

**POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNLERİNİN
TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAŞTIRILMASI**

Mahdi MAHDAD

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK
2014
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ
KUM ZEMİNLERİNİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAŞTIRILMASI**

Mahdi MAHDAD

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM
ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK'in danışmanlığında, Mahdi MAHDAD tarafından hazırlanan bu çalışma 21/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Suat AKBULUT

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin EROĞLU

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2013/144

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Mahdi MAHDAD
Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

Zeminleri güçlendirmek amacıyla geosentetik malzemelerin kullanılması dünya genelinde ve Türkiye’de her geçen gün hızla artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, donatısız ve rastgele donatılı orta- sıkı bir kum zemine oturan yüzeysel bir şerit temelin yük-oturma-göçme davranışının bir seri laboratuvar plaka yükleme deneyi yöntemi ile araştırılmasıdır. Deneylerde, donatı olarak polipropilen lif kullanılmıştır. Donatı yüzdesinin ve uzunluğunun taban basıncı-oturma davranışına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma sonucunda, rastgele donatı uzunluğu ve yüzdesinin göçme davranışını etkilediği gözlenmiştir. Deney sonuçlarından farklı oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasitesi oranları (BCR) hesaplanmıştır. Her bir donatı uzunluğu ve yüzdesi için farklı s/B-BCR davranışı gözlenmiştir. Ayrıca, temel plakasının oturmasının artmasıyla sistemin davranış karakterleri de değişmiştir. Çalışmalarda temel plakasının altındaki 3B derinliğindeki zemin donatılandırılmıştır. Rastgele donatı uzunluklarının ve donatıların ağırlıkça yüzdelерinin artmasıyla zeminin taşıma kapasitesinin arttığı ve aynı taşıma kapasitesinde yapacağı oturmanın önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

2014, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rastgele donatılı zemin, polipropilen, taşıma gücü, şerit temeller

ABSTRACT

MS Thesis
**ANALYSES OF BEARING CAPACITY AT RANDOMLY REINFORCED
SNADY SOIL BY POLYPROPYLENE FIBERS**

Mahdi MAHDAD

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Semet ÇELİK

The usage of geosynthetics to increase the strength of soil is increasing rapidly in all over the world and Turkey. The purpose of this study is investigation of load-settlement-failure of a shallow strip footing on unreinforced and randomly reinforced soil on a soil with medium density by performing laboratory plate load tests. Polypropylene fibers have been used for reinforcing the soil on tests. Effect of reinforcing materials percentage and their length on bearing capacity and settlement has been investigated.

The tests results showed that, the length of randomly reinforced material and their percentage have effect on settlement behavior of soil. The bearing capacity ratio (BCR) were calculated for different settlement ratios (s/B) using experimental tests. Different s/B -BCR manners have been found for each reinforcement length and percentage. On the other hand, characters of system behavior have been changed by increasing the settlement of footing. The soil had been reinforced up to $3B$ depth under the footing. By increasing randomly reinforced length and weight percentage of reinforcements, bearing capacity of soil has been increased and at the same bearing capacity the settlement of soil decreased significantly.

2014, 66 pages

Keywords: Randomly reinforced soil, polypropylene, bearing capacity, strip footing

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgi ve deneyimleriyle bana verdikleri destek ve sağladıkları katkılar nedeniyle tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK 'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın bir kısmı, 2013/144 Nolu Bilimsel Araştırma Projesinden sağlanan destekle yürütülmüştür. Anılan destek ve katkı dolayısıyla, Atatürk Üniversitesi Proje Koordinatörlüğü'ne derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Önemli eleştiri ve görüşleriyle bu tezin niteliğinin arttırılmasında katkıları bulunan Tez Jürisi Üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer aileme ve sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

Mahdi MAHDAD

Ocak, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Yüzeysel Temeller.....	3
2.1.1. Yüzeysel temellerde göçme türleri.....	3
2.1.2. Yüzeysel temellerin taşıma gücü.....	7
2.2. Donatılı Zeminler	11
2.2.1. Donat çeşitleri.....	11
2.3. Rastgele Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1. Materyal.....	24
3.1.1. Deneşlerde kullanılan kumun özellikleri	24
3.1.2. Deneşde kullanılan donatının özellikleri	28
3.1.3. Deneş düzeneği	29
3.2. Yöntem	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	35
4.1. Donatısız Kum Zemindeki Deneş Sonuçları.....	35
4.2. Rastgele Donatılı Zemindeki Deneş Sonuçları	38
4.2.1. Sabit uzunlukta farklı ağırlık oranlarında polipropilen lif kullanılması durumunda deneş sonuçları.....	39
4.2.2. Sabit ağırlık oranında farklı uzunlukta polipropilen lif kullanılması durumunda deneş sonuçları.....	46
4.3. Donatısız ve Rastgele Donatılı Deneşlerden Elde Edilen Nihai Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması	59

5. SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	1

SİMGELER DİZİNİ

B	Temel genişliği
BCR	Taşıma kapasitesi oranı
BCR _{max}	Maksimum taşıma kapasitesi oranı
c	Kohezyon
D ₁₀	Efektif tane çapı
D _f	Temel derinliği
D _r	Rölatif sıklık
e	Zeminin boşluk oranı
e _{max} , e _{min}	Zeminin en gevşek ve en sıkı durumlarındaki boşluk oranları
G	Özgül ağırlık
G _s	Güvenlik katsayısı
N _c , N _q , N _γ	Taşıma kapasitesi katsayıları
q	Temele uygulanan ortalama taban basıncı
q _u	Donatısız durumdaki taban basıncı
q _{u1}	Zeminin donatısız durumdaki ilk kırılma yükü
q _{u2}	Zeminin donatısız durumdaki ikinci kırılma yükü
s	Temel plakasının yaptığı düşey yöndeki oturma
s/B	Oturma oranı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı
φ	Kayma mukavemet açısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Genel kayma göçmesi	4
Şekil 2.2. Genel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi	4
Şekil 2.3. Bölgesel kayma göçmesi yük-oturma	5
Şekil 2.4. Bölgesel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi	5
Şekil 2.5. Zımbalama kayma göçmesi yük-oturma	6
Şekil 2.6. Zımbalama kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi	6
Şekil 2.7. Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması	8
Şekil 2.8. Meyerhof taşıma gücü teorisinde kayma yüzeyleri	10
Şekil 2.9. Geotekstil	12
Şekil 2.10. Geomembran	13
Şekil 2.11. Geogrid	14
Şekil 2.12. Geonet	16
Şekil 2.13. Geohücre	16
Şekil 2.14. Drenaj amaçlı uygulanan geotekstil-geonet geokompozit	17
Şekil 2.15. Cam ve polyester lifler	18
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kum	24
Şekil 3.2. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi	25
Şekil 3.3. Kesme kutusu deney aleti	27
Şekil 3.4. Deney Kumunun kırılma zarfı	27
Şekil 3.5. Deney kumunun kesme kutusu deney sonucu	28
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan polipropilen lif	28
Şekil 3.7. Model temel plakası.....	29
Şekil 3.8. Deney tankı	30
Şekil 3.9. Yükleme Sistemi	30
Şekil 3.10. Hidrolik pompa kontrol ünitesi	31
Şekil 3.11. Deneylerde kullanılan yük hücresi	31
Şekil 3.12. Deplasman Ölçer	32
Şekil 3.13. Veri toplama sistemi	33
Şekil 4.1. Donatısız deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	36

Şekil 4.2. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü	37
Şekil 4.3. Donatısız deney sonucu meydana gelen göçme	37
Şekil 4.4. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri 40	
Şekil 4.5. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde- taşıma kapasitesi ilişkisi	40
Şekil 4.6. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelerine karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	41
Şekil 4.7. L=20 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	42
Şekil 4.8. L=20 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde- taşıma kapasitesi ilişkisi	43
Şekil 4.9. L=20 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelerine karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	43
Şekil 4.10. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	45
Şekil 4.11. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde- taşıma kapasitesi ilişkisi	45
Şekil 4.12. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelerine karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	46
Şekil 4.13. Ağırlıkça %0,125 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	47
Şekil 4.14. Ağırlıkça %0,125 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi	48
Şekil 4.15. Ağırlıkça %0,125 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	48
Şekil 4.16. Ağırlıkça %0,25 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	50
Şekil 4.17. Ağırlıkça %0,25 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi	50
Şekil 4.18. Ağırlıkça %0,25 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	51

Şekil 4.19. Ağırılıkça %0,50 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	52
Şekil 4.20. Ağırılıkça %0,50 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi	53
Şekil 4.21. Ağırılıkça %0,50 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	53
Şekil 4.22. Ağırılıkça %1,00 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	55
Şekil 4.23. Ağırılıkça %1,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi	55
Şekil 4.24. Ağırılıkça %1,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	56
Şekil 4.25. Ağırılıkça %2,00 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri	57
Şekil 4.26. Ağırılıkça %2,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi	58
Şekil 4.27. Ağırılıkça %2,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi	58
Şekil 4.28. Polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ağırılıkça lif yüzdesi-nihai taşıma kapasitesi ilişkisi	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Meyerhof faktörleri	10
Çizelge 2.2. Geosentetiklerin İşlev ve çeşitleri	11
Çizelge3.2. Elek analizi deney sonuçları	25
Çizelge 3.2. Rölatif sıkılık deney sonuçları	26
Çizelge 3.3. Yük hücresinin özellikleri	32

1. GİRİŞ

Geoteknik Mühendisliğinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ve dayanım özelliklerini iyileştirmek amacıyla farklı malzemelerle güçlendirilmesi, giderek önem kazanmakta olan bir uygulama alanıdır. Genellikle temel ve temel altı zeminlerde granüler zeminler tercih edilmekte ve bu zeminlerde güçlendirme malzemesi olarak, geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geohücreler, geokompozitler, lif ve diğer bazı ürünleri de kullanılmaktadır (Uğur 2009).

Zeminlerde geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geohücreler, geokompozitler, lif ve vb. ürünleri kullanmak şu avantajları sağlamaktadır:

- Çok fonksiyonlu görev yapabilmek
- Yer kazanma
- Malzeme kalite kontrolü
- İmalat kalite kontrolü
- İnşaat süresini kısaltma
- Hidrolik ve kimyasal dayanıklılık
- Yerleştirme kolaylığı ve ekonomik olması

Donatılı zemin uygulamalarındaki başlıca amaç kaymaya ve basınca oranla çekme dayanımı zayıf olan zeminlerin güçlendirilmesi ve üzerlerinde yer alacak binaların stabilitesinin artırılmasıdır. Donatılı zeminler, zemin içerisine farklı hammaddelerden üretilmiş malzemelerin düzenli bir şekilde yerleştirilmesi ya da sentetik liflerin rastgele karıştırılıp yerleştirilmesiyle oluşturulabilirler. Donatı ve zeminin kompozit bir malzeme olarak çalışabilmesi zemin-donatı arasındaki sürtünme katsayısına ve donatının çekme dayanımına bağlıdır. Ayrıca donatı ve zeminin özellikleri kadar donatının yerleşim şekli, sıklığı, doğrultusu, uzunluğu ve zemin içerisindeki yoğunluğu da güçlendirmenin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır (Uğur 2009).

Lif güçlendirme yönteminde zemin malzemesi galvanizli çelik veya plastik geogridlerden oluşan elemanlarla güçlendirilir. Özellikle granüler zemin çekme dayanımında çok zayıf olduğundan, eğer şerit elemanlar zemin içerisine yerleştirilirse, zemindeki çekme kuvvetleri bu şerit elemanlara iletilebilir. Oluşan bu kompozit yapı güçlendirici elemanların çalıştığı yönde bir çekme dayanımına sahip olacaktır(Uğur 2009).

Donatılı zemin araştırmalarının çoğunda; donatı sayısının (N), donatılar arası mesafenin (h), donatılı bölge derinliğinin (d), donatı uzunluğunun (L), ilk donatı derinliğinin (u), temel derinliğinin (D_f) ve donatı cinsinin etkileri incelenmiştir. Genellikle sonuçlarda; donatı kullanımının taşıma kapasitesini artırdığı ve aynı yük değerlerindeki muhtemel oturmaları azalttığı görülmüştür (Çiçek 2011).

Bu araştırmada, Rölatif sıkılığı sabit ($D_r = \%65$) olan kötü derecelenmiş bir kum zemine (SP), ağırlıkça farklı oranlarda ve farklı uzunluklarda polipropilen lif malzeme rastgele yerleştirerek statik yükler altındaki davranışı gözlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Yüzeysel Temeller

Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

1. Yüzeysel temel (tekil temel, sürekli temel, radye temel): Yapı yüklerini zemin yüzüne yakın olan sığ derinliklere aktarırlar.
2. Derin temel (Kazıklar, ayaklar ve kesonlar): Yapı yükleri, zemin yüzüne yakın zemin ortama taşıttıramazsa yükler derindeki sağlam tabakaya aktarılır.

2.1.1. Yüzeysel temellerde göçme türleri

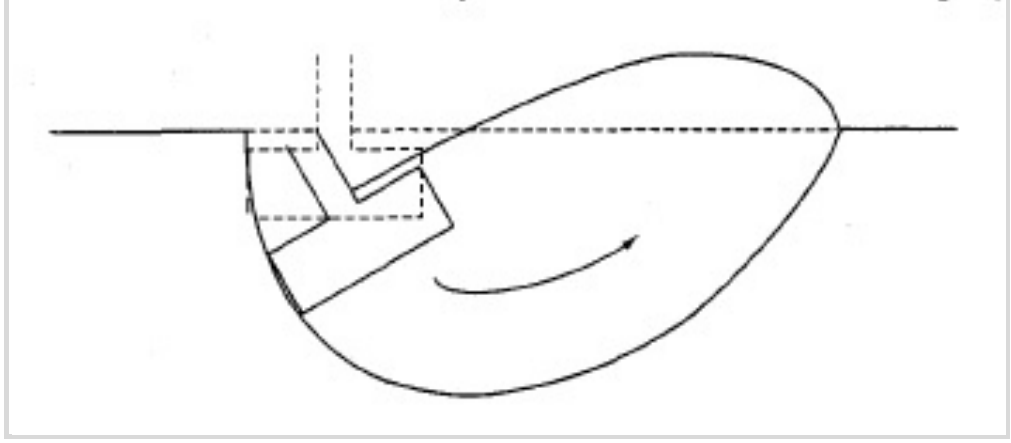
Yüzeysel temeller uygulanan yapısal yükleri yakın zemin tabakalarına iletirler. Yüklerin iletilmesi esnasında zeminde hem basınç hem de kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerin büyüklükleri temel taban basıncına ve temel büyüklüğüne bağlıdır. Taban basıncının yeteri kadar büyük ve temelin yeterli boyutlarda olmaması durumunda, kayma gerilmeleri zeminin kayma direncini aşabilir. Bu durumda, taşıma gücü problemi ortaya çıkmaktadır (Coduta 2005).

Araştırmacılar taşıma gücü göçmelerinin (yenilmesi) üç tipini saptamışlardır. Bunlar:

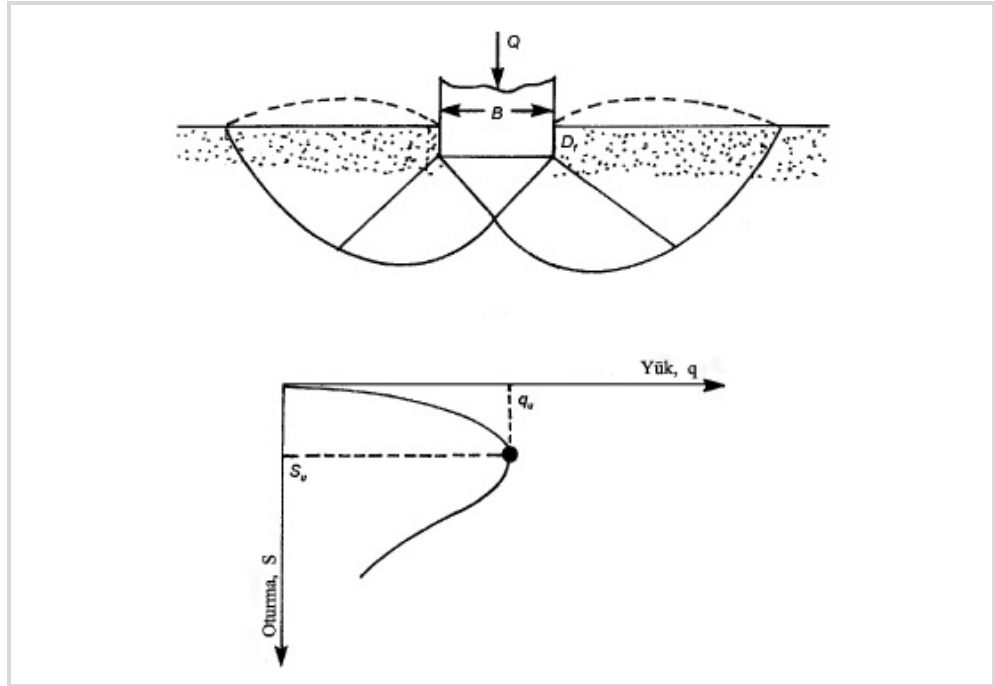
- Genel kayma göçmesi
- Bölgesel kayma göçmesi
- Zımbalama kayma göçmesi

Genel kayma göçmesi :En yaygın göçme şeklidir. Genellikle granüler, sert kohezyonlu zeminlerde ve orta sert kayalarda, drenajsız koşulun hakim olduğu yeteri kadar hızla yüklenen doygun normal konsolide killerde meydana gelmektedir (Şekil 2.1). İçsel sürtünme açısının (ϕ) $> 30^\circ$ veya rölatif sıklığın (D_r) $> \%67$ olduğu durumlarda

genel kayma kırılması görüldüğünü tespit etmişlerdir. Yük-oturma eğrisinde nihai taşıma kapasiteleri (q_u) kolayca belirlenebilir (Şekil 2.2).



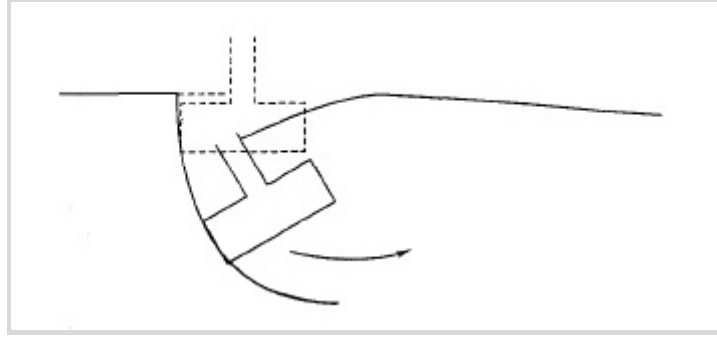
Şekil 2.1. Genel kayma göçmesi (Coduta 2005)



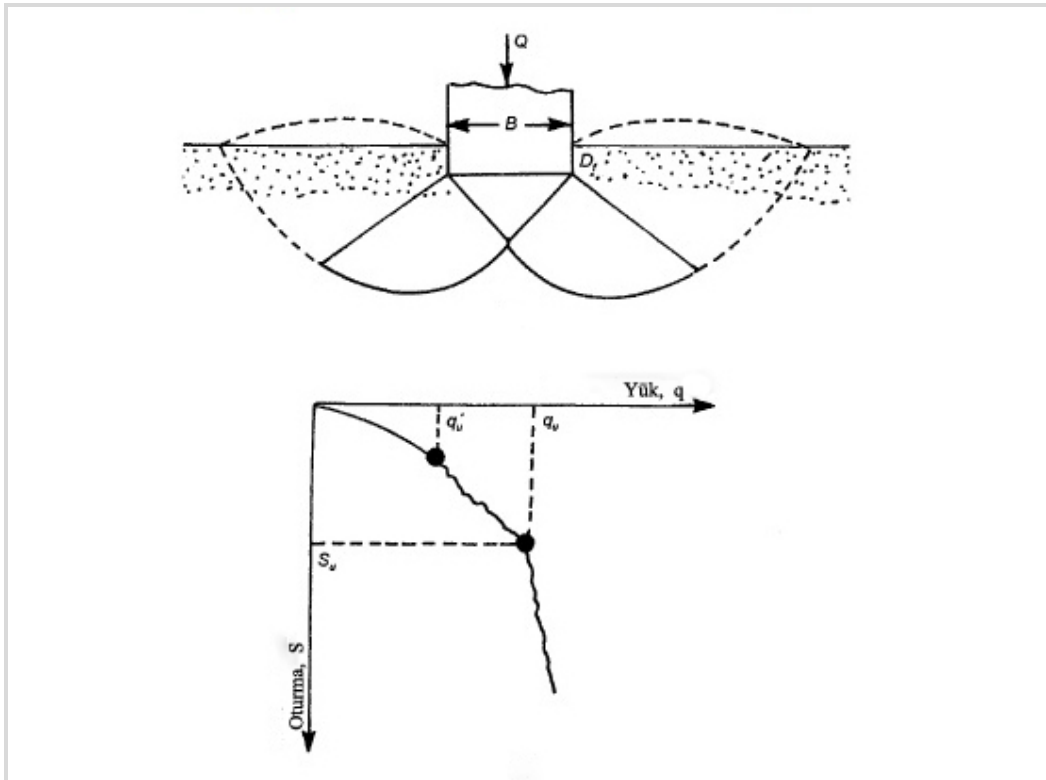
Şekil 2.2. Genel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das 1999)

Bölgesel kayma göçmesi: Kayma yüzeyleri temel altında iyi tanımlanmamış olup, daha sonra zemin yüzeyine yakın bir yerde belirsiz hale geçer (Şekil 2.3). Orta sıkı-gevşek

kumlarda ($30\% < D_r < 67\%$) veya hafif-orta aşırı konsolide killerde daha çok görülen göçme tipidir. Yük-oturma eğrisi üç bölgeden oluşmaktadır (Şekil 2.4.)

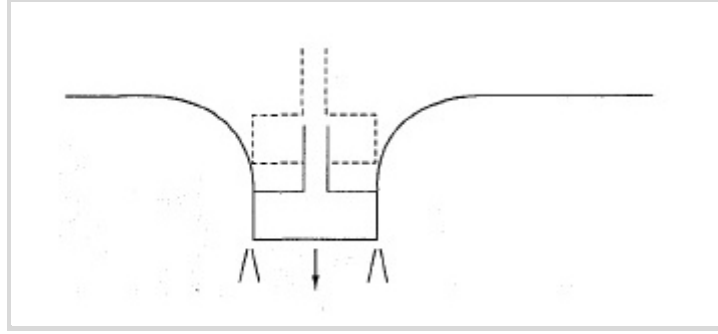


Şekil 2.3. Bölgesel kayma göçmesi yük-oturma (Coduta 2005)

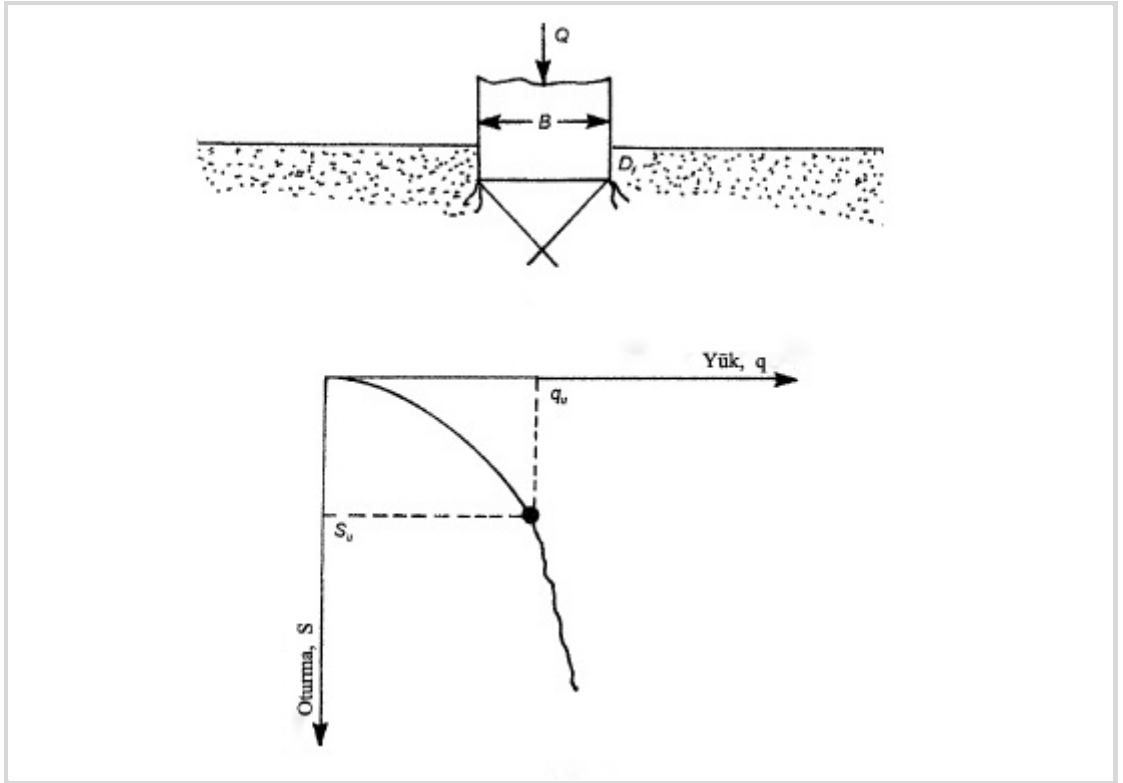


Şekil 2.4. Bölgesel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das 1999)

Zımbalama kayma göçmesi: Gevşek-çok gevşek kumlar, ($D_r < \%30$) batık siltler, moloz ve dolgular ile yumuşak kil tabakalarında yavaş drenajlı koşullar altında temel ortama bir zımba gibi girmekte, zemin yüzeyinde herhangi bir şekil değiştirme gözlenmemektedir (Şekil 2.5). Nihai taşıma gücü değeri çizilen eğrilerin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktasındaki değerler alınarak hesap edilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Zımbalama kayma göçmesi yük-oturma (Coduta 2005)



Şekil 2.6. Zımbalama kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das 1999)

2.1.2. Yüzeysel temellerin taşıma gücü

Binalarda büyük çoğunlukla yüzeysel temeller kullanılır. Bunun nedeni yüzeysel temellerin yapımının daha kolay ve maliyetinin düşük olmasıdır. Yüzeysel temellerin taşıma gücü yenilmesini analiz etmede ve bu gibi yenilmelerden kaçınacak şekilde tasarım yapmada aşağıdaki değişkenlerin bilinmesi daha doğru bir yaklaşım sağlamaktadır (Demiröz 2008). Bu değişkenler:

- Zeminin türü ve özellikleri
- Yük (eksenel, eksantrik ve eğimli olması durumunda)
- Temelin boyutları
- Temel derinliği
- Etkiyen moment ve titreşimler
- Temelin şekli
- Yeraltı su seviyesinin temele göre yeri,
- Yeraltı suyu var ise temelin yapımından ve yüklenmesinden sonra geçen süre,
- Temel tabanın pürüzlülüğü

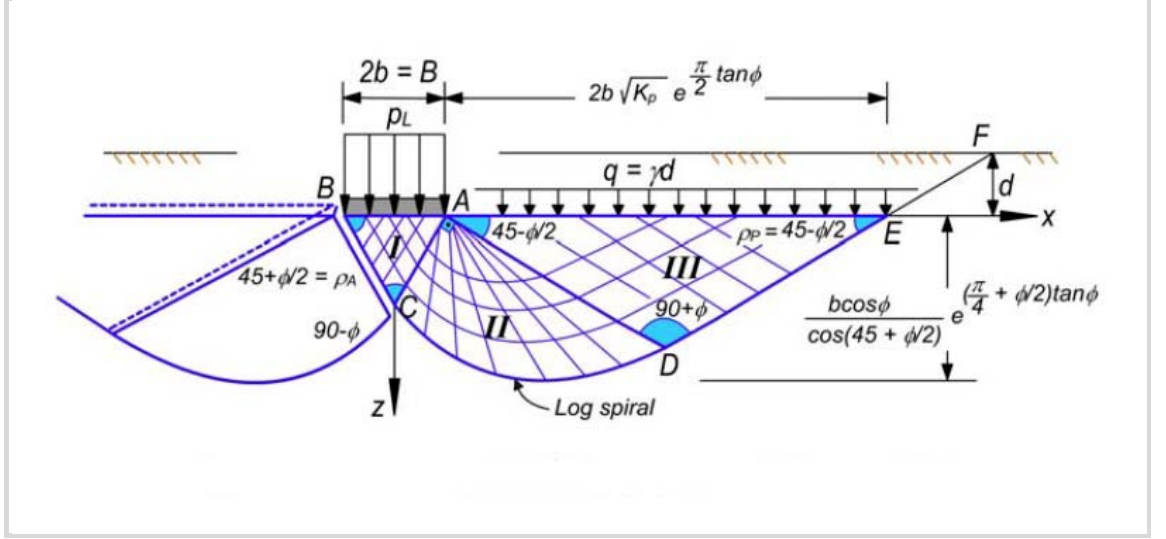
Zeminin taşıma gücünün belirlenmesinde araştırmacılar tarafından birçok teori ve yöntemler geliştirilmiştir.

Günümüzde en çok kullanılan yüzeysel temellerin taşıma gücü teorileri, Terzaghi 1943., Meyerhof 1951., Brinch-Hansen 1961., Vesic 1975., tarafından geliştirilmiştir.

Terzaghi taşıma gücü teorisi: Zeminlerin taşıma gücünü hesaplamada kullanılan çeşitli teoriler vardır, ancak yaygın olan Terzaghi teorisi, sürekli temeller (yani L/B oranı çok büyük olan temeller) için geliştirilmiştir.

Teorik çözümde genel kayma kırılması ve sürekli bir temel esas alınmıştır (Çelik 1997). Plastik denge durumunda (Şekil 2.7), temel altındaki zemin kayma yüzeyi beş bölgeden

oluşmaktadır. Bu bölgeler; I. Bölge (ABC) aktif bölgesi, II. Bölge (ACD) geçiş bölge adını alır ve III. Bölge (ADE) pasif bölgesi olur.



Şekil 2.7. Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması (Çinicioğlu 2005)

Teoride zeminle ilgili şu kabuller yapılmaktadır:

- Zemin homojen, izotrop ve kesme mukavemeti Coulomb teorisiyle gösterilmektedir.
- Temel pürüzlü bir tabana sahiptir.
- Elastik bölge sınırları, yatayla ϕ açısı yapan eğimli çizgilerdir.
- 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
- Pasif toprak basıncı üç bölümden oluşur. Ayrı ayrı hesaplanarak superpoze edilir.

Yukarıdaki kabuller göz önünde tutularak kare, dairesel ve şerit temeller için nihai taşıma gücü formülleri aşağıda verilmiştir.

Kare temeller için:

$$q_{nih} = 1,3cN_c + \gamma D_f N_q + 0,4\gamma B N_\gamma \quad (2.1)$$

Dairesel temeller için:

$$q_{nih} = 1,3cN_c + \gamma D_f N_q + 0,3\gamma B N_\gamma \quad (2.2)$$

Sürekli temeller için:

$$q_{nih} = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5\gamma B N_\gamma \quad (2.3)$$

Bu formüllerde;

N_c, N_q, N_γ : İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

c : Kohezyon

D_f : Temel derinliği

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

B : Temel genişliği

γD_f : Zemin yüzeyinden aşağıdaki D_f derinliğindeki efektif düşey gerilmeyi

Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi: Meyerhof (1951), kullanımı basit ancak ayrıntıya girmeyen Terzaghi denklemlerini şekil (s), derinlik (d) ve eğim (i) faktörleri ile geliştirmiştir. Böylece yüzeysel şerit temellerin taşıma gücü için aşağıdaki formülü vermiştir. Şekil, derinlik ve eğim faktörlerinin formülleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

$$q_{nih} = cN_c s_c d_c + \gamma D_f N_q s_q d_q + 0,5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2.4)$$

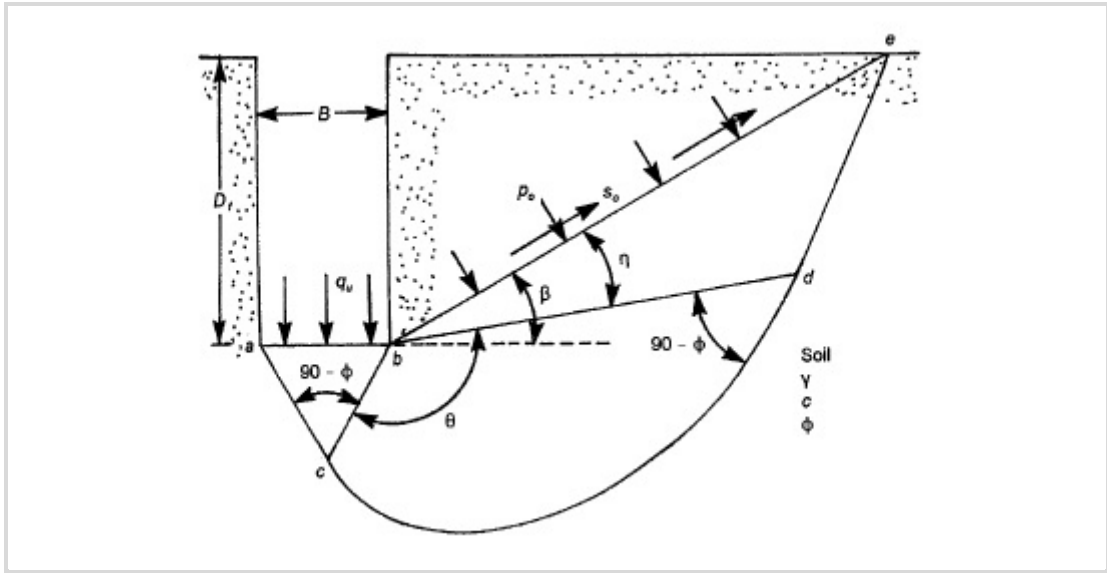
Eğik yük uygulanan durum için;

$$q_{nih} = cN_c s_c d_c i_c + \gamma D_f N_q s_q d_q i_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (2.5)$$

Çizelge 2.1. Meyerhof faktörleri (Meyerhof 1951)

	Şekil	Derinlik	Eğiklik
Herhangi (ϕ)	$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B}{L}$	$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$i_c = i_q = (1 - \frac{\alpha}{90})^2$
$\phi = 0^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1$	$d_q = d_\gamma = 1$	$i_\gamma = 1$
$\phi \geq 10^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B}{L}$	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$	$i_\gamma = (1 - \frac{\alpha}{\phi})^2$

Meyerhof taşıma gücü teorisinde kayma yüzeyleri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Meyerhof taşıma gücü teorisinde kayma yüzeyleri (Das 1999)

2.2. Donatılı Zeminler

Geosentetikler çatısı altında, geotekstil, geomembran, geogrid, geonet ve geokompozit gibi farklı işlevleri olan elemanlar bulunmaktadır. Geosentetiklerin inşaat mühendisliği uygulamalarındaki işlevleri Çizelge 2.2’de sunulmuştur (Örnek 2009).

Çizelge 2.2. Geosentetiklerin İşlev ve Çeşitleri (Örnek 2009)

Geosentetikler	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Koruma	Yalıtım
Geotekstil	•	•	○	○	•	○
Geomembran	○			○		•
Geogrid				•		
Geonet			•		○	
Geokompozit			•		○	○

- Ana İşlev
- İkincil İşlev

2.2.1. Donat çeşitleri

Geotekstiller :ASTM D4439 geotekstili, insan yapısı bir proje veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili kullanılan herhangi bir malzeme, geçirimli tekstil ürünüdür (Koerner 2005).

Geotekstillerin (Şekil 2.9) üretiminde yaygın olarak polipropilen, polyester, poliamid (nylon) ve polietilen hammaddeleri kullanılmaktadır. Bunların dışında mekanik, ısı ve kimyasal birleştirme gibi özel işlemler görmüş geotekstiller 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 (Yılmaz 2010).

Geotekstiller üretim şekillerine göre klasik, özel ve kompozit olarak üçe ayrılmaktadır (Demiröz 2008).



Şekil 2.9. Geotekstil (Anonim 2011)

Klasik geotekstiller: klasik tekstil teknolojisiyle geliştirilmiş, dokunmuş triko kumaşlar ve dokunmamış geotekstillerdir.

Dokunmuş klasik geotekstiller: dokuma tezgâhlarında sentetik ipliklerden bilinen kumaşlar gibi örülerek ve dokunarak imal edilen geotekstillerdir.

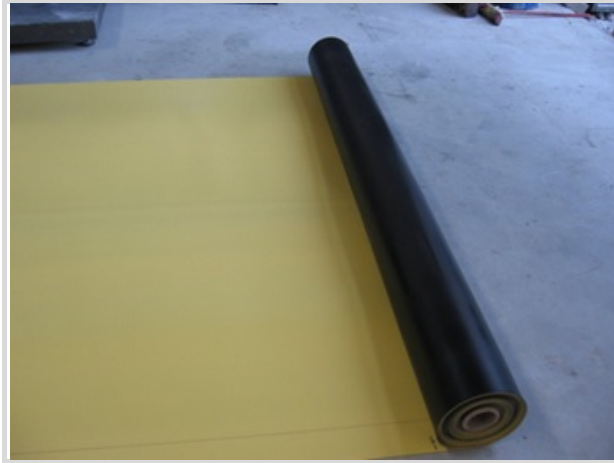
Dokumasız klasik geotekstiller: dokuma olmayan ürün, iplikleri belli yönde veya rasgele düzenlenmiş ve mekanik, kimyasal ve fiziki olarak bağlı, diğer bir ifade ile yün sanayinde kullanılan dokuma, dikiş, yorgan dikişi veya herhangi bir yöntem uygulanmadan üretilen geotekstillerdir.

Geomembranlar: ASTM 4439, geomembranı “geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı hareketlerini kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından elde edilen membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır (Koerner 1993).

Geomembranlar (Şekil 2.10); petrol ürünlerinden elde edilen yüksek yoğunlukta polietilen, polipropilen, asfalt, polimerize edilmiş damıtık bitümden, SBS (*Styrene Butadiene Styrene*) edilmiş bitümden, elastomerik polimerden, plastik ve kauçuktan

üretilen geçirimsiz örtülerdir. Geomembranların çevre, geoteknik ve hidrolik alanlarında kullanımları şu şekilde sıralanabilir (Demiröz 2008):

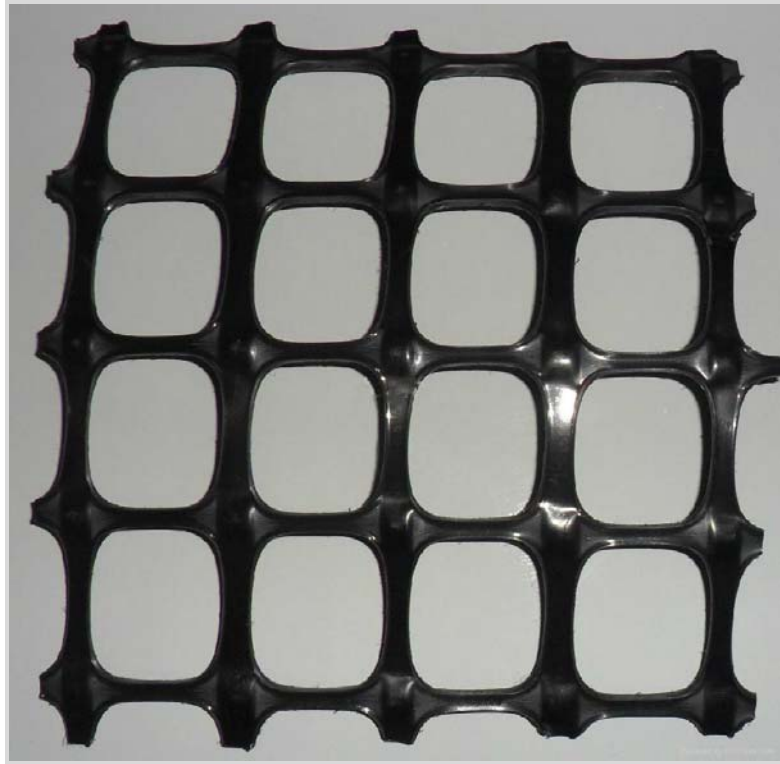
- Sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak,
- Su kanalları için kaplama malzemesi olarak,
- Çöp depolama alanlarında,
- Tehlikeli atık depolama alanlarında,
- Kıyı mühendisliğinde,
- Tünellerin içinde geçirimsizliği sağlamak için,
- Kaya dolgu barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında,
- Şişen zeminlerin kontrolünde,
- Dona hassas zeminlerin kontrolünde,
- Temellerin bohçalanmasında,
- Asfalt üst kaplamaların altında sızdırmazlığın sağlanmasında



Şekil 2.10. Geomembran (Anonim 2012)

Geogridler: Donatılı zemin uygulamalarında, taşıma gücü yönünden zayıf olan zeminleri güçlendirmek için donatı malzemesi olarak geogridler kullanılmaktadır. Geogridler, genellikle polietilen, polyester veya polipropilen cinsi polimerlerden üretilen, rijitlikleri ve çekme dayanımları yüksek ve sadece güçlendirme amaçlı olarak

kullanılan malzemelerdir. Geogridler, boşluklu olarak üretilirler ve diğer geosentetiklere göre çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyırılma direnci daha büyük, sünme (*creep*) özelliği ise daha küçüktür. Metal donatılara oranla daha yüksek donatı-zemin sürtünme katsayısına sahip olup, ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında kenetlenme etkisi oluşmaktadır. Geogridler (Şekil 2.11), tek eksenli ve çift eksenli olarak iki farklı tipte üretilmektedir (Örnek 2009).



Şekil 2.11. Geogrid (Anonymous 2013)

Geogridlerin kullanıldığı yerler (Çelik 1997) :

- Donatılı şevler,
- İstinat duvarları,
- Toprak kayması,
- Ses bariyerleri,
- Toprak barajları,

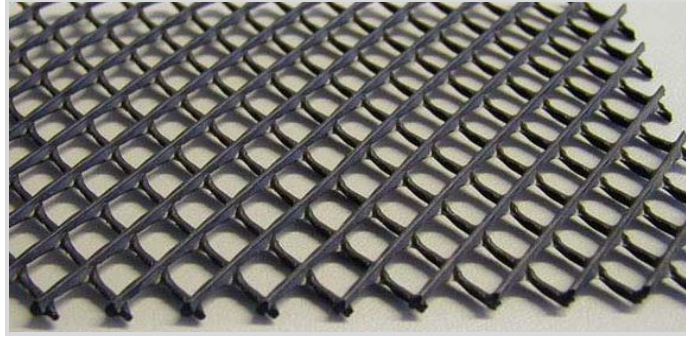
- Yol, Demir yolu ve Havaalanı temelleri,
- Asfalt olmayan yollar,
- Hava yolları,
- Temel zemininin güçlendirilmesidir.

Geonetler: Geonetler, çevre geotekniğinin ilk uygulaması olarak Hopewell, Virginia'da tehlikeli likit atık depolama tesisindeki sızıntıların tespit edilmesi için kullanılmıştır. Daha çok grid malzemelere benzeyen geonetler polietilenden imal edilmiş ve geogridlerin altında uygulanmaktadır. Kullanım alanı ayırma amaçlı olmamakla birlikte, bu özelliği de sağlamaktadır. Geonetler geotekstillere bir sıvı yapışkan ile bağlanır (Demiröz 2008).

Geonetler (Şekil 2.12),

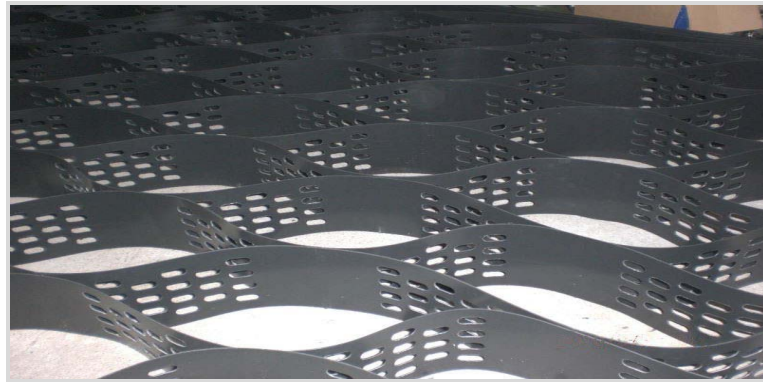
- İstinat duvarlarının arkasında su drenajı,
- Şevlerinden sızan suyun drenajı,
- Dona duyarlı zeminlerde su drenajı,
- Bina temellerin altında su drenajı,
- Katı atık depolama tesislerinde çöp suyunun drenajı,
- Otoyolların altında kirli su drenajı,
- Toprak dolguların altında alt drenaj sistemlerinde,
- Kaya şevlerinden sızan suyun drenajı,
- Spor sahalarının altında su drenajı,

amacıyla kullanılmaktadır (Koerner 1999).



Şekil 2.12. Geonet (Anonymous 2004)

Geohücreler: Geohücreli tutucu sistemler, içerisi zemin, kaya ya da betonla doldurulmuş üç boyutlu petek tarzı elamanlardır (Şekil 2.13). Bu sistemler genellikle geohücre olarak adlandırılmakta olup, şerit şeklinde polimer tabakalardan ya da geotekstillerden üretilmekte olup, çaprazlama olarak yerleştirilmekte ve kesişim noktalarından birbirlerine sabitlenmektedirler. Bu şeritler çekildikleri zaman geniş bir petek şeklinde örtüye dönüşmektedir. Geohücreler, şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda gerekli olan bariyer ve koruma elemanı olarak kullanılmaktadırlar (Yılmaz 2010).

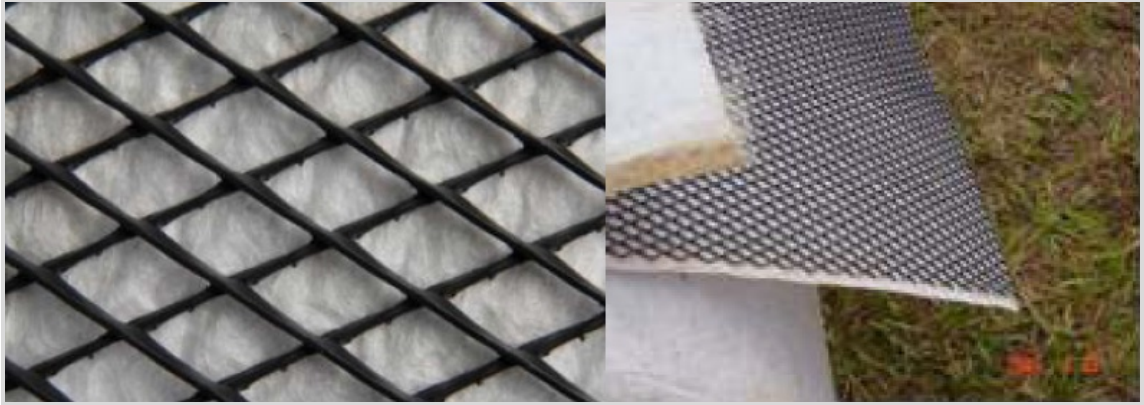


Şekil 2.13. Geohücre (Anonymous 2010)

Geokompozitler: Geokompozitler, geotekstil-geonet, geotekstil-geogrid, geotekstil-geomembran, geomembran-geonet ve hatta üç boyutlu polimerik hücre elemanlarından oluşabilir (Kotan 2008).

Geokompozitler birden fazla geosentetik ürünün kombinasyonu şeklindeki malzemelerdir. Bunlar ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj, koruma ve yalıtım amaçları için kullanılabilir (Kocaer 2011).

Çok geniş kullanım alanına sahip olan geokompozitler birden fazla fonksiyonu yerine getirerek, geosentetik malzemenin tek başına kullanımından daha faydalı olabilmektedirler. Örneğin, su tutma yapılarında geomembran, geçirimsizliği sağlarken örgüsüz geotekstil ile sürtünme artırılarak anroşmanın geomembran yüzeyinden kayması önlenir. Bazı durumlarda örgülü geotekstil koruma amacıyla başka geosentetik malzeme ile birlikte kullanılabilir (Özkoç 2006).



Şekil 2.14. Drenaj amaçlı uygulanan geotekstil-geonet geokompozit (Kocaer 2011)

Lifler: Donatılı zemin uygulamalarındaki başlıca amaç kaymaya ve basınca oranla çekme dayanımı zayıf olan zeminlerin güçlendirilmesi ve üzerlerinde yer alacak binaların stabilitesinin artırılmasıdır. Donatılı zeminler, zemin içerisine farklı hammaddelerden üretilmiş malzemelerin düzenli bir şekilde yerleştirilmesi ya da sentetik liflerin (Şekil 2.15) rastgele karıştırılıp yerleştirilmesiyle oluşturulabilirler. Donatı ve zeminin kompozit bir malzeme olarak çalışabilmesi zemin-donatı arasındaki sürtünme katsayısına ve donatının çekme dayanımına bağlıdır. Ayrıca donatı ve zeminin özellikleri kadar donatının yerleşim şekli, sıklığı, doğrultusu, uzunluğu ve zemin içerisindeki yoğunluğu da güçlendirmenin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır (Uğur 2009).

Donatılı zemin araştırmalarının çoğunda; donatı sayısının (N), donatılar arası mesafenin (h), donatılı bölge derinliğinin (d), donatı uzunluğunun (L), ilk donatı derinliğinin (u), temel derinliğinin (D_f) ve donatı cinsinin etkileri incelenmiştir. Genellikle sonuçlarda; donatı kullanımının taşıma kapasitesini artırdığı ve aynı yük değerlerindeki muhtemel oturmaları azalttığı görülmüştür (Çiçek 2011).



Şekil 2.15. Cam ve polyester lifler

Lifler şu şekilde sınıflandırılabilir:

❖ **Doğal lifler**

- Hindistan cevizi (Coconut) lifleri
- Hurma (Palm) lifleri
- Bambu (Bamboo) lifleri
- Şeker kamışı (Cane) lifleri

❖ Sentetik lifler

- Polipropilen (PP) lifler
- Polyester (PET) lifler
- Polietilen (PE) lifler
- Cam lifler
- Naylon lifler
- Çelik lifler
- Polivinil alkol (PVA) lifler

2.3. Rastgele Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri

Bu bölümde, geoteknik mühendisliğinde donatılı zeminlerle ilgili önceki yıllarda yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Donatılı zemin araştırmalarının çoğunda; donatı sayısının (N), donatılar arası mesafenin (h), donatılı bölge derinliğinin (d), donatı uzunluğunun (L), ilk donatı derinliğinin (u), temel derinliğinin (D_f) ve donatı cinsinin etkileri incelenmiştir. Genellikle sonuçlarda; donatı kullanımının taşıma kapasitesini artırdığı ve aynı yük değerlerindeki muhtemel oturmaları azalttığı görülmüştür.

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

Deneysel çalışmalarda model temel olarak farklı boyutlarda şerit, dikdörtgen, kare ve daire temeller seçilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken boyutsuz birimler elde edebilmek için geometrik parametreler temel genişliğine bölünmüştür. Model deneylerde, farklı donatı miktarı ve yerleşim düzeni için yük oturma eğrileri çizilmiş ve donatısız

durumda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Maksimum taşıma kapasitesini veren optimum değerler elde edilmeye çalışılmıştır.

Donatın rastgele yerleştirildiği çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde, rastgele donatılı çalışma kaynak özetleri aşağıya çıkarılmıştır.

Bauer and Oancea (1996) tarafından polipropilen lif ile güçlendirilmiş granüler zeminler üzerinde gerçekleştirilen üç eksenli basınç deneylerinde zemin-lif karışımlarına ait olan sekant modülü değerlerinin lif miktarındaki artış ile azaldığı (ağırlıkça $\rho=0,5$ lif içeriğine kadar) gözlenmiştir.

Wasti and Bütün (1996) model şerit temel kullanılarak farklı tip polipropilen liflerin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Kullandıkları model tankın boyutları, 0,51 m genişliğinde, 1,2 metre uzunluğunda ve 0,75 metre yüksekliğindedir. Model şerit temel, 250 mm (uzunluk) x50 mm (genişlik) x20 mm (kalınlık) boyutlu çelikten yapılmıştır. Kullandıkları liflerin boyutlarını 30x50 mm, 50x100 mm ve 10x10 mm ve liflerin ağırlıkça yüzdesini ise 0,075, 0,1 ve 0,15 olarak belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda; nihai taşıma kapasitesi oranı arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, kırılma anındaki oturmaları da karşılaştırmıştır.

Kumar *et al.* (1999) tarafından yapılan çalışmada, polyester lif malzemesi katkısının, siltli kumun CBR dayanımında ve pik kayma dayanımında artışa neden olduğu gözlenmiştir. Optimum lif oranını yaklaşık %0,3-%0,4 olarak belirlemiştir.

Kaniraj and Gayathri (2003) polyester lif karıştırılmış iki farklı uçucu külün geoteknik özelliklerinin lif oranıyla değişimini belirlemek için deneyler yapmışlardır. Karışımlarda iki farklı tip polyester lifi sabit oranda (%1,0) kullanılmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda; Standart proktor deneyinde, Dadri uçucu külünde belirgin bir değişim görülmezken, Rajghat uçucu külünde optimum su muhtevası azalırken maksimum kuru birim hacim ağırlığın arttığını belirlemişlerdir. Serbest basınç deneyinde ise, numunelerin 6 mm uzunluğundaki lifler kullandıkları zaman lifsiz

duruma daha fazla aksenal yük aldıklarını gözlemişlerdir. Azalan yüklerle birlikte deformasyonun da devam ettiğini belirlemişlerdir.

Yetimoğlu and Salbas (2003) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lif kullanımının kum zeminlerin kayma dayanımı davranışına etkisi direkt kesme kutusu deneyleri yardımı ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada, lif katkısının pik kayma dayanımı ve başlangıçtaki zemin rijitliği üzerinde pek etkili olmadığı, ancak kum zeminin rezidüel kayma dayanımını arttırdığı belirtilmiştir.

Hataf and Rahimi (2005) lastik donatılı kum zeminler üzerinde model deneyler yapmışlardır. 15 cm çapında daire temelde 34 adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. 4 mm kalınlığında, 1 m çapında ve 1 m yüksekliğe sahip tank kullanmışlardır. Deneylerde, boyutları 2x4 cm, 2x6 cm, 2x8 cm, 2x10 cm, 3x6 cm, 3x9 cm ve 3x12 cm ve hacimce oranı %10 ve %20 ve %30 ve %40 ve %50 olan araba lastikleri kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda, araba lastiğinin BCR değerini 1,17-3,9 arasında arttırmış ve maksimum taşıma gücü %40 ve 3x12 liflerde görülmüştür.

Yetimoğlu *et al.* (2005) geotekstil ve polipropilen lif ile güçlendirilmiş kum ve kil zemin üzerinde dairesel temel ile deneyler yapmışlardır. 152 mm çapında, 178 mm uzunluğunda deney tankı ve 50 mm çaplı dairesel temel kullanılmışlardır. Likit limiti=80, plastik limiti =31 olan kil ile birim hacim ağırlığı=17,1 kN/m³, rölatif sıklığı (D_r)=%64, Ünifomluluk katsayısı (C_u)=1,65 ve Eğrilik katsayısı(C_c)=1,09 olan kum numune ile deneyler yürütülmüşlerdir. Geotekstil ve polipropilen kullanılmasının taşıma kapasitesi oranını (BCR) önemli miktarda arttırdığını gözlemişlerdir.

Kumar *et al.* (2006) tarafından yapılan çalışmada, polyester lif katkısının kum ve kil zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Polyester lif katkısının zeminin serbest basınç mukavemetini ve sünekliğini arttırdığı görülmüştür. Yapılan çalışmada lif oranı %0 ve %0,5 ve %1 ve %1,5 ve %2 ve kil oranı %0-%12 arasında seçilmiştir. Sonuçlar taşıma kapasitesinin arttığı ve oturmaların azaldığı göstermiştir.

Kumar *et al.* (2007) şişen zemin-uçucu kül karışımı zeminlere kireç stabilizasyonu ve polyester lif katarak geoteknik özelliklerini incelemişlerdir. Hindistan uçucu külünü farklı oranlarda şişen zemine katmışlardır. Zemin-uçucu kül, zemin-kireç ve zemin-kireç-uçucu küle farklı oranlarda rastgele polyester lifler katarak geoteknik özelliklerini incelemişlerdir. Polyester liflerin zeminlerin serbest basınç mukavemetini önemli derecede arttırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca şişen zeminlerin uçucu kül, kireç ve polyester liflerle başarılı bir şekilde stabilize edildiğini görmüşlerdir.

Tang *et al.*(2007) kısa liflerle takviye edilmiş killi zeminlerin mukavemet ve mekanik özelliklerini incelenmiştir. Lif kullanımının dayanımı ve kopma anındaki şekil değiştirme değerini arttırdığı, lif ve çimentonun beraber kullanılması durumunda ise her ikisinin tek başına oluşturduğu dayanım artışlarının toplamından daha fazla dayanım artışı olduğunu belirlemişlerdir.

Tafreshi and Norouzi (2012) araba lastikleriyle rastgele donatılı kum zemin üzerine oturan kare temellerin taşıma kapasitesi üzerine bir çalışma yapmıştır. 20mm kalınlığında, 700 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliğe sahip deney tankı kullanmıştır. Kenar uzunluğu 100 mm olan kare temel plakası statik olarak yüklemiş ve çeşitli derinliklerde gerilme ölçümleri yapmıştır. Çalışma sonuçları aşağıda sıralanmıştır;

- Optimum lif muhtevası %5 olarak bulunmuştur.
- Maksimum taşıma kapasitesi oranını (BCR) yi veren efektif donatı derinliği 0,5B olarak belirlenmiştir.
- %5 lastik oranında maksimum taşıma kapasitesi 2,68 kat arttığı gözlenmiştir.

Kumar and Kaur (2012) polipropilen lif ile rastgele donatılardırılmış kum zeminler üzerine oturan kare temelin taşıma kapasitesini model deneyler vasıtasıyla araştırmıştır. Maksimum BCR için donatı tabakalarının yerleşim düzeni belirlenmiştir. 1,5 mx1,5m boyutlarında model tank ve 30cmx 30 cm boyutlarında kare temel kullanılmıştır.

Deneyleerde 45 mm uzunluğunda lifler kullanılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır;

- Rölafif sıklık artıkça BCR'de artmıştır.
- Donatılı tabaka derinliği 1,0B den sonra taşıma kapasitesinde fazla bir değişim gözlenmemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneylerde kullanılan kumun özellikleri

Deneylerde kullanılan kum Erzurum'daki kum ocağından elde edilmiştir. Kum numune, ASTM standartlarına göre sırasıyla 2 mm çaplı (No. 10) ve 500 µm çaplı (No. 35) eleklerden yıkanarak elenmiştir. Bu işlem sonucunda kumlar, etüvde 105°C kurutulduktan sonra kuru kum laboratuvarında oda sıcaklığında havalandırılmıştır (Şekil 3.1).

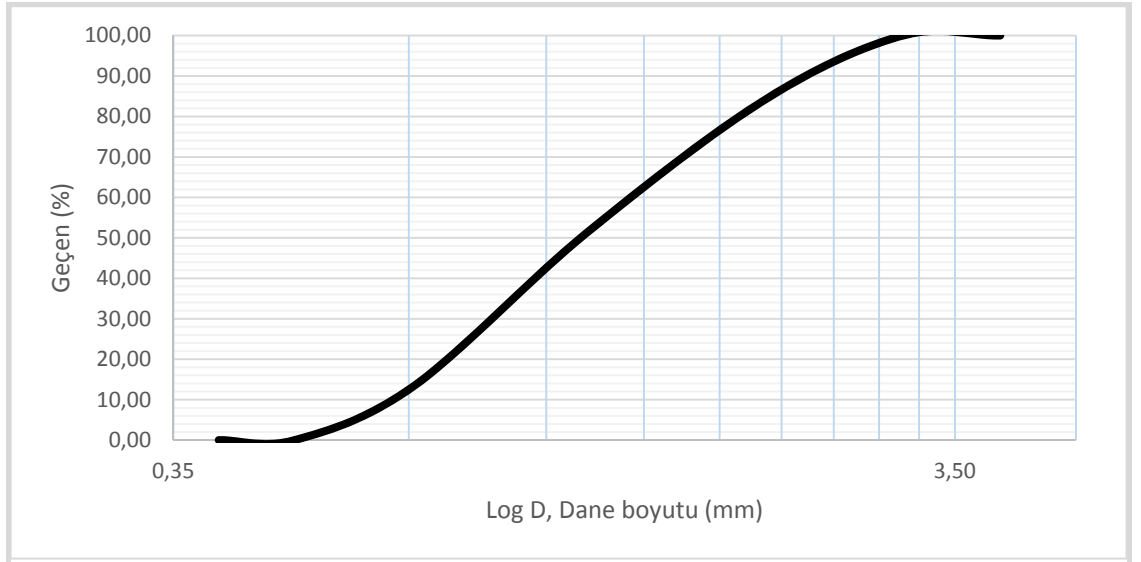


Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kum

Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarın' da deney kumunun indeks ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır.

Deney kumunun indeks ve mukavemet özelliklerini belirlemek için laboratuvarında, elek analizi, dane birim hacim ağırlığı deneyi, maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlık deneyleri ve kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Elek Analizi: Çalışmada kullanılan kum numuneler, ASTM standartlarına göre belirlenen bir seri elekten elenerek dane çapı dağılımları belirlenmiştir. Zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) kullanılarak, kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak elde edilmiştir. Elek analizi deney sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi ise Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Deney kumunun dane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 3.1. Elek analizi deney sonuçları

Granülometri Parametreleri	Değer
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Efektif Dane Çapı, D_{10} (mm)	0,67
D_{30} (mm)	0,89
D_{60} (mm)	1,48
Üniformluluk Katsayısı, $C_u = D_{60}/D_{10}$	2,21
Derecelenme Katsayısı, $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \cdot D_{10})$	0,80

Özgül ağırlığı: Deneyleerde kullanılan kumun özgül ağırlığını belirlemek için piknometre deneyi yapılmıştır (ASTM D854). Deneyleer en az üç kez tekrar edilmiş ve sonuçların ortalaması alınarak deney zemin için özgül ağırlığın $G=2,67$ olduğu hesaplanmıştır.

Maksimum ve minimum boşluk oranlarının belirlenmesi: Deneyleerde kullanılan kumun sıklığını belirlemek amacıyla ASTM D4253 –ASTM D4254 standartları doğrultusunda maksimum ve minimum birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Zeminin sıklığını ifade eden D_r ifadesi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır;

$$D_r = \frac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}} \quad (3.1)$$

Burada, e_{max} , e_{min} sırasıyla zeminin en gevşek ve en sıkı durumdaki boşluk oranlarını, 'e' ise deney tankındaki zeminin boşluk oranını göstermektedir.

Deney kumu tanka %65 sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu sıklık orta-sıkı zemin şartlarını ifade etmektedir. Deneyleerde kullanılan kumun boşluk oranı ve kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için, tanka yerleştirilen kumun ağırlığı tartılmış ve deney tankının hacmine bölünerek bulunmuştur. Bu işlemler tüm deneyleer boyunca tekrar edilmiş ve ortalaması alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

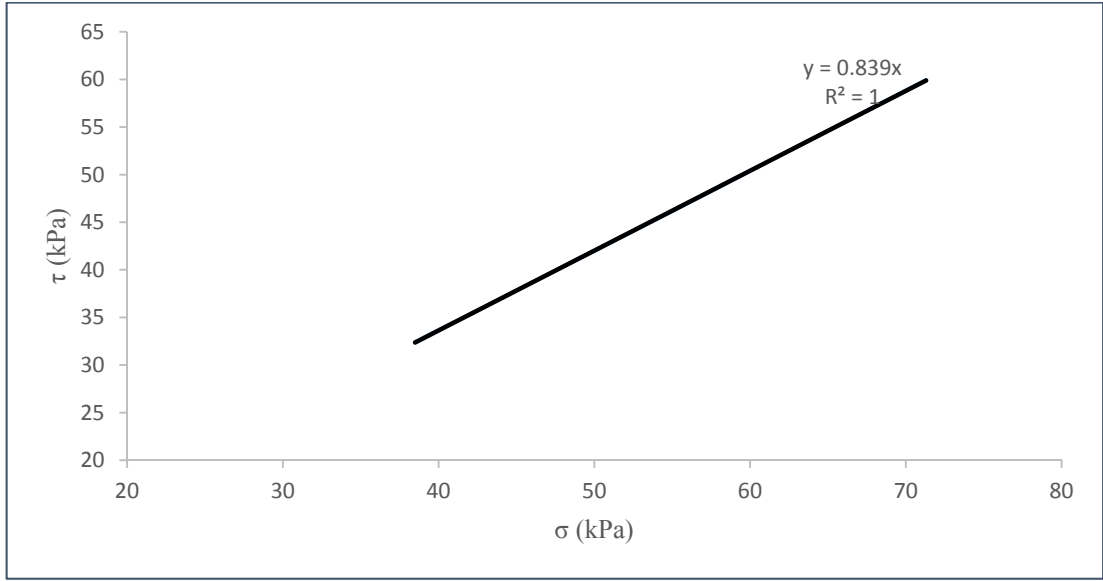
Çizelge 3.2. Rölatif sıklık deney sonuçları

Rölatif sıklık parametreleri	Birim	Değer
Özgül ağırlık (G_s)	-	2,67
Minimum boşluk oranı (e_{min})	-	0,52
Maksimum boşluk oranı (e_{max})	-	0,84
Boşluk oranı (e)	-	0,63
Minimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmin})	kN/m ³	14,2
Maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax})	kN/m ³	17,2
Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k)	kN/m ³	16,08

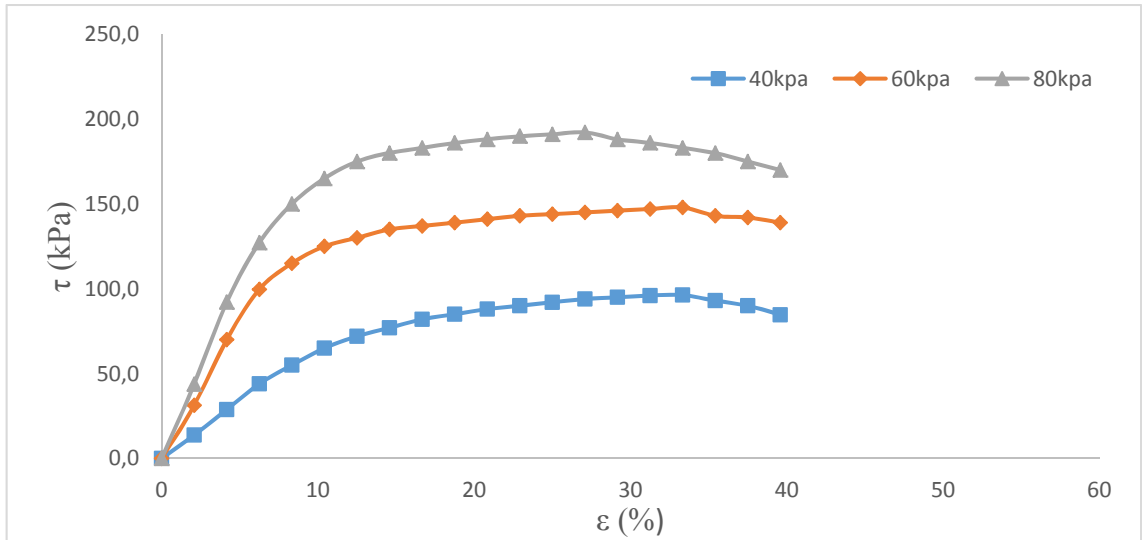
Kesme kutusu deneyi: Deney kumunun kayma mukavemeti parametrelerini tayin etmek amacıyla laboratuvarında kesme kutusu deneyi yapılmıştır (Şekil 3.3). Rölatif sıkılığı %65 olacak şekilde hazırlanmış olan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kohezyon $c=0$ kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi=46^\circ$ olarak bulunmuştur. Deneylerden elde edilen kırılma zarfı ve gerilme deformasyon eğrileri Şekil 3.4 ve 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.3. Kesme kutusu deney aleti



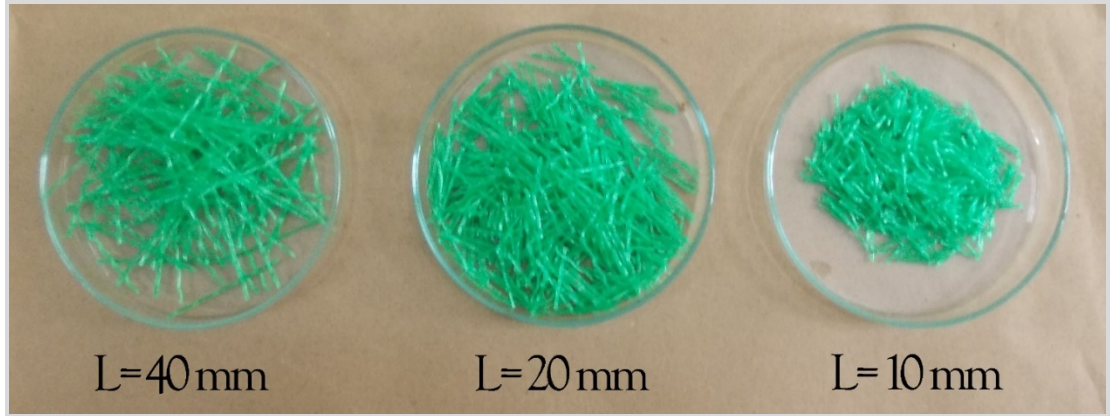
Şekil 3.4. Deney Kumunun kırılma zarfı



Şekil 3.5. Deney kumunun kesme kutusu deney sonucu

3.1.2. Deneyde kullanılan donatının özellikleri

Deneylerde 1 mm çapında dalgalı polipropilen fırça kılı donatı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.6). Liflerin çekme dayanımı 150 MPa ve yoğunluğu 9 kN/m^3 olarak belirlenmiştir.

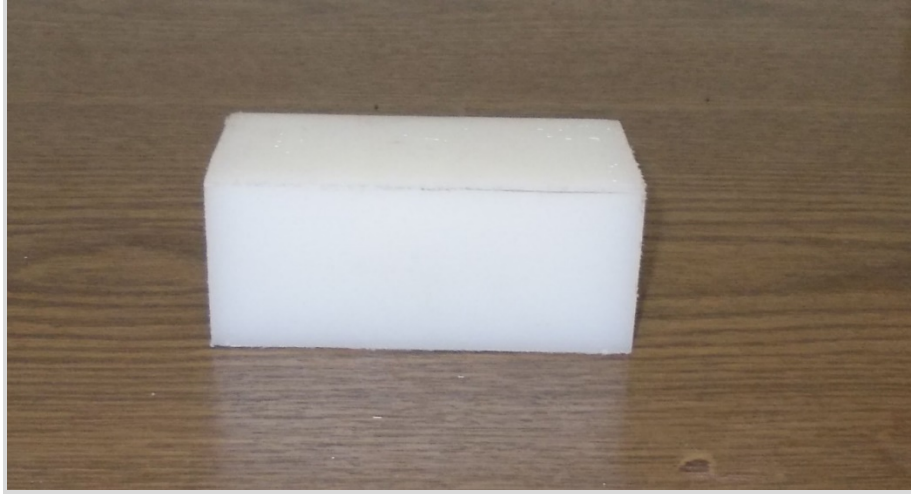


Şekil 3.6. Deneyleerde kullanılan polipropilen lif

3.1.3. Deney düzeneği

Kum numune üzerinde ilk önce donatısız, sonra da donatılı olmak üzere, kum zeminler üzerinde yapılan model plaka yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde kullanılan rijit polyamid model temel genişliği $B= 50$ mm olarak seçilmiştir. Polipropilen lif donatılı kum zemin üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörleri deneysel olarak araştırılmıştır.

Model Temel: Deneyleerde kullanılan rijit polyamid model temel genişliği $B= 50$ mm, yüksekliği $H=40$ mm ve uzunluğu $L=100$ mm olarak seçilmiştir (Şekil 3.7). Deney sırasında temelin üniform oturma yapıp yapmadığını kontrol etmek amacıyla temel plakasının iki köşesine iki tane deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. İki LVDT okuması birbirinden farklı olduğu zaman deney tekrar edilmiştir.



Şekil 3.7. Model temel plakası

Deney Tankı: Deney tankı, 100 cm (uzunluk), 10 cm (genişlik), ve 100 cm (yükseklik) boyutlarında teşkil edilmiştir. Ön yüzü 20 mm kalınlığında Fiber plaktan, arka ve yan yüzeyleri ise 5 mm olan çelik saçtan imal edilmiştir (Şekil 3.8). Ayrıca, deney tankı kutu ve L profillerle desteklenmiştir. Kumun rahatlıkla boşaltılması için tankın alt tarafında boşaltma haznesi yapılmıştır.



Şekil 3.8. Deney tankı

Yükleme Sistemi: Deneylede model temelin sabit bir hızla yüklenebilmesi için yüklemeye hızı ayarlanabilen 5000 kg kapasiteli hidrolik kriko kullanılmıştır. Yüklemeye düzeneği reaksiyon kirişine monte edilmiştir (Şekil 3.9, Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Yüklemeye Sistemi



Şekil 3.10. Hidrolik pompa kontrol ünitesi

Yük hücresi: Deneyleerde, temel plakasına gelen yük değerlerini belirlemek amacıyla CAS firması tarafından üretilen 5000 kg kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Şekil 3.11’de ve Çizelge 3.3’de yük hücresinin şekli ve özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.11. Deneyleerde kullanılan yük hücresi

Çizelge 3.3. Yük hücresinin özellikleri

Teknik özellikler	Açıklama
Model	SBA-5T
Kapasite (kg)	5000
Toplam Hata (%)	< 0,020
Minimum Ölçüm Aralığı (Vmin) (kg)	0,82
Yük Hücresi Malzemesi	Çelik

Deplasman ölçer (LVDT): Deneyleer sırasında, temel altında meydana gelen yer değiştirmeler; dijital LVDT’ler kullanılarak ölçülmüştür. Diagonal olarak temelin iki köşesine iki tane LVDT yerleştirilmiştir. LVDT’lerin, çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan LVDT’ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetinde okuma

yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 75 mm'lik LVDT'ler, kullanılmıştır. Temelin sağ ve solundaki oturmaları izlemek amacıyla yerleştirilen LVDT'ler temel merkezinden 30 mm uzaklığa yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Her iki LVDT'deki okumalar eşit olmadığı zaman merkezi yükleme şartını sağlamadığı için deneyler tekrar edilmiştir.



Şekil 3.12. Deplasman Ölçer

Veri toplama sistemi: Yük hücresi ve LVDT'lerden alınan değerler, 8 kanallı TESTBOX 1001 veri toplama cihazına aktarılmıştır. Veri toplama cihazının temel fonksiyonu, sensörlerden gelen yavaş değişen statik/yarı-statik sinyalleri dijital veriye çevirerek bilgisayar ortamına aktarmaktır (Şekil 3.13). Veri toplama sistemi TESTLAB-Basic yazılımı ile kullanılabilir. Deneye başlamadan önce her bir sensörün kalibrasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.13. Veri toplama sistemi

3.2. Yöntem

Donatısız ve donatılı deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kum Erzurum'daki kum ocağından elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan polipropilen lif ise fiberplas firmasından temin edilmiştir.

Deney tankı düz bir yüzeye yerleştirildikten sonra tankın düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiştir. İlk önce donatısız deneyler sonra donatılı deneyler yapılmıştır. Kum zemin tank içerisine 10 cm'lik, tabakalar halinde ve rölatif sıklığı %65 olacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla her bir tabaka için gerekli kum ağırlığı önceden hesaplanarak kontrollü bir şekilde sıkıştırma yapılmıştır. Donatılı deneylerde, temel plakasının altında itibaren 3B derinliğine kadar (15 cm) donatı yerleştirilmiştir. Donatılı deneylerde de aynı rölatif sıklığı sağlamak için her bir donatı yüzdesinde rölatif sıklık tekrar hesaplanmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra temel plakasının, üst yüzeyinin düzgünlüğü su terazi ile kontrol edilmiş ve temel plakası zemin yüzeyine yerleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan rijit polyamid model temelin genişliği $B=50$ mm, yüksekliği $H=40$ mm ve uzunluğu $L=100$ mm olarak seçilmiştir.

Yükleme hızı bütün deneyler için sabit değer olarak 1 mm/dak uygulanmıştır. Yüklem hızı belirlenirken literatürden faydalanılmıştır. Temel plakası ve cam yüzey arasındaki sürtünmeler ihmal edilmiştir. Deney öncesi tüm cihaz okumaları sıfırlanmıştır. Deneylerde LVDT ve yük hücresinden 10 saniyede bir veri kaydedilmiştir. Temelin iki köşesine yerleştirilen deplasman ölçerlerden temel plakasının oturması ve merkezi yüklem koşulu kontrol edilmiştir. Deney esnasında temellerde farklı oturmalar gözlemlendiğinde, yani merkezi yüklem koşulunu sağlanamadığında deney iptal edilmiştir. Bunun nedeninin temel ile yan yüzeyler arasına giren kum danelerinin fazla sürtünme göstermesinden kaynaklandığı varsayılmıştır.

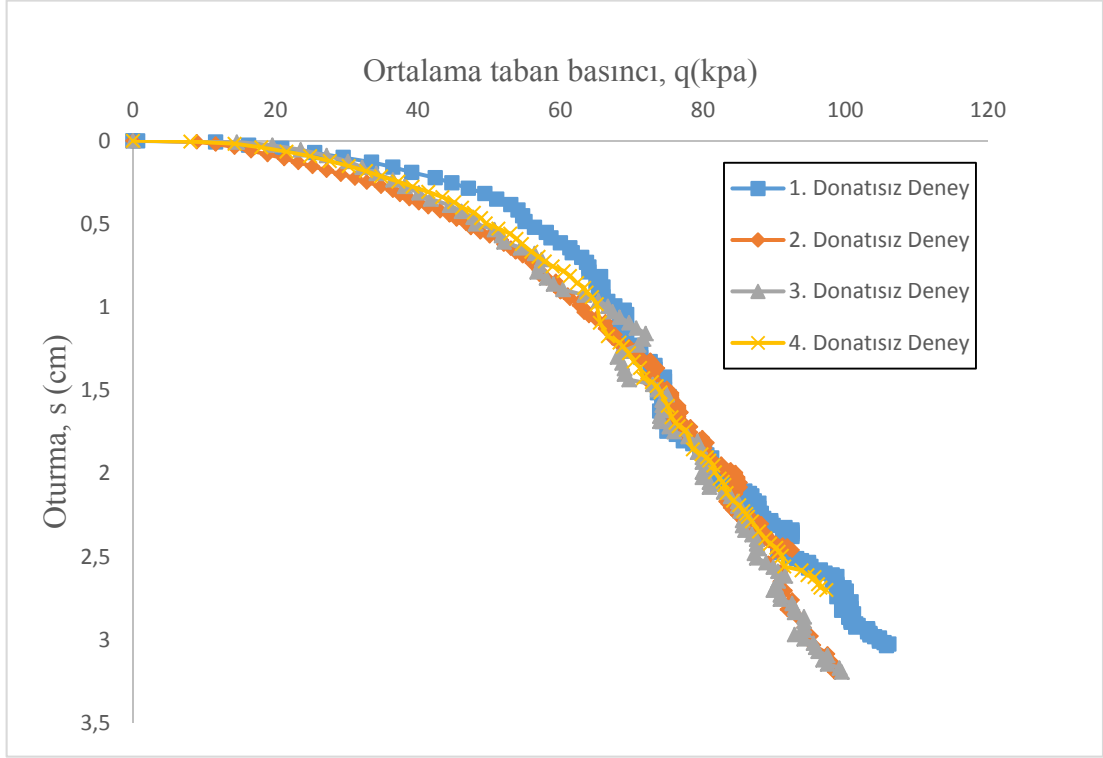
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ve değerlendirilmesi sunulmuştur. Donatısız ve donatılı kötü derecelenmiş orta sıkı bir kum zeminde polipropilen liflerle yapılan model yükleme deneyleri açıklanmıştır. Deneyler sonucunda, farklı uzunlukta ve ağırlık oranlarındaki liflerin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.

Donatısız ve donatılı orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temel için yapılan plaka yükleme deney sonuçları Ortalama taban basıncı (q)-Oturma (s) eğrileri ile açıklanmıştır. Donatısız ve donatılı deneylerden elde edilen sonuçlar ve yorumları ilgili bölümün altında açıklanmıştır.

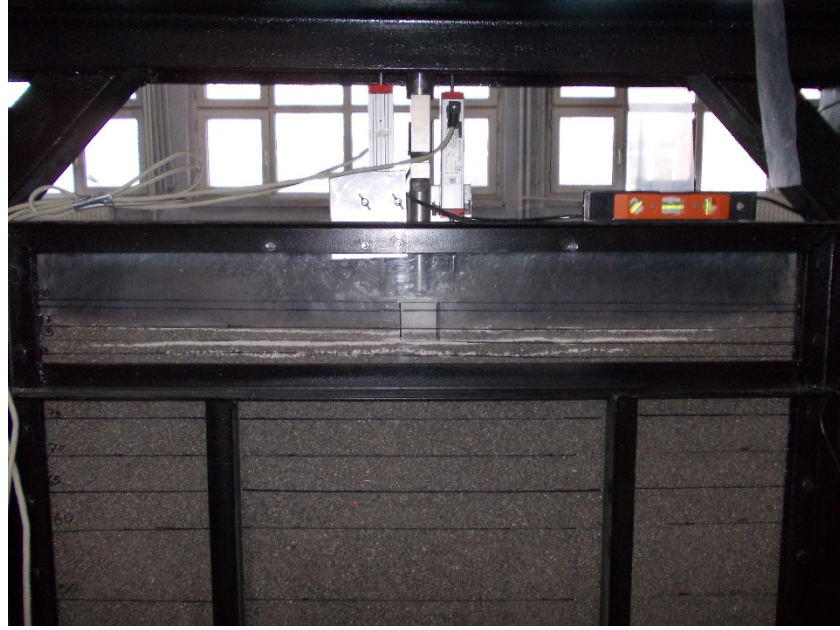
4.1. Donatısız Kum Zemindeki Deney Sonuçları

Polipropilen lif kullanılmadan önce donatısız deneyler yapılmıştır. Kum deney tankına istenilen sıklıkta ($D_r=65\%$) tabakalar halinde serilerek yerleştirilmiştir. Temel plakası olarak $B=5\text{cm}$ genişliğinde 4 cm kalınlığında polyamid plaka kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce tüm cihaz okumaları sıfırlanmıştır. Hidrolik kriko yardımıyla 1mm/dak hızla yükleme yapılmıştır. Temel plakasının oturması, diyagonal olarak yerleştirilen iki deplasman ölçerlerle gözlenmiştir. İki deplasman ölçerlerdeki oturmalar farklı olduğu zaman deney merkezi yükleme koşullarını sağlamadığı için tekrar edilmiştir. Tüm veriler bilgisayar tarafından otomatik olarak kaydedilmiştir. Donatısız deney modelinde, yapılan yükleme testlerinin sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı- oturma eğrileri Şekil 4.1’de verilmiştir. Merkezi yükleme koşullarını sağlayan dört adet deney sonucunun uyumlu olduğu görülmektedir. Donatısız deneyde kayma yüzeylerinin oluşmaya başladığı andaki nihai taşıma kapasitesi ortalama $q_{ul}=45\text{ kPa}$ olarak tespit edilmiştir. Zemin orta sıkı kum olduğu için kırılma yüzeylerinin tam olarak belirginleşmesi için deneye yaklaşık 3,5 cm oturma miktarına kadar devam edilmiştir.



Şekil 4.1. Donatısız deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri

Terzaghi (1943) kum zeminler üzerine oturan şerit temeller için tanımladığı nihai taşıma gücü; $q_u = 0,5\gamma BN_\gamma$ ifadesi ile belirtilmiştir. Terzaghi taşıma gücü teorisinden elde edilen nihai taşıma gücü ise $q_u=46$ kPa olarak belirlenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Şekil 4.2’de donatısız deney başlamadan önce deney tankının görünümünü, Şekil 4.3’de ise deney yapıldıktan sonra deney tankının görülmektedir. Beyaz ince şeritler halinde kumlar kullanılarak kayma yüzeyleri gözlemlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.2. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü



Şekil 4.3. Donatısız deney sonucu meydana gelen göçme

4.2. Rastgele Donatılı Zemindeki Deney Sonuçları

Bu bölümde, Farklı uzunluklarda ve farklı ağırlık oranlarında polipropilen lifler kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Deneylerde seçilen tüm parametreler literatür taranarak belirlenmiştir. Araştırmada, ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları incelenmiştir. Taşıma kapasitesi oranı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$BCR = \frac{q}{q_u} \quad (4.1)$$

Burada, BCR taşıma kapasitesi oranını, q donatılı durumdaki ortalama taban basıncını, q_u ise donatısız durumdaki ortalama taban basıncını göstermektedir. BCR değerleri belirlenirken donatılı deneylere ait ortalama taban basıncı-oturma eğrileri incelenmiştir. Oturmalar göreceli olarak büyük olduğu için belirli bir oturma oranına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasiteleri cinsinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca donatılı deneylerde ortalama taban basıncı-oturma eğrilerinin başlangıç ve bitiş noktalarından alınan teğetleri kesiştirerek nihai taşıma kapasiteleri de belirlenmiştir. Donatı uzunluğu ve donatı oranı arttıkça eğri doğrusal bir hal almakta buda nihai taşıma kapasitesini belirlemeyi zorlaştırmaktadır.

Donatılı deneylerde 1 mm çapında dalgalı polipropilen lifler kullanılmıştır. Parametre olarak lif uzunluğu ve ağırlıkça yüzdesi alınmıştır. Aşağıda bu parametrelere ait deney sonuçları ve yorumları verilmiştir. Çalışmalarda donatı derinliği sabit 15 cm olarak tutulmuştur. Donatı derinliğinin taşıma gücü üzerinde etkisi incelenmemiştir. Sabit bir lif uzunluğu dört farklı ağırlık oranında katılarak deneyler yapılmıştır. Daha sonra lif uzunluğu değiştirilerek aynı ağırlık oranlarında tekrar deneyler yapılmıştır. Deneylerde, 3 farklı lif uzunluğu ve farklı ağırlık oranları kullanılmıştır.

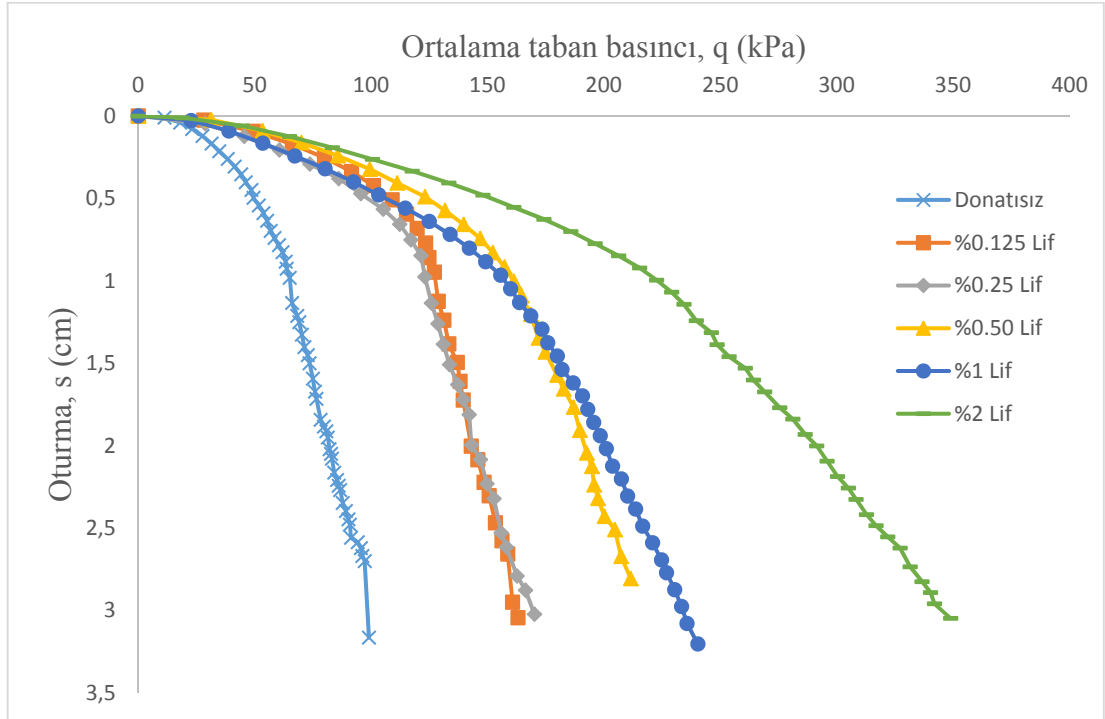
4.2.1. Sabit uzunlukta farklı ağırlık oranlarında polipropilen lif kullanılması durumunda deney sonuçları

Sabit bir lif uzunluğu alınarak donatı yüzdesi ağırlıkça değiştirilmiş ve ortalama taban basıncı-oturma grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlar ve yorumlar aşağıda sunulmuştur.

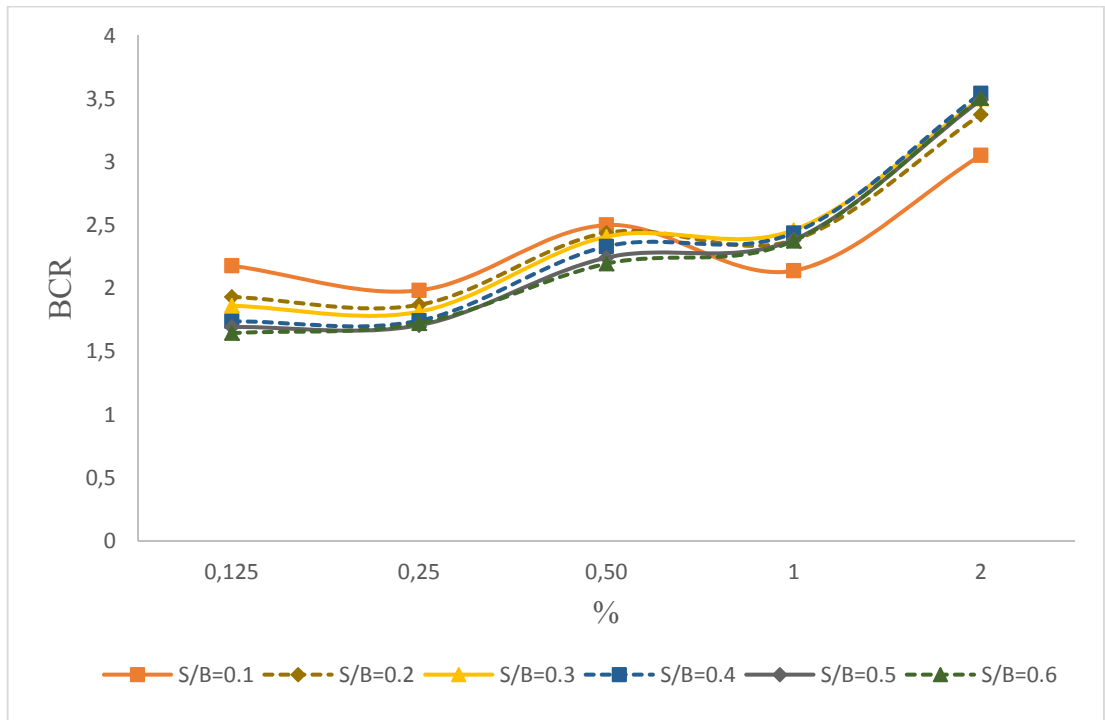
i. Polipropilen lif uzunluğu $L=10$ mm olması durumunda deney sonuçları

Hazırlanan kum zemin içerisine $L=10$ mm uzunluğunda polipropilen lifler 5 farklı ağırlık yüzdelerinde rastgele olarak yerleştirilmiştir. Her bir ağırlık yüzdesinde 3 adet deney yapılmıştır. Deneyler sırasında sabit bir rölatif sıklıkta ($D_r=65\%$) çalışılmıştır. Donatılı deneylerde aynı rölatif sıklığı temin etmek için, deney tankına konulacak zemin her bir donatı yüzdesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı ağırlıkça lif yüzdeleri için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

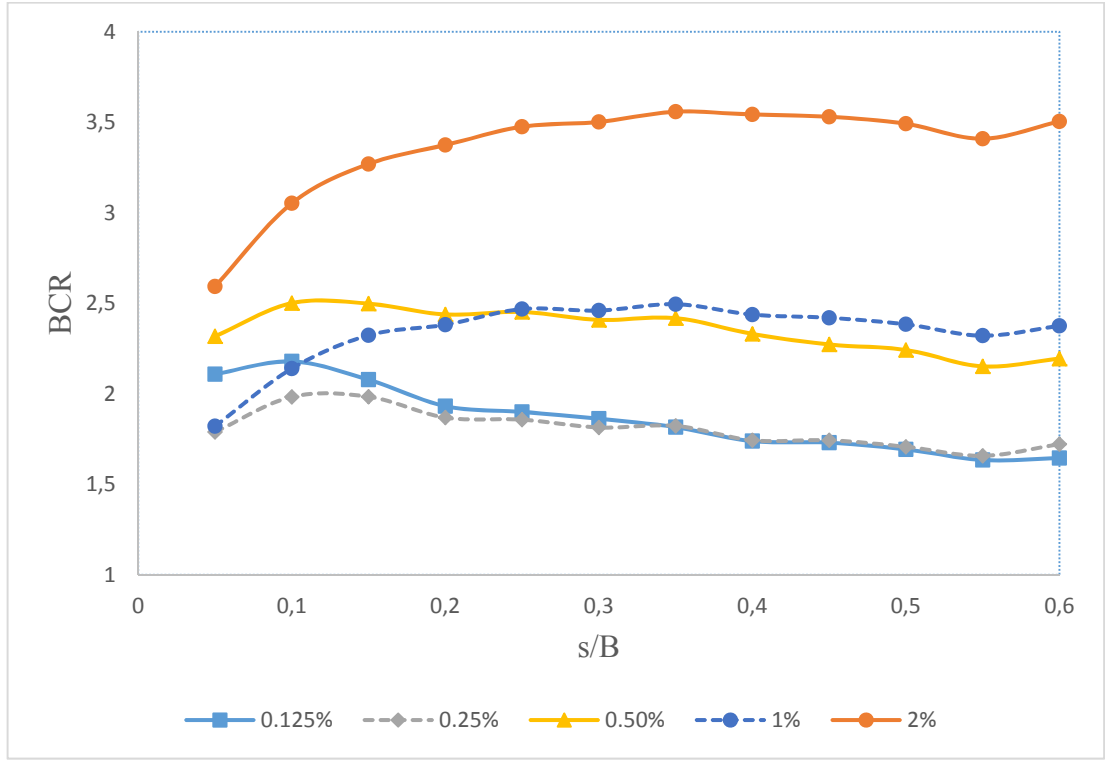
- Sabit polipropilen lif uzunluğunda ($L=10$ mm), lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin eğimi değişmiştir.
- Sabit bir oturma oranında (s/B), donatı yüzdesi arttıkça BCR değeri de artmıştır.
- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı yüzdesine bağlı olarak değişmiştir. Donatı yüzdesi arttığında kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır.
- Aynı lif oranında, s/B arttıkça ilk başta BCR değeri artmakta daha sonra yaklaşık aynı kalmaktadır. %2 lif oranında, $s/B=0,6$ için BCR yaklaşık 3,5 olmuştur.



Şekil 4.4. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.5. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde taşıma kapasitesi ilişkisi.



Şekil 4.6. L=10 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelerine karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

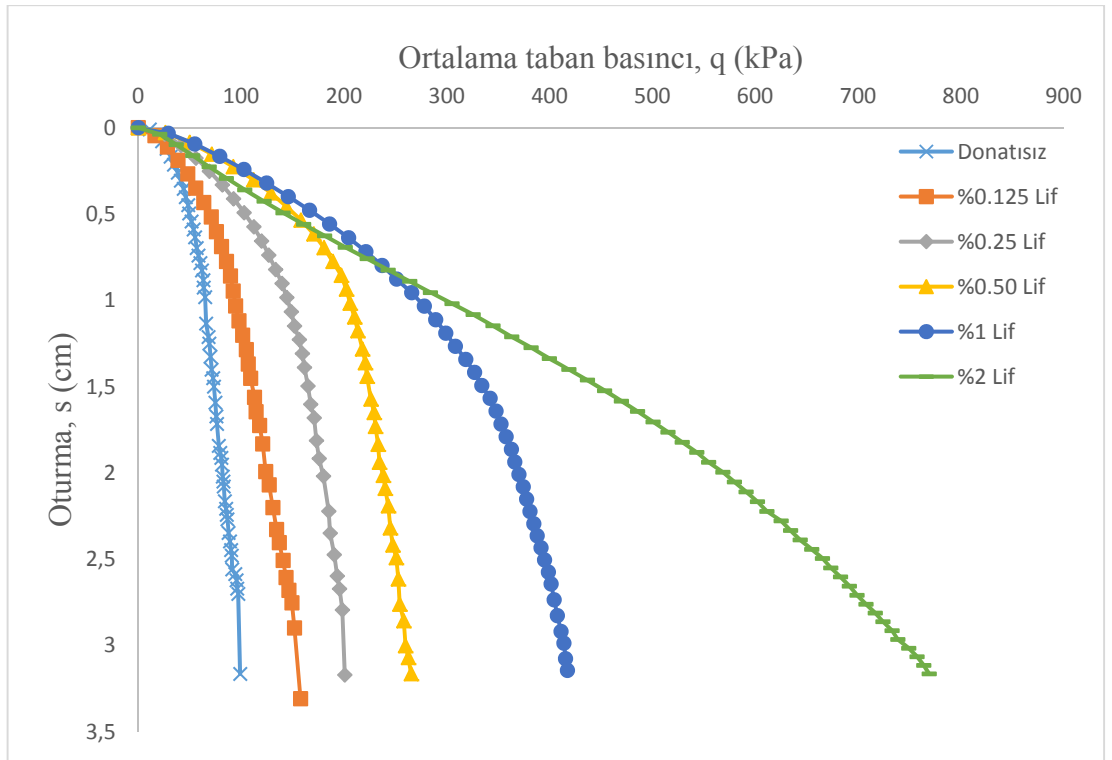
ii. Polipropilen lif uzunluğu L=20 mm olması durumunda deney sonuçları

Deneylemler sonunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı ağırlıkça lif yüzdeleri için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

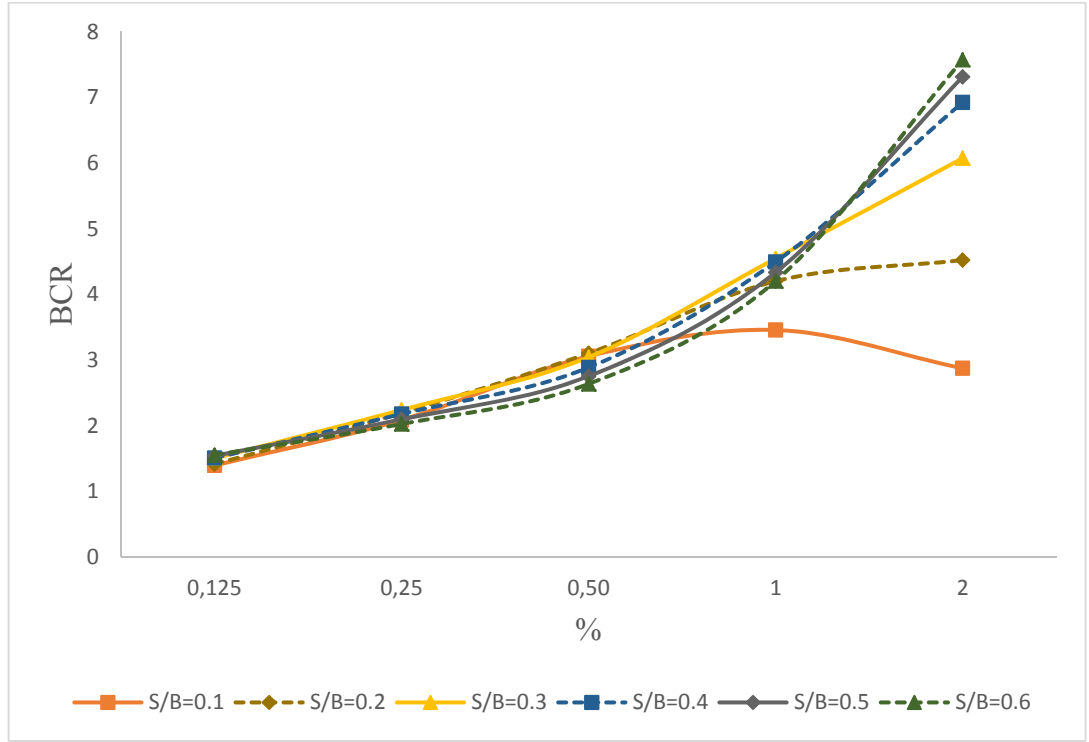
- Sabit polipropilen lif uzunluğunda(L=20 mm), lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır.
- Sabit bir oturma oranında (s/B), donatı yüzdesi arttıkça BCR değeri de artmıştır.
- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı yüzdesine bağlı olarak değişmiştir. Donatı yüzdesi arttığında kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin eğimi tamamen değişmiştir. Taban basıncı –

oturma grafiği yaklaşık doğrusal bir hal almıştır. Zeminin kırılmaya başladığı ylık değeri belirsizleşmiştir.

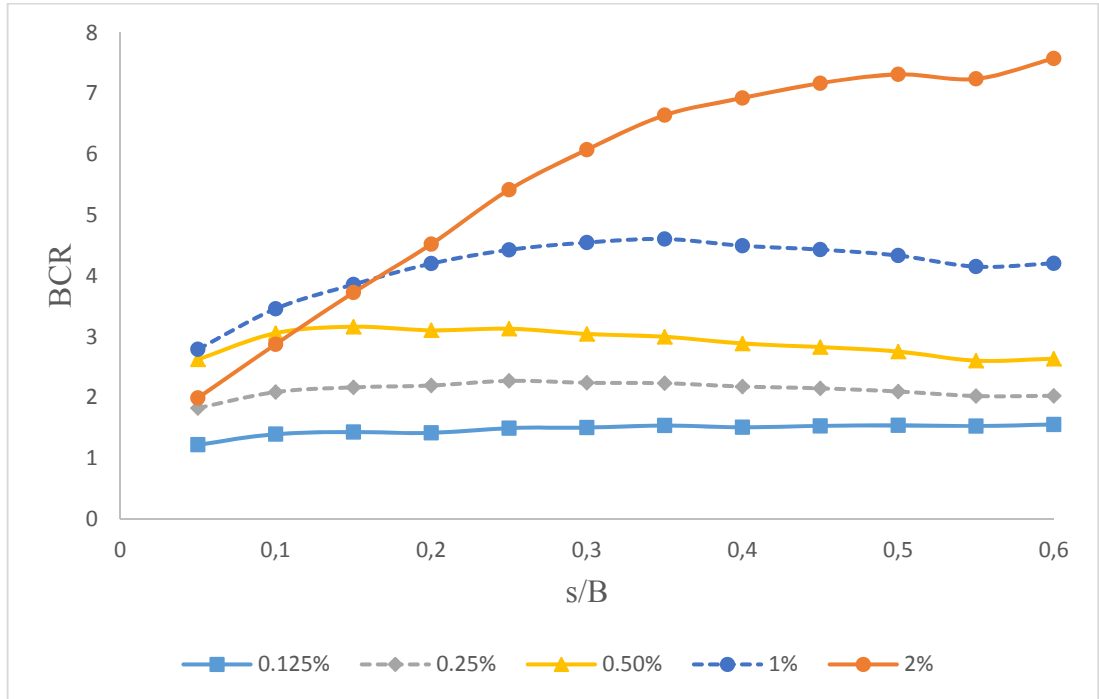
- %0,50 lif oranında kadar, başlangıç oturma oranlarında BCR yaklaşık 1,2-2,6 arasında olmakta ve oturma oranları arttıka sabit kalmaktadır. %1-%2 lif oranında ise, oturma oranı arttıka BCR değeri de artmaktadır. %2 lif oranında $s/B=0,6$ için BCR yaklaşık 7,5 olmuştur.



şekil 4.7. $L=20$ mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.8. $L=20$ mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde- taşıma kapasitesi ilişkisi.

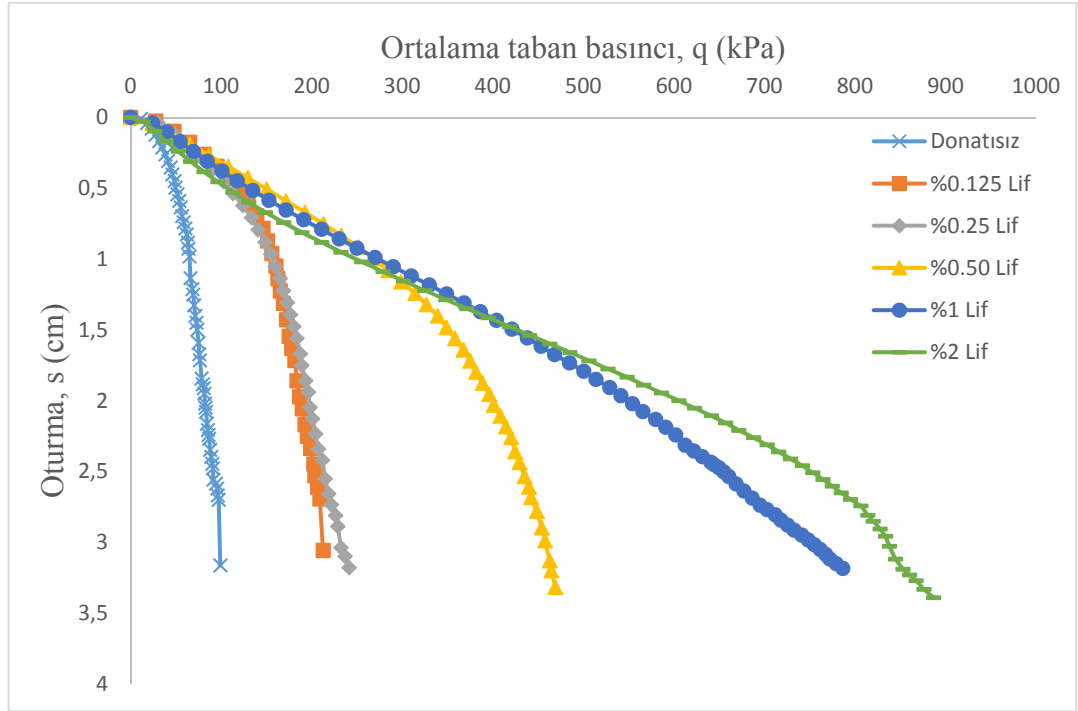


Şekil 4.9. $L=20$ mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelere karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

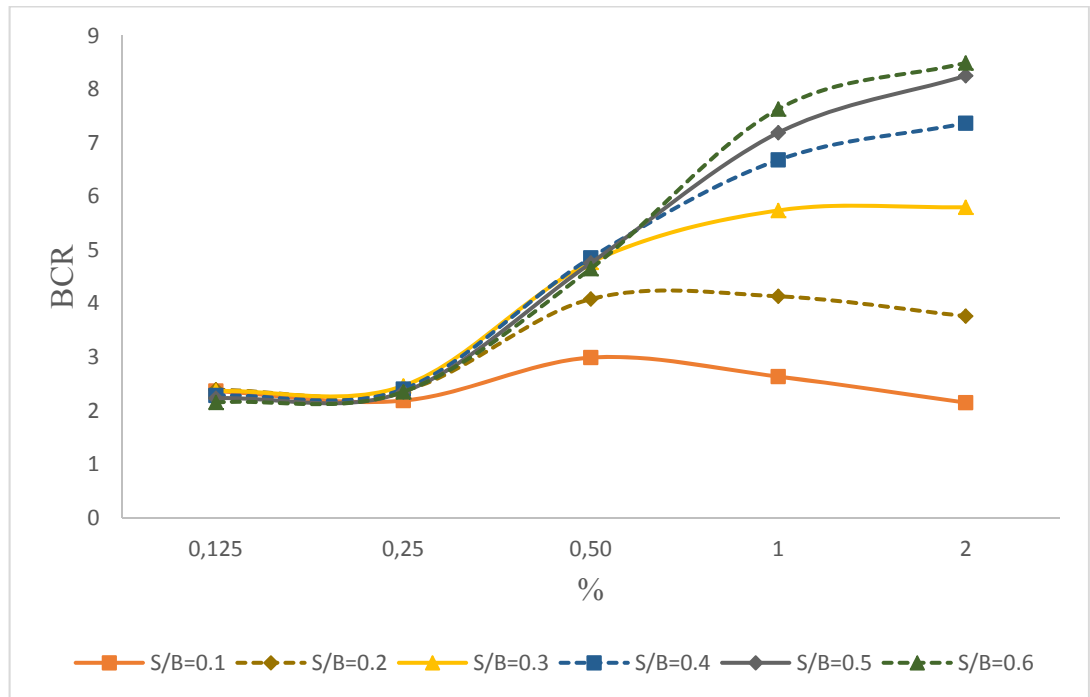
iii. Polipropilen lif uzunluğu $L=40$ mm olması durumunda deney sonuçları

Deneyle sonunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı ağırlıkça lif yüzdeleri için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

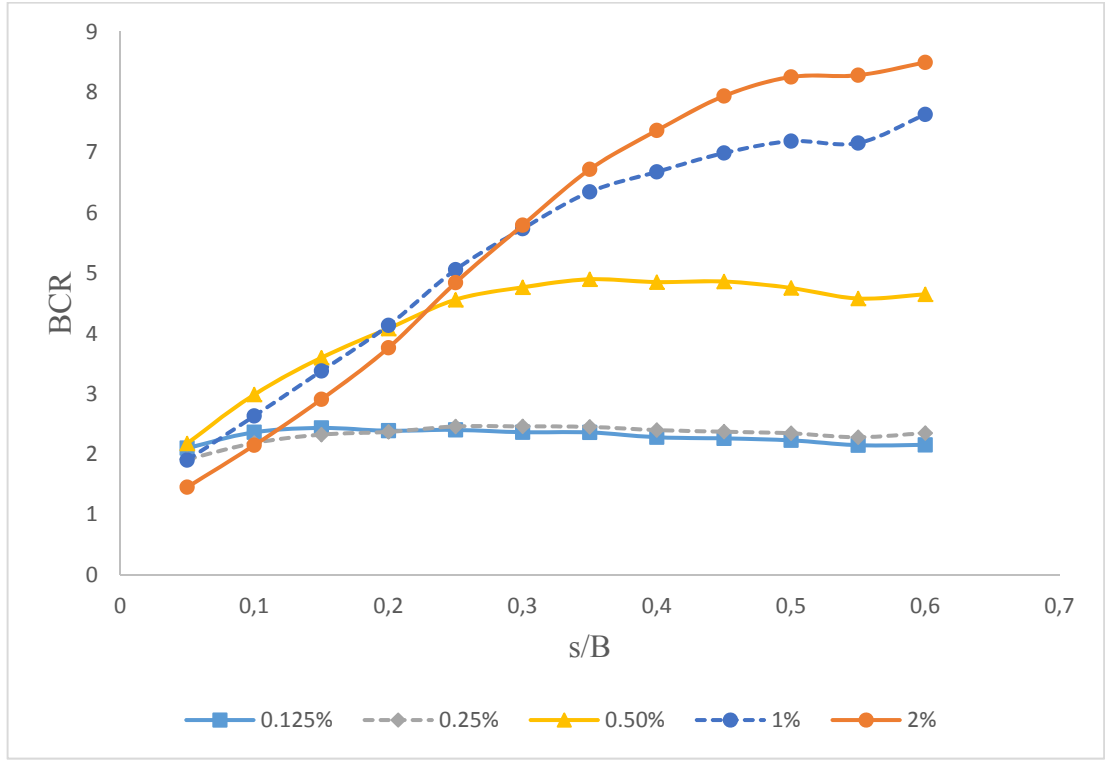
- Sabit polipropilen lif uzunluğunda ($L=40$ mm), lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır
- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı yüzdesine bağılı olarak değişmiştir. Donatı yüzdesi arttığında kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Lifin ağırlıkça yüzdesi arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin eğimi tamamen değişmiştir. Taban basıncı – oturma grafiğı yaklaşık lineer bir hal almıştır. Zeminin kırılmaya başladığı yük değeri belirsizleşmiştir.
- $s/B=0,2$ 'ye kadar, en yüksek BCR değerini %0,50 lif yüzdesinde vermiştir. Diğer oturma oranlarında ise, oturma oranı arttıkça BCR değeri de artmıştır.
- %0,25 lif oranına kadar, başlangıç oturma oranlarında BCR yaklaşık 2 olmakta ve oturma oranları arttıkça sabit kalmaktadır. %0,5-%1-%2 lif oranlarında ise, oturma oranı arttıkça BCR değeri de artmıştır. %2 lif oranında oturma oranı (s/B)=0,6 için BCR yaklaşık 8,5 olmaktadır.



Şekil 4.10. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oranlarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.11. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen ağırlıkça yüzde- taşıma kapasitesi ilişkisi.



Şekil 4.12. L=40 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin değişik ağırlıkça yüzdelere karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

4.2.2. Sabit ağırlık oranında farklı uzunlukta polipropilen lif kullanılması durumunda deney sonuçları

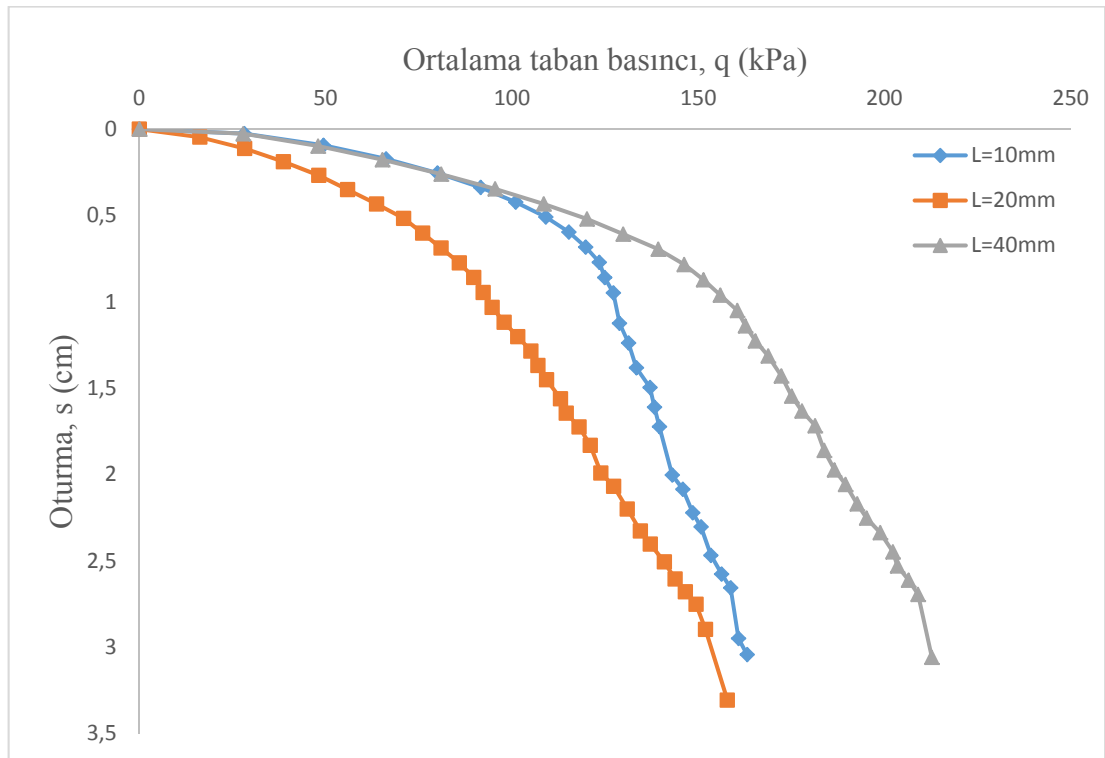
Aynı ağırlık yüzdesinde fakat farklı uzunluklarda polipropilen lif katılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma grafikleri her bir ağırlık yüzdesi için ayrı ayrı sunulmuştur.

i. Ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinin %0,125 olması durumunda deney sonuçları

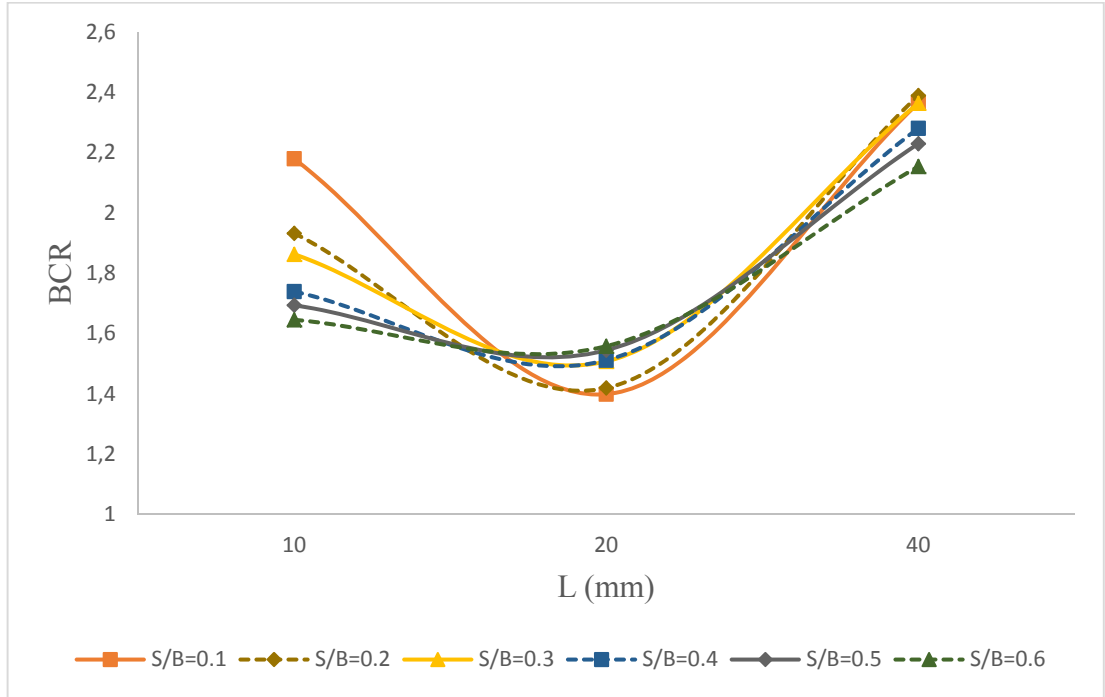
Sabit lif uzunluğu olması durumunda lifin ağırlıkça yüzdesi değiştirilerek ortalama taban basıncı-oturma grafikleri çizilmiştir. Ağırlıkça %0,125 lif kullanılması durumunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı lif uzunlukları için

hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.13, Şekil 4.14. ve Şekil 4.15'deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

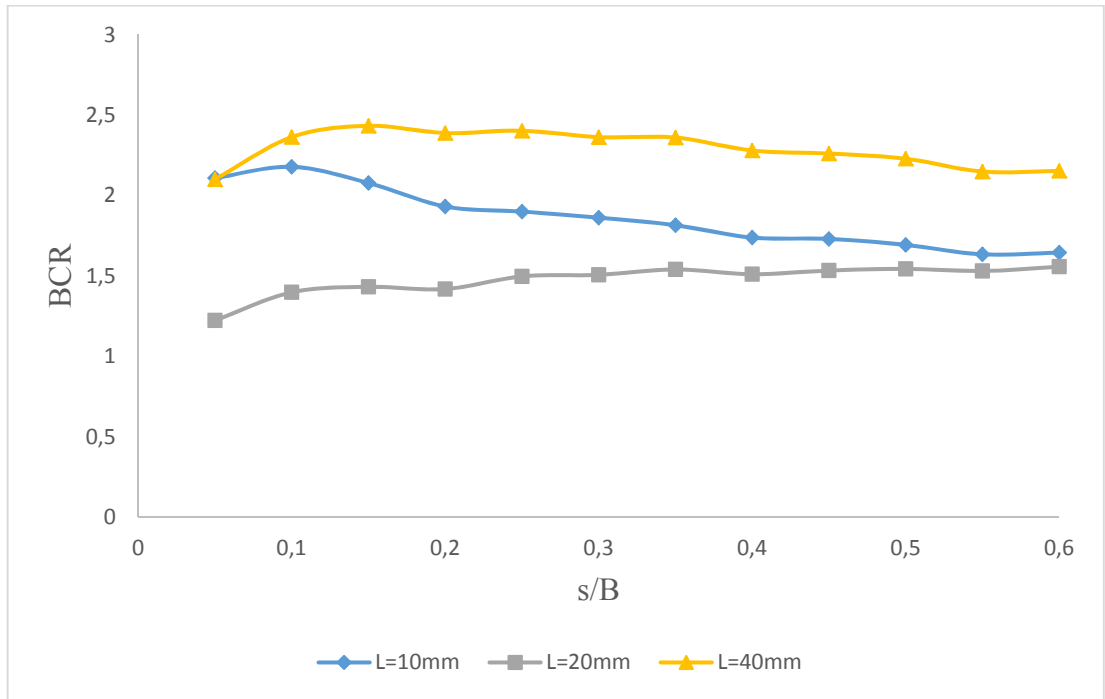
- Sabit ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinde (%0,125), lifin uzunluğu arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı uzunluğuna bağlı olarak değişmiştir. Donatı uzunluğu arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır.
- %0,125 lif kullanılması durumunda, sabit oturma oranında en düşük BCR, L=20 mm uzunluğundaki liflerde çıkmıştır.
- %0,125 lif kullanılması durumunda, sabit lif uzunluğunda, küçük oturma oranlarına BCR artmış oturma oranları arttıkça BCR değeri çok fazla değişmemiştir.
- %0,125 lif kullanılması durumunda, L=40 mm uzunluğunda lif ve s/B=0,6 için BCR=2,15 olmuştur.



Şekil 4.13. Ağırlıkça %0,125 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.14. Ağırlıkça %0,125 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi.

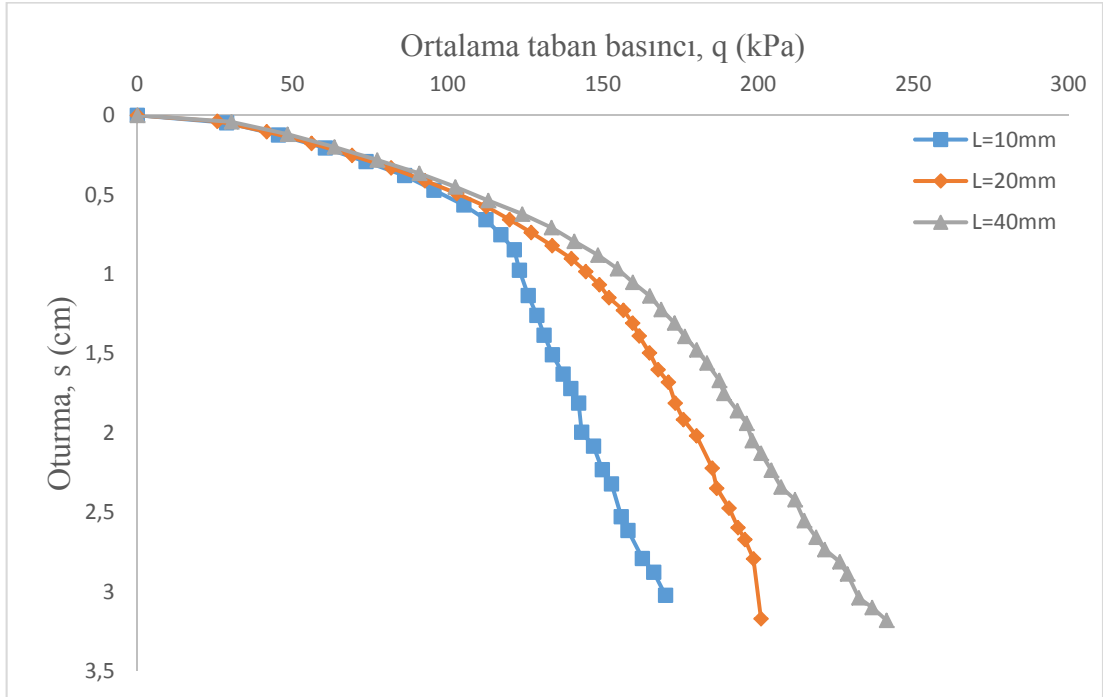


Şekil 4.15. Ağırlıkça %0,125 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

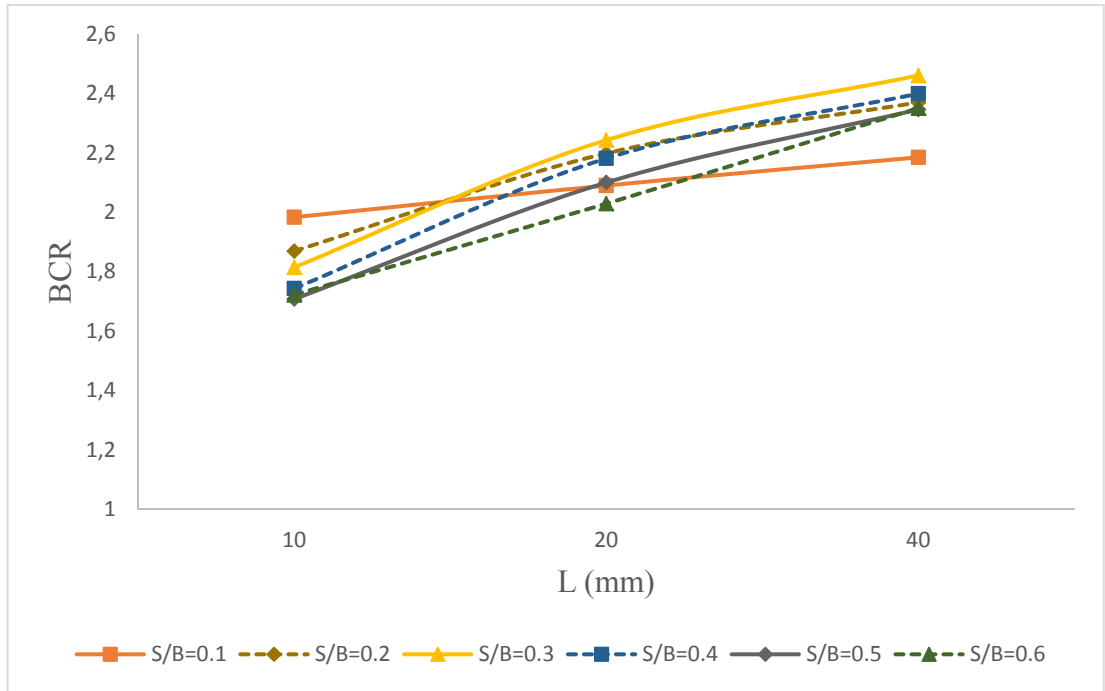
ii. Ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinin %0,250 olması durumunda deney sonuçları

Ağırlıkça %0,25 lif kullanılması durumunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı lif uzunlukları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.16, Şekil 4.17. ve Şekil 4.18'deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

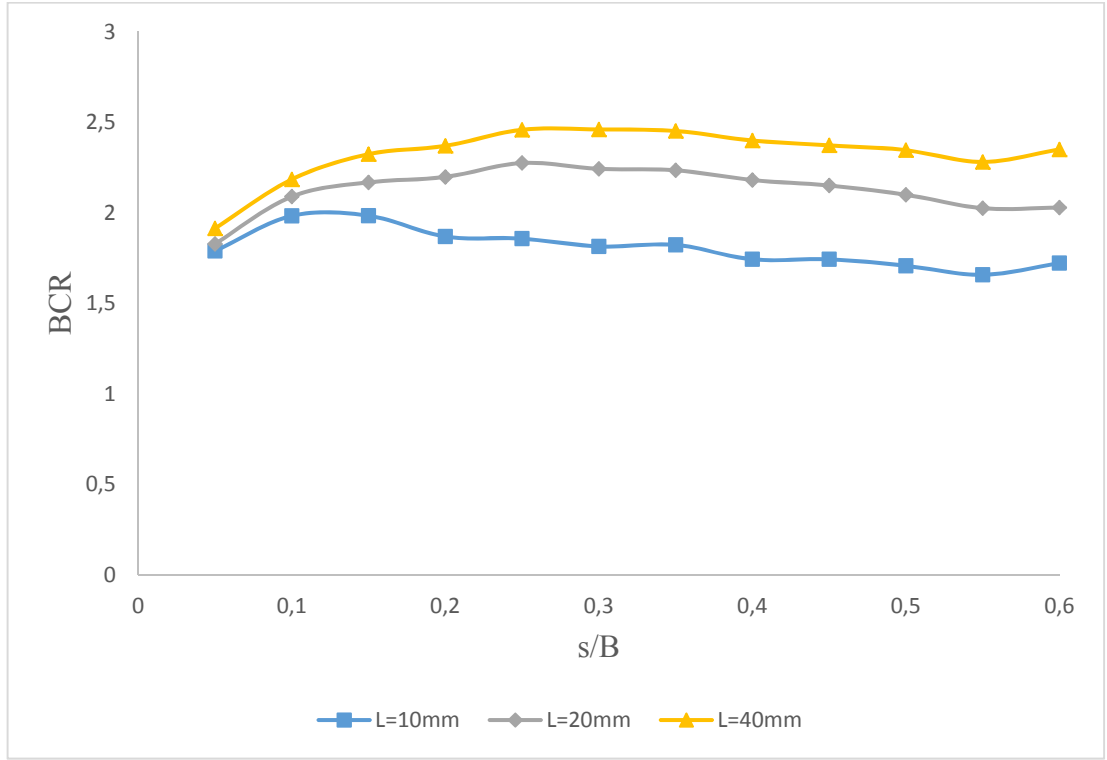
- Sabit ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinde (%0,25), lifin uzunluğu arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı uzunluğuna bağlı olarak değişmiştir. Donatı uzunluğu arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır.
- %0,25 lif kullanılması durumunda, sabit oturma oranında lif uzunluğu arttıkça BCR de artmıştır. $s/B=0,6$ için, $L= 40$ mm uzunluğunda %0,25 lif kullanılması durumunda $BCR=2,35$ olmuştur
- %0,25 lif kullanılması durumunda, sabit lif uzunluğunda, küçük oturma oranlarında BCR artmış oturma oranları arttıkça BCR değeri çok fazla değişmemiştir.



Şekil 4.16. Ağırlıkça %0,25 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.17. Ağırlıkça %0,25 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi.



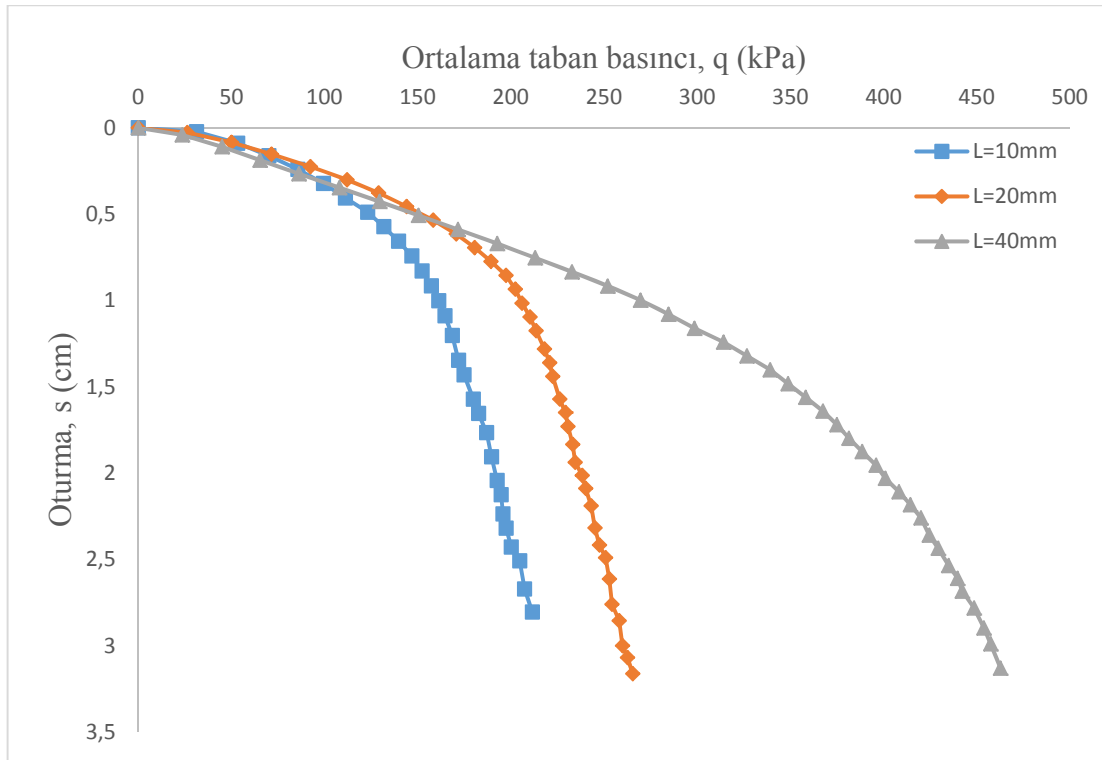
Şekil 4.18. Ağırlıkça %0,25 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

iii. Ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinin %0,50 olması durumunda deney sonuçları

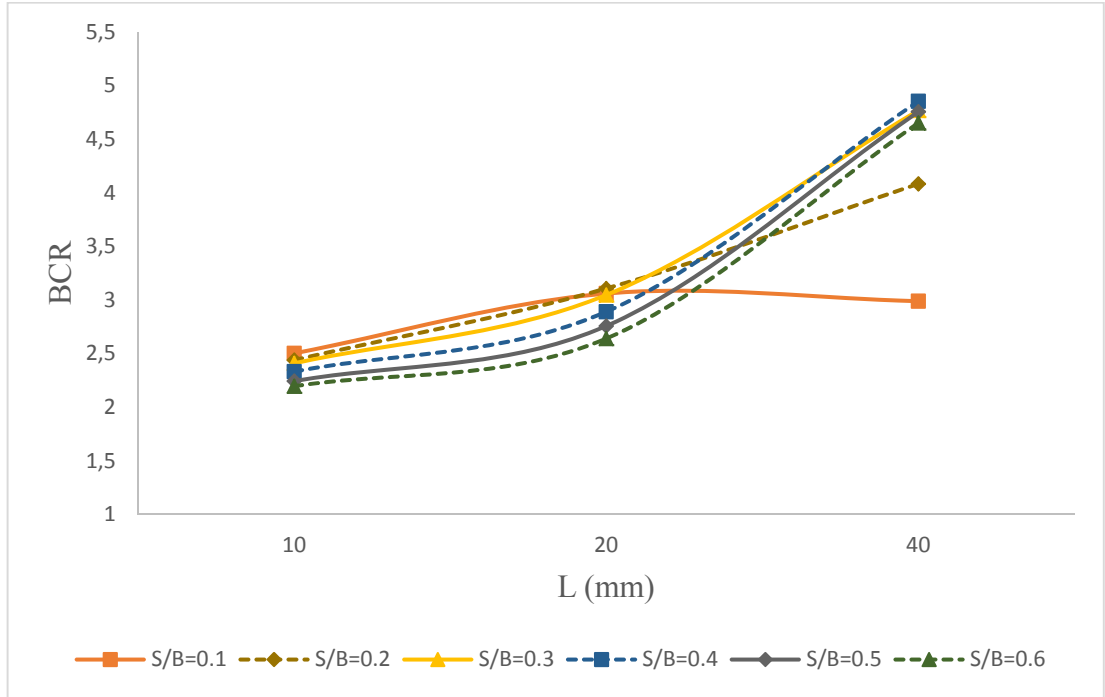
Ağırlıkça %0,50 lif kullanılması durumunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı lif uzunlukları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.19, Şekil 4.20. ve Şekil 4.21'deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Sabit ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinde (%0,50), lifin uzunluğu arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı uzunluğuna bağlı olarak değişmiştir. Donatı uzunluğu arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır.

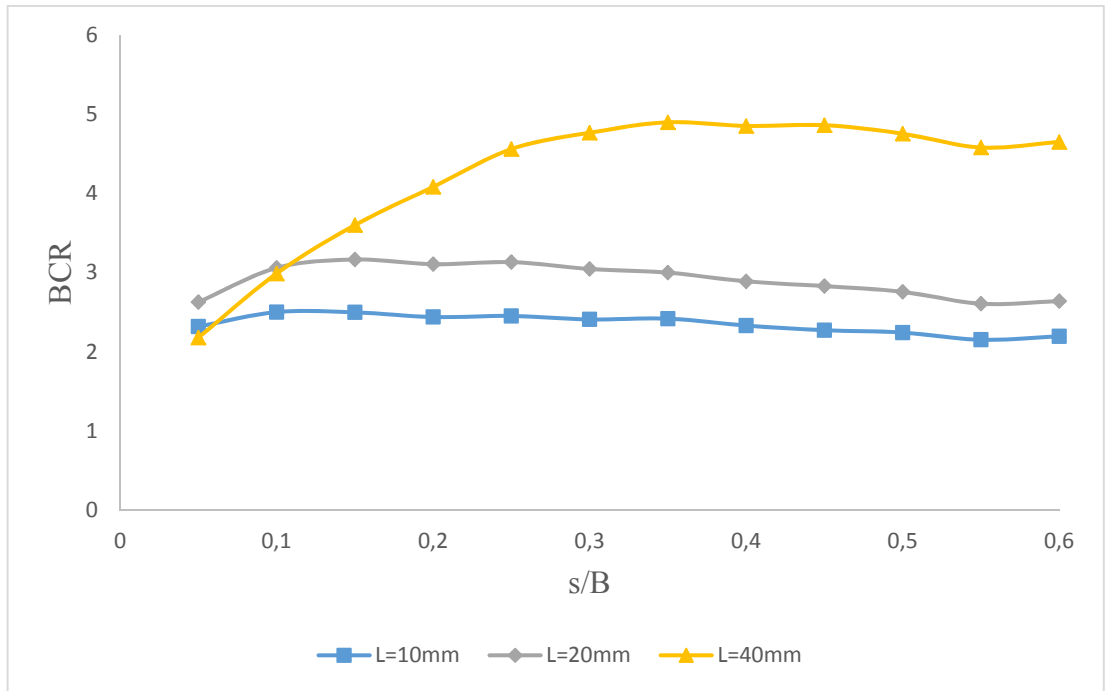
- %0,50 lif kullanılması durumunda, sabit oturma oranında lif uzunluğu arttıkça BCR de artmıştır. $s/B=0,6$ için, $L= 40$ mm uzunluğunda %0,50 lif kullanılması durumunda BCR 4,7 olmuştur.
- %0,50 lif kullanılması durumunda, $L=10$ mm-20 mm liflerde, küçük oturma oranlarında BCR artmış oturma oranları arttıkça BCR değeri çok fazla değişmemiştir. $L=40$ mm lif kullanılması durumunda ise, oturma oranları arttıkça BCR değeri de artmıştır.
- %0,50 lif kullanılması durumunda, $L=40$ mm ve $s/B=0,6$ için $BCR=4,6$ olmuştur.



Şekil 4.19. Ağırlıkça %0,50 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.20. Ağırlıkça %0,50 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi.

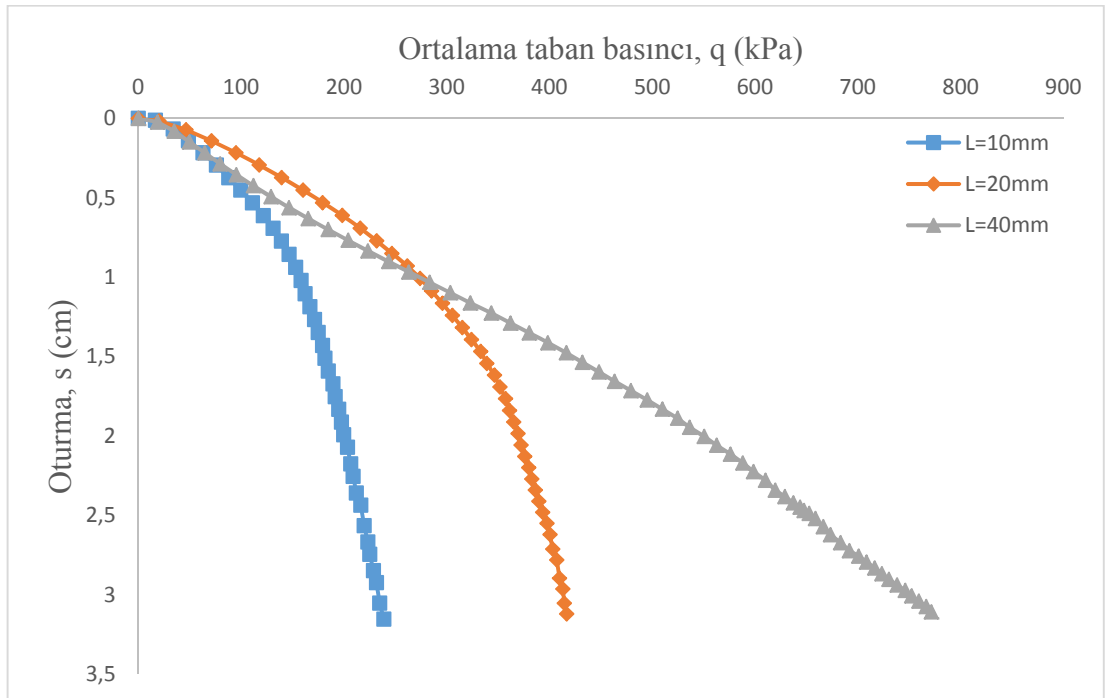


Şekil 4.21. Ağırlıkça %0,50 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

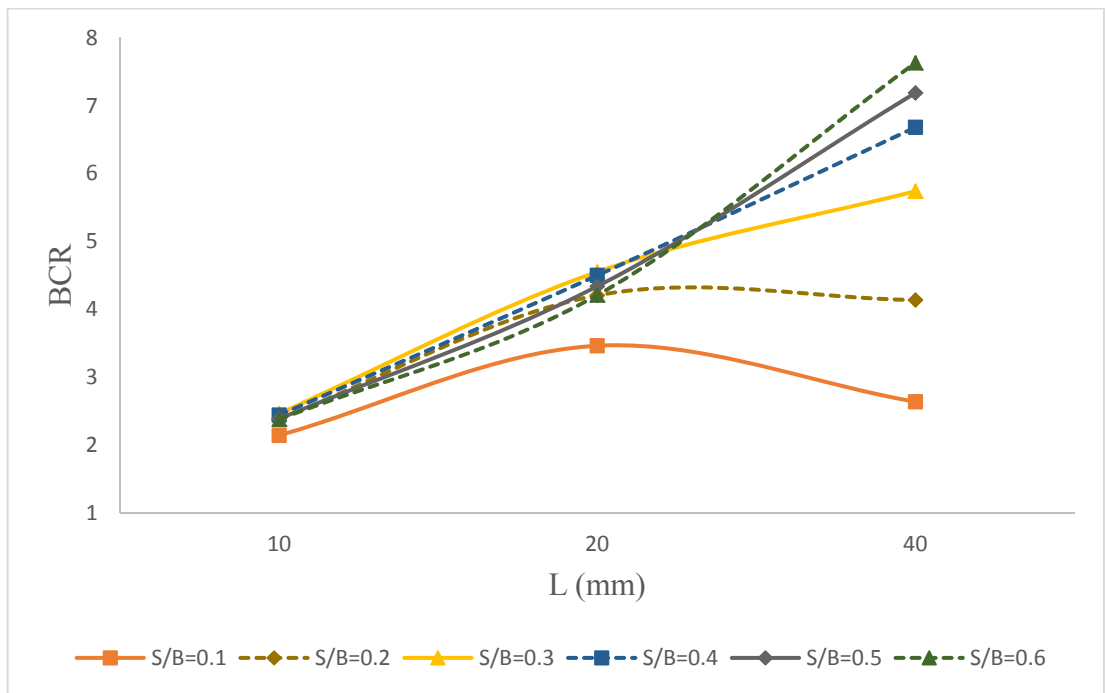
iv. Ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinin %1,00 olması durumunda deney sonuçları

Ağırlıkça %1,00 lif kullanılması durumunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı lif uzunlukları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.22., Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

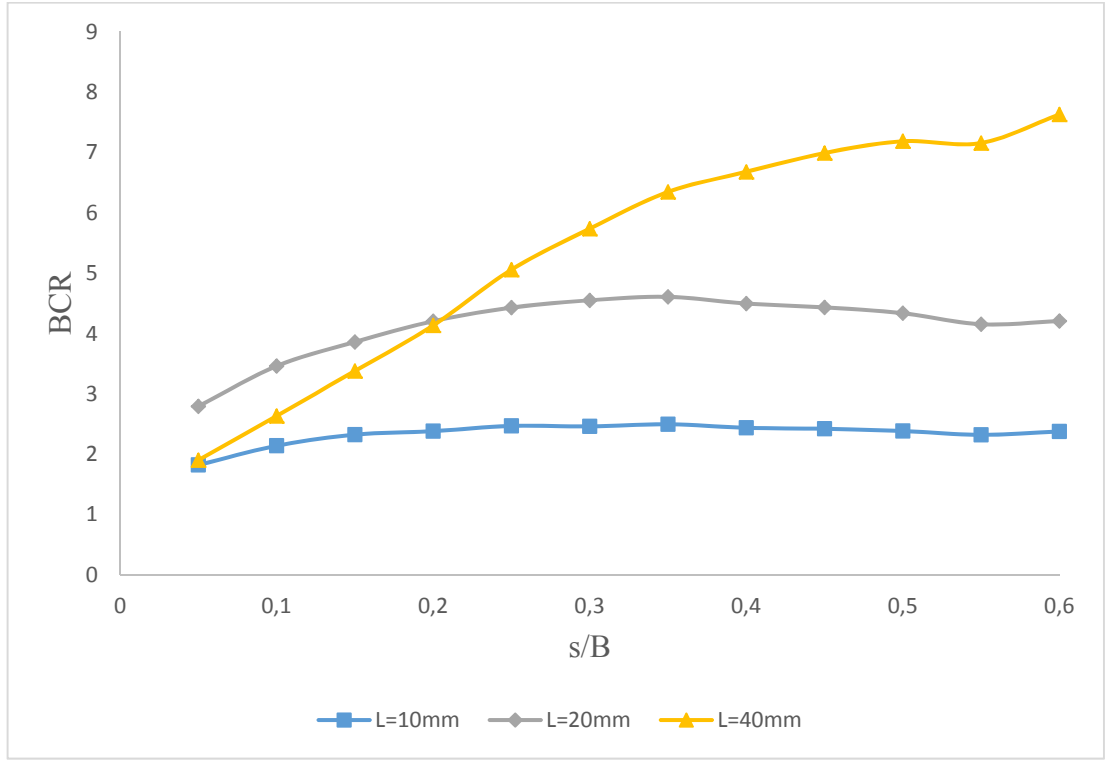
- Sabit ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinde (%1,0), lifin uzunluğu arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı BCR değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı uzunluğuna bağlı olarak değişmiştir. Donatı uzunluğu arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Donatı uzunluğu arttıkça taban basıncı-oturma eğrileri yaklaşık lineer bir davranış sergilemiştir. Zeminin kırılmaya başladığı yük değeri de belirsizleşmiştir.
- % 1,00 lif kullanılması durumunda, sabit oturma oranında lif uzunluğu arttıkça BCR de artmıştır. $s/B=0,6$ için, $L= 40$ mm uzunluğunda %1,0 lif kullanılması durumunda $BCR=7,6$ olmuştur.
- %1,00 lif kullanılması durumunda, sabit lif uzunluğunda oturma oranı arttıkça BCR değeri de artmıştır.



Şekil 4.22. Ağırlıkça %1,00 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



Şekil 4.23. Ağırlıkça %1,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi.



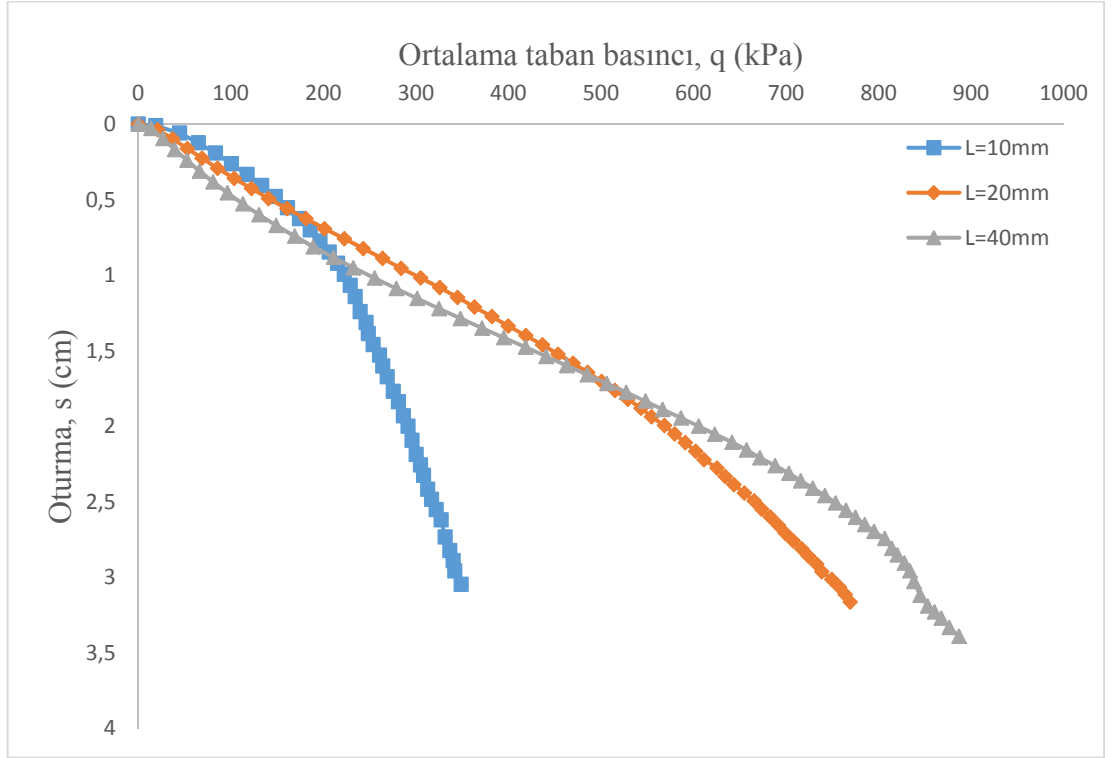
Şekil 4.24. Ağırlıkça %1,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

v. Ağırlıkça lif yüzdesinin %2,00 olması durumunda deney sonuçları

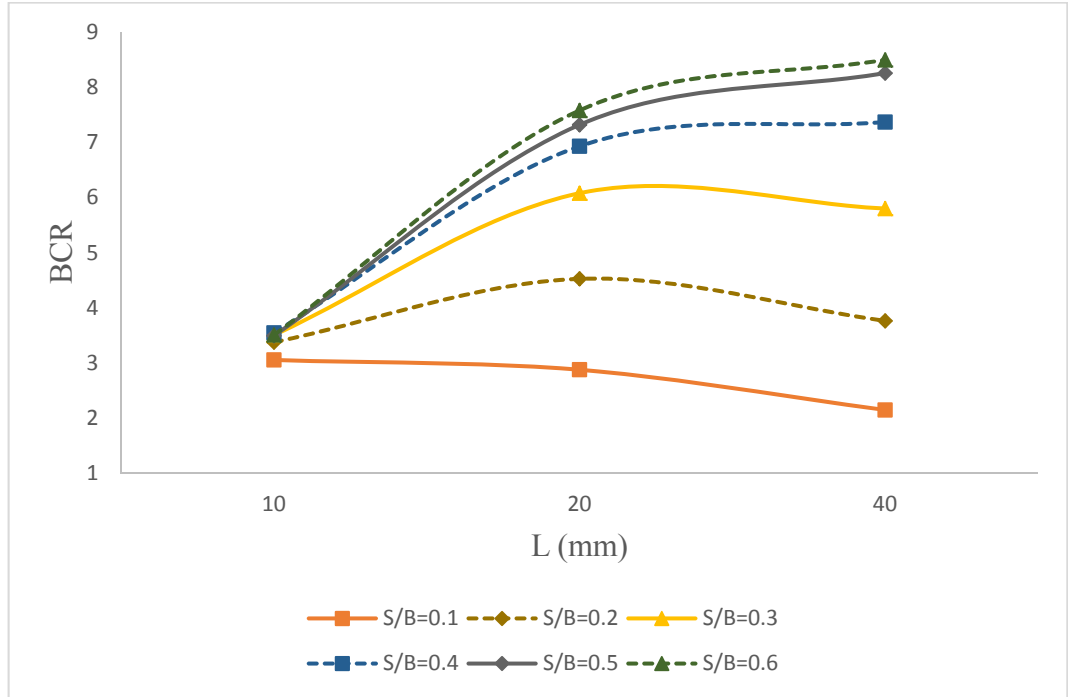
Ağırlıkça %2,00 lif kullanılması durumunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri, farklı oturma oranları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri ve farklı lif uzunlukları için hesaplanan taşıma kapasitesi grafikleri Şekil 4.25., Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.’deki gibi çizilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Sabit ağırlıkça polipropilen lif yüzdesinde (%2,00), donatı uzunluğunun 20 mm den fazla olması durumunda taban basıncı-oturma grafikleri yaklaşık doğrusal bir davranış sergilemektedir. Zeminin kırılmaya başladığı ilk yük değeri de belirsizleşmiştir.
- % 2,00 lif kullanılması durumunda, küçük s/B oranlarında donatı uzunluğu arttıkça BCR değişmemiş, büyük s/B oranlarında ise donatı uzunluğu arttıkça BCR artmıştır.

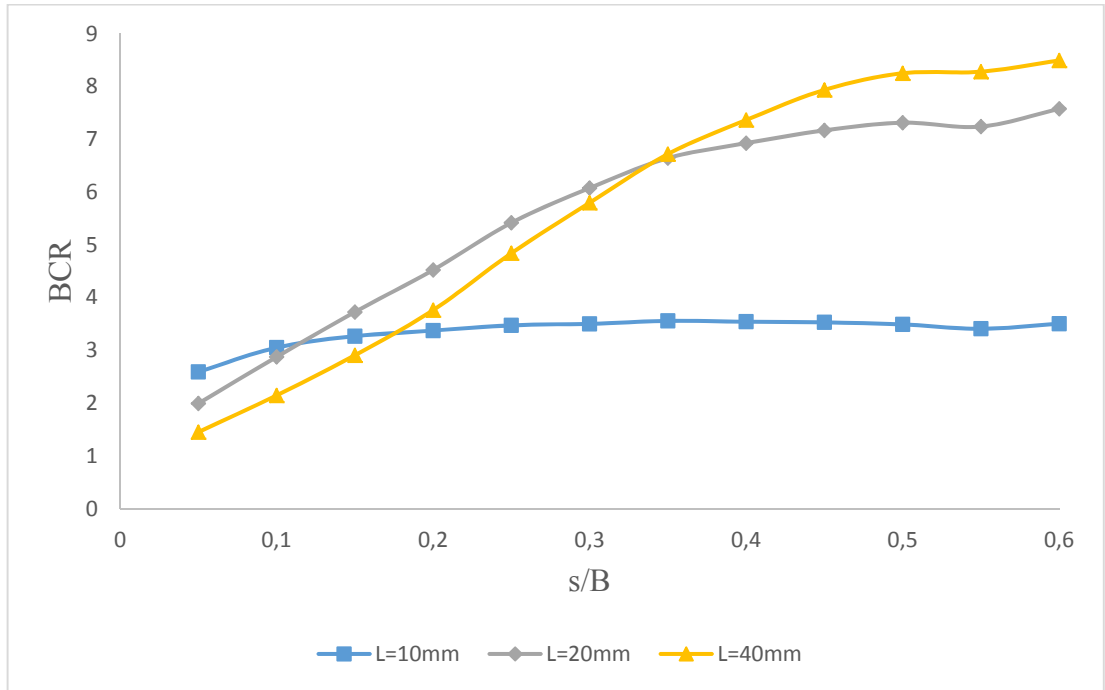
- %2,00 lif kullanılması durumunda, L=10 mm lif kullanılması durumunda s/B oranı arttıkça BCR sabit kalmakta diğer lif uzunluklarında ise s/B oranı arttıkça BCR değeri de artmıştır.



Şekil 4.25. Ağırlıkça %2,00 oranında polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.



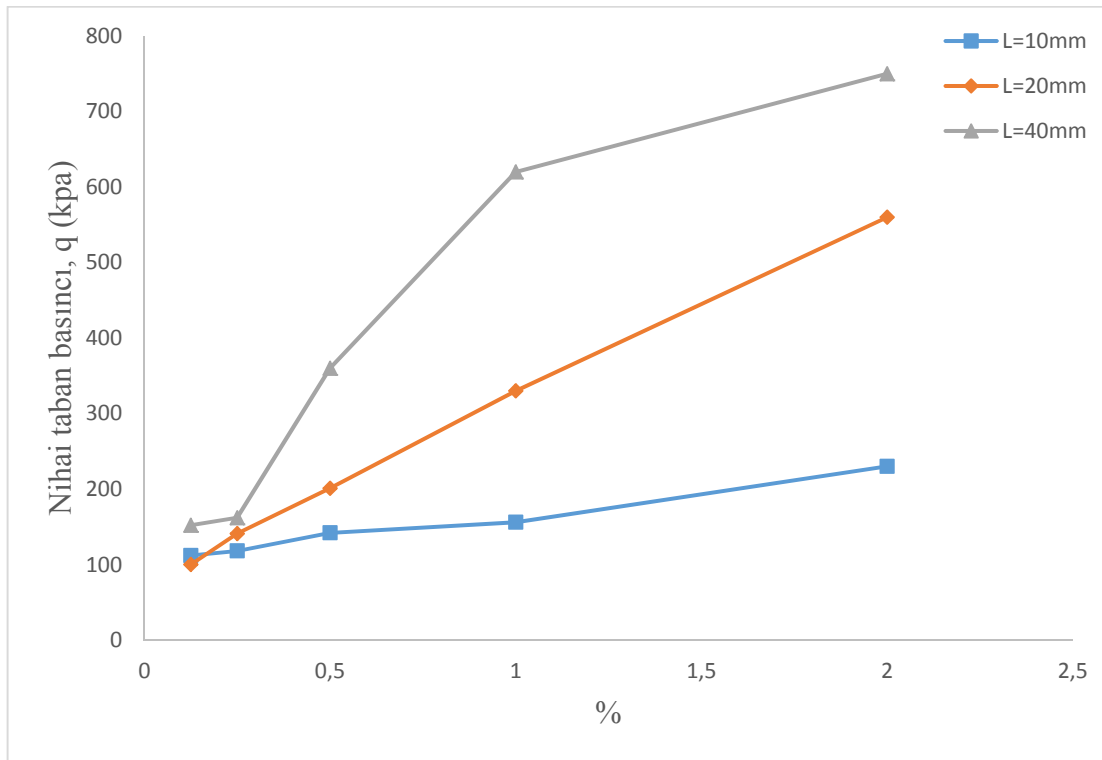
Şekil 4.26. Ağırlıkça %2,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik oturma oranlarına karşılık gelen lif uzunluğu- taşıma kapasitesi ilişkisi.



Şekil 4.27. Ağırlıkça %2,00 oranındaki polipropilen liflerin değişik uzunluklarına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi ilişkisi.

4.3. Donatısız ve Rastgele Donatılı Deneylelerden Elde Edilen Nihai Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Donatılı ve donatısız yapılan deneylere ait ortalama taban basıncı-oturma grafiklerinden hareketle nihai taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Nihai taşıma kapasitesi, ortalama taban basıncı-oturma grafiklerinin başlangıç ve bitiş eğimleri birleştirilerek bulunmuştur (Adams 1997). Donatı yüzdesine ve uzunluğuna bağlı olarak nihai taşıma kapasitesi grafiği Şekil 4.28 'de verilmiştir. Donatı yüzdesi ve donatı uzunluğu arttığında, taban basıncı-oturma grafiklerinin eğimi değişmekte hatta bazı durumlarda eğri doğrusal bir hal almaktadır. Bu durumda nihai taşıma basıncını belirlemek imkânsız hale gelmektedir.



Şekil 4.28. Polipropilen liflerin farklı uzunluklarına karşılık gelen ağırlıkça lif yüzdesi-nihai taşıma kapasitesi ilişkisi.

Grafik incelendiğinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Sabit lif uzunluğunda, ağırlıkça lif yüzdesi arttığı zaman taşıma kapasitesi de artmıştır.
- Sabit lif oranında, lif uzunluğu arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi de artmıştır.
- En yüksek nihai taşıma kapasitesini 40 mm uzunluğunda ve %2 polipropilen lif kullanılması durumunda elde edilmiştir.
- 40 mm uzunluğunda ve %2 lif kullanılması durumunda nihai taşıma kapasitesi donatısız duruma göre yaklaşık 16 kat artmıştır.

5. SONUÇLAR

Geosentetik donatılı zeminlerin gerek kullanımı ve gerekse kullanım sahaları tüm dünyada oldukça artmaktadır. Bu konuda literatürde yeterince çalışma mevcuttur. Literatürdeki çalışmaların çoğunda geosentetik donatılı yüzeysel temellerde donatı tabakasının sayısı, ilk donatı tabakasının derinliği konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Rastgele donatılı zeminler üzerinde yapılmış çalışma sayısı çok fazla değildir. Rastgele donatılı zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda incelenen parametre sayısı da sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmada; donatısız ve rastgele donatılı orta sıklıktaki bir kum zemin üzerine oturan yüzeysel bir şerit temel davranışı model yükleme deneyleri ile incelenmiştir. Donatı olarak polipropilen lifler kullanılmıştır. Deneylerde rölatif sıklık $D_r=65\%$ olarak seçilmiştir. Sabit rölatif sıklıkta, 3 farklı lif uzunluğu ve 5 farklı lif yüzdesi kullanılarak ortalama taşıma basıncı- oturma ilişkileri belirlenmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Donatısız deneylerde ortalama taban basıncı-oturma ilişkisi incelendiğinde grafik eğiminin iki farklı noktada değiştiği ve literatürdeki orta sıkı kum zemin davranışı ile paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca Terzaghi taşıma gücü teorisinden nihai taşıma gücü bulunmuştur. Deneysel ve teorik sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.
- Donatılı deneylerde taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı yüzdesine bağlı olarak değişmiştir.
- Sabit oturma oranlarında donatı yüzdesi ve donatı uzunluğu arttıkça genellikle BCR'de artmıştır.
- $L=10$ mm uzunluğunda ve %2 lif kullanılması durumunda nihai taşıma kapasitesi donatısız duruma göre yaklaşık 5 kat artmıştır. Liflerin ağırlıkça yüzdesi artmasıyla nihai taşıma kapasitesinde çok önemli artışlar olmamıştır. Taşıma kapasitesinin çok artmamasının sebebinin donatı sıyrılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- L=20 mm uzunluğunda ve %2 lif kullanılması durumunda nihai taşıma kapasitesi donatısız duruma göre yaklaşık 12 kat artmıştır. Lif yüzdesi arttıkça nihai taşıma kapasitesi de oldukça artmıştır. Donatı yüzdesi %0,125 te nihai taşıma kapasitesi 100 kPa, donatı yüzdesi %0,25 te nihai taşıma kapasitesi 141 kPa, donatı yüzdesi %0,50 de nihai taşıma kapasitesi 201 kPa ve donatı yüzdesi %1 de nihai taşıma kapasitesi 330 kPa ve donatı yüzdesi %2 de nihai taşıma kapasitesi 560 kPa olmuştur.
- L=40 mm uzunluğunda ve %2 lif kullanılması durumunda nihai taşıma kapasitesi donatısız duruma göre yaklaşık 16 kat artmıştır. Lif yüzdesi arttıkça nihai taşıma kapasitesi de oldukça artmıştır. Donatı yüzdesi %0,125 te nihai taşıma kapasitesi 152 kPa, donatı yüzdesi %0,25 te nihai taşıma kapasitesi 162 kPa, donatı yüzdesi %0,50 de nihai taşıma kapasitesi 360 kPa ve donatı yüzdesi %1 de nihai taşıma kapasitesi 620 kPa ve donatı yüzdesi %2 de nihai taşıma kapasitesi 750 kPa olmuştur.
- Aynı ortalama taban basınçları dikkate alındığında donatı yüzdesi ve donatı uzunluğu arttıkça temelin yapacağı oturma miktarı da oldukça azalmaktadır.

Bu çalışmada; donatısız ve rastgele donatılı orta sıkılıktaki bir kum zemin üzerine oturan yüzeysel bir şerit temelin davranışı model yükleme deneyleri ile incelenmiştir. Donatı yüzdesinin ve donatı uzunluğunun artmasıyla taşıma kapasitesinin arttığı ve oturmaların azaldığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu-Farsakh, M., Chen, Q., Sharma, R., et al. 2008. Large-scale model footing tests on geogrid-reinforced foundation and marginal embankment soils. *Geotechnical Testing Journal*, 31 (5), 413-423.
- Adamczyk, J., Adamczyk, T., 2001. The settlements of a continuous foundation footing resting on the geogrid- reinforced sand layer. 4th International Symposium on Landmarks in Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan.
- 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 footings on reinforced soil. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 107 (GT6), 819-827.
- Alamshahi, S., Hataf, N., 2009. Bearing capacity of strip footings on sand slopes reinforced with geogrid and grid-anchor. *Geotextile and Geomembranes*, 27 (3), 217-226.
- Anonim, 2011., Geotekstil keçe. Sancak Tekstil ve Yalıtım Ürünleri Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti, <http://www.sancaktekstil.com.tr/node/10> (28.12.2013)
- Anonim, 2012., Sinyal Tabakalı PVC Geomembran. Ayyıldız İnşaat İzolasyon Taahhüt Sanayi ve Ticaret, <http://www.ayyildizizolasyon.com/9-sinyal-tabakali-pvc-geomembran.html> (28.12.2013)
- Anonymous, 2004., Drainage Layers. Engineered Linings Co., Ltd., <http://www.englining.co.za/index.php/drainage-layers> (28.12.2013)
- Anonymous, 2010., HDPE geocell slope erosion control. Eastar Geosynthetical Material Co., Ltd., http://eastar-geo.en.alibaba.com/product/527181602-204781015/HDPE_geocell_slope_erosion_control.html (28.12.2013)
- Anonymous, 2013., biaxial plastic geogrid. Nanchang Teamgo New Materials Co., Ltd., http://www.diytrade.com/china/pd/12075419/biaxial_plastic_geogrid.html#normal_img (28.12.2013)
- Bacas, B.M., Konietzky, H., Canizal Berini, J., et al. 2011. A new constitutive model for textured geomembrane/geotextile interfaces. *Geotextiles and Geomembranes*, 29 (2), 137-148.
- Basudhar, P. K., Saha, S., Deb, K., 2007. Circular footings resting on geotextile - reinforced sand bed. *Geotextiles and Geomembranes*, 25 (6), 377-384.
- Bauer, G.E., Oancea, A., 1996. Triaxial Testing of Granular Soils Reinforced with Discrete Polypropylene Fibers. *Geosynthetics -European Conference*, Netherlands, Hollanda.
- Benigni, C., Bosco, G., Cazzuffi, D., et al. 1996. Construction and performance of an experimental large scale wall reinforced with geosynthetics. *International Symposium on Earth Reinforcement (IS Kyushu 96)*, Fukuoka, Japan.
- Benrabah, A., Gielly, J., Masrouri, F., 1996. Behavioural study of a reinforced analogical soil under external loads. *Geotextiles and Geomembranes*, 14 (1), 43-56.
- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs.

- Choudhary, A.K., Jha, J.N., Gill, K.S., 2010. Laboratory investigation of bearing capacity behaviour of strip footing on reinforced flyash slope. *Geotextile and Geomembranes*, 28 (4), 393-402.
- Coduta, D.P., 2005. *Foundation Design Principles and Practices*. prentice hall. 883, New Jersey, USA.
- Çelik, S., 1997. Geogrid donatılı yüzeysel şerit temellerde, geogridin zemininin taşıma gücüne etkisi. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Çiçek, E., 2011. Geosentetik donatılı kum zemine oturan şerit temellerin analizi. . Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Çinicioğlu, F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. Seminer .İMO İstanbul, Türkiye.
- Das, B.M., 1999. *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement*. CRC Press. 363 Washington, DC, USA.
- Dash, S.K., Krishnaswamy, N.R., Rajagopal, K., 2001. Bearing capacity of strip footings supported on geocell- reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 19 (4), 235-256.
- DeJong, J.T., Westgate, Z.J., 2005. Role of overconsolidation on sand-geomembrane interface response and material damage evolution. *Geotextiles and Geomembranes*, 23 (6), 486-512.
- Dembicki, E., Duszynski, R., 2001. The capacity of reinforced subsoil loaded by uplifted foundation. 4th International Symposium on Landmarks in Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan.
- Demiröz, a., 2008. Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- El Sawaf, M.A., 2007. Behavior of strip footing on geogrid-reinforced sand over a soft clay slope. *Geotextiles and Geomembranes*, 25 (1), 50-60.
- Ghosh, A., Ghosh, A., Bera, A.K., 2005. Bearing capacity of square footing on pond ash reinforced with jute-geotextile. *Geotextile and Geomembranes*, 23 (2), 144-173.
- Ghosh, A., 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.
- Goldsmith, P.M., Stessel, R.I., 1996. Multi-axial testing of geomembranes. *Waste Management & Research*, 14 (2), 105-124.
- Han, J., Yang, X., Leshchinsky, D., et al. 2008. Behavior of geocell- reinforced sand under a vertical load. *Transportation Research Record*, 2045, 95-101.
- Hataf, N., Rahimi, M.M., 2006. Experimental investigation of bearing capacity of sand reinforced with randomly distributed tire shreds. *Construction and Building Materials*, 20 (10), 910-916.
- Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101 (GT12), 1241-1255.
- Ju, J.W., Son, S.J., Kim, J.Y., et al. 1996. Bearing capacity of sand foundation reinforced by geonet. International Symposium on Earth Reinforcement (IS Kyushu 96), Fukuoka, Japan.
- Kaniraj, R., Gayathri, V., 2003. Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions. *Geotext Geomembr*, 21 (3), 123-149.
- KHING, K.H., DAS, B.M., PURI, V.K., et al. 1993. The bearing-capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 12 (4), 351-361.

- Kocaer, M., 2011. Geosentetiklerin karayolu yapılarında kullanımı: Türkiye örnekleri, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Koerner R. M., 1993. *Designing with Geosynthetics*. Prentice Hall, 784 p, New Jersey, USA.
- Koerner R. M., 2005. *Designing with Geosynthetics*. Prentice Hall, 796 p, New Jersey, USA.
- Kongkitkul, W., Hirakawa, D., Tatsuoka, F., et al. 2007. Effects of geosynthetic reinforcement type on the strength and stiffness of reinforced sand in plane strain compression. *Soils and Foundations*, 47 (6), 1109-1122.
- Kotan, D., 2008. Geotekstil donatılı zemin istinat duvarları ile yamaçlarda stabilitenin artırılması. Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kumar, A., Kaur, A., 2012. Model tests of square footing resting on fibre-reinforced sand bed. *Geosynthetics International*, 19, (5), 385-392.
- Kumar, A., Walia, B., Bajaj, A., Influence of fly ash, lime, and polyester fibers on compaction and strength properties of expansive soil. *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*, 19 (3), 242–248.
- Kumar, A., Walia, B., Mohan, J., 2006. Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay. *Construct Build Mater*;20 (10), 1063–1068.
- Kumar, R., Kanaujia, V.K., Chandra, D., 1999. Engineering behavior of fiber-reinforced pond ash and silty sand. *Geosynthetics International*, 6 (6), 509–518.
- Latha, G.M., Somwanshi, A., 2009. Bearing capacity of square footings on geosynthetic reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 27 (4), 281-294.
- Lovisa, J., Shukla, S. K., Sivakugan, N., 2010. Behaviour of prestressed geotextile-reinforced sand bed supporting a loaded circular footing. *Geotextiles and Geomembranes*, 28 (1), 23-32.
- Moghaddas Tafreshi, S.N., Norouzi, A.H., 2012. Bearing capacity of a square model footing on sand reinforced with shredded tire - An experimental investigation. *Construction and Building Materials*, 35, 547-556.
- Mulabdic, M., Szavits-Nossan, A., Kovacevic, M.S., 1999. Model testing of geosynthetics in reinforced soil. 12th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Netherlands.
- Örnek, M., 2009. Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Özkol, O., 2006. Geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımı, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Patra, C.R., Das, B.M., Atalar, C., 2005. Bearing capacity of embedded strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 23 (5), 454-462.
- Sharma, R., Chen, Q., Abu-Farsakh, M., et al. 2009. Analytical modeling of geogrid reinforced soil foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, 27 (1), 63-72.
- Sitharam, T., Sireesh, S., Dash, S., 2005. Model studies of a circular footing supported geocell- reinforced clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 42 (2), 693-703.
- Som, N., Sahu, R.B., 1999. Bearing capacity of a geotextile-reinforced unpaved road as a function of deformation: A model study. *Geosynthetics International*, 6 (1), 1-17.
- Tafreshi, S. N. M., Dawson, A. R., 2010. Behaviour of footings on reinforced sand subjected to repeated loading - Comparing use of 3D and planar geotextile. *Geotextiles and Geomembranes*, 28 (5), 434-447.

- Tafreshi, S.N.M., Dawson, A.R., 2012. A comparison of static and cyclic loading responses of foundations on geocell-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 32, 55-68.
- Tanabashi, Y., Jiang, Y., Sugimoto, S., et al. 2007. Effect evaluation for the geocomposite reinforced embankment of cohesive soil. 5th International Symposium on Earth Reinforcement (IS Kyushu 07), Fukuoka, JAPAN.
- Tanchaisawat, T., Bergado, D.T., Voottipruex, P., 2009. 2D and 3D simulation of geogrid-reinforced geocomposite material embankment on soft Bangkok clay. *Geosynthetics International*, 16 (6), 420-432.
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., Cai, Y., 2007. Strength and Mechanical Behavior of Short Polypropylene Fiber Reinforced and Cement Stabilized Clayey Soil. *Geotextile and Geomembranes*, 25 (3), 194-202.
- Uğur, N., 2009. Rastgele donatılardırmanın kum zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Vinod, P., Bhaskar, A.B., Sreehari, S., 2009. Behaviour of a square model footing on loose sand reinforced with braided coir rope. *Geotextile and Geomembranes*, 27 (6), 464-474.
- Wasti, Y., Butun, M.D., 1996. Behaviour of model footings on sand reinforced with discrete inclusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 32 (10), 575-584.
- Yetimoglu, T., WU, J.T.H., Saglamer, A., 1994. Bearing capacity of rectangular footings on geogrid-reinforced sand. *Journal Of Geotechnical Engineering-ASCE*, 10 (12), 2083-2099.
- Yetimoglu, T., Inanir, M., Inanir, O.E., 2005. A study on bearing capacity of randomly distributed fiber-reinforced sand fills overlying soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 23 (2), 174-183.
- Yetimoğlu, T., Salbas, O., 2003. A Study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotextile and Geomembranes*, 21(2), 103-110.
- Yılmaz, N. M., 2010. Geotekstil ile güçlendirilen kumlu zemin üzerine oturan yüzeysel temelin incelenmesi. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Zhou, H., Wen, X., 2008. Model studies on geogrid- or geocell- reinforced sand cushion on soft soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (3), 231-238.
- Zhou, Z.G., Zhang, Q.S., Zheng, J.L., 2001. Analysis of improved ground with geonet reinforced stone columns. 4th International Symposium on Landmarks in Earth Reinforcement, FUKUOKA, JAPAN.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında İran'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Khoy'da tamamladı. 2008 yılında girdiği İslami Azad Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.