü değerleri elde ettiklerini ve 6 tabakalı güçlendirme ile 4 kat kadar taşıma gücünde artış olabileceğini bildirmişlerdir.

Omar ve ark. (1993), geogrid ile güçlendirilen zeminlerdeki yüzeysel temellerin donatı uzunluğu ile temel genişliğinin oranının (B/L) taşıma gücüne etkilerini araştırmışlardır. Temel deneyleri için 304,8 mm genişliğinde, 1,1 m uzunluğunda ve 914 mm yüksekliğinde, kare temel deneyleri için 910 mm genişliğinde, 910 mm uzunluğunda ve 910 mm yüksekliğinde geniş kasalar kullanmışlardır. 76,2 mm × 76,2 mm, 76,2 mm x 152,4 mm, 76,2 mm x 228,6 mm ve 76,2 mm x 304,8 mm boyutlarında (B/L) oranı 1, 0,5, 0,333 ve 0 olan dört kare temel model olarak kullanılmıştır. Temel zemini olarak, $C_u=1,53$, $C_c=1,10$, $\gamma_k=17,14$ kN/m³, $D_r=\%70$ ve $\phi=41^\circ$ olan iyi derecelenmiş ince silisli kum kullanmışlardır.

Model testlerin sonuçları, derinlik etkisinin güçlendirmeyi azalttığını, temel genişliği ile donatı tabaka uzunluğu oranının (B/L) ise güçlendirmeyi artırdığını, (B/L) oranı kare temeller için 1,2B, şerit temeller için ise 2B olduğunu bildirmişlerdir. Nihai taşıma gücü oranı 3 ile 4,5 arasında olduğunda (B/L) oranı 0 ile 1 arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Das ve Omar (1994), yaptıkları çalışmada geogrid ile güçlendirilen kumlu ve killi zeminlerdeki şerit temellerin taşıma gücünü karşılaştırmışlardır. Model deneyler için 1 960 mm uzunluğunda, 305 mm genişliğinde ve 914 mm yüksekliğinde kasa kullanılmıştır. Tüm

temellerin uzunluğu 304,8 mm olmak üzere, 50,8 mm, 76,2 mm 101,6 mm, 127 mm, 152,4 mm ve 177,8 mm genişliğinde 6 farklı temel boyutunda deneyler yapmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=1,53$, $C_c=1,10$ ve kutuya konulan kumun sıklığı % 55, %65 ve % 75 olacak şekilde boşaltılmıştır.

Suya doymuş killerde şerit temelin oturması donatılı ve donatısız olarak yapılan laboratuvar deneylerinde aynı olduğunu, kumlu zeminlerde yük arttırıldıkça zeminin taşıma gücünün arttığı belirtilmiştir.

Yetimoğlu ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada, geogrid-donatılı kum zemin üzerine oturan temellerin, laboratuvarında bir dizi model deneylerle ve sonlu elemanlar analizi yaparak taşıma kapasitesini ve oturma analizini araştırmıştır. Model deneyler, 70 cm genişliğinde, 70 cm uzunluğunda ve 100 cm yüksekliğinde çelik kasada yapılmıştır. Model temel olarak 127 mm uzunluğunda, 101,5 mm genişliğinde, 12,5 mm kalınlığında dikdörtgen çelik levha kullanılmıştır. Temel zemini olarak, $C_u=2,33$, $C_c=0,76$, $\gamma_k=17,16$ kN/m^3 , $D_r=\%70-73$ ve $\phi=40^\circ$ olan iyi derecelenmiş ince kum kullanmışlardır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, donatılı ve donatısız kum zemin üzerine oturan temellerin göçme anındaki oturma değerlerinin birbirinden farklı olmadığını belirtmişlerdir.

Mandal ve Manjunath, (1995), geogrid ve dikey takviye olarak bambu kullanarak, kum zemine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Model deneyleri 610 mm uzunluğunda, 102 mm genişliğinde ve 460 mm yüksekliğindeki dikdörtgen bir çelik kasada gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 100 mm genişliğinde, 40 mm kalınlığında ahşap şerit temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak efektif çapı (D_{10}) 0,2 mm ve $C_u=4,6$ olan yöresel Mumburu kumu kullanılmıştır.

Temel tabanından 0,5B mesafede taşıma gücünde optimum gelişme elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Adams ve Collin (1997), model deneylerle donatılı kum zemin üzerine oturan ($B=30, 46, 61, 91$ cm) boyutlarındaki kare tekil temellerin göçme oluşuncaya kadar belirli yükler altında donatı parametrelerinin taşıma gücüne ve oturmaya olan etkisini araştırmışlardır.

Çelik (1997), yaptığı çalışmada, yüzeysel şerit temellerde geogridin zeminin taşıma gücüne etkisini araştırmıştır. Model deneyleri 8 mm kalınlıkta, 70 cm uzunlukta, 40 cm yüksekliğindeki cam kasa içerisinde gerçekleştirmiştir. Model temel olarak 3,5, 5 ve 7 cm ebatlarında ahşaptan kare temeller kullanmıştır. Temel zemini olarak $C_u=2,15$, $C_c=0,89$, tane birim hacim ağırlığı $2,66$ gr/cm^3 ve $\phi=40^\circ$ olan Trabzon ili Of ilçesi sahil kumu kullanılmıştır.

Üç tabakalı donatı uygulaması durumunda sınır taşıma gücünün en yüksek olduğu optimum derinlik 0,5 ve bu durumda taşıma gücünde 5 kat artış olduğunu belirtmiştir.

Gabr ve ark. (1998), geogridle güçlendirilen kum zeminlerde gerilme dağılımı üzerine çalışmışlardır. Model deneyleri 152 cm genişliğinde, 152 cm uzunluğunda ve 137 cm yüksekliğinde geniş çelik kasada ve 33 cm boyutunda kare temel kullanarak

yapmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=8$, $C_c=1$, $\gamma_k=17,3 \text{ kN/m}^3$ ve $\phi=38,6^\circ$ olan Ohio Nehri kumu kullanmışlardır.

Temel zeminine geogrid ile güçlendirme yapıldığında, zeminin gerilme dağılımının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Gabr ve Hart (2000), yaptıkları çalışmada geleneksel olarak kullanılan taşıma kapasitesi yerine elastik modül açısından deney sonuçları değerlendirdiler.

Deney sonuçlarına göre yük yerleşiminin geogrid ile güçlendirildiğinde daha iyi dağılım gösterdiğini belirtmişlerdir.

Alawaji (2001), çalışmasında oturma miktarını, elastisite modülünü ve taşıma kapasitesini, geogrid tabakasının derinliği ve genişliğini değiştirilerek araştırmıştır. Temel zemini olarak $C_u=2,96$, $C_c=1,351$, $D_r=\%68$, $\phi=42^\circ$, olan Riyad bölgesi Al Thomamah kumu kullanmışlardır. Model temel olarak 50 mm kalınlığında, 70 mm ve 100 mm çaplı alüminyum dairesel temel kullanmışlardır.

Geogrid donatılı kumlarda donatı genişliği arttıkça ve donatı derinliği azaldıkça, oturma %95 azaldığı, elastisite modülünde %2000 artış ve taşıma kapasitesinde %320 artış görüldüğünü bildirmiştir.

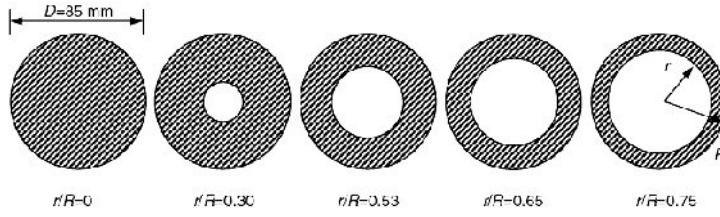
Shin ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada geogridle güçlendirilen kum zeminlerin taşıma gücünü etkileri araştırdılar. Model deneyleri 174 mm genişliğinde, 1 000 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliğinde çelik kasada yapmışlardır. Model temel olarak 172 mm uzunluğunda, 67 mm genişliğinde ve 77 mm kalınlığında ahşap temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=2,65$, $C_c=1,51$, $D_r=\%74$ ve $\phi=38^\circ$ olan kötü derecelenmiş kum kullanmışlardır.

Donatısız zemin ve İlk donatı derinliği (u/B) 0,4, tabakalar arası mesafe oranı (h/B) 0,4, donatı tabaka uzunluğu oranı (L/B) 6 olan güçlendirilmiş zeminde deneysel çalışma yapmışlardır.

İlk donatı derinliği $2B$ olduğu durumda, donatısız zemine göre taşıma gücünün arttığını belirtmişlerdir. Temel derinliği oranı (D_f/B) 0 iken donatısız durumdaki taşıma gücü 1,13, donatılı taşıma gücü 2,0, $D_f/B=0,3$ iken donatısız taşıma gücü 1,25, donatılı taşıma gücü 2,5, $D_f/B=0,6$ iken donatısız taşıma gücü 1,38, donatılı taşıma gücü 2,65 değerlerini elde ettiklerini belirtmişlerdir.

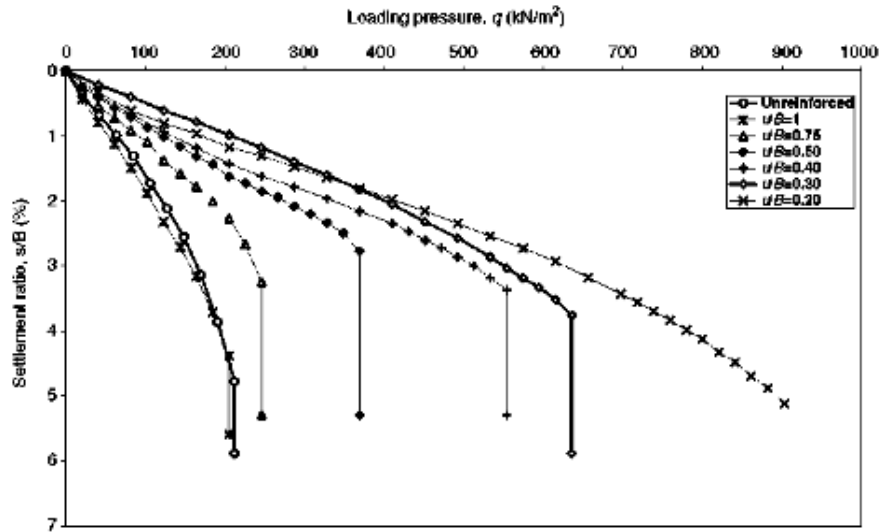
Laman ve Yıldız, (2003), geogridle güçlendirilen kum zeminlerdeki dairesel temellerin taşıma kapasitelerini araştırmışlardır. Model deneyleri 700 mm uzunluğunda, 700 mm genişliğinde ve 700 mm derinliğinde çelik kasa içerisinde yapmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,5$, $C_c=1,1$, $\gamma=17,10 \text{ kN/m}^3$, $\phi=41^\circ$ olan Seyhan nehri kumu kullanmışlardır.

Model temel olarak Şekil 2.2 'de detayları gösterilen 20 mm kalınlığında, 85 mm dış çapında ve değişik iç boşluk çaplarında çelik dairesel-halka temeller kullanmışlardır.



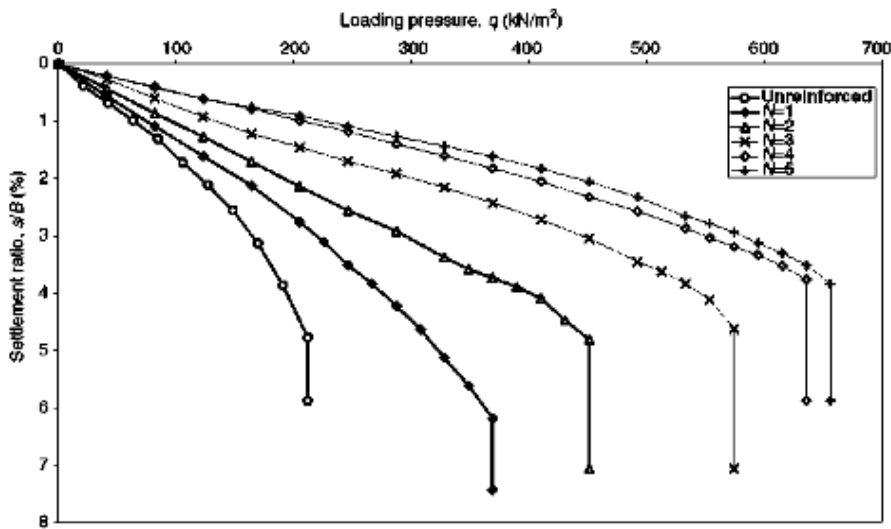
Şekil 2.2. Çelik Model Temellerin Detayları (Laman ve Yıldız, 2003)

Şekil 2.3'de deneylerde kullanılan geogrid tabakası ilk donatı derinliklerinin (u/B) taşıma gücüne etkileri bildirilmiştir.



Şekil 2.3. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (Laman ve Yıldız, 2003)

Şekil 2.4'de deneylerde kullanılan geogrid tabaka sayılarının (N) taşıma gücüne etkileri bildirilmiştir.



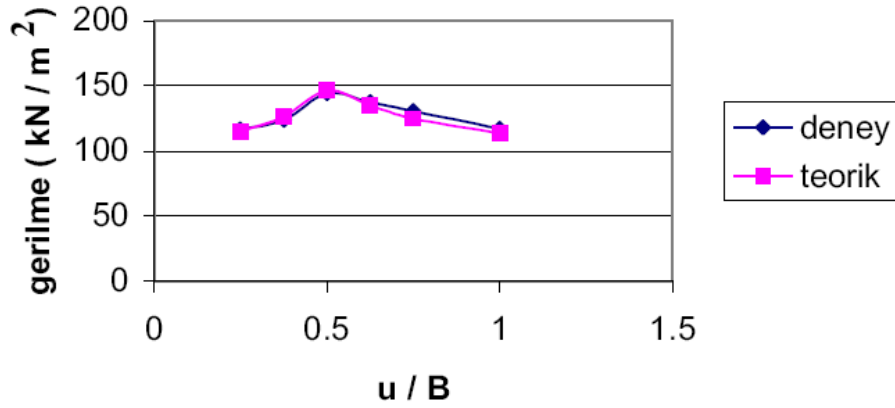
Şekil 2.4. Tabaka Sayısı İle Taşıma Gücü Arasındaki İlişki (Laman ve Yıldız, 2003)

Geogrid özelliklerine bağlı olarak güçlendirilen zeminlerde, donatısız zeminlere göre 3 kat daha fazla taşıma gücü elde edildiğini, ilk donatı derinliğinin $0,3B$, L/B oranının 3 ten küçük olması durumunda, 4 tabakalı halka temellerdeki taşıma gücünde etkili bir artış gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Laman ve Yıldız (2004), çalışmalarında donatısız ve donatılı kumlu zeminler üzerine oturan dairesel temellerin taşıma kapasitesi ve oturması deneysel olarak araştırmışlardır. Geogrid donatılı zeminde iyileştirme sonucunda donatısız zemine göre daha az oturmanın olduğu belirtilmiştir.

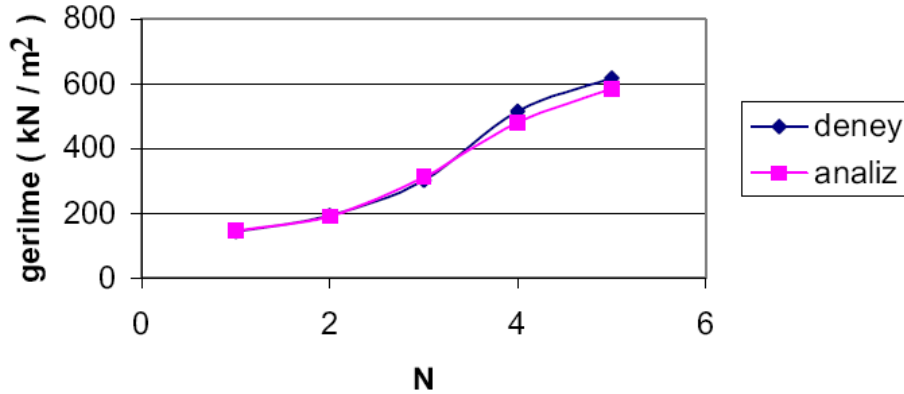
Yıldız L. (2005), yaptığı çalışmada geogrid ile güçlendirilmiş şevli zemin üzerine oturan yüzeysel temelin taşıma kapasitesini model deneyler yapılarak araştırmıştır. Model deneyleri $103,5 \times 40,5$ cm ebatlarında ve 68 cm yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli kasa içerisinde yapmıştır. Model temel olarak 40×4 cm ebatlarında ve 2 cm kalınlığında metal plaka kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,94$, $C_c=0,88$, $\gamma=26,8$ kN/m³, $D_r=\%65$ ve $\phi=40,4^\circ$ olan Seyhan nehir yatağından getirilen kum kullanılmıştır.

Şekil 2.5’de deney ve nümerik analiz sonuçlarına göre kullanılan geogridin ilk donatı derinliklerinin (u/B) taşıma gücüne etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. u/B Sonuçlarının Karşılaştırılması (Yıldız L., 2005)

Şekil 2.6’da deney ve nümerik analiz sonuçlarına göre geogrid tabaka sayılarının taşıma gücüne etkisi gösterilmiştir.

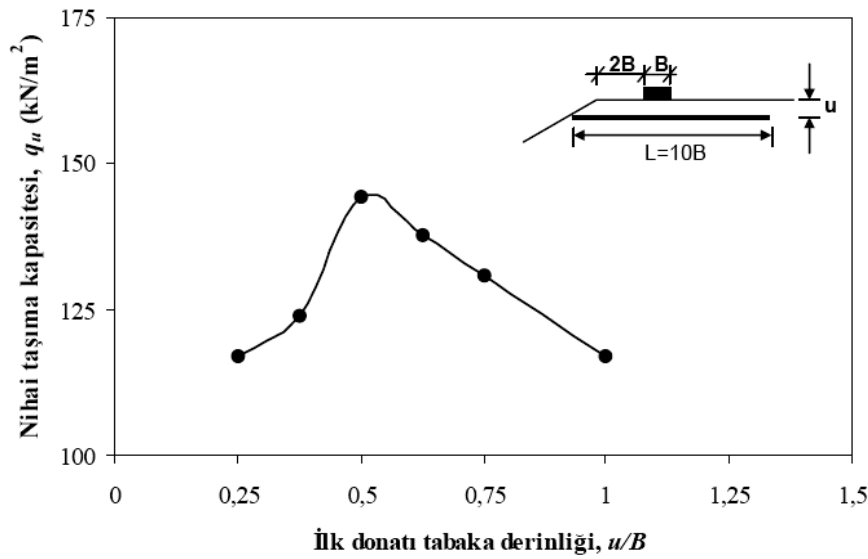


Şekil 2.6. Donatı Sayısının Karşılaştırılması (Yıldız L., 2005)

Temel aksının şev tepesine olan uzaklığı $2B$ iken tek tabaka donatının yüzeyden $H=2$ cm aşağıya yerleştirilmesi durumunda temel maksimum yük taşıma kapasitesine eriştiğini ve şev tepesinden olan optimum uzaklığın $5B$, donatı sayısının $N=4$ iken taşıma kapasitesinin artış oranının en fazla olduğunu bildirmişlerdir.

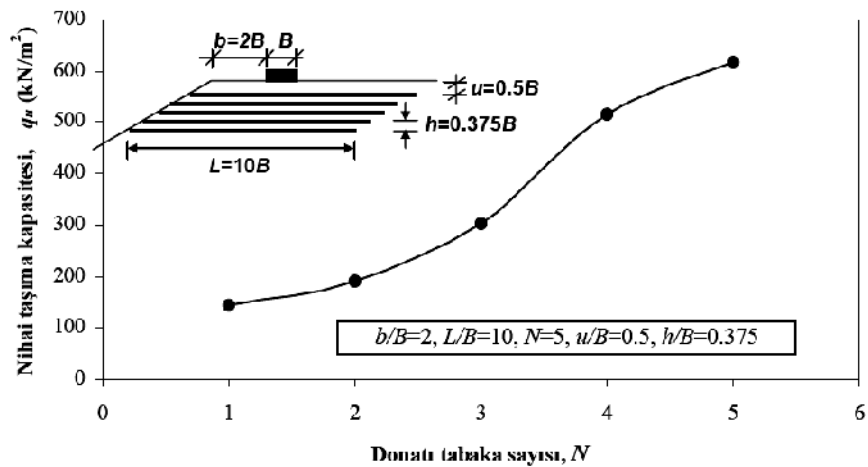
Laman ve Yıldız (2007), geogrid ile güçlendirilmiş şevli zemin üzerine oturan, yüzeysel temelin taşıma kapasitesini, model deneyler yaparak araştırmışlardır. Model deneyleri $103,5 \times 40,5$ cm ebatlarında ve 68 cm yüksekliğindeki dikdörtgen kesitli kasa içerisinde yapmışlardır. Model temel olarak 40×4 cm ebatlarında ve 2 cm kalınlığında metal plaka kullanmışlardır. Temel zemini olarak $\gamma=26,8$ kN/m³, $D_r=\%65$ ve $\phi=40,4^\circ$ olan Seyhan nehir yatağından getirilen kum kullanılmıştır.

Şekil 2.7’de kullanılan geogridlerin, ilk donatı derinliklerinin (u/B) taşıma kapasitesine etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2.7. u/B İle Nihai Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki (Laman ve ark., 2007)

Şekil 2.8’de kullanılan geogrid tabaka sayıları (N) ile taşıma kapasiteleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

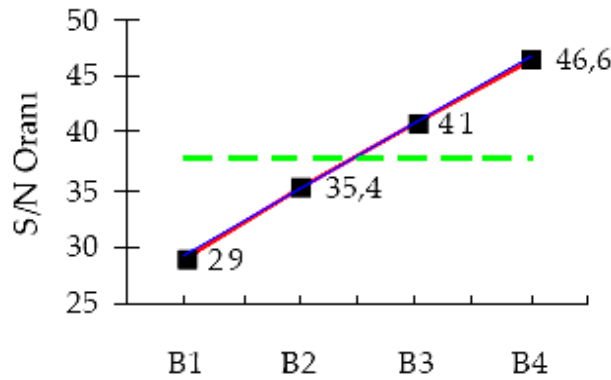


Şekil 2.8. N İle Taşıma Kapasitesi Arasındaki İlişki (Laman ve ark., 2007)

İlk donatı tabakası için optimum derinlik $u=0,50B$ olarak bulmuşlar ve tek donatının taşıma kapasitesi donatısızla göre 1,75 kat arttığını bildirmişlerdir. Optimum donatı sayısı $N=4$ bulmuşlardır. Taşıma kapasitesi $N=1$ olduğunda bulunan değerin 3,5 katı, donatısız durumda bulunan değerin ise 6,2 katı kadar arttığını bildirmişlerdir.

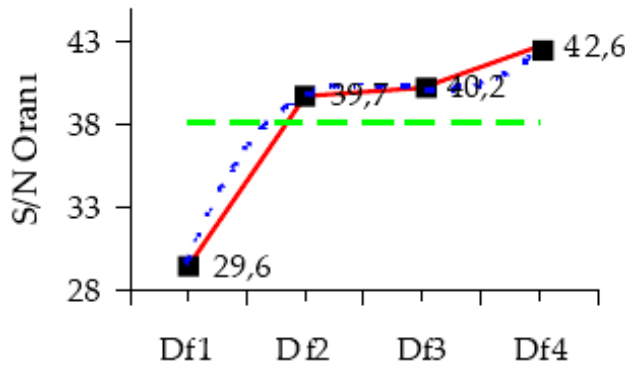
Demiröz ve Tan, (2008), yaptıkları çalışmada, geogrid donatılı kum üzerine oturan model temellerde oturmayı etkileyen tasarım faktörlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Model deneyleri 39 cm genişliğinde, 112,50 cm uzunluğunda ve 80 cm yüksekliğinde kasa içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 4, 6, 8 ve 10 cm genişliğinde şerit temeller kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,4$, $C_c=1,05$ olan kum kullanılmıştır.

Şekil 2.9'da kullanılan temel genişlikleri (B) ile değişim indeksleri (S/N) arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 2.9. B İle S/N Oranları Arasındaki Değişim (Demiröz ve Tan, 2008)

Şekil 2.10'da kullanılan temel derinlikleri (Df) ile değişim indeksleri (S/N) arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 2.10. Df İle S/N Oranları Arasındaki Değişim (Demiröz ve Tan, 2008)

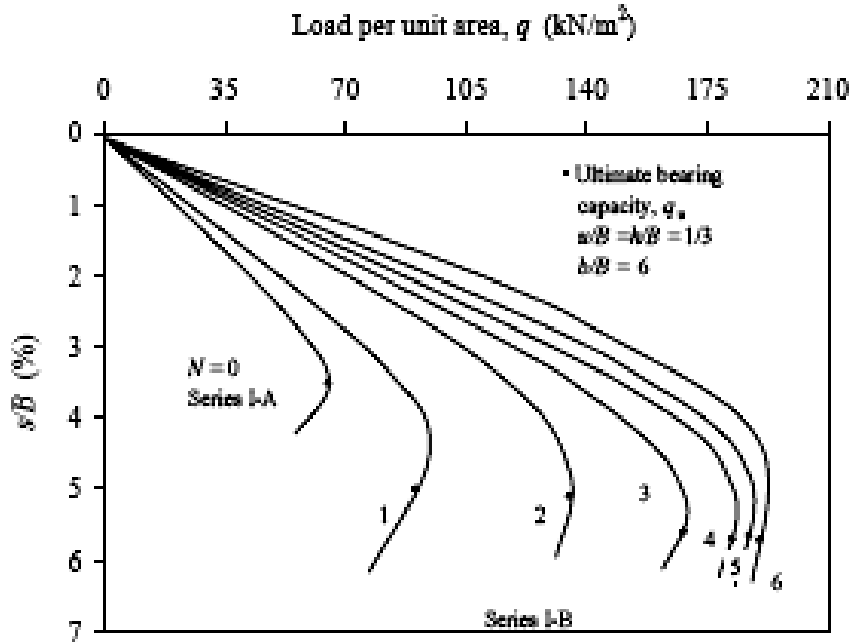
Sınır taşıma gücüne ulaşılması için gerekli oturma miktarı üzerinde en etkili parametrenin % 52'lik oran ile temel genişliği olduğunu, temel genişliği arttıkça oturma miktarının da doğrusal olarak arttığını, oturma miktarı üzerinde ikinci derecede etkili parametrenin ise %30 luk oran ile temel derinliği olduğunu belirtmişlerdir.

Donatılı zemin uygulamalarında sınır taşıma gücüne ulaşıldığı andaki oturma miktarının, donatısız zeminlere göre oldukça fazla olduğunu, bu durumun donatılı

zeminlerde taşıma gücü yenilmelerinin daha büyük deformasyon değerlerinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Puri ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada, geogrid ile güçlendirilen kum zeminli temellerin dinamik yükler altındaki etkilerini araştırmışlardır. Model deneyleri 760 mm boyutunda kare pleksiglas kasada gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 76,2 mm ebadında kare temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak %70 sıklıkta iyi derecelenmiş kum kullanmışlardır.

Şekil 2.11’de deney sonuçlarına göre elde edilen birim yük alanı ile çökme oranları arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Taşıma Gücü İle Çökme Oranı arasındaki Dağılım (Puri ve ark., 2009)

Güçlendirilen kum zeminlerde takviye genişliği ve derinliğinin optimum durumunda belirli bir artış olduğu bildirilmiştir.

2.1.2. Geotekstil İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller

Patel (1982), kum zemin üzerine oturan şerit ($B=14.50$ cm), daire ($D=14.15$ cm) ve ($B \times L=11.35 \times 46.50$ cm) dikdörtgen temellerde, donatıların temellere ve yük-oturma davranışına olan etkisini araştırmıştır. Örgülü geotekstil levhaları donatı olarak kullanmıştır. Çalışmada ilk donatı derinliği ve donatı kalınlığı parametre alınarak zeminin dane dağılımı ve dane yapısı değişken olarak deneyler yapmışlardır.

Temellerin her hangi bir seviyede oturması halinde taşıma kapasitesinin maksimum olduğu en uygun ilk donatı derinliği oranının $u=0.47B$ veya $u=0.47D$ olduğunu bildirmiştir.

Guido ve ark. (1985), geotekstil ile güçlendirilen kumlu zeminlerdeki temeller üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Model deneylerde 122 cm boyutlarında, 92 cm yüksekliğinde kare pleksiglas kasa ve 31 cm boyutunda kare temel kullanmışlardır.

Temel zemini olarak, $C_u=2,5$ ve $1,9$ olan, $\gamma_k=14,80$ ve $14,26$ kN/m^3 , $D_r=\%50$ ve $\phi=35^\circ$ ve 36° olan farklı dağılımda kum kullanmışlardır.

Beş tabakalı geotekstil ile güçlendirilmiş temel zemininde (u/B) oranı $0,28$ ve (h/B) $0,18$ olması durumunda taşıma gücünde $2,8$ kat artış olduğu bildirilmiştir.

Dembicki ve ark. (1986), araştırmacılar sıkı kum-geotekstil-yumuşak kil arasındaki çok tabakalı zeminin aksenal, eksantrik ve eğik yükler altında yük-oturma davranışını incelemişlerdir.

Guido ve ark. (1986), geogrid ve geotekstil ile güçlendirilen zeminlerin taşıma gücünün karşılaştırılması amacıyla bir dizi deney yapmışlardır. Model deneylerde 122 cm boyutlarında, 92 cm yüksekliğinde kare pleksiglas kasa ve 305 mm boyutunda kare temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak, $C_u=1,9$, $C_c=1,23$, $\gamma_k=14,39$ kN/m^3 , $D_r=\%55$ ve $\phi=37^\circ$ olan zemin kullanmışlardır.

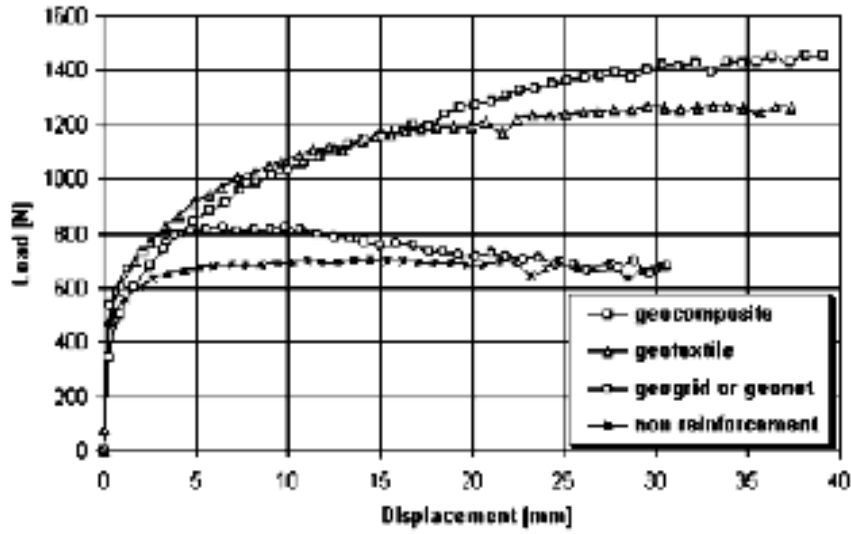
Geogrid ile güçlendirilmiş kumlu zeminlerin, geotekstil ile güçlendirilen kumlu zeminlerden $\%10$ daha iyi performans gösterdiklerini, geogrid ile güçlendirilen kumlu zeminlerin taşıma kapasitelerinin $1,25$ ile $2,8$ arasında arttığını bildirmişlerdir.

Moroğlu ve Uzuner (2002), kum zemin üzerine oturan merkezi ve eksantrik yüklü şerit temelde, taşıma gücü, kırılma yüzeyleri ve oturma-yük eğrilerini donatısız ve donatılı durumlar için karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Eksantrik temelerde kırılma yüzeyi (birincil) temelin eksantrikte tarafında meydana geldiği, Kırılma yüzeyinin kum yüzey ile ara kesitinin temele olan uzaklığının eksantrikte arttıkça azaldığını belirtmişlerdir.

Dembicki ve Duszynski, (2003), Geosentetik dört malzeme ile (Geonet, geogrid, geokompozit ve geotekstil) temel zeminini güçlendirerek taşıma gücündeki değişimleri incelemişlerdir. Model deneyleri 185 cm genişliğinde, 230 cm uzunluğunda ve 120 cm derinliğinde kasa içerisinde yapmışlardır. Model temel olarak 10 cm çapında alüminyum dairesel temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,43$, $\phi=27^\circ$ olan Baltık Denizi kum sınıfından, Lubiatowo kumu kullanılmıştır. 40 ve 60 cm temel derinliklerinde (Df) çalışma yapmışlardır.

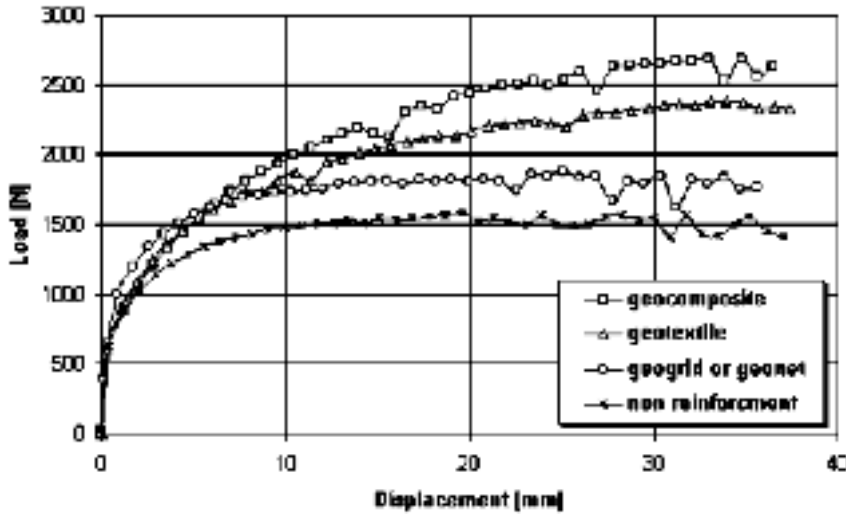
Temel derinliğinin artması ve geosentetik malzemeler ile zeminin güçlendirilmesi ile temel şartlarının iyileştirildiğini, donatısız zemine göre en fazla artış 40 cm temel derinliğindeki geokompozit malzemede $\%200$ olarak görüldüğünü bildirmişlerdir.

Şekil 2.12'de temel derinliği (Df) 40 cm olan çeşitli geosentetik malzemeler ile güçlendirilen zeminin yük-çökme değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Yük-Çökme Değerleri (Df=40 cm) (Dembicki ve Duszynski, 2003)

Şekil 2.13'da temel derinliği (Df) 60 cm olan çeşitli geosentetik malzemeler ile güçlendirilen zeminin yük-çökme değeri gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Yük-Çökme Değerleri (Df=60 cm) (Dembicki ve Duszynski, 2003)

Moroğlu ve ark. (2004a, 2004b), yaptıkları çalışmalarda, donatısız ve donatılı sıkı kuma oturan bir model yüzey şerit temelin çekirdeğinde, üzerinde ve dışında eksantrik olarak yapılan yüklemelerle bir dizi deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, kullanılan geotekstil malzemenin, temelin yük-oturma eğrisini, oturma koşulu açısından iyileştirdiğini belirtmiştir. (donatısız durumdaki aynı oturmaya karşılık, donatılı durumda daha büyük taşıma gücü sağlandığını belirtmişlerdir).

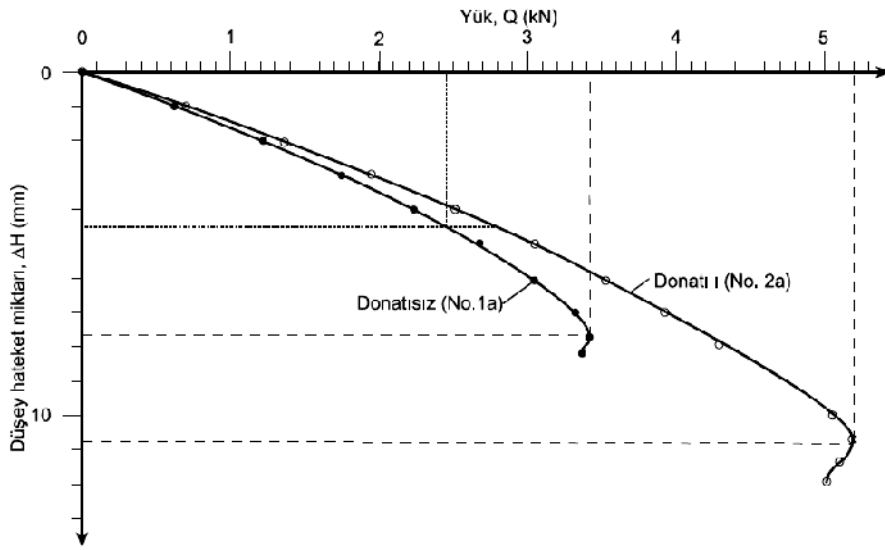
Göktepe ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada Toyoura kumunun dinamik mukavemet özelliklerini örgülü ve örgüsüz geotekstillere iyileştirmenin etkisini araştırmak amacıyla dinamik gerilme kontrollü tekrarlı burulmalı kesme deneyleri yapmışlardır. Toyoura kumu ince üniform kum sınıfına girmekte olup kuartz minerolojisine sahiptir.

Örgüsüz geotekstillerin sahip oldukları daha yüksek elastisite modülü ve sürtünme katsayısı değerleri nedeniyle, örgüsüz geotekstiller örgülü geotekstillere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Örgülü ve örgüsüz geotekstiller arasındaki sınıvlaşmaya neden olan çevrim sayısı arasındaki farklılıklar, %50 seviyelerine varmaktadır.

Tabaka ve dolayısı ile katman sayısındaki artışlar, sınıvlaşma direncini arttırmıştır. Sayısal olarak, bir katmanlı durumdaki dayanım artışı örgülü ve örgüsüz geotekstiller için %25 ile %167 arasında iken, iki katmanlı güçlendirmelerde %47 ile %233 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Moroğlu ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada, donatısız ve donatılı sıkı kumlara oturan bir model yüzey şerit temel davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Model deneyde 90 cm uzunluğunda, 10 cm genişliğinde ve 65 cm yüksekliğinde kasa içerisinde yapmışlardır. 10 cm genişliğinde model temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,64$, $C_c=1,16$, $D_r=\%74$, $\phi=41^\circ$ olan Rize ili, İyidere ilçesi sahil kumu kullanılmıştır. 400 gr/m^2 birim alan kütlesi olan geotekstil kullanmışlardır.

Şekil 2.14'de donatısız ve donatılı kumda, deney sonuçlarından elde edilen temel yük-oturma eğrileri verilmektedir.

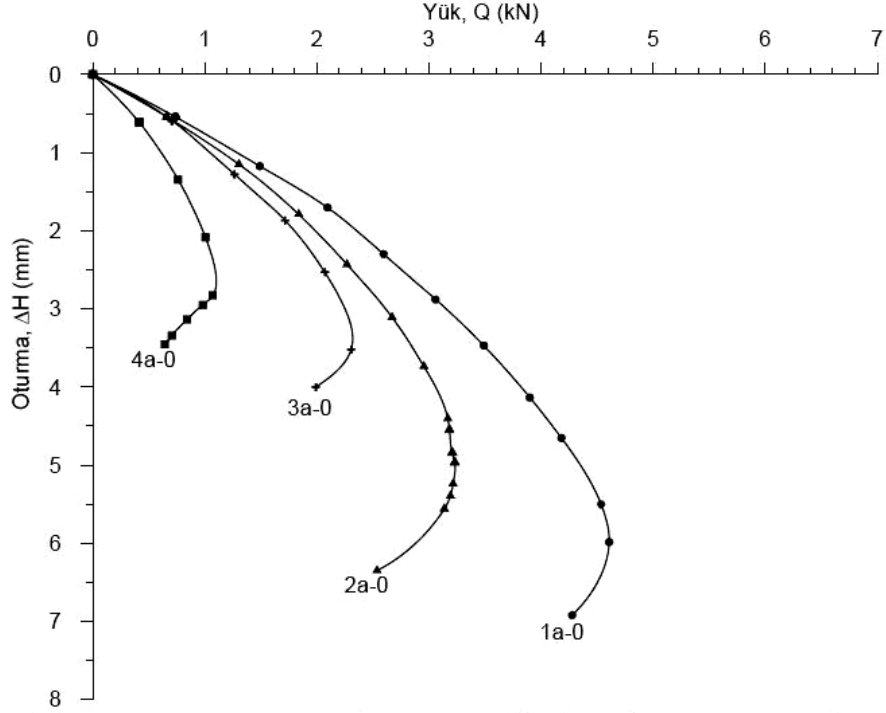


Şekil 2.14. Yük-Oturma Eğrisi (Moroğlu ve ark., 2006)

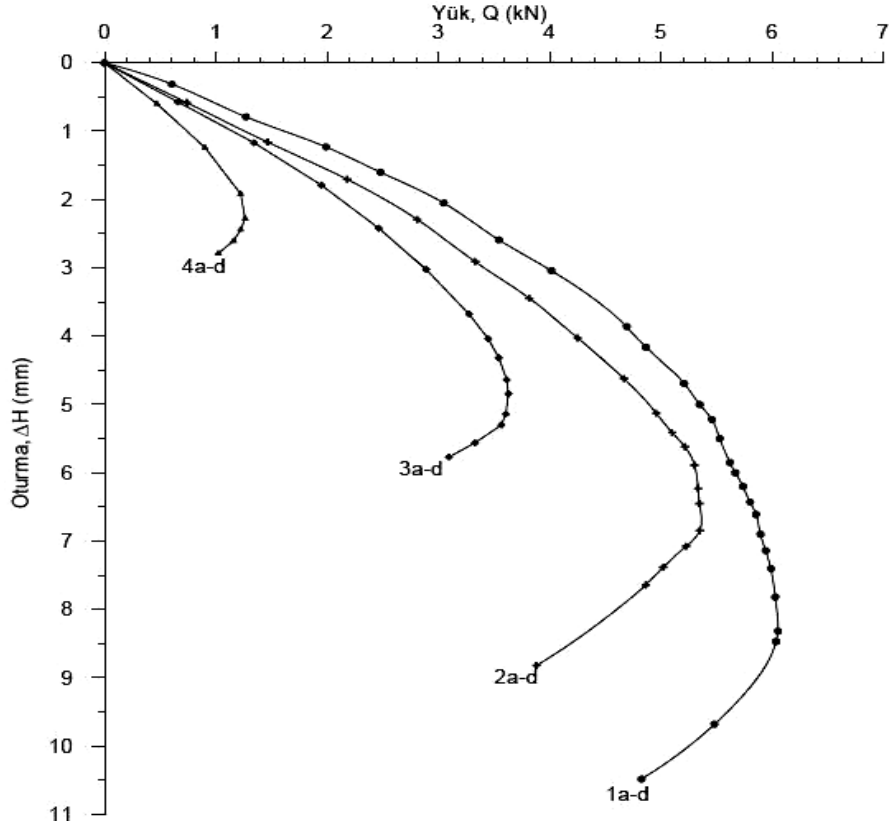
Örgülü bir geotekstilin, temel genişliğinin yarısı kadar bir derinliğe yerleştirildiği sıkı kuma oturan model yüzey şerit temel taşıma gücü, donatısız duruma göre % 50 kadar arttığını bildirmişlerdir.

Şadoğlu ve Uzuner (2008), yaptıkları çalışmada, donatılı ve donatısız kuma oturan eksantrik yüklü bir model sığ şerit temel yük oturma ilişkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerini, 90 cm uzunluğunda, 10 cm genişliğinde ve 65 cm yüksekliğindeki kasa içerisinde gerçekleştirmişlerdir. 8 cm genişliğinde model temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,64$, $C_c=1,16$, $D_r=\%74$, $\phi=41^\circ$ olan Rize ili, İyidere ilçesi sahil kumu kullanılmıştır. 430 gr/m^2 birim alan kütlesi olan geotekstil

kullanılmışlardır. Şekil 2.15 ve şekil 2.16 da donatılı ve donatısız deneylerden elde ettikleri yük-oturma eğrileri toplu olarak verilmektedir.



Şekil 2.15. Donatısız Deneylerin Yük-Oturma Eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008)



Şekil 2.16. Donatılı Deneylerin Yük-Oturma Eğrileri (Şadoğlu ve Uzuner, 2008)

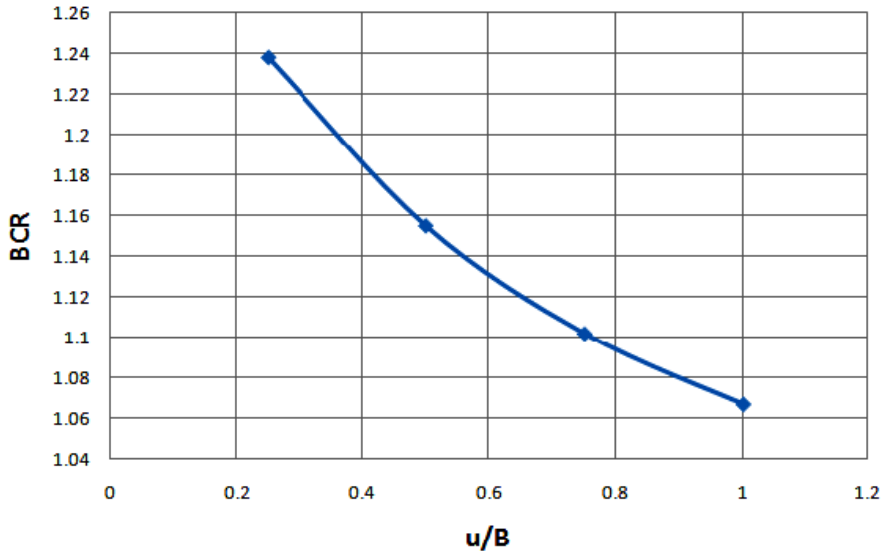
Aynı eksantrisitelerde, belli bir oturma değeri için, donatılının daha büyük sınır yük verdiğini bildirmişlerdir.

Tuna (2008), çalışmasında, geotekstil kullanımının kum zeminlerin mekanik davranışları üzerindeki etkilerini ve potansiyel faydalarını tespit etmeyi ve aynı zamanda elde edilen benzer çalışmaları karşılaştırarak değerlendirmeyi amaçlamıştır. Yaptığı kesme kutusu deneylerinde, $C_u=10$ ve $2,61$, $C_c=2,18$ ve $1,34$, olan İzmir ili Torbalı dere kumu kullanmıştır.

Maksimum kesme dayanımlarına denk gelen izafi yatay deplasmanların iki sıra donatılandırılmış sistemde %100'lerde olduğu, buna karşın donatısız zeminde %40'larda ve ara yüzeye konulan donatı ile donatılandırılan sistemlerde %50'lerde kaldığı, donatılı zeminlerin donatısız zemine göre kırılma anında daha fazla yatay deformasyon yaptıkları gözlemlendiğini belirtmiştir.

Yasrobi ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada, geotekstil ile güçlendirilen kum temellerdeki, geotekstil tabaka uzunlukları, derinlikleri ve boyutları üzerine deneyler yapmışlardır. Model deneylerini 100 cm genişliğinde, 100 cm uzunluğunda ve 80 cm derinliğindeki kasada yapmışlardır. Model temel olarak 20 cm çapında yuvarlak metal plaka kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,8$, $C_c=1,19$ olan ve İrandan getirilen Silis kumu kullanmışlardır. Güçlendirici malzeme olarak 400 gr/m^2 yoğunluğa sahip geotekstil kullanmışlardır.

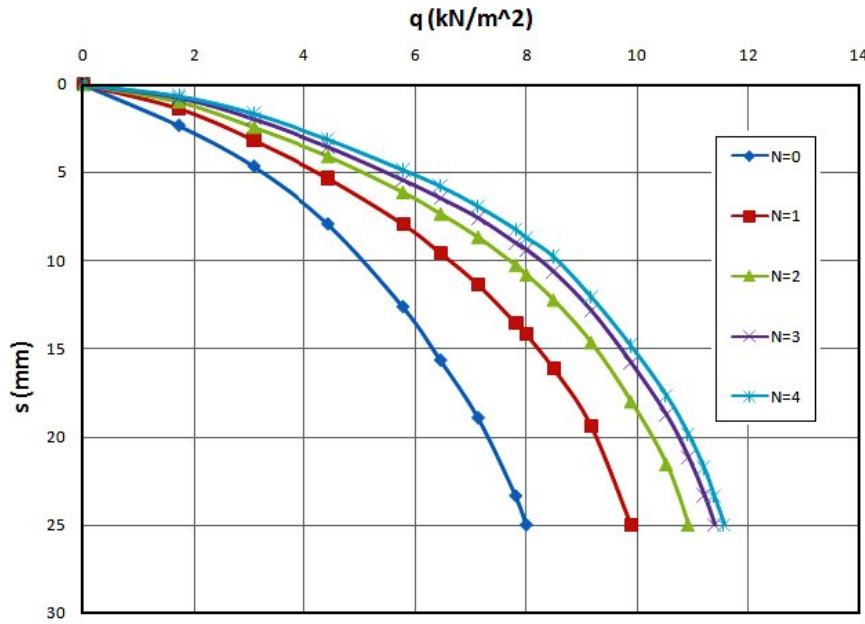
Şekil 2.17 'de deney sonuçlarına göre ilk donatı derinliğinin (u/B) taşıma gücüne etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.17. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (Yasrobi ve ark., 2009)

Etkili güçlendirme derinliğinin (d) B ile sınırlı olduğunu, güçlendirme tabaka uzunluğunun (L) en fazla $3B$ olması gerektiğini ve ilk donatı derinliğinin (u) en fazla $0,25B$ olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Şekil 2.18'da ise $u/B=h/B=0,5$ ve $L/B=4$ şartlarında tabaka sayılarının taşıma gücüne etkileri verilmektedir.



Şekil.2.18. Donatı Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (Yasrobi ve ark., 2009)

2.1.3 Diğer Malzemeler İle Güçlendirilmiş Kum Zeminli Temeller

Binquet ve Lee (1975), homojen kumda bir derin temel, kil veya torfun üzerinde derin bir kum tabakası (2,25 inç kalınlığında kauçuk bohçalama ile simüle ederek) ve kilin üzerinde yumuşak bir kum tabakası (2 inç kalınlığında kauçuk bohçalama ile simüle ederek) küçük ölçekli üç farklı temel koşulları ile modeli deneyler yapmışlardır. Deneylerini 1500 mm uzunluğunda, 510 mm genişliğinde ve 330 mm yüksekliğinde kasada gerçekleştirdiler. Model temel olarak 76 mm genişliğinde temel kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,5$ ve $C_c=0,75$, $\gamma_k=1500 \text{ kg/m}^3$ ve $\phi=37^\circ$ ve 42° olan Ottawa kumu kullanmışlardır. Güçlendirici malzeme olarak evlerde kullanılan 13 mm genişliğinde, doğrusal yoğunluğu %42,5 ve gerilme gücü 0,57 kN/m olan alüminyum folyo kutunun uzunluğu boyunca yerleştirilerek deneyler yapmışlardır. Deney sonuçları zemin ile arasındaki sürtünme açısının 10° ile 18° olduğunu göstermiştir.

Deney sonuçlarına göre, ilk donatı derinliğinin tayininin sürecin başarısında önemli bir faktör olduğunu, ilk donatı derinliğinin (u) 25 mm ($u/B=0,3$) olarak yerleştirildiğinde iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Akinmusuru ve Akinbolade (1981), deneylerinde ilk donatı kalınlığı (u), donatı tabakaları arasındaki boşluk (h) ve tabaka sayısının (N) zemin taşıma kapasitesine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini 100 cm uzunluğunda ve 70 cm derinliğinde ahşap kasada gerçekleştirmişlerdir. Model temel olarak 13 mm kalınlığında ve 100 mm uzunluğunda kare çelik levha kullanmışlardır. Temel zemini olarak 38° kayma mukavemeti açısı olan ve 1700 kg/m^3 kuru birim hacim ağırlığında kum kullanmışlardır. Takviye malzeme olarak 10 mm genişliğinde 0,03 mm kalınlığında ve kopma dayanımı 80 N/mm^2 olan yerel dilde "iko" denilen fiber lifler kullanmışlardır. Deney sonuçları zemin ile arasındaki sürtünme açısının 12° olduğunu göstermiştir.

İlk donatı derinliği 1,75B oranında olduğunda taşıma gücünde 3 katı aşan bir artma olduğunu belirtmişlerdir.

Fragaszy ve Lawton (1985), yaptıkları çalışmada güçlendirilen temel zeminlerinde takviye uzunluğunun ve zemin yoğunluğunun taşıma gücüne etkilerini araştırmışlardır. Deneilerini 56 cm genişliğinde, 122 cm uzunluğunda ve 36 cm derinliğinde dikdörtgen sunta kasada yapmışlardır. Model temel olarak 7,6 x 15,2 cm ebatlarında dikdörtgen çelik levha kullanmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,5$, $C_c=0,75$, $\gamma=1470$, 1540 ve 1590 kg/m^3 , $D_r=\%31$, $\%70$ ve $\%90$ karşılık gelen $\phi=36,5^\circ$, 38° , 39° olan kum zemin kullanmışlardır. Takviye malzeme olarak 2,54 cm genişliğinde 0,0254 mm kalınlığında ve gerilme gücü 1,34 kN/m olan evlerde kullanılabilen alüminyum folyo kullanmışlardır. Deneilerinde ilk donatı kalınlığı 2,54 cm ($u/B=0,33$) ve tabakalar arası boşluk (h) 2,54 cm olacak şekilde üç tabaka kullanmışlardır.

Donatı uzunluğun 3B ve 7B arasında olduğunda, taşıma gücünde 1,25 ve 1,7 kat artış olduğunu belirtmişlerdir.

Huang ve Tatsuoka (1990), güçlendirilmiş kumların taşıma kapasitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneilerini 40 cm genişliğinde, 183 cm uzunluğunda ve 74 cm derinliğinde kasada yapmışlardır. Temel zemini olarak $C_u=1,46$ olan Toyoura kumu kullanmışlardır. Model temel olarak 10 cm genişliğinde temel kullanmışlardır. Deneilerinde zemin güçlendirici malzeme olarak fosfor bronz ve alüminyum folyo kullanmışlardır.

Donatı uzunluğunun 2B olması durumunda taşıma gücünde belirli bir artış olduğunu bildirmişlerdir.

Al-Refeai (1992), yaptığı çalışmada, polipropilen liflerle güçlendirilmiş kum zeminler üzerindeki temellerin taşıma gücü üzerine etkilerini araştırmıştır. Deneilerini 15 cm genişliğinde, 50 cm uzunluğunda ve 40 cm derinliğinde kasada yapmıştır. Model temel olarak 5 cm genişliğinde ve 2 cm kalınlığında alüminyum levha kullanmıştır. Temel zemini olarak $C_u=2,75$ olan Riyat'taki Al-Thumamah nehri kumu kullanmıştır.

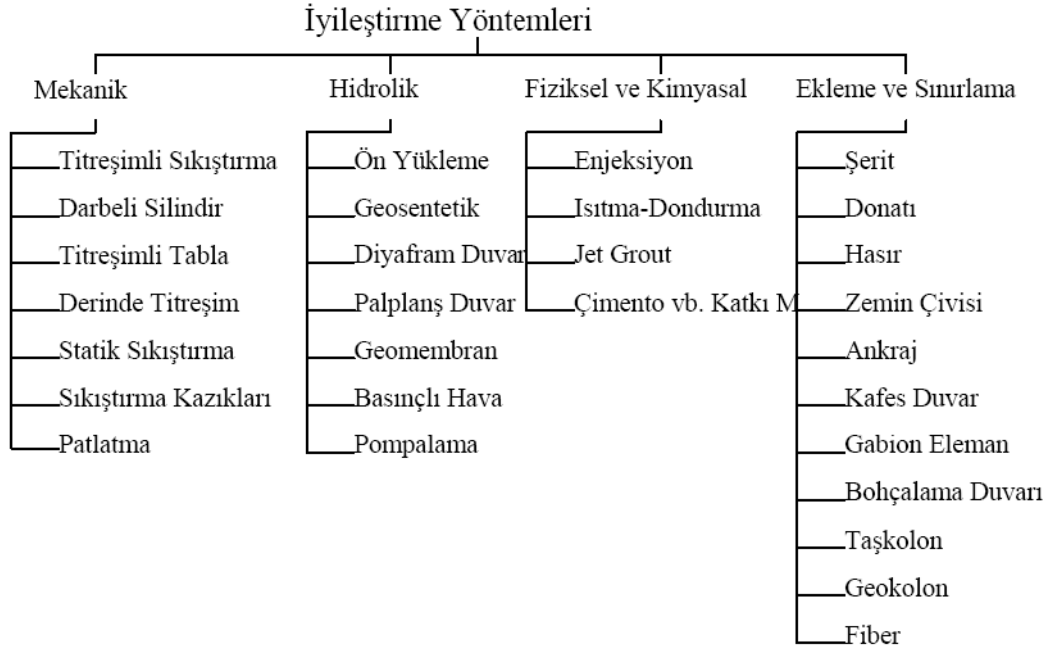
Optimum taşıma gücündeki güçlendirme tabakası derinliği 2B ve 4B olduğunu belirtmişlerdir.

Yetimoğlu ve Salbaş, (2002), yaptıkları çalışmada, dağınık liflerle rastgele donatılı kum zeminlerin kayma mukavemetini araştırmışlardır. Deneilerde kullandıkları kesme kutusu aletinin planda boyutları 6 x 6 cm ve yüksekliği 2,5 cm'dir. Deneilerde üniformluk katsayısı 1,65, derecelenme katsayısı 1,02, kuru birim hacim ağırlığı 14,92 kN/m^3 olan kum, $\%70$ yerleşim sıklığında yerleştirilmiştir. Donatı olarak Duomix F20/5-1 isimli polipropilen lifler kullanılmıştır.

Donatısız numunelere oranla, donatılı numunelerde göçme sonrası kayma mukavemeti azalımı daha küçük olduğunu bildirmişlerdir.

2.2. Zemin Islah Yöntemleri

Olumsuz zemin koşullarının iyileştirilmesinde Şekil 2.19’da verildiği şekilde mekanik, hidrolik, fiziksel ve kimyasal iyileştirme ile başlıca dört tür iyileştirme yapılabilir. Bu yöntemlerin uygulanması ile kayma dayanımını artırmak ve önemli yükler altında zemin davranışını iyileştirmek, oturmayı azaltmak, zeminden su sızıntısı kayıplarını azaltmak imkânı sağlar.



Şekil 2.19. Zemin Islah Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Tumluer, 2006)

Mekanik iyileştirme kısa süreli mekanik kuvvetlerin etkisi ile zemin yoğunluğunun artırılmasını amaçlamaktadır. Örneğin yüzeydeki zemin tabakalarının statik, titreşimli veya darbeleri silindir ya da titreşimli tabakalarla sıkıştırılması, zeminlerin derinde titreşimle sıkıştırılması mekanik iyileştirme yöntemlerini oluşturmaktadır. Patlatma ile sıkıştırma, sıkıştırma kazıkları ile zeminin sıkıştırılması bu grup içerisinde sayılabilir.

Hidrolik iyileştirme drenler veya kuyular yardımı ile boşluk suyu basıncının düşürülerek kayma dayanımını arttırmayı hedefleyen iyileştirme yöntemleridir. Kaba daneli zeminlerde kuyu veya hendeklerden pompalama ile yeraltı su seviyesinin indirilmesi, ince daneli zeminlerde düşey drenlerin yardımı ile de ön yükleme yapılması, elektriksel yüklerle boşluk suyunun uzaklaştırılması türünden iyileştirmeler bu grup altında toplanabilir. Geosentetiklerin geleneksel tekniklere katkısı bu alanda büyük olmuştur. Diyafram duvarlar, palplanş duvarlar ve geomembranlar, keson ve tünelde basınçlı hava kullanarak zemin suyunun uzaklaştırılması teknikleri bu grup içerisinde sayılabilir.

Fiziksel ve kimyasal iyileştirme yüzeysel zemin tabakalarında katkıların fiziksel olarak karışımı, katkıların derinlerde kolonlar teşkil edecek şekilde karıştırmak yolu ile yapılabilir. Doğal zeminler, endüstriyel atık ürünleri veya atıklar, birbiriyle veya zeminle reaksiyona giren çimento ve kimyasal katkı maddesini oluşturur. Katkı zemin boşluklarına veya yapı elemanı ile zemin arasındaki boşluğa basınçla verirse bu uygulama enjeksiyon adını almaktadır. Isıtma ve dondurma yolu ile yapılan iyileştirmeler (ısısal yöntemler) ile

son yıllarda yurdumuzda geniş uygulama alanı bulan jet grout kolonu uygulaması bu grup içerisinde sayılabilir.

Ekleme ve sınırlama ile iyileştirmede fiberler, şeritler, donatılar ve hasırların zemine yerleştirilmesi ile zemin kütlesi dayanımı arttırılmaktadır. Benzer şekilde zemin çivileri ve ankraj yerleştirilecek zeminin donatılandırılması ekleme ile yapılan iyileştirme anlamındadır. Beton, çelik veya diğer üretilmiş elemanlarla zemini sınırlandırarak duraylı zemin yapıları elde etmek olanağı vardır. Yaşayan (kafes) duvarlar, gabion elemanlar, geotekstili bohçalama duvarları, taşkolon ve geokolon teşkili bu grup içerisinde sayılabilir.

Zemin iyileştirme yöntemi seçiminde istenilen iyileştirmenin nedeni ve hangi dereceye kadar yapılmak istenmesinin yanı sıra jeolojik yapı, zemin türü, sızıntı koşulları, maliyet, malzeme ve uygulama araçlarının elde edilebilirliği, süre, çevre yapılarında olası hasar, yer altı suyu kaynaklarında olası kirlilik, iyileştirmede kullanılan malzeme dayanıklılığı, paslanma etkisi, iyileştirme yönteminin güvenilirliği, iyileştirmenin denetimi gibi etkenler önemli rol oynamaktadır.

Uygulamada sıklıkla karşılaşılan zemin iyileştirme teknikleri aşağıda başlıklar halinde detaylandırılmıştır.

2.2.1. Mekanik Stabilizasyon

Mekanik stabilizasyon iki veya daha fazla farklı zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen şartları sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesidir. Böylece yük altında kalıcı deformasyon yapmayan yani stabil bir zemin elde edilmiş olunur.

2.2.2. Tesviye

Tesviye kazma, doldurma veya bunların birleşiminden oluşan herhangi bir işlem olarak tanımlanır. Saha tesviyesinin önemli bir bölümü çoğu zaman dolgunun kompaksiyonunu kapsar. Kompaksiyon, mekanik yöntemler ile bir dolgunun sıkıştırılması olarak tanımlanmaktadır. Zemini sıkı bir duruma getiren bu fiziksel işlem zeminin kayma direncini arttırırken, sıkışabilirliğini ve permeabilitesini azaltabilir.

2.2.3. Zemin Değiştirme

Temel olarak iki tip zemin değiştirme yöntemi vardır. Birinci yöntem olarak sıkıştırma ve değiştirme daha yaygın kullanılmakta olup, tesviye işleri esnasında sıkışabilir zemin tabakasının sıyrılmasından ve yapısal dolgu ile değiştirilmesinden ibarettir. Arzu edilmeyen veya zayıf materyalin kazılması ve daha iyi zemin ile değiştirilmesi yoluyla herhangi bir zeminde, maliyetin belirleyici olduğu yerde sınırlı derinlik ve alan 10m'nin altında olduğu durumlarda uygulanır. İkinci yöntem ise, yer değiştirme yöntemi olup sadece sıkışabilir zemin tabakasının altında olduğu durumda veya yeraltı su tablası ekonomik olarak düşürülebilir olduğu zaman kullanışlıdır. Çok yumuşak zeminlerde çamur dalgalarından ve dolgu altında kaplanmış sıkışabilir zeminden dolayı problem söz konusu olduğunda, zayıf zeminleri kaymaya zorlayacak ve daha kuvvetli dolgu ile yer değiştirecek şekilde aşırı yüklenmesi ile yapılır.

2.2.4. Suyun Uzaklaştırılması

Sınırlı drenajı olan sıkışabilir normal konsolide killere üzerine baraj, yol dolgu ve yüksek yapı inşaatı büyük konsolidasyon oturmalarına neden olursa, yapım sonrası oturmaların önemli bir kısmı ön yükleme ile gerçekleştirilebilir.

Sahada altta sıkışabilir kohezyonlu bir zemin tabakası bulunması durumunda, bu saha zemin yüzeyine yerleştirilen bir dolgu tabakası ile yüklenebilir. Drenaj yolunu kısaltmak ve konsolidasyon işlemini hızlandırmak için, sıkışabilir zemin tabakası içine düşey drenler (fitil drenler veya kum drenler gibi) yerleştirilebilir. Sıkışabilir kohezyonlu zemin tabakası yeterli konsolidasyona sahip olduğu zaman, dolgu ilave yük tabakası kaldırılır ve bina inşa edilir.

Yumuşak, ince daneli zeminler ve hidrolik dolgularda suyun drenajını sağlamak amacıyla hendek kazma yöntemi uygulanır.

Normal konsolide ince daneli zeminler, organik zeminler ve dolgularda zemin konsolidasyonuna imkan verecek şekilde inşaat öncesi yük uygulaması amacıyla önceden sıkıştırma yöntemi uygulanır. Aynı zamanda bu tip zeminlerde konsolidasyonu hızlandırmak için drenaj yolunu kısaltmak amacıyla düşey drenlerle birlikte önceden sıkıştırma da uygulanabilmektedir.

Normal konsolide siltler ve siltli killerde elektrik akımının suyun katoda akmasını sağlayacağı elektro-osmos yöntemi kullanılmaktadır.

2.2.5. Kompaksiyon (Sıkıştırma)

Kompaksiyon ve konsolidasyon arasındaki farkın açık olarak anlaşılması gerekir. Konsolidasyon, devamlı basınç altında kohezyonlu zeminin boşluklarındaki suyun azar azar dışarı atılması ve hacimde bir azalma meydana gelmesidir. Oysa; kompaksiyon, yalnız havanın dışarı atılması ile zemin danelerinin birbirine yaklaşmasıdır.

Kompaksiyon; zeminlerin dayanım, permeabilite (geçirimsizlik) ve oturmaya karşı iyileştirilmesi veya erozyon olayına karşı sağlamlaştırılması için tabakalar halinde sıkıştırılması olarak tanımlanabilir. Kompaksiyon; zemin tabaka serilerek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaklama gibi işlemlerle yapılmaktadır. Bu işlemlerle, zemin taneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azaltılır. Yol, hava alanı, toprak baraj, toprak dolgu inşaatlarında, zemin belli bir kalınlıkta serilerek, belli bir su muhtevasında, uygun bir sıkıştırma aracı ile sıkıştırılır. Sıkışmanın kalitesi, rölatif kompaksiyon ile kontrol edilir.

2.2.6. Enjeksiyon

Zemin tabakalarının yerinde özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerden birisi olan enjeksiyon yöntemi zemin içine süspansiyon veya çözelti halinde bazı maddelerin enjekte edilmesidir. Enjeksiyon sırasında zemin içerisine püskürtülen süspansiyonlar bentonit, çimento, kireç, asfalt, gibi su içinde dağılmış katı maddelerden oluşmaktadır. Bazı durumlarda da kimyasal çözeltiler zemine enjekte edilmektedir.

Püskürtülen malzeme zemin içerisindeki boşluklara yayılmakta ve daha sonra sertleşerek zemin özelliklerini iyileştirmektedir.

2.2.7. Termal

Kayma direncini iyileştirmek ve permeabiliteyi azaltmak amacıyla yapılan termal iyileştirme yöntemi, zemini ısıtarak veya dondurarak gerçekleştirilir. Bu tip zemin iyileştirme yöntemleri genellikle çok pahalı olduğundan, kullanımları da sınırlıdır.

2.2.8. Yeraltı Suyu Kontrolü (Drenaj)

Yeraltı su tablası yeraltı suyunun üst yüzeyidir. Yeraltı suyunun yeri genellikle açık düşey boru şeklindeki piyezometrelerden belirlenir. Asılı su tablası, yer altı suyunun ana gövdesinden alttaki suya doymuş kaya veya zemin ile ayrılan, üst zonda oluşan su ile ilgilidir.

Yeraltı suyu inşaat mühendisliği problemlerinin tüm çeşitlerini etkileyebilir. Geoteknik deprem mühendisliğindeki yenilmelerin çoğu muhtemelen diğer herhangi bir faktörden ziyade yeraltı suyu ile ilgilidir. Aşırı doymuşluk, sızma basınçları, kaldırma kuvvetleri ve sıvılaşma nedeniyle kayma direnci kaybından dolayı, yeraltı suyu yenilmelerine neden olabilir veya katkıda bulunabilir. Kontrolsüz doymuşluk ve sızmanın yıllık milyarlar tutarında hasara neden olduğu bilinmektedir.

2.2.9. Geosentetikler ve Donatılı Zemin

Geosentetikler plastik ve camyününden (sentetik hammaddelerden) imal edilen malzemelerdir. Bu ürünler stabilizasyonda, zemin güçlendirmede (takviye, taşıma gücünün artırılması), erozyon kontrolünde, güçlendirilmiş dolgu duvarlarında, güçlendirilmiş şevlerde veya toprak setlerde, ayırmada, açık kanallarda şev kontrolünde, köprü ayaklarında, yol temelleri, izolasyon, eğimli arazideki hafif yapıların güvenliği ve drenaj kontrolünde kullanılabilir.

2.2.10. Ankrajlar

Kazılarda, yüzey kaplamasını tutmak üzere; kaplama, aralıklarla yerleştirilen ankraj çubuklarıyla zemine bağlanmaktadır. Bir çubuklu ankraj; 10-30 cm çapında burgularla, gerekirse kaplama borusu kullanılarak, zeminin delinmesi, deliğin içine çelik çubukların yerleştirilmesi ve çubuk çevresindeki boşluğun varsa kaplama borusu çekilerek enjeksiyonla doldurulması ile oluşturulmaktadır. Enjeksiyon aktif bölge dışındaki uzunluğa uygulanır. Ankraj çubukları, yüzey kaplamasına tesbit edilir. Bazı durumlarda, çubuğa ön gerilme verilir. Ankraj çubukları çekme kuvvetine uğrarken, bu; ankraj çubuğu çevresindeki sürtünmelerle karşılanır. Hesap ilkeleri vardır. Benzer şekilde, delik açılmaksızın, zemine doğrudan çakılan ankraj çivileri de vardır.

2.2.11. Diyafram Duvarlar

Temel çukurunun birçok durumda, yanlarını kaplamak için, palplanş perdesi, kazıklı perde duvarı veya diğer kaplama yöntemleri yerine inşa edilirler. Diyafram duvarlar; kazı makineleri ile açılan, dar ve derin hendeklerin, kil veya betonla doldurulması ile elde edilir.

Hendek, belli uzunlukta, kısım kısım açılırken, içleri kil (bentonit) çamuru ile doldurulur. Kil çamuru hendek yüzlerine hidrostatik basınç uygulayarak, iç yüzleri adeta sıvayarak hendeğin iç yüzlerini kaplamaya gerek kalmaksızın tutar. Hendek açıldıktan sonra içine genelde öncelikle hazır donatı yerleştirildikten sonra beton yerleştirilerek duvar tamamlanır. Daha sonra bir tarafında kazı yapılabilir. Diyafram duvarlar bazen de geçirimsiz bir engel oluşturmak amacıyla inşa edilirler. Bu duvarlar bazen eğik ankrajlarla zemine bağlanırlar.

Cüruf katkılı çimento, boşluk suyunda yer alan aşındırma etkisine karşı büyük bir dirence sahip olduğundan, özel durumlarda tercih edilmektedir. Alternatif olarak çimento ağırlığının yüzdesi olarak (%10'dan başlayan oranda) uçucu kül ilavesi de bu direnci arttırmaktadır.

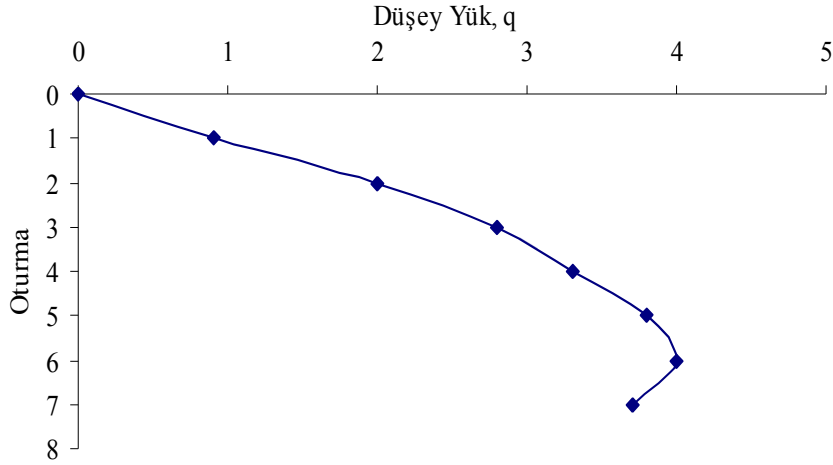
2.2.12. Katkı Maddeleri Uygulaması

Problemlili bir zemin üzerine yapılan herhangi bir yapı değişik oturmalar gösterebilir, düşük kayma gerilmelerine ve yüksek sıkışabilirliklere sahip olabilir. Genelde, temel yapısının tipi zeminin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişir. Zayıf bir zemine yüksek bir bina yapılması söz konusu olduğu zaman, zeminin taşıma kapasitesinin artırılması gerekir. Bu tür durumlarda, zeminin taşıma kapasitesinin iyileştirilmesi zemin ıslahı yöntemleri ile sağlanabilir. Genel olarak, katkı malzemeleri ile karışım tekniği kullanılarak yapılan stabilizasyon, zemine kolay uyum sağlaması yönünden zemin durumunu iyileştirmek için büyük etkiye sahiptir.

Katkı malzemesi olarak kireç, çimento, asfalt kullanılabildiği gibi bazı atık maddeler de kullanılabilir. Atık asfalt, beton inşaat molozu, by-pass çimento tozu, bakır cüruf, petrolle kirlenmiş zemin, eski araba lastiği, uçucu kül gibi atık maddelerin kullanılmasıyla çevre korunmasına da katkıda bulunulup maliyet açısından da kazanç sağlanır. Bu maddelerin geri dönüşümü pratik değildir ancak, zeminin ıslahı için kullanılabilir.

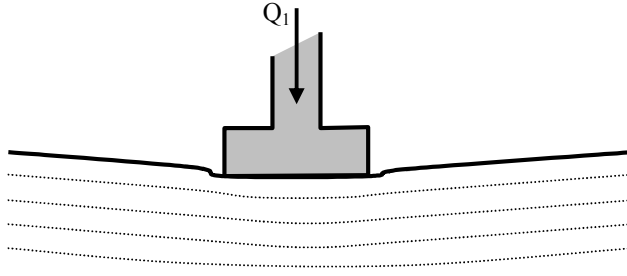
2.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Zemin yüzeyine bir yük etkirse, bu yükün altındaki zeminde oturmalar meydana gelir. Yük arttırıldıkça birim alana gelen ortalama yük ile zemindeki oturmalar arasındaki ilişki zemin özelliklerine göre değişim gösterir. Örnek olarak sıkı zeminlerde, oturma yük eğrisi Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Tıpkı Bır Yük-Oturma Eğrisi

Yüzeysel bir temele gittikçe artan bir şekilde düşey ve simetrik bir yük uygulanırsa, temel ve zeminin karşılıklı etkileşim halinde olduğu görülür (Şekil 2.21). Temel zemininde uygulanan yüke karşılık temelde taban basıncı oluşacaktır.

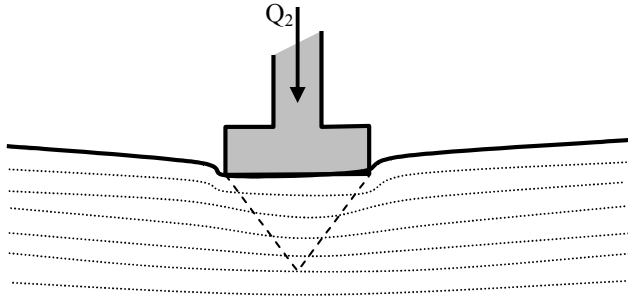


Şekil 2.21. Temel ve Zeminin Karşılıklı Etkileşimi

$$q_{tab} = \frac{Q}{A} \quad (2.1)$$

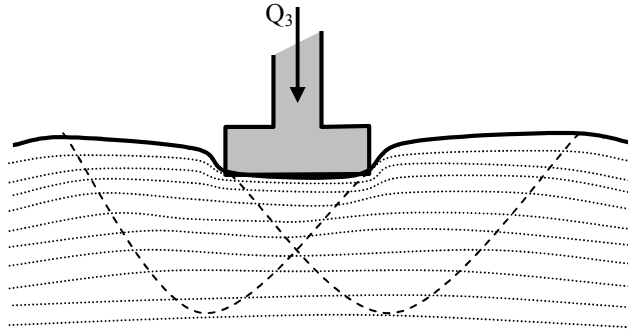
(2.1) formülünde, Birim alana gelen taban basıncı (q_{tab}), Temelden zemine aktarılan düşey yük (Q), Temelin taban kesit alanı (A) ile ifade edilmiştir.

Şekil 2.21 'de düşey yük etkisindeki yüzeysel bir temelde, küçük oturmalar görülmektedir. Düşey yükün küçük olduğu durumlarda bir başka deyişle elastik denge durumunda, Şekil 2.21 ve Şekil 2.23 'de görüldüğü gibi temel oturması nispi olarak küçüktür.



Şekil 2.23. Elastik Denge Durumunda Temel Zemin Etkileşimi

Yükün artması ile birlikte, temel altındaki zemin Şekil 2.23 'de görüldüğü gibi temel etrafında yukarı ve yatay olarak hareket ederken, temel altında üçgen bir kama oluşarak zemin gittikçe sıkışır. Uygulanan düşey yükün zeminin sınır taşıma gücüne ulaşmasından sonra, Şekil 2.24 'de görüldüğü gibi kayma yüzeyleri oluşur.



Şekil 2.24. Pürüzlü Bir Temelde Artan Yük İle Birlikte Oluşan Zemin Hareketleri

Temel altında, zeminin sıkılığına bağlı olarak iki tür kırılma şekli görülmektedir. Bunlar;

a) Genel Kayma Kırılması: Yüzeysel bir temel altında zeminin sıkı ve içsel sürtünme açısının büyük olduğu durumlarda görülen kırılma şeklidir. Terzaghi ve diğer araştırmacılar; içsel sürtünme açısının; $\phi > 36^\circ$ veya rölatif sıkılığın; $D_r > 0.70$ olduğu durumlarda genel kayma kırılması görüldüğünü tespit etmişlerdir. Genel kayma kırılması durumunda pürüzlü temel altında önce üçgen bir kama oluşmaktadır. Bu kırılma şeklinde kayma yüzeyleri ve sınır taşıma gücünün yeri ve değerleri belirgindir.

b). Bölgesel Kayma Kırılması : Temel altındaki zemin gevşek ve yumuşak ise bölgesel kayma kırılması görülür. Bu tür kırılmada zeminin içsel sürtünme açısı ve rölatif sıkılığı düşüktür. Araştırmacılar, içsel sürtünme açısının; $\phi < 28^\circ$ veya rölatif sıkılığın $D_r = 0.20$ olduğu durumlarda bölgesel kayma kırılması görüldüğünü belirlemişlerdir. Bu kırılma şeklinde temel altında üçgen bir kama oluşmaktadır. Kayma yüzeyleri ile sınır taşıma gücünün yeri ve değeri belirgin değildir. Sınır taşıma gücü olarak; B temel genişliği olmak üzere, $0,1B$ temel oturmasına karşılık gelen taban basıncı alınmaktadır.

Sınır taşıma gücünün belirli bir güvenlik sayısına bölünmesiyle, zeminin güvenlikle taşıyabileceği ve projelendirme hesaplarında kullanılan zemin emin taşıma gücü (zemin emniyet gerilmesi) belirlenir.

$$q_{e\min} = \frac{q_{sum}}{GS} \quad (2.2)$$

Güvenlik sayısı (GS), 2-5 arasında değişen değerler alır. Bu sayının belirlenmesinde zeminin cinsine ve özelliklerine göre karar verilir. Taşıma gücü bakımından iyi zeminlerde (sıkı kum, çakıl, kumlu çakıl, kaya gibi) daha düşük güvenlik sayıları (2, 2,5, 3), taşıma gücü bakımından kötü zeminlerde (kil, gevşek kum gibi) daha büyük güvenlik sayıları (3, 4, 5) tercih edilir.

Zeminin taşıma gücünün belirlenmesi için araştırmacılar tarafından birçok teori ve yöntemler geliştirilmiştir. Fakat bunlardan pek azı tecrübe ve deney sonuçları ile uygunluk göstermektedir. Bunun nedeni zeminin kompleks ve değişken özelliklere sahip bir malzeme olmasıdır. Geliştirilen teori ve yöntemlerde zeminle ilgili bir takım kabuller yapılmakta ve çıkan sonuçlar yaklaşık ve birbirlerinden biraz farklı değerler alabilmektedir. Bu bölümde taşıma gücü teorileri ve metotları hakkındaki bilgiler ve yapılan eleştiriler üzerinde durulmaktadır.

2.3.1. Taşıma Gücü Teorileri

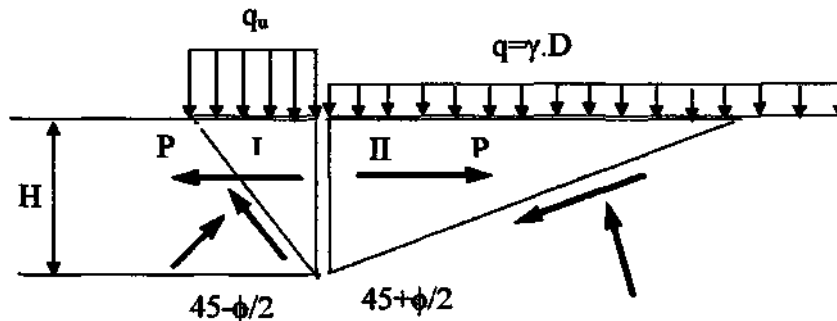
Zeminin taşıma gücünü belirleme yöntemlerini 3 genel grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Taşıma gücü teorileri ile zemin taşıma gücünün belirlenmesi
- Arazi deneyleri ile zemin taşıma gücünün belirlenmesi
- Hazır tablolarla zemin taşıma gücünün belirlenmesi

Günümüze kadar geliştirilen çeşitli taşıma gücü teorilerinden bazıları aşağıda verilmektedir.

2.3.2. Rankine Taşıma Gücü Teorisi

Rankine tarafından 1885 yılında geliştirilen aktif ve pasif toprak basınçlarına dayanan teorisinde, temel altında iki ayrı kamadan oluşan kırılma bölgesi kabul edilir. Bu kamalar, aşağıya ve dışarı doğru basılan pasif Rankine kamalandır. Rankine kamalarına etkiyen yükler Şekil 2.25 'de verilmiştir (Çelik, 1997).



Şekil 2.25. Rankine Kamalarına Etkiyen Yükler (Çelik, 1997)

Temele gelen düşey doğrultudaki basınç, maksimum asal gerilme olarak göz önüne alınmakta ve yatay gerilme aktif toprak basıncına karşılık gelen gerilme olarak düşünülmektedir. Bu yatay gerilme temel kenarının hemen yanındaki taneler için maksimum bir asal gerilme olup, düşey yönde en az asal gerilmenin meydana gelmesine neden olur. Teoride kohezyonun etkisi dikkate alınmamakta, bulunan sonuçlar tecrübe ve deneysel sonuçlara genellikle çok fazla uygunluk göstermemektedir.

Hesaplarda temel taban seviyesi üstündeki zemin ağırlığı ihmal edilip;

$$q_0 = \gamma \cdot D_f \quad (2.3)$$

şiddetinde üniform yaylı yük ile temsil edilmektedir. Bu kabul, hesapları basitleştirmektedir. Yapılan kabuldeki hata küçük ve emniyetli yöndedir.

$$H = \frac{B}{2} \tan(45 + \phi/2) \quad (2.4)$$

$$H = \frac{B}{2} \sqrt{N_\phi} \quad (2.5)$$

Pasif II. Kamaya etki eden maksimum P yükü;

$$P = q_0 H N_\phi + \frac{1}{2} \gamma H^2 N_\phi \quad (2.6)$$

$$P = q_0 \frac{B}{2} N_\phi^{3/2} + \frac{1}{8} \gamma B^2 N_\phi^2 \quad (2.7)$$

Aktif I. Kamaya etkileyen maksimum P yükü;

$$P = q_s \frac{H}{N_\phi} + \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{1}{N_\phi} \quad (2.8)$$

$$q_s = \frac{P}{H} N_\phi + \frac{1}{2} \gamma H \quad (2.9)$$

$$q_s = \frac{2P \sqrt{N_\phi}}{B} - \frac{1}{4} \gamma B \sqrt{N_\phi} \quad (2.10)$$

(2.7) bağıntısı (2.10) 'da yerine yazılırsa;

$$q_s = q_0 N_\phi^2 + \frac{1}{4} \gamma B N_\phi^{5/2} - \frac{1}{4} \gamma B N_\phi^{1/2} \quad (2.11)$$

$$q_s = q_0 N_\phi^2 + \frac{\gamma B}{4} (N_\phi^{5/2} - N_\phi^{1/2}) \quad (2.12)$$

$$N_q = N_\phi^2 = K_P^2 \quad (2.13)$$

$$N_{\gamma} = \frac{1}{2} \left(N_{\phi}^{5/2} - N_{\phi}^{1/2} \right) \quad (2.14)$$

$$q_s = \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} \quad (2.15)$$

bağıntısı ile sınır taşıma gücü belirlenir. Bu bağıntıda N_q ve N_{γ} değerleri, içsel sürtünme açısına (ϕ) bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

2.3.3. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Zemin yüzeyine oturan bir şerit temel altındaki zeminin taşıma gücü için, Prandtl plastisite teorisine dayanan çözümler vermiştir. Teoride kayma yüzeyinin eğri kısmı bir logaritmik spiral parçasıdır. $\phi=0$ olması durumunda (suya doymun killi zeminler) kohezyonlu zeminler için spiral parçası bir daire yayı olur. Prandtl bu durumda sınır taşıma gücü için;

$$q_s = (\pi + 2)c = 5.14.c = 2.57.q_u \quad (2.16)$$

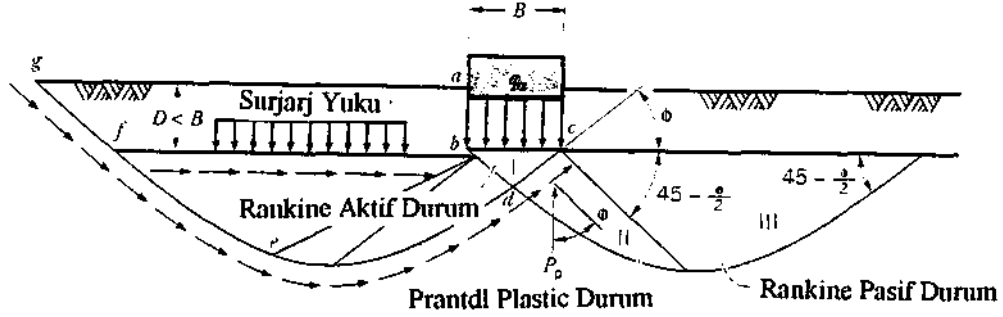
bağıntısını vermiştir. Bu bağıntıda; c : kohezyonu ve q_u : serbest basınç mukavemetidir.

Terzaghi yüzeysel temellerin taşıma gücü için Prandtl denklemini zemin koşullarına göre düzenleyerek teorisini geliştirmiştir. Teori tam olarak doğru olmadığı halde, özellikle sığ (yüzeysel) temellerin taşıma gücünün belirlenmesinde çok kullanılan, plastik göçme esasına dayanan ve yaklaşık çözüm veren bir yöntemdir. Teoride zeminle ilgili şu kabuller yapılmaktadır.

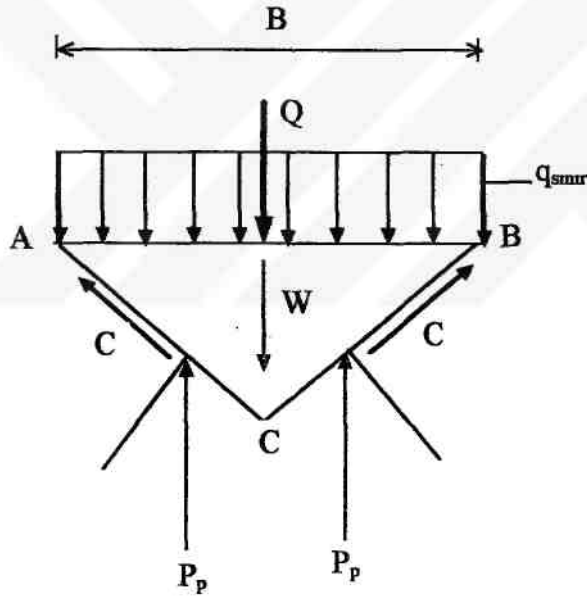
1. Zemin homojen, izotrop ve kesme mukavemeti Coulomb teorisıyla gösterilmektedir.
2. Temel pürüzlü bir tabana sahip ve problem 2 boyutludur.
3. Elastik bölge sınırlan, yatayla 4 açısı yapan eğimli çizgilerdir.
4. Kırılma yüzeyleri temel taban seviyesinden yukarıya uzamaz ve temel taban seviyesinin üstündeki zeminin etkisi ihmal edilip, eşdeğer bir üniform yaylı yük (q_0) ile temsil edilmektedir.
5. Pasif toprak basıncı üç bölümden oluşur. Ayrı ayrı hesaplanarak superpoze edilir.

Teorik çözümde genel kayma kırılması ve sürekli bir temel esas alınmıştır. Plastik denge durumunda (Şekil 2.26 ve Şekil 2.27), temel altındaki zeminin kayma yüzeyi beş bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler; I. bölge (bir tane), II. bölge (iki tane) ve III. bölge (iki tane) dir. I. bölge aktif elastik bölge olup bölgenin sınırları yatayla ϕ açısı ile kapanır. I. Bölge temelin bir parçası gibi davranarak II. ve III. bölgeleri dışarı doğru iter. II. bölge logaritmik spiral şekilli radyal kesme bölgesi olarak tanımlanır. III. bölge ise pasif plastik

bölgedir. I. ve III. bölgelere aktif ve pasif Rankine bölgeleri de denilebilir. Çünkü bu bölgelerdeki kayma şekilleri Rankine teorisiyle özdeşdir (Çelik, 1997)



Şekil 2.26. Terzaghi Teorisinde Kayma Bölgeleri (Çelik, 1997)



Şekil 2.27. ABC kamasına Etkiyen Yükler (Çelik, 1997)

Zeminde kırılma, ACDE ve BCGF bölgelerindeki zemin kütesinin toplam pasif dirençlerinin yenilmesiyle oluşur. Kırılma yükü altında ABC kamasının dengesi düşünülürse, bu kamaya etkiyen yükler; kamanın ağırlığı (W), AC ve BC yüzeylerine düşey olarak etkiyen pasif toprak basınçları (P_p) ve AC ve BC yüzeyleri boyunca etkiyen kohezyon dirençleridir. (C_a)

Düşey yönde kuvvetlerin dengesi düşünülürse;

$$Q_s + W - 2.P_p - 2.C_a \cdot \sin \phi = 0 \quad (2.17)$$

$$Q_s = 2.P_p + 2.C_a \cdot \sin \phi - W \quad (2.18)$$

ABC kamasının ağırlığı;

$$W = \frac{\gamma B^2}{4} \tan \phi \quad (2.19)$$

Taneler arası kohezyonun etkisiyle kama yüzeylerinde oluşan kuvvet;

$$C_a = \frac{c \cdot B}{2 \cdot \cos \phi} \quad (2.20)$$

Pasif toprak basıncı (P_p); derinliğin, kohezyonun ve zemin ağırlığının etkilerinden oluşur. Genel olarak pasif toprak basıncının normal bileşeni aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$P_{pn} = K_{p\gamma} \cdot \gamma \cdot z + c \cdot K_{pc} + q_0 \cdot K_{pq} \quad (2.21)$$

Eğimli yüzeyin normali ile δ açısı ve yatay doğrultusu ile α açısı yapan toplam pasif toprak basınç, H yüksekliği boyunca;

$$P_p = \frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \left(\frac{1}{2} K_{p\gamma} \cdot \gamma \cdot H^2 + c \cdot K_{pc} \cdot H + q_0 \cdot K_{pq} \cdot H \right) \quad (2.22)$$

AB ve BC yüzeyleri için $H=0,5B \tan \phi$, $\delta=0$ ve $\alpha=(180-\phi)$ olduğu düşünülürse;

$$P_p = \frac{1}{2 \cos^2 \phi} \left(\frac{1}{4} K_{p\gamma} \cdot \gamma \cdot B^2 \tan \phi + c \cdot K_{pc} \cdot B + q_0 \cdot K_{pq} \cdot B \right) \quad (2.23)$$

olarak ifade edilmektedir. (2.19), (2.20) ve (2.23) bağıntıları (2.18) de yerlerine koyulup gerekli düzenlemeler yapılırsa Terzaghi'nin şerit temeller için geliştirdiği taşıma gücü bağıntısı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

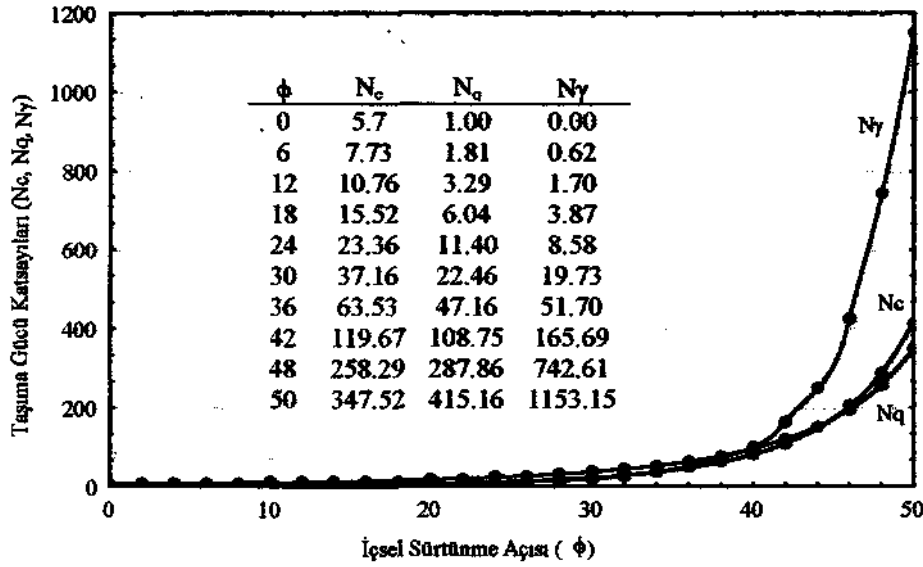
$$q_s = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (2.24)$$

N_c, N_q ve N_γ değerleri Terzaghi taşıma gücü katsayıları olup, içsel sürtünme açısına bağlı katsayılarıdır. Çeşitli açılar için bir defa hesaplanan katsayılar bütün hesaplarda kullanılmaktadır. Şerit temeller için geliştiren Terzaghi kendi taşıma gücü formülünün genel şekil aşağıdaki gibidir.

$$q_s = k_1 c N_c + \gamma D_f N_q + k_2 \gamma B N_\gamma \quad (2.25)$$

γD_f : Temel taban düzeyinde zeminin kendi ağırlığından oluşan düşey efektif gerilme, γ : Temel tabanı altında temel zeminin birim hacim ağırlığıdır. Yeraltı su düzeyi, temel tabanından B genişliği kadar veya daha fazla derinde ise $\gamma=\gamma_n$ alınır. Yeraltı su düzeyi, temel taban düzeyinde veya daha yukarıda ise $\gamma=\gamma_d-1$ alınır. Yeraltı su düzeyi, temel tabanı ile temel tabanından B uzaklığı kadar bir bölgede olması durumunda lineer interpolasyon yapılabilir veya kısaca bu bölgede de $\gamma=\gamma_d-1$ alınabilir. k_1 ve k_2 : Temel şekil katsayılarıdır.

Şekil 2.28 'de pürüzlü temel tabanı için taşıma gücü katsayılarının grafikleri ve değerleri verilmektedir.



Şekil 2.28. Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997)

Terzaghi'nin temel şekil katsayıları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Terzaghi Temel Şekil Katsayıları

| Temel Şekli | k1 | k2 |
|-------------|----------|------------|
| Şerit | 1,00 | 0,50 |
| Kare | 1,20 | 0,40 |
| Daire | 1,30 | 0,30 |
| Dikdörtgen | 1+0,2B/L | 0,5-0,1B/L |

Bölgesel kayma kırılması oluşması durumunda zeminin taşıma gücü düşmektedir. Bu durumda Terzaghi taşıma gücü formülünde, iki türlü azaltma yöntemlerinden birisi uygulanır.

1. Zeminin kayma direnci parametrelerinde azaltma yapılarak, bağıntıda c' ve ϕ' değerleri kullanılır.

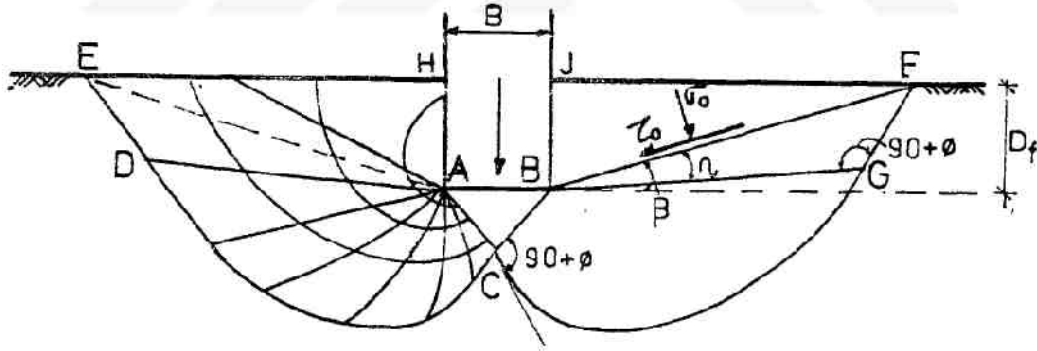
$$c' = 2.c/3, \quad \phi' = 2\phi/3 \quad (2.26)$$

2. Taşıma gücü katsayılarında azaltma yapılarak N_c , N_q ve N_γ değerleri yerine bölgesel kayma kırılması durumu için verilen N_c , N_q ve N_γ değerleri kullanılır.

2.3.4. Meyerhof Teorisi

Meyerhof şerit ve derin temeller için genel bir taşıma gücü teorisi geliştirmiştir. Kırılma mekanizması Terzaghi de olduğu gibidir. Ancak kırılma yüzeyleri temel taban seviyesinin üstüne uzatılmaktadır. Böylece bu seviyedeki zeminin etkisi de hesaplanmaktadır. Teoride, yüzeysel bir şerit temel için kayma yüzeyleri Şekil 2.29 da gösterildiği gibi kabul edilmiştir. CD ve CG eğrileri birer logaritmik spiral parçasıdır. Temel tabanın sürtünmeli olduğu kabul edilirse ABC kaması temelin bir parçası gibi davranış gösterir ve bu kamanın bitişiğindeki ACD ve BCG radyal kesme bölgesinin

sınırları temel taban seviyesinin üstüne kadar uzanır. ADEH ve BGFJ bölgeleri radyal ve düzlem kesme durumları arasında karışık kesme direnci gösteren bölgelerdir.



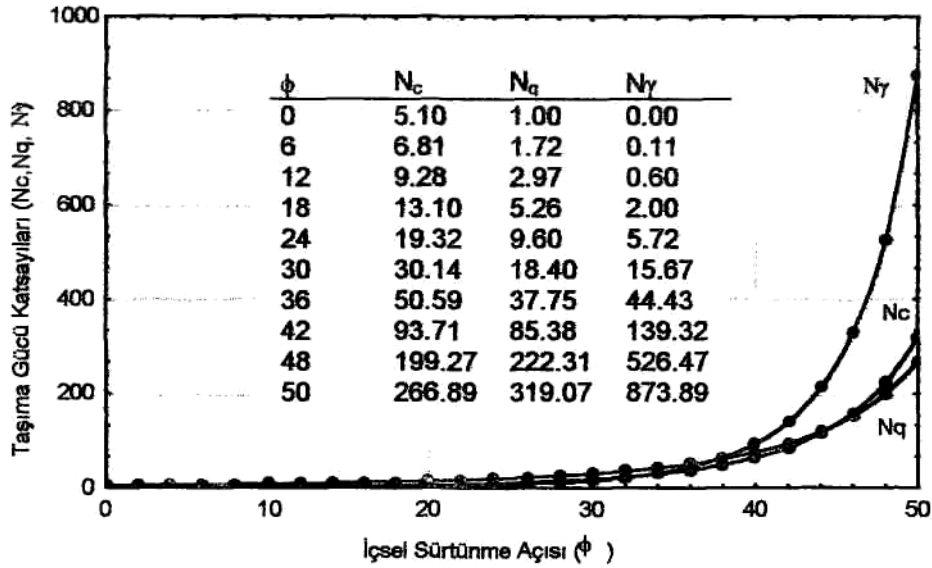
Şekil 2.29. Meyerhof Teorisinde Kayma Yüzeyleri (Çelik, 1997)

BFJ ve AEH bölgelerinde zeminin etkisi eşdeğer bir üniform yayılı yük kabulü yerine BF ve AE yüzeylerinde σ_0 normal ve τ_0 kayma gerilmesi olarak temsil edilmektedir, β açısı derinlikle artmaktadır. β , σ_0 ve τ_0 değerlerine temel derinlik parametleri denilmektedir. Bu bilgilerin ışığında Meyerhof yüzeysel şerit temellerin taşıma gücü için;

$$q_s = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5\gamma B N_\gamma \quad (2.27)$$

bağıntısını vermiştir. Burada N_c, N_q ve N_γ değerleri Meyerhof taşıma gücü faktörleri olup temelin derinliğine, şekline, pürüzlüğüne ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2.30).

Pratikte Meyerhof teorisi ile taşıma gücü hesabı pek yapılmamaktadır. Çünkü çözüm karışık ve uzun zaman almaktadır.



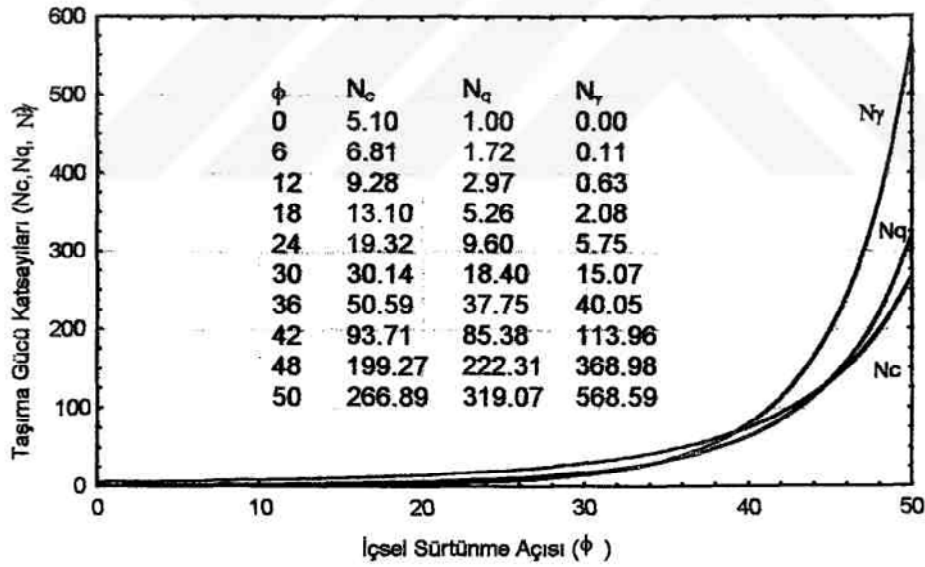
Şekil 2.30. Meyerhof Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997)

2.3.5. Brinch Hansen Teorisi

Brinch Hansen'in geliştirdiği teoride yüzeysel temellerin taşıma gücü aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$q_s = cN_c S_c d_c i_c + \gamma D_f N_q S_q d_q i_q + 0,5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (2.28)$$

(2.28) formülünde, temel şekil katsayısı (S), temel derinlik katsayısı (d), yük eğim katsayısı (i), ve N_c , N_q ve N_γ , Hansen taşıma gücü katsayılarıdır. Şekil 2.31 de Hansen taşıma gücü katsayıları ve eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.31. Hansen Taşıma Gücü Katsayıları (Çelik, 1997)

Çizelge 2.2 de Hansen temel şekil katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hansen Temel Şekil Katsayıları

| Temel Şekli | S_c | S_q | S_γ |
|-------------|------------|------------|------------|
| Şerit | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Kare | 1,3 | 1,2 | 0,8 |
| Daire | 1,3 | 1,2 | 0,6 |
| Dikdörtgen | $1+0,2B/L$ | $1+0,2B/L$ | $1-0,4B/L$ |

2.4. Geosentetik Malzemeler

İnşaat mühendisliğindeki önemli gelişmeler yapı malzemelerindeki teknolojinin gelişimine paralel olarak gerçekleşmiştir. Daha büyük ve kullanışlı yapıların inşaatı, ahşap ve yapı taşı kullanımından, donatılı beton (betonarmer) ve çelik kullanımına geçilmesiyle sağlanmıştır.

Günümüzde inşaat mühendisliğinde hızlı bir gelişim gösteren geosentetikler, polimer malzemelerdir. Geosentetikler, polimer malzemelerin fabrikalarda işlenmesiyle elde edilen,

inşaat mühendisliği projelerinin bir parçası olarak zemin, kaya ya da diğer geoteknikle ilgili malzemelerle birlikte kullanılan düzlemsel ürünlerdir.

Geosentetik malzemeler ile zeminlerin ıslahı nispeten yeni olsa da, gerek uygulama alanları, gerekse kullanım miktarı olarak her geçen gün hızla artmaktadır.

İstinat yapılarının ve toprak dolguların geosentetik donatılı olarak tasarlanması özellikle son yıllarda geoteknik mühendisliği alanında giderek yaygınlaşan ve geniş uygulama alanı bulan bir tasarım yöntemidir. Geotekstil donatılı zemin istinat yapısı uygulamalarının yaygın hale gelmesinin nedeni, bu yöntemle alışlagelmiş büyük temel boyutlarına ve betonarme duvar kesitlerine ihtiyaç duyulmadan daha ekonomik ve daha estetik yapıların inşa edilebilmesidir.

ASTM, geosentetiği “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürünlerdir” olarak tanımlanmaktadır. Geosentetikler; Geotekstil, Geogrid, Geonet, Geomembran, Geosentetik Kil Kaplama, Geoboru, Geokompozit, Geofoam, Geotüp, Geohücre, Geo diğerleri olarak 11 grupta incelenebilmektedir.

2.4.1. Geotekstilller

ASTM, geotekstili “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlamaktadır. Son yıllarda kullanımı giderek artmaktadır.

Geotekstillerin üretiminde yaygın olarak polipropilen, polyester, poliamid (nylon) ve polietilen hammaddeleri kullanılmaktadır. Bunların dışında mekanik, ısıl ve kimyasal birleştirme gibi özel işlemler görmüş geotekstilller de mevcuttur. Geotekstillerin 100’ den fazla özel uygulama alanı bulunmasına rağmen genellikle ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma, yalıtım olmak üzere altı fonksiyonu göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır.

Yapım tekniklerine göre sınıflandırma da genel anlamda örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki ana sınıf düşünülür. Bu tiplerde kendi aralarında yapıldıkları fiberlerin veya ipliklerin cinsine göre alt gruplara ayrılabilirler. Aslında örgüsüz tiplerde fiberlerin birbirlerine bağlanma prosesi, örgülü ürünlerde de örme teknikleri de bağlayıcı parametrelerdir.

Geotekstilller çeşitli yöntemler kullanılarak sınıflandırılabilir. Bunların başlıcaları yapım tekniği, polimer bileşimi (PA, PP Geotekstil gibi), ağırlık/kalınlık, mühendislik fonksiyonları, mekanik, fiziksel ve hidrolik özelliklerdir.

2.4.1.1. Örgüsüz Geotekstilller

Geotekstillerin dünya pazarındaki asıl gelişmeleri örgüsüz geotekstillerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Örgüsüz geotekstilller; İpliğe dönüştürülmemiş, çeşitli yöntemlerle

birbirine tutturulmuş, doğal ya da sentetik, kesikli yada sonsuz uzunlukta elyaflardan oluşurlar. Şekil 2.32 'de örgüsüz geotekstil örneği verilmiştir.



Şekil 2.32. Örgüsüz Geotekstil (www.geotextile.com)

Örgüsüz Geotekstilde atkı ve çözgü yoktur. Buna karşılık mukavemeti, elyafların birbirine karışmasıyla ve ısıtma işlemiyle oluşur. Isıl yolla üretilen örgüsüz Geotekstillere, daha az mukavemet ve küçük deformasyonda ani kopma gösterirken, mekanik (yani iğne ile) yolla üretilen Geotekstillere ise daha büyük deformasyon göstermektedir. Şekil 2.33' de mekanik ve ısıtma yöntemleriyle üretilen geotekstillere mikroyapıları verilmiştir.



İğneleme İle Birleştirilmiş



Isıl Olarak Birleştirilmiş

Şekil 2.33. Örgüsüz geotekstil mikroyapıları (www.geotextile.com)

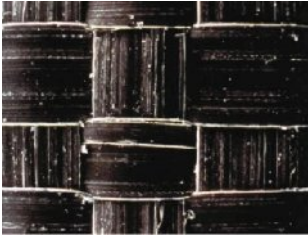
2.4.1.2. Örgülü Geotekstillere

Genellikle yüksek çekme dayanımı istendiğinde kullanılan örgülü geotekstillere. İki yönde kesintisiz iplik içermektedir. Bu bakımdan ipliğin tüm teknik avantajlarından yararlanılarak düşük uzamalarda yüksek dayanımlar elde edilir. Her ne kadar iplikler birbirlerine dik açı yapacak şekilde iki yönde dokunmuşlarsa da iplikler arasındaki sürtünme ve sarılma nedeniyle malzeme önemli ölçüde diyagonal dayanım gösterir. Şekil 2.34 'de örgülü geotekstil örneği görülmektedir.

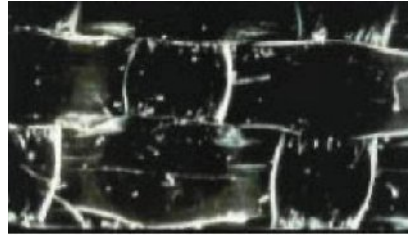


Şekil 2.34. Örgülü Geotekstil (www.geotextile.com)

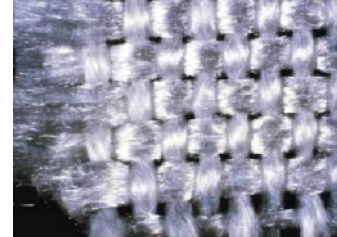
Örgülü geotekstiller geleneksel dokuma tezgahlarında üretilirler. Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi enine eleman (çözgü) kullanılarak dokuma üretilir. Kullanılan ipliğin hammaddesine ve tipine göre farklı geotekstiller üretilerek farklı fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler elde edilebilir. Geotekstillere de içerisinde bulunduğu endüstriyel dokumalarda örgü şekli basit olmaktadır. Şekil 2.35 'de kesik, monofilament ve multifilament örgü şekline göre üretilen geotekstillere mikrofildi verilmiştir.



Kesikli şerit



Monofilament şerit



Multifilament şerit

Şekil 2.35. Örgülü Geotekstil Mikrofildi (www.geotextile.com)

2.4.1.3. Geotekstillere Genel Özellikleri

Daha önceden de bahsetmiş olduğumuz gibi geotekstiller çeşitli polimerik malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Bu malzemelerden bazılarının birim hacim ağırlıkları; polipropilen 910 kg/m³, polyester 1220-1380 kg/m³, naylon 1050-1140 kg/m³, polietilen 920-960 kg/m³, polipropilen 1960 kg/m³ 'tür. Birim hacim ağırlıklara dikkat edilirse bazılarının birim hacim ağırlıklarının, suyun birim hacim ağırlığından daha az olabileceği görülmektedir. Bu durumda su altında yapılan çalışmalarda çeşitli zorluklarla karşılaşılabilir.

Örgülü ve örgüsüz geotekstiller için üretim yapılan genişlik 5,5-6,0 m civarındadır. Bir geotekstilin genişliği ve uzunluğu üretimi yapan makinenin teknik özellikleri ve kapasitesi ile ilgilidir. Bu nedenle çeşitli firmalar çeşitli geotekstiller üretmekte ve bu konu ile ilgili bir standart bulunmamaktadır.

Genel olarak bir geotekstille ilgili ağırlık ifade edildiğinde, birim alana düşen ağırlık anlaşılmaktadır. Bu rakam geotekstilin 1 m²'sindeki gram cinsinden malzeme miktarı

olarak belirlenir. Genellikle geotekstiller 135-680 gr/m² arasında birim alan ağırlığına sahiptir. Dokumanın maliyeti ve dayanımı ağırlığıyla yakından ilgilidir. Genellikle örgülü tipler daha ağır ve daha yüksek dayanımlıdır.

Karayolu Teknik Şartnamesi (2006), ayırma amacıyla kullanılacak örgüsüz geotekstillerin teknik özelliklerinin Çizelge 2.3' de sunulan değerleri sağlaması gerektiğini belirtmiştir.

Çizelge 2.3. Ayırma Amaçlı Örgüsüz Polipropilen Geotekstil Tipleri ve Özellikleri

| DENEYLER | BİRİM | GEOTEKSTİL TİPİ | | | DENEY STANDARDI |
|--|---------------------|-----------------|---------|---------|-----------------|
| | | TİP - A | TİP - B | TİP - C | |
| Kalınlık, 2 kPA Basınçta (min.) | mm | 1,8 | 2,5 | 3 | EN 964 |
| Çekme Dayanımı, (min.) (MD/CD) | kN/m | 12/14 | 20/25 | 24/30 | EN ISO 10319 |
| Kopma Uzaması | % | 50-70 | 50-70 | 50-70 | EN ISO 10319 |
| Delinmeye Karşı Dayanım, (min.), (CBR testi) | N | 2300 | 3500 | 4500 | EN ISO 12236 |
| Koni Düşürme Deneyi, (min.) | mm | 22 | 10 | 7 | EN 918 |
| Görünen Gözenek Boyutu, (min.) O ₉₀ | mm | 0,08 | 0,08 | 0,08 | EN ISO 12956 |
| Permeabilite, düzlemde | | | | | |
| V _{I_{H50}} | m/sn | 0,08 | 0,05 | 0,04 | EN ISO 11058 |
| q | Lt/m ² s | 80 | 50 | 40 | |

Örme şerit, ince mekanik veya ısıl birleştirmeli hafif geotekstillerin ağırlığı tipik olarak 205 gr/m²'den azdır. Yalnız başına fazla anlamlı görülmemekle birlikte, ağırlık geotekstilin diğer özelliklerinin ve fiyatının bir göstergesidir. Ayrıca ağırlık, kalınlık, gözenek yapısı ve buna bağlı olarak hidrolik özellikleri de etkileyebilir.

Kalınlık, belirli basınç, altında geotekstilin alt ve üst yüzleri arasındaki mesafedir. Arazideki uygulama sırasında geotekstilin gerçek kalınlığının tespiti farklı gerilmelerden dolayı zordur. Genellikle geotekstillerin kalınlıkları 0.2 - 10 mm arasında değişmektedir.

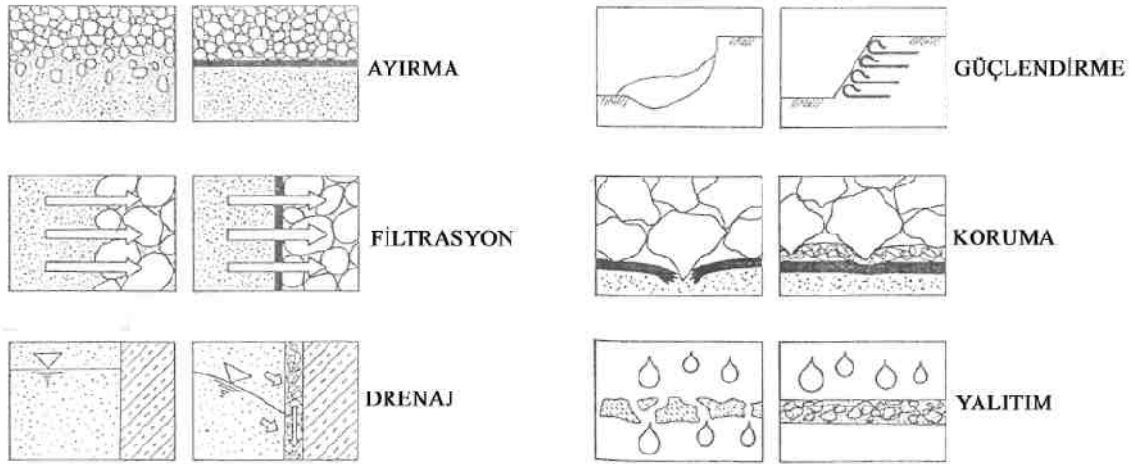
Mekanik özellikler hem geotekstil üretim yönünde, hemde bu yöne dik olarak ölçülür. Ölçülen özellikler çekme dayanımı (kN/m) , kopma uzaması (%) ve yırtılma dayanımıdır (kN).

Hidrolik özellikler, geçirgenliğin, daha açık bir ifadeyle yüzeye dik geçirgenliğin (permittivity) (S-1) ve yüzey boyunca geçirgenliği (transmissivity) (m²/s) bulunmasıyla belirlenir.

Filtrasyon özelliği ise filtrasyon çapı olarak ifade edilen O₉₅ (Malzemenin %95'inin geçeceği göz açıklığının mikron değeri) gözenekliliğin belirlenmesiyle bulunur.

2.4.1.4. Geotekstillerin Fonksiyonları

Günümüzde geotekstillerin kullanım alanları çok genişlemiş ve buna bağlı olarak geotekstil çeşitleri de artmıştır. Tasarımcı proje için uygun geotekstili seçmeli ve uygulamasını buna göre yapmalıdır. Tasarım sırasında izlenebilecek yöntemler, maliyet ve uygunluğa göre, belirli özelliklere göre ve kullanım amacına göre tasarım şeklinde sıralanabilir (Şekil 2.36).



Şekil 2.36. Geotekstillerin Fonksiyonları (www.payteks.com)

a) Ayırma : Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayıraç fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur. Geotekstillere, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır.

b) Filtrasyon : Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon işinde kullanılacak geotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir. Geotekstil yerleştirildikten sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstil karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile hareketini önler. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır.

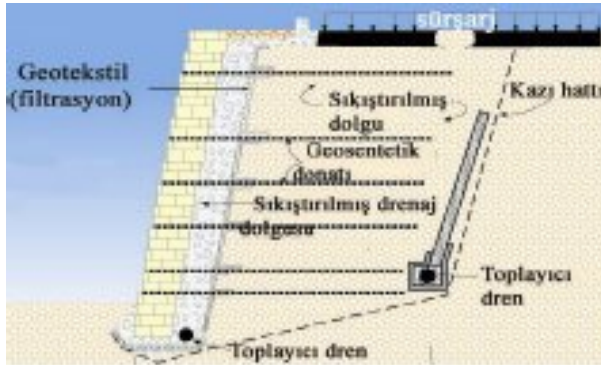
c) Drenaj : Geotekstil, kendi düzlemi boyunca (bünyesinde) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstil bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içerisinde aktarılır.

Şekil 2.37 'de sulama kanalında, geotekstil ile doğal zemin ile ayırma, filtre ve drenaj işlevlerinin uygulama detayı verilmiştir.



Şekil 2.37. Geotekstillerin Kullanımı (www.grupo.com.tr)

e) Güçlendirme : Geotekstiller zemine nazaran, çok geçirgendirler. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı sağlanabilir. Tünel, düşey dren, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken inşaatlarda faydalı olmaktadır. Şekil 2.38’de İstinat yapılarında geotekstillerin zemin güçlendirmesi ve drenaj amaçlı kullanımı uygulama detayı gösterilmektedir.



Şekil 2.38. Güçlendirilmiş ve Korunmuş Zemin (www.isdunyası.net)

Boşluklu zeminler, genellikle küçük parçacıklardan ve biraz da büyük parçacıklardan oluşmaktadır. Eğer bu tip zeminlerde geotekstil kullanılırsa, kaba daneli zeminlerin içinde hareket eden ince daneli zeminler geotekstili tıkar. Üniform ince parçacıklı siltli zeminler, suyun geçişine az izin verir. Eğer bu tip zeminlerde geotekstil kullanılırsa, su akımı iyice azalır. Siltli zemin ile kaba kum karıştırılırsa veya geotekstil ve siltli zemin arasına kaba kum konursa, su akımı daha iyi sağlanır.

Ayrılmış killi zeminler, suyun içinde hareket edebilen ufak kil daneleri içerir. Bu kil daneleri büyük gözenekli geotekstillere geçebilir fakat küçük gözenekli veya yoğun geotekstillere geçemez ve geotekstili tıkar.

Geonet ve geotekstilden oluşan bir geokompozitin drenaj özelliği, sadece geotekstilin kullanıldığı durumdan çok daha üstün olmaktadır.

Noktasal yüklerin eşit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnerek, zemin kütlesini güçlendirmesidir. Zeminlerin aksine, geotekstiller çekme direncine sahiptir. Çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini arttırarak, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar.

f) Koruma : Geotekstil, deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur. Koruma iki tipte gerçekleşir:

a) Yüzey Koruması: Zemine yerleştirilen geotekstil, hava koşulları ve trafik gibi etkilerden yüzeyi korur.

b) Ara yüzey Koruma: İki malzeme arasına yerleştirilen geotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur (asfalt kaplama veya geomembran).

Şekil 2.39 'de geotekstillere güçlendirme, koruma ve yalıtım özelliklerinin birlikte sağlandığı bir uygulama gösterilmektedir.



Prefabrik Kaplama



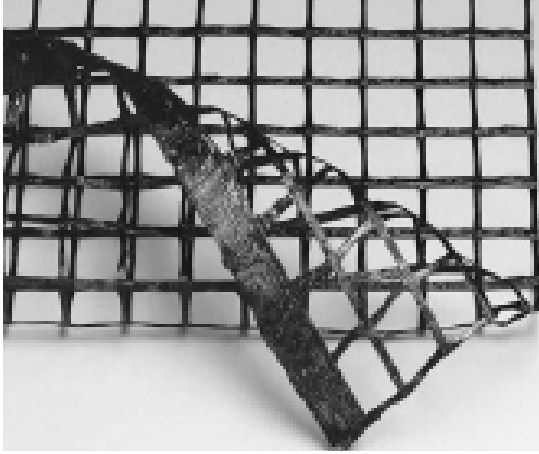
Esnek Kaplama

Şekil 2.39. Geotekstil Kullanımı Uygulamaları (www.geotextile.com)

g) Yalıtım : Geotekstil, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstillerin, yeterli miktarda bitümü tutma özelliği olması gerekir.

2.4.2. Geogridler

Geogridler, geosentetikler içerisinde küçük ama hızla gelişen bir kısmı temsil eder. Yüksek deformasyon modüllü polimer malzemelerin hazırlanması için gerekli yöntemlerdeki gelişmeler sayesinde, özellikle de soğuk işleme yöntemindeki gelişmeler, bu malzemelerin donatı olarak kullanılmasını sağlamıştır. Günümüzde, geogridlerin en önemli kullanım alanları güçlendirmedir. Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, geogridlerin bu alandaki kullanımları da hızla artmaktadır. Şekil 2.40 'da geogrid örneği görülmektedir.



Şekil 2.40. Geogrid (www.geogrid.com)

Geogrid, polipropilen veya yüksek yoğunluklu polietilen şiltelerinin çekilerek uzatılması sonucunda elde edilen, yüksek çekme modülüne sahip, üzerinde düzgün olarak dağılmış elips, dikdörtgen ya da kare boşluklar bulunan ve özellikle zemin güçlendirilmesinde kullanılan, bir geosentetik üründür. Geogrid açıklıkları 0,5-4 inç arasında değişmektedir. Geogridler inşaat sahasına 3-10 feet genişli inde rulolar halinde getirilirler. Polipropilen geogridler, polietilen gridlere göre yüksek sıcaklığa daha dayanıklı olduklarından, sıcak asfalt uygulamalarında tercih edilirler. Polietilen bazlı geogridler, taban zemini üzerinde kullanılırlar.

Geogridlerin en önemli özelliği, delik olarak adlandırılan, zeminin içinden geçmesine izin verecek kadar genişlikte, enlemesine ve boylamasına olan şeritler arasındaki açıklıklardır. Geogridlerin şeritlerinin dayanımları yanında, aynı zamanda bağlanma dayanımları da önemlidir. Geogridler, zemini deliklerinden geçmesine izin verdikleri için yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde bir pasif dayanım oluşur. Aynı zamanda geogridin zemine bağlanması da bu şeritler sayesinde olur.

Geogridle güçlendirmede temel ilke, zemin yapısı içerisinde düşük deformasyona karşılık yüksek çekme kuvveti oluşturmaktır. Bu da, temel malzemesi ile geogrid arasındaki kenetlenme sonucu ortaya çıkar. Kenetlenmeye etkiyen faktörler ise geogrid göz açıklığı, bölgesel zemin durumu ve dağılımıdır.

Geotekstil de olduğu gibi, üreticinin tasarladığı geogrid özelliklerine göre kullanım alanında seçim yapılmalıdır.

Geogirdler yüksek modüller polyester ipliğinden yapılırlar ve konum olarak PVC ile kaplanırlar ve çeşitli standart mukavemette ve çaplarda üretilirler. Ayrıca geogridler, inşaat mühendisliği problemlerine optimum bir çözüm sağlama da ve spesifik projelerde de özel olarak üretilip dizayn edilebilirler. Geogridlerin kullanıldığı yerler; donatılı şevler, istinat duvarları, toprak kayması, ses bariyerleri, toprak barajlar, yol, Demir yolu ve Havaalanı temelleri, temel zemininin güçlendirilmesidir.

Karayolları Genel Müdürlüğü' nün 2006 yılında çıkarmış olduğu Karayolu Teknik Şartnamesi' nde, bitümlü sıcak karışımlar ile kaplanmış yolların takviyesinde, eski kaplamada oluşan çatlakların takviye tabakasına yansımalarının geciktirilmesinde kullanılabilecek geogridlerin teknik özellikleri Çizelge 2.4 'de sunulmuştur.

Çizelge 2.4. Geogrid Özellikleri

| ÖZELLİKLER | | DENEY METODU | ŞARTNAME LİMİTİ |
|---|---------------------|------------------------|-----------------|
| Çekme Dayanımı, kN/m, minimum | Cam Elyafli Geogrid | ISO 3341 | 100/100 |
| | Birleşik Geogrid | EN ISO 10319 | |
| Kırılma Anındaki Uzama, %, Maksimum | | ISO 3341, EN ISO 10319 | 5 |
| %2 Birim Deformasyondaki Dayanım, kN/m, minimum | | ISO 3341, EN ISO 10319 | 60/60 |
| Erime Noktası, °C, minimum | | ASTM D 276 | 200 |

Şekil 2.41 'de yol alt temel çalışmalarında geogrid uygulama detayları gösterilmektedir.



Şekil 2.41. Geogrid Uygulaması (www.geogrid.com)

Şekil 2.42'de dolgularda geogrid kullanımı uygulama detayı görülmektedir.



Şekil 2.42. Dolgularda Geogrid Kullanımı (www.geogrid.com)

Şekil 2.43 'de şev kayması olan bir zeminde geogrid kullanılarak yapılan bir istinat duvarı uygulaması görülmektedir.



Önce

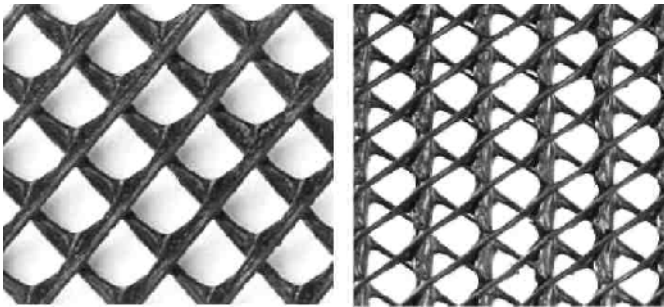


Sonra

Şekil 2.43. Geogrid Kullanılarak Yapılan İstinat Duvarı (www.geogrid.com)

2.4.3. Geonet

Geonetler ilk olarak Dr. B. Mercer tarafından İngiltere' de geliştirilmişlerdir. İlk çevresel uygulaması 1984 yılında Hopewell, Virginia' da tehlikeli likit atık toplama merkezindeki sızmaların tespit edilmesi için kullanılmıştır. Geonetler grid malzemelere benzemektedir ve geogridlerin altına uygulanabilmektedirler. Buradaki kullanımı alanı ayırma amaçlı olmamakla birlikte, bu özelliği de sağlamaktadır. Geogridlerin donatı olarak kullanıldığı durumlarda, geonetler düzlemsel drenajı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 2.44' de değişik geonet çeşitleri örneklerinin görünümü verilmiştir.



Şekil 2.44. Değişik Geonet Çeşitleri (www.istanbulteknik.com)

Geonetler bu durumda, donatı amacıyla kullanılmamalarına karşın bu onların zayıf ve sağlam olmayan malzemeler oldukları anlamını taşımamaktadır. Belirli bir dayanıma sahip olmalarına karşın genellikle drenaj amacıyla kullanılmaktadırlar. Dikkat edilmesi gereken geonetlerin, geotekstil, geomembran yada başka bir malzemenin alt veya üst yüzünde kullanılarak, zeminin boşluklara grip, malzemenin drenaj özelliğini kaybetmesini önlemekte olduklarıdır. Bu sebepten kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılmaktadırlar.

Neredeyse bütün geonetler polietilenden imal edilmiştir. Geonetlerin özgül ağırlığı 0.935 – 0.965 aralığında olmakta bu sebepten orta-yoğunluktan yüksek yada yüksek-yoğunluktan düşük olarak sınıflandırılmaktadırlar. ASTM tarafından orta ve yüksek yoğunluktaki polietilenler arasındaki ayrım 0.940/0.941 olarak belirlenmiştir. Geonetlere yalnızca karbon karası (1–2%) ve işlem/antioksidan paketi (0.5–1.0%) uygulanabilmekte, bu nedenden malzeme genellikle saf olarak oluşturulmaktadır. Geonetlerin kalınlığı 5.0 ile 7.0 mm arasında değişmektedir. Kalınlık düzlemsel drenajda en önemli faktör olduğu için, bu kalınlığın artırılmasına çalışılmaktadır. Kalınlığı arttırmanın bir yolu içeriğine köpük yapıcı madde ilavesidir. Bu yöntem birkaç üretici tarafından denemiş ve 10 ile 13 mm arasında kalınlıktaki geonetler elde edilmiştir.

Geonetle, genellikle drenaj özellikleri için kullanılmaktadır. Şekil 2.45’de drenaj amaçlı geonet saha uygulaması detayı verilmiştir.



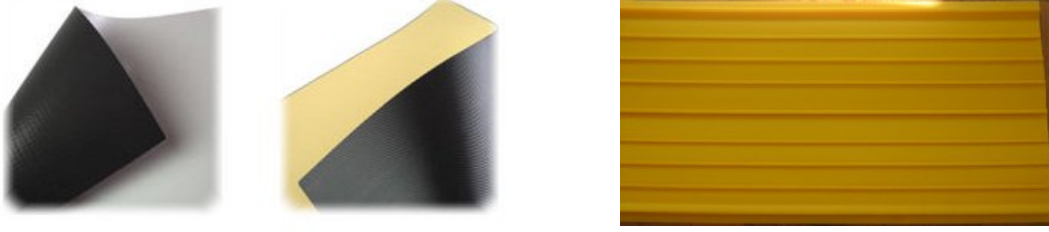
Şekil 2.45. Geonet saha uygulaması (www.istanbulteknik.com)

2.4.4. Geomembran

ASTM, geomembranı “geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır. Şekil 2.46 ‘da bitümlü ve PVC geomembran görünümleri verilmiştir.

1938 yılında Goodyear, doğal kauçuğu sülfürle işleyerek, termoset polimer olan sentetik kauçuğu elde etmiştir. Günümüzde, değişik türdeki sentetik kauçuk malzemeler önemli bir endüstri ürünü haline gelmiştir. Orijinal geomembran kauçuktan üretilmiş olup, içilebilir su havuzlarında kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Bütil kauçuk olan bu ürün, yaklaşık 2% izopren katkılı kopolimer izobütülden oluşmaktaydı. Bütil kauçuk

oldukça geçirimsizdir ve esas olarak iç lastik ve içsiz lastik kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. 1980' den itibaren endüstri termoset polimer kullanımından termoplastik polimer kullanımına geçmiştir. Bu malzemeler ısıtıldıkları zaman yumuşak ve esnek hale gelmekte ama içsel özelliklerinde bir değişme olmamakta, soğudukları zaman eski orijinal özelliklerine dönmektedirler.



Bitümlü Geomembran

PVC Geomembran

Şekil 2.46. Değişik Geomembran Çeşitleri (www.angoraplastik.com)

Geomembranlar esas olarak geçirimsizliğin sağlanmasında kullanılmaktadır. Saha uygulamalarında geçirimsizliğin sağlanması yine geomembranlar sayesinde olmaktadır (Şekil 2.47). Geomembranların çevre, geoteknik, hidrolik ve taşıma alanında kullanımları şu şekilde sıralanabilir.



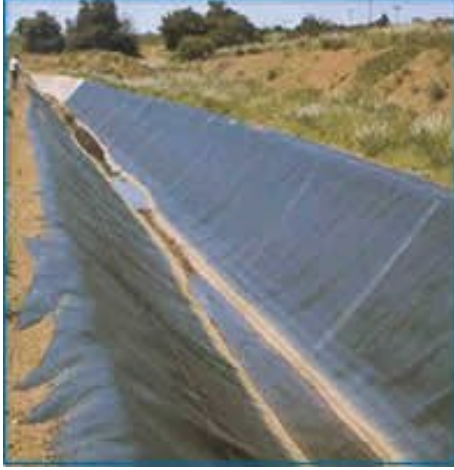
Şekil 2.47. Geomembranın saha uygulaması (www.terrafixgeo.com)

Şekil 2.48 'de su depolarında gomembran kullanılarak yalıtım yapılması uygulama detayı görülmektedir.



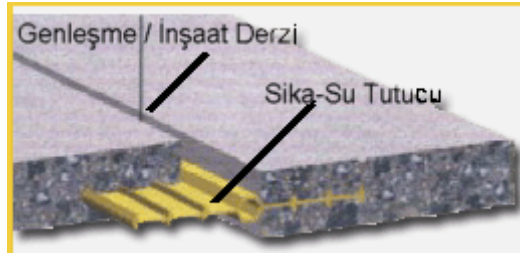
Şekil 2.48. Su deposu yalıtımı yapılması (www.isdunyasi.net)

Şekil 2.49'da su kanallarında geomembran kullanılarak su kanalında yalıtım yapılması uygulama detayı görülmektedir.



Şekil 2.49. Geomembran kullanılarak yalıtımının yapılması (www.aquatan.com)

Şekil 2.50'de PVC geomembran kullanılarak beton derzleri arasındaki su geçirimsizliğinin giderilmesine yönelik uygulama detayı görülmektedir.

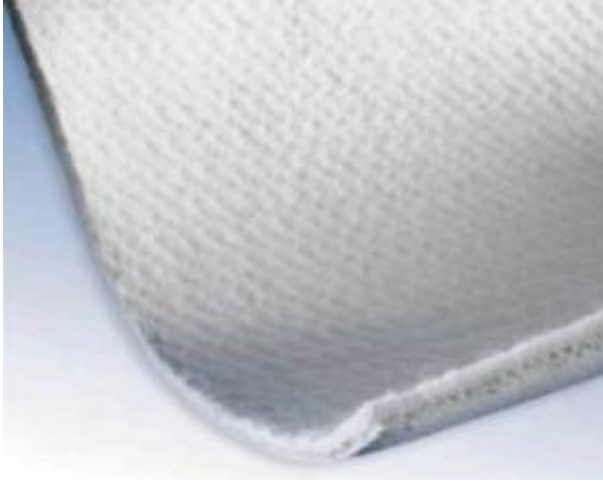


Şekil 2.50. PVC Geomembran Kullanımı (www.bacanaklar.com.tr)

2.4.5. Geosentetik Kil Kaplamalar

Geosentetik kil kaplamalar ilk olarak 1988 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilen bir katı atık toplama merkezinde kullanılmıştır. Kullanılan bu ürün iki geotekstil tabakası arasındaki bentonit kili karışımından oluşmaktadır (Şekil 2.51). Geosentetik kil kaplamalar kil şilteleri, bentonit şilteleri, bentonit hasırları ve prefabrike bentonit kil şilteleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Geosentetik kil kaplamalar, suya ve diğer likit malzemelere karşı hidrolik bariyer olarak kullanılmaktadırlar. Hidrolik bariyer olarak, sıkıştırılmış kil tabakaları yerine, geosentetik kil kaplamalar kullanılabilir.

Geosentetik kil kaplamaların ana avantajları arasında; sınırlı kalınlığı, altındaki zemin veya atık malzeme üzerindeki farklı oturumları azaltması, kolay yerleştirilmesi ve düşük maliyeti gibi hususlar yer almaktadır.



Şekil 2.51. Geosentetik Kil Kaplama (www.naue.com)

Geosentetik kil kaplamaları, geomembranların altında ikinci tabaka olarak, geomembranların üzerinde kaba agregalara karşı koruma olarak, yüzey sularına bent oluşturulmasında ve kanal kaplamalarında kullanılmaktadır. Şekil 2.52 ‘de geosentetik kil kaplamaların kanal kaplamasında kullanım detayı görülmektedir.



Şekil 2.52. Geosentetik Kil Kaplama Uygulaması (www.irrigation.org.au)

2.4.6. Geoboru

Su, gaz, petrol ve çeşitli diğer likit maddelerin yeraltında taşınması sırasında boru hatlarında kullanılan klasik malzemeler çelik, font, beton ve kildir. Bu boru malzemeleri davranışlarından dolayı rijit olarak sınıflandırılmaktadır. Polimerik malzemelerden imal edilen borular ise esnek olarak sınıflandırılırlar (Şekil 2.53). Koruge boru olarak ta adlandırılırlar.



Şekil 2.53. Geoboru (www.yapikatalogu.com)

Plastik borular, polimer malzemeden üretilen ilk ürünlerdendir ve çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yeraltında bulunan plastik borulardan (genellikle HDPE), 95%' den daha fazlası doğalgaz taşınmasında kullanılmaktadır. En önemli kullanım alanları endüstri, tarım, taşıma ve drenaj uygulamalarıdır. Geoborular genellikle polivinil klorit (PVC), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP), polibütlen (PB), akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve selüloz asetat bütirit (CAB) gibi malzemelerden üretilmektedirler.

Çok yaygın kullanım alanı bulunan bu ürünün, genellikle atık su drenaj sistemlerinde, kimyasalların taşındığı boru hatlarında, drenaj projelerinde boru olarak, yerçekimi ile akışkan taşıma hatlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.54 'de kanalizasyon sistemlerinde geoboru kullanımı uygulama detayı görülmektedir.



Şekil 2.54. Atık Su Taşımada Geoboru Kullanımı (www.savastepe.bel.tr)

2.4.7. Geokompozitler

Günümüzde inşaat sektöründe, artan ihtiyaçların karşılanması için yaratıcı projeler üretilmekte ve bu projelerin uygulanabilmesi için yeni ürünler gerekmektedir. İnşaat sektöründeki bu gelişmeler, kullanılan geosentetiklerin de çeşitlenmesini ve değişik çözüm önerileri sunmasını gerekli hale getirmiştir. Geokompozitler de bu ihtiyaçların karşılanması için kullanılmaktadır. Farklı malzemelerin değişik özellikleri kullanılarak sorunlara en uygun çözüm yolları bulunmaya çalışılmaktadır. Geokompozitler genellikle geosentetik

malzemelerin çeşitli kombinasyonlarından oluşmaktadır. Yalnız bazı durumlarda sentetik olmayan malzemeler, geosentetiklerle kullanılarak uygun çözümler ve düşük maliyetler sağlanabilmektedir. Geokompozitler, bir çok ürünün kombinasyondan oluşmaktadır.

Geokompozitlerin çok sayıda uygulama alanı bulunmaktadır; ama genelde geokompozitler Ayırma, Güçlendirme, Filtrasyon, Drenaj olmak üzere dört fonksiyonları göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır. Şekil 2.55’de çeşitli geosentetikler kullanılarak elde edilen geokompozitin koruma, yastık tabakası ve püskürtme beton için tutma tabakası amaçlı kullanımı uygulama detayı gösterilmektedir.



Şekil 2.55. Tünel inşaatında geokompozit kullanımı (www.geosentetikler.com)

2.4.8. Geofom

Geofom terimi ilk kez 1992’de kullanılmış olduğundan tanımı üzerinde hâlâ bazı karışıklıklar mevcuttur. Çok basit olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan her türlü köpük malzemenin genel adıdır. Geofomlar, kapalı ve içi gaz dolu muhtelif hücrelerin oluşumu ile sonuçlanan ve genleştirme yolu ile elde edilen bir malzemelerdir (Şekil 2.56). Hücre duvarları katı ancak gazlara karşı geçirgendir. Geofom artık dünya genelinde geotekstil, geomembran v.b. gibi bir geosentetik ürün kabul edilmektedir.



Şekil 2.56. Geofoam (wsdotblog.blogspot.com)

Pek çok geofoam malzemesi polimerik (plastik) veya camsı köpük esastır. Polistiren köpük kapsamında, genişletilmiş polistiren (EPS) ve sıkıştırılmış polistiren (XPS) olmak üzere iki çeşit ürün mevcuttur. En çok kullanılan tür EPS' dir.

Yumuşak ve zayıf zeminlerin üzerinde yapılan dolguların içinde, donma-çözünme etkisini çok etkili olduğu yerlerde yolların, hava alanı kaplamalarının ve demiryollarının altlarında v.b. alanlarda geofoam kullanılmaktadır. Şekil 2.57 'de istinat duvarlarında geofoam kullanımı uygulama detayı verilmektedir.



Şekil 2.57. İstinat Duvarları Arkasında Geofoam Kullanımı (www.powerfoam.net)

Şekil 2.58 'de geofoam kullanılarak yapılan bir şev çalışması uygulama detayı görülmektedir.



Şekil 2.58. GeoFoam ile Şev Oluşturma (www.insulfoam.com)

2.4.9. Geotüp

Geotüpler, geotekstil rulolarının bir araya getirilip dikilmesi ile oluşturulan kapsül şeklindeki elemanlardır ve nispeten büyük miktardaki suya doygun malzemeyi tutmaya uygun dayanıma sahiptirler. Geotekstil tüpler gözenekli bir yapıya sahiptir ve suya doygun bir malzeme veya sulu çamurla doldurulduğu zaman içerisinde katı kısım tutulur ve su, geotüpü oluşturan geotekstilin gözeneklerinden dışarı süzülür. Geotüpler 1980 yıllarının başında Avrupa’da erozyon kontrolü ve depolama amaçları için geliştirilmiştir. İlk kullanım örnekleri Brezilya ve Fransa’da dip taramasından elde edilen malzeme ile doldurulmuş tüplerin suyu tutmak amacı ile sedde teşkilinde ve Hollanda’da dere yataklarında meydana gelen oyulmaların kapatılması çalışmalarında kullanılmaları olarak özetlenebilir. Geotüpler üzerinde yapılan ilk çalışmalarda çoğu araştırmacılar tasarım ve imalat sırasında göz önünde tutulması gereken hususlar üzerinde yoğunlaştılar. Son yıllardaki araştırmaların, yüksek su içeriğine sahip malzemelerin susuzlaştırılması amacıyla yönelik olarak kullanılan geotüplerin imal edildiği geotekstil malzemesinin filtrasyon özelliklerinin belirlenmesi üzerine yoğunlaştığını belirtmişlerdir.

1980’lerden bugüne kadar boyutları 1 m³’ten 3000 m³’e kadar değişen geotekstil torba, tüp ve taşıyıcı, çok çeşitli dolgu malzemeleri ile Hollanda, Almanya, Fransa, Japonya, Brezilya, Avusturya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde dolduruldu. Doldurulan bu elemanlar veya tüpler, su altında teşkil edilen stabilite seddelerinin imalatında, kıyı yapılarının dalgalara karşı tahkiminde, talveg erozyonunun seddelerle kontrol altına alınmasında, köprü kenar ayaklarının oyulmaya karşı korunmasında, dip taramasından çıkan malzemenin depolanmasında ve temiz veya kirlenmiş malzemelerin depolanmasında başarı ile kullanılmaktadır. Geotekstil tüpler yüksek su içeriğine sahip malzemedeki suyun uzaklaştırılması için çok hızlı ve kolay inşa edilebilen, uygulama maliyetini düşüren ve zamandan kazandıran, ekonomik alternatif bir yöntem olmuştur. Genel bir değerlendirme yapıldığında, geotekstil tüplerin daha ucuz ve kolay bir susuzlaştırma sağladığı ve alternatif sınırlandırılmış depolama alanlarına göre daha az alan ve tesis gerektirdiği söylenebilir. Şekil 2.59’da sahillerde yapısal erozyonu önlemek amacıyla geotüp uygulaması detayı görülmektedir.



Şekil 2.59 Geotüpün Sahil Korumada Kullanılması (www.thepetitionsite.com)

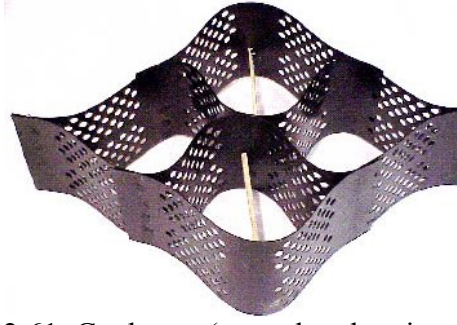
Geotüple susuzlaştırma üç aşamalı bir yöntemdir. İlk aşamada belirli çaptan büyük daneleri tutma özelliğine sahip geotekstilden imal edilmiş yüksek dayanımlı geotüpler atık çamur, kirletilmiş zemin veya tarama ile elde edilmiş atık malzeme ile doldurulur. Geotüpün imal edildiği geotekstilin yapısı, içine doldurulan malzemenin dane yapısına uygun olmalı ve sedimenti büyük oranda geotüp içinde tutmalıdır. Susuzlaştırma aşamasında, fazla su geotüpten deşarj edilir. Deşarj edilen su genellikle tekrar kullanılacak veya ilave iyileştirme yapılmadan doğal ortama geri bırakılabilecek kalitededir. Geotüpün içersinde tutulan katı malzeme miktarı arttıkça, deşarj edilen suyun kalitesi daha da artar. Son aşama olan konsolidasyon aşamasında atık durumdaki su Geotüpün dokusu arasından buharlaşarak çıkarken içerideki malzemenin yoğunluğu artar ve konsolidasyona uğrar. Malzemede 65%' e varan hacim küçülmesi oluşur. Geotüp daha sonra istenirse açılabilir ve içindeki katı malzeme istenilen kullanım veya depolama noktasına taşınır. Tek bir geotüp ile günde 1500 m³ malzeme elde edilebilir. Şekil 2.60'da depolama ile ilgili saha uygulaması detayı verilmiştir.



Şekil 2.60. Depolama işlemlerinde Geotüp Kullanımı (www.merchantcircle.com)

2.4.10. Geohücre

Geohücreli tutucu sistemler, içerisi zemin, kaya ya da betonla doldurulmuş üç boyutlu petek tarzı elamanlardır (Şekil 2.61). Bu sistemler genellikle geohücre olarak adlandırılmakta olup, şerit şeklinde polimer tabakalardan yada geotekstillerden üretilmekte olup, çaprazlama olarak yerleştirilmekte ve kesişim noktalarından birbirlerine sabitlenmektedirler. Bu şeritler çekildikleri zaman geniş bir petek şeklinde örtüye dönüşmektedir.



Şekil 2.61. Geohücre (www.kercherei.com)

Geohücreler, şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda gerekli olan bariyer ve koruma elmanı olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 2.62' Geohücre kullanılarak şevin dış etkilerden korunmasına yönelik uygulama detayı verilmiştir.



Şekil 2.62. Geohücre Uygulaması (www.geomembranes.com)

2.4.11. Geo Diğerleri

Geosentetik ürünlerde kullanılan malzemelerin gelişimine bağlı olarak, mevcut ürünlerin sayısı hızla artmaktadır. Yeni ürünler sayesinde hem güvenli hem de ekonomik çözümler elde edilmeye çalışılmaktadır.

Polimerik ankrajlar, sarılmış zemin hücreleri v.b. ürünler geo diğerleri olarak adlandırılabilir. En önemli kullanım alanları, imal edildikleri malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sonuç olarak bunlar da geosentetik malzemeler oldukları için, ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj gibi özelliklere sahiptirler.

3. MATERYAL METOD

Deneysel çalışma, geotekstil donatılı kum zeminler üzerinde yapılan model plaka yükleme deneylerini içermektedir. Model temel olarak 1 cm kalınlığında 10 x 10 cm boyutlarında kare metal plaka kullanılmıştır. Donatı malzemesi olarak ise, örgüsüz geotekstil tercih edilmiştir. Deneylerde kasa içerisine farklı boyut, miktar ve yerleşim düzenindeki geotekstil donatı tabakalarının donatılı zeminin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

Bu bölümde öncelikle deney düzeni, deneylerde kullanılan zemin ve donatı özellikleri ile bu çalışmalarda izlenen deney programı açıklanmıştır.

3.1. Deney Düzeni**3.1.1. Deney Kasası**

Geotekstil donatılı kum zeminler üzerine yapılan deneysel çalışmalar, KSÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler Şekil 3.1 'de görülen, 55 cm genişliğinde 66 cm uzunluğunda ve 55 cm derinliğindeki dikdörtgen kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney kasası ahşap malzemeden yapılmış olup, ön yüzeyi 0,7 cm kalınlıkta cam levhadan teşkil edilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Kasası

Deney kasası Şekil 3.2 'de görülen yükleme düzeneği içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Deney Düzenegi

3.1.2. Kullanılan Temel Plakası

Deneyisel çalışmada kare temel tipi esas alınmıştır. Model temel olarak 1 cm kalınlığında, 10 x 10 cm boyutlarında ve 0,779 kg ağırlığında metal plaka kullanılmıştır. Yük halkası aparatı olan bilye ile tam temasın sağlanması amacıyla temel merkezine 2 mm derinliğinde ve 7 mm çapında bilye oturma çukuru açılmıştır.

3.1.3. Yükleme Sistemi

Deneylerde kullanılan ve Şekil 3.3 'de gösterilen yükleme sistemi; DSİ sulama kanallarında kullanılan E tipi kapak kaldırma tertibatı projesinde yer aldığı şekliyle tornada imal edilmiştir. Yükleme kolu, yaklaşık 45 devir/dk hız ile, saniyede ortalama 0,12 kN (1,2 kg) yük aktaracak şekilde çevrilmiştir.



Şekil 3.3. Yükleme Sistemi

3.1.4. Yük Halkası

Deneyselerde temel plakasına uygulanan yük değerlerini okumak için Şekil 3.4 ‘de gösterilen yk halkası kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Yük Halkası

3.2. Zemin zellikleri

Deneysel alıŐmalarda, Kahramanmaraş Pazarcık ili sınırlarında ve aksu ayı üzerinde yapılmış olan Kartalkaya barajının 7 100 m mansabında ve TCK Narlı köprüsü civarında bulunan kum ocağından alınan malzemeler kullanılmıştır. Kum numuneler, ASTM standardına göre sırasıyla 18 no’lu (1 mm çaplı) ve 35 No’lu (0,5 mm) aplı eleklerden yıkanarak elenmiŐtir (Şekil 3.5). Bu iŐlemden sonra 18 ve 35 nolu elekler arasında kalan kumlar, güneŐte serilerek kurutulmuŐ ve laboratuvar ortamında serilerek 2 gün oda sıcaklığında havalandırılmıŐtır.

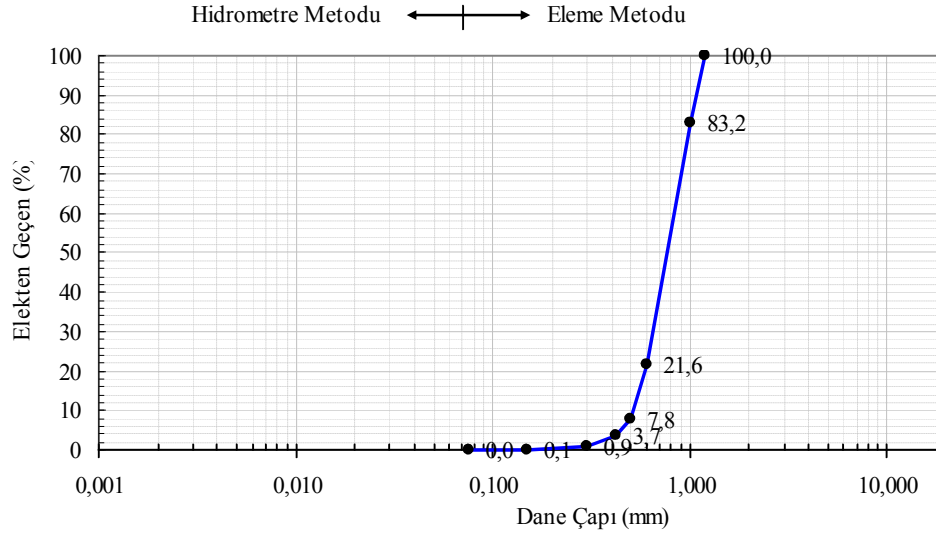


Şekil 3.5. Kum Numunelerinin Yıkanarak Elenmesi

3.2.1. Elek Analizi

Deney kumu, ASTM standartlarına göre bir seri elekten elenerek dane çapı dağılımı bulunmuştur. Deney kumu TS 1500 'e göre yapılan sınıflandırmada üniform kum (SP) sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Şekil 3.6'da yapılan elek analizi sonuçlarına göre kum numunelerin tane büyüklüğü dağılım eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.6. Tane Büyüklüğü Dağılım Eğrisi

Çizelge 3.1 'de elek analizi toplu sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.1. Elek Analizi Sonuçları

| Gronülometre Parametreleri | Birim | Değer |
|-----------------------------------|-------------------|-------|
| Kaba Kum Yüzdesi | % | 16,8 |
| Orta Kum Yüzdesi | % | 78,5 |
| İnce Kum Yüzdesi | % | 4,7 |
| Kuru Birim Hacim Ağırlık | kg/m ³ | 1,6 |
| Efektif Dane Çapı D ₁₀ | mm | 0,50 |
| D ₃₀ | mm | 0,60 |
| D ₆₀ | mm | 0,71 |
| Üniformluk Katsayısı, Cu | | 1,420 |
| Derecelenme Katsayısı, Cc | | 1,014 |
| Zemin Sınıfı | | SP |

3.2.2. Piknometre Deneyi

Deney kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek için yapılan piknometre deneyinden $\gamma_s=2,684 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuştur (Çizelge 3.2).

3.2.3. Kesme Kutusu Deneyi

Kum numuneler üzerinde kesme kutusu deneyi düzenlenmiş ve deney kumunun $\phi=35^\circ$ ve $C=0 \text{ kg/cm}^2$ bulunmuştur.

Çizelge 3.2. Piknometre Deneyi Sonuçları

| Örnek No | Piknometre Ağırlığı (g) (W_1) | Piknometre + Örnek Ağırlığı (g) (W_2) | Piknometre + Örnek + Su Ağırlığı (g) (W_3) | Piknometre + Su Ağırlığı (g) (W_4) | Özgül ağırlık (Gs) |
|----------|-----------------------------------|---|--|--|--------------------|
| 1 | 54,05 | 81,60 | 170,08 | 152,96 | 2,64 |
| 2 | 54,37 | 78,13 | 168,09 | 153,00 | 2,74 |
| 3 | 53,01 | 73,34 | 164,44 | 151,72 | 2,67 |

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

$$G_{s(ort)} = (2,64 + 2,74 + 2,67) / 3$$

$$G_{s(ort)} = 2,68$$

3.3. Kullanılan Geotekstilin Özellikleri

Kum zemini güçlendirmek amacıyla kullanılacak olan geotekstil, AHED Plastik San. Tic. Ltd. Şti. tarafından üretilmiştir. Geotekstile ait mekanik özellikler sabit olup, bu özellikler donatının alındığı firmadan öğrenilebilmektedir. DSİ Teknik Araştırmalar ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı'nca 300 gr/m² 'lik numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Geotekstil Özellikleri

| Yapılan Deneyler | Numune Deney Sonuçları | |
|--|------------------------|-------------|
| | En Yönünde | Boy Yönünde |
| Çekme Mukavemeti (N/b cm) V=200 mm/dak, L ₀ =200 mm DIN 53857/2 | 299 | 378 |
| Uzama Oranı (%) DIN 53857/2 | 122 | 62 |
| Statik Delinme Mukavemeti (N) V=50 mm/dk, ø50 mm DIN 54307 | 455 | |

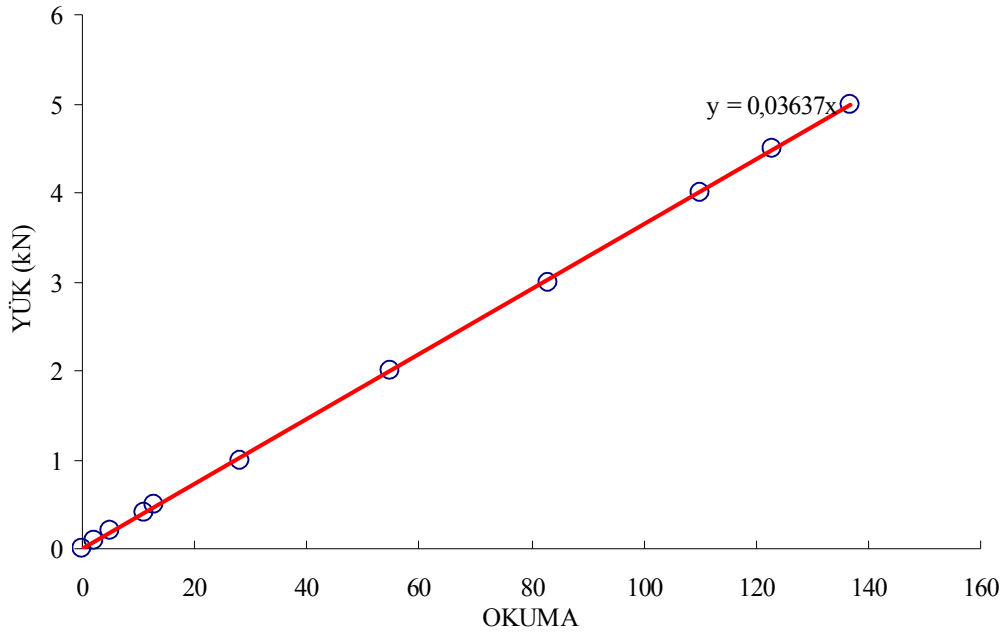
3.4. Deney Yöntemi

3.4.1. Aletlerin Kalibrasyonu

Deneyler sırasında yapılan yük ve deplasman ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için yük halkası ve deplasman ölçerlerin kalibrasyonu yapılmıştır.

Yük halkası kalibrasyonunda, yük halkasına uygulanan yükler sonucunda 0,03637 katsayısı elde edilmiştir (Şekil 3.7).

Çökme değerlerini okumak amacıyla 0,01 mm duyarlıklı ölçer kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Yük Halkası Kalibrasyon Eğrisi

3.4.2. Deneyin Yapılışı

3.4.2.1. Kum Numunelerin Kasaya Yerleştirilmesi

Kum numuneler, kasa içerisine 5 cm 'lik tabakalar halinde ve yüzeyden 5 cm yükseklikten serbest düşü ile boşaltılarak yerleştirilmiştir. Bu nedenle deney kasının iç yüzeyleri ölçeklendirilmiştir. Geotekstil serme seviyesine ve yükleme seviyesine ulaşıldığında su terazisi ile zemin yüzeyinin düzgünlüğü kontrol edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kum Numunelerin Kasaya Yerleştirilmesi

3.4.2.2. Geotekstilin Yerleştirilmesi

Geotekstil kumun yerleştirilmesi işlemi sırasında, yükleme yüzeyinin üst noktasından daha önceden belirlenmiş derinliklere, önceden belirlenmiş ebatlarda, tek ve deney işlemine göre birden fazla tabaka halinde yerleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Geotekstilin Kum Üzerine Yerleştirilmesi

3.4.2.3. Temel Plakasının ve Ölçüm Aletlerinin Yerleştirilmesi

Kumun ve geotekstilin yerleştirilmesi işlemi tamamlandıktan sonra zemin yüzeyine, şevlin üst noktasından belirlenen mesafeye temel plakası yerleştirilmiş ve su terazisi ile kontrol edilerek yüzeyin düzgün olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Model Temelin Yerleştirilmesi

Model temelin yerleştirilmesinde sonra yük halkası bilyesi model temelde açılan çukura gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çökme göstergesi ise temel dış kenarından 1 cm içeride olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Ölçüm Aletlerinin Yerleştirilmesi

Temel plakasında meydana gelen düşey deplasmanların ve yük halkasındaki değerlerinin okunabilmesi için deney dijital kamera ile kaydedilmiştir.

3.4.2.4. Yüklemenin Yapılması

Yük, temel plakası merkezine düşey yönde ve statik olarak uygulanmıştır. Yük kademeli olarak artırılmış ve deney sırasında yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Yükleme kolu, 45 devir/dk hız ile, saniyede ortalama 0,12 kN (1,2 kg) yük aktaracak şekilde çevrilmiştir. Yükleme esnasında düşey deplasmanların ve yük halkasındaki değerlerinin okunabilmesi için deney dijital kamera ile kaydedilmiştir.

3.4.2.5. Deney Verilerinin Yorumlanması

Deney sonrası, düşey deplasman ve yük halkası değerleri, kamera kayıtları, Dvdvideosoftware firması tarafından üretilen program yardımı (Free Video to JPEG Converter) ile 1 dakikada 30 (30 frame/dk) fotoğraf okumaları yapılmıştır. Her deney sonrasında yük-oturma eğrileri çizilerek belirli bir derinlikteki geotekstil için göçme yükünün değişimi belirlenmiştir. Elde edilen verilerin yorumu yapılmıştır.

3.5. Deney Programı

Yapılan deneylerde ilk önce, kumlu zeminlerde ilk donatı derinliğinin taşıma gücü kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Daha sonra, geotekstil tabaka uzunluğunun taşıma gücüne etkileri incelenmiştir. İlk donatı derinliği ve tabaka uzunluğunun etkileri tespit edildikten sonra geotekstil tabaka sayısının ve tabakalar arası mesafenin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrilerinden geotekstil ile güçlendirilen kumlu zeminlerin göçme türü, nihai taşıma kapasitesi ve göçme anındaki oturma miktarı belirlenmiştir.

Deneylerde, geotekstil ile ilgili geometrik parametreler temel genişliği B değerine bölünerek (u/B , L/B , gibi) ifade edilmiştir. Böylece deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken donatı ile ilgili optimum değerler, temel genişliği (B) cinsinden ve boyutsuz olarak verilmiştir.

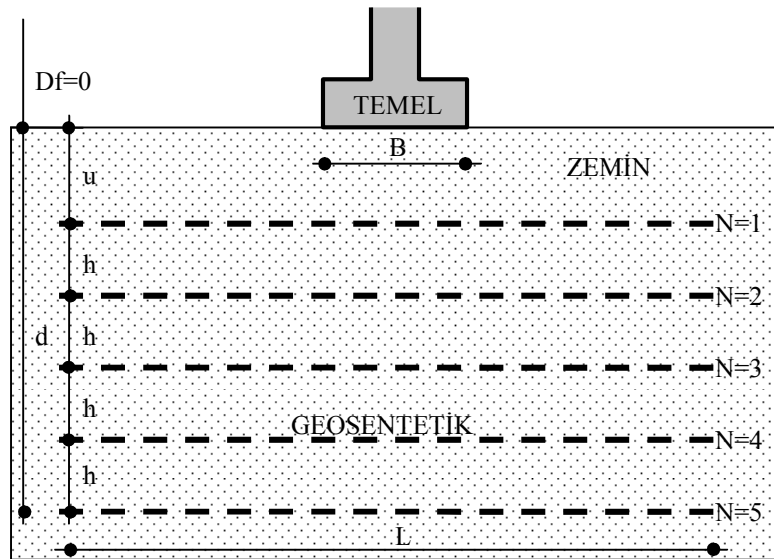
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneylerde ilk önce, kumlu zeminlerde ilk donatı derinliğinin taşıma gücü kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Daha sonra, geotekstil tabaka uzunluğunun taşıma gücüne etkileri incelenmiştir. İlk donatı derinliği ve tabaka uzunluğunun etkileri tespit edildikten sonra geotekstil tabaka sayısının ve tabakalar arası mesafenin taşıma kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrilerinden geotekstil ile güçlendirilen kumlu zeminlerin göçme türü, nihai taşıma kapasitesi ve göçme anındaki oturma miktarı belirlenmiştir.

Deneylerde, geotekstil ile ilgili geometrik parametreler temel genişliği B değerine bölünerek (u/B , L/B , gibi) ifade edilmiştir. Böylece deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken donatı ile ilgili optimum değerler, temel genişliği (B) cinsinden ve boyutsuz olarak verilmiştir.

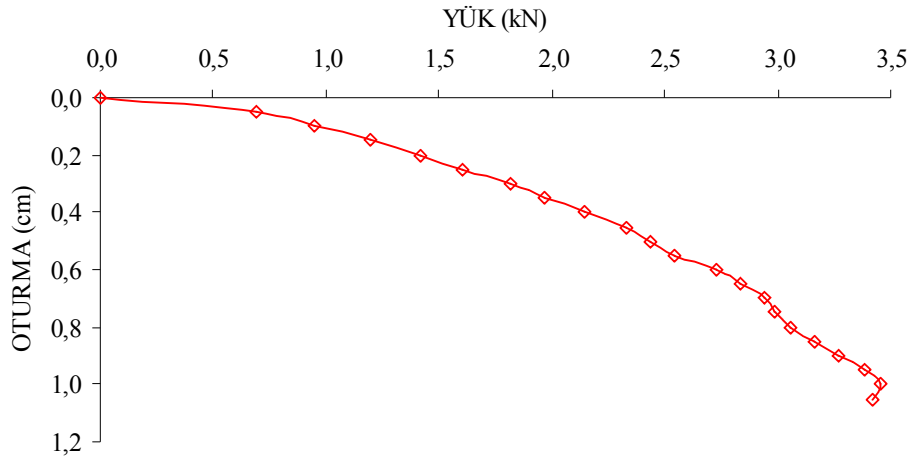
Temel Genişliği (B), İlk Geosentetik (Donatı) Derinliği (u), Geosentetik tabakalar arası mesafe (h), Güçlendirilmiş Zemin Toplam Derinliği (d), Geosentetik Tabaka Sayısı (N), Geosentetik tabaka uzunluğu (L), Temel Derinliği ($D_f=0$), Zemin Cinsi, Temel Şekli olarak belirlenmiştir. Şekil 4.1 'de deney programında uygulanan geosentetik ile güçlendirilmiş temel zeminde parametrelerin yerleşim konumu gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Geosentetik ile Güçlendirilmiş Temel Zemin Parametreleri

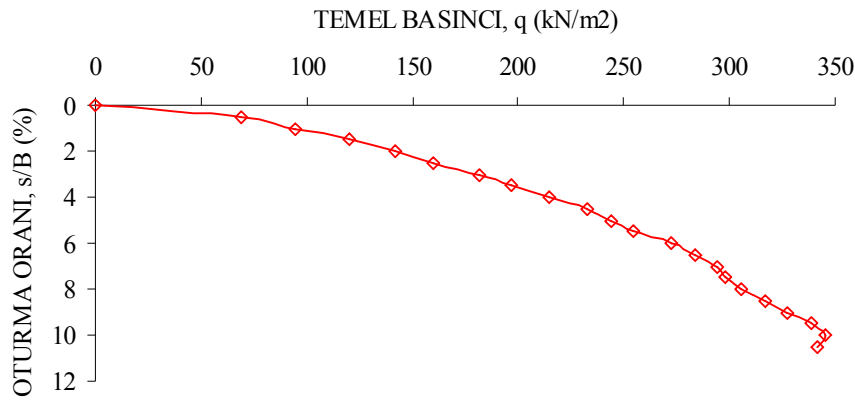
4.1. Donatısız Kum Zeminlerde Taşıma Gücü

Kum Zeminler üzerinde donatısız olarak yapılan 3,455 kN 'luk yükleme sonucunda zeminde kopma gerçekleşmiştir. Kopma anındaki çökme miktarı 1 cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Donatısız Zeminde Yük-Oturma Eğrisi

Kum zeminde donatısız olarak yapılan deneylerde 345.515 kN/m^2 'lık temel basıncında kopma gerçekleşmiştir (Şekil 4.3).



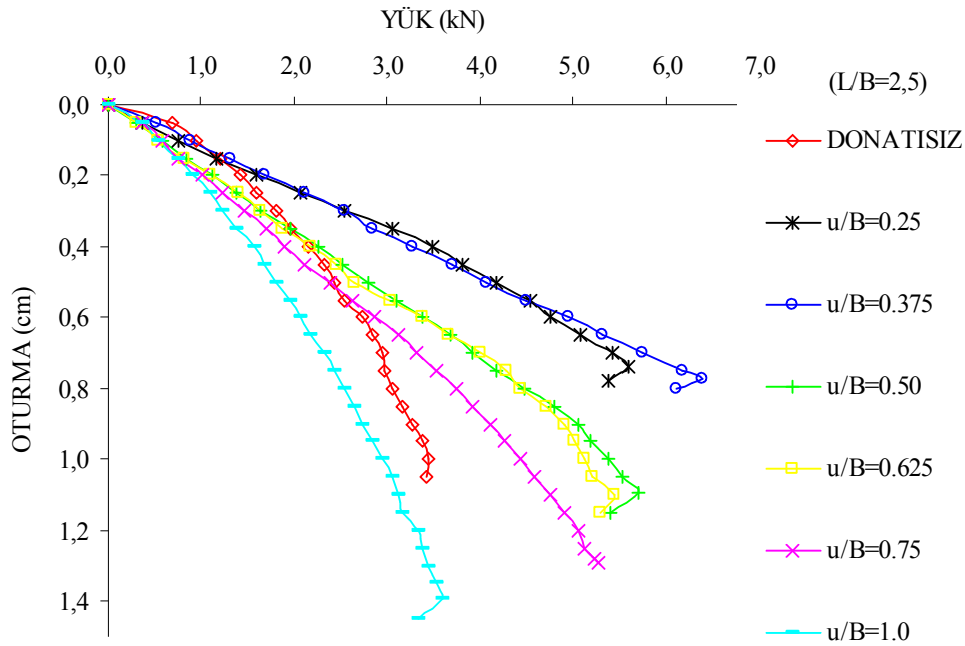
Şekil 4.3. Donatısız Zeminde Temel Basıncı – Oturma Oranı Eğrisi

4.2. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi

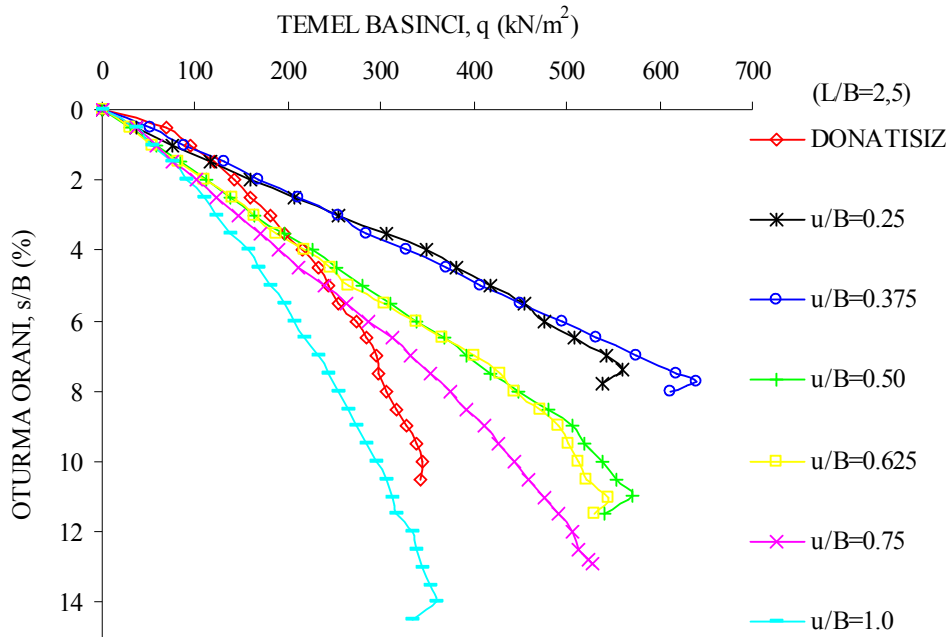
Kenar uzunluğu (B) olan kare temelerde, ilk geotekstil tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı u değerleri seçilerek bir seri deney yapılmıştır. Deneylerde geotekstil tabaka sayısı (N) 1, farklı geotekstil tabaka boyu oranı (L/B) 2,5, 3, 4 ve 5 değerlerinde, farklı ilk donatı derinliği oranları (u/B) için deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

4.2.1. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=2,5)

Geotekstil tabaka sayısı (N) 1, tabaka boyu oranı (L/B) 2,5 olması durumunda, ilk donatı derinliği oranları (u/B) için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 de verilmektedir.



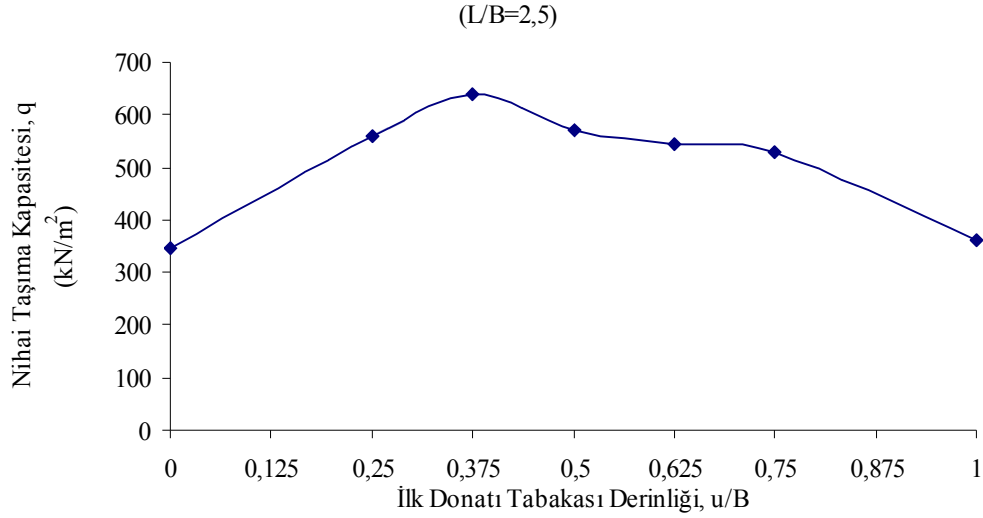
Şekil 4.4. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=2,5)



Şekil 4.5. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=2,5)

$L=2,5B$ olarak sabit tutulduğu durumda, kum zeminlerin taşıyabileceği yük (q_s) ve oturma oranı (s/B (%)), geotekstilsiz zeminde $q_s=345,52 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=10,0$, $u/B=0,25$ olduğunda $q_s=560,10 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=7,4$, $u/B=0,375$ olduğunda $q_s=640,10 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=7,7$, $u/B=0,5$ olduğunda $q_s=571,01 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=10,95$, $u/B=0,625$ olduğunda $q_s=544,80 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=11$, $u/B=0,75$ olduğunda $q_s=527,40 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=12,8$, $u/B=1,0$ olduğunda $q_s=360,06 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=13,95$ cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).

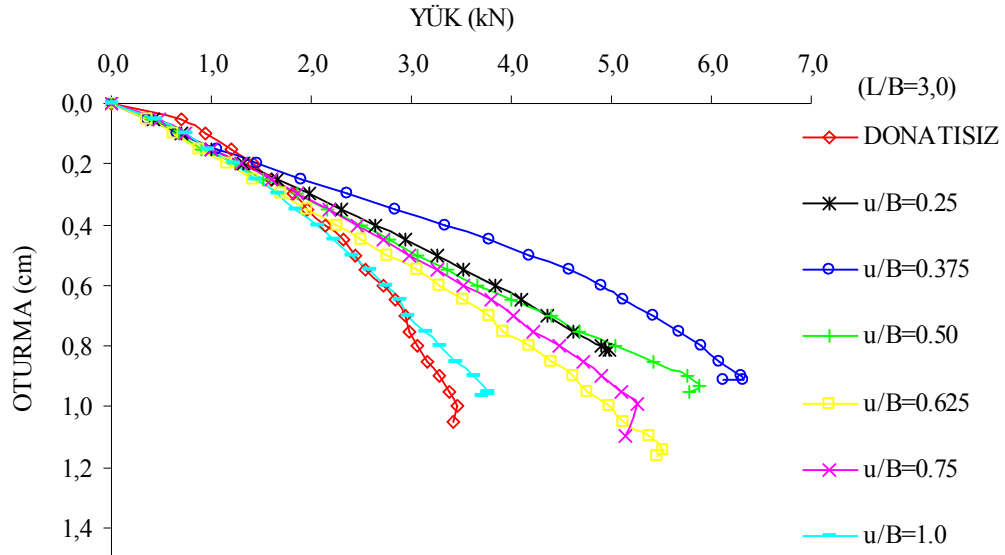
u/B ile nihai taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 4.6 'dan da görüleceği üzere $L/B=2,5$ olmak kaydıyla en yüksek taşıma gücü $u/B=0,375$ olduğunda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi ($L/B=2,5$)

4.2.2. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi ($L/B=3,0$)

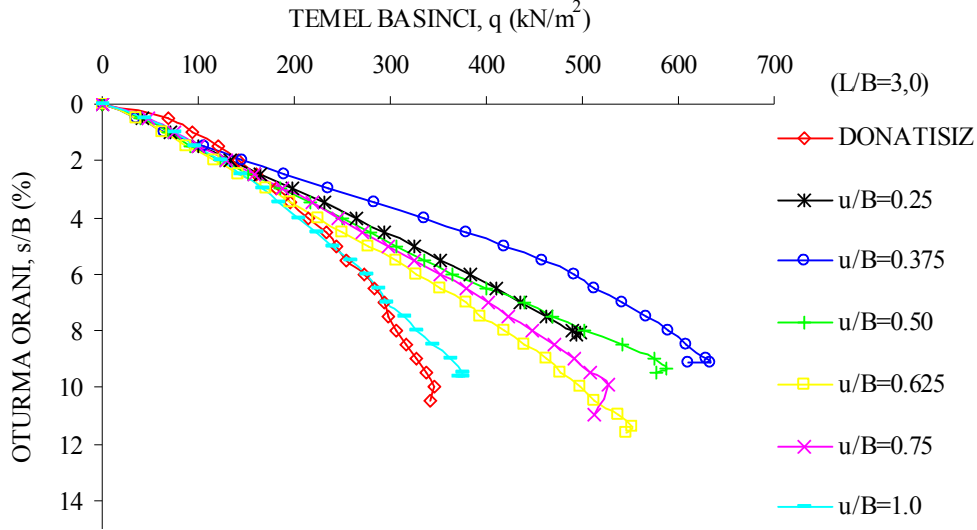
Geotekstil tabaka sayısı (N) 1, tabaka boyu oranı (L/B) 3,0 olması durumunda, ilk donatı derinliği oranları (u/B) için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.7 de verilmektedir.



Şekil 4.7. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi ($L/B=3,0$)

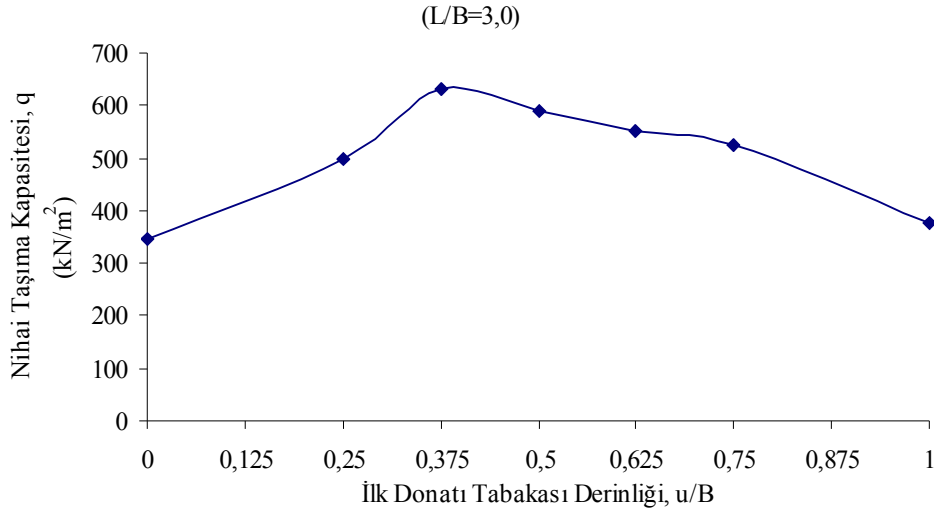
Geotekstil tabaka sayısı $N=1$, geotekstil tabaka boyu $L=3,0B$ olarak sabit tutulduğu durumda, kum zeminlerin taşıyabileceği yük (q_s) ve oturma oranı (s/B (%)), geotekstilsiz zeminde $q_s=345,52$ kN/m² ve $s/B=10,0$, $u/B=0,25$ olduğunda $q_s=498,30$ kN/m² ve $s/B=8,1$, $u/B=0,375$ olduğunda $q_s=632,80$ kN/m² ve $s/B=9,1$ cm, $u/B=0,5$ olduğunda

$q_s=588,30 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,35$, $u/B=0,625$ olduğunda $q_s=552,80 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=11,4$ cm, $u/B=0,75$ olduğunda $q_s=526,3 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,9$, $u/B=1,0$ olduğunda $q_s=375,30 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,6$ cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=3,0)

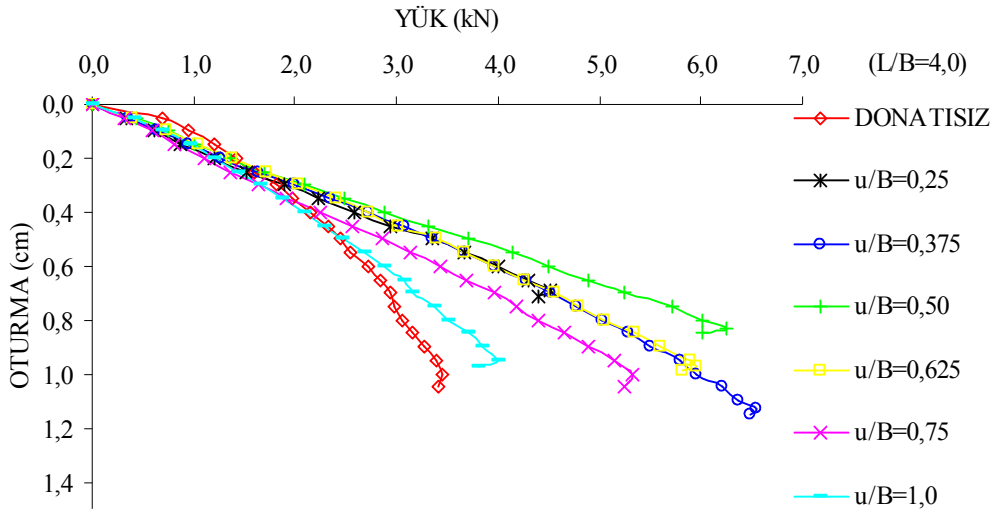
u/B ile nihai taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere $L/B=3,0$ olmak kaydıyla en yüksek taşıma gücü $u/B=0,375$ olduğunda gözlemlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=3,0)

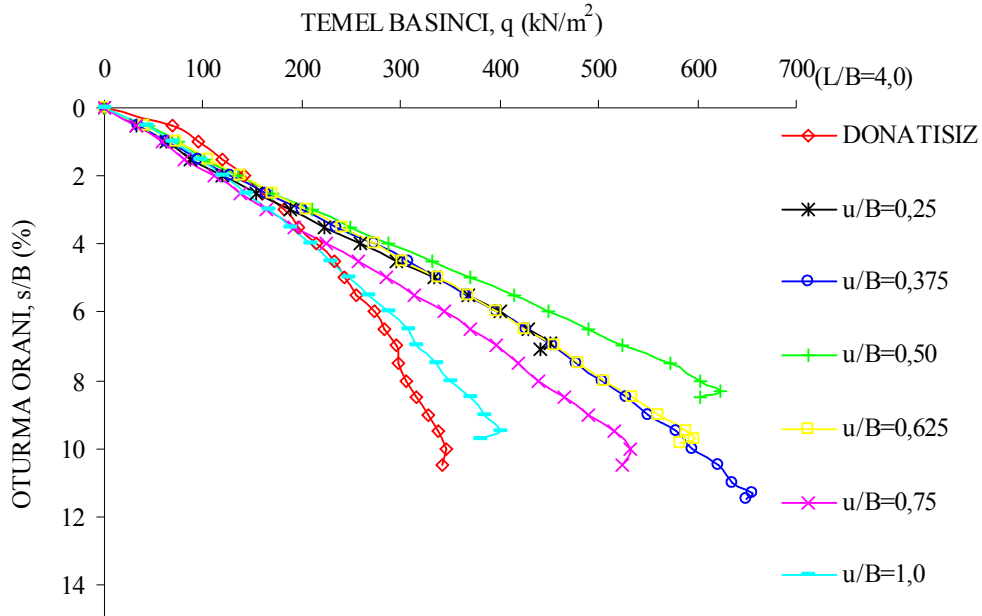
4.2.3. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=4,0)

Geotekstil tabaka sayısı (N) 1, tabaka boyu oranı (L/B) 4,0 olması durumunda, ilk donatı derinliği oranları (u/B) için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.10 da verilmektedir.



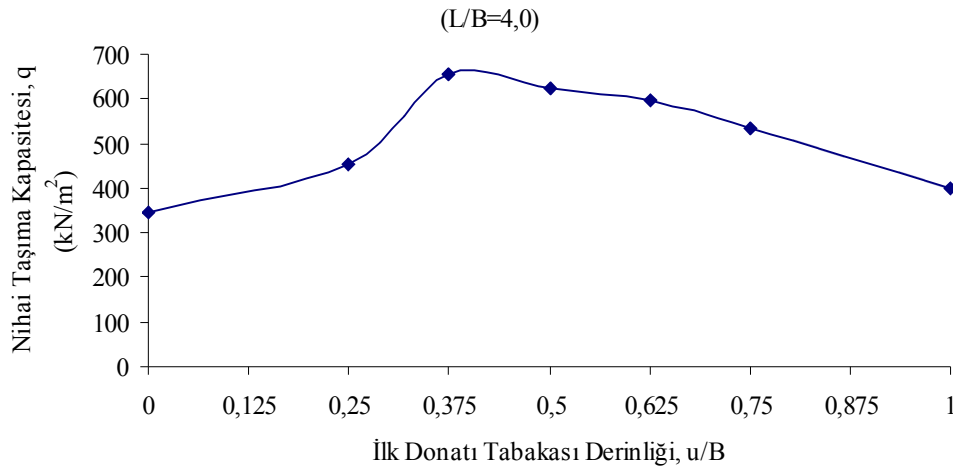
Şekil 4.10. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=4,0)

Geotekstil tabaka sayısı $N=1$, geotekstil tabaka boyu $L=4,0B$ olarak sabit tutulduğu durumda, kum zeminlerin taşıyabileceği yük (q_s) ve oturma oranı (s/B (%)), geotekstilsiz zeminde $q_s=345,52 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=10,0$, $u/B=0,25$ olduğunda $q_s=451,00 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=6,9$, $u/B=0,375$ olduğunda $q_s=655,00 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=11,3$ cm, $u/B=0,5$ olduğunda $q_s=624,10 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=8,3$, $u/B=0,625$ olduğunda $q_s=596,50 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,75$ cm, $u/B=0,75$ olduğunda $q_s=532,50 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=10,0$, $u/B=1,0$ olduğunda $q_s=400,10 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,5$ cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=4,0)

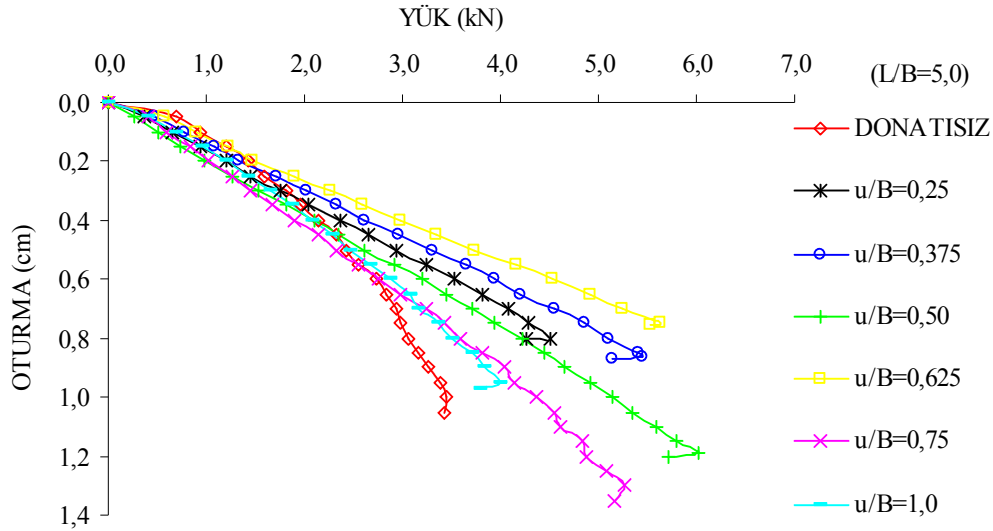
u/B ile nihai taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere $L/B=4,0$ olmak kaydıyla en yüksek taşıma gücü $u/B=0,375$ olduğunda gözlemlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=4,0)

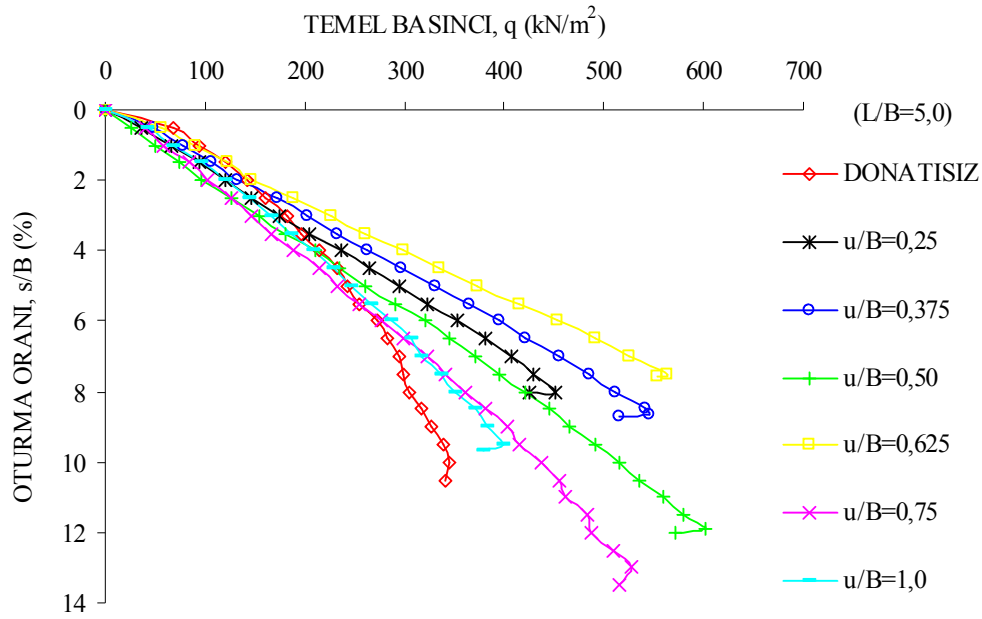
4.2.4. İlk Donatı Derinliğinin (u) Etkisi (L/B=5,0)

Geotekstil tabaka sayısı (N) 1, tabaka boyu oranı (L/B) 5,0 olması durumunda, ilk donatı derinliği oranları (u/B) için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13 de verilmektedir.



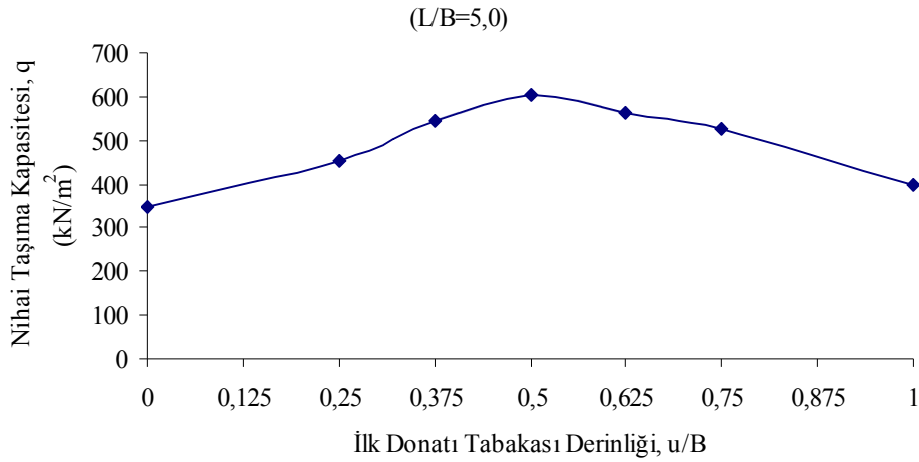
Şekil 4.13. İlk Donatı Derinliğinin Yük-Oturma Eğrisi (L/B=5,0)

Geotekstil tabaka sayısı $N=1$, geotekstil tabaka boyu $L=5,0B$ olarak sabit tutulduğu durumda, kum zeminlerin taşıyabileceği yük (q_s) ve oturma oranı (s/B (%)), geotekstilsiz zeminde $q_s=345,52 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=10,0$, $u/B=0,25$ olduğunda $q_s=451,00 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=8,0$, $u/B=0,375$ olduğunda $q_s=545,00 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=8,65$ cm, $u/B=0,5$ olduğunda $q_s=602,30 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=11,9$, $u/B=0,625$ olduğunda $q_s=562,60 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=7,50$ cm, $u/B=0,75$ olduğunda $q_s=527,40 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=13,0$, $u/B=1,0$ olduğunda $q_s=400,10 \text{ kN/m}^2$ ve $s/B=9,5$ cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. İlk Donatı Derinliğinin Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (L/B=5,0)

u/B ile nihai taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösteren yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere $L/B=5,0$ olmak kaydıyla en yüksek taşıma gücü $u/B=0,5$ olduğunda gözlemlenmiştir (Şekil 4.15).



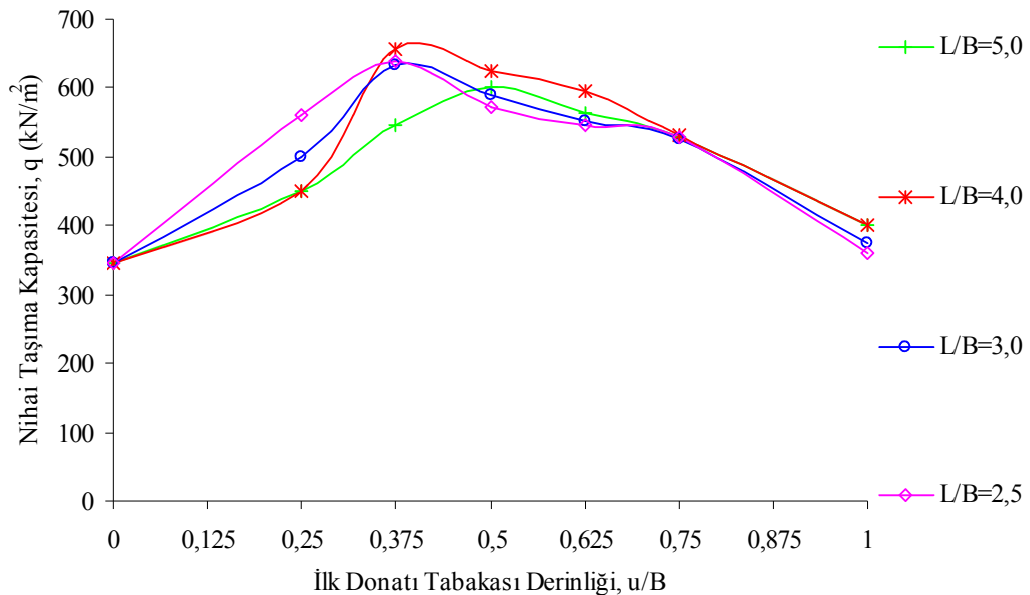
Şekil 4.15. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi (L/B=5,0)

Sonuç olarak, bütün tabaka boylarında farklı u/B değerleri için donatısız durumda elde edilen temel basıncı ($q_{donatısız}$), en büyük temel basıncı (q_{1max}), en küçük temel basıncı (q_{1min}) ve tek tabakalı güçlendirme halinde temel basıncındaki en yüksek artış katı ($q_{1maxkat}=q_{1max}/q_{donatısız}$) ile en küçük artış katı ($q_{1minkat}=q_{1min}/q_{donatısız}$) sonuçları Çizelge 4.1 'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Değişik Tabaka Boylarında ve Farklı u/B Sonuçları

| | L/B=2,5 | | L/B=3,0 | | L/B=4,0 | | L/B=5,0 | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | u/ B | q | u/ B | q | u/ B | q | u/ B | q |
| | 0 | 345,515 | 0 | 345,515 | 0 | 345,515 | 0 | 345,515 |
| | 0,25 | 560,098 | 0,25 | 498,269 | 0,25 | 450,988 | 0,25 | 450,988 |
| | 0,375 | 640,112 | 0,375 | 632,838 | 0,375 | 654,987 | 0,375 | 545,041 |
| | 0,5 | 571,009 | 0,5 | 588,295 | 0,5 | 624,109 | 0,5 | 602,287 |
| | 0,625 | 544,823 | 0,625 | 552,824 | 0,625 | 596,468 | 0,625 | 562,644 |
| | 0,75 | 527,365 | 0,75 | 526,295 | 0,75 | 532,457 | 0,75 | 527,365 |
| | 1 | 360,063 | 1 | 375,338 | 1 | 400,070 | 1 | 400,070 |
| q _{donatısız} | | 345,515 | | 345,515 | | 345,515 | | 345,515 |
| q _{1max} | 0,375 | 640,112 | 0,375 | 632,838 | 0,375 | 654,987 | 0,5 | 602,287 |
| q _{1min} | 1 | 360,063 | 1 | 375,338 | 1 | 400,070 | 1 | 400,070 |
| q _{1maxkat} | | 1,9 | | 1,8 | | 1,9 | | 1,7 |
| q _{1minkat} | | 1,0 | | 1,1 | | 1,2 | | 1,2 |

Kenar uzunluğu (B) olan kare temelerde, ilk geotekstil tabakası derinliğinin (u) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı u değerleri seçilerek yapılan deneylerde, geotekstil tabaka sayısı (N) 1, geotekstil tabaka boyu oranı L/B=2,5, 3 ve 4 değerlerinde, ilk donatı derinliği 0,375 olduğunda, donatısız duruma göre 1,9 kat performans artışı gözlemlenmiştir. Ancak sadece L/B=5,0 değerinde ilk donatı derinliğinin 0,5 olması halinde taşıma gücü değerinin en fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.16).



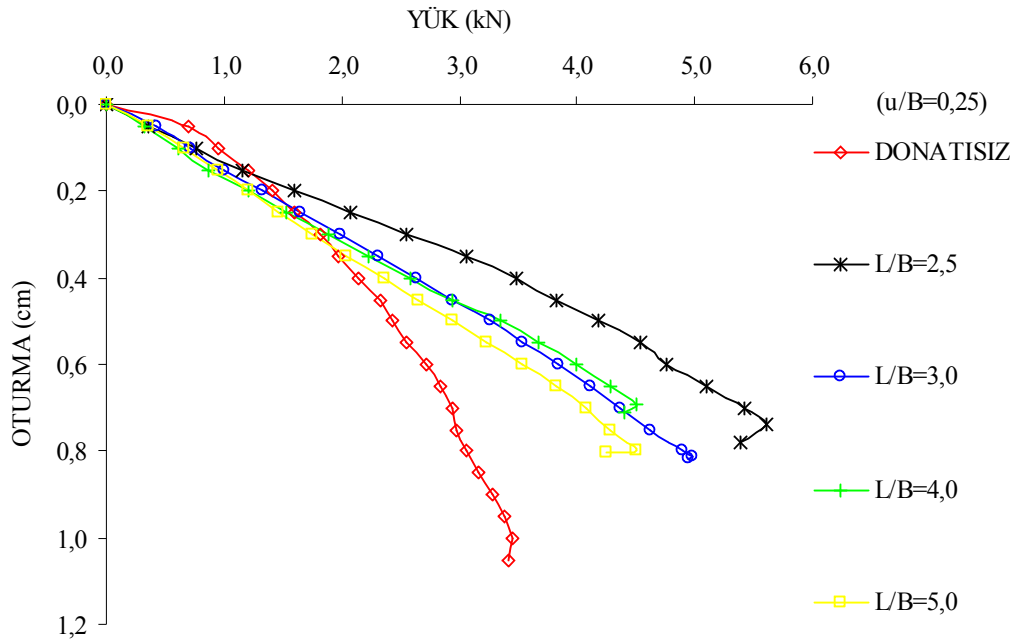
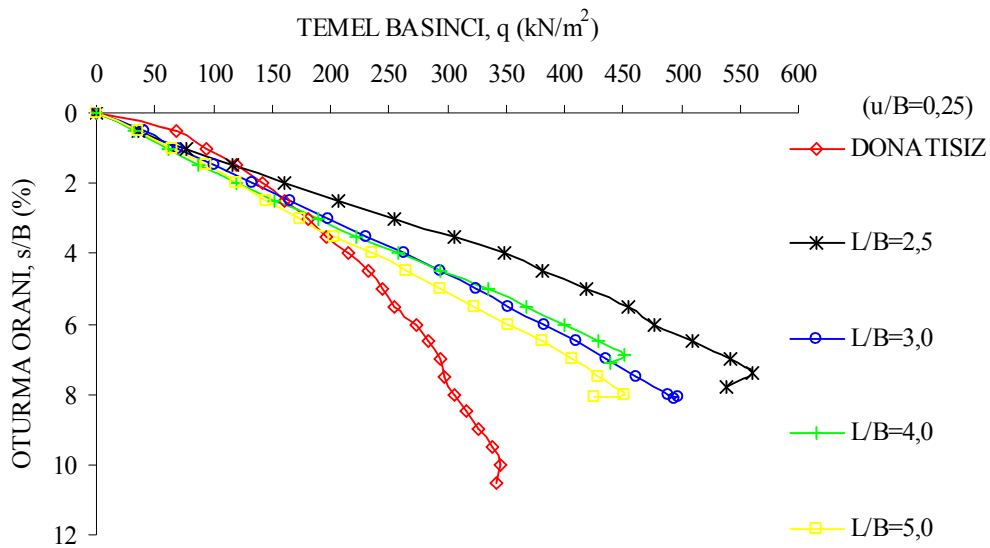
Şekil 4.16. İlk Donatı Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi

4.3. Donatı Boyunun (L) Etkisi

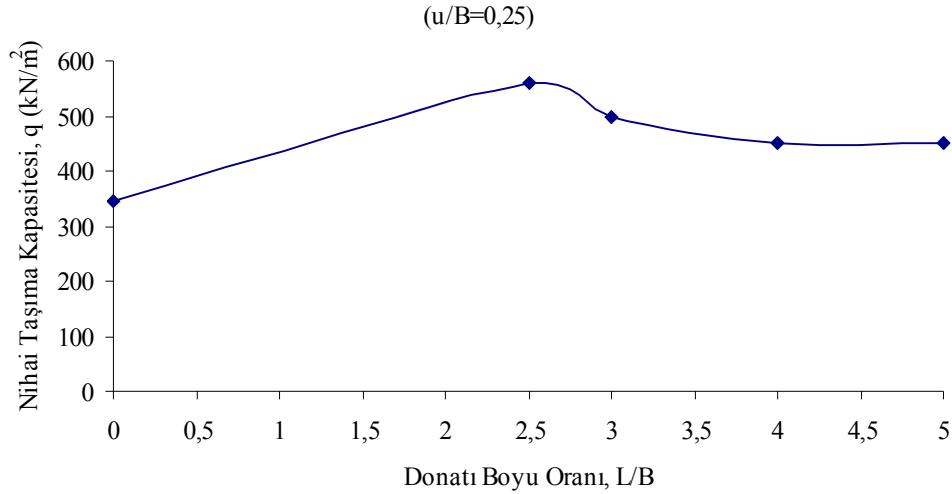
Geotekstil tabakası boyunun (L) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı u/B ve L/B oranlarında yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. Deneylerde geotekstil tabaka sayısı $N=1$, olarak sabit tutulmuştur. Farklı u/B ve L/B oranları için deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

4.3.1. Donatı Boyunun (L) Etkisi ($u/B=0,25$)

$u/B=0,25$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 'de verilmiştir.

Şekil 4.17. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=0,25$)Şekil 4.18. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,25$)

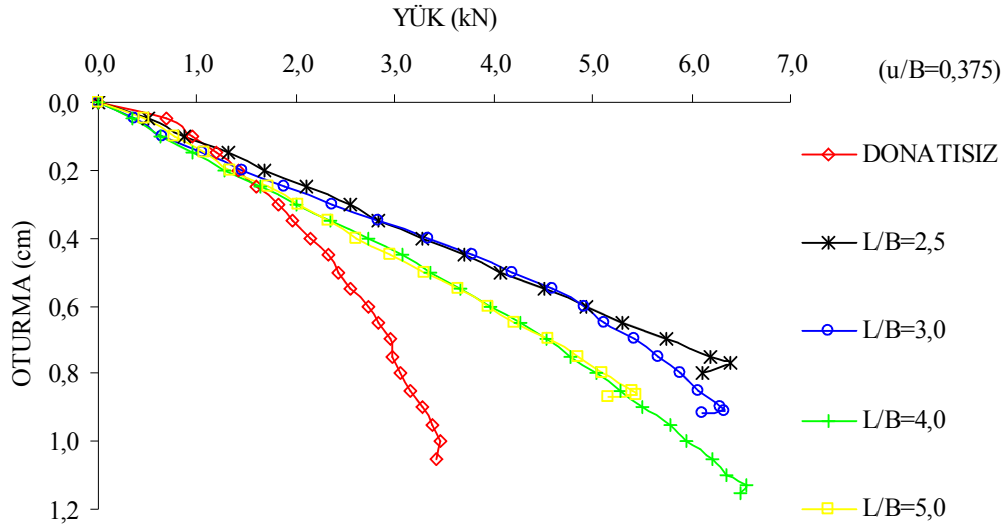
$u/B=0,25$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.19 'dan da görüleceği üzere en iyi performans $L/B=2,5$ olduğunda elde edilmiştir.



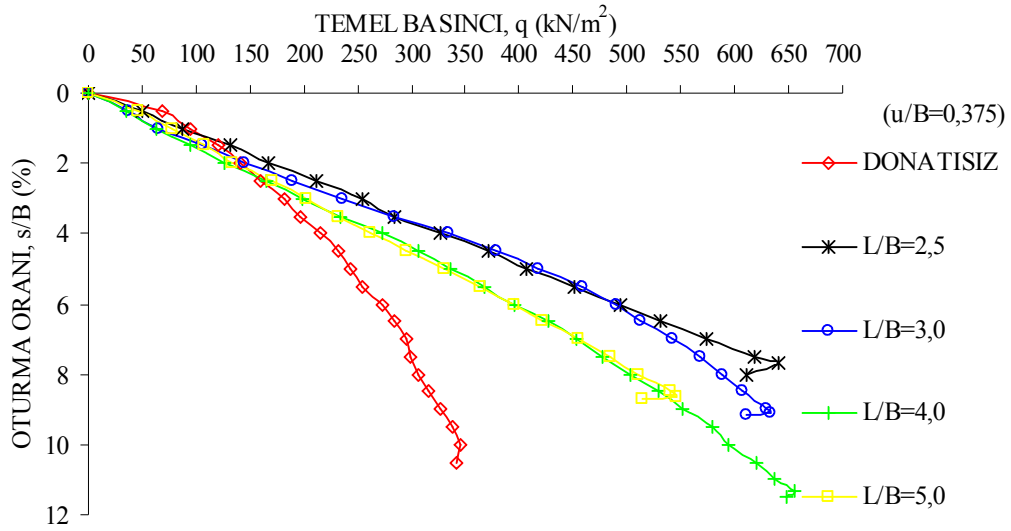
Şekil 4.19. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,25$)

4.3.2. Donatı Boyunun (L) Etkisi ($u/B=0,375$)

$u/B=0,375$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 'de verilmiştir.

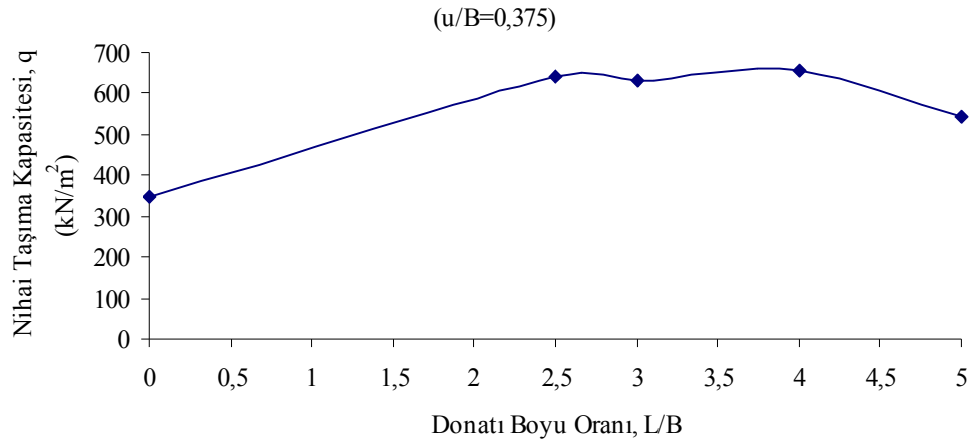


Şekil 4.20. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=0,375$)



Şekil 4.21. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,375$)

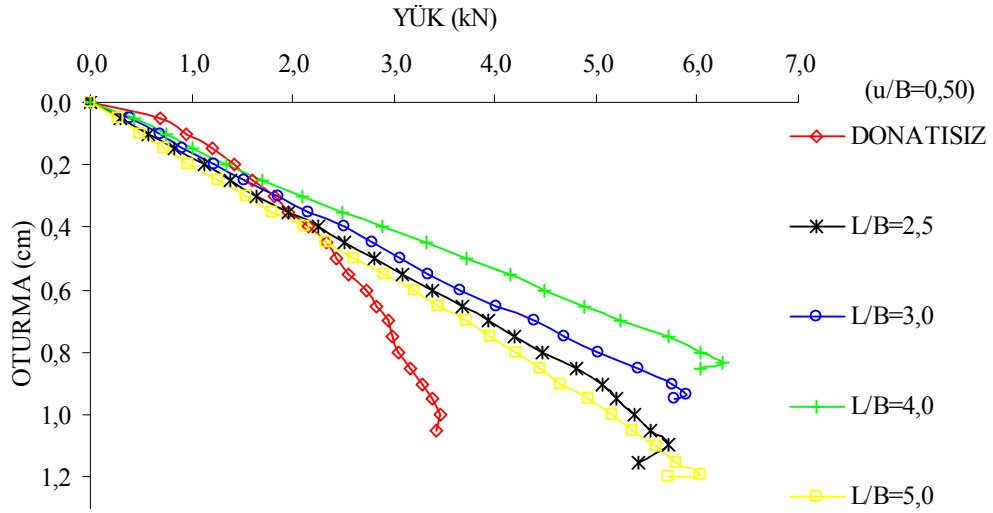
$u/B=0,375$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.22 'den de görüleceği üzere en iyi performans $L/B=4$ olduğunda elde edilmiştir.



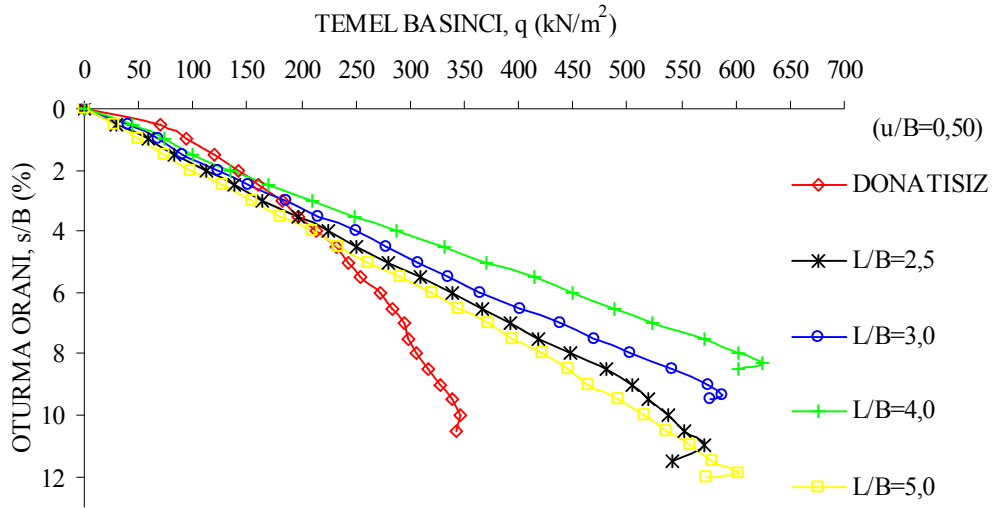
Şekil 4.22. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,375$)

4.3.3. Donatı Boyunun (L) Etkisi ($u/B=0,5$)

$u/B=0,5$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 'de verilmiştir.

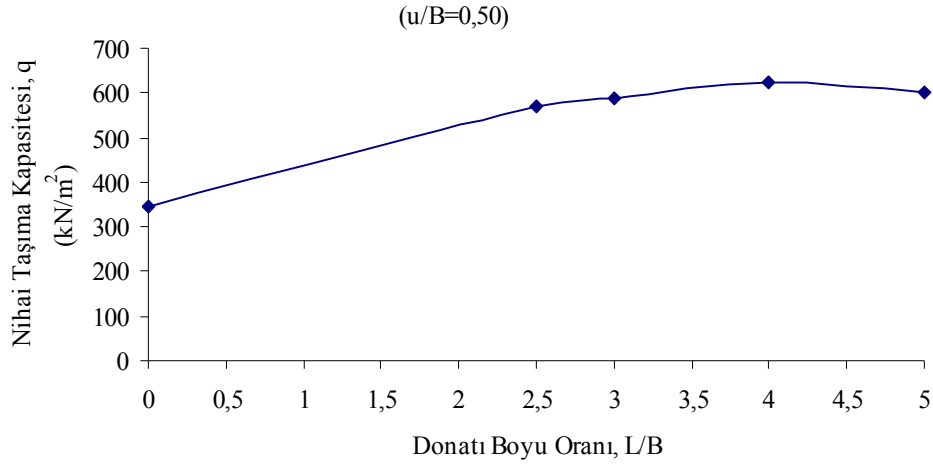


Şekil 4.23. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=0,5)



Şekil 4.24. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (u/B=0,5)

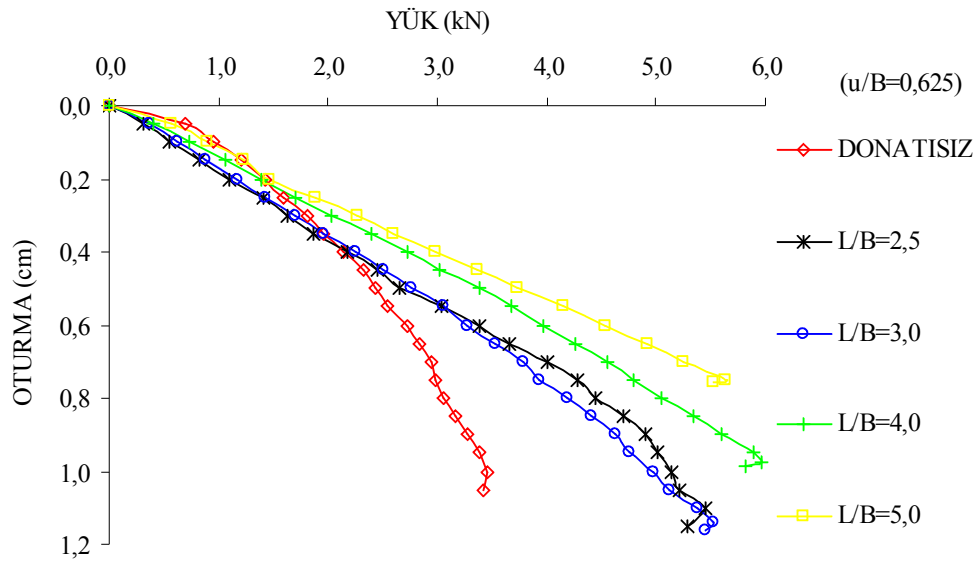
u/B=0,50 sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.25 'den de görüleceği üzere en iyi performans L/B=4 olduğunda elde edilmiştir.



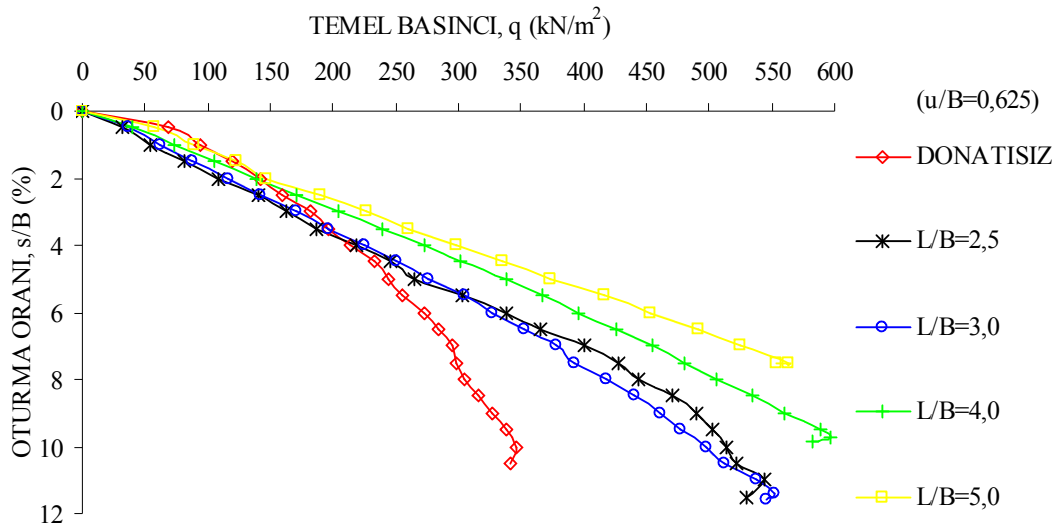
Şekil 4.25. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi (u/B=0,5)

4.3.4. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=0,625)

u/B=0,625 sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 'de verilmiştir.

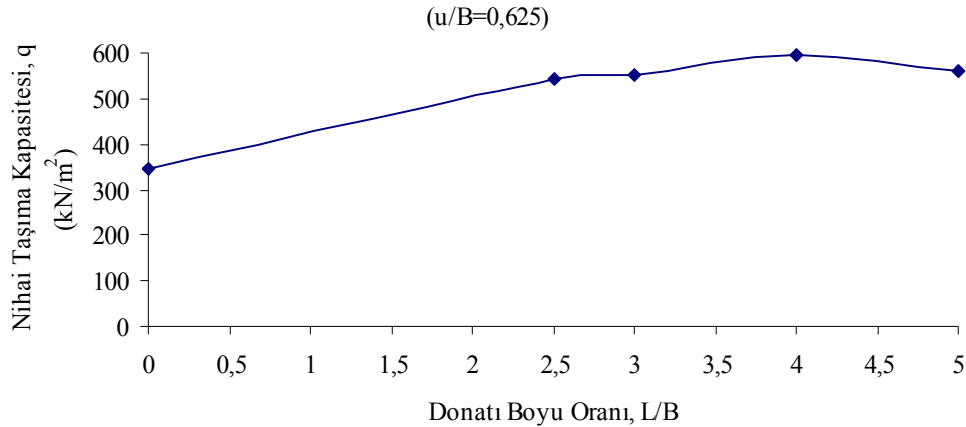


Şekil 4.26. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=0,625)



Şekil 4.27. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,625$)

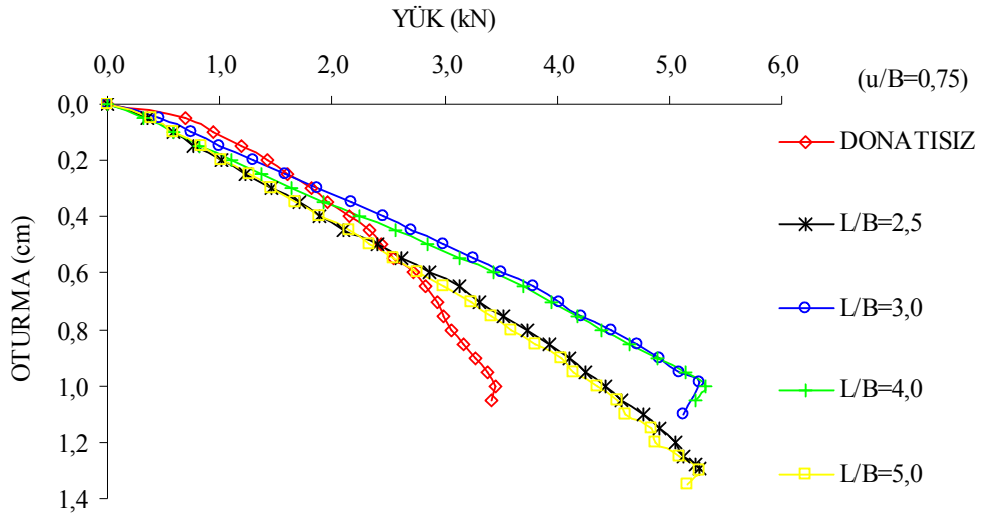
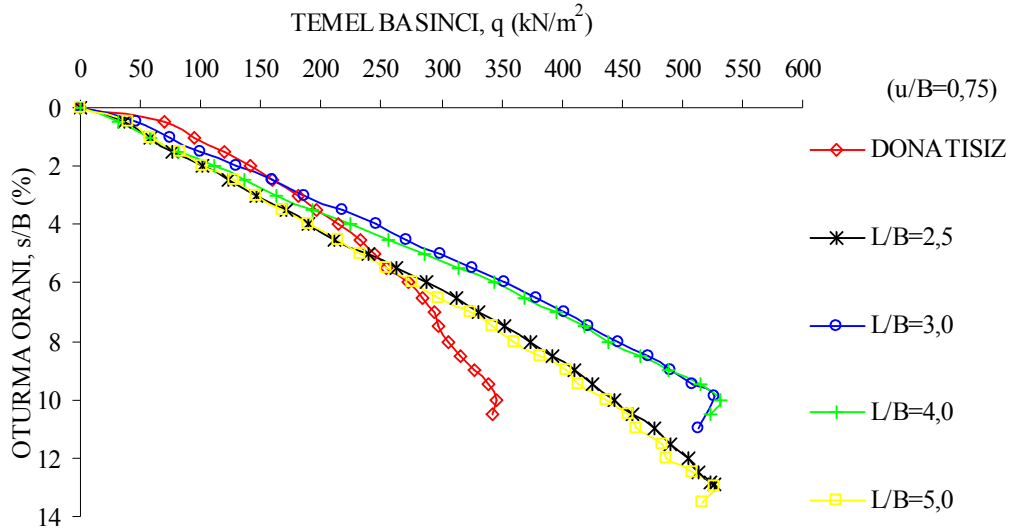
$u/B=0,625$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.28 'den de görüleceği üzere en iyi performans $L/B=4$ olduğunda elde edilmiştir.



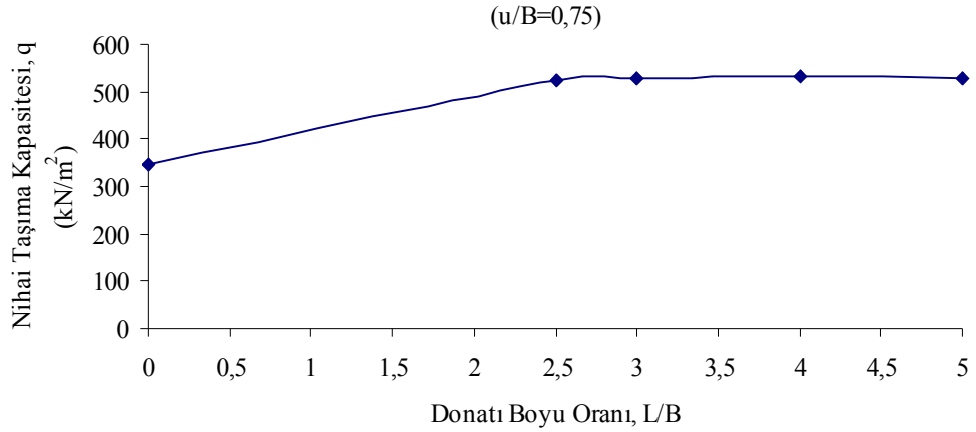
Şekil 4.28. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi ($u/B=0,625$)

4.3.5. Donatı Boyunun (L) Etkisi ($u/B=0,75$)

$u/B=0,75$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 'da verilmiştir.

Şekil 4.29. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi ($u/B=0,75$)Şekil 4.30. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi ($u/B=0,75$)

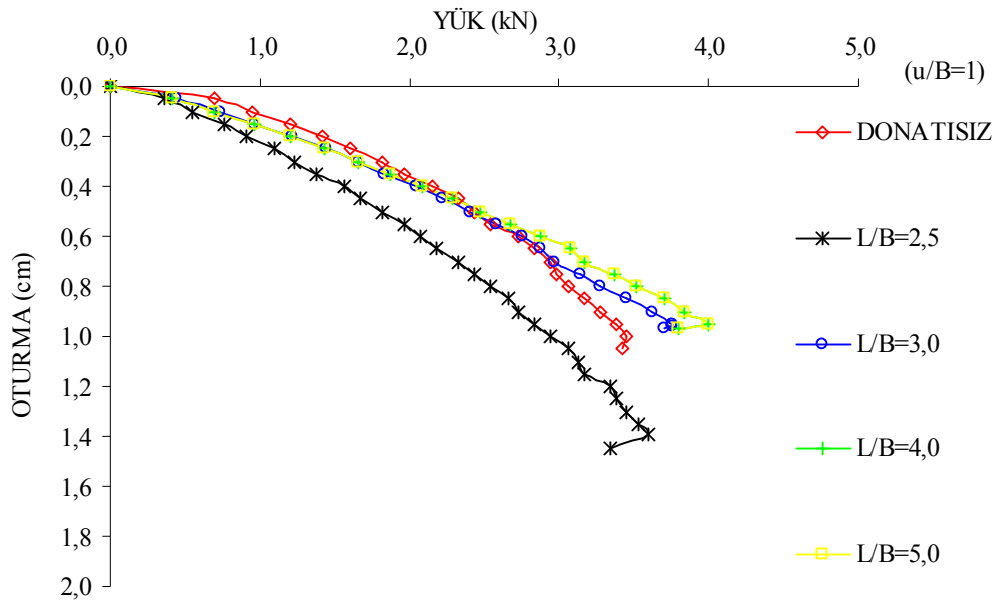
$u/B=0,75$ sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.31'den de görüleceği üzere en iyi performans $L/B=4$ olduğunda elde edilmiştir.



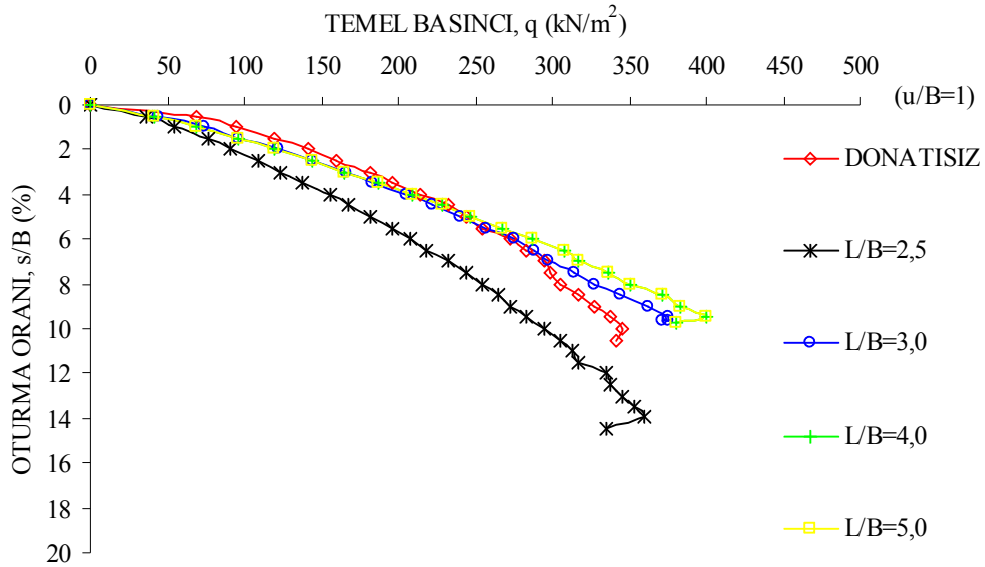
Şekil 4.31. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi (u/B=0,75)

4.3.6. Donatı Boyunun (L) Etkisi (u/B=1)

u/B=1 sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deney sonuçları Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 'de verilmiştir.

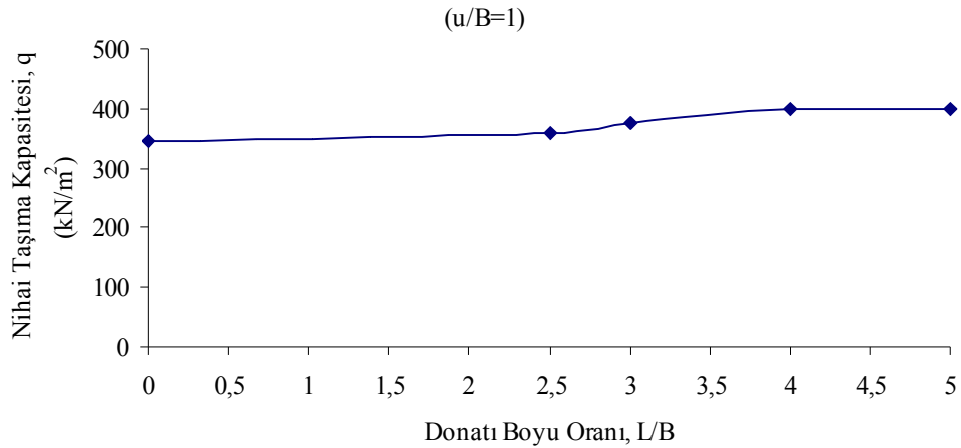


Şekil 4.32. Donatı Boyunun Yük-Oturma Eğrisi (u/B=1)



Şekil 4.33. Donatı Boyunun Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (u/B=1)

u/B=1 sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan deneyler sonunda Şekil 4.34 'den de görüleceği üzere en iyi performans L/B=5 olduğunda elde edilmiştir.



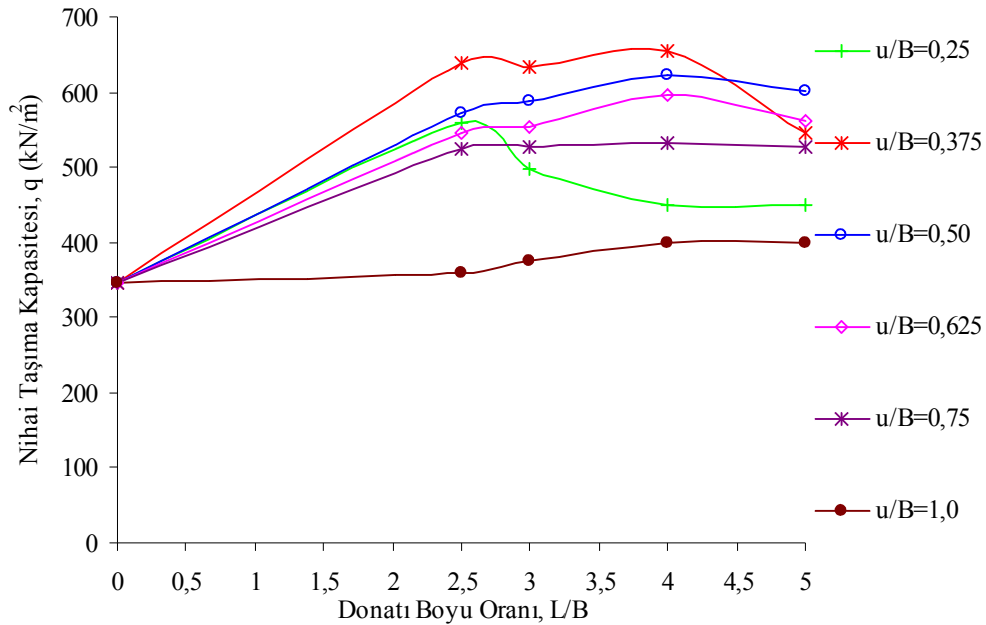
Şekil 4.34. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi (u/B=1)

Sonuç olarak, değişik ilk donatı kalınlıklarında, farklı L/B değerleri için donatısız durumda elde edilen temel basıncı ($q_{\text{donatısız}}$), en büyük temel basıncı ($q_{1\text{max}}$), en küçük temel basıncı ($q_{1\text{min}}$) ve tek tabakalı güçlendirme halinde temel basıncındaki en yüksek artış katı ($q_{1\text{maxkat}}=q_{1\text{max}}/q_{\text{donatısız}}$) ile en küçük artış katı ($q_{1\text{minkat}}=q_{1\text{min}}/q_{\text{donatısız}}$) sonuçları Çizelge 4.2 'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Değişik İlk Donatı Kalınlıklarında ve Farklı L/B Sonuçları

| | u/B=0,25 | | u/B=0,375 | | u/B=0,50 | | u/B=0,625 | | u/B=0,75 | | u/B=1,0 | |
|------------------------|----------|------------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|----------|------------|---------|------------|
| | L/B | q | L/B | q | L/B | q | L/B | q | L/B | q | L/B | q |
| | 0 | 345,5 2 | 0 | 345,5 2 | 0 | 345,5 2 | 0 | 345,5 2 | 0 | 345,5 2 | 0 | 345,5 2 |
| | 2,5 | 560,1 0 | 2,5 | 640,1 1 | 2,5 | 571,0 1 | 2,5 | 544,8 2 | 2,5 | 523,7 3 | 2,5 | 360,0 6 |
| | 3 | 498,2 7 | 3 | 632,8 4 | 3 | 588,2 9 | 3 | 552,8 2 | 3 | 526,2 9 | 3 | 375,3 4 |
| | 4 | 450,9 9 | 4 | 654,9 9 | 4 | 624,1 1 | 4 | 596,4 7 | 4 | 532,4 6 | 4 | 400,0 7 |
| | 5 | 450,9 9 | 5 | 545,0 4 | 5 | 602,2 9 | 5 | 562,6 4 | 5 | 527,3 7 | 5 | 400,0 7 |
| q _{donatısız} | | 345,5 2 | | 345,5 2 | | 345,5 2 | | 345,5 2 | | 345,5 2 | | 345,5 2 |
| q _{1max} | 2,5 | 560,1 0 | 4 | 654,9 9 | 4 | 624,1 1 | 4 | 596,4 7 | 4 | 532,4 6 | 4-5 | 400,0 7 |
| q _{1min} | 4-5 | 450,9 9 | 5 | 545,0 4 | 2,5 | 571,0 1 | 2,5 | 544,8 2 | 2,5 | 523,7 3 | 2,5 | 360,0 6 |
| q _{1max kat} | | 1,6 | | 1,9 | | 1,8 | | 1,7 | | 1,5 | | 1,2 |
| q _{1min kat} | | 1,3 | | 1,6 | | 1,7 | | 1,6 | | 1,5 | | 1,0 |

Şekil 4.35 'de donatı boyunun taşıma gücüne etkisi grafik olarak verilmiştir.



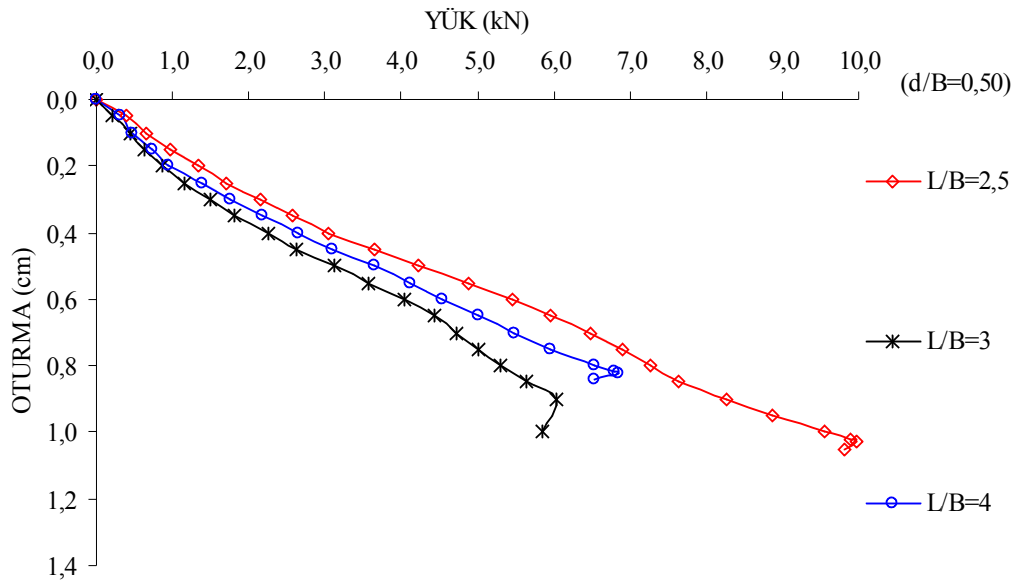
Şekil 4.35. Donatı Boyunun Taşıma Gücüne Etkisi

4.4. Donatı Tabaka Sayısının (N) Etkisi

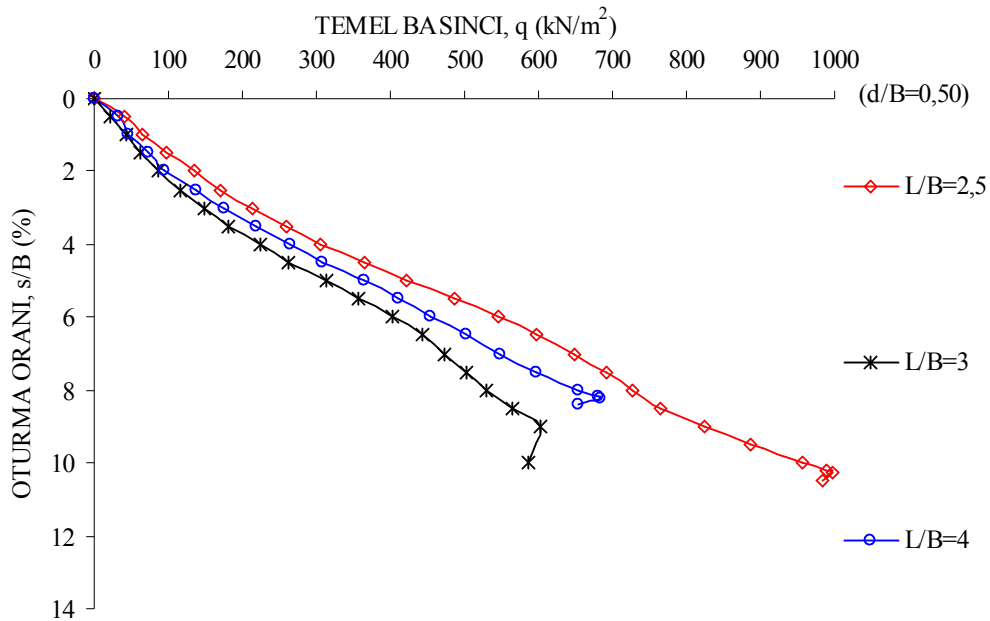
Geotekstil tabakası sayısının (N) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı u/B, L/B ve donatı tabakaları arası mesafe (h) oranlarında yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. Farklı L/B ve h/B oranları için deneylerden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

4.4.1. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,50)

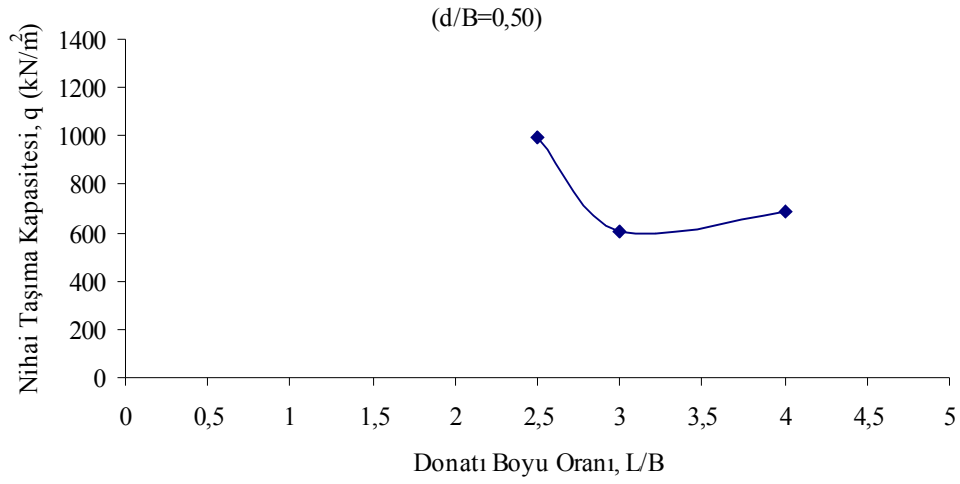
u/B=0,375 ve h/B=0,125 (d/B=0,50) sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan N=2 deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.36 da verilmiştir.



Şekil 4.36. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,50)



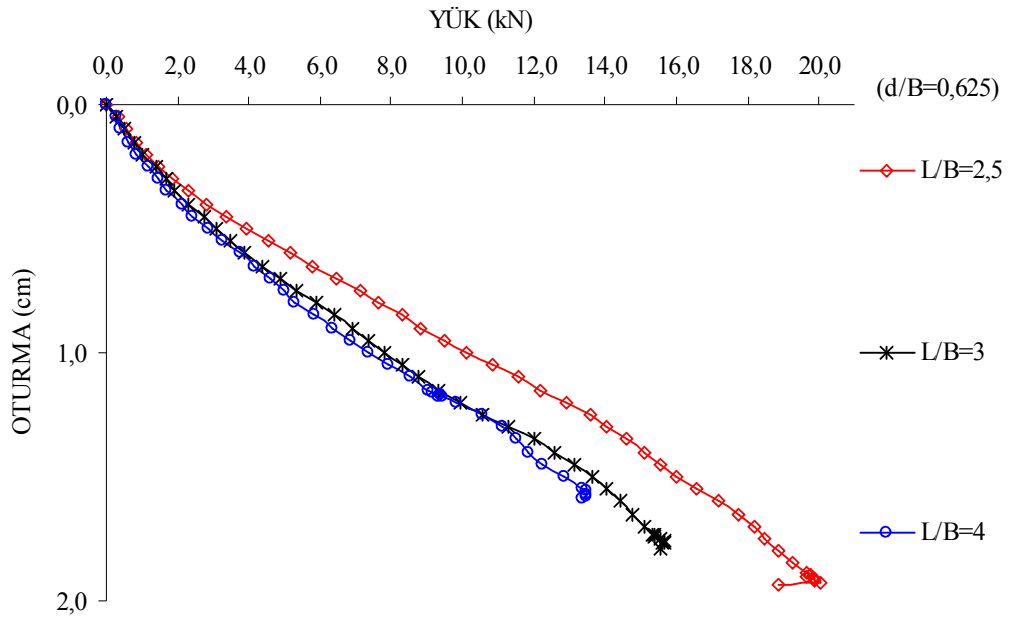
Şekil 4.37. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,50)



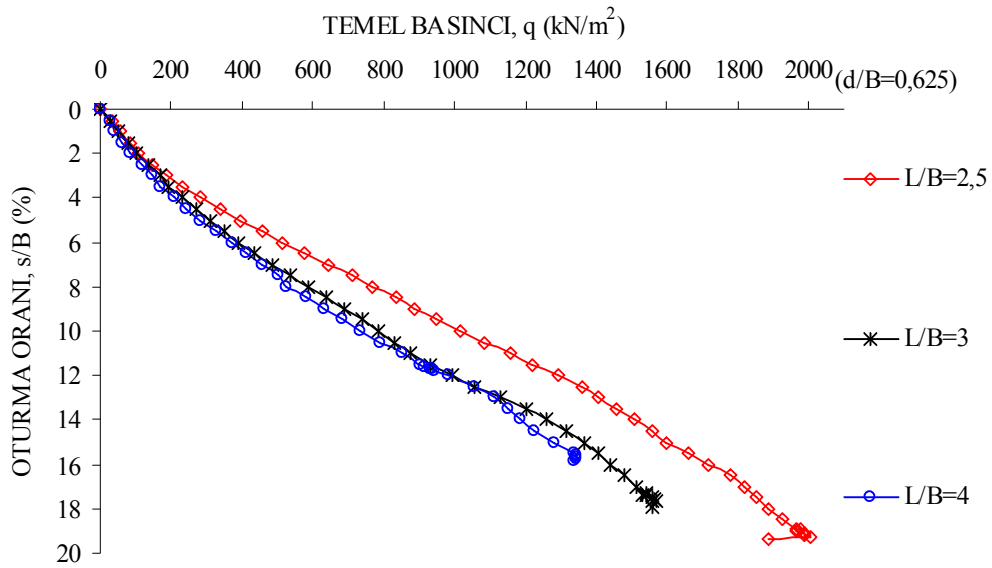
Şekil 4.38. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (N=2, d/B=0,50)

4.4.2. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,625)

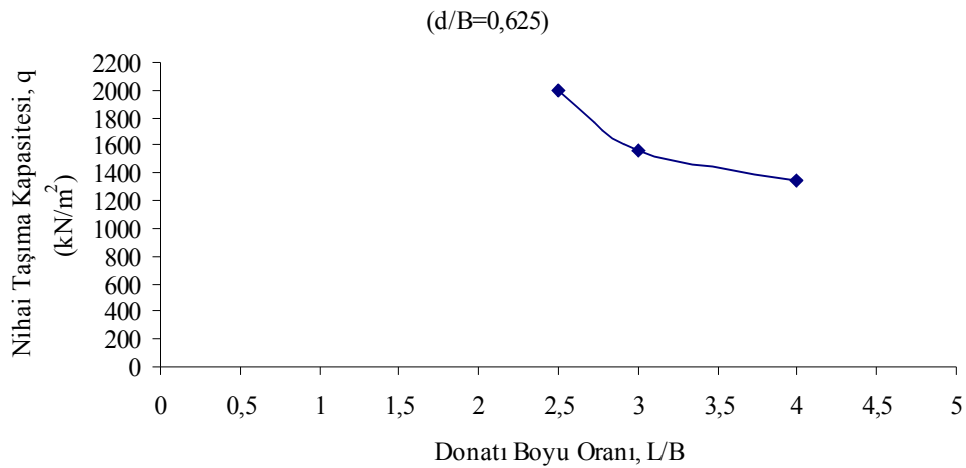
$u/B=0,375$ ve $h/B=0,250$ ($d/B=0,625$) sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan N=2 deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.39 da verilmiştir.



Şekil 4.39. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,625)



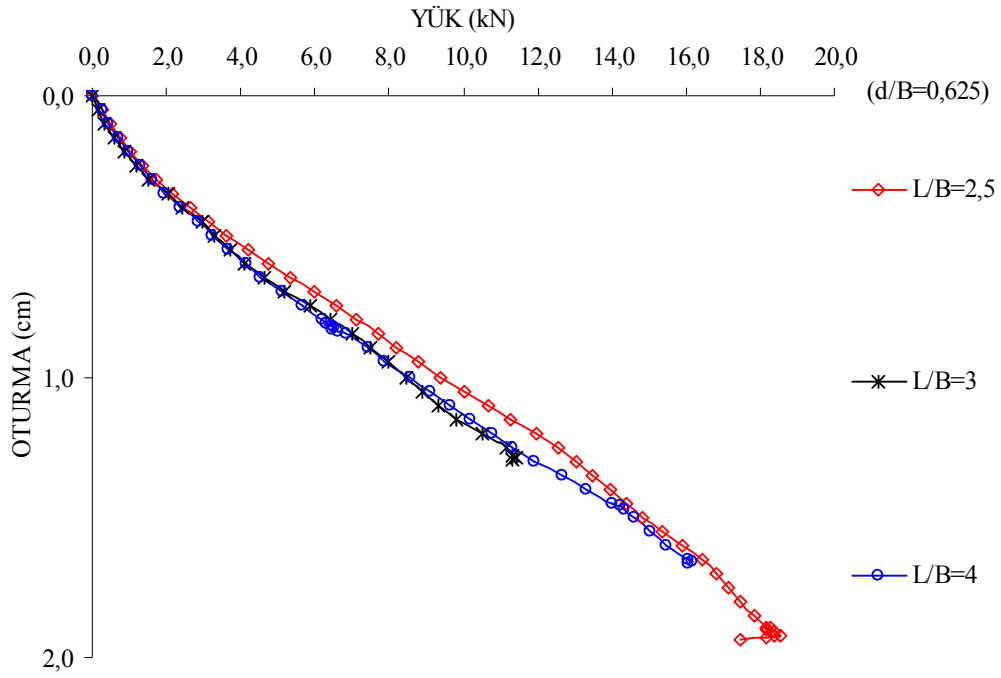
Şekil 4.40. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,625)



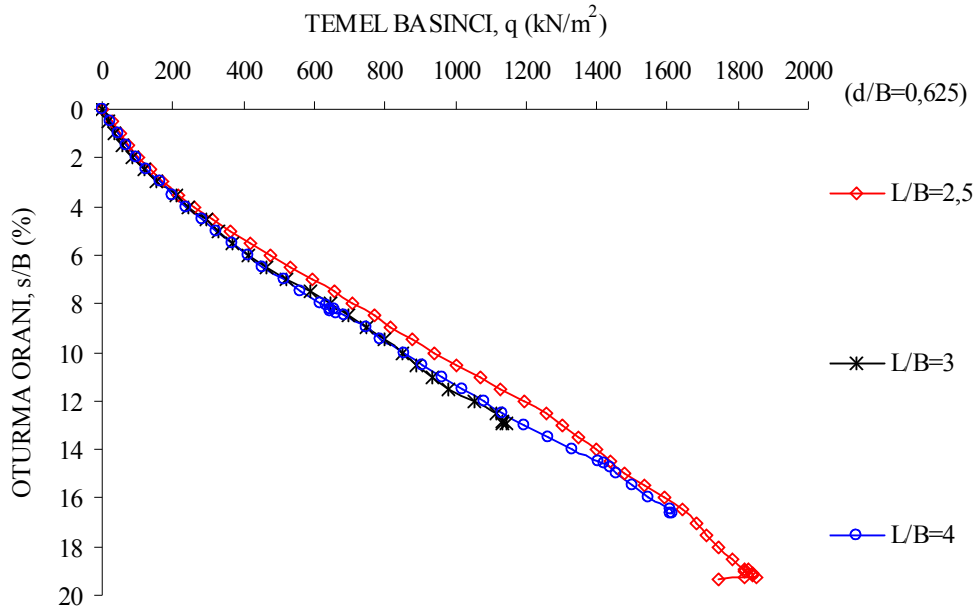
Şekil 4.41. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (N=2, d/B=0,625)

4.4.3. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=2, d/B=0,625)

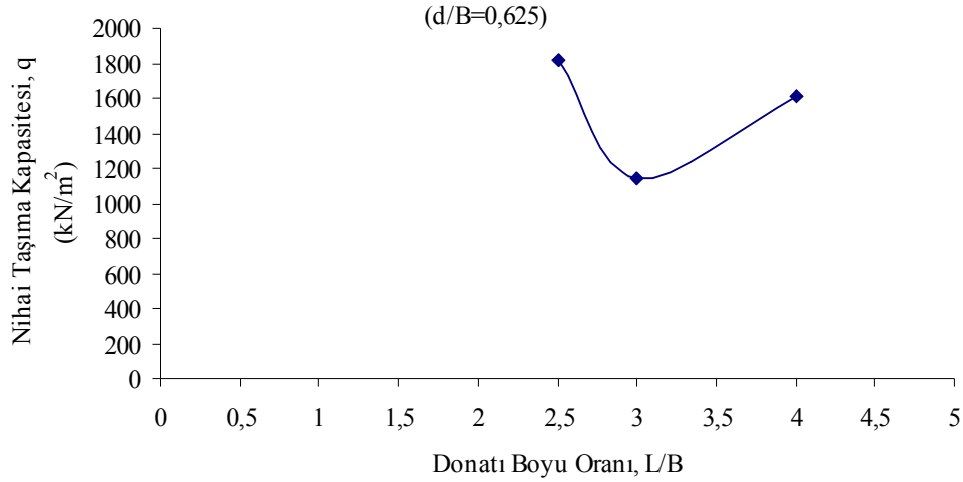
$u/B=0,5$ ve $h/B=0,125$ ($d/B=0,625$) sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan N=2 deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.42 de verilmiştir.



Şekil 4.42. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,625)



Şekil 4.43. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=2, d/B=0,625)



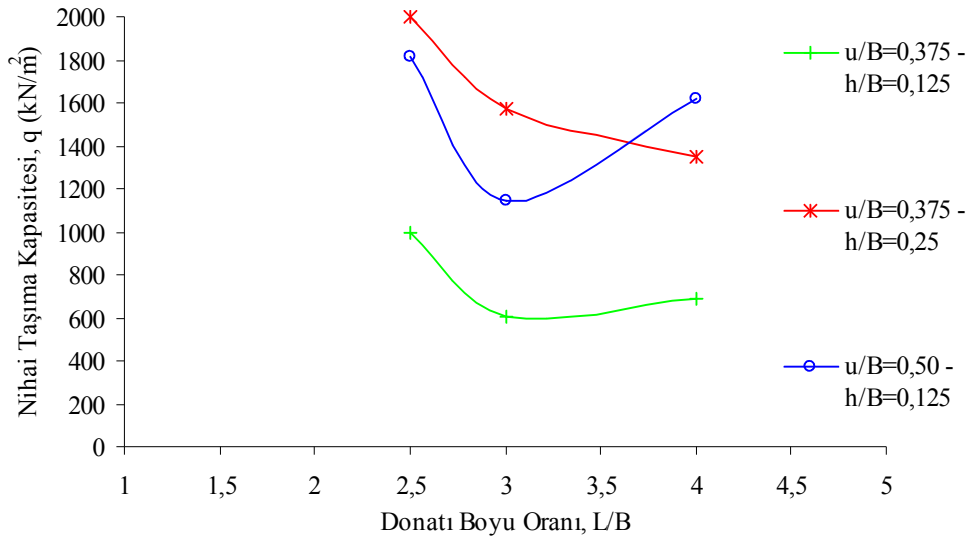
Şekil 4.44. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (N=2, d/B=0,625)

Sonuç olarak, donatısız durumda elde edilen temel basıncı ($q_{\text{donatısız}}$), en büyük temel basıncı ($q_{2\text{max}}$), en küçük temel basıncı ($q_{2\text{min}}$), çift tabakalı güçlendirme halinde temel basıncındaki en yüksek artış katı ($q_{2\text{maxkat}}=q_{2\text{max}}/q_{\text{donatısız}}$) ile en küçük artış katı ($q_{2\text{minkat}}=q_{2\text{min}}/q_{\text{donatısız}}$) ve en iyi tek donatılı ile çift donatılı temel basıncı arasındaki artış katı ($q_{2/1\text{maxkat}}=q_{2\text{max}}/q_{1\text{max}}$) sonuçları Çizelge 4.3 'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çift Donatılı Deney Sonuçları

| | u/B=0,375 - h/B=0,125 | | u/B=0,375 - h/B=0,25 | | u/B=0,50 - h/B=0,125 | |
|------------------------------|--------------------------|---------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | L/B | q | L/B | q | L/B | q |
| | 0 | 345,515 | 0 | 345,515 | 0 | 345,515 |
| | 2,5 | 996,538 | 2,5 | 2003,260 | 2,5 | 1818,500 |
| | 3 | 603,742 | 3 | 1567,547 | 3 | 1142,018 |
| | 4 | 683,756 | 4 | 1345,690 | 4 | 1614,828 |
| q_{donatısız} | | 345,515 | | 345,515 | | 345,515 |
| q_{1max} | 4 | 654,987 | 4 | 654,987 | 4 | 624,109 |
| q_{2max} | 2,5 | 996,538 | 2,5 | 2003,260 | 2,5 | 1818,500 |
| q_{2min} | 3 | 603,742 | 4 | 1345,690 | 3 | 1142,018 |
| q_{2maxkat} | | 2,9 | | 5,8 | | 5,3 |
| q_{2minkat} | | 1,7 | | 3,9 | | 3,3 |
| q_{2/1maxkat} | | 1,5 | | 3,1 | | 2,9 |

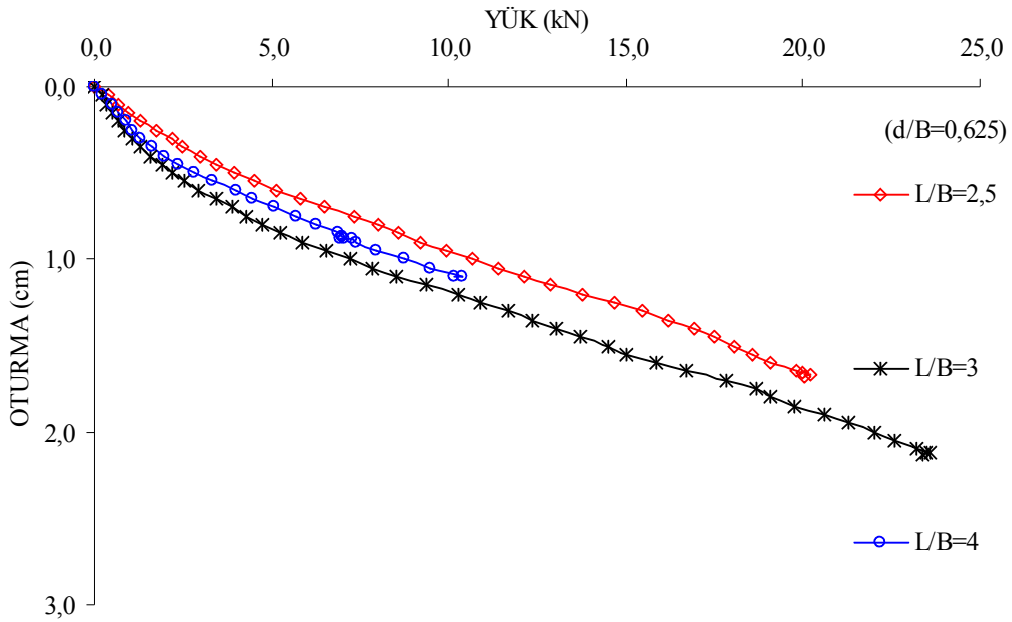
Şekil 4.45 de ise çift donatılı deney sonuçları toplu olarak grafik şeklinde verilmiştir.



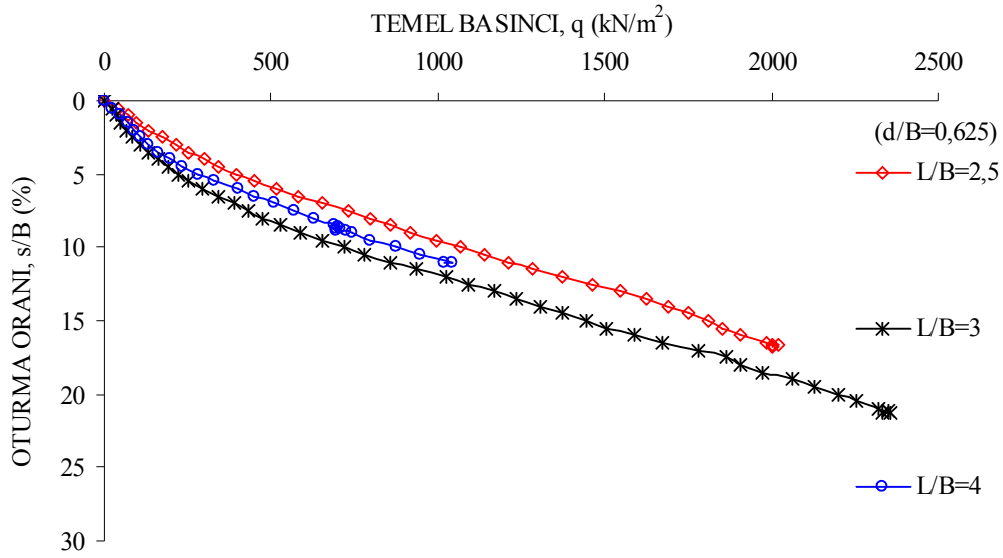
Şekil 4.45. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (N=2)

4.4.4. Donatı Tabaka Sayısının Etkisi (N=3, d/B=0,625)

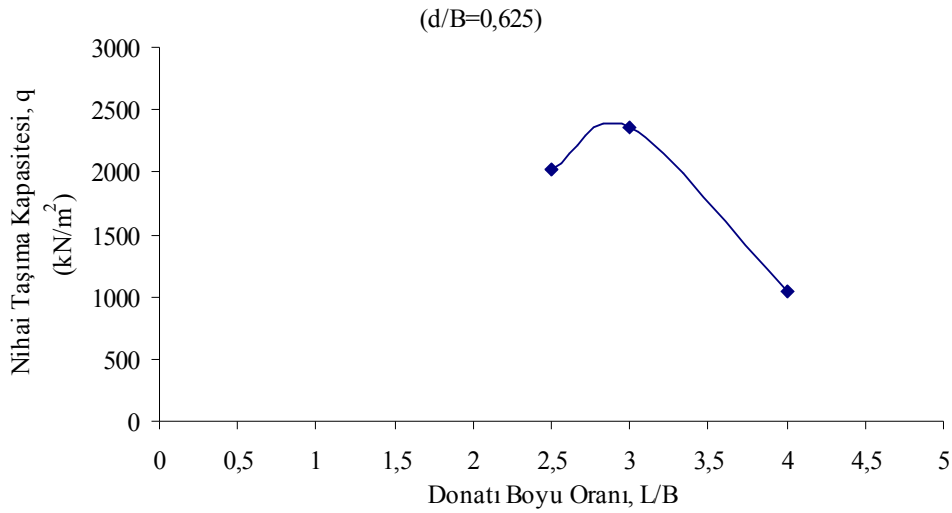
$u/B=0,375$ ve $h/B=0,125$ ($d/B=0,625$) sabit tutularak farklı L/B oranlarında yapılan $N=3$ deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.46 da verilmiştir.



Şekil 4.46. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=3, d/B=0,625)



Şekil 4.47. Tabaka Sayısının Temel Basıncı-Oturma Oranı Eğrisi (N=3, d/B=0,625)



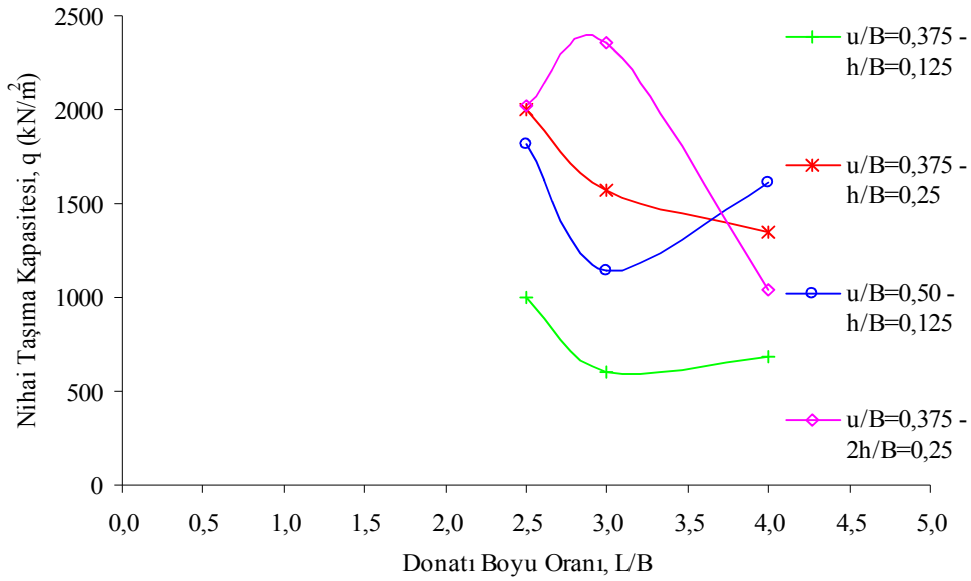
Şekil 4.48. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi (N=3, d/B=0,625)

Sonuç olarak, donatısız durumda elde edilen temel basıncı ($q_{\text{donatısız}}$), en büyük temel basıncı ($q_{3\text{max}}$), en küçük temel basıncı ($q_{3\text{min}}$), üç tabakalı güçlendirme halinde temel basıncındaki en yüksek artış katı ($q_{3\text{maxkat}}=q_{3\text{max}}/q_{\text{donatısız}}$) ile en küçük artış katı ($q_{3\text{minkat}}=q_{3\text{min}}/q_{\text{donatısız}}$) ve en iyi tek donatılı ile çift donatılı temel basıncı arasındaki artış katı ($q_{3/1\text{maxkat}}=q_{3\text{max}}/q_{1\text{max}}$, $q_{3/2\text{maxkat}}=q_{3\text{max}}/q_{2\text{max}}$) sonuçları Çizelge 4.4 'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 4.4. Üç Donatılı Deneylelerden Elde Edilen Sonuçlar

| u/B=0,375 - 2h/B=0,25 | | |
|------------------------------|----------|----------|
| L/B | q | |
| 0 | 345,515 | |
| 2,5 | 2018,535 | |
| 3 | 2356,776 | |
| 4 | 1040,182 | |
| q_{donatısız} | 345,515 | |
| q_{1max} | 4 | 654,987 |
| q_{2max} | 2,5 | 2003,260 |
| q_{3max} | 3 | 2356,776 |
| q_{3min} | 4 | 1040,182 |
| q_{3maxkat} | | 6,8 |
| q_{3minkat} | | 3,0 |
| q_{3/1maxkat} | | 3,6 |
| q_{3/2maxkat} | | 1,2 |

Şekil 4.49 da çift ve üç tabakalı deneylelerden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.49. Tabaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisi

4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Donatısız zeminlerde yapılan çalışmalarda;

Dembicki ve Duszynski, (2003) geotekstil ile yaptığı donatısız çalışmalarda daha büyük değerler elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, temel derinliğinin (Df) 40-60 cm olması ve dairesel temelde çalışmış olmalarının etkisi ile daha yüksek sonuçlar elde ettikleri düşünülmektedir.

Laman ve Yıldız, (2003) geogrid ve dairesel temel ile yaptıkları çalışmada donatısız zeminler için buldukları sonuçlarda temel basıncının yaklaşık yarısı kadar bir düşüş görülmektedir. Halka temel kullanmalarının etkileri olabileceği düşünülmektedir.

Moroğlu ve ark. (2006) geotekstil ile yaptıkları çalışmayla benzer şartlarda deneyler yapılmış ve donatısız zeminlerdeki sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.

Sonuç olarak; Bu nedenle donatısız zeminde yapılan deneylerin doğruluğundan emin olmaktayız.

İlk Donatı Derinliğinin ve donatı tabaka boyunun etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda;

Patel, (1982), yaptığı çalışmada ilk donatı derinliği oranının $u=0,47B$ olması halinde en uygun donatı elde ettiğini belirtmiştir. Yaptığımız çalışma ile sonuçlar birbirine yakın olsa da aradaki farkın, yaptığı çalışmada kullandığı temel ebatlarının daha büyük olması nedeniyle böyle bir sonuca ulaşmış olabileceği düşünülmektedir.

Guido ve ark., (1985), yaptıkları çalışmada $u=0,28B$ ve $h=0,18 B$ olması durumunda taşıma gücünde 2,8 kat artış bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışma ile sonuçlar birbirine yakın olsa da aradaki farkın, yaptığı çalışmada kullandığı temel ebatlarının çok daha büyük olması nedeniyle böyle bir sonuca ulaşmış olabileceği düşünülmektedir.

Guido ve ark., (1986), bildirdiğine göre geotekstil ile güçlendirmeye göre geogrid ile güçlendirilen zeminlerden %10 daha iyi performans elde edilmiştir. Geogrid ile 1.25 ile 2.8 arasında performans artışı bildirmişlerdir.

Moroğlu ve ark., (2006), bildirdiğine göre donatısız duruma göre %50 artış gerçekleşmiştir. Benzer şartlarda gerçekleştirilen deney sonuçları birbiri ile örtüşmektedir.

Laman ve Yıldız, (2003) geogrid ile yaptıkları çalışmada $u=1,2B$ ve $u=3B$ olması durumunda taşıma gücünde etkili artış bildirmişlerdir. Temel şekli faktörü olmasına rağmen sonuçlar yakınsamakta ancak u/B oranları aykırılık göstermektedir.

Yıldız, (2005), şevli temelerde ilk donatı derinliği oranının 0,5 olması halinde artış gözlemlendiğini bildirmiştir.

Puri ve ark., (2009), $u/B=h/B=1/3$ olması halinde benzer ancak taşıma gücü değerleri açısından daha küçük sonuçlar elde etmişlerdir. Değerlerin gücü temel faktörüne bağlı olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak; İlk donatı derinliği $u=0,375B$ olması halinde gözlemlenen 1,9 kat artış, artış yüzdesi ve genelde bildirilen ilk donatı oranlarını ve taşıma gücündeki artış oranlarını karşılamaktadır. Ancak zemin taşıma gücü değerlerindeki farklılıkların diğer faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği düşünülmektedir.

Tabaka sayısı etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda;

Çift donatı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 7.2 de toplu olarak verilmiştir. Buna göre $u=0,375B$, $h=0,25B$ ($d=0,625B$) ve $L=2,5B$ olması durumunda, donatısız zeminlere göre 5,8 kat, tek donatılı en iyi yerleşime göre ise 3 kat taşıma gücünde artış elde edilmiştir.

İki ve üç donatı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 7.3 de toplu olarak verilmiştir. Buna göre $u=0,375B$, $2h=0,25B$ ($d=0,625B$) ve $L=3B$ yerleşiminde 3 donatılı zemin güçlendirilmesi durumunda, donatısız zeminlere göre 6,8 kat, tek donatılı en iyi yerleşime göre 3,6 kat, çift donatılı en iyi yerleşime göre ise 1,2 kat taşıma gücünde artış elde edilmiştir.

Laman ve ark., (2003, 2007) yaptıkları deneysel çalışma sonuçları ile birbirini karşılamaktadır.

Literatürde yer alan geotekstil ile güçlendirilen kum zeminler üzerine oturan değişik temel şekillerindeki yapılan çalışmalarla, bizim yaptığımız çalışmanın toplu olarak karşılaştırılması Çizelge 4.5 de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Literatürde yer alan Geotekstil ile yapılan Deney Sonuçları

| | Yılmaz (2010) | Patel (1982) | Guido ve ark. (1985) | Guido ve ark. (1986) | Dembicki ve ark. (2003) | Göktepe ve ark. (2005) | Moroğlu ve ark. (2006) | Şadoğlu ve Uzuner (2008) | Yasrobi ve ark. (2009) | |
|-------|---------------|--------------|----------------------|---|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------|
| u/B | 0,375 | 0,47 | | Gegrid ile güçlendirilen zeminlerin, geotekstil ile güçlendirilen zeminlerden % 10 daha iyi performans gösterdiklerini ve geogridle taşıma kapasitesinin 1,25 - 2,8 arasında arttığını bildirmişlerdir. | | | 0,5 | | 0,5 | |
| L/B | 2,5 - 4 | | | | | | | | | 4 |
| N | 1 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Artış | 1,8 - 1,9 | | | | | 1,8 | 0,25 - 1,67 | 1,5 | 1,1 - 1,4 | 1,25 |
| u/B | 0,375 | | | | | | | | | |
| L/B | 2,5 | | | | | | | | | |
| h/B | 0,25 | | | | | | | | | |
| d/B | 0,625 | | | | | | | | | |
| N | 2 | | | | | 2 | | | | |
| Artış | 5,8 | | | | | | 1,47 - 2,33 | | | |
| u/B | 0,375 | | 0,28 | | | | | | | 0,25 |
| L/B | 3 | | | | | | | | | 3 |
| h/B | 0,125 | | 0,18 | | | | | | | |
| d/B | 0,625 | | | | | | | | | 1 |
| N | 3 | | 5 | | | | | | | 3 |
| Artış | 6,8 | | 2,8 | | | | | | | 1,5 |

Literatürde yer alan geogrid ile güçlendirilen kum zeminler üzerine oturan değişik temel şekillerindeki yapılan çalışmalarla, bizim yaptığımız çalışmanın toplu olarak karşılaştırılması Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Literatürde yer alan Geogrid ile yapılan Deney Sonuçları

| | Yılmaz (2010) | Alawaji (2001) | Shin ve ark. (2002) | Laman ve Yıldız (2003) | Yıldız (2005) | Laman ve Yıldız (2007) | Puri ve ark (2009) |
|------------------|------------------|-------------------|------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|
| Temel Tipi | Kare | Dairesel | Dikdörtgen | Halka | Şerit | Şeirt | Kare |
| Güçlendirme Tipi | Geotekstil | Geogrid | Geogrid | Geogrid | Geogrid | Geogrid | Geogrid |
| u/B | 0,375 | | | | | 0,5 | |
| L/B | 4 | | | | | | |
| N | 1 | | | | | | |
| Artış | 1,9 | 3,2 | | | | 1,75 | |
| u/B | 0,375 | | 0,4 | | | | |
| L/B | 2,5 | | 6 | | | | |
| h/B | 0,25 | | 0,4 | | | | |
| d/B | 0,625 | | | | | | |
| N | 2 | | | | | | |
| Artış | 5,8 | | 1,77 | | | | |
| u/B | 0,375 | | | 0,3 | 0,5 | | 0,33 |
| L/B | 3 | | | < 3 | | | 6 |
| h/B | 0,125 | | | | | | 0,33 |
| d/B | 0,625 | | | | 5 | | |
| N | 3 | | | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Artış | 6,8 | | | 3 | 3,7 | 6,2 | 7,6 |

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kahramanmaraş ili, Pazarcık ilçesi sınırlarında ve Aksu çayı üzerinde yapılmış olan Kartalkaya Barajının 7 100 m mansabında ve TCK Narlı Köprüsü civarında bulunan kum ocağından elde edilen, $C_u=1,42$, $C_c=1,014$, $\gamma=1,6 \text{ kg/m}^3$, $\phi=35^\circ$, $C=0$ özelliklerindeki SP sınıfı kum üzerinde, 10 cm ebatlarındaki kare metal model temel ile donatılı ve donatısız olarak yapılan taşıma gücü deneyleri sonucunda ölçülen değerlerden ve yapılan değerlendirmelerden edinilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

5.1. Donatısız Deney Sonuçları

Kum Zeminler üzerinde donatısız olarak yapılan 3,455 kN 'luk yükleme sonucunda (345.515 kN/m^2 'lik temel basıncında) zeminde kopma gerçekleşmiştir. Kopma anındaki çökme miktarı 1 cm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Bu durum daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla uygunluk göstermektedir.

5.2. Donatılı Deney Sonuçları

Tek donatılı yapılan deneylerde, $u=0,375B$ ve $L=4B$ olması halinde taşıma gücünde donatısız zeminlere göre 1,9 kat artış gözlemlenmiştir (Şekil 5.16). Bu durum daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla uygunluk göstermektedir.

Çift donatı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre $u=0,375B$, $h=0,25B$ ($d=0,625B$) ve $L=2,5B$ olması durumunda, donatısız zeminlere göre 5,8 kat, tek donatılı en iyi yerleşime göre ise 3,1 kat taşıma gücünde artış elde edilmiştir.

İki ve üç donatı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre $u=0,375B$, $2h=0,25B$ ($d=0,625B$) ve $L=3B$ yerleşiminde 3 donatılı zemin güçlendirilmesi durumunda, donatısız zeminlere göre 6,8 kat, tek donatılı en iyi yerleşime göre 3,6 kat, çift donatılı en iyi yerleşime göre ise 1,2 kat taşıma gücünde artış elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 'de donatısız ve donatılı deney sonuçları toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Donatısız ve Donatılı Deney Sonuçları

| | Yerleşim | Temel Basıncı | Artış Oranı | | |
|---------------|----------------------------------|---------------|-------------|--------------|---------------|
| | | | Donatısız | Tek Donatılı | Çift Donatılı |
| Donatısız | | 345,515 | | | |
| Tek Donatılı | $u/B=0,375 - L/B=4$ | 654,987 | 1,9 | | |
| Çift Donatılı | $u/B=0,375 - h/B=0,25 - L/B=2,5$ | 2 003,260 | 5,8 | 3,1 | |
| Üç Donatılı | $u/B=0,375 - 2h/B=0,25 - L/B=3$ | 2 356,776 | 6,8 | 3,6 | 1,2 |

Daha önceki çalışmalarda yapılan çalışmalarla, deneylerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu durum deney programında uygulanan geosentetik ile güçlendirilmiş temel zemininde parametrelerin yerleşim konumuna bağlı olarak değişkenliği nedeni ile kaynaklanmaktadır.

5.3. Öneriler

Çeşitli zemin ve temel tipleri için bu konunun, daha fazla sayıda parametreleri dikkate alarak detaylı bir çalışma yapılması önerilmektedir.

Uygulamada kullanılabilirlik açısından, diğer geosentetik türleri ile yapılan çalışmalarla geotekstil ile güçlendirme arasında optimum donatı ekonomisi, emniyet ve estetik mukayesesinin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ADAMS, M.T., 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., AKINBOLADE, J.A. 1981. Stability of loaded footing on reinforced soil. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 107(6):819-827.
- ALAWAJI, H. A. 2001. Settlement and Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Sand Over Collapsible Soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 19:75-88.
- AL-REFAI, T.O. 1992. Model Test On Strip On Reinforced Sand. *King Soud Univ., Riyadh, Soudi Arabia*, 4(2):155-169
- BINQUET, J., LEE, K.L. 1975a. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12):1241-1255.
- _____. 1975b. Bearing capacity analysis on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12):1257-1276.
- ÇELİK, S. 1997. Geogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Geogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Ün., Fen Bilimleri Ens., Erzurum*, 85s.
- DAS, B.M., 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*, 12:133-141.
- DAWSON, A., LEE. R. 1988. Full Scale Foundation Trials on Grid Reinforced Clay. *Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication*, 18:127-147.
- DEMBICKI, E., JERMOLOWICZ, P., NIEMUNIS, A. 1986. Bearing Capacity of Strip Foundation on Soft Soil Reinforced by Geotextile. *3rd International Conference on Geotextiles, Vienna*, 1:205 -209.
- DEMBICKI, E., DUSZYNSKI, R. 2003. The Capacity Of Reinforced Subsoil Loaded By Uplifted Foundation. *Landmarks In Eart Reinforcement, Ochiai, Japanese*, 2:541-544
- DE MERCHANT, M.R., VALSANGKAR, A.J., SCHRIVER, A.B. 2002. Plate load tests on geogridreinforced expanded shale lightweight aggregate. *Geotextiles and Geomembranes*, 20:173-190.
- DEMİRÖZ, A., TAN, Ö. 2008. Donatılı Zeminler Üzerindeki Sürekli Temellerin Oturmasını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması. *Selçuk Ün., Mim. Müh. Fak. Der., Konya*, 23:3
- FRAGASZY, J.R., LAWTON, E. 1984. Bearing capacity of reinforced sand subgrades. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110(10):1500-1507.

- GABR, M.A., DODSON, R., COLLIN, J.G. 1998. A study of stress distribution in geogridreinforced sand. Proceedings of geosynthetics in foundation reinforcement and erosion control systems, ASCE Geotechnical Special Publication, 76:62-76.
- GABR, M.A., HART, J.H. 2000. Elastic modulus of geogrid-reinforced sand using plate load tests. Geotechnical Testing Journal, ASTM, 23(2):215-220.
- GHOSH, A., BERA, A.K. 2005. Bearing capacity of square footing on pond ash reinforced with jute-geotextile. Geotextiles and Geomembranes, 23(2):144-173.
- GÖKTEPE, A.B., ALTUN S., LAV A.H. 2005. Esnek Üstyapılarda Taban Zemini Dinamik Davranışının Geosentetiklerle İyileştirilmesi. 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 238-247s
- GUIDO, V.A., BIESIADECKI, G.L., 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., SWEENEY, M.A. 1986. Comparison of geogrid and geotextile reinforced slabs. Canadian Geotechnical Journal, 20:435-440.
- HUANG, C.C., TATSUOKA, F. 1990. Bearing capacity reinforced horizontal sandy ground. Geotextiles and Geomembranes, 9:51-82.
- KHING, K.H., DAS, B.M., PURI, V.K., COOK, E.E., YEN, S.C. 1993a. The bearing Capacity of a Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. Geotextiles and Geomembranes, 12(4):351-361.
- _____. 1993b. Ultimate Bearing Capacity of Eccentrically Loaded Strip Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. Transportation Research Record , 1414:65-70.
- LAMAN, M., YILDIZ, A.A. 2003. Model Studies Of Ring Foundations On Geogrid-Reinforced Sand. Geosynthetics International, 10(5):142-152
- _____. 2004. Donatılı Kum Zeminler Üzerine Oturan Dairesel Temellerin Analizi. Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, B.Ü., İstanbul, 137-146s
- _____. 2007. Numerical Studies of Ring Foundations on Geogrid-Reinforced Sand. Geosynthetics International, 14(1):1-13.
- LAMAN, M., YILDIZ, L., KESKİN, M.S., UNCUOĞLU, E. 2007. Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi. İMO Teknik Dergi, 18:4197-4217
- MANDAL, J.N., SAH, H. 1992. Bearing Capacity Tests on Geogrid-Reinforced Clay. Geotextiles and Geomembranes, 11(3):327-333.

- MANDAL, J.N., MANJUNATH, V.R. 1995. Bearing Capacity Of Strip Footing Resting On Reinforced Sand Subgrades. *Construction and Building Materials*, 9(1):35-38
- MOROĞLU, B., UZUNER, B.A. 2002. Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Yüzey Şerit Temelinin Davranışı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir*, 1:277-287.
- MOROĞLU, B., UZUNER, B.A., ŞADOĞLU, E. 2004a. Eksantrik Yüklü Şerit Temel Altındaki Donatısız ve Donatılı Kumda Kırılma Yüzeyleri. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul*, 587-594s.
- _____. 2004b. Donatısız ve Donatılı Kuma Oturan Yüzey Şerit Temelinde Yük-Oturma İlişkileri. *Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul*, 147-153S.
- _____. 2006. Bir Model Yüzey Şerit Temelinin Donatısız ve Donatılı Kumda Davranışları. *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul*, 1:39-46.
- OMAR, M.T., DAS, B.M., PURI, V.K., YEN, S.C. 1993. Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with geogrid reinforcement. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(3):435-440.
- OMAR, M.T., DAS, B.M., YEN, S.C., PURI, V.K., COOK, E.E. 1993. Ultimate bearing capacity of rectangular foundations on geogrid-reinforced sand. *Geotechnical Testing Journal, ASTM*, 16(2):246-252.
- PATEL, M.M. 1982. Influence of Shape of Footings on the Performance of the Reinforced Sand Bed. *Proceedings of the Conference on Construction Practices and Instrumentation in Geotech. Eng.*, 1:265-269.
- PURI, V.K., KUMAR, S., DAS, B.M., PRAKASH, S., YEO, B. 2009. Settlement of Reinforced Subgrades Under Dynamic Loading. 17 th ICSMGE, Alexandria (Egypt), http://yoga10.org/Documents/Settlement_of%20subgrades.pdf
- RAMASWAMY, S.D., PURUSHOTHAMAN, P. 1992. Model footings of geogrid reinforced clay. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference on Geotechnique Today*, 1:183- 186.
- SAKTI, J., DAS, B.M. 1987. Model tests for strip foundation on clay reinforced with geotextile layers. *National Academy of Sciences, Transportation Research Record No. 1153, Washington, D.C.*, 40-45s.
- SHARMA, R.S., PHANIKUMAR, B.R., NAGENDRA, G. 2004. Compressive load response of granular piles reinforced with geogrids. *Canadian Geotechnical Journal*, 41:187- 192.
- SHIN, E.C., DAS, B.M., LEE, E.S., ATALAR, C. 2002. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, 20:169-180.

- SHIN, E.C., DAS, B.M., PURI, V.K., YEN, S.C., COOK, E.E. 1993. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced clay. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 16(4):534-541.
- ŞADOĞLU, E., UZUNER, B.A. 2008. Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Sığ Model Şerit Temelde, Donatının Oturma Koşulunu İyileştirilmesi. Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, 39-48s.
- TAN, Ö., ÇELİK, S. 2004. Geogrid Donatılı Model Şerit Temellerde Donatı Derinlik Oranı ve Sınır Taşıma Gücü İlişkisi. Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, 155-160s.
- TUNA, Ş.Ç. 2008. Geotekstil Donatılı Kum Zeminlerde Mekanik Davranışın Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniv., Fen Bilimleri Ens., İzmir
- TUMLUER, G. 2006, Çimento Katkılı Kum Zeminlerin Mukavemeti. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Ens., Adana
- YASROBI, S.Sh., RAHMANINEZHAD, S.M., EFTAKHARZADEH, S.F. 2009. Characterization Of Shallow Foundations On Loose Sand Reinforced With Geotextile. 2rd International Conference On New Developments In Soil Mechanics And Geotechnical Engineering, Near East Univ., Nicosia, North Cyprus
- YETİMOĞLU, T., WU, J.T.H., SAĞLAMER, A. 1994. Bearing capacity of rectangular footings on geogrid-reinforced sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 120(12):2083-2099.
- YETİMOĞLU, T., SALBAŞ, Ö. 2002. Dağınık Liflerle Rastgele Donatılı Kumların Kayma Mukavemeti. *İMO Teknik Dergi*, 13:2587-2596
- YILDIZ, L. 2005. Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Ens., Adana
- www.angoraplastik.com, 2009
- www.aquatan.com, 2009
- www.bacanaklar.com.tr, 2009
- www.geogrid.com, 2009
- www.geomembranes.com, 2009
- www.geosentetikler.com, 2009
- www.geotextile.com, 2009

www.grupo.com.tr, 2009

www.insulfoam.com, 2009

www.irrigation.org.au, 2009

www.isdunyasi.net, 2009

www.istanbulteknik.com, 2009

www.kercherei.com, 2009

www.merchantcircle.com, 2009

www.naue.com, 2009

www.payteks.com, 2009

www.powerfoam.net, 2009

www.savastepe.bel.tr, 2009

www.terrafixgeo.com, 2009

www.thepetitionsite.com, 2009

www.wsdotblog.blogspot.com, 2009

www.yapikatalogu.com, 2009

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Kahramanmaraş'ta doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimi Kahramanmaraş'ta tamamladım. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniv. 'den İnşaat Mühendisi olarak mezun oldum. 1995 – 1999 yılları arasında çeşitli kurum ve kuruluşlarda çalıştım. 1999-2003 yılları arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Elbistan MYO 'nda Öğretim Görevlisi olarak, 2003-2005 yılları arasında ise Teknik Programlar Bölüm Başkanı olarak görev yaptım. 2005-2008 yılları arasında DSİ 20. Bölge Müdürlüğü'nde Kılavuzlu Barajı ve HES İnşaatı Kontrol Mühendisliği ve Barajlar Şube Müdürlüğünde görev aldım. 2008 yılından bu yana Proje İnşaat Şube Müdürlüğü görevini yapmaktayım.