



**RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM  
ZEMİNE OTURAN DAİRESEL TEKİL  
TEMELLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Mustafa KÜÇÜK**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Geoteknik Bilim Dalı  
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU**

**2018**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNE OTURAN  
DAİRESEL TEKİL TEMELLERİN DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**Mustafa KÜÇÜK**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2018**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNE OTURAN DAİRESEL  
TEKİL TEMELLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU danışmanlığında, Mustafa KÜÇÜK tarafından hazırlanan bu çalışma 05/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3./2.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ORHAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu **11/01/2018** tarih ve **2/29** nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Cavit KAZAZ**  
Enstitü Müdürü

**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

### **RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNE OTURAN DAİRESEL TEKİL TEMELLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Mustafa KÜÇÜK

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Geoteknik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

Taşıma gücü zayıf zeminleri geosentetik malzeme kullanarak güçlendirmek ekonomik ve kolay olmasından dolayı her geçen gün hızla artan bir uygulamadır. Bu çalışmada donatısız ve rastgele donatılı orta-sıkı kum zemine oturan dairesel tekil temellerin yük-oturma davranışı bir seri laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Deneylerde temel çapları 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm olan dairesel tekil temeler, %60 rölatif sıklıktaki ( $D_r=60$ ) kötü derecelendirilmiş kum zemin (SP) ile donatı olarak polipropilen lif kullanılmıştır. Polipropilen lif içeriği zeminin toplam ağırlığının %0,125, %0,250 ve %0,50'si olarak literatüre uygun olarak belirlenmiştir.

Her bir yüzeysel temel çapı için farklı oturma oranlarına ( $s/D$ ) karşılık gelen taşıma kapasitesi oranı (BCR) hesaplanmıştır. Farklı boyutlardaki dairesel yüzeysel temeller ve donatı yüzdeleri için  $s/D$ -BCR ilişkileri çizilmiştir.

Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre; temel zemininin taşıma gücü kapasitesine, dairesel yüzeysel tekil temel boyutunun ve temel zeminine farklı oranlarda ilave edilen polipropilen lif oranının etkili olduğu belirlenmiştir.

Temel zemininin taşıma gücünün dairesel yüzeysel temelin çapının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Temel zemininin taşıma gücü polipropilen lifin belirli oran kadar artmasıyla arttığı, bu orandan sonra azaldığı gözlemlenmiştir.

**2018, 60 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Taşıma gücü, rastgele donatılı zemin, polipropilen lif, yüzeysel temeller.

## ABSTRACT

Master's Thesis

### INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF CIRCULAR COLUMN FOOTINGS SITTING ON RANDOMLY REINFORCED SAND SOIL

Mustafa KÜÇÜK

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Şahin ZAIMOĞLU

Improvement of poor bearing soil by using geosynthetic material is economical and practicable. Therefore, it is becoming more preferable day by day. In this paper, through a series of laboratory model experiments, it was investigated the load-settlement behavior of circular column footings sitting on unreinforced and randomly reinforced medium dense sand soil. Within the scope of experiments, circular column footings with 8 cm, 10 cm, 12 cm and 14 cm diameter, poorly graded sand (SP) with %60 relative stiffness ( $D_r = \%60$ ) and polypropylene fibre reinforcement were used. The quantity of polypropylene fibre is determined as %0,125, %0,250 and %0,50 of total weight of the soil as per technical literature.

The bearing capacity ratio (BCR) corresponding to various settlement rates ( $s/D$ ) was calculated for each of shallow foundation diameter. The relation of  $s/D$ -BCR was drawn for various size of circular shallow foundations and reinforcement percentage.

According to the experiment results; it was observed that circular shallow foundation size and the polypropylene fibre rate added to the foundation soil in various rates affect foundation soil bearing capacity. It was observed that the bearing capacity of foundation soil increases along with the increase of diameter of circular shallow foundation. It was also observed that the bearing capacity of soil increases along with the increase of the rate of polypropylene fibre, but after a certain rate it starts to decrease.

**2018, 60 pages**

**Keywords:** bearing capacity, randomly reinforced soil, polypropylene fibre, shallow foundations.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU'na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında yürütülmüştür. Bu kapsamda deneysel çalışmalar esnasında yardımları ve önerilerini sunan Araştırma Görevlisi Sayın Fatih ARTUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Halen görev yapmakta olduğum Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğü birim çalışma arkadaşlarıma ve özellikle Bölge Müdürü Sayın Dr. İsmet ÇALIK, Sanat Eserleri ve Yapı İşleri Şube Müdürü Sayın Naci ÇAKMAK ve İnşaat Mühendisi Selçuk GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman ve her konuda beni asla yalnız bırakmayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli babam ve annem başta olmak üzere aileme şükranlarımı sunarım.

**Mustafa KÜÇÜK**

**Ocak, 2018**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Kaynak Özetleri.....	2
1.1.1. Sistematik donatılandırılmış zeminler üzerindeki çalışmalar .....	3
1.1.2. Rastgele donatılandırılmış zeminler üzerindeki çalışmalar.....	4
<b>2. KURAMSAL TEMELLER .....</b>	<b>11</b>
2.1. Temeller.....	11
2.2. Yüzeysel Temeller.....	12
2.2.1. Tekil temeller .....	12
2.2.2. Şerit Temeller .....	12
2.2.3. Radye Temeller .....	14
2.3. Yüzeysel Temellerde Göçme Türleri .....	15
2.3.1. Genel kayma göçmesi .....	15
2.3.2. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi .....	16
2.3.3. Zımbalama kayma göçmesi.....	17
2.4. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü .....	20
2.5. Donatılı Zeminler .....	24
2.5.1. Sistematik (düzenli) donatili zeminler .....	25
2.5.2. Rastgele donatili zeminler .....	25
2.5.3. Donatı çeşitleri .....	25
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>28</b>
3.1. Materyal.....	28
3.1.1. Kum zemin .....	28
3.1.2. Polipropilen lif donatı.....	31

3.1.3. Deney düzeneği .....	32
3.1.3.a. Model temeller.....	32
3.1.3.b. Deney tankı.....	33
3.1.3.c. Yükleme sistemi .....	35
3.1.3.d. Yük hücresi.....	35
3.1.3.e. Deplasman ölçer .....	36
3.1.3.f. Veri toplama ve aktarma sistemi.....	36
3.2. Yöntem .....	37
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>39</b>
4.1. Donatısız Kum Zemine Oturan Dairesel Yüzey Temellerin Deney Sonuçları.....	39
4.2. Rastgele Donatılandırılmış Kum Zemine Oturan Dairesel Yüzey Temellerin Deney Sonuçları.....	41
4.2.1. Ağırlıkça %0,125 oranında polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış kum zemine oturan dairesele yüzey temellerin deney sonuçları .....	42
4.2.2. Ağırlıkça %0,250 oranında polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış kum zemine oturan dairesele yüzey temellerin deney sonuçları .....	43
4.2.3. Ağırlıkça %0,500 oranında polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış kum zemine oturan dairesele yüzey temellerin deney sonuçları .....	45
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
KAYNAKLAR .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	60



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

BCR	Taşıma Kapasitesi Oranı
BCR <sub>max</sub>	Maksimum Taşıma Kapasitesi Oranı
c	Kohezyon
D	Temel Çapı
D <sub>10</sub>	Efektif Tane Çapı
D <sub>f</sub>	Temel Derinliği
D <sub>r</sub>	Rölatif Sıklık
e	Zeminin Boşluk Oranı
e <sub>max</sub>	Zeminin Maksimum Boşluk Oranı
e <sub>min</sub>	Zeminin Minimum Boşluk Oranı
GS	Güvenlik Katsayısı
G <sub>s</sub>	Özgül Ağırlık
N <sub>c</sub> , N <sub>q</sub> , N <sub>γ</sub>	İçsel Sürtünme Açısına Bağlı Taşıma Gücü Katsayıları
q	Donatısız Zeminde Ortalama Taban Basıncı
q <sub>r</sub>	Donatılı Zeminde Ortalama Taban Basıncı
s	Temel Plakasının Düşey Yönde Yaptığı Oturma
s/d	Oturma Oranı
γ	Zemininin Birim Hacim Ağırlığı
γ <sub>k</sub>	Zemininin Kuru Birim Hacim Ağırlığı
γ <sub>s</sub>	Zemininin Dane Yoğunluğu
σ	Normal Gerilme
τ	Kayma Gerilmesi
φ	İçsel Sürtünme Açısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tekil temel tipleri .....	12
Şekil 2.2. Bir doğrultuda uzanan şerit temel.....	13
Şekil 2.3. İki doğrultuda uzanan şerit temel .....	13
Şekil 2.4. Radye temel .....	14
Şekil 2.5. Genel kayma göçmesi .....	15
Şekil 2.6. Genel kayma göçmesi grafiği .....	16
Şekil 2.7. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi .....	16
Şekil 2.8. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi grafiği.....	17
Şekil 2.9. Zımbalama göçmesi .....	17
Şekil 2.10. Zımbalama göçmesi grafiği .....	18
Şekil 2.11. Göçme türleri.....	19
Şekil 2.12. Kum zemine oturan model temellerde yenilme türleri.....	19
Şekil 2.13. Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması.....	21
Şekil 3.1. Deneyleerde kullanılan kuma ait dane çapı dağılımı .....	29
Şekil 3.2. Deneyleerde donatı olarak kullanılan polipropilen lif.....	31
Şekil 3.3. Deneyleerde kullanılan temel plakaları .....	32
Şekil 3.4. Kum tankı .....	33
Şekil 3.5. Deney sistemi autocad çizimi .....	34
Şekil 3.6. Deney sistemi .....	34
Şekil 3.7. Yük hücresi.....	35
Şekil 3.8. Deplasman ölçer (LVDT).....	36
Şekil 3.9. Veri toplama ünitesi.....	37
Şekil 4.1. Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi .....	40
Şekil 4.2. Rastgele donatılandırılmış kum zeminin görünümü.....	41
Şekil 4.3. Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi .....	42
Şekil 4.4. Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi .....	44
Şekil 4.5. Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi .....	45
Şekil 4.6. Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminin ortalama taban basıncı (q) –oturma (s) ilişkisi .....	48

<b>Şekil 4.7.</b> Temelin oturma oranı (s/d)-taşıma kapasite oranı (BCR) ilişkisi.....	48
<b>Şekil 4.8.</b> Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminin ortalama taban basıncı (q)–oturma (s) ilişkisi .....	50
<b>Şekil 4.9.</b> Temelin oturma oranı(s/d)-taşıma kapasite oranı(BCR) ilişkisi.....	50
<b>Şekil 4.10.</b> Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminin ortalama taban basıncı (q) – oturma ilişkisi .....	51
<b>Şekil 4.11.</b> Temelin oturma oranı(s/d)-taşıma kapasite oranı(BCR) ilişkisi .....	52
<b>Şekil 4.12.</b> Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminin ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) ilişkisi .....	53
<b>Şekil 4.13.</b> Temelin oturma oranı(s/d)-taşıma kapasite oranı(BCR) ilişkisi .....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Şekil, derinlik ve eğim faktörleri .....	23
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kum malzemenin özellikleri .....	29
Çizelge 3.2. Kohezyonsuz zeminlerin rölatif sıkılığına göre sınıflandırılması .....	30
Çizelge 3.3. Rölatif sıkılığın belirlenmesinde kullanılan indeks özellikler .....	31
Çizelge 3.4. Polipropilen life ait indeks ve mekanik özellikler .....	32
Çizelge 3.5. Yük hücresinin özellikleri.....	36



## 1. GİRİŞ

Temeller yapıya etkiyen yükleri güvenli ve ekonomik olarak zemine aktaran elemanlardır. Yapı yükünü zemine aktaran temellerin yüzeysel (sığ) veya derin temel olması zeminin özelliklerine ve yapı yüklerine bağlı olarak değişkenlik arz etmektedir.

Taşıma gücü zayıf ve/veya oturma problemlerinin olduğu zeminlerde yapıların inşa edilmesi bazı problemlere neden olmaktadır. Yüzeysel temellerin yetersiz olduğu bu tür zeminlerde genellikle derin temeller tercih edilmektedir. Fakat derin temellerin inşasının maliyetli olması ve son zamanlarda daha uygun ve elverişli zemin iyileştirme yöntemlerinin gelişmesi yeni çözüm alanlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Zemin iyileştirme yöntemlerinin en önemlilerinden birisi donatılı zeminlerdir. Donatılı zemin, içerisine metal veya plastik şeritler, çubuklar veya geotekstiller vb. malzemelerin düzenli bir şekilde veya rastgele yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu tür uygulamalarda zemin içerisine yerleştirilen donatılar ile zemin arasında sürtünme gerilmeleri oluşarak zeminin güçlendirilmesi amaçlanır (Uzuner 2016).

Donatılı zemin, zemine çekme mukavemeti yüksek bir malzeme katılmasıyla, zemin taneleri ile kullanılan donatı malzemesi arasında oluşan sürtünme ve adhezyonla elde edilen güçlendirilmiş zemin anlamına gelir (Demiröz 2008).

Donatılı zeminler, zeminlerin dayanımını artırmayı ve üzerine gelen yapıların stabilite problemini azaltmayı sağlamaktadır. Donatılı zeminin bir bütün olarak çalışması zemin ile donatı arasındaki sürtünmeye ve kullanılan donatının çekme mukavemetine bağlıdır. Ayrıca kullanılan donatının zemine yerleştirilme şekli, yönü, uzunluğu, yüzdesi, sıklığı gibi parametrelerde iyileştirme açısından önemli olmaktadır (Mahdad 2014).

Genellikle ayırık yapılı lif malzemelerin rastgele yani düzensiz bir şekilde zemine karıştırılmasıyla rastgele donatılandırılmış zeminler elde edilir. Ayırık yapılı lif

malzemelerle elde edilen rastgele donatılı zeminler, lif malzemenin zemine direkt olarak herhangi bir sistem olmadan çimento veya kireç gibi karıştırıldığından uygulamada büyük kolaylık sağlamaktadır (Yetimoğlu ve Salbaş 2002).

Donatılı zeminler son yıllarda geoteknik uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Farklı zeminlerde donatılandırılmış temel zemininin davranışını incelemek amacıyla birçok deneysel, nümerik ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Literatürde ifade edilen ilk deneysel çalışma metal şeritler ile donatılandırılmış kumlu zeminlerin taşıma kapasitesini araştıran Binquet and Lee (1975a) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar genellikle donatılı zemine oturan şerit ve kare kesitli yüzeysel temellerin taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Fakat rastgele donatılandırılmış zemine oturan dairesel kesitli yüzeysel temellerin davranışları ile ilgili çalışmalar oldukça azdır.

Bu çalışma kapsamında sabit rölatif sıklığı %60 olan ( $D_r = \%60$ ) kötü derecelenmiş (SP) bir kum zemine, içerisine ağırlıkça farklı oranlarda polipropilen lif malzemenin rastgele ilave edilmesi ile elde edilen rastgele donatılandırılmış zemin üzerine oturan farklı çaplardaki dairesel yüzeysel tekil temellere etki eden statik yükler altında temel zemininin davranışı incelenmiştir.

### **1.1. Kaynak Özetleri**

Bu bölümde geoteknik mühendisliğinde donatılı zeminlerle ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Donatılı zeminlerle ilgili yapılan araştırmaların genelinde; donatı sayısının (N), donatılar arası mesafenin (h), donatı uzunluğunun (L), donatı derinliğinin (u), temel derinliğinin (Df) ve donatı cinsinin etkileri incelenmiştir. Yapılan araştırmaların genelinde donatı kullanılması zeminin taşıma gücünü arttırdığı ve aynı yük değerlerinde oturmaların azaldığı gözlemlenmiştir.

### 1.1.1. Sistematik donatılandırılmış zeminler üzerindeki çalışmalar

Omar *et al.* (1993a) tarafından geogrid ile güçlendirilmiş donatılı kum zeminler üzerine oturan kare ve şerit temellerin taşıma kapasitelerini model deneylerle araştırılmıştır. Maksimum taşıma kapasitesi oranı (BCR) için donatı tabakalarının yerleşim düzeni belirlenmiştir. Maksimum BCR'i veren toplam efektif donatı derinliği kare temelde 1,4B, şerit temellerde ise 2B olarak bulunmuştur. Maksimum BCR'i veren donatı tabaka genişliği kare temellerde 4,5B, şerit temellerde ise 8B olarak belirtilmiştir.

Das and Omar (1994) yaptıkları çalışmada donatılı kum zeminde, temel genişliğinin taşıma kapasitesi oranı (BCR) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde altı farklı temel genişliğine sahip şerit temeller kullanılmıştır. Üniform kumun rölatif sıklığı ( $D_r$ ) %55, %65, %75 seçilmiştir. Rölatif sıklık arttıkça taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Temel genişliğinin artmasıyla taşıma kapasitesi oranının azaldığı belirtilmiştir. Rölatif sıklık ( $D_r$ )=%55 için BCR=2,5,  $D_r$ =%65 için BCR=2,9,  $D_r$ =%75 için BCR=3 bulunmuştur.

Adams and Collin (1997) yaptıkları çalışmada donatı parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisini araştırmak için büyük ölçekli deneyler yapmıştır. Farklı boyutlara sahip kare temeller kullanılarak deneyler yapılmıştır. Donatı sayısının  $N=3$ 'e çıkarıldığında taşıma kapasitesinin arttığı belirtilmiştir. Donatı ilk tabaka yüzeyi 0,25B'den küçük olduğunda, oturma oranını ( $s/B$ ) daha çok etkilediği görülmüştür. Donatı ilk tabaka yüzeyinin 0,4B derinlik seviyesinden daha az olduğu durumlarda oturma miktarının azaldığı belirtilmiştir.

Çiçek vd (2012) yaptıkları çalışmada kum zemine farklı donatı malzemesi düzenli yerleştirerek bir dizi laboratuvar deneyi yapmışlardır. Donatılı ve donatısız zeminlerden elde edilen yük-oturma eğrilerini incelemişlerdir. Deneylerde rölatif sıklık  $D_r$ =%46 olarak seçilmiştir. Deneylerde 10 cm genişliğinde 2,5 cm kalınlığında rijit plakadan üretilmiş yüzeysel şerit temel ve donatı olarak geotekstil geogrid malzeme kullanmışlardır. Deneylerin sonucunda, donatı sayısının artmasıyla aynı oturma

değerlerinde yük miktarının arttığı, geotekstil donatıya göre geogrid donatılı sistemin daha fazla yük taşıdığı belirtilmiştir. Kullanılan her iki donatı sisteminde yük oturma eğrilerinin birbirleri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Sridher and Prathap Kumar (2017) çalışmalarında kötü derecelenmiş kum (SP) zemine 4 farklı tabaka halinde geotekstiller yerleştirerek zemini donatılandırmışlardır. Donatılandırılmış zemin üzerine 10 mm kalınlığında ve 100 mm çapında temel plakası yerleştirmişlerdir. Donatılandırılan her bir tabaka için taşıma kapasitesi ve oturma değerleri elde etmişlerdir. Yapılan deneyler karşılaştırılmış ve donatılandırılmış zemin tabakası arttıkça taşıma kapasitesi oranının arttığı elde edilmiştir. taşıma kapasitesi oranı maksimum değeri 4 tabakalı donatılı kum zeminde elde edilmiş ve optimum taşıma kapasitesi ve oturma değerleri bu tabakada gözlenmiştir.

Makkar *et al.* (2017) yapmış oldukları çalışmada geleneksel zemin iyileştirme yönteminden farklı olarak 3 boyutlu (3D) geogridler kullanarak zemini donatılandırmışlardır. Deneylerde kullanılan geogridler üçgen ve dikdörtgen şeklinde olup zemine tabaka halinde yerleştirilmişlerdir. Model kare tank içerisinde geogridlerle donatılı kum zemin üzerine 150 mm genişliğinde 25 mm kalınlığında kare temeller yerleştirmiş ve plaka yükleme deneyi yapmışlardır. Deney sonuçları donatısız kum zemin ile geleneksel yöntemlerle iyileştirilmiş kum zeminlerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre optimum tabaka sayısı 4 olarak belirlenmiş ve üç boyutlu geogridlerle donatılandırılmış zemin, donatısız ve geleneksel yöntemlerle donatılandırılmış zemine göre daha yüksek taşıma gücü göstermiştir.

### **1.1.2. Rastgele donatılandırılmış zeminler üzerindeki çalışmalar**

Bauer and Oancea (1996) tarafından granüler zeminler polipropilen lif ile güçlendirilmiş ve güçlendirilen bu zeminler üzerine üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zemin – lif karışımlarına ait olan sekant modülü değerinin ağırlıkça %0,5 lif içeriğine kadar lif miktarındaki artış ile azaldığı gözlemlenmiştir.



Ranjan *et al.* (1996) yapmış oldukları çalışmada doğal ve sentetik lif kullanarak rastgele donatılı kohezyonsuz zeminlere bir dizi üç eksenli basınç deneyi yapmışlardır. Zeminin karakteristik özelliklerini ve kayma mukavemeti parametrelerini belirlemişlerdir. Herhangi bir fiber türü ile donatılan zeminlerin dayanımlarını belirlemek için modeller oluşturmuşlar. Yaptıkları deneylerin sonucunda, lifli zeminlerin kırılma zarflarının eğrisel olduğu, kritik çevre basıncının lif malzemesinin en ve boy aralığına bağlı olarak değiştiği ve lif donatısının zeminin kayma mukavemetini arttırdığını belirtmişlerdir.

Çelik (1997) yaptığı çalışmada donatısız ve geogrid donatılı kum zeminler üzerine oturan şerit temellerde bir takım deneyler yapılmıştır. Şerit temel genişlikleri  $B=3,5$  cm, 5 cm, 7 cm olarak seçilmiştir. 70 cm x 40 cm boyutunda ve et kalınlığı 8 mm olan model deney düzeneği kullanılmıştır. Yükleme aleti olarak üç eksenli basınç aletinin presi kullanılmıştır. Donatı kullanmadan yapılan deneylerde temel genişliğinin artmasıyla taşıma gücünün de arttığı belirtilmiştir. Donatılı deneylerde donatılar göçme yüküne kadar bir miktar uzadığı ve sınır yük aşıldıktan sonra donatıların zemin içinde sıyrıldığı belirtilmiştir.

Kumar *et al.* (1999) tarafından yapılan çalışmada polyester lif katkı malzemesinin, siltli kumun CBR dayanımında ve pik kayma dayanımında artışa neden olduğu gözlemlenmiş ve optimum lif oranının ağırlıkça %0,3 - %0,4 olarak belirtmiştir.

Yetimoğlu and Salbas (2003) tarafından polipropilen lif kullanımının kum zeminler üzerindeki kayma dayanımına etkisini araştırmak için direkt kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, lif katkısının kum zeminin rezidüel kayma dayanımını arttırdığı fakat pik kayma dayanımı ve başlangıçtaki zeminin rijitliği üzerinde pek etkili olmadığı belirtilmiştir.

Laman ve Keskin (2004a) yaptığı çalışmalarda donatısız kum zemin içinde oluşan düşey gerilmeleri model deneyler ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Araştırmalarında 20 mm kalınlığında, 7,5 cm genişliğinde ve 41,25 cm uzunluğunda rijit

temel plaka kullanmışlardır. Çalışmaların sonucunda; temel plakası merkezinin altındaki basıncın ölçüm derinliğinin artmasıyla azaldığı ve zemin sıkılığının artması ile aynı yük ve derinlikte oluşan ilave düşey gerilmelerin arttığı belirtilmiştir.

Hataf and Rahimi (2006) tarafından yapılan çalışmada lastik donatılı kum zeminler üzerinde model deneyler yapılmıştır. 4 mm kalınlığında, 1 m çapında ve 1 m yüksekliğe sahip tank deney sistemi kullanarak, 15 cm çapında dairesel temelde 34 adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerde, boyutları 2x4 cm, 2x6 cm, 2x8 cm, 2x10 cm, 3x6 cm, 3x9 cm ve 3x12 cm ve hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında araba lastikleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda maksimum taşıma gücü 3x12 cm boyutundaki liflerin %40 oranında katılmasıyla elde edilmiş ve araba lastiğinin BRC değerini 1,17 – 3,9 arasında arttırdığı görülmüştür.

Yetimoğlu *et al.* (2005) yaptıkları çalışmada polipropilen lif ve geotekstil malzemelerle güçlendirilmiş kil ve kum zeminler üzerine oturan dairesel temel ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde 50 mm çaplı dairesel temeller ile 152 mm çapında, 178 mm uzunluğunda deney tankı kullanılmışlar. Birim hacim ağırlığı 17,1 kN/m<sup>3</sup>, rölatif sıkılığı (Dr) %64, üniformaluluk katsayısı (Cu) 1,65 ve eğrilik katsayısı (Cc) 1,09 olan kum numuneler ile likit limiti 80, plastik limiti 31 olan kil numuneler kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Polipropilen lif ile geotekstil malzeme kullanılmasının taşıma kapasitesi oranını (BRC) önemli miktarda arttırdığı gözlenmiştir.

Kumar *et al.* (2006) tarafından yapılan çalışmada, kum ve kil zemine polyester lif malzemesinin katılmasıyla zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada lif oranı %0,5, %1, %1,5 ve %2 ve kil oranı %0 - %12 arasında seçilmiştir. Polyester lif katkısının sünekliği, serbest basınç mukavemetini ve taşıma kapasitesini arttırdığı oturumların ise azaldığı görülmüştür.

Attoom and Al-Tamimi (2010) bu çalışmada dört farklı en/boy oranına sahip kıvrımlı rijit ve düz esnek polipropilen lifler kum zemin ile karıştırılarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre esnek lif katkılı kum zeminlerin kayma

dayanımını arttırdığı görülmüştür. Aynı zamanda esnek liflerin en/boy oranının artmasıyla içsel sürtünme açısının ve kayma mukavemetinin arttığı belirtilmiştir. Yüksek normal yük altında kıvrımlı lif katkılı kum zeminlerin kayma mukavemeti artarken, düşük en/boy oranında ki kıvrımlı liflerin kum zeminlerin kayma dayanımına etkisinin düşük olduğu belirtilmiştir.

Adili *et al.* (2012) yaptıkları çalışmalarda zemine hacimce %5, %10, %15 ve %25 oranında papirüs lif malzemesini rastgele yerleştirerek zeminin kayma davranışını araştırmışlardır. Farklı lif oranlarında kesme kutusu deneyleri ile konsolidasyon deneyleri yapmışlar. Deneylerin sonucunda, deviator gerilme değerinin ve kayma mukavemeti parametrelerinin ( $c$ ,  $\phi$ ) %10 katkılı lif oranında önemli derecede arttırdığı ve yük altındaki zemin numunelerinin lif oranı arttıkça oturma oranlarının azaldığını belirtmişler. Papirüs lifinin zemin iyileştirme malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

Tafreshi *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada araba lastikleriyle güçlendirilmiş rastgele donatılı kum zemine oturan kare temellerin taşıma kapasitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Deneylerde kenar uzunluğu 100 mm olan kare temel ile 200 mm kalınlığında, 700 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliği olan deney tank sistemi kullanılmıştır. Kare temel plakası statik olarak yüklenmiş ve çeşitli derinliklerde gerilme ölçümleri yapılmıştır. Optimum donatı oranını %5 olarak bulunmuş ve %5 oranında lastik donatının taşıma kapasitesini 2,68 kat arttırdığı gözlenmiştir. Maksimum taşıma kapasitesi oranını veren efektif donatı derinliği 0,5B olarak belirlenmiştir.

Kumar and Kaur (2012) tarafından polipropilen lif file rastgele donatılandırılmış kum zeminler üzerine oturan kare temelin taşıma kapasitesi model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Kenar uzunluğu 30 cm olan temel tabakası ile 1,5 m x 1,5 m boyutundaki tank sistemi yapılan çalışmada kullanılmıştır. Deneylerde donatı olarak 45 mm boyutunda lifler kullanılmıştır. Donatı tabaka derinliğinin 1,0B den sonra taşıma kapasitesinde fazla bir değişim olmadığı ve rölatif sıklığın artması ile taşıma kapasitesi oranının arttığı belirtilmiştir.

Zaimoğlu ve Yetimoğlu (2012) yaptıkları çalışmada donatısız ve rastgele donatılı kum zemine oturan dairesel kesitli yüzeysel temelin yük-oturma davranışını bir dizi laboratuvar deneyi yaparak incelemişlerdir. Model deneylerini 300 mm çapında ve 300 mm derinliğinde fleksiğlas bir tank içinde yapmışlardır. Deneylerde rölatif sıklık  $Dr=75$  olarak seçilmiştir. Deneylerde 20 mm çapında 20 mm et kalınlığında rijit elik plakadan üretilmiş yüzeysel dairesel temel ve donatı olarak kum ağırlığının %0,125 ve %0,250 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda, aynı taban basıncında donatılı zeminin donatısız zemine göre oturma miktarının azaldığı, lif oranının artmasıyla aynı taban basıncında daha az oturmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Mali and Singh (2014) yapmış oldukları çalışmada polipropilen lif, hindistan cevizi lifi ve atık araba lastiği kullanarak kohezyonlu zeminlerin mukavemet özelliklerini üç eksenli basınç deneyi, serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yaparak araştırmışlardır. Üç eksenli deney sonuçlarına göre zeminin gerilme-gerinim davranışı hindistan cevizi lif katkılı siltli zeminlerde arttığı, kırılma anındaki deviator gerilme değeri lif katkılı zeminin lif katkısız zemine göre 3,5 kat arttığı belirtilmiştir. Kesme kutusu deney sonuçlarına göre zemin ağırlığının %0,40 oranına kadar polipropilen liflerle güçlendirilmiş zeminin kayma mukavemeti parametrelerinin artış gösterdiği, %0,40 oranından fazla lif katılması kayma mukavemeti parametrelerin de azalma olduğu ve 20 mm uzunluğunda ki lif katkılı zeminlerde kayma mukavementi değerleri maksimum değerde olduğu belirtilmiştir. Zeminlerin kohezyon değerleri lif oranının artmasıyla sürekli attığı ve içsel sürtünme aısın da artış olduğu fakat içsel sürtünme açısının genel olarak değişim göstermediğini belirtmişlerdir.

Zaimoğlu ve Yetimoğlu (2014) yaptıkları çalışmada donatısız ve rastgele donatılı kum zemine oturan dairesel kesitli yüzeysel temelin yük-oturma davranışını bir dizi laboratuvar deneyi yaparak incelemişlerdir. Model deneylerini 300 mm çapında ve 300 mm derinliğinde pleksiğlas bir tank içinde yapmışlardır. Deneylerde rölatif sıklık  $Dr=75$  olarak seçilmiştir. Deneylerde 20 mm ve 25 mm çapında 20 mm et kalınlığında rijit elik plakadan üretilmiş yüzeysel dairesel temeller ve donatı olarak

kum ağırlığının %0,125 oranında polipropilen lif kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda, aynı taban basıncında  $d=25$  mm boyutundaki dairesel temel plakasının yerleştirildiği zemindeki oturmanın çapı  $d=20$  mm boyutundaki dairesel temele göre daha düşük olduğu ve her iki temel çapında da donatısız zemine göre donatılı zeminin aynı taban basıncında oturmanın az olduğu belirtilmiştir.

Mahdad (2014) tarafından yapılan çalışmada donatısız ve rastgele donatılı kum zemine oturan şerit temelin yük-oturma-göçme davranışı bir seri laboratuvar plaka yükleme deneyi yöntemi araştırılmıştır. Çalışmalarda temel plakasının 3B derinliğindeki Zemin donatılandırılmıştır. 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. Deneylerin sonucunda, donatı yüzdesinin ve donatı uzunluğunun artmasıyla taşıma kapasitesinin arttığı ve oturmaların azaldığı belirtilmiştir.

Besnessalah *et al.* (2016) yaptıkları çalışmada orta ve sıkı kum zeminlere hacimce %0,10, %0,30 ve %0,50 oranında lif katılarak bir dizi kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçları donatısız kum zeminlerin sonuçları karşılaştırmışlar. Ayrıca %1,5, %2,3 ve %3 oranlarında su içeriğinin kesme kutusu davranışı üzerine etkileride araştırılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre zemine cam lifinin eklenmesiyle zeminin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir. Aynı zamanda ıslak numunelerde de cam lifinin eklenmesi zeminin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Lif katkısının sadece kesme kutusu dayanımının değil yük altında deformasyona karşı direnci de arttırdığı belirtilmiştir.

Liu *et al.* (2017) yapmış oldukları çalışmada poliüretan polimer ve polipropilen lifi kum zeminin stabilizasyonu için kullanmışlardır. Polimer-lifin kum zemin üzerindeki etkisini değerlendirmek için kesme kutusu ve serbest basınç deneyleri yapmışlardır. Deneyler için 4 farklı oranda polimer ve lif kullanmışlardır. Deney sonuçları kum zemine polimer-lif karışımının kumun dayanımını önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermiştir. Poliüretan organik polimer, kumun yapısal stabilitesini iyileştirmiş ve en

iyi karışım oranı polimer için %4 ve lif için %0,2-0,3 olarak bulmuşlardır. Deney numuneleri SEM’de görüntülenmiş ve yapılan bu çalışmanın zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Temeller

Temeller, yapıya etkiyen yükleri (hareketli, statik, dinamik yükler ile zemin ve su basınçları vb.) zemine izin verilebilir oturma değerleri içinde ve göçme olmadan zemine aktaran elemanlardır. Temellerin aynı anda üç ana koşulu sağlaması gerekmektedir. Bu koşullar; taşıma gücü, oturma ve ekonomik olmasıdır (Yıldırım 2004).

Zemin ortamının, temellerden aktarılan yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için;

- Zeminde göçmelerin meydana gelmemesi için yeterli güvenlikte olmalı,
- Oturmalar izin verilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır.

Yapı yüklerini zemine aktaran temeller iki ana grupta incelenmektedir.

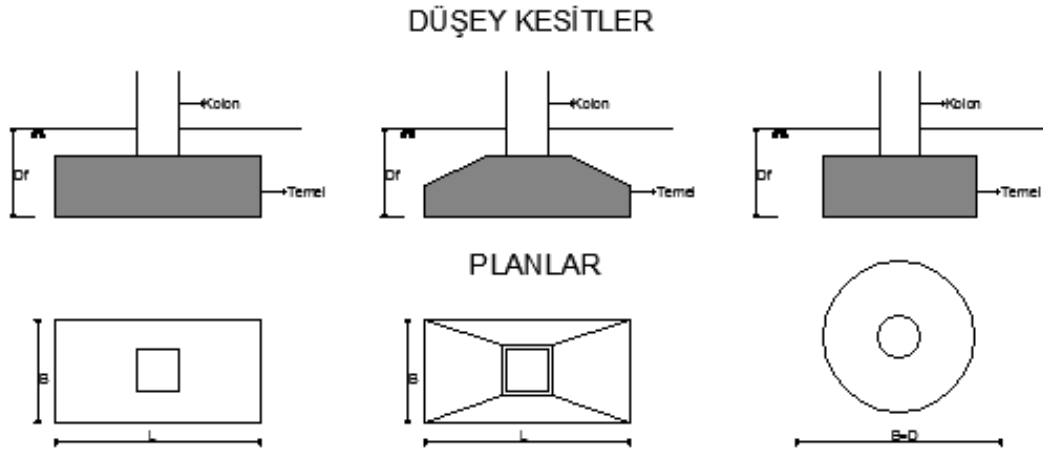
**1-) Yüzeysel temeller:** Taşıma gücü iyi olan zemin tabakasının yüzeye yakın olması durumunda tercih edilen temellerdir. Bu temeller tekil, şerit ve radye temel olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

**2-) Derin temeller:** Taşıma gücü iyi olan zemin tabakasının derinlerde olması durumunda veya yapıdan gelen yükün yüzeye yakın zemin tabakasının taşıyamayacağı büyüklükte olması durumlarında tercih edilen temel türleridir.

## 2.2. Yüzeysel Temeller

### 2.2.1. Tekil temeller

Pabuç, sömel veya münferit temel olarak adlandırılan tekil temeller yapısal yükleri kolon veya taşıyıcı duvar altında daha geniş bir alana yayarak temel zeminine iletirler. Her kolon ve her taşıyıcı duvarın tipik olarak kendi tekil temeli vardır ve bu yüzden her yapıda çok sayıda tekil temel mevcuttur. Tekil temeller inşa, hesap vb. kolaylıkları açısından tercih edilmektedirler. Planda kare, dikdörtgen, daire, yamuk vb. biçimde tasarlanabilen bazı tekil temel örnekleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Uzuner 2006)



**Şekil 2.1.** Tekil temel tipleri (Uzuner 2006)

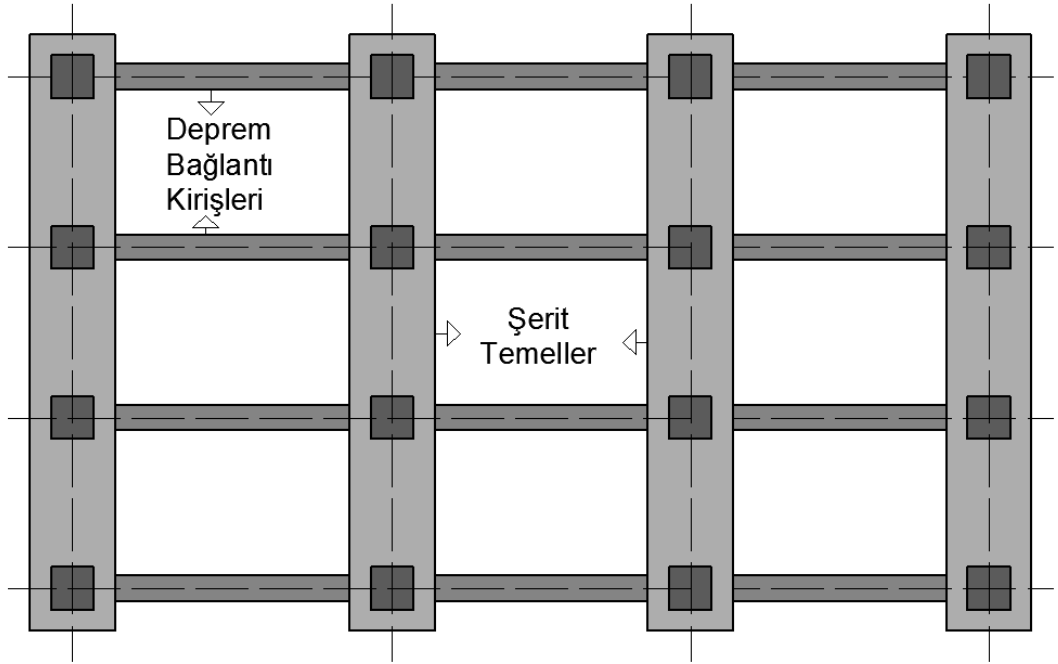
**B – L- D :** Tekil temellerin plan boyutu

**D<sub>f</sub> :** Zemin yüzeyinden temelin tabanına olan derinlik

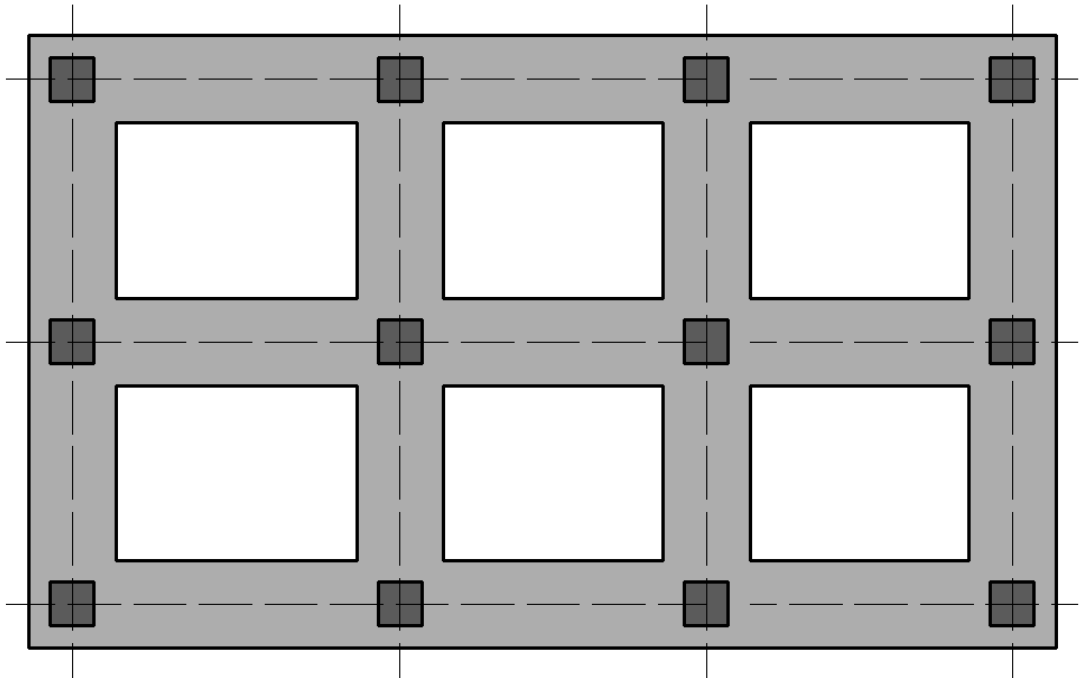
### 2.2.2. Şerit Temeller

Mütemadi veya sürekli olarak da adlandırılan şerit temeller bir boyutu diğer boyutunun birkaç katı kadar olan, şerit biçimli temellerdir. Şerit temeller bir doğrultuda ve iki doğrultuda uzanan şerit temel sistemi (ızgara temel sistemi) olarak sınıflandırılırlar. Çerçeve yapılarda kolon ve yığma binalarda taşıyıcı duvar altlarına yapılan temel türüdür. Şekil 2.2’de bir doğrultuda uzanan şerit temel örneği, Şekil 2.3’te ise iki doğrultuda uzanan şerit temel örneği gösterilmiştir (Uzuner 2006).





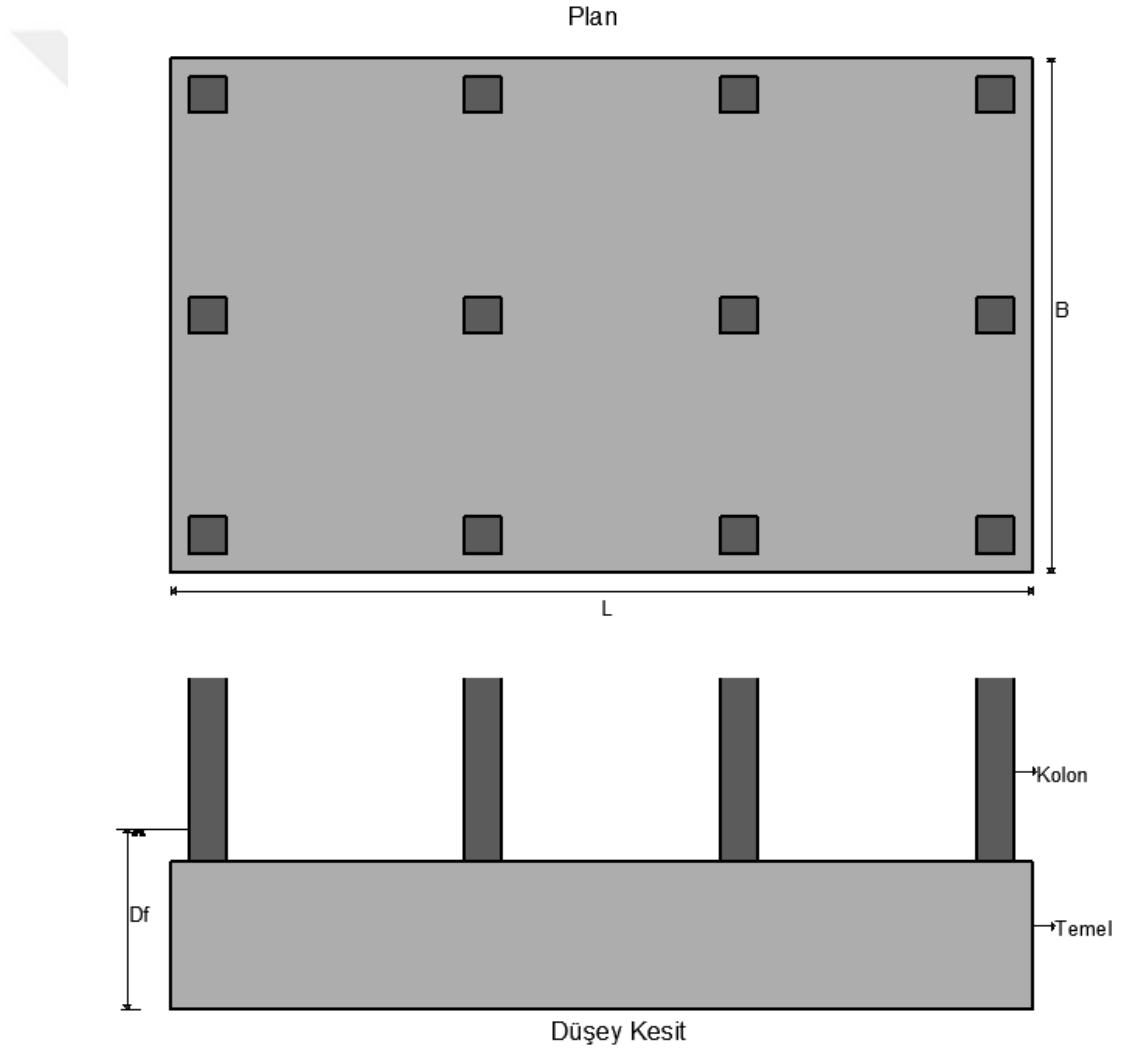
şekil 2.2. Bir doğrultuda uzanan şerit temel (Uzuner 2006)



şekil 2.3. İki doğrultuda uzanan şerit temel (Uzuner 2006)

### 2.2.3. Radye Temeller

Radye temel yapının oturduğu zemin alanını kaplayan temellerdir. Radye, radye jeneral, plak temel vb. gibi isimlendirilen radye temeller, taşıma gücü düşük zeminler ile farklı oturmaların olabileceği zeminlerde kullanılmaktadır. Zeminin yapısı ile yapının yükü dikkate alınarak radye temeller; düz, hücreli ve kirişli olarak tasarlanmaktadır. Şekil 2.3'de radye temel gösterilmiştir (Uzuner 2006).



**Şekil 2.4.** Radye temel (Uzuner 2006)

**B - L :** Radye temelin boyutları

**D<sub>f</sub> :** Zemin yüzeyinden temelin tabanına olan derinlik

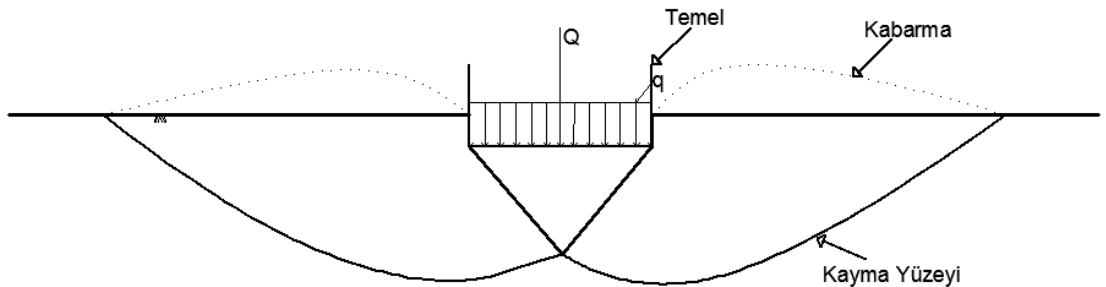
### 2.3. Yüzeysel Temelerde Göçme Türleri

Temeller yapı yüklerini zemine aktarmasıyla zeminde basınç ve kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Zeminde oluşan gerilmeler temel taban basıncına ve temel boyutuna bağlıdır. Temel taban basıncının büyük ve temel boyutunun az olması ile zeminde oluşan kayma gerilmeleri yüksek olmakta ve zemin bu kayma gerilmelerini karşılayamamaktadır. Bu durumda zeminlerde taşıma gücü problemi oluşmaktadır. (Coduta 2005).

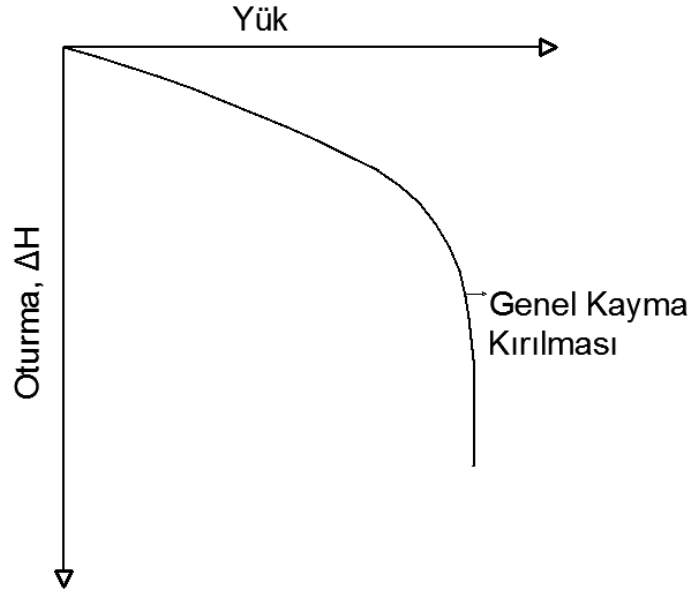
Araştırmacılar zemin problemi olan taşıma gücü göçmelerini genel kayma göçmesi, bölgesel kayma göçmesi ve zımbalama kayma göçmesi olarak üç grupta tanımlamışlardır.

#### 2.3.1. Genel kayma göçmesi

Genel kayma kırılması genellikle sıkı veya sert zeminlerde görülmektedir. Kırılma yüzeyleri belirgin olup zemin yüzeyine kadar uzanmaktadır. Genel kayma kırılmasında zeminlerde kabarma olmakta ve oturma – yük eğrisinde kırılma noktası belirgindir. Tipik bir genel kayma kırılması 2.5’de ve oturma-yük eğrisi Şekil 2.6’da gösterildiği gibidir. (Uzuner 2006)



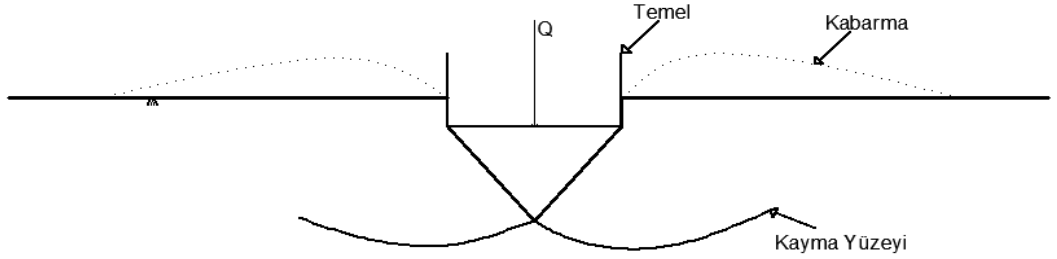
Şekil 2.5. Genel kayma göçmesi (Uzuner 2006)



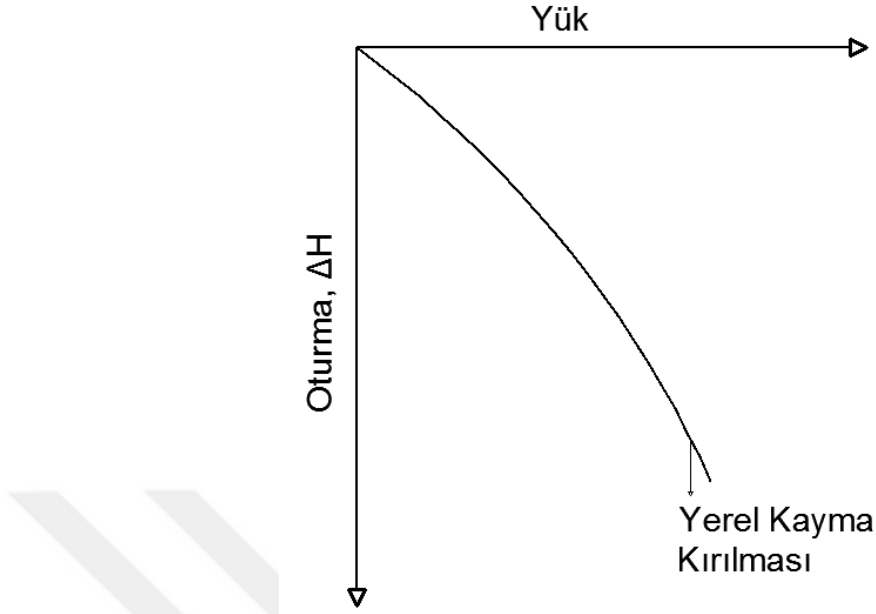
Şekil 2.6. Genel kayma göçmesi grafiği (Uzuner 2006)

### 2.3.2. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi

Bölgesel kayma göçmesi genellikle yumuşak veya gevşek zeminlerde meydana gelir. Kayma yüzeyleri temel altında belirgin olup, zemin yüzeyine yakın yerlerde ise belirsiz hal almaktadır. Oturma – yük eğrisinde kırılma noktası belirgin değildir ve temel yük altında daha derine batmaya devam eder. Tipik bir bölgesel kayma kırılması Şekil 2.7’de ve oturma-yük eğrisi Şekil 2.8’de gösterildiği gibidir (Uzuner 2006).



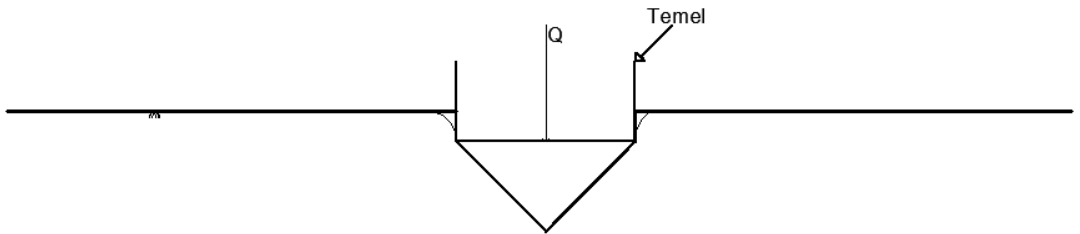
Şekil 2.7. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi (Uzuner 2006)



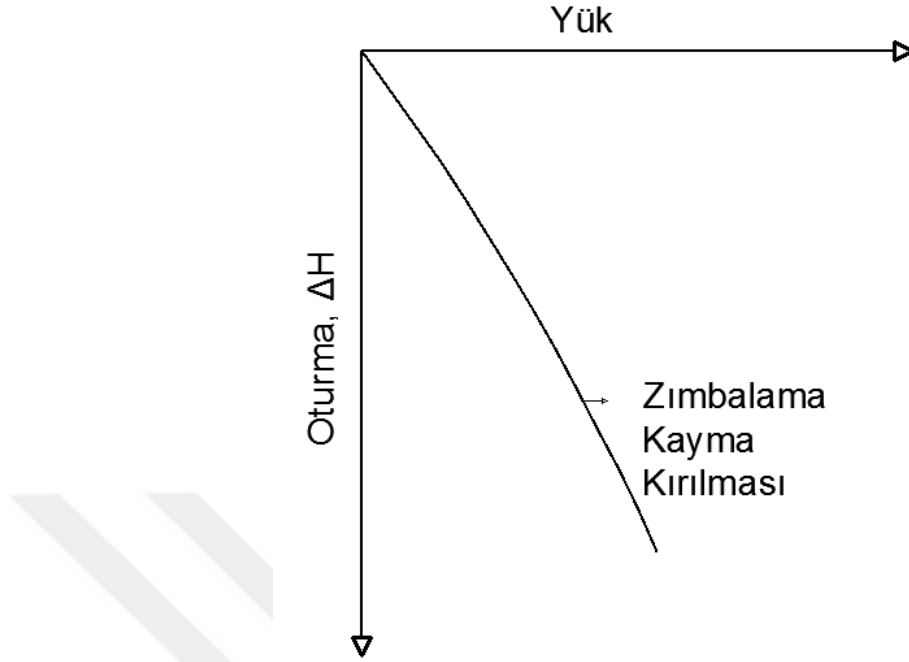
Şekil 2.8. Yerel (bölgesel) kayma göçmesi grafiği (Uzuner 2006)

### 2.3.3. Zımbalama kayma göçmesi

Zımbalama kayma kırılması çok gevşek ve zayıf zeminlerde meydana gelir. Temel yanlarında kırılma yüzeyleri veya kabarma olmadan görece olarak büyük oturmaya uğrar. Zımbalama ve yerel kayma göçmesi genel olarak  $D_r < 0.30$  olan zeminlerde görülmektedir. Tipik bir zımbalama kayma kırılması Şekil 2.9’da ve oturma-yük eğrisi Şekil 2.10’da gösterildiği gibidir (Uzuner 2006).



Şekil 2.9. Zımbalama göçmesi (Uzuner 2006)

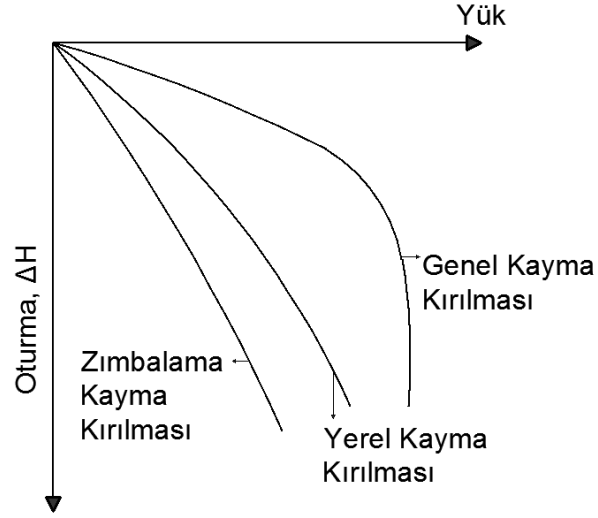


**Şekil 2.10.** Zımbalama göçmesi grafiği (Uzuner 2006)

Yukarıda anlatılan üç göçme türünden hangisinin meydana geleceğini belirlemek için nicel kriterler tam olarak belirlenmemiştir. Aşağıda belirtilen bilgiler zeminde meydana gelebilecek göçmeler hakkında fikir vermektedir.

- Yüzeşte oturan temel için sıkı kumlar ( $D_r > 67\%$ ) ve aşırı konsolide kil ( $OCR > 5$ ) zeminlerde genel kayma göçmesi meydana gelir.
- Gevşek-orta sıkı kumlar ( $30\% < D_r < 67\%$ ) veya hafif-aşırı konsolide kil zeminlerde genellikle yerel göçme görülür.
- Çok gevşek kumlar ( $D_r < 30\%$ ), batık siltler ve yumuşak kil tabakalarında genellikle zımbalama göçmesi görülmektedir (Mahdad 2014).

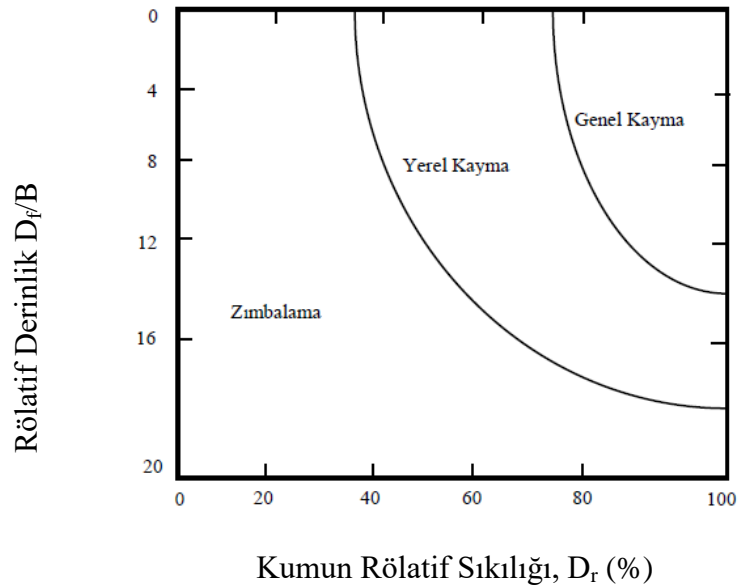
Göçme türlerinin tamamına ait yük-oturma eğrileri Şekil 2.11’de gösterilmiştir



**Şekil 2.11.** Göçme türleri (Uzuner 2006)

Coduto, model temelerde göçme (yenilme) türlerini  $D_f/B$  (rölatif Derinlik) ve  $D_r$  (rölatif sıkılık) ile ilişkilendirmiş ve kum zemine oturan model temelerin göçme türleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

Bu grafikteki  $D_f$ : temel derinliği,  $B$ : temel çapı ve  $D_r$ : zeminin rölatif sıkılığını ifade etmektedir.



**Şekil 2.12.** Kum zemine oturan model temelerde yenilme türleri (Coduto 2005).

## 2.4. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Yüzeysel temeller, yapımının kolay ve maliyetinin az olmasından dolayı genellikle tercih edilen ve sıkça kullanılan temellerdir. Yüzeysel temelin nihai taşıma gücünün belirlenmesi için tasarım aşamasında doğru analiz yapılmalı ve aşağıda belirtilen değişkenler dikkate alınmalıdır (Önalp-Sert 2006)

- 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. Terzaghi taşıma gücü teorisi aşağıda verilen varsayımları içermektedir.

- Temel derinliği temel genişliğine eşit veya daha küçüktür. ( $D \leq B$ )
- Temelin tabanı yeterince pürüzlüdür.





Dikdörtgen temeller için:

$$q_{nih} = 1 + 0,2 \left(\frac{B}{L}\right) c N_c + \gamma D_f N_q + 0,5 - 0,1 \left(\frac{B}{L}\right) \gamma B N_\gamma \quad (2.3)$$

Sürekli temeller için:

$$q_{nih} = c N_c + \gamma D_f N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (2.4)$$

Bu formüllerde;

$N_c, N_q, N_\gamma$  : İçsel sürtünme açısına bağlı Terzaghi taşıma gücü katsayıları

$c$  : Kohezyon

$D_f$  : Temel derinliği

$\gamma$  : Zeminin birim hacim ağırlığı

$B$  : Temel genişliği

$\gamma D_f$  : Zemin yüzeyinden aşağıdaki  $D_f$  derinliğindeki efektif düşey gerilme

**Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi:** Genel taşıma gücü kapsamında Meyerhof (1963), temellerde şekil faktörünün önem kazanması ve bunun gibi genel özellikler göz önüne alınmasıyla aşağıda verilen eşitlikleri önermiş olup şekil, derinlik ve yük eğimi faktörleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir. (Orhan 2017)

$$q_u = c N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \gamma D_f N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0,5 \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.5)$$

Burada:

$c$  : Kohezyon

$\gamma D_f$  : Temel derinliğindeki örtü yükü

$\gamma$  : Zeminin birim hacim ağırlığı

$B$  : Temel genişliği (Dairesel temellerde çap)

$N_c, N_q, N_\gamma$  : Taşıma gücü faktörleri

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$  : Şekil (Biçim) faktörleri

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$  : Derinlik faktörleri

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$  : Yük eğim faktörleri

**Çizelge 2.1.** Şekil, derinlik ve eğim faktörleri (Orhan 2017)

Faktör	İlişki
<b>Biçim veya Şekil</b>	$F_{cs} = 1 + \frac{B \cdot N_q}{L \cdot N_c} \quad F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \quad F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$
<b>Derinlik</b>	<p><b>Şart(a); <math>D_r/B \leq 1</math></b>  <math>\phi^o = 0</math> için  <math display="block">F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B}; F_{qd} = F_{\gamma d} = 1</math></p> <p><math>\phi^o &gt; 0</math> için  <math display="block">F_{cd} = F_{qd} - \left( \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi} \right) \quad F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B}; F_{\gamma d} = 1</math></p> <p><b>Şart(b); <math>D_r/B &gt; 1</math></b>  <math>\phi^o = 0</math> için  <math display="block">* F_{cd} = 1 + (0,4) \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right); F_{qd} = F_{\gamma d} = 1</math></p> <p><math>\phi^o &gt; 0</math> için  <math display="block">F_{cd} = F_{qd} - \left( \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi} \right)</math></p> <p><math display="block">* F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)</math></p> <p><math display="block">F_{\gamma d} = 1</math></p>
<b>Eğim</b>	$F_{ci} = F_{qi} = \left( 1 - \frac{\beta^o}{90^o} \right)^2$ $F_{\gamma i} = \left( 1 - \frac{\beta^o}{\phi^o} \right)^2$ <p><math>(\beta^o)</math>; Temele eğimli gelen yük açısı</p>
(*) İlişkilerinde $\tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)$ değeri radyan türünden alınır.	

**Hansen Taşıma Gücü Teorisi:** Hansen (1970) Meyerhor taşıma gücü teorisine ek olarak; yük eğim açısı faktörlerini, zemin eğim faktörlerini ve temel sapma faktörlerini dikkate alarak formüller geliştirmiştir. Formülde kullanılan temel sapma faktörü  $b_i$ , temel tabanının yatay düzlemden  $\eta$  açısı kadar saptması durumunda ve zemin eğim faktörü  $g_i$ 'de, temelin yan yüzünü destekleyen zeminlerde  $\beta$  açısı kadar bir eğim bulunması durumunda dikkate alınan değerlerdir.  $i_i$  yük eğim faktörleride temele etkileyen yatay ve düşey yük bulunması durumunda oluşacak bileşke yüklerin düşey eksenden kaçıklığını dikkate alan katsayıdır. Bu faktörleri dikkate alarak Hansen taşıma gücü formülü aşağıda verilmiştir.

$$q_{nih} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + \gamma D f N_q S_q d_q i_q g_q b_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (2.6)$$

**Vesic Taşıma Gücü Teorisi:** Vesic (1975) taşıma gücü teorisi, Hansen taşıma gücü teorisine benzemektedir. İki yöntem arasındaki farklılıklarından biri  $N_\gamma$  taşıma gücü faktörüdür. Vesic,  $b_i$  temel sapma faktörleri,  $g_i$  zemin eğim faktörleri ve  $i_i$  yük eğim faktörlerinin hesaplamaların da farklı yaklaşımlar kullanmıştır ve taşıma gücü hesaplamalarında Hansen'in aksine eksantrisite etkisini dikkate almayarak temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmiştir.

## 2.5. Donatılı Zeminler

Zemin özelliklerini iyileştirmek için bir çok yöntem mevcuttur. Bunlardan son zamanlarda yaygın olarak kullanılan zemine düzgün veya rastgele donatı yerleştirilerek donatılı zemin elde etmektir. Temel zemine donatı katılmasıyla, zeminin taşıma gücünün artması, oturmanın azalması ve zeminin deformasyonunun azalması istenmektedir.

Donatılı zemin, zemine çekme mukavemeti yüksek bir malzeme katılmasıyla, zemin taneleri ile kullanılan donatı malzemesi arasında oluşan sürtünme ve adhezyonla elde edilen güçlendirilmiş zemin anlamına gelir (Demiröz 2008).

Donatı ile zeminin bir bütün olarak çalışması, kullanılan donatının çekme mukavemetine, zemin ile donatı arasındaki sürtünme katsayısına ve donatının sıklığı, boyu, yerleştirilme şekli ve zemin içerisindeki miktarında bağlıdır (Uğur 2009).

Donatılı zemin, donatının zemine yerleştirilmesine bağlı olarak sistematik (düzenli) veya rastgele donatılı zemin olarak sınıflandırılır.

### **2.5.1. Sistematik (düzenli) donatili zeminler**

Doğal yada sentetik malzemeden üretilen donatıların zemine yatay düzlemde sistematik olarak yerleştirilmesiyle veya zemin içerisine belli bir açı ile yerleştirilmesiyle oluşturulan zeminlerdir. (Yetimoğlu ve Salbaş 2002)

### **2.5.2. Rastgele donatili zeminler**

Genellikle ayrık yapılı lif malzemelerin rastgele yani düzensiz bir şekilde zemine karıştırılmasıyla elde edilir. Rastgele donatılan zeminlerin düzgün donatılı zeminlerdeki gibi önceden belli donatılara potansiyel kayma yüzeylerinin olmaması ve farklı yönlerde zemini güçlendirip daha fazla mukavemet izotropisi sağlaması rastgele donatılı zeminlerin teknik üstünlüğünü oluşturmaktadır (Yetimoğlu ve Salbaş 2002).

### **2.5.3. Donatı çeşitleri**

Donatı olarak kullanılan geosentetik malzemeler; zemin iyileştirmesinden atık alanlarına, asfalt, demiryolu zemini güçlendirilmesinden istinat yapılarına, erozyon, şev kontrolünden su, nem yalıtımına, barajlar, marina, kanallar, göletler gibi hidrolik yapılardan drenaj işlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar.

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 tanımlar.

Donatılı zemin uygulamalarında genellikle kullanılan geosentetik donatı malzemelerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Geotekstil
- Geogrid
- Geonet
- Geomebran
- Geosentetik kil şilte
- Geoboru
- Geokompozit
- Geotüp
- Geohücre
- Geodiğerleri

Geosentetik, ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım amaçlı kullanılmaktadırlar.

**Lifler:** Geosentetik malzeme sınıfında bulunan lifler taşıma gücü zayıf zeminleri güçlendirmek için rastgele veya düzenli olarak yerleştirilmektedir. Ayrık yapılı lif malzemelerle elde edilen rastgele donatılı zeminler, lif malzemenin zemine direkt olarak herhangi bir sistem olmadan çimento veya kireç gibi karıştırıldığından uygulamada büyük kolaylık sağlamaktadır (Yetimoğlu ve Salbaş 2002). Genellikle rastgele donatı olarak kullanılan lifler iki ana başlık altında sınıflandırılır.

#### **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

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

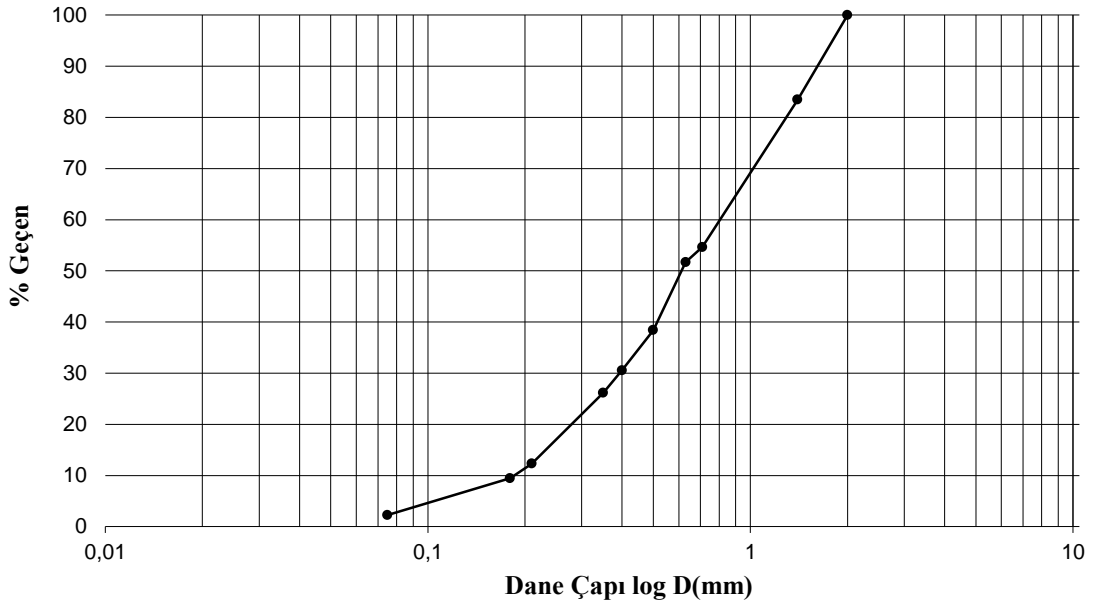
##### 3.1.1. Kum zemin

Deneysel çalışmada kullanılan kum Erzurum İli Horasan İlçesindeki kum ocağından yıkanmış olarak temin edilmiştir. Kum zemin etüvde 105 °C kurutulduktan sonra 2 mm çaplı (No:10) eleklerden elenmiştir.

Deneyde kullanılan kumun bazı özelliklerini belirlemek amacıyla Atatürk üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarın'da elek analizi, dane birim hacim ağırlığı, maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlığı deneyleri yapılmıştır.

**Elek Analizi:** Deneylerde kullanılan kum numunenin dane çapı dağılımını belirlemek için ASTM standartlarına göre belirlenen eleklerden elenerek zemin sınıfı belirlenmiştir. Zemin sınıfını belirlemek için Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) kullanılmıştır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre deneylerde kullanılan zeminin sınıfı kötü derecelendirilmiş) kum (SP) olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kum zeminin dane çapı dağılım eğrisi Şekil 3.1'de elek analizi deney sonuçları Çizelge 3.1'de, görülmektedir.





Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kuma ait dane çapı dağılımı

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan kum malzemenin özellikleri

<b>Granülometri Parametreleri</b>	
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Efektif Dane Çapı, $D_{10}$ (mm)	0,19
$D_{30}$ (mm)	0,4
$D_{60}$ (mm)	0,8
Üniformluluk Katsayısı $C_u = D_{60} / D_{10}$	4,21
Derecelenme Katsayısı $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \cdot D_{10})$	1,05

**Dane birim hacim ağırlığı:** Deneylerde kullanılan kum zeminin dane yoğunluğunun belirlenmesi için piknometre deneyi yapılmıştır (ASTM D854). Deneyler en az üç defa tekrarlanmıştır. Deneylerden çıkan sonuçların ortalaması alınarak kum zeminin dane birim hacim ağırlığı  $\gamma_s = 25,8 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur.

**Maksimum ve minimum boşluk oranlarının belirlenmesi:** Deneylerde kullanılan kum malzemenin sıkılığını belirlemek için ASTM D4253-ASTM D4254 standartları doğrultusunda maksimum ve minimum birim hacim ağırlıkları tespit edilerek zeminin sıkılığını belirten rölatif sıkılığı ( $D_r$ ) ifadesi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$e_{max} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{kmin}} - 1 \quad (3.1)$$

$$e_{min} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{kmax}} - 1 \quad (3.2)$$

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (3.3)$$

Bu formüllerde;

$e$  : Zeminin boşluk oranı

$e_{max}$  :Maksimum boşluk oranı

$e_{min}$  :Minimum boşluk oranı

$\gamma_s$  : Dane birim hacim ağırlığı

$\gamma_{kmax}$  : Maksimum kuru birim hacim ağırlık

$\gamma_{kmin}$  : Minimum kuru birim hacim ağırlık

Kohezyonsuz zeminlerin rölatif sıkılığına göre sınıflandırılması Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kohezyonsuz zeminlerin rölatif sıkılığına göre sınıflandırılması (Uzuner 2016)

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

Deney kumu hacmi belli olan tank sistemine rölâtif sıklığı ( $D_r = \%60$ ) olacak şekilde belirlenen ağırlıkta sıkıştırılarak konulmuştur. Çizelge 3.3’de kum zeminin rölâtif sıklığının belirlemek için gerekli olan indeks özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Rölâtif sıklığın belirlenmesinde kullanılan indeks özellikler

Rölâtif sıklık parametreleri	Birim	Değer
Dane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ )	kN/m <sup>3</sup>	25,8
Maksimum kuru birim hacim ağırlık( $\gamma_{kmax}$ )	kN/m <sup>3</sup>	18,16
Minimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmin}$ )	kN/m <sup>3</sup>	14,5
Kuru birim hacim ağırlık( $\gamma_k$ )	kN/m <sup>3</sup>	16,5
Maksimum boşluk oranı ( $e_{max}$ )	-	0,8
Minimum boşluk oranı ( $e_{min}$ )	-	0,4
Boşluk oranı (e)	-	0,56

### 3.1.2. Polipropilen lif donatı

Deneylerde donatı olarak 12 mm uzunluğunda polipropilen lifler kullanılmıştır (Şekil 3.2). Lif oranları zeminin ağırlığına orantılı olarak rastgele konularak homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Deneylerde rastgele donatı olarak kullanılan polipropilen lifin üretici firmadan temin edilen bazı özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Deneylerde donatı olarak kullanılan polipropilen lif

**Çizelge 3.4.** Polipropilen life ait indeks ve mekanik özellikler

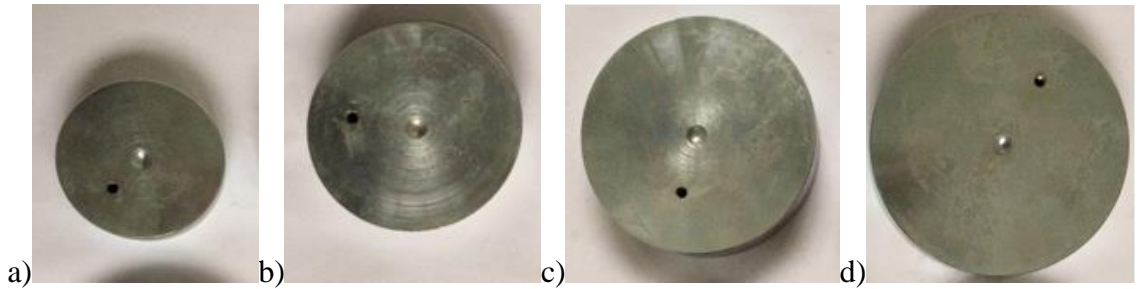
Normal Çap, (mm)	0,050
Uzunluk, (mm)	12
Birim Ağırlık, (kN/m <sup>3</sup> )	9,1
Gerilme Direnci, (N/mm <sup>2</sup> )	320-400
Elastisite Modülü, (N/mm <sup>2</sup> )	4000
Özgül Yüzey Alanı, (m <sup>2</sup> /g)	0,2-0,3

### 3.1.3. Deney düzeneği

Donatısız kum zemin ile zeminin toplam ağırlığınca %0,125, %0,250, %0,50 oranında polipropilen lif ile donatlandırılmış kum zemine oturan dairesel yüzey temellere büyük tank sisteminde statik yükleme yapılarak bir seri deneyler yapılmıştır. Deneyler dört farklı boyutta dairesel temeller kullanılarak yürütülmüştür.

#### 3.1.3.a. Model temeller

Deneylerde temel olarak çelik malzemeden imal edilmiş rijit model plakalar kullanılmıştır. Model plakalar kalınlığı 2 cm ve çapları 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm olan dairesel temellerdir (Şekil 3.3). Temellere gelen yükü üniform olarak zemine aktarması için temel ortasına çelik bilyeler yerleştirilmiştir. Temelin üniform olarak oturma yapısını yapmadığını tespit etmek için üç adet deplasman ölçer (LVDT) eşit aralıklarla (120°) dairesel temellere yerleştirilmiştir.

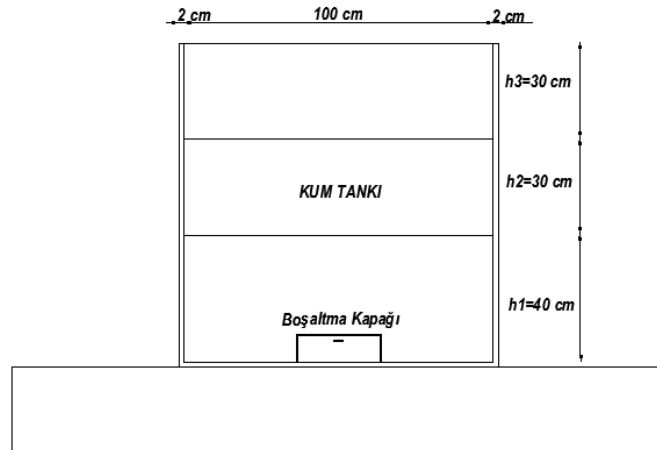


**Şekil 3.3.** Deneylerde kullanılan temel plakaları

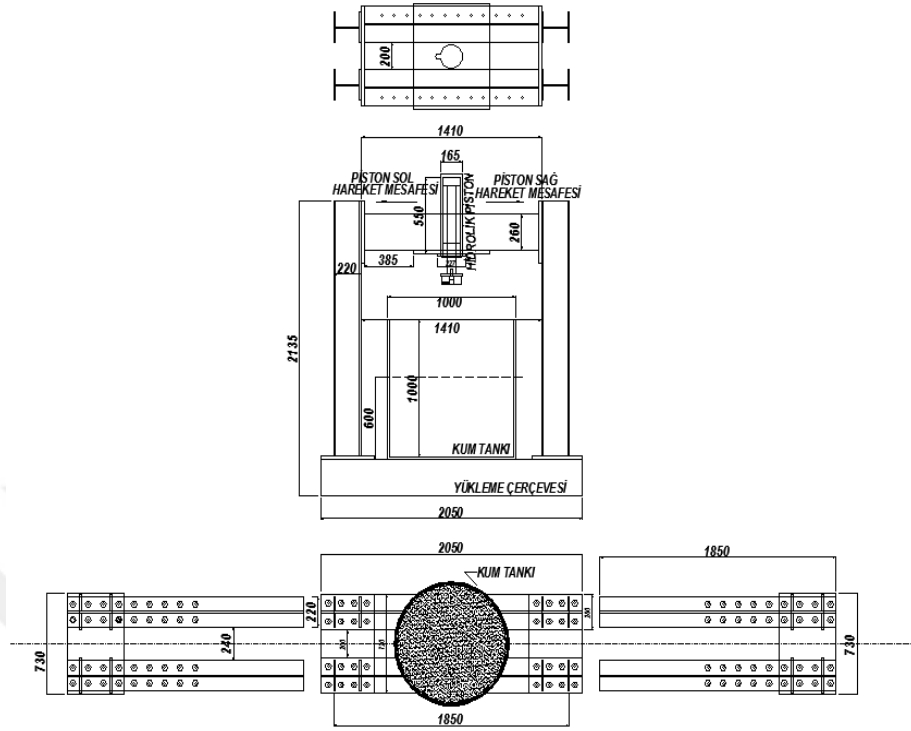
- a) d=80 mm (8 cm) c) d=120 mm (12 cm)  
b) d=100 mm (10 cm) d) d=140 mm (14 cm)

### 3.1.3.b. Deney tankı

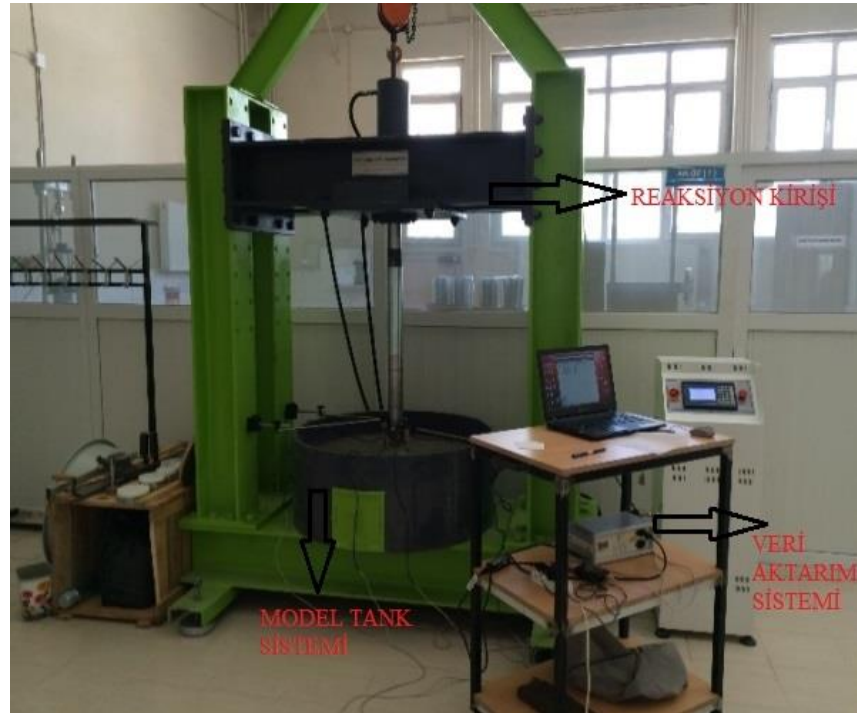
Deney haznesinin planda çapı 100 cm olan dairesel kesitli 100 cm derinliğinde çelik üç parçadan oluşan ( $h_1=40$  cm,  $h_2=30$  cm,  $h_3=30$  cm) malzemeden yapılmıştır. Deney haznesinin et kalınlığı 2 cm olup düşey yükler altındaki muhtemel yanal deformasyonları karşılayacak kalınlıktadır (Şekil 3.4). Tank haznesinin içine konulan malzemelerin rahatlıkla boşaltılıp karıştırılabilmesi için haznenin alt tarafında kapak sistemi yapılmıştır. Deneylerde üç parçadan oluşan tankın  $h_1=40$  cm yüksekliğindeki parçası kullanılmıştır. Deney sisteminin autocad çizimi Şekil 3.5’de, deney sisteminin görüntüsü de Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kum tankı



Şekil 3.5. Deney sistemi autocad çizimi



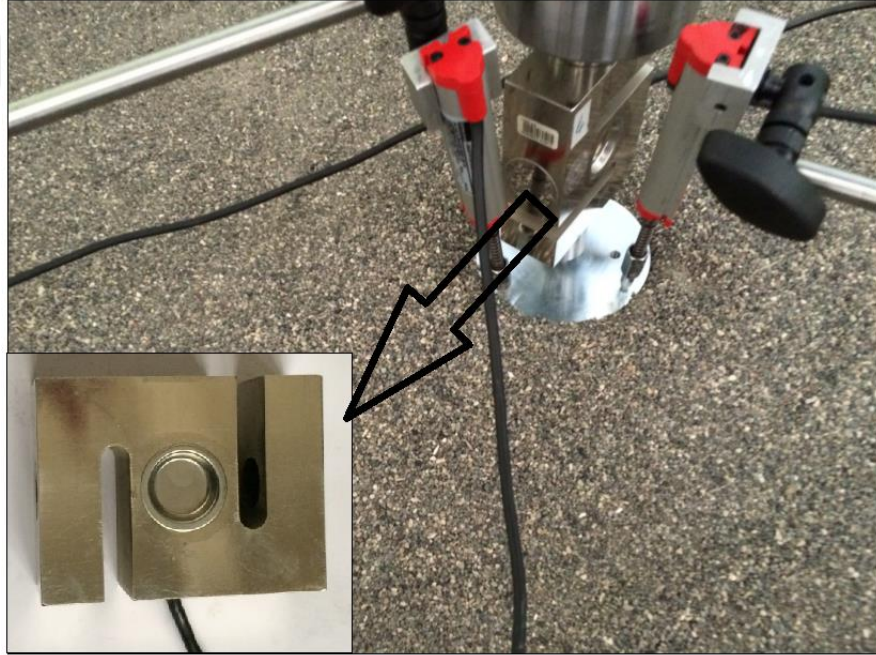
Şekil 3.6. Deney sistemi

### 3.1.3.c. Yükleme sistemi

Tank sistemi reaksiyon kirişi, uzunluğu 144,5 cm ve kalınlığı 26 cm olan çelik malzemeden imal edilmiştir. Reaksiyon kirişine bağlı yükle sistemi ile model temellere sabit bir hızla yükleme yapılmıştır. Deneylerde yükleme hızı olarak 1.2 mm/dk olarak seçilmiştir.

### 3.1.3.d. Yük hücresi

50 kN kapasiteli yük hücresi ile temel plakasına uygulanan yük değerleri ölçülmüştür. Yük hücresinin görünümü Şekil 3.7'de, yük hücresinin özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.7. Yük hücresi

**Çizelge 3.5.** Yük hücresinin özellikleri

Teknik Özellikler	Açıklama
Kapasite (kg)	5000
Toplam Hata (%)	<0,020
Minimum Ölçüm Aralığı (kg)	0,82
Yük Hücresi Malzemesi	Çelik

### 3.1.3.e. Deplasman ölçer

Temel plakasının altında meydana gelen yer değiştirmeleri gözlemlemek için, dijital LVDT'ler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan temellere eşit aralıklarla üç adet LVDT yerleştirilmiştir. Kullanılan LVDT ile 0,01 mm hassasiyetle ölçüm yapılmıştır. LVDT'lerde okumaların farklı olması ve eksantrisite durumunda deneyler tekrarlanmıştır. Deplasman ölçer (LVDT) Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.8.** Deplasman ölçer (LVDT)

### 3.1.3.f. Veri toplama ve aktarma sistemi

Yük hücresi ve LVDT'lerden alınan değerler 8 kanallı TESTBOX 1001 veri toplama cihazına aktarılmıştır. Veri toplama sistemi sensörlerden gelen sinyalleri dijital veriye



çevirerek bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Bilgisayarda TESTLAB-BASIC yazılımı kullanılarak deney verileri elde edilmiştir. Her deneyden önce sensörlerin kalibrasyon ayarları kontrol edilerek yapılmıştır. Veri toplama ünitesinin görüntüsü Şekil 3.9’da verilmiştir.



**Şekil 3.9.** Veri toplama ünitesi

### 3.2. Yöntem

Çalışma süresince tüm deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

Model deneyler, 100 cm çapında dairesel kesitli, 40 cm derinliğinde büyük tank sistemi içerisinde yürütülmüştür. Tank sisteminin deney haznesinin et kalınlığı 2 cm olup rijit çelik malzemeden üretilmiştir. Böylece deney aşamalarında düşey yükler altında oluşabilecek muhtemel yanal deformasyonların önüne geçilmiştir. Tank sistemi reaksiyon kiriş uzunluğu 144,5 cm ve kalınlığı 26 cm olan çelik malzemeden imal edilmiştir. Deneylerde yükleme hızı deneyler süresinde 1,2 mm/ dk olarak sabit tutulmuştur. Temele uygulanan yük, reaksiyon kirişi ile temel arasına yerleştirilmiş 50 kN kapasiteli yük hücresi ile iletilmiştir. Yük hücresi ile temel plakası merkezi arasına da çelik bir bilye yerleştirilerek temele yükleme yapılmıştır. Temel plakasının altında meydana gelen yer değiştirmeleri gözlemlemek için deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Kullanılan LVDT ile 0,01 mm hassasiyetinde veriler elde edilmiştir. Her

bir temel plakası için üç farklı LVDT kullanılmış olup temel plakası üzerine  $120^0$  açıyla üç noktadan yerleştirilmiştir. Veri toplama sistemi yük hücresi ile LVDT'lerden gelen sinyalleri dijital veriye çevirerek bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Bilgisayarda TESTLAB-BASIC yazılımı kullanılarak deney verileri elde edilmiştir. Her deneyden önce sensörlerin kalibrasyon ayarları kontrol edilerek sıfırlanmıştır.

Deneylerde kum tank haznesi içerisine tabakalar halinde sıklığı  $D_r = \%60$  ( $\gamma_k = 16,5 \text{ kN/m}^3$ ) olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneylerde polipropilen lif içeriği (pp), toplam kum ağırlığının  $\%0,125$ ,  $\%0,250$  ve  $\%0,50$ 'si olarak seçilmiştir. Her deney için belirlenen yüzdeliğine göre tank haznesinin içerisine kum ve polipropilen lif rastgele olarak karıştırılıp aynı rölatif sıklıkta deney haznesine yerleştirilmiştir. Polipropilen lif malzemesinin kum zemine homojen karışmasını sağlanmıştır. Deney tankına yerleştirilen kumun yüksekliğinin her noktasında aynı olmasına dikkat edilerek sürekli kontrolü yapılmıştır.

Deneylerde temel çapı 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm, et kalınlığı  $t=2$  cm olan rijit çelik plakalar kullanılmıştır. Temel boyutlarının seçiminde, sınır etkilerinden dolayı tank sistemin boyutları önemli etken olmuştur. Tank sisteminin çapı ve derinliği temel genişliği ve çapından yaklaşık 7 katından daha fazla olup tank haznesinin kenarları ile kum zemin arasında meydana gelebilecek sürtünmenin deney sonuçlarını etkilemeyeceği düşünülmüştür. Deneyler temel zemin ortamında göçme oluncaya kadar devam ettirilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Donatısız ve farklı oranlarda polipropilen lif ilave edilerek rastgele donatılandırılmış kum zemin üzerine oturan dört farklı boyuttaki dairesel temel plakalarıyla büyük ölçüde tasarlanan tank sisteminde bir seri model deneyler yapılmıştır. Model deneyler sonucunda elde edilen veriler kapsamında donatı oranının ve temel boyutunun taşıma gücü üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Ayrıca herbir donatı oranı ve yüzeysel temel boyutu için, ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri çizilerek açıklanmıştır. Bununla birlikte deney sonuçlarını yorumunda oturma oranı (U) – taşıma kapasitesi oranı (BCR) grafiklerinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen veriler ve yorumlar ilgili bölümlerde açıklanmıştır.

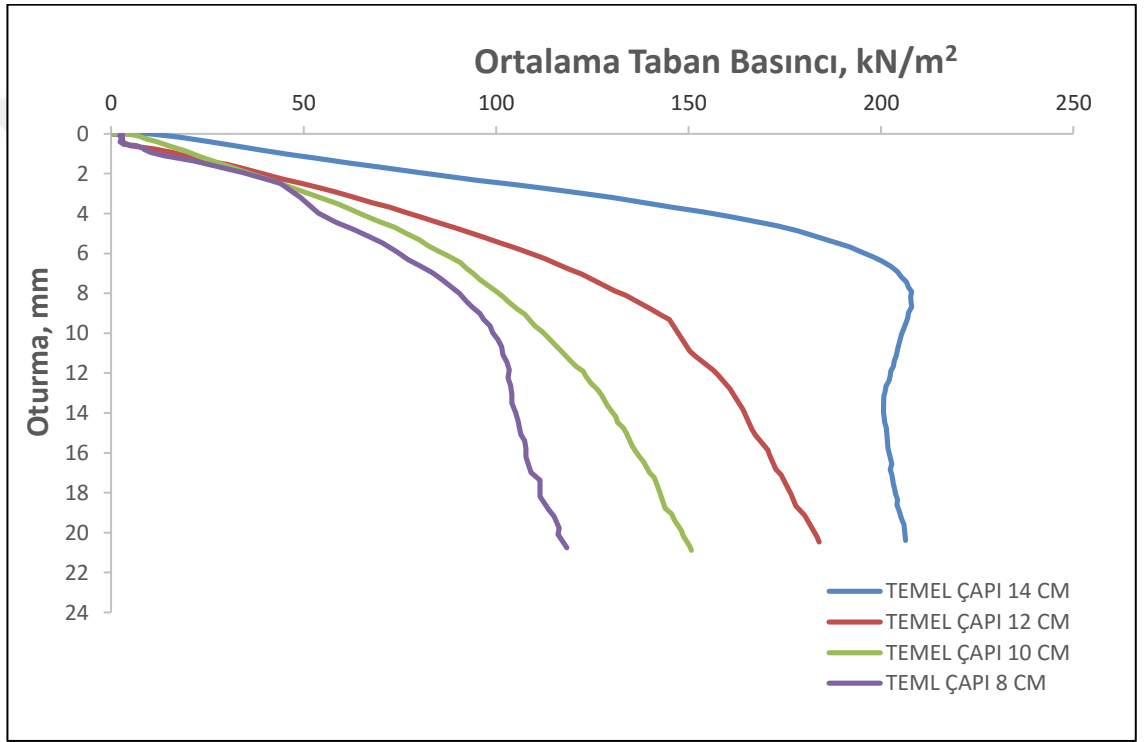
Bu bölümde donatısız ve polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış kum zeminler üzerine oturan dairesel yüzey temellerin büyük ölçüde tasarlanan tank sistemi ile yapılan deney sonuçları verilmiştir.

##### 4.1. Donatısız Kum Zemine Oturan Dairesel Yüzey Temellerin Deney Sonuçları

Büyük ölçekli tank sistemine donatısız kum zemin orta sıkı ( $D_r = \%60$ ) olacak şekilde yerleştirildikten sonra dairesel yüzey temeller, tank sisteminin ağırlık merkezi ile dairesel temelin ağırlık merkezi üst üste gelecek şekilde konulmuştur. Temel ile piston yüzeyi arasında oluşabilecek etkileşimleri ortadan kaldırmak ve yükü temele üniform dağıtabilmek amacıyla, temelin ağırlık merkezinde oluşturulan uygun yiv üzerine rijit çelik bilye konulmuştur. Daha sonra piston çelik bilye ile temas edinceye kadar indirildikten sonra yükleme yapılmıştır. Deney süresince 10 saniye aralıklarla hem düşey yük hemde düşey deformasyon eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Farklı zamanlarda elde edilen yük temel alanına bölünerek taban basıncı elde edilmiştir. Temel

üzerinde 120° açıyla konumlandırılan üç deformasyon saati değerlerinin ortalaması alınarak oturma elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak temellere ait ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri çizilmiştir.

Donatısız kum zemin üzerine oturan farklı çaplardaki temellerin ortalama taban basıncı (q)-oturma eğrileri (s) Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi (Donatısız kum zemin)

Şekil 4.1. incelendiğinde, dairesel yüzey temel çapının artmasının nihai taşıma kapasite değerinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Buna karşın dairesel yüzey temelin çapı arttıkça düşey deformasyonların azaldığı belirlenmiştir. Aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temellerin düşey deformasyon değerleri sırasıyla 10,3 mm, 7,8 mm, 5,4 mm ve 2,4 mm olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar beklenen doğrultuda ve literatür bilgilerine uygun olarak gerçekleşmiştir. Çelik (1997) yaptığı çalışmada temel boyununun (genişliğinin) artmasıyla taşıma gücünün arttığını belirtmiştir.

#### 4.2. Rastgele Donatlandırılmış Kum Zemine Oturan Dairesel Yüzey Temellerin DeneY Sonuçları

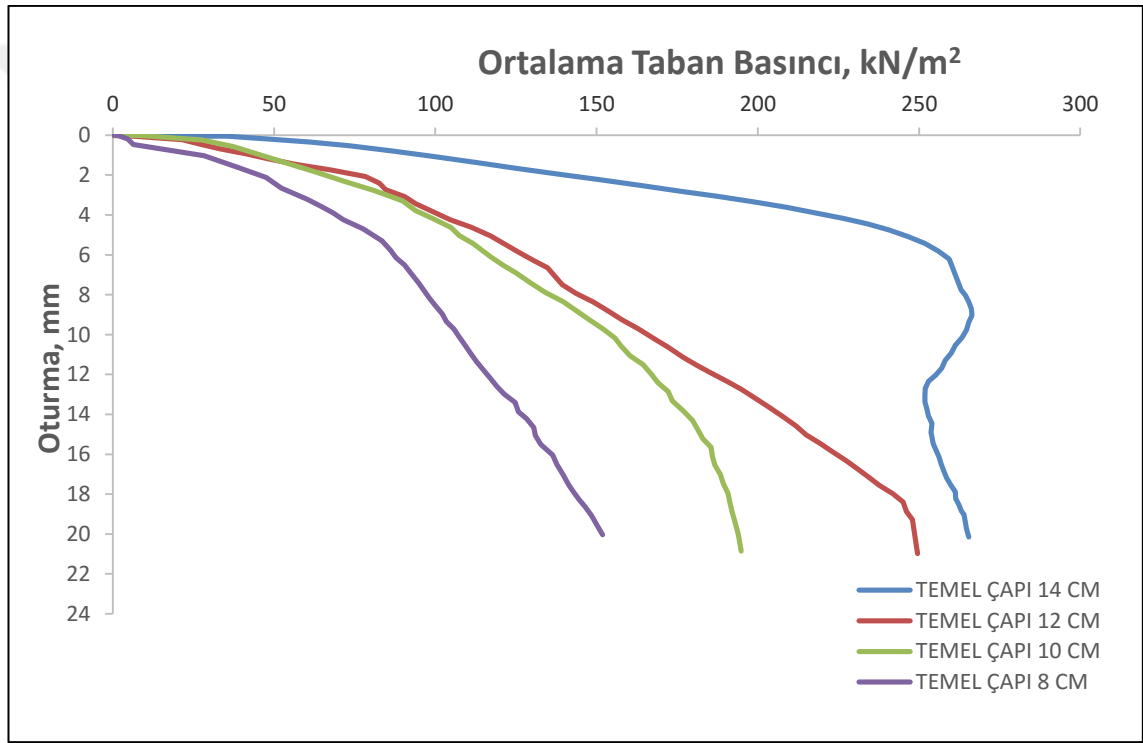
Bu bölümde; toplam ağırlığa farklı oranlarda polipropilen lifler ilave edilerek rastgele donatlandırılmış kum zemine oturan dairesel yüzey temeller için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. DeneY sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak her bir lif oranı ve her bir dairesel yüzey temel çapı için ortalama taban basıncı ( $q$ ) – oturma ( $s$ ) eğrileri çizilmiştir. Parametre olarak ağırlıkça lif oranı ile farklı boyuttaki temeller alınmıştır. Polipropilen lif ile rastgele donatlandırılmış kum zemine ait görünüm Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Rastgele donatlandırılmış kum zeminin görünümü

#### 4.2.1. Ağırlıkça %0,125 oranında polipropilen lif ile rastgele donatılmış kum zemine oturan dairesel yüzey temellerin deney sonuçları

Kum zemine toplam ağırlığın %0,125 oranında polipropilen lif ilave edilerek rastgele donatılmış zemin elde edilmiştir. Bu kum zemin üzerine merkezlenen dairesel yüzey temellerin deney verileri kullanılarak ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir



**Şekil 4.3.** Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi (%0,125 polipropilen lif ile donatılmış zemin)

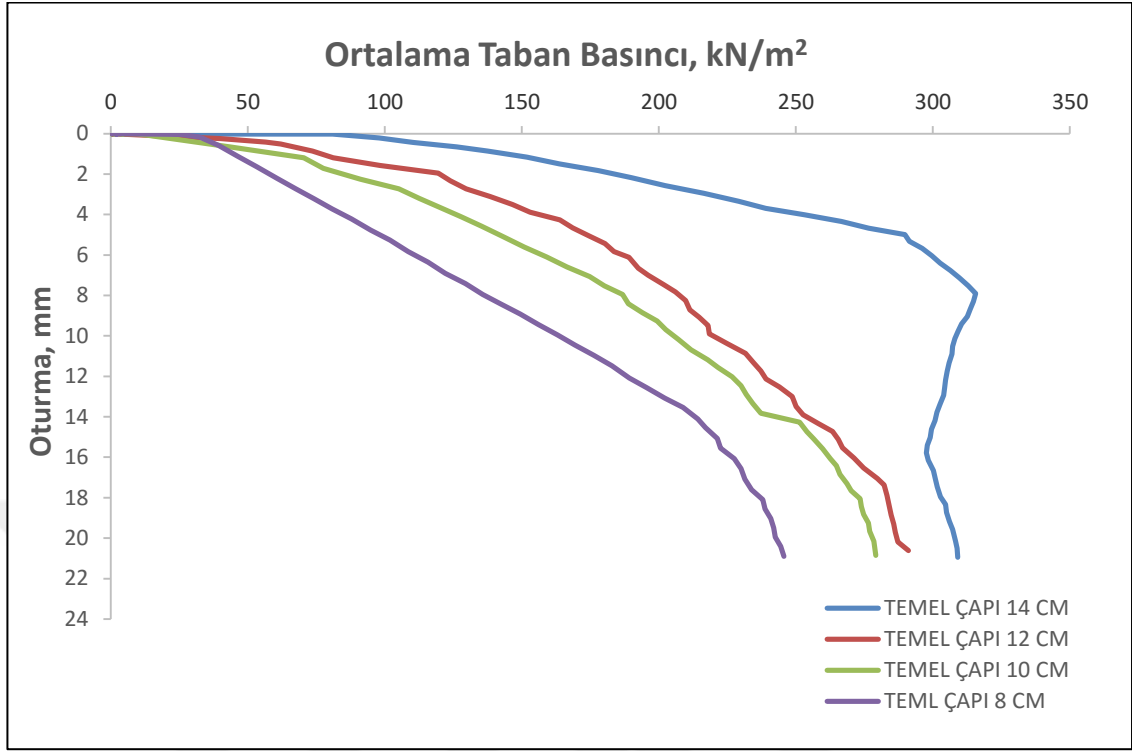
Dairesel yüzey temel çapının artması polipropilen lif ile rastgele donatılmış kum zeminin (%0,125 PP) nihai taşıma kapasitesinin de artmasına neden olduğu Şekil 4.3’te görülmektedir. Şekil 4.3’te dairesel yüzeysel temelin çapı arttıkça düşey deformasyonun azaldığı açıkça görülmektedir. Aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temellerin oturma değerleri sırasıyla 8,5 mm, 4,2 mm, 3,1 mm ve 1,3 mm olduğu görülmektedir.

Polipropilen lif ile rastgele donatlandırılmış kum zeminin (%0,125 PP) taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri donatısız kum zemin ile karşılaştırıldığında aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temelerin oturma değerleri sırasıyla %17, %46, %43, %45 oranında azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin polipropilen liflerin kum tanecikleri arasındaki boşluklara girerek kum tanecikleri arasında köprü görevi görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yani polipropilen lifler kum tanelerinin arasına girerek toplam yatay alanının artmasına buna bağlı olarak gerilmelerin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Zaimoğlu ve Yetimoğlu (2014) yaptıkları çalışmada kum zemine %0,125 PP lif eklenmesiyle donatlandırılmış zeminin taşıma gücünün attığını ve oturmaların azaldığını belirtmişlerdir.

#### **4.2.2. Ağırlıkça %0,250 oranında polipropilen lif ile rastgele donatlandırılmış kum zemine oturan dairesel yüzey temelerin deney sonuçları**

Belirlenen rölatif sıklıktaki ( $D_r=0,60$ ) kum zemine toplam ağırlığın %0,250 oranında polipropilen lif ilave edilerek rastgele donatlandırılmış zemin elde edilmiştir. Tank içerisinde hazırlanan kum zemin üzerine merkezlenen dairesel yüzey temelerin deney verileri kullanılarak ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi (%0,250 polipropilen lif ile donatılmış zemin)

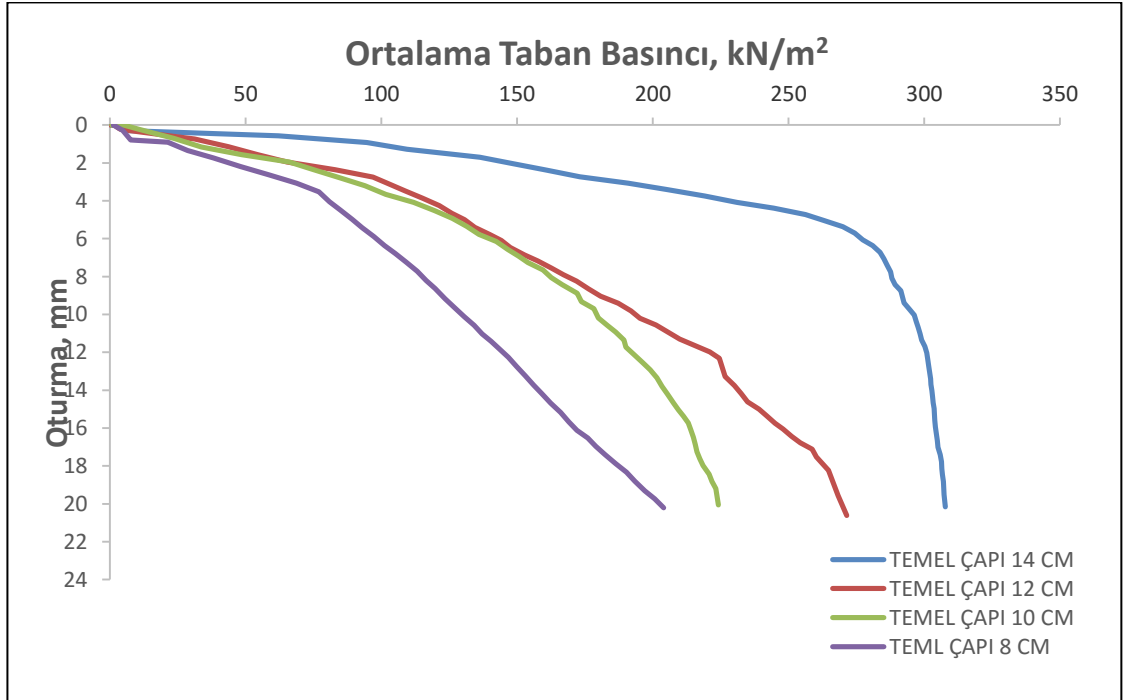
Şekil 4.4’de görüleceği gibi kum zemin ile %0,125 polipropilen lif ilave edilerek elde edilen rastgele donatılmış zemin gibi benzer özellikte dairesel yüzey temelin çapının artması polipropilen lif ile rastgele donatılmış kum zeminin (%0,250 PP) nihai taşıma kapasitesinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Şekil 4.4’de dairesel temelin çapının artması ile düşey deformasyonun azaldığı görülmektedir. Aynı taban basıncında (Örneğin  $100 \text{ kN/m}^2$  taban basıncında) sırasıyla 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temellerin oturma değerleri 5,2 mm, 2,5 mm, 1,7 mm ve 0,4 mm olduğu görülmektedir. Bunun nedeni polipropilen lif oranının artması ile kum daneleri arasında giren liflerin kum tanecikleri arasında köprü görevi görmesi ve köprü görevi gören lifler kum taneciklerine gelen gerilmesi daha geniş alana yayarak gerilmenin azalmasına buna bağlı olarak meydana gelen düşey deformasyonun azalmasına neden olmaktadır. Liu *et al.* (2017) yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bularak zemine katılan lif oranının artması ile zeminin dayanımı attırdığı ve en iyi karışım lif oranının %0,20-%0,30 aralığında olduğunu belirtmişlerdir.



Ağırlıkça %0,250 polipropilen lif ile rastgele donatılmış kum zeminin taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri incelendiğinde aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla 8 cm,10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temelerin oturma değerleri donatısız zemine göre sırasıyla %49, %67, %68, %83 oranında azaldığı, %0,125 polipropilen lif rastgele ilave edilerek elde edilen rastgele donatılmış kum zemine göre ise sırasıyla %38, %45, %40, %69 oranında azaldığı görülmüştür.

#### 4.2.3. Ağırlıkça %0,500 oranında polipropilen lif ile rastgele donatılmış kum zemine oturan dairesel yüzey temelerin deney sonuçları

Kum zemine toplam ağırlığın %0,500 oranında polipropilen lif ilave edilerek rölatif sıklığı orta sıkı ( $D_r = \%60$ ) olan rastgele donatılmış zemin elde edilmiştir. Bu rastgele donatılmış kum zemin üzerine merkezlenen dairesel yüzey temelerin deney verileri kullanılarak ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) eğrisi (%0,500 polipropilen lif ile donatılmış kum zemin)

Dairesel yüzey temelin çapının artması polipropilen lif ile rastgele donatılan kum zeminin (%0,500 PP) nihai taşıma kapasitesinin de artmasına neden olduğu Şekil 4.5'te görülmektedir. Dairesel yüzeysel temelin çapı arttıkça düşey deformasyonun azaldığı açıkça görülmektedir. Aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temellerin oturma değerleri 6,3 mm, 3,6 mm, 2,9 mm ve 0,9 mm olduğu görülmektedir.

Rastgele donatılan kum zemine (%0,500 PP) oturan farklı çaplardaki dairesele yüzey temellerin taşıma kapasitesi donatısız kum zemin ve rastgele donatılan kum zemin (%0,125 PP) ile karşılaştırıldığında aynı taban basıncında oturmaların azaldığı fakat %0,250 lif katkıli rastgele donatılan kum zemin ile karşılaştırıldığında aynı taban basıncında oturmaların arttığı görülmüştür. Bunun nedeni polipropilen lif oranının artması ile kum daneleri arasına giren liflerin belli orandan sonra kum tanecikleri arasındaki köprü görevinden daha çok lif-lif arasında sürtünmenin olmasının daha fazla olduğu ve dane-lif arasındaki sürtünmenin lif-lif arasındaki sürtünmeden fazla olabileceği düşünülmektedir.

Rastgele donatılan kum zeminin (%0,500 PP) taban basıncı (q) – oturma (s) grafikleri incelendiğinde aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla 8 cm ,10 cm, 12 cm ve 14 cm çaplı temellerin oturma değerleri kum zemine göre sırasıyla %38, %53, %46, %62 oranında azaldığı, %0,125 polipropilen lif rastgele ilave edilerek elde edilen rastgele donatılı kum zemine göre ise sırasıyla %25, %14, %6, %30 oranında azaldığı fakat rastgele donatılan zemine (%0,250 PP) zemine göre ise oturma oranının %17, %30, %41, %55 oranında arttığı açıkça görülmektedir.

Donatılı ve rastgele donatılan zeminler üzerinde yapılan deney sonuçlarının yorumunda, “taşıma kapasitesi oranı (BCR)” ve “oturma oranı (U)” terimleri kullanılmıştır.

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

$$U = \frac{s}{d} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.1'de;

$q_r$  : rastgele donatılandırılmış kum zeminde belirli bir oturma değerine karşılık gelen ortalama taban basıncı

$q$  : donatısız kum zeminde aynı oturma değerine karşılık gelen ortalama taban basıncı

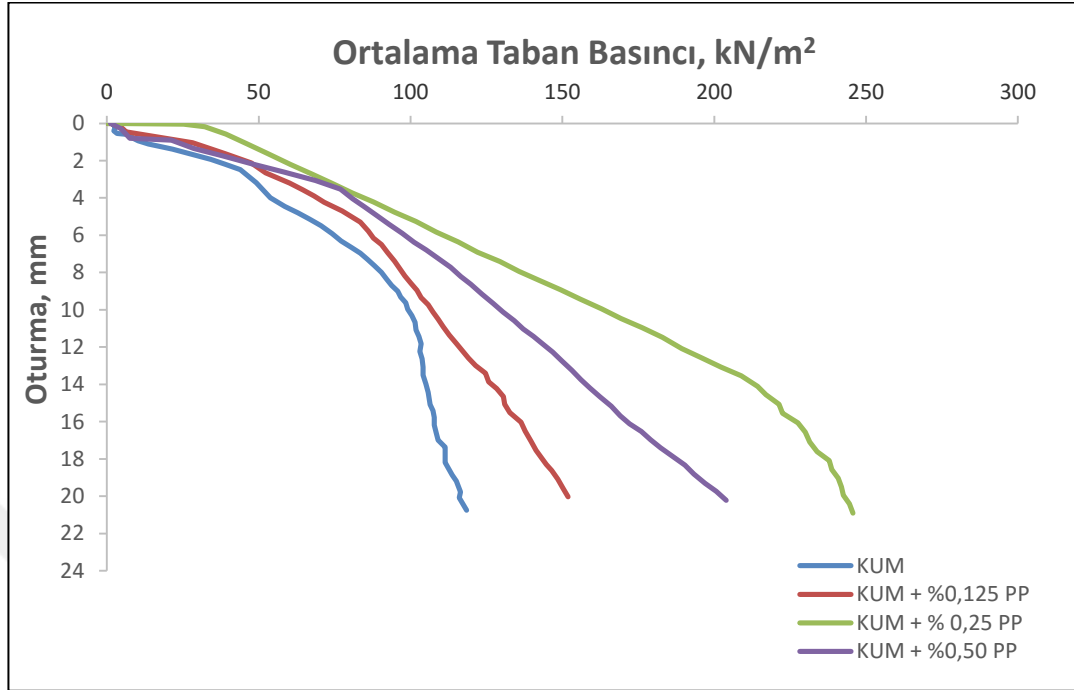
Eşitlik 4.2.'de;

$s$  : temelın oturma miktarı

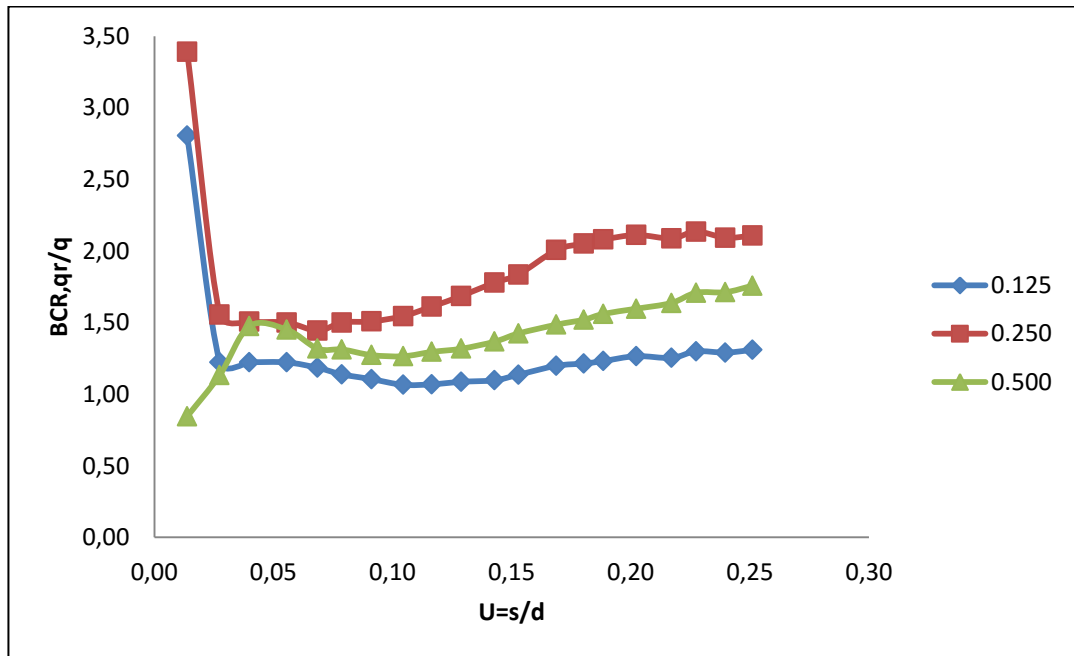
$d$  : temel çapı

ifade etmektedir.

Donatısız kum zemine zemin ağırlığınca %0,125, %0,250, %0,50 polipropilen lif ile donatılandırılmış kum zemine oturan 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm temel çaplarına ait ortalama taban basıncı-oturma grafikleri sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.8, Şekil 4.10 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Boyutsuz oturma oranı  $U=0,01$  ile  $U=0,25$  arasındaki değerlere karşılık gelen taşıma kapasite oranları hesaplanarak BCR -  $U$  ilişkisi 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm temel çapları için sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.11 ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



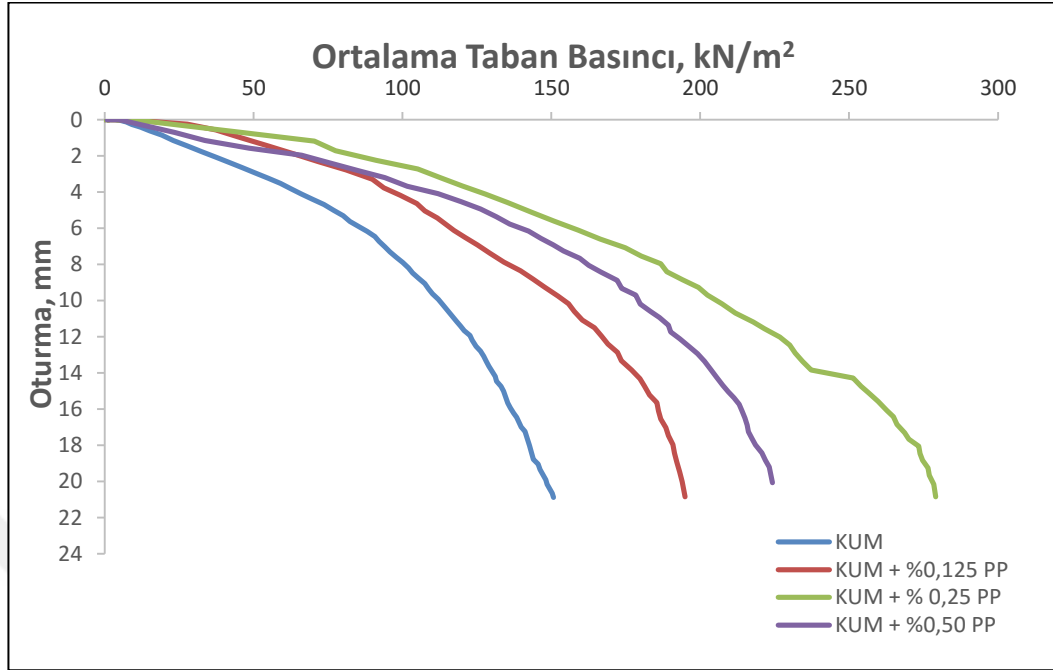
Şekil 4.6. Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılmış zeminin ortalama taban basıncı ( $q$ ) –oturma ( $s$ ) ilişkisi ( $d=8$  cm)



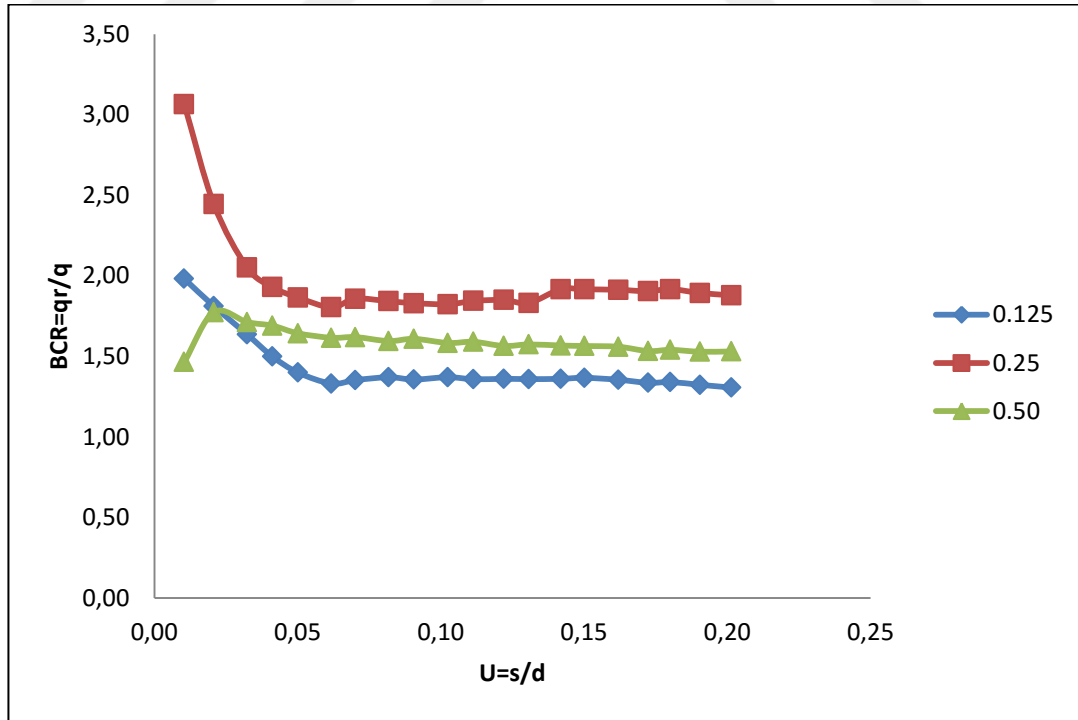
Şekil 4.7. Temelin oturma oranı ( $s/d$ )-taşıma kapasite oranı (BCR) ilişkisi ( $d=8$  cm)

Şekil 4.6 incelendiğinde 8 cm çapındaki dairesel yüzey temelin oturduğu kum zemin donatı oranı arttıkça aynı taban basıncında oturmanın azaldığı görülmüştür. Bu artış polipropilen donatı %0,500 oranına kadar devam etmiş ve bu orandan sonra oturmanın arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.6.'da görüleceği gibi aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla kum zemin ,%0,125 ,%0,250 ve %0,500 lif ile donatılmış zeminlerin oturma değerleri 10,3 mm, 8,5 mm, 5,2 mm ve 6,3 mm olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin lif oranının tanecikler arasında girerek köprü görevi görmesi ve içsel sürtünmesinin artmasıyla açıklanabilir. Belli orandan sonra kum taneciği ile lif arasındaki sürtünmenin lif-lif arasındaki sürtünmenin alması ile açıklanabilir. Donatılmış zeminlerde %0,250-%500 PP arasındaki değerlerde deneyler yapılmadığı için düşey deformasyonun artması iki değer arasında hangi değerde başladığı net olarak bilinmemektedir. Mali and Singh (2014) yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuş ve içsel sürtünme açısının maksimum değerini zemin ağırlığının %40 oranında polipropilen lif ilave edilmesiyle elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Şekil 4.7'de donatılmış zeminde (%0,250) oturma oranı  $U=0,01$ 'den  $U=0,25$  değerine arttıkça BCR değeri 3,39 değerinden 2,11 değerine düşmüştür. %0,500 oranında rastgele donatılmış zeminde ise  $U$  değerinin artmasıyla BCR değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.



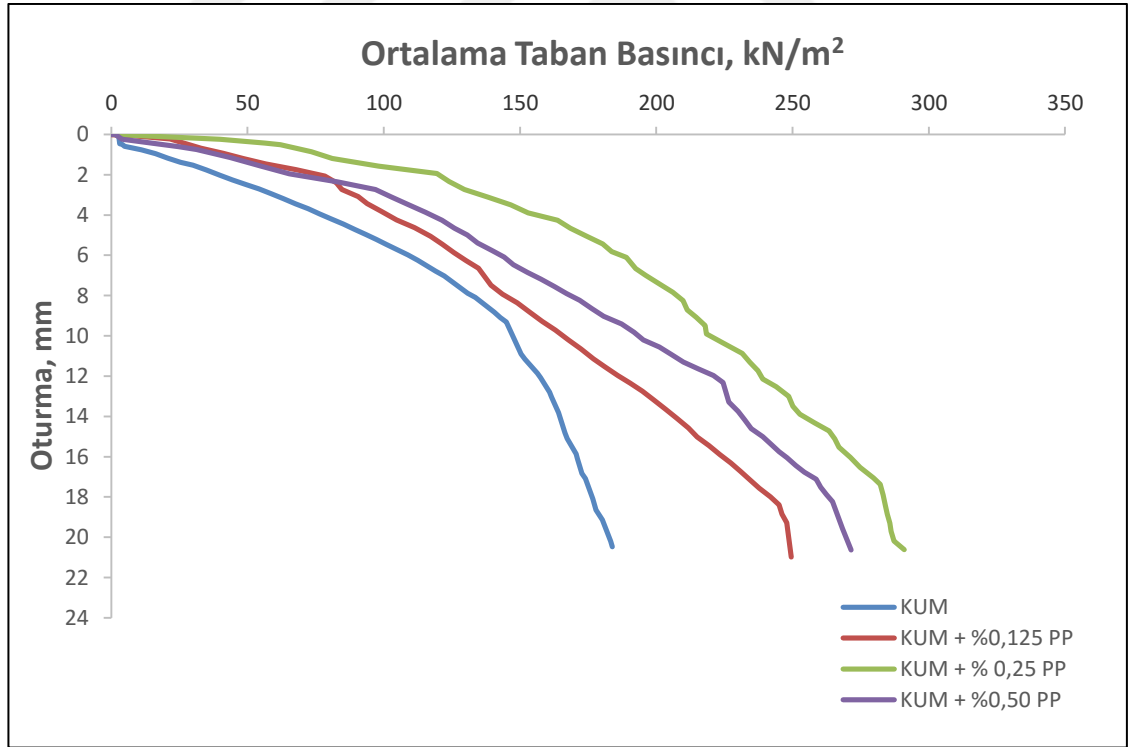
Şekil 4.8. Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılmış zeminin ortalama taban basıncı (q)–oturma (s) ilişkisi (d=10 cm)



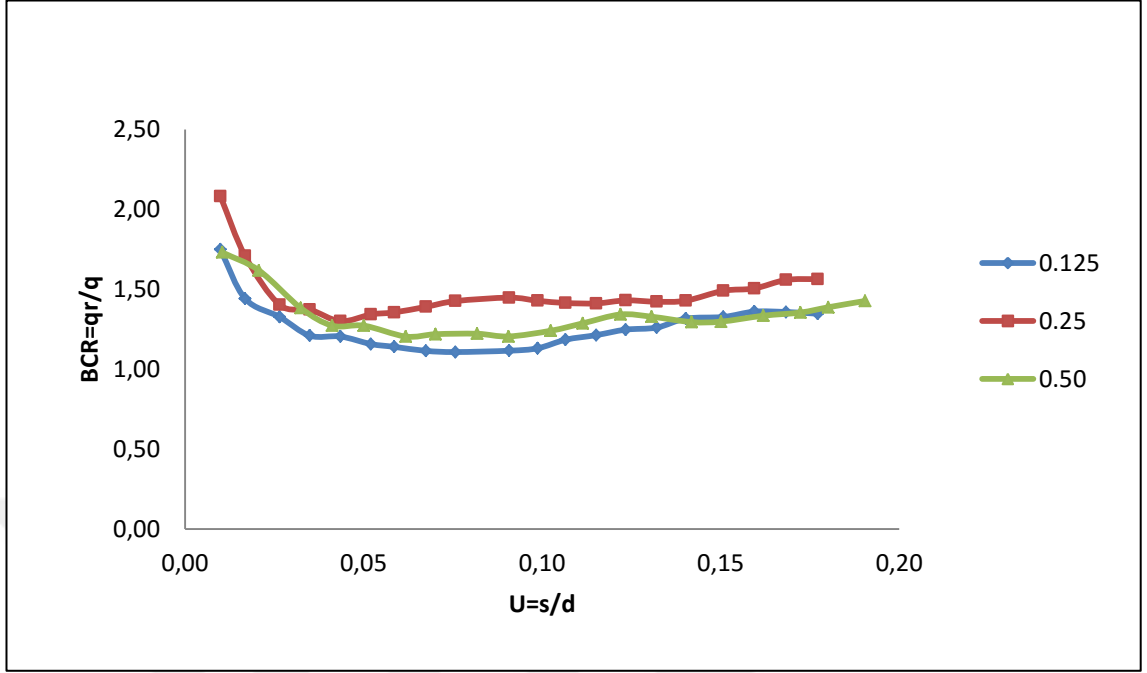
Şekil 4.9. Temelin oturma oranı (s/d)–taşıma kapasite oranı (BCR) ilişkisi (d=10 cm)

10 cm çapındaki dairesel yüzey temel oturduğu kum zeminin donatı oranı arttıkça 8 cm çaplı temele benzer olarak aynı taban basıncında oturmanın azaldığı Şekil 4.8’de açıkça görülmektedir. Bu artış polipropilen donatı %0,500 oranına kadar devam etmiş ve bu orandan sonra oturmanın arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.8’da görüleceği gibi aynı taban basıncında (Örneğin  $100 \text{ kN/m}^2$  taban basıncında) sırasıyla kum zemin %0,125 ,%0,250 ve %0,500 lif ile donatılmış zeminlerin oturma değerleri 7,8 mm, 4,2 mm, 2,5 mm ve 3,6 mm olduğu görülmektedir.

Şekil 4.9. incelendiğinde propilen lif ile rastgele donatılmış zeminde (%0,250) oturma oranı  $U=0,01$ ’den  $U=0,20$  değerine arttıkça BCR değeri 3,06 değerinden 1,89 değerine düşmüştür. %0,500 oranında rastgele donatılmış zeminde ise U değerinin artmasıyla BCR değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.



**Şekil 4.10.** Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılmış zeminin ortalama taban basıncı (q) – oturma ilişkisi (s) (d=12 cm)

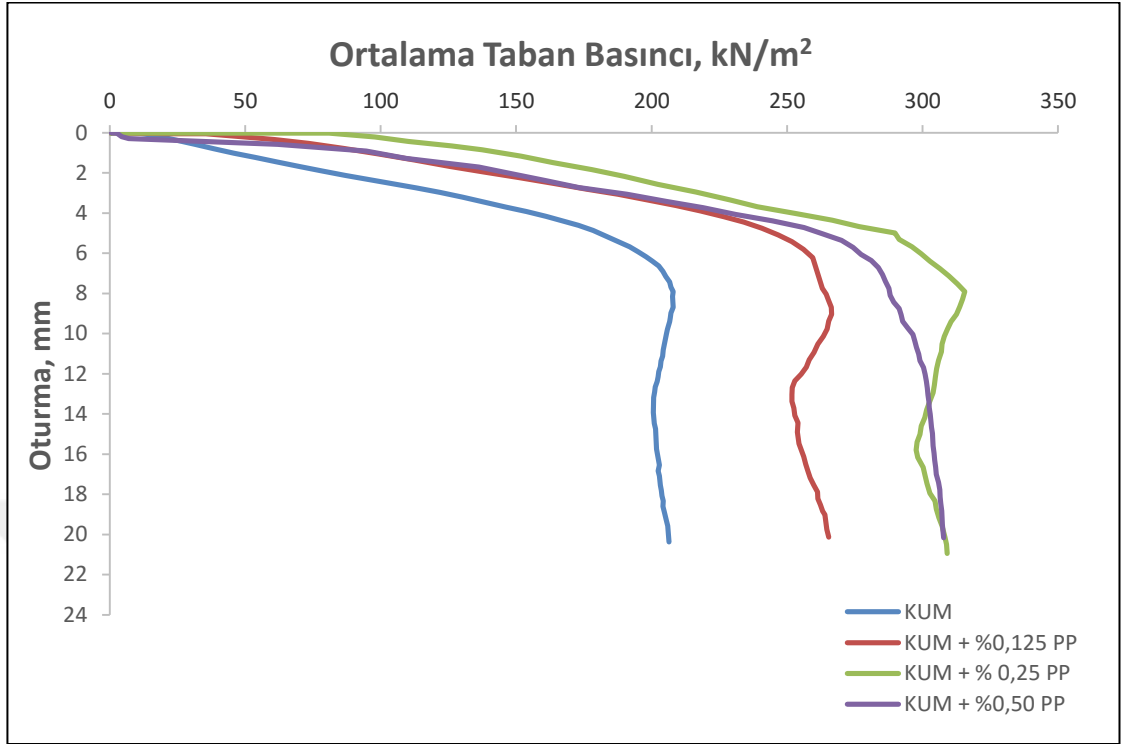


**Şekil 4.11.** Temelin oturma oranı(s/d)-taşıma kapasite oranı(BCR) ilişkisi (d=12 cm)

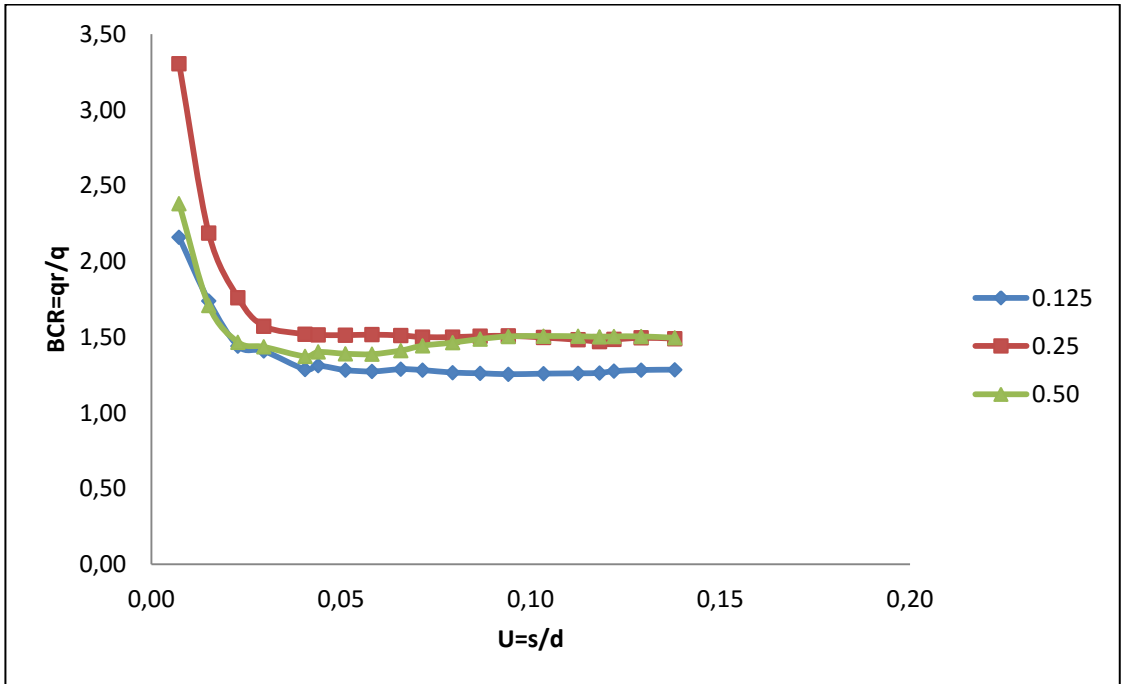
Şekil 4.10'da 12 cm çapındaki temelin oturduğu kum zemin donatı oranı arttıkça aynı taban basıncında oturmanın azaldığı görülmüştür. Bu artış 8 cm 10 cm çaplı temel ile benzer olarak polipropilen donatı %0,500 oranına kadar devam etmiş ve bu orandan sonra oturmanın arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.10.'da incelendiğinde aynı taban basıncında (Örneğin 100 kN/m<sup>2</sup> taban basıncında) sırasıyla kum zemin, %0,125, %0,250 ve %0,500 lif ile donatılmış zeminlerin oturma değerleri 5,4 mm, 3,1 mm, 1,7 mm ve 2,9 mm olduğu görülmektedir

Şekil 4.11. incelendiğinde U – BCR ilişkisi propilen lif ile rastgele donatılmış zeminde (%0,250) zeminde daha belirgin değişim gösterdiği ve oturma oranı U=0,01'den U=0,20 değerine arttıkça BCR değeri 2,08 değerinden 1,56 değerine düşmüştür. Diğer çaptaki temelerde (8 cm, 10 cm) olduğu gibi %0,500 oranında rastgele donatılmış zeminde de U değerinin artmasıyla BCR değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.





Şekil 4.12. Farklı oranlarda polipropilen lif ile rastgele donatılmış zeminin ortalama taban basıncı (q) – oturma (s) ilişkisi (d=14 cm)



Şekil 4.13. Temelin oturma oranı (s/d) – taşıma kapasite oranı (BCR) ilişkisi (d=14 cm)

14 cm çapındaki dairesel yüzey temel oturduğu kum zeminin donatı oranı arttıka aynı taban basıncında oturmanın azaldığı Şekil 4.12’de açıkça görülmektedir. Bu artış polipropilen donatı %0,500 oranına kadar devam etmiş ve bu orandan sonra oturmanın arttığı belirlenmiştir. Aynı taban basıncında (rneğin  $100 \text{ kN/m}^2$  taban basıncında) sırasıyla kum zemin, %0,125 ,%0,250 ve %0,500 lif ile donatılandırılmış zeminlerin oturma değerleri 2,4 mm, 1,3 mm, 0,4 mm ve 0,9 mm olduğu Şekil 4.12’de görülmektedir.

Şekil 4.13 incelendiğinde deėiŐimin açıkça grldğu propilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminde (%0,250) oturma oranı  $U=0,01$ ’den  $U=0,20$  değerine arttıka BCR değeri 3,30 değerinden 1,48 değerine dŐtėu görülmektedir. %0,500 oranında rastgele donatılandırılmış zeminde ise U değerinin artmasıyla BCR değerinde diğer boyuttaki temeller (8 cm,10 cm, 12 cm) gibi önemli bir değişim gözlenmemiştir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada orta sıklıktaki donatısız ve polipropilen liflerin farklı oranlarda ilave edilmesiyle elde edilen rastgele donatılandırılmış kum zemin üzerine oturan farklı boyuttaki dairesel yüzey temellerin yük (q) – oturma (s) davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvarında büyük ölçekli tank sisteminde bir seri plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerle BCR – U grafikleri çizilmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Orta sıklıktaki ( $D_r=0,60$ ) kum zemine oturan dairesel temelin çapının artmasıyla taşıma gücü kapasitesinin arttığı oturmaların azaldığı gözlenmiştir.
- Polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış kum zeminlere (0,125, 0,250 ve 0,500 PP) oturan dairesel yüzey temellerin tamamında temel çapının artması nihai taşıma kapasitesini arttırarak düşey deformasyonu azaltmıştır.
- 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm çapındaki dairesel yüzey temellerin oturduğu kum zeminlerde donatı oranı arttıkça aynı taban basıncında oturmanın azaldığı görülmüştür. Bu artış polipropilen donatı %0,500 oranına kadar devam etmiş ve bu orandan sonra oturmanın arttığı belirlenmiştir.
- Aynı taban basıncında en düşük deformasyonun %250 polipropilen lif ilave edilen rastgele donatılandırılmış zeminlerde olduğu gözlenmiştir.
- Polipropilen lif oranı %0,250 olan rastgele donatılı zemine oturan 8 cm çaplı temel boyutunda oturma oranı  $U=0,01$ 'den  $U=0,25$  değerine arttıkça BCR değeri 3,39 değerinden 2,11 değerine düşmüştür.
- Polipropilen lif oranı %0,250 olan rastgele donatılı zemine oturan 10 cm çaplı temel boyutunda oturma oranı  $U=0,01$ 'den  $U=0,20$  değerine arttıkça BCR değeri 3,06 değerinden 1,89 değerine düşmüştür.
- Polipropilen lif oranı %0,250 olan rastgele donatılı zemine oturan 12 cm çaplı temel boyutunda oturma oranı  $U=0,01$ 'den  $U=0,20$  değerine arttıkça BCR değeri 2,08 değerinden 1,56 değerine düşmüştür.

- Polipropilen lif oranı %0,250 olan rastgele donatılı zemine oturan 14 cm çaplı temel boyutunda oturma oranı  $U=0,01$ 'den  $U=0,20$  değerine arttıkça BCR değeri 3,30 değerinden 1,48 değerine düşmüştür.
- Polipropilen lif oranı %0.50 olan donatılı zeminde ise U değerinin artmasıyla BCR değerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.
- Dolgu, havaalanı, tren hatları vb. zemin ortamlarında kullanılması daha güvenli ve ekonomik olabileceği düşünülmektedir.

Polipropilen lif ile rastgele donatılandırılmış zeminlerde optimum lif oranını bulmak ve daha kesin veriler elde edebilmek için lif oranı %0,250 - %0,500 arasında çalışmalar yapılabilir. Farklı rölatif sıklıkta, farklı polipropilen lif boyları içinde benzer çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Adams, M.T. ve Collin, J.G., 1997. Large model spread footing load tests on geosynthetic rein-forced soil foundations, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123, 1, 66–72.
- Al Adili, A., Azzam, R., Spagnoli, G., & Schrader, J., 2012. Strength of soil reinforced with fiber materials (Papyrus). *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 48(6), 241-247.
- ASTM C29/C29M-17 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Attom, M. F., & Al-Tamimi, A. K., 2010. Effects of polypropylene fibers on the shear strength of sandy soil. *International journal of Geosciences*, 1(1), 44-50.
- Bauer, G.E., Oancea, A., 1996. Triaxial Testing of Granular Soils Reinforced with Discrete Polypropylene Fibers. *Geosynthetics -European Conference*, Netherlands, Hollanda.
- Benessalah, I., Arab, A., Villard, P., Sadek, M., & Kadri, A., 2016. Laboratory Study on Shear Strength Behaviour of Reinforced Sandy Soil: Effect of Glass-Fibre Content and Other Parameters. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(4), 1343-1353.
- Binquet, J. ve Lee, KL., 1975b. Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs, *Journal of Ge-otechnical Engineering Division*, ASCE 101, 12, 1257-1276.
- Binquet, J. ve Lee, KL., 1975a. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs, *Journal of Ge-otechnical Engineering Division*, ASCE, 101, 12, 1241-1255.
- 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., Güler, E., Yetimoğlu, T., 2012. Geotekstil ve geogrid donatılı kum zemin üzerindeki bir yüzeysel şerit temel modeli. Beşinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Çinicioğlu, F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. Seminer .İMO İstanbul, Türkiye.
- Das, B. M. ve Omar, M. T., 1994. The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement, *Ge-otechnical and Geological Engineering*, 12, 2, 133–141.
- 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.
- 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.
- Huang, C.C. ve Tatsuoka, K., 1990. Bearing ca-pacity of reinforced horizontal sandy ground, *Geotextile and Geomembranes*, 9, 51-82.

- 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., 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.
- Kurian, N., Beena, K.S. ve Kumar, R.K., 1997. Settlement of reinforced sand in foundations, *Journal of Geotechnical Engineering*, 123, 9, 818-827.
- Laman M. Ve Keskin S., 2004a Farklı sıklıktaki kumlu zeminlere oturan şerit temeller altında gerilme analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 19(1), 71-82.
- Liu, J., Feng, Q., Wang, Y., Bai, Y., Wei, J., & Song, Z., 2017. The Effect of Polymer-Fiber Stabilization on the Unconfined Compressive Strength and Shear Strength of Sand. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.
- Mahdad, M., 2014. Analyses of Bearing Capacity at Randomly Reinforced Sandy Soil By Polypropylene Fibers. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Makkar, F. M., Chandrakaran, S., & Sankar, N., 2017. Behaviour of Model Square Footing Resting on Sand Reinforced with Three-Dimensional Geogrid. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3(1), 3.
- Mali, S., & Singh, B., 2014. Strength behaviour of cohesive soils reinforced with fibers. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(4), 353-360.
- Omar, M. T., Das, B. M., Puri, V. K., ve Yen, S. C., 1993a. Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with geogrid reinforcement, *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 3, 435-440.
- Orhan, M., 2017. Temel İnşaat (Analiz ve Tasarım). Gazi Kitabevi, Ankara.
- Önalp, A., Sert, S., 2006. Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri. Birsen Kitabevi, İstanbul.
- Örnek, M., 2009. Yumuşak zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ranjan, G., Vasan, R. M., & Charan, H. D., 1996. Probabilistic analysis of randomly distributed fiber-reinforced soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(6), 419-426.
- Sridhar, R., & Prathap Kumar, M. T., 2017. Behaviour of model footing resting on sand reinforced with number of layers of coir geotextile. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(1), 50.
- 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.
- Uğur, N., 2009. Rastgele donatılardırmanın kum zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Uzuner, B. A., 2006. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, Trabzon.
- Uzuner, B.A., 2016. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekanığı, Derya Kitabevi, Trabzon.
- 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.
- Yetimoğlu, T., Salbas, Ö., 2002. Dağınık Liflerle Rastgele Donatılı Kumların Kayma Mukavemeti. *Teknik Dergi*, 13(61).
- Yıldırım, S., 2004. *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Zaimoğlu, A. Ş., Yetimoğlu, T., 2012. Ayrık sentetik liflerle rastgele donatılmış kum zemine oturan dairesel temellerin yük-oturma Davranışı. Beşinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi İstanbul.
- Zaimoğlu, A. Ş., Yetimoğlu, T., 2014. Temel çapının ayrık sentetik liflerle rastgele donatılı kum zemine oturan dairesel temellerin yük-oturma davranışına etkisi. Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi İstanbul.



## ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzurum şehrinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Erzurum'da okudu. Lisans eğitimine 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı ve 2012'de mezun oldu. 2013 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

