

**POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE
DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNLERİN
OPTİMUM DERİNLİK-TAŞIMA GÜCÜ
İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Geoteknik Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK
2015
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ
KUM ZEMİNLERİN OPTİMUM DERİNLİK-TAŞIMA GÜCÜ
İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Geoteknik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM
ZEMİNLERİN OPTİMUM DERİNLİK-TAŞIMA GÜCÜ İLİŞKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK danışmanlığında, Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR tarafından hazırlanan bu çalışma 12.../08.../2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Geoteknik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3..3..) ile kabul edilmiştir.


Başkan : Yrd.Doç.Dr. Semet ÇELİK

İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr. Z. Neşe Kurt ALBAYRAK

İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr. M. Yasin ÇODUR

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 13.../08.../2015 tarih ve 32.../.../115... nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
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

POLİPROPİLEN LİFLERLE RASTGELE DONATILANDIRILMIŞ KUM ZEMİNLERİN OPTİMUM DERİNLİK-TAŞIMA GÜCÜ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

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

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK

Zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar, yapılarda görülen oturmaların izin verilen değerlerin altında kalması amacıyla kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemlere göre daha güvenilir ve ekonomik çözümler elde etmek için temel zemin içerisine çekmeye dayanıklı ve zemin ile arasında yeterli sürtünmeye sahip donatılar yerleştirilmektedir. Taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları izin verilen değerlerde tutmak için zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatılar (geotekstil, geogrid vb.) son yıllarda kullanılmaya başlanmış olup kullanımları hızla artış göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, donatısız ve polipropilen liflerle rastgele donatılı orta- sıkı bir kum zemine oturan yüzeysel bir şerit temelin taşıma gücünün ve optimum donatı derinliğinin araştırılmasıdır. Deneylerde, donatı olarak polipropilen lif kullanılmıştır. Donatı derinliğinin ve rölatif sıklığın taşıma gücüne ve oturma davranışına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma sonucunda, farklı rölatif sıklık ve donatı derinliğinin göçme davranışını etkilediği gözlenmiştir. Deney sonuçlarından farklı oturma oranlarına (s/B) karşılık gelen taşıma kapasitesi oranları (BCR) hesaplanmıştır. Her bir rölatif sıklık ve donatı derinliği için farklı s/B-BCR davranışı gözlenmiştir. Ayrıca, temel plakasının oturmasının artmasıyla sistemin davranış karakterleri de değişmiştir. Çalışmalarda %50 ve %65 rölatif sıklıkta temel plakasının altındaki B, 2B, 2,5B ve 3B derinliğindeki zemin donatılandırılmıştır. Rölatif sıklığın ve donatı derinliğinin artmasıyla zeminin taşıma kapasitesinin arttığı ve aynı taşıma kapasitesinde yapacağı oturmanın önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

Zeminde meydana gelen hareketleri analiz etmek için parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi kullanılmıştır. Zemin hareketlerinin incelenmesinde yüksek görüntü kaliteli resim serisi kullanılmıştır. Bu resimler, GeoPIV yazılımı ile analiz edilmiş ve zeminin nihai hareketi elde edilmiştir.

2015, 103 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rastgele donatılı zemin, Polipropilen lif, Taşıma gücü, Şerit temeller, Oturma, PIV

ABSTRACT

MS Thesis

AN ANALYSIS OF OPTIMUM DEPTH -BEARING CAPACITY OF RANDOMLY POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED SAND SOILS

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Semet ÇELİK

Several reinforcements footing in soil, have been started to be used to keep the settlements in buildings under the allowed values. In order to get more reasonable and trustable solutions when compared to conventional methods, reinforcements should be sufficiently fricative and resistant to (absorbing/tensile). In recent years, to increase bearing capacity and to keep the settlement around reasonable values, several reinforcements (geotextile, geogrid etc.) have been started to use in sand soil and their usage is increasing rapidly.

This study was undertaken to investigate the load-settlement-failure behavior and optimum reinforcing depth of a shallow strip footing on unreinforced and randomly polypropylene fiber reinforced medium dense sand. In tests, polypropylene fiber was used as reinforcement. The effects of reinforcement depth and relative density on bearing capacity and settlement manner has been investigated.

The test results indicated that different relative density and reinforce dept affected the failure mode. The bearing capacity ratios (BCR) were calculated for different settlement ratios (s/B) using the experimental results. For each relative density and reinforcement dept, a different s/B -BCR mode was calculated. In addition, with the increase in the footing settlement, the character of system behavior changed. With 50% and 65% relative density, soils with B, 2B, 2,5B and 3B-depth under the footing were reinforced in the tests. When the relative density and the weight dept of reinforcement increased, it was observed that the bearing capacity of the soil increased, and the settlement decreased with the same bearing capacity.

Particle image velocimetry (PIV) method was used to analysis movements obtained soil. Series of high resulation photos were used in investigating of movements of soil. These pictures were analysed by GeoPIV software and final movement of soil was obtained.

2015, 103 pages

Keywords: Randomly reinforced soil, Polypropylene fiber, Bearing capacity, Strip footing, Settlement, PIV

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince bana yol gösteren ve değerli bilgilerinden faydalandığım hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Semet ÇELİK'e, bana her zaman destek olan aileme ve eőime çok teşekkür ederim.

Şeyda DOğAN KÜÇÜKÇONGAR

Ağustos, 2015

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	10
2.2.1. Geotekstilller	11
2.2.2. Geomembran	12
2.2.3. Geogrid.....	13
2.2.4. Geonet	13
2.2.5. Geoforam	13
2.2.6. Geohücre	14
2.2.7. Polipropilen lif.....	14
2.3. Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri.....	16
2.3.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar.....	17
2.3.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar.....	36
2.4. PIV ile Yapılan Çalışmalar.....	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Materyal	45
3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan kumun özellikleri	45
3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan donatının özellikleri	51
3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan donatının	51
3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Yöntem	56

3.2.1. Parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi.....	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	64
4.1. Donatısız Kum Zemindeki Deney Sonuçları.....	64
4.2. Rastgele Donatılı Zemindeki Deney Sonuçları	67
4.2.1. Sabit rölatif sıklıkta ve farklı donatı derinliği için deney sonuçları.....	67
4.2.2. Sabit donatı derinliği ve farklı rölatif sıklık için deney sonuçları.....	73
4.3. PIV ile Yapılan Çalışmalar.....	83
4.3.1. $D_r=50\%$ için PIV analiz sonuçları.....	83
4.3.2. $D_r=65\%$ için PIV analiz sonuçları.....	88
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	93
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	104

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 sıkılık
e	Zeminin boşluk oranı
e _{max} , e _{min}	Zeminin en gevşek ve en sıkı durumlarındaki boşluk oranları
G _s	Özgül ağırlık
N _c , N _q , N _γ	Taşıma kapasitesi katsayıları
Ø	Kayma mukavemet açısı
PIV	Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü
q	Temele uygulanan ortalama taban basıncı
q _u	Sınır taşıma gücü
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

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Taşıma gücü-Oturma ilişkisi.....	4
Şekil 2.2. Taşıma gücü göçmeleri.....	5
Şekil 2.3. Genel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi	6
Şekil 2.4. Zımbalama kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi.....	6
Şekil 2.5. Bölgesel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi	7
Şekil 2.6. Terzaghi teorisinde kayma bölgeleri	8
Şekil 2.7. $u/B > 0,67$ olması durumunda görülen göçme şekli	19
Şekil 2.8. Donatı sıyrılması nedeniyle oluşan göçme şekli ($u/B < 0,67$ ve $N < 3$).....	19
Şekil 2.9. Donatı kopması nedeniyle oluşan göçme şekli ($u/B < 0,67$ ve $N > 3$).....	20
Şekil 2.10. I. tür göçme.....	22
Şekil 2.11. II. tür göçme.....	23
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kum.....	45
Şekil 3.2. Deney kumunun tane çapı dağılım eğrisi	46
Şekil 3.3. Kesme kutusu deney aletinin görünümü	48
Şekil 3.4. $D_r = \%50$ rölatif sıklıkta deney kumunun kırılma zarfı.....	49
Şekil 3.5. $D_r = \%65$ rölatif sıklıkta deney kumunun kırılma zarfı.....	49
Şekil 3.6. $D_r = \%50$ rölatif sıklıkta deney kumunun $\Delta l - \tau$ ilişkisi	50
Şekil 3.7. $D_r = \%65$ rölatif sıklıkta deney kumunun $\Delta l - \tau$ ilişkisi	50
Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan polipropilen lif.....	51
Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan model temel plakası.....	52
Şekil 3.10. Deney tankının önden görünümü.....	52
Şekil 3.11. Yükleme sistemi	53
Şekil 3.12. Hidrolik pompa kontrol ünitesi.....	53
Şekil 3.13. Deneylerde kullanılan yük hücresi	54
Şekil 3.14. Doğrusal potansiyometrik cetvel (LVDT).....	55
Şekil 3.15. Veri toplama sistemi	56
Şekil 3.16. PIV analizi için inceleme alanının kutucuklara bölünmesi	59
Şekil 3.17. PIV analizi sırasında görüntü işleme	60
Şekil 3.18. PIV doğrulama deneyinde kullanılan görüntüler.....	62

Şekil 4.1. $D_r=50\%$ rölatif sıklıkta donatısız deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.....	65
Şekil 4.2. $D_r=65\%$ rölatif sıklıkta donatısız deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.....	65
Şekil 4.3. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü	66
Şekil 4.4. Donatısız deney sonrası meydana gelen göçme	66
Şekil 4.5. $D_r=50\%$ rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.....	68
Şekil 4.6. $D_r=50\%$ rölatif sıklıkta farklı oturma oranlarına karşılık gelen donatı derinliği- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi	69
Şekil 4.7. $D_r=50\%$ rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi	69
Şekil 4.8. $D_r=65\%$ rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri.....	71
Şekil 4.9. $D_r=65\%$ rölatif sıklıkta farklı oturma oranlarına karşılık gelen donatı derinliği- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi	71
Şekil 4.10. $D_r=65\%$ rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi	72
Şekil 4.11. $B=5$ cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği	73
Şekil 4.12. $B=5$ cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi	74
Şekil 4.13. $B=5$ cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı değişimi	74
Şekil 4.14. $2B=10$ cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği	76
Şekil 4.15. $2B=10$ cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi.....	76
Şekil 4.16. $2B=10$ cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi.....	77
Şekil 4.17. $2,5B=12,5$ cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği	78

Şekil 4.18. 2,5B=12,5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi	79
Şekil 4.19. 2,5B=12,5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı değişimi	79
Şekil 4.20. 3B=15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği	81
Şekil 4.21. 3B=15 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi	81
Şekil 4.22. 3B=15 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı değişimi	82
Şekil 4.23. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları (s=0,2B, D _r =%50).....	84
Şekil 4.24. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları (s=0,2B, D _r =%50)	85
Şekil 4.25. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları (s=0,4B, D _r =%50).....	86
Şekil 4.26. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları (s=0,4B, D _r =%50)	87
Şekil 4.27. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları (s=0,2B, D _r =%65).....	88
Şekil 4.28. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları (s=0,2B, D _r =%65)	89
Şekil 4.29. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları (s=0,4B, D _r =%65).....	90
Şekil 4.30. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları (s=0,4B, D _r =%65)	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Geotekstillerin uygulama alanları ve işlevleri	12
Çizelge 2.2. Polipropilene ait bazı genel fiziksel özellikler.....	15
Çizelge 2.3. Donatı ile ilgili optimum değerler	34
Çizelge 3.1. Elek analizi deney sonuçları	46
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kumun bazı indeks özellikleri	47
Çizelge 3.3. Deney programı	57

1. GİRİŞ

Mühendislik açısından zeminler, homojen ve izotrop olmayan malzemeler olarak tanımlanabilir. Zeminlerin davranışlarını tanımlarken genel analitik modeller veya sabit malzeme katsayıları belirlenmemektedir. Çünkü zeminlerin özellikleri jeolojik tarihçesine, çevre koşullarına ve zamana paralel olarak önemli ölçüde değişiklikler göstermektedir. Herbir proje için zemin özellikleri deneysel olarak belirlenmeli ve deneyler yapılırken de arazi koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla deneysel yöntemler, zemin mekaniğinden ayrılmayan ve vazgeçilmeyen bir elemandır. Ancak deneyler sonucunda belirlenen birçok zemin özelliği her koşulda geçerlilik göstermemektedir. Zemin davranışını etkileyen faktörler ve deneysel yöntemler çok iyi anlaşılmalıdır. Aksi takdirde elde edilen sonuçlar birçok durumda yanıltıcı olabilmektedir (Kumbasar ve Kip 1984).

Geosentetik malzemeler, özellikle son yıllarda hızlı bir şekilde gelişim ve değişim gösterdiğinden geoteknik mühendisliğinde kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Zemin ile birlikte kullanılan polimerik malzemeler geoteknik projelerin hayata geçirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir.

PVC (polivinilklorür) den imal edilen sentetik fiber, geotekstilin hammaddesi olup ticari olarak üretimine 1934 yılından itibaren başlanmıştır. 1954 yılında İtalya'da polipropilenden fiber üretilmiştir. Örgüsüz dokumaların fabrikasyon olarak üretimine 1960'ların ortasında başlanmıştır. ABD'de zemin ve riprap taşlarının altında sentetik örgülü dokumalar 1958'de kullanılmıştır. Florida'da sahil erozyonunun kontrolü için kullanılan dokumaların hala görevlerini sürdürdüğü görülmüştür. Bu uygulama ilk geotekstil uygulaması olarak bilinmektedir (Giroud 1986).

Donatılı zemin araştırmaları günümüzde de hala sürdürülmektedir. Uygulamadaki amaç oturmaları azaltıp taşıma gücünü artırmaktır. Donatılı zemin, zeminle sürtünme ve adhezyon yoluyla etkileşip çekme gerilmelerine dayanabilen bir malzeme ile

güçlendirilmiş zemin anlamına gelir. Donatılı zemin kompozit sistemlerinde donatı elemanları zemin içerisine ya belli bir düzende ya da sentetik liflerin zemin içerisine gelişi güzel yerleştirilmesiyle teşkil edilebilmektedir. Donatı ve zemin arasındaki sürtünme katsayısı, donatı çekme mukavemetinin yeterli büyüklükte olması ve donatı kopması, donatı sıyrılması tahkiklerinin sağlanması durumunda donatı ile zemin kompozit bir malzeme olarak çalışabilmektedir (Sağlamer ve Aygıt 1987).

Temel altı zeminlerin donatılandırılmasıyla taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması amaçlanmaktadır. Geogrid donatılı kum üzerine oturan sürekli temellerin taşıma gücü üzerinde etkili olan başlıca parametreler aşağıda verilmiştir.

- Temel genişliği (B)
- Temel derinliği (D_f)
- Donatı uzunluğu (L_g)
- Donatı sayısı (N)
- Donatılar arası uzaklık (u)

Bu çalışmada, rölatif sıklığı %50 ve %65 olan Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre kötü derecelenmiş bir kum zemine (SP), farklı derinliklerde ve $L=20\text{mm}$ uzunluğunda polipropilen lif malzeme rastgele yerleştirilerek statik yükler altındaki davranışı gözlenmiştir.

Kum zeminde meydana gelen şekil değiştirmeleri takip edebilmek için yakın menzilli fotogrametriğe dayalı deformasyon ölçüm sistemi olan, parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi kullanılmıştır. PIV kullanılırken, birbirine geçmiş zemin parçalarının hareketi yüksek bir hassasiyetle ölçülür. Oluşan kayma kuşaklarının oluşumunu gözlemleyebilmek için MATLAB R2013B programının görüntü işleme özelliğinden faydalanılmıştır. Bu sayede kayma yüzeyleri üzerinden alınan kesitler boyunca oluşan şekil değiştirmelerin yoğunluk dağılımları elde edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Yüzeysel Temeller

Yüzeysel (sığ) temel, yapı sisteminin fonksiyonuna uygun olarak gerekli derinlikte ve yeterli sağlamlıkta yüzeysel bir zemin tabakası üzerine oturtulabildiği temel olarak adlandırılabilir.

Yapı sisteminin oturacağı zemin tabakası yeteri kadar kalın ve sağlam ise en ekonomik çözüm şekli olan yüzeysel temel seçilmelidir. Zemin koşullarının yüzeysel temel için uygun olmaması durumunda öncelikle zemini iyileştirip, sağlamlaştırma yollarına başvurulmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemleriyle istenilen başarı sağlanmazsa, ancak o zaman derin temel öngörülmelidir. Yüzeysel ve derin temel kavramları sadece temel tabakasının derinlik durumuna bağlı olmayıp, yapı yüklerinin gerektirdiği temel alanı için sağlam tabakaların yeterli olup olmaması durumuna da bağlıdır.

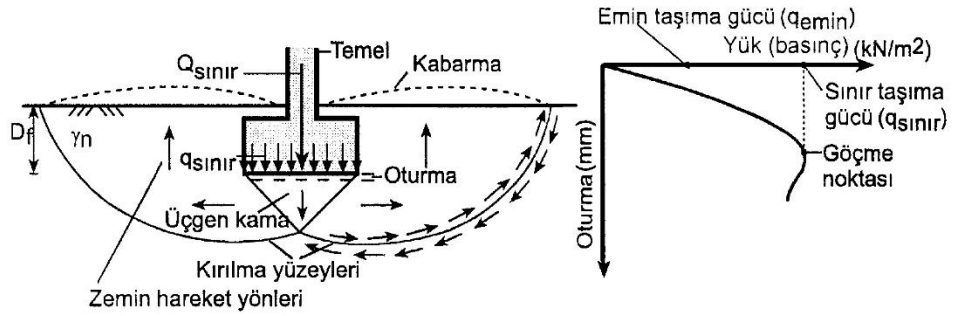
Yüzeysel temelerde taşıma gücü bulunurken genellikle zeminin plastik kırılmasına dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde de genellikle taban yüzeyinin yatay düzlem olduğu, yüzeysel temelin rijit olduğu, temel tabanı altında bulunan zeminin yatay düzlemsel tabakalardan oluştuğu ve üniform karakterde olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımlardan sapmaların temelin taşıma gücü üzerine etkisi uygun düzeltme faktörleriyle göz önüne alınmaktadır (Köseoğlu 1987).

2.1.1. Yüzeysel temelerde göçme türleri

Uygulanan yapısal yükleri yüzeye yakın zemin tabakalarına aktaran yüzeysel temeller, zeminde hem basınç hem de kayma gerilmeleri oluşturur. Bunlar temel taban basıncına ve temel büyüklüğüne bağlı olan gerilmelerdir. Temas basıncının yeteri kadar büyük ve temelin yeterli boyutlarda olmaması durumunda kayma gerilmeleri zeminin veya

kayanın kayma dayanımını aşabilir. Bu durum, taşıma kapasitesi yenilmesine sebep olur (Coduto 2005).

Bir temelin taşıma gücü-oturma ilişkisi Şekil 2.1’de görülmektedir.

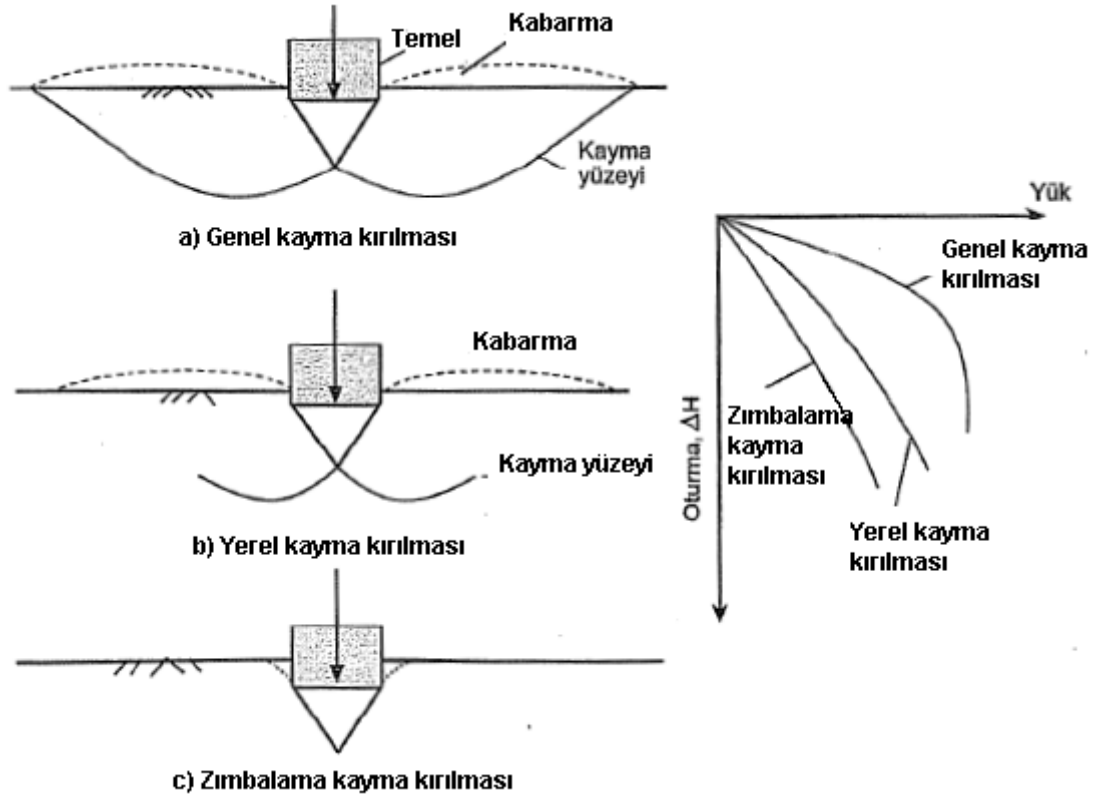


Şekil 2.1. Taşıma gücü-Oturma ilişkisi (Uzuner 2005)

Yenilme anında, temelin ve/veya temel zemininin birim alanının taşıyacağı gerilmeye sınır taşıma gücü (q_u) denilir.

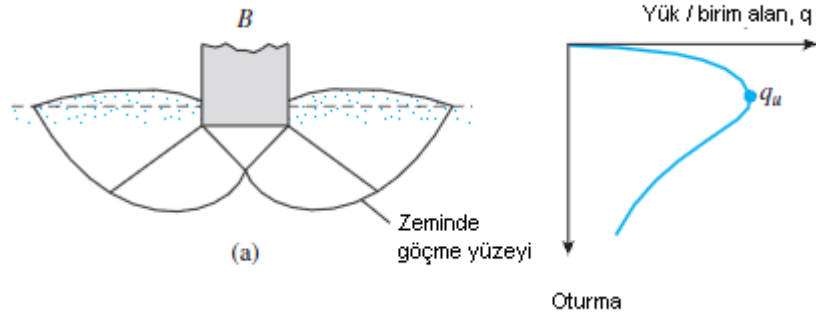
Temelden zemine iletilen yüklerin zemin ortamında meydana getirdiği kesme gerilmeleri zeminin kesme mukavemetini aşarsa taşıma gücü yenilmesi meydana gelir. Bu tür yenilmeler yıkıcıdır ve bu durumdan sakınılmalıdır. Taşıma gücü yenilmelerinin üç tipi vardır. (Şekil 2.2). Bunlar;

- Genel kayma yenilmesi
- Zımbalama yenilmesi
- Bölgesel (yerel) kayma yenilmesidir.



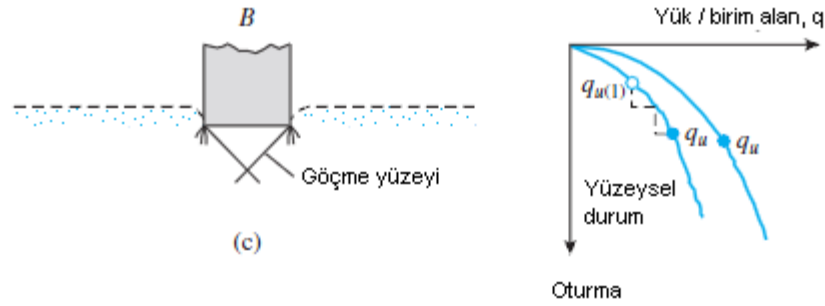
Şekil 2.2. Taşıma gücü göçmeleri (Uzuner 2005)

Genel kayma göçmesi: En yaygın yenilme şekli genel kesme yenilmesidir. Büyük oranla orta sert kayalarda, sıkışamaz zeminlerde ve drenajsız koşulun hakim olduğu yeteri kadar hızlı yüklenen doygun normal konsolide olmuş killerde oluşur. Kayma yüzeyi iyi tanımlanmış olup taban basıncı-oturma eğrisinde gösterildiği gibi çok ani oluşur. Temele bitişik zemin yüzeyinde açık bir şekilde oluşan kabarmalar görülmektedir. Kabarmalar temelin iki kenarında olmasına rağmen, yenilme sadece bir kenarda oluşur ve buna genellikle temel dönmeleri eşlik eder (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Genel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das 1999)

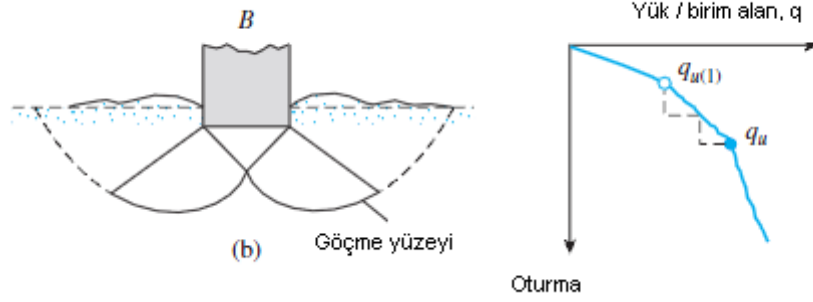
Zımbalama göçmesi: Sıkışabilir çok gevşek kumlarda, hemen altında zayıf zemin bulunan ince sağlam zemin tabakasında veya yavaş, drenajlı koşullar altında yüklü zayıf killerde meydana gelir. Bu gibi zemin profillerinin fazla sıkışabilir olması büyük oturmalara ve iyi tanımlanmamış düşey kesme yenilmelerine neden olur. Zemin yüzeyinde çok az kabarma oluşur ya da hiç oluşmaz ve yenilme aşamalı olarak değişir. Göçme, sürekli taban basıncı-oturma eğrisi ile gösterildiği gibidir (Şekil 2.4).



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

Bölgesel kayma göçmesi: Kayma yüzeylerinin temel altında iyi belirlenmemiş olmasından ve daha sonra zemin yüzeyine yakın bir yerde belirsiz hale geldiğinden, bölgesel kayma göçmesi ara bir durum olarak ifade edilebilir. Küçük bir kabarma meydana gelebilir. Ancak, yere yakın bir kayma yüzeyinin oluşması için neredeyse temel genişliğinin yarısı mertebesinde büyük bir oturma gereklidir. Bu durumda bile,

genel kayma durumunda olduğu gibi, ani bir yenilme meydana gelmez. Temel sadece derine batmaya devam eder (Şekil 2.5) (Coduto 2005).



Şekil 2.5. Bölgesel kayma göçmesi ve yük-oturma eğrisi (Das 1999)

2.1.2. Yüzeysel temellerin taşıma gücü

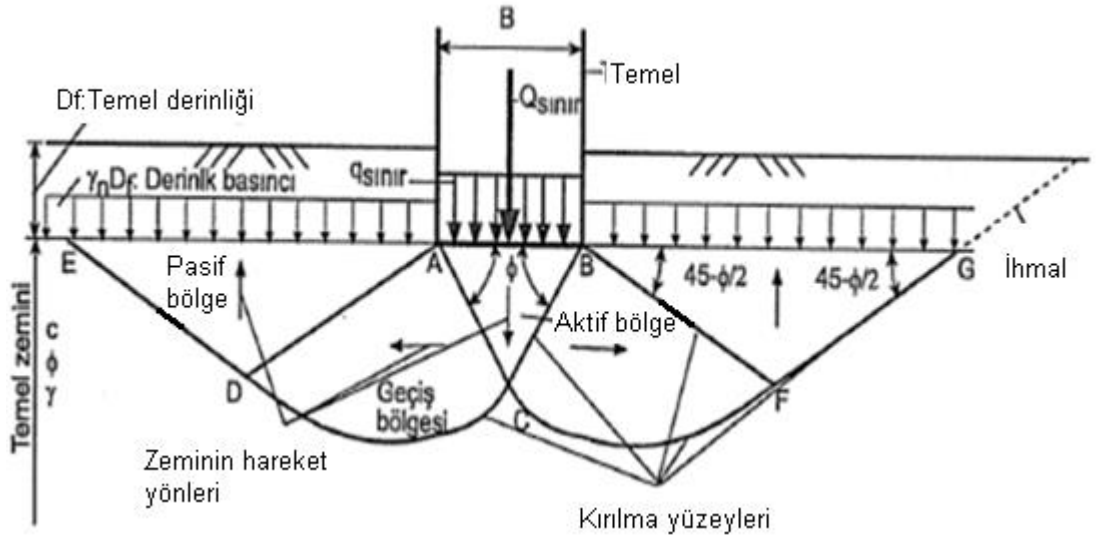
Binalarda yüzeysel temellerin tercih edilmesinin sebebi yapımının daha kolay ve maliyetinin düşük olmasıdır. Aşağıdaki değişkenlerin bilinmesi halinde, yüzeysel temellerin taşıma gücü yenilmesini analiz etmek ve yenilmelerin olmayacağı şekilde tasarım yapmak daha mümkün olacaktır. Bu değişkenler,

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

Araştırmacılar, zeminin taşıma gücünü belirleyebilmek birçok teori ve metotlar geliştirilmiştir. Yüzeysel temellerin taşıma gücünü belirleme yöntemlerini arazi deneyleri, hazır tablolar ve taşıma gücü teorileri olmak üzere üç grupta toplayabiliriz.

Günümüzde en çok kullanılan yüzeysel temellerin taşıma gücü teorileri Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen ve Vesic tarafından geliştirilen teorilerdir. Burada sadece Terzaghi Taşıma Gücü Teorisinden bahsedilecektir.

Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi: Zeminin taşıma gücünü belirlemek için birçok taşıma gücü teorisi vardır (Prandtl 1921; Terzaghi 1943; Meyerhof 1951 vb). Sürekli temel (iki boyutlu koşullar) için, Terzaghi Taşıma Gücü Formülü, aşağıdaki kabuller yapılarak çıkartılmıştır.



Şekil 2.6. Terzaghi teorisinde kayma bölgeleri (Uzuner 2005)

- 1) Zemin homojen, izotrop ve yarım sonsuzdur.
- 2) AB tabanı tam sürtünmelidir (pürüzlü taban).
- 3) Temel tabanı altında, ABC zemin üçgen kaması meydana gelir. Bu kama temelle birlikte, aşağıya doğru hareket eder ve CAB açısı= CBA açısı= ϕ (zeminin içsel sürtünme açısı)'dır. ABC bölgesine aktif bölge denir.

- 4) CD, CF, kırılma yüzey kısımları, logaritmik spiraldir. ACF ve ACD bölgeleri geçiş bölgeleri adını alır.
- 5) BFG, ADE pasif bölgeler olup FG, DE, kırılma yüzey kısımları, düzlem (doğru)'dir ve FGB açısı = FBG açısı = $45^\circ - \frac{\phi}{2}$ 'dir.
- 6) Kırılma yüzeylerinin, temel derinliği (D_f) içindeki kısmı ihmal edilir ve bunun yerinde temel taban düzeyinde, $P_o = \gamma D_f$ üniform yayılı yükün (derinlik basıncı, sürşarj) etkidiği düşünülür. Ayrıca temel yan yüzeyleri ile zemin arasındaki sürtünmeler ihmal edilir. Zeminin, genel bir zemin (c- ϕ zemini) olduğu düşünülür (Uzuner 2005).

Terzaghi taşıma gücü teorisi daha sonra diğer temel türleri için genelleştirilmiştir.

Terzaghi'nin formülü:

$$q_u = k_1 c N_c + P_0^1 N_q + k_2 N_\gamma B \gamma \quad (2.1)$$

şeklindedir. Formüldeki harflerin anlamları aşağıda verilmiştir.

P_0^1 : Temel zeminindeki düşey efektif gerilme

c : Kohezyon

ϕ : Kayma mukavemeti açısı

D_f : Temel derinliği

γ : Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı

B : Temel genişliği (daire temel halinde çapı) (L)

k_1, k_2 : Temel şekil katsayıları

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

Yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabında araştırmacılar tarafından birçok formül verilmiştir. Ancak bunlar arasında en çok kullanılan Terzaghi'nin formülüdür. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, Terzaghi formülündeki katsayıların değerleri üzerinde toplanmaktadır (Kumbasar ve Kip 1984).

2.2. Donatılı Zeminler

Donatılı zeminler, metal şeritler, geotekstillere ya da geogridler gibi çekmeye dayanıklı elemanlarla mekanik olarak stabilize edilip kuvvetlendirilen zeminlerden meydana gelmektedir. 1960'lı yıllarda bir inşaat tekniği olarak donatılı zemin kullanımının faydalarını değerlendirmek üzere Fransız yol araştırma laboratuvarında birçok araştırmalar yapılmıştır. Bulunan sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla birlikte Vidal (1968) tarafından değerlendirilmiştir. Donatılı zemin kullanılarak dünyanın birçok yerinde istinat duvarları, setler yapılmış ve bu yapılar çok iyi performans göstermişlerdir (Vidal 1968).

Geotekstil, geomembran ve inşaat mühendisliğinde kullanılan benzer birçok ürün geosentetik terimi altında toplanmaktadır. Geoproduct ise sentetik olmayan geotekstilleri içine alan bir terimdir. Kullanılan farklı üretim teknikleri ve üretim teknolojisindeki hızlı gelişmeler bu ürünlerin farklı isimler almasına sebep olmaktadır. Literatürde bu konuyla ilgili farklı isimlerle karşılaşmak mümkündür (Yetimoğlu 1991).

Geosentetikler, petrol türevi ürünler olup doğada çok uzun yıllar dayanabilmektedir. Bir yapı, proje veya sistemin bir parçası olan geosentetikler; temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzemeyle beraber kullanılması yönüyle de mucize malzeme olarak adlandırılmaktadır. Geosentetiklerin diğer yöntemlere göre uygulama kolaylığı, zaman tasarrufu sağlaması ve ekonomik oluşu zemin uygulamalarında kullanımını hızla arttırmıştır. Bu malzemeler üzerine yapılan uzun süreli gözlem ve araştırmalar bu tür malzemelere karşı duyulan tedirginliği büyük ölçüde azaltmıştır. Polimerlerin dönüştürülmesi ile elde edilen plastik borular, suni deriler, ambalaj filmleri, dilatasyon malzemeleri, tekstil sanayinde kullanılan polyesterler, naylonlar ve bunlara benzer birçok ürün günümüzde kullanılan malzemelerdir. Polimerlerden oluşan geosentetikler; geotekstillere, geomembran, geogrid, geonet, geoboru, geofoam, geohücre, geotüp ve geokompozitler olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, geosentetiklerin fiziksel özelliklerine ve farklı kullanım amaçlarına göre yapılmıştır (Çoruh 1991).

2.2.1. Geotekstiller

Geotekstil, Amerikan standartlarına (Amerikan Society of Testing and Materials-ASTM) göre sistemin, yapının yada projenin kısımlarından biri olan temel parçası veya zemin, geoteknik mühendisliği ve kaya ile alakalı rastgele bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürünü şeklinde tanımlanmaktadır. ASTM'de, yan ürünler olarak tanımlanan malzemeler geotekstil tanımına uymayıp geotekstil yerine kullanılabilir. Geotekstille beraber kullanılan kutucuk, tabaka, şerit, hücre vs. gibi malzemeler bunlara örnek olarak verilebilir (Koerner 2005).

Geotekstiller, kutucuk şekilli, gözenekli ve geçirgen özellikte olup zemin donatısı olarak kullanılan malzemelerdir. Yeraltında zeminle birleşme yerlerinde ayırma, süzme, dayanım artırma amaçlarıyla kullanıldıkları gibi sudan koruma amaçlarıyla da kullanılmaktadır. Geçirimli örtüler olan geotekstiller, genellikle petrol ürünleri olan polipropilen, polietilen, polyester, poliamid, naylon, polivinil klorür (PVC) gibi sentetik hammaddeden üretilirler. Ömrü kısa olan doğal malzemeler ve korozyona dayanıksız olan metal ve benzeri malzemeler, geotekstillerin yapımında pek tercih edilmezler. Geotekstiller örülerek (dokunarak=woven) ya da bahsedilen malzemelerin fiberlerinin özel makinelerde işlenip preslenmesiyle örgüsüz (dokumasız=non-woven) olarak üretilirler (Demiröz 1996). Yol inşaatlarında, havaalanlarında, demiryollarında, baraj-gölet-set inşaatlarında, binalarda, su depolarında, kanallarda, şev korumalarında ve kıyı mühendisliğinde büyük avantajlar sağlayan geotekstillerin uygulama alanları çok geniştir. Çizelge 2.1'de geotekstillerin uygulama alanları ve işlevleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. Geotekstillerin uygulama alanları ve işlevleri (Wasti 1992)

İŞLEV	UYGULAMA ALANI																	
	Kaplamasız yollar	Kaplamalı yol, uçuş pisti	Yol dolguları altında drenaj	Spor sahaları	Kapılarite şiltleri	Astafalı beton takviye Geotekstil	Kaplamalı yol-Geozgara	Demiryolları Geotekstil	Kum-Geotekstil	Geozgara	DRENAJ SİSTEMLERİ VE PROBLEMLERİ Yüzey drenajı, drenaj hendekleri Toprak barajlar. İstinat duvarı arkası drenajı. Bina çevre/basınçlı su drenajı perfore drenaj borusunun sarılması Prefabrike bant dren kılıfı	Şev yüzeyi koruması	Nehir gol kıyı koruması	Oyulma problemi	Donatılı dolgular	K. Sistemle taşınan dolgular	Esnek kalıp	Geomembran altında
AYIRMA	●	●	●	●	●			●	●		○	○	○					
FILTRASYON		○	○	○	○			●		●	●	●	●				●	
DRENAJ	○	○	○	○			○			○	○	○	○			○	●	
GÜÇLENDİRME	○	○	○		○	●	●	○	●				●		●	●	○	
KORUMA					●	○											●	

2.2.2. Geomembran

Geomembran, ASTM 4439’da “geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde akışkan hareketlerini kontrol altına alabilecek kadar düşük iletkenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından elde edilen membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak ifade edilmektedir (Koerner and Hsuan 1993). Geomembranlar, çok düşük değerlerde geçirgenliğe sahip (1×10^{-12} - 1×10^{-15} m/s) olduklarından sıvı geçişini kontrol eden sentetik membran örtü ya da bariyer malzemelerdir. Sıvı ya da gaz bariyeri amacıyla özellikle atık depolama sahalarında kullanılan geomembranlar, ince polimerik örtülerin (asfalt, polimer ve bunların karışımlarının) bir araya gelmesiyle oluşurlar.

Geomembranların kullanım amacı geçirimsizliğin sağlanmasıdır. Bu yüzden sıvı ya da katı atık depolamanın yanı sıra ulaştırma ve hidrolik mühendisliği uygulamaları gibi birçok alanda da kullanılmaktadır (Demiröz 1996).

2.2.3. Geogrid

Geosentetikler içinde çok tercih edilen malzemelerden biri de geogridlerdir. Geniş açıklıklarda kutucuk şeklinde form verilmiş plastiklerden oluşan geogridler; örgülü, örgüsüz veya dokunmuş tekstil ipliğinden üretilen malzemelerdir. Tek eksenli (uni-axial) ve çift eksenli (bi-axial) olmak üzere iki gruba ayrılır. Geogridlerin en önemli fonksiyonu zemin güçlendirmesidir.

- . Zemin iyileştirmede kullanılan geogridlerin başlıca faydaları aşağıda sıralanmıştır;
- Taşıma kapasitesini büyütür.
- Uzun sürede meydana gelecek oturmaları düşürür.
- Oturma farklılıklarını engeller.
- Çatlak oluşmasını engeller.
- Alt temelin taşıma kapasitesini artırır.
- Yüklerin uniform dağılımını sağlar (Tunç 2002).

2.2.4. Geonet

Geosentetikler içerisinde yer alan diğer bir malzeme de geonetlerdir. Ekstrüzyon yöntemi ile polimerlerden üretilirler. Genellikle drenaj amaçlı kullanılırlar. İlk olarak Hopewell tarafından kullanılan geonetler, sıvı atık depolama tesisindeki sızıntıların tespit edilmesi için kullanılmıştır. Polietilenden üretilen geonetler geogridlerin altında uygulanmaktadır. Geonetlerin kullanım alanı ayırma değildir fakat bu özelliği de sağlamaktadır (Demiröz 1996).

2.2.5. Geofom

Geofomlar, 1960'lı yıllardan beri geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan kullanılan her türlü köpük malzemelerdir. Geofomlar, kapalı ve içi gaz dolu çeşitli hücrelerin birleşmesi ile oluşan ve genleştirme yoluyla elde edilen bir malzemedir. Hücre duvarları katı olmasına karşın gazlara karşı geçirgendir (Bağcı 2007).

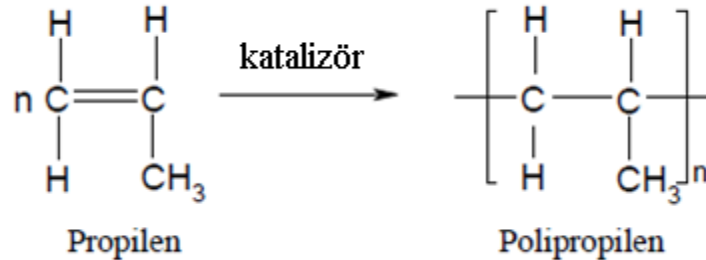
Polistiren köpük kapsamında EPS (genleştirilmiş polistiren), XPS (sıkıştırılmış polistiren) olarak iki çeşit ürün olarak üretilen geofam, polimerik (plastik) veya camsı köpük esaslı bir malzemedir. Donma-çözülme etkisinin olduğu yerlerdeki yolların, hava alanı kaplamalarının ve demiryolların altında, yumuşak ve taşıma gücü iyi olmayan zeminlerin üzerinde yapılan dolguların içinde, geofam kullanılmaktadır. Geofamlar, diğer geosentetik malzemelerle geokompozit oluşturularak kullanılmakta olup ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz vd 2005).

2.2.6. Geohücre

Üç boyutlu petek tarzı elemanlar olan geohücreler, içerisi zemin, kaya veya betonla doldurulmuş malzemelerdir. Genellikle şerit şeklinde polimer tabakalardan veya geotekstillere üretilmektedirler. Çapraz yerleştirilen yerleştirilen geohücreler, kesişim noktalarından birbirlerine sabitlenmektedir. Şeritler çekildiğinde geniş bir petek şeklinde örtüye dönüşmektedir (Demiröz 2008).

2.2.7. Polipropilen lif

Polipropilen, ziegler-natta katalizörleri olarak bilinen $TiCl_3$, DEAC (dietilalüminyumklorür) ya da bazı metalosen katalizörlerinin varlığında propilen monomerinin polimerleşmesinden elde edilir ve genel polimerleşme tepkimesi aşağıdaki gibidir.



Dünyada 150'den fazla polipropilen türü üretilmektedir. Bunlar özellikle fiziksel özellikleri açısından az da olsa birbirinden farklı özellikler gösterirler. Ancak polipropilene ait bazı genel fiziksel özellikler Çizelge 2.2'de verilmiştir (Anonim 2009).

Çizelge 2.2. Polipropilene ait bazı genel fiziksel özellikler

Erime sıcaklığı	160-170°C
Erime ısı	21 cal/g
Yoğunluk	0,90-0,929 g/cm ³
Özgül ısı	0,46 cal/g°C
Bozunma sıcaklığı	380-410°C
Nem tutma	%0,1

Polipropilenler kimyasal direnci iyi olan malzemelerdir. Asitlerin, bazların ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmez, alkol ve deterjanlara karşı da dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda yağlarda, aromatik hidrokarbonlarda, holojenli hidrokarbonlarda şişme yapar. Isı, ışık ve yükseltgenlerden polietilene göre daha fazla etkilenir. Bu yüzden polipropilen üretim aşamasında antioksidanlar ve ultraviyole ışık absorblayıcılarla stabilize edilir (Anonim 2009).

Çok eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış hali polipropilen liflerdir. Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda artan bir hızla polipropilen lifler zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılmakta ve konuya ilişkin bilimsel çalışmalar her geçen gün artmaktadır.

Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı ve çürümeyen bir ürün olup kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen bir malzemedir. Betonun ve sıvanın kalitesini artırmak, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Polipropilen betona veya zemine katıldıklarında en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılan polimer liflerdir. Polipropilen lif katıldığı ortam içinde üç

boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifler, hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Katılmış oldukları ortamda diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler.

Polipropilen türleri üç ana grupta toplanır.

Homopolimer polipropilen: Bu tür, sadece propilenin polimerleşmesiyle elde edilen polimerdir. Yani molekül zincirinde tekrarlayan ünite sadece propilendir.

Kopolimer propilen: Propilenin polimerleşmesinden sonra, elde edilecek polimer türüne göre %4-14 arası etilenin polimerleştirilmesinden elde edilir.

Random kopolimer: Random kopolimerde ise etilen oranı %4'ün altındadır. Propilen ve etilenin aynı anda polimerizasyonundan elde edilir (Anonim 2009).

2.3. Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri

Donatılı zeminler üzerine yapılan çok sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Kum zeminler ve diğer zeminler üzerine oturan temellerde kullanılan donatılar, temellerin taşıma gücü ve oturma davranışını konu alan çalışmalar sunulmuştur. Literatürde, donatılı zemin tabakalarına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi, oturması, göçmesi ve göçme yüzeyinin nasıl oluştuğu, zeminin kohezyonlu veya kohezyonsuz olması, kullanılan donatı türü (metal, lif, çubuk veya geotekstil vb.), temelin geometrisi (şerit, kare, dikdörtgen ve daire), yükleme şekli (eksantrik, aksenal, statik veya dinamik), donatıların yerleştirilme şekli (yatay, düşey veya eğimli) gibi kriterlere göre incelenmiştir.

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

2.3.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar

Literatürde kum zeminler üzerine yapılmış birçok çalışma mevcut olup aşağıda bunlardan bazılarına değinilmiştir.

Binquet and Lee (1975a), yaptıkları laboratuvar model deneyleri ile, konuyla alakalı ilk kapsamlı bilimsel çalışmayı yapmışlardır. Çalışmalarında laboratuvarda yaptıkları model deneylerle, donatılı kum zeminlere oturan sürekli temellerin taşıma gücü incelenmiştir.

Donatı olarak alüminyum şeritler kullanılmış ve üç seri model deney yapılmıştır.

- **A serisi:** Kum zemin tabakasının derinde ve homojen olarak bulunması hali,
- **B serisi:** Kum zemin tabakasının altında çok yumuşak (kil veya turba) bir tabaka bulunması hali,
- **C serisi:** Kum zemin tabakası altında belirli boyutlarda çok yumuşak zemin (kireçtaşı yada organik zemin) bulunması hali.

Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

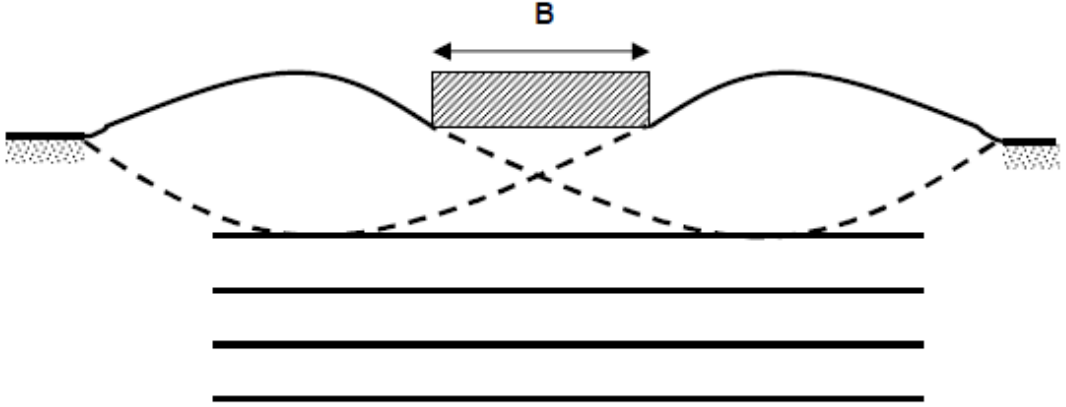
- Donatı kullanımının, zeminlerin oturma davranışını ve taşıma kapasitesini olumlu yönde etkilediği tüm deneylerde belirtilmiştir.
- A grubu deneyinde, donatı tabaka sayısının en az 4 olması durumunda, BCR'de (Taşıma Kapasitesi Oranı) büyük ölçüde artış elde edildiği söylenmiştir.

Donatı tabaka sayısının, $N= 4-6$ arasında olması durumunda, BCR'de yaklaşık 2-4 kat arasında bir artış olmaktadır. Donatı tabaka sayısının 6'dan büyük olması durumunda ise, BCR'de büyük bir artış olmadığı belirtilmiştir. En fazla BCR'na, donatı tabaka sayısı $N=4$ ve ilk donatı derinliği $u \approx 0,30B$ olduğunda ulaşılmıştır. Ancak bu durumda da üst donatı tabakalarında kopmalar olduğu görülmüştür.

- Deneyleerde, göçme tiplerinin donatı sayısına ve ilk donatı derinliğine bağılı olarak değıştiğı gözlenmiştir. İlk donatı derinliği, $u > 0,67B$ olduğı zaman, donatılar rijit bir taban davranışı göstermekte ve göçmenin üst kısımdaki zeminin kaymasıyla oluştuğı söylenmiştir. $u < 0,67B$ olduğunda ise farklı iki durum gözlenmiştir. Donatı sıyırılmasından dolayı oluşan göçme, $N \leq 2$ olduğunda, üst donatı tabakalarında kopmaların meydana gelmesiyle oluşan göçmenin ise, $N \geq 4$ olduğunda oluştuğı ifade edilmiştir.
- Yük-oturma eğrilerindeki kırılğanlığıın B serisinde, A serisine göre daha az olduğü görülmüştür. Ayrıca zemin tabakası yumuşak olduğundan B serisindeki BCR, A serisine göre daha küçük ve oturmalar daha büyük çıkmıştır.
- $N > 4$ ve $u > 0,67B$ olarak seçilmesi durumunda, C serisindeki taşıma kapasitesinde 2-3 kat arasında bir artış olduğü ifade edilmiş olup donatı tabaka sayısının $N > 3$ olması durumunda da BCR'de birden bire artış gözlenmiştir.
- Farklı zemin şartlarında yapılan model deneylerin, donatılı zemin davranışının anlaşılmasında teorik çalışmalara göre daha doğru sonuçlar verdiğı belirtilmiştir.

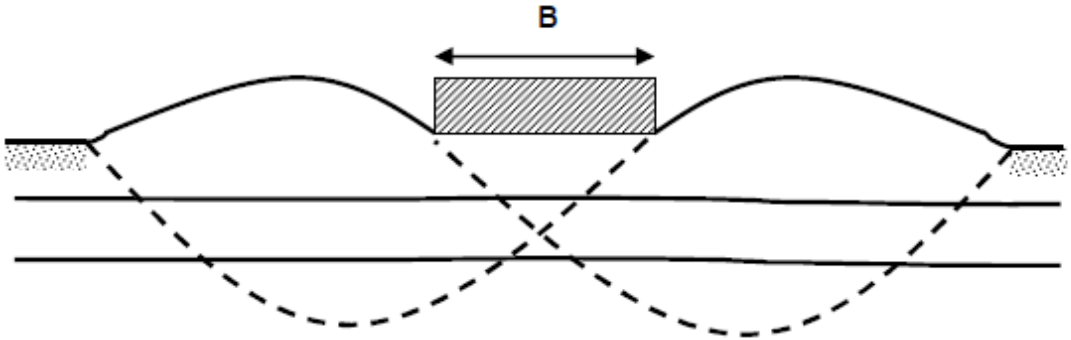
Binquet and Lee (1975b), donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma gücünü incelemek için yaptığı model deneylere ek olarak teorik çalışma yaparak konuyu araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda görülen çeşitli göçme şekilleri dikkate alınarak, taşıma kapasitesi analizleri yapılmıştır. Donatılı zeminlerde, donatı elemanlarının dayanımına ve yerleştirilme şekline göre farklı göçme şekilleri oluştuğı savunulmuştur. Buna göre,

- İlk donatı tabakası üzerinde meydana gelen kayma göçmesi; İlk donatı tabakasının derinliğine göre ($u/B > 0,67$) oluşan bu göçme Şekil 2.7'de gösterimiş olup bu durumunda donatı tabakaları rijit bir taban davranışı göstermekte ve kayma zonu üst bölgede kalmaktadır.



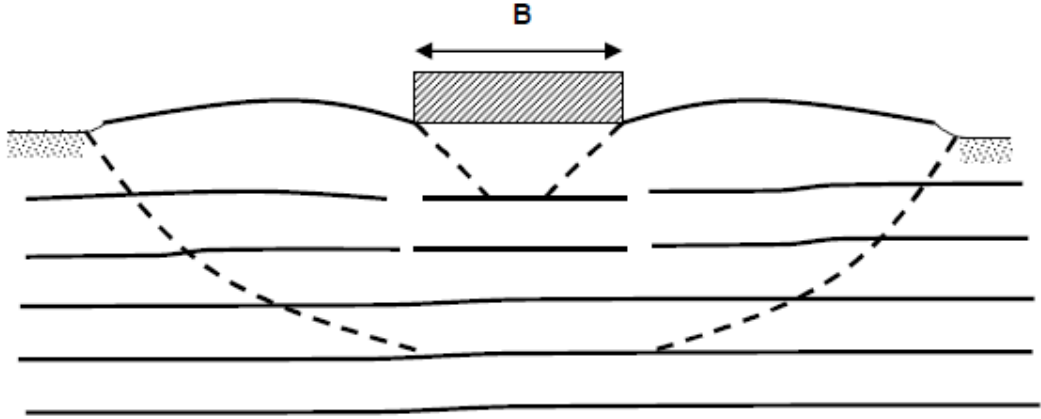
Şekil 2.7. $u/B > 0,67$ olması durumunda görülen göçme şekli

· Donatı sıyrılması nedeniyle oluşan göçme; Donatıların seyrek ($u/B < 0,67$ ve $N < 3$) olması yada sürtünme direnci oluşturmada donatı uzunluğunun yetmemesi durumunda bu tip göçme meydana gelmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Donatı sıyrılması nedeniyle oluşan göçme şekli ($u/B < 0,67$ ve $N < 3$)

Donatı kopması nedeniyle oluşan göçme; Donatıların oldukça uzun ve çok az aralıklı ($u/B < 0,67$ ve $N > 3$) olması durumunda oluşan bu göçme Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Donatı kopması nedeniyle oluşan göçme şekli ($u/B < 0,67$ ve $N > 3$)

Üç farklı durumda oluşan göçme sistemleri göz önünde bulundurularak analitik modeller geliştirilmiş ve elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Andrawes *et al.* (1978), yaptıkları model deneylerle, pürüzsüz-pürüzlü çelik levhalar ve polimer örgüsüz geotekstil levhaları donatı olarak kullanmıştır. Yapılan çalışmada, donatı yüzey pürüzlülüğünün, donatının uzamasının ve donatı derinliğinin gevşek kum zemin tabakası üzerine oturan temellerin taşıma gücüne ne ölçüde etki ettiğini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, taşıma kapasitesinin en yüksek olduğu, optimum derinliğinin $u/B=4$ olduğunu belirtmişlerdir.

Patel (1982), donatılandırılmış kum üzerine yerleştirilen sürekli temel, daire ve dikdörtgen temellerde, yük-oturma davranışının temel şeklinden ne ölçüde etkilendiğini araştırmıştır. Donatı olarak, geotekstil levha kullanmıştır. Çalışmasında, donatı kalınlığı ve en üstteki donatı tabakası derinliği, tane dağılımı, tane yapısı parametre olarak alınmış ve şu bulgular elde edilmiştir.

- Kare temelin kenar uzunluğu ve dairesel temelin çapı eşit olduğunda, merkezi yüklü ve düzlem deformasyon şartlarında iki temelin de benzer davranış gösterdiğini,
- Dairesel ve sürekli temellerin oturduğu herhangi bir seviyede, taşıma gücünün en fazla $u=0,47B$ veya $u=0,47D$ donatı derinliğinde olduğunu,

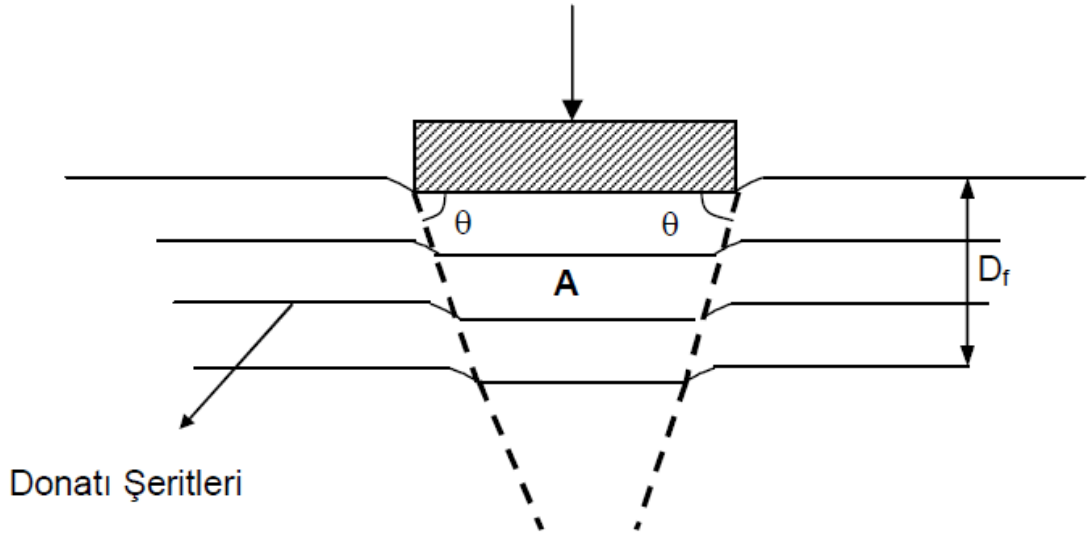
· Temelin geometrisi, donatı parametreleri ve zeminin rölatif sıklılığının sabit tutulması durumunda kumun içsel sürtünme açısında ve BCR değerinde artış olduğu görülmüştür.

Das (1988), yaptığı model deneyler ile yumuşak kil zemin üstüne, arasına tek sıra olarak geotekstil yerleştirilerek oluşturulan sınırlı kalınlıkta sıkı kum tabakasının konulması durumunda sınır taşıma gücünü araştırmıştır. $B=76,2$ mm genişliğindeki sürekli temel, $D_f=0,5B$ derinliğinde sabit tutulup, temel tabanı ve kil yüzeyi arasındaki mesafe $H=0B\sim3B$, donatı genişliği $B_R=2B\sim10B$, arasında seçilmiştir. Donatılı zemindeki BCR değeri donatısız zemine kıyasla %8 daha fazla ve ideal bir H/B oranının $0,75$ olduğu görülmüştür. $4B$ 'den büyük genişliklerde ise $B_R>4B$ sınır taşıma gücünde herhangi bir artış meydana gelmediği dolayısıyla donatı genişliğinin $B_R=4$ olarak alınabileceği belirtilmiştir.

Singh (1988), %85 rölatif sıklılıktaki üniform kum zeminde, donatı olarak alüminyum şeritler ile ızgara oluşturacak biçimde birbirine kaynaklanmış çelik çubuk donatı kullanarak model deneyler yapmıştır. Çalışmada donatı yerleşim düzeni N , donatı genişliği B_R , düşey donatı aralığı z , birinci donatı tabakasının temel tabanından derinliği ise u olarak tanımlanmış ve aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Donatı kalınlığı üç kat dahi arttırılrsa BCR değerindeki artış %15'i geçmemektedir.
2. Donatı ve temel parametreleri sabit tutularak çelik çubukların birbirleriyle 90° lik açıyla kaynak yapılması halinde en büyük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır.
3. Taşıma kapasitesinin en büyük değere ulaştığı durum, alüminyum şerit donatının temel kenarına paralel bir şekilde (birbirine dik doğrultuda) iki sıra halinde yerleştirilmesi olup planda temel alanı dışında kalan 2 sıradaki alüminyum şerit donatının taşıma kapasitesine herhangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
4. Taşıma kapasitesinin $N=4$ değerinde arttığı, $N>4$ olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artışın fazla olmadığı görülmüştür.
5. Düşey donatı aralığı mesafesinin (z) donatı boyutu ile taşıma kapasitesini, değiştirdiği görülmüştür.

II. Tür Göçme: Donatının rijit bir şekilde davranmadığı durumlarda donatılı bölgede oluşan göçme Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Bu tür göçmenin oluşması durumunda temel kenarlarından başlayan kayma yüzeylerinin, donatılı bölgeye doğru kama biçiminde yol aldığı gözlenmiştir. Donatı ve kum arasında yeteri kadar sürtünme olmamasının, bu tip göçmeye sebep olduğu ve donatılarda meydana gelen kopmaların da donatı yoğunluğunun az olmasından kaynaklandığı gösterilmiştir. Huang and Tatsuoka (1990) geliştirdikleri bu analitik modelde bu göçme mekanizmalarını esas almıştır.



Şekil 2.11. II. tür göçme

(i) “I. Tür Göçme” Halinde Donatılı Zeminlerin Taşıma Gücü:

Donatı uzunluğu, $L=B$ ve toplam donatı zon derinliğinin, $D_R \cong B$ olduğu kabul edilerek göçme hesabı yapılmış ve hesaplamalarda donatılı bölge donatısız zeminlere oturan aynı derinlikteki rijit derin temel ($D_R=D_f$) gibi düşünülmüştür. Aşağıda verilen ifade taşıma kapasitesindeki artış miktarını göstermektedir.

$$\Delta q_B = K_p^2 \gamma_d \left[\frac{(2Df + b + S2) - (c + S1)}{2} \right] \quad (2.2)$$

Burada;

K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı ($K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$),

γ_d : Kuru birim hacim ağırlığı,

D_f : Temel derinliği,

b: Derin temel için kayma bloğunun yüksekliği,

c: $D_f=0$ olduğunda kayma bloğunun yüksekliği

S_1 : $D_f=0$ olduğunda, göçme anındaki oturma miktarı

S_2 : Derin temel için göçme anındaki oturma miktarı olarak tanımlanmıştır.

Donatı boyunun, $L > B$ olması durumunda, geniş plak etkisinden dolayı taşıma kapasitesindeki artış aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\Delta S = 2 \left\{ \sum_{i=1}^n T_{e,i} \cdot \tan \phi \cdot N_i \right\} / B \quad (2.3)$$

Geniş plak etkisinden dolayı düşey kayma bloğu yan yüzeylerinde oluşan ΔS , sürtünme gerilmesi olup eşitlikteki diğer notasyonlar ise aşağıda gösterilmiştir:

n: Kullanılan donatı tabakalarının sayısı,

N_i : i. tabakada temel birim uzunluğuna düşen donatı şeridi sayısı,

$T_{e,i}$: i. tabakadaki her donatı şeridinde meydana gelen çekme kuvveti

Buna göre taşıma kapasitesinde meydana gelen toplam artış,

$$\Delta q_A = \Delta q_A + \Delta S \quad (2.4)$$

olur.

(ii) “II. Tür Göçme” Halinde Donatılı Zeminlerin Taşıma Gücü:

Bu tür göçmede, donatıların taşıma kapasitesinde meydana getirdiği artış (Δq_A), donatı çekme kuvvetlerinden kaynaklanan ve kayma bloğunda meydana gelen yanal çevre basınçlarında oluşan artış olarak tanımlanmıştır. Buna göre, donatılı zeminin taşıma kapasitesi;

$$\Delta q_A = K_p \sigma_t \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdaki σ_t ise;

$$\sigma_t = \left\{ \sum_{i=1}^n (T_{av,i} \cdot N_i) \right\} / D_R \quad (2.6)$$

Eşitliğinden hesaplanır. Burada;

D_R : Toplam donatı zon derinliği,

$T_{av,i}$: Kayma bloğunda i. tabakada oluşan ortalama çekme kuvveti olup diğer notasyonlar ise önceki kısımda gösterilenle aynıdır. $T_{av,i}$ aşağıda gösterilmiştir.

$$T_{av,i} = \frac{(T_{max,i} + T_{e,i})}{2} \quad (2.7)$$

$T_{max,i}$: Merkezde oluşan maksimum çekme kuvveti

$T_{e,i}$: Kayma bloğunun yan yüzeylerinde oluşan çekme kuvvetidir.

Khing *et al.* (1993) yaptıkları çalışmalarda, donatı konfigürasyonu parametreleri olan u, N ve BR değerlerinin, $D_r \approx \%70$ rölaf sıklıkta, geogrid donatılı iyi derecelenmiş ince taneli kum üzerine oturan, 101,6x30,48x2,54cm ebatlarındaki şerit bir temelin taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, donatılı zeminin nihai taşıma gücü ve göçme anındaki oturma analiz edilerek, deneylerde değiştirilen parametrelerin BCR'ye olan etkileri aşağıda gösterilmiştir:

İlk donatı tabakası derinliği değişiminin (u/B)'nin BCR'ye etkisi: Donatı tabaka sayısı $N=6$, donatı boyu ($b=10,75B$), donatılar arasındaki düşey mesafe ($h=0,375B$) değerler sabit tutulmuş ve ilk donatının derinliği değiştirilmiştir. Farklı yük kademeleriyle bu kademelerde meydana gelen oturmaların gözlemlenmesi için u/B -BCR arasındaki bağlantı araştırılmıştır.

Donatı tabaka sayısı (N) değişiminin BCR'ye etkisi: $u=0,375B$, $h=0,375B$, $b=10,75B$ değerleri sabit tutulup, N değerinin artmasıyla, BCR_U ve BCR_S değerlerinin arttığı, $d/B=2,25$ olduğunda ise ($N=6$), BCR_U ve BCR_S değerlerinin sabit kaldığı görülmüştür. N 'nin bütün değerleri için; $BCR_S \approx (0,67-0,70)$ BCR_U şeklinde bir eşitliğin olduğu ifade edilmiştir.

Donatı boyu değişiminin (b/B) BCR'ye etkisi: $u/B=0,375$, $h/B=0,375$, $N=6$ değerleri sabit tutulurken b/B oranı değiştirilmiştir. Buradan nihai yükteki taşıma kapasitesi oranı (BCR_U) ile belli bir oturma oranına karşılık gelen yükteki taşıma kapasitesi oranı (BCR_S) arasında bir bağıntı elde edilmeye çalışılmıştır.

Yetimoğlu (1994), laboratuvarında yapılan model deneyler ve sonlu elemanlar analizi ile geogrid-donatılı kum zemin üzerine oturan temellerin taşıma gücünü araştırmıştır. Model deneylerde donatı konfigrasyonu olarak u , z , N ve BR parametreleri esas alınarak dikdörtgen bir plak kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinin eksenel simetri geometri şartlarında, donatı konfigrasyonuna ek olarak donatı rijitliğinin taşıma gücüne olan etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonunda:

- Deneysel sonuçlar ve sonlu elemanlar analiz verileri karşılaştırıldığında donatılı zeminlerin taşıma gücünde benzer sonuçların elde edildiği ifade edilmiştir.
- İlk donatı tabakası derinliğinin (u) taşıma gücüne olan etkisi, donatı tabakası sayısının $N=1$ ve $N>1$ olması durumunda, donatılı zeminin taşıma güçlerinin farklı değerlerde olduğu belirtilmiştir.
- Kumun içine belli derinliklerde geogrid donatı yerleştirilmesi durumunda, nihai taşıma kapasitesinde 4 kat kadar artışın meydana geldiği belirtilmiştir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, donatılı ve donatısız kum zemin üzerine oturan temellerin göçme anındaki oturma değerlerinin birbirlerinden farklı olmadığı,
- Yatay olarak yerleştirilmiş donatılar arasındaki düşey uzaklığın (z), optimum değer $(z/B)_{opt}=0,15$ olduğunda taşıma kapasitesinin en yüksek değerde olduğu belirtilmiştir.

Yetimoğlu vd (1994) alışmalarında, tek eksenli geogrid donatıdan oluşan kum zemin üzerine oturan dikdörtgen temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Sonlu elemanlar analizinde, donatının yerleşim şekli ve donatı rijitliği parametreleri de dikkate alınmıştır. Deneylede %70 sıklıktaki iyi derecelenmiş Yalıköy kumu, model tankın içine vibrasyonla sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. 101,50x127x12,50mm ebatlarındaki elik dikdörtgen temel ve donatı olarak da terragrid gs1000 kullanılmıştır. Deneylede aşağıdaki parametreler esas alınmıştır.

- Donatı tabaka sayısının etkisi
- Donatı rijitliği
- Donatı tabakasının boyut etkisi
- Donatı tabakaları arasındaki düşey mesafe etkisi,
- İlk donatının derinlik etkisi

Sonlu elemanlar sonuçları ve deneylelerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bunlar,

- Göçme anındaki oturmaların donatılı zeminlerde yapılan deneylelerde, daha büyük olduğu,
- Donatısız zemine göre donatılı zeminin nihai taşıma kapasitesinin dört kat arttığı,
- Donatı rijitliğinin yükün belli bir değere ulaşmasından sonra arttığı fakat taşıma gücünde fazla bir artış olmadığı,
- Donatılı zemin üstüne oturan dikdörtgen temelin donatı konfigürasyonuna bağlı olarak taşıma kapasitesini artırdığı,
- Tek tabaka kullanılması durumunda, en üsteki donatı tabakası derinliğinin $u=0,3B$ olması durumunda taşıma gücünün en yüksek değere ulaştığı,

- Çok tabakalı donatılı kumlu zeminlerde en üsteki donatı tabakası derinliğinin $u=0,3B$ değerinde olması durumunda taşıma gücünün en yüksek değerde olduğu ve donatılar arası düşey aralığın $z=0,20B\sim 0,40B$ arasında değiştiği,
- Yapılan deney ve analiz sonucunda, donatı boyunun artırılmasıyla BCR değerinde çok az bir artış olduğu,
- Donatı boyunun $4,5B$ 'yi geçmesi durumunda BCR değerinin sabit olduğu,
- Donatılı kum zeminin BCR değerinin donatı tabaka sayısına ve belli bir efektif bölge içerisindeki donatı tabaka genişliğine bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir.

Çelik (1997) çalışmasında, yüzeysel şerit temellerin geogrid donatılı bir zemin üzerine oturmasının taşıma kapasitesine etkisini araştırmıştır. Deneylerde kullanılan donatı FORTAC geogridleri olup Trabzon ili, Of ilçesinden getirilen sahil kumu kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, düzlem deformasyon şartlarına uygun olarak temel genişlikleri $B=35\text{mm}$, 50mm , 70mm olan model temel ve ön ve arka yüzeyleri camdan yapılmış çelik tank kullanılmıştır. Üç tabakalı geogrid kullanılması durumunda sınır taşıma gücünün en yüksek olduğu optimum derinlik oranı ise $0,5$ olarak belirlenmiştir.

Adams and Collin (1997) tarafından büyük ölçekli model temeller ile geosentetik donatılı zeminler üzerine oturan sıg temellerin taşıma kapasitesi ve oturma davranışları incelenmiştir. Çalışmalarında geogrid ve geocell olmak üzere iki farklı geosentetik kullanılmış ve toplam otuz dört adet yükleme deneyi yapılmıştır. Değişken parametreler olarak, ilk donatı derinliği, donatı tabaka sayısı, tabakalar arası mesafe, zemin yoğunluğu ve donatı türü alınmıştır. Deneyler sonucunda, zemine eklenen donatının taşıma kapasitesini $2,5$ kat artırdığı görülmüştür. Deneylerde kullanılan model kare temellerin kenar uzunlukları $0,30\text{m}$, $0,46\text{m}$, $0,61\text{m}$ ve $0,91\text{m}$ olup geosentetik donatı tabaka sayısı 3 alınarak sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan model temeller çelik donatılı ve betonarme malzemedan üretilmiştir. Kare temeller, boyut etkisini azaltmak amacıyla kullanılmıştır. Deneylerin yapıldığı duvarla çevrili alan, $5,4\text{m}$ genişlik, $6,9\text{m}$ uzunluk ve 6m derinliğe sahiptir. Yükleme işlemi, hidrolik krikolarla yapılmıştır. Açılan çukura, 30 cm kum serilip belirli yoğunlukta sıkıştırılmıştır. Deneylerde kötü

derecelenmiş kum (SP) kum kullanılmış ve kumun endeks özellikleri, $D_{50}=0,25mm$, $C_u=1,7$, $\gamma_{kmax}=16,7kN/m^3$ ve $\gamma_{kmin}=13,8kN/m^3$ olarak belirlenmiştir.

İki aşamadan oluşan deneylerin ilk aşamasında, farklı donatı aralıkları ile farklı geosentetik tiplerin etkileri, yapılan üç seri deneyle incelenmiştir.

Seri 1: Donatılı deneylerle karşılaştırmak için yapılan donatısız deneyler, her boyutta temelle yapılmıştır. karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmıştır. $\gamma_k =14,9kN/m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Seri 2: 2. seride 3 tabaka geogrid kullanılmıştır. Deney alanı tamamıyla donatılandırılmıştır. Donatılar, birbirlerinin üstüne binmesi engellenmek için zikzak şekilde yerleştirilmiş ve 60cm'lik kısımlar birbirlerinin üstüne bindirilmiştir. $\gamma_k =14,8kN/m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Seri 3: 3. seride donatı değiştirilerek geocell kullanılmıştır. Kaymasının engellenmesi amacıyla sabitlenen, 4 tane geocell kullanılmıştır. Bu deneyde $\gamma_k=14,8 kN/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ilk donatı derinliği, donatı tabaka sayısı, tabakalar arası mesafe, zemin yoğunluğu ve donatı türü gibi parametlerin etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan temel 0,61 m ebatlı temel kullanılmıştır. Bu kısımda da 3 farklı deney serisi kullanılmış ve deneyler Seri 4, Seri 5, Seri 6 olarak isimlendirilmiştir.

Seri 4: Bu kısımda ilk donatı derinliği ve donatı genişliğinin etkileri incelenmiştir. Deneylerde, 0,25B ve 0,375B derinliklere yerleştirilen tek donatı kullanılmıştır. Bu durumda donatı derinliği 150 ve 225 mm olmuştur. Bu seri deneyde $\gamma_k =14,7kN/m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Seri 5: Bu kısımda $\gamma_k =14,5kN/m^3$ olarak hesaplanmış ve 150 mm ve 300 mm derinliklerde 2 donatı kullanılmıştır.

Seri 6: Bu kısımda $\gamma_k=14,2kN/m^3$ olarak hesaplanmış ve 150 mm ve 300 mm derinliklerde iki donatı kullanılmıştır.

Deneylerin hepsi kazılan alana göre planlanmış olup yapılan tüm deneyler kum dolgu kaldırılmadan sonlamıştır. Deneylerde 4B derinliğe kadar kazı yapılmış ve güvenli tarafta kalmak amaçlanmıştır. 30 cm'lik tabakalar halinde serilen kum dolgu iyi bir

biçimde sıkıştırılmış, özellikle temel altına gelen yüzey dikkatlice düzeltilmiştir. Her tabakadan sonra yoğunluklar beş farklı yerde nükleer yöntemlerle ölçülmüştür. Temel köşelerine yerleştirilen dört adet deplasman ölçerle meydana gelen deformasyonlar ölçülmüş olup yüklemeler hidrolik kriko vasıtasıyla yapılmıştır. Belli aralıklarla deformasyon ölçümleri yapılmış, her kademedede en az 5 dakika beklenerek, her bir yük kademesi elle artırılmıştır. Yük oturma eğrilerinden çeşitli teğetler çizilerek taşıma kapasitesi değerleri görülmüştür. Yapılan deneylerin performans karşılaştırmaları taşıma kapasitesi oranları (BCR) ile belirlenmiştir. %0,5, %1,0 ve %3,0 deformasyonlarda BCR değerleri hesaplanmıştır. Göçme mekanizmalarını da belirlemek için sonuçlar, kayma türlerine göre de yorumlanmıştır. Bununla birlikte yoğunlukların taşıma kapasitesine etkileri araştırılmıştır.

Geosentetik donatı ilavesinin kum zeminlerin taşıma kapasitesini yaklaşık 2,5 kat artırdığı deney sonuçlarından elde edilmiştir. Maksimum taşıma kapasitesi değerine donatı derinliğinin 0,25B olması durumunda ulaşılmıştır.

Gabr and Hart (2000) tarafından yapılan model deneylerde polimer geogridlerle güçlendirilmiş donatılı kum zeminlerde elastisite modülü değerinin hesaplanabilmesi araştırılmıştır. Deneylerde 1,52'1,52'1,37m boyutlarında bir deney kasası ve kenar uzunluğu 30cm olan kare kesitli plakalar kullanılmıştır. SR1 ve SR2 olan farklı iki geogrid kullanılış olup toplam 9 adet yükleme deneyi yapılmış ve elastisite modül değerleri, 9,2mm ve 4,6mm'lik deformasyon seviyelerinde 1 E olarak hesaplanmıştır. Donatılı ve donatısız durumlardaki elastik modüllerin karşılaştırılması amacıyla deneylerde 3 tabaka donatı kullanılmıştır. Deney sonucunda 1 E değerleri hesaplanmış ve literatürde önerilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, $u/B= 0,5$ için bulunan 1 E değerleri Adams ve Collin (1997)'e göre %20 daha düşük olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma, kum zemine ilave edilen donatının, yük taşıma kapasitesinde bir artışa, düşey deformasyonlarda ise azalma oluşturduğunu göstermektedir.

Shin and Das (2000) yaptıkları araştırmada, geogridle donatılandırılmış bir kum zemin üzerine oturan şerit temelin taşıma g¼c¼n¼ incelemiştir. Birden fazla geogrid tabakalı donatının orta sıkı kum zemin üzerine oturan bir şerit temelin taşıma g¼c¼ne etkisini araştırmışlardır. Temel derinliği genişliğinden daha k¼ç¼k seğilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, birinci donatı tabakası derinliğinin $u=0,3B$ olduğunda, maksimum taşıma g¼c¼ne ulaşıldığı belirtilmiştir.

Haeri *et al.* (2000), geotekstil ile donatılandırılmış bir zemin üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada; kullanılan geotekstil tabakalarının sayısı, tipi ve yerleştirilme d¼zenini değiştirerek malzemenin mekanik davranışını incelemişlerdir. Deneysel kuru kumu kullanarak, kumun gerilme-deformasyon davranışını tespit etmek amacıyla üç-eksenli deneyler yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, geotekstil ile donatılandırılmış kumların mukavemetinin, geotekstille kum arasındaki s¼rt¼nmeye bağlı olarak değişim g¼sterdięi ve s¼rt¼nmenin arttırılması ile dayanımında arttığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, yenilmeye sebep olan en önemli parametrenin donatı yerleşim d¼zeni olduğu tespti edilmiştir. Donatısız deneylerle karşılaştırıldığında, donatılı zeminlerin rijitliğinin donatı tipine g¼re değişim g¼sterdięi belirtilmiştir.

Arslan (2001) yaptığı çalışmada, dairesel temel kullanarak donatılı ve donatısız zeminler üzerinde bir takım deneyler yapmıştır. ANSYS yazılımı kullanarak sonlu eleman ağının oluşturulmasında dairesel temel, bir kare temele d¼n¼řt¼rerek ç¼z¼me gitmiştir. Çalışmada aşağıdaki parametreleri incelemiştir.

- Farklı y¼kleme durumlarındaki (tekil, yayılı ve d¼ę¼m noktalarına etkimesi durumu) sınır etkisi,
- Model temel uzunluğunun sınır etkisi,
- Model temel genişliğinin sınır etkisi,
- Kasa derinliğinin sınır etkisi,
- Farklı derinliklerde (B, 2B ve 3B) temel ortası altındaki oturma ve taşıma g¼c¼ değerleri.

Araştırmacının yaptığı çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulguları elde edilmiştir.

- Laboratuvar ve ANSYS yazılımından elde ettiği sonuçları karşılaştırıldığında, donatı ile ilgili parametrelerinin (u, z, N ve B_R) temellerin taşıma gücünü etkilediğini,
- İlk donatı tabakası derinliğinin (u), taşıma gücüne etkisinin donatı tabaka sayısının 1 ve 1'den büyük olduğu durumlarda değiştiği,
- Donatısız zeminde $N=1$ olması durumunda taşıma kapasitesinin maksimum olduğu,
- Donatısız zeminde donatı tabaka derinliği $u_{opt}=0,3B$ olarak elde etmiştir.

Alawaji (2001) tarafından yapılan deneysel çalışmada, kum zeminlerin geogrid donatısıyla takviye edilmesinin su içeriğiyle değişimi incelenmiştir. Deneysel Tensor SS2 geogridi ve 10 cm çapında dairesel plak kullanmıştır. Kullanılan geosentetik donatıların genişliklerinin ve farklı derinliklere yerleştirilmelerinin, deformasyon modülü, yenilme ve taşıma gücü oranlarına etkileri incelenmiştir. Çalışmada, kullanılan geogridin derinliği ve tabaka uzunluğu kontrol parametreleri olarak alınarak hem gerilme seviyeleri hem de kuru ve yaş yükleme koşulları araştırılmıştır. Kum-geogrid donatı sisteminin, donatı genişliğinin artması ve donatı derinliğinin azalması ile arttığı ve daha faydalı bir duruma geldiği ifade edilmiştir. Zeminlerde geogrid donatı kullanılmasıyla, zemin deformasyonunda % 95'e varan bir azalma, elastisite modülünde % 2000, taşıma kapasitesi artışının da %320 olduğu grlmştir. Geogrid genişliğinin $4D$ ve donatı yerleştirilme derinliğinin $0,10D$ olduğu durumda en faydalı ve ekonomik bulgular elde edilmiştir.

Moroğlu (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmada donatılı kum zemin üzerine yerleştirilen model şerit bir temel taşıma kapasitesi incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan tankın i ebatları 0,90 m (uzunluk) x 0,65 m (yükseklik) x 0,10 m (genişlik)'dir. Tankın n ve arka yüzleri 1,2 cm kalınlığında plakalarla (cam) kaplanmıştır. 100 mm genişliğindeki şerit temel çelikten yapılmıştır. Üç eksenli presin yükleme düzeneği kullanılmış, temele gelen yükün çekirdek içinde, dışında ve sınırında olması durumuna göre çeşitli ekranristelerde yüklemeler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, tane çapı aralıkları 0,2-4 mm arasında değişen orta-iri kum kullanılmış,

kumun rölatif sıklığı deneylerde sıkı tutulmuştur. Deneylerde örgülü geotekstil kullanılmış ve donatı temel tabanından itibaren temel genişliğinin yarısı bir derinliğe yatay olarak yerleştirilmiştir. Çalışmanın önemli bazı sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Donatılı zeminin toplam taşıma kapasitesi, merkezi yüklü temel için, donatı kullanılmayan orta-iri kuma zemine kıyasla ortalama % 50 kadar artmıştır.
- Geotekstilin toplam taşıma kapasitesine olan etkisi, eksantrisine artıkça azalmaktadır.
- Geotekstil donatılı zeminde, temelin yenilmesi için gerekli hareket miktarı, donatısız duruma kıyasla daha büyüktür.
- Yanal hareketi engellenmemiş temelde, birincil kayma yüzeyi, eksantrisenin olduğu tarafta oluşmaktadır.
- Geotekstil donatılı kum zeminde temelin dönmesi, eksantrisine tarafına doğru meydana gelmekte, eksantriste büyüdükçe, temelin dönmeside artmaktadır.

Yıldız (2002), yaptığı model deneysel çalışmada, geogrid ile donatılandırılarak güçlendirilmiş kum zeminler üzerine oturan ve taban alanı dairesel olan temellerinin taşıma gücünü araştırmıştır. Deneylerde; birinci donatı tabakasının mesafesi, geogridler arası mesafe, donatı tabakalarının sayısı, donatı boyu gibi donatı ile ilgili parametrelerin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. En yüksek taşıma kapasitesine, deneysel sonuçla elde edilen en uygun donatı yerleşim düzeninin araştırılmasıyla ulaşılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilenler;

- Donatı ile zemin arasında oluşan aderans ve sürtünme kuvvetleri sonucunda donatılı zemin sistemlerinde, zeminler rijit ve kompozit bir malzeme davranışı göstermektedir. Geogrid donatı, kum zeminlerin taşıma kapasitesini ve oturma davranışını büyük oranda iyileştirmektedir.
- Deneysel çalışmada farklı temel tiplerinde ulaşılan donatı ile alakalı optimum değerler Çizelge 2.3'te gösterilmektedir. Optimum değerlerin kullanılmasıyla taşıma gücünde yaklaşık 3-4 kat artış meydana gelmiştir.

Çizelge 2.3. Donatı ile ilgili optimum değerler

Temel Tipi	İlk Donatı Derinliği (u/B) _{opt}	Donatı Aralığı (h/B) _{opt}	Donatı Sayısı (N_{opt})	Toplam Donatı Derinliği (d/B) _{opt}	Donatı Tabaka Boyu (B_R/B) _{opt}
Dairesel	0,30	0,30	4	1,2 B	3

Bathurst *et al.* (2003), geosentetik ile güçlendirilmiş 2 adet büyük ölçekli ve bir adet donatısız kumlu şeve oturan şerit temelin taşıma kapasitesi ile alakalı bir çalışma yapmıştır. Deneylede farklı iki tipte geogrid kullanılmıştır. Model geometrisi ve yükleme koşulları yapılan 3 deney düzeneğinde de aynı tutularak, geogrid donatının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Donatısız ve donatılı durumun karşılaştırılmasında, zemine geogrid yerleştirilmesinin taşıma kapasitesini 1,6 kat artırdığı; daha güçlü ve rijit geogrid konması durumunda ise, 2,0 kat arttığı gösterilmiştir.

Yetimoğlu and Salbaş (2003), direkt kesme deneyleri ile rastgele fiber içeren kumların dayanımlarını incelemişlerdir. Pik dayanımın ve kumun ilk rijitliğinin fiber donatı oranından etkilenmediği bulunmuş olup; rezidüel kayma dayanımında sünekliğin artmasına bağlı bir artış elde edilmiştir.

Laman vd (2004), kumlu zeminler üzerine yerleştirilen dairesel taban alanlı temelden dolayı zeminde meydana gelecek düşey ve yatay yöndeki gerilmelerin model deneyler yaparak incelenmişlerdir. Gerilmeleri belirlemek için basınç sensörü kullanılmıştır. Deneylede iki sıklıkta kum numuneler hazırlanmış ve iki farklı çapta dairesel taban alanlı temeller kullanılmıştır. Deneysel çalışmalara ek olarak deneysel model, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak PLAXIS yazılımı ile de analiz edilmiştir. Bulgular, mevcut teorik metotlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Temel tabanından itibaren z derinliğinde bulunan yatay düzlemdeki gerilme dağılışının aynı karakteristik şekli gösterdiği, ölçüm mesafesinin büyümesiyle temel plakası merkezinin altındaki gerilmenin de küçüldüğü ve kum zemin herhangi bir yerindeki gerilme değerinin

uygulanen yük ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Buna ilaveten kum zemin örneklerinin rölatif sıklık oranının arttırılmasıyla, aynı yükler altında daha yüksek gerilme değerlerinin oluştuğu belirlenmiştir.

Tan ve Çelik (2004) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda USCS'ye göre zemin sınıfı SP olan orta büyüklükte deniz kumu üzerine yerleştirilen ve temel genişlikleri (B=3,5 cm, 5,0 cm, ahşaptan) olan şerit temellerin taşıma gücü araştırılmıştır. Taşıma kapasitesi deneyleri için kullanılan tank (70x10x40 cm) ön ve arka yüzleri 0,8 cm kalınlığında camdan oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda B=3,5, ve B=5,0 cm için optimum derinlik oranının yaklaşık olarak temel genişliğimin yarısında meydana geldiği ve kullanılan iki temel içinde sınır taşıma kapasitesini veren matematiksel modeller geliştirilmiştir.

B=3,5 cm için

$$q_{\text{sınır}} = -1252,5U^2 + 1212,50U + 120,75 \quad (2.11)$$

B=5,0 cm için

$$q_{\text{sınır}} = -1238,3U^2 + 1238,8U + 175,40 \quad (2.12)$$

3 tabaka geogrid donatısı kullanıldığında zeminin sınır taşıma kapasitesinin donatısız göre haylice (B=35 mm'lik şerit temel için 5,1 kat, B=50 mm'lik şerit temel için 3,6 kat) arttığı belirlenmiştir. Donatılar arası mesafenin taşıma kapasitesini oldukça önemli derecede etkilediği ve $u=0,5B$ olması halinde zemin emniyet gerilmesi için oturma analizlerinin de yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Moroğlu vd (2006), yaptıkları deneylerde, donatılı, donatısız ve sıkı kum zemin üzerine yerleştirilen bir model yüzeysel sürekli temelin çekirdeğinde, üzerinde ve dışında eksantrik olarak yapılan yüklemelerle seri deneyler yapmışlardır. Bu deneylerle zeminin

toplam sınır taşıma kapasitesi belirlenerek, kayma yüzeyleri belirlenmiştir. Donatı olarak örgülü geotekstil, sürekli temel altında 0,05 m derinliğe yatay olarak serilmiştir. Deneylede sahil kumu kullanılmış ve rölatif sıklığı % 74 olacak şekilde tokmakla yerleştirilmiştir. Yanal hareketi önlenmemiş merkezi yüklü olmayan sürekli temelde, asıl kayma yüzeyi eksantrisite tarafında oluşmuştur. Özellikle yanal hareketi önlenmiş ve asıl kayma yüzeyinin eksantrisitenin aksi tarafta meydana geldiği deneysel çalışma sonuçları ile zıtlık içinde olduğu ifade edilmiştir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar;

1. Örgülü bir geotekstilin, temel genişliğinin yarısı kadar bir derinliğe yerleştirildiği sıkı kum üzerine oturan model yüzeysel sürekli temelın taşıma kapasitesi, donatısızla kıyasla % 50 kadar artmıştır.
2. Kullanılan geotekstil, temelın yük-oturma grafiğini, oturma açısından iyileştirmiştir
3. Kayma yüzeylerinin zemin yüzeyi ile olan ara kesitlerinin temel kenarlarına olan mesafeleri, donatılıdan büyüktür.

2.3.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar

Literatürde kum olmayan zeminler üzerine yapılmış birçok çalışma mevcut olup aşağıda bunlardan bazılarına değinilmiştir.

Dawson and Lee (1988), yerinde arazi deneyleleri ile donatılı kil zeminler üzerine oturan sürekli temelın oturmasını araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, kazılan killi zemin yeniden sıkıştırılarak donatılandırılmış ve 4 yıl boyunca önceden belirlenen yük kademelerinde 33, 66, 100 kPa yük uygulanmıştır. Deneysel çalışmada galvanizli çelik çubuklar kaynakla birleştirilerek ızgara levhalar oluşturulmuş ve 4 adet sürekli temel üzerinde deney yapılmıştır.. Donatılandırılmış kilin herhangi bir düşey yük kademesinde sekonder oturması donatılandırılmamış zemine göre daha küçük değerlerde olduğu ifade edilmiştir.

Selveaduari and Gnanendran (1989), geogridle donatılanırılmış bir şev dolgusu üzerindeki sũrekli bir temelın taşıma gũcũnũ model deneylerle incelemişlerdir. Tek bir donatı tabakası kullanmışlardır. Farklı derinliklerde, şev tepesine yakın bir noktaya yerleştirilen sũrekli temelın yũk-oturmasını araştırmışlardır. Çalışmalarda, şev dolgusu üzerindeki sũrekli temelın taşıma gũcũnũ geogridle 1,8 kata kadar arttırıldığı, uygun donatı tabaka derinliğinin, temel genişliğinin 0,5-0,9 katı derinliklerinde elde edildiği gũsterilmiřtir.

Mandal and Sah (1992), kil zemin içine yatay bir şekilde yerleştirilen geogrid donatılarının, kare temelın taşıma kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Deneyler, donatılı ve donatısız olmak üzere, boyutları 460x460x460mm olan bir tank içinde 100mm kenar uzunluğuna ve 48mm kalınlığa sahip kare kesitli bir model temel kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. İki adet deplasman ۆlerle oturmalar ۆlũlmũřtũr (1 mm/dak. hızda, kapasite 50mm). Kullanılan kil zeminin endeks ۆzellikleri $w_L=72\%$, $w_P=41\%$, $s=27$ kN/m², $w = 28\%$ olarak belirlenmiş olup; geogrid donatı, 730g/m²'lık birim ağırlığa, 77 kN/m'lik (22 deformasyonda) ekme dayanımına sahiptir.

Deneyler, kare model temel boyutuna bağlı ve $u/B=0, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,5$ ve $2,0$ olan farklı donatı derinliklerinde yapılmıştır. Temel genişliğinin %11'ine eşit olacak kadar olan oturmalara karşılık gelen taşıma kapasiteleri (q ve q_0) hesaplanmıştır. Taşıma kapasitesi oranı (BCR), oturma oranı (SR), iyileştirme faktũrũ (IF) ve oturma azalması oranı (PRS) şu şekilde tanımlanmıştır.

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \quad (2.13)$$

$$SR = \frac{S}{B} \quad (2.14)$$

$$IF = \frac{P_r}{P_0} \quad (2.15)$$

$$PRS = \frac{S_0 - S_r}{S_0} = 1 - \frac{S_r}{S_0} \quad (2.16)$$

q_r = donatılı zeminde sınır taşıma gücü

q_0 = donatısız zeminde sınır taşıma gücü

S = zeminde meydana gelen oturma

B = temelin kısa kenar uzunluğu

P_r = donatılı zeminde göçme yükü

P_0 = donatısız zeminde göçme yükü

S_0 = donatısız zeminde göçme anındaki oturma

S_r = donatılı zeminde, S_0 'ın elde edildiği yüke karşılık gelen oturma

Deneyle sonucunda, kare temelde $u/B=0,175$ olması durumunda taşıma kapasitesinin %36 oranında arttığı ve oturma yönünden de iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. $u/B=0-0,25$ aralığında IF'de önemli ölçüde iyileştirmeler de mevcuttur. $u/B=0,25$ olduğu durumda $(PRS)_{max}=\%45$ olarak elde edilmiştir.

Shin *et al.* (1993) tarafından yapılan laboratuvar deneyleri ile suya doymun killi zemin üzerine oturan şerit temellerin geogrid donatılarla güçlendirilmesinin taşıma kapasitelerine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde tek tip kil kullanılmış ve ortalama su muhtevasının değiştirilmesi drenajsız kayma mukavemetinde değişimlere neden olmuştur. Yapılan deneylerde, maksimum taşıma kapasitesine ulaşmak için, tabaka genişliği, kritik geogrid tabaka derinliği, ilk donatı tabaka derinliğinin bulunması amaçlanmıştır. Deneylerde %98'i 200 nolu elek altında kalan ve endeks özellikleri $w_L=\%44$, $IP=\%20$ olan doğal kil zemin kullanılmıştır. Kil zeminde $G_s=2,74$ 'tür. Deneylerde öncelikle öğütülen zemin daha sonra önceden belirlenen su muhtevasında karıştırılmıştır. Nemli zeminin, plastik kaplarda saklanarak ve kullanımdan önce yaklaşık bir hafta boyunca küre tabi tutularak, su içeriğinin değişmemesine dikkat edilmiştir. Deneylerde kullanılan model temeller, 7,62x30,48cm boyutlarındadır. Model kasa 1,09m uzunluğa, 30,48cm genişliğe ve 0,90m yüksekliğe sahiptir. Kasa kenarları sürtünmeyi azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Deney esnasında nemli zemin 25,4mm kalınlıklarda düz bir çekiçe sıkıştırılmış ve model temel üzerine yükleme hidrolik

krikolarla yapılmıştır. İki adet deplasman ölçer alüminyum temel üzerine yerleştirilerek okumalar yapılmış ve her bir yük kademesinde yaklaşık 10–15 dk beklenmiştir. Yapılan her deneyin arkasından drenajsız kayma mukavemeti c_u , veyn aletiyle belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, 7 farklı seride deneyler yapılmıştır. Seri A'da donatısız kil kullanılmış olup; Seri B, C, D ve E'de kritik $(u/B)_{cr}$ ve $(b/B)_{cr}$ oranlarını, Seri F ve G'de ise kritik $(d/B)_{cr}$ oranlarını bulmak için deneyler yapılmıştır. Her deneyin arkasından yük oturma eğrileri çizilmiş ve Vesic (1973)'e göre taşıma gücü değerleri belirlenmiştir. Temeller için kullanılan $q_u = C_u * N_c$ ifadesinde deneylerden elde edilen sonuçlar yerlerine konularak ve N_c 'nin teorik değeri olan $N_c = 5,14$ ile uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, herhangi bir b/B oranı için BCR değeri $u/B \approx (u/B)_{cr}$ değerine kadar artarken, bu değerden sonra azaldığını göstermektedir. Kritik u/B değeri, $(u/B)_{cr} \approx 0,4$ civarında elde edilmiştir. Aynı zamanda, BCR değerlerine karşılık farklı u/B ve b/B değerleri grafikleri çizilmiş ve göçme mekanizmaları yorumlanmıştır.

Huang *et al.* (1994), laboratuvarında yaptıkları model deneyleri, şerit temel ile yüklenmiş donatılı şev üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, donatılı şevin yük altında gösterdiği yenilme mekanizması araştırılmıştır. Çalışmalarında donatı olarak, fosforlu bronz şeritler kullanılmıştır. Zemin içerisine belli açılarla yerleştirilen bronz şerit donatıların taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ulaşılan deney sonuçlarından, zemin içerisine 3 donatı tabakası konularak elde edilen taşıma kapasitesi değerinin, donatısız duruma göre yaklaşık olarak 3 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Donatının 30° açı ile yerleştirilmesi durumunun da, donatıların yatay halde yerleştirilmesi durumuna göre taşıma kapasitesi değerini yaklaşık 1,3 kat artırdığı belirlenmiştir.

Lee and Manjunath (2000), yaptıkları deneysel çalışmada, geosentetik malzemeyle donatılandırılmış şeve oturan rijit bir şerit temelin taşıma gücünü incelemiştir. Çalışmada göçme mekanizmalarının incelenmesi için değişik türlerde geosentetikler kullanılmış ve tabaka derinlik ve sayıları gibi parametreler için de çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda donatı derinliğinin ideal olduğu

değerin, temel genişliğinin 0,5 katı olduğu görülmüştür. Çalışmada, temelin şev tepesine olan uzaklığının taşıma gücüne olan etkisi de araştırılmıştır. Temelin kendi genişliğinin 5 katı kadar uzaklığa konulması durumunda şev açısının taşıma gücü üzerinde herhangi bir etkisinin kalmadığı gözlemlenmiştir.

Das vd (2000) deneysel çalışmalarında, suya doymun kil şevlerin geogrid ile takviyeli edilmesi ile üstünde yer alan yüzeysel sürekli temellerin taşıma gücü etkisini araştırmışlardır. Rijitliğin sağlanması için ahşap temelin üstüne alüminyum levha konulmuştur. Yükleme sırasında yükün merkezde düşey olarak etki etmesinin sağlanması amacıyla temelin üzerine bir delik açılmıştır. Deneylerde kullanılan kilin likit limiti $w_L=44$ ve plastisite indisi $IP=20$ 'dir. Bir hafta süreyle dinlendirilen kil numune, plastik torbalara yerleştirilerek su içeriğinin korunması sağlanmıştır. Donatı malzemesi olarak iki eksenli geogrid temel genişliğinin $b=5B$ olacak şekilde yatay konumda yerleştirilmiştir. Deney sonucunda, taşıma gücünü arttırmak için ilk geogrid levhasının temelden itibaren $0,4B$ derinliğe yerleştirilmesi gerektiğini ve sürekli temellerin toplam taşıma kapasitesinin tahmin edilebileceğini savunmuşlardır.

Zhan and Yin (2001) geosentetikle güçlendirilmiş zemin yapısında zemin-geosentetik arayüzündeki etkileşimi elastik olarak analiz etmiştir. Winkler yayları ve yatay kesme yayları kullanılarak yatay ve dikey yönlerde etkileşim analiz edilmiştir. Geosentetikler elastik malzeme olarak, kesme ve eğilme dayanımlarının olmadığı kabulüyle modellendirilmiştir. Sonuçlar FLAC programının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak daha yüksek rijitliği olan geosentetiklerin yumuşak zeminleri güçlendirebileceği görülmüştür.

Aiban and Ali (2001) çekme deneyleri ile Kızıldeniz sahilindeki iyileştirilmesi gereken Sabhka zemini kullanarak geotekstil kum etkileşimini araştırmıştır. Elastikiyeti az olan geotekstilin sıyrılma için en yüksek çekme kuvvetine ihtiyaç duyduğu çalışmanın bir sonucu olmakla beraber, geotekstilin bu zeminlerin kayma dayanımında artışa sebep olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Yoo (2001) yaptığı deneysel çalışmada, donatılı bir şeve oturan yüzeysel şerit temel in taşıma kapasitesini araştırmıştır. Yaptığı deneysel çalışmaların sonuçlarını, GEOFE2D sonlu elemanlar yazılımı ile modellemiş ve elde edilen sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Ayrıca donatılarda meydana gelen gerilmeler de ölçmüştür. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre, ideal ilk donatı derinliği değerinin, temel genişliğinin 1,0 katı kadar olduğu bulunmuştur. Zemin içerisindeki tek tabaka donatının optimum derinliğe konulması durumunda ise taşıma kapasitesinde donatısız duruma oranla yaklaşık olarak 1,73 kat artış olduğu görülmüştür.

Han and Gabr (2002) yumuşak killerde kolon destekli dolgu üzerine bir sayısal analiz yapmışlardır. Çalışma, geosentetiğin gerilme dayanımı etkisini, dolgunun yüksekliğini, dolgu malzemesinin elastik modülünü araştırmıştır. Sistem FLAC programı kullanılarak modellenmiştir. Basitlik için, sadece bir tabaka geosentetik kullanılmıştır ve geosentetik-zemin arasında tam temas olduğu kabul edilmiştir. Analizler, güçlendirmedeki gerilmenin düzensiz olduğunu ve dolgu kenarlarında maksimum gerilmenin meydana geldiğini göstermiştir. Aynı zamanda, geosentetiğin zeminin gerilme dayanımını artırdığı görülmüştür.

Demerchant *et al.* (2002), plaka yükleme deneylerini geogrid ile donatılanırılmış düşük yoğunluklu agrega üzerinde yapmışlardır. 2,2 m genişlik, 3,2 m uzunluk ve 1,6 m derinliğinde açılan çukurda model deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan dairesel plaka 305 mm çapındadır. Temel zemini, tane boyutu 19mm ve 4,7mm arasında olan, 1,4 üniformalık katsayısına sahip, özgül ağırlığı ise 1,25 ile 1,40 arasında değişen yoğunluğu düşük olan agregadan oluşmaktadır. Üç eksenli basınç deneyi ile 735kg/m³ ve 832kg/m³'lık kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmış ve bu değerlere karşılık gelen içsel sürtünme açıları sırasıyla 39,5° ve 44,5° olarak bulunmuştur. Model deneylerden elde edilen sonuçlardan, etki derinliğinin yaklaşık 1B, donatı efektif uzunluğunun ise 4B, olduğunu anlaşılmıştır. İlk donatı derinliğinin temel genişliğine bölünmesi ile elde edilen, (u/B) 0,25'den 0,75'e arttığında tek tabaka BX1100 donatısının s/B=%2 oranında taşıma kapasitesi 82,2 kN/m²'den 52,6 kN/m²'ye, tek tabaka BX1200 donatısının s/B = %2 oranında taşıma kapasitesi ise 49,3 kN/m²'den 38,8 kN/m²'ye

kadar düşmüştür. Taşıma kapasitesinde zemin rijitliği, uygulanan basıncının oturmaya bölünmesi ile elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Deney sonuçlarına göre, düşük rijitlikteki geogridin belli bir oturma değerine kadar yüksek rijitlikteki geogride göre daha iyi performans gösterdiği, belli bir oturma değerinden sonra ise tam tersi bir davranış gösterdiği görülmektedir.

Deb *et al.* (2007) yaptıkları çalışmada, Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) programı ile düzlem deformasyon koşullarına sahip, yumuşak zemin üzerine donatılı granüler tabakanın yerleştirilmesiyle taşıma gücünde meydana gelecek değişiklikleri araştırmışlardır. Deneylerde, yumuşak zemin, stabilize dolgu tabakası ve geosentetik donatılar lineer elastik malzemeler olarak modellenmiştir. 6m derinliğindeki yumuşak zemin üstündeki 1m kalınlığı sahip granüler donatılı dolgu, problem olarak tasarlanmıştır. Donatı sayısı 1'den 3'e kadar değiştirilmiş olup 1m derinlik içine 0,25m düşey mesafelerle yerleştirilmiştir. FLAC programı ile hesap yapılarak, taşıma gücü, oturma değerleri toplu parametrelili model ve sonlu farklar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. FLAC programıyla yapılan analizler sonucunda, oturmada meydana gelen azalmalar; tek, çift ve üç sıralı donatı tasarımı için sırasıyla %8,5, %12,2 ve %14,5 değerlerinde bulunmuştur. Toplu parametrelili model yardımıyla yapılan analizlerde ise, oturmada meydana gelen azalmalar; donatısız, tek, çift ve üç sıralı donatı tasarımı için sırasıyla %18,2, %25,4 ve %29,2 ve %32 değerlerinde bulunmuştur. Çalışmalar sonucunda, her iki yaklaşım için donatı tabaka sayısının artmasının oturmaları azalttığı görülmektedir. Temelin merkez seviyesinde ve z/B oranının 0,375 değerinden küçük olduğu durumda, oluşan düşey gerilmeler, tüm donatılı kombinasyonlarda donatı tabaka sayısının artmasıyla azalmaktadır. Temel merkezinden uzaklaştıkça donatısız durum en az düşey gerilme değerini verirken, z/B oranının 1,6 değerinden büyük olması ise, düşey gerilme donatı tabaka sayısının arttığı durumda azalmaktadır.

2.4. PIV ile Yapılan Çalışmalar

PIV üzerine yapılan çalışmalar özetlenerek, aşağıda bunlardan bazılarını değinilmiştir.

Nakata *et al.* (2009), PIV kullanarak şerit temelin yakındaki kumlu zeminde kayma bandının gelişimini incelenmiştir. Bir şerit temel yakınındaki zeminde gelişen kayma bandını araştırmak için, iki çeşit kum üzerinde model deneyler gerçekleştirilmiştir. PIV tekniği, kayma bantlarını yeterli doğrulukta gözlemlemek ve hız vektör alanını ölçmek için uygulanmıştır. Kullanılan kumlardan biri sert ve mukavemetli olan toyoura kumudur. Kayma bandı düzlem deformasyon basınç deneylerinden elde edilen yayınlanmış verilerle benzer özellikler göstermiştir. Diğer kum feldispat ve mika gibi ezilebilir tanecikler içeren granit içerikli zemindir. Kayma bandı Toyoura kumundan elde edilen kayma bandından çok daha incedir.

Chen *et al.* (2011), Kuru granüler zemin şevlerinin yenilme mekanizmasının gözlemlemek için model deneyler yapmıştır. Bu çalışmanın amacı, şev yenilmesi sonucunda etki alanını araştırmak olduğu kadar, şev yenilmesinden dolayı yıkılan kumlu zeminlerin davranışını araştırmaktır. Üç bölümden oluşan bir model, şev deneyleri yapmak için oluşturulmuştur. Deneyler şev açıları, şev yükseklikleri, şev yüzey şartları ve rölatif sıklıkların değişik kombinasyonlarında yapılmıştır.

Şev yenilmesi destek plakasının kaldırılması sonucunda meydana gelmiştir. Kayan kütlelerin resimleri farklı pozisyonlarda üç kamera ile çekilmiştir. Resim serileri granüler zeminlerin akışının gelişimini ve hareketini açık bir şekilde göstermiştir.

Zeminin yerdeğiştirmesi PIV yöntemiyle ölçülmüştür. Akışın ölçülen yer değiştirmesi temel alınarak, akışın ön hızı elde edilmiştir. Zeminin şev açısı ve içsel sürtünme açısının, öndeki hızı etkileyen en önemli faktörler olduğu belirlenmiştir.

Ahmadi and Hajjalilue-Bonab (2012), Esnek istinat duvarı arkasındaki donatılı kum zeminde şerit temelin taşıma gücü üzerinde deneysel ve analitik araştırmalar yapmıştır. Bu çalışma, küçük ölçekli fiziksel model deneylerin analitik ve deneysel araştırmalarına odaklanmıştır. Bu amaçla, istinat duvarının arkasındaki kum zeminde donatılı ve donatısız olarak deneyler yapılmıştır. Parametre olarak, geotekstil tabakalarının sayısı, tabakalar arasındaki düşey mesafe ve şerit temelin duvara olan

mesafesi seçilmiştir. Arka dolgudaki kayma zonları ve taşıma kapasitesindeki zemin yenilmesi PIV metoduyla analiz edilmiştir. Şerit temelin taşıma kapasitesi analitik yöntemler kullanılarak çalışılmış olup elde edilen sonuçlar esnek istinat yapısının üst bölgesinin donatılı olmasının donatısız durumdan daha uygun olduğunu göstermiştir. Sınır taşıma gücü ve duvarın dönmesi donatı tabakalarının sayısının artmasıyla önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Üç tabaka donatı kullanıldığı zaman, en büyük taşıma kapasitesini veren optimum tabakalar arasındaki mesafe $h/H=0,12$, $d/h=0,33$ ve $u=B$ olarak bulunmuştur. Çalışma analitik çözümler ve model deneylerden elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

Faizi *et al.* (2015) çalışmalarında, kazık etrafındaki zeminlerin deformasyonunu tahmin etmiş ve çekme kuvvetleri altındaki yapılarının güvenli dizaynına katkı sağlamışlardır. Bu çalışma gevşek kumlarda narinlik oranları 1, 2, 3, 4 ve 5 cm çaplı kazıkların kaldırma dirençlerini araştırmak için dizayn edilmiş küçük ölçekli model deney serilerinin sonuçlarını sunmaktadır. Yakın fotoğraf tekniği ve PIV, kazıkları üzerinde kaldırma kuvvetlerinden dolayı kırılma yüzeylerini gözlemlemek için kullanılmıştır. Sonuçlar zemin yüzeyine yakın dıştan hafif kavisli kayma zonları göstermiştir. Pik dirençten sonra, kayma gerilmesi dar kayma band çiftleri içerisine toplanmaktadır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar plaxis 2D, plaxis 3D ve analitik metodlarla doğrulanmıştır. Narinlik oranının artmasıyla yenilme yüzeyinin derinliğinin ve genişliğinin arttığı görülmüştür. Ölçülmüş taşıma kapasitesi ve elde edilmiş modellerin kırılma yüzeyleri ve numerik modellemenin sonuçları arasında iyi bir ilişki gözlenmiştir. Sonuçta, gevşek ve sıkı kumların (%25 ve %75) maksimum deformasyonu, tamamıyla çıkarılmış kazığın evrelerinde karşılaştırılmıştır. Sonuçlar deformasyonun sıklıkla ilişkili olduğunu, bundan dolayı onun genişlemesine bağlı olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Materyal

Bu bölümde, donatılı ve donatısız deneylerde kullanılan kum, donatı ve deney sistemi hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1. Deneylerde kullanılan kumun özellikleri

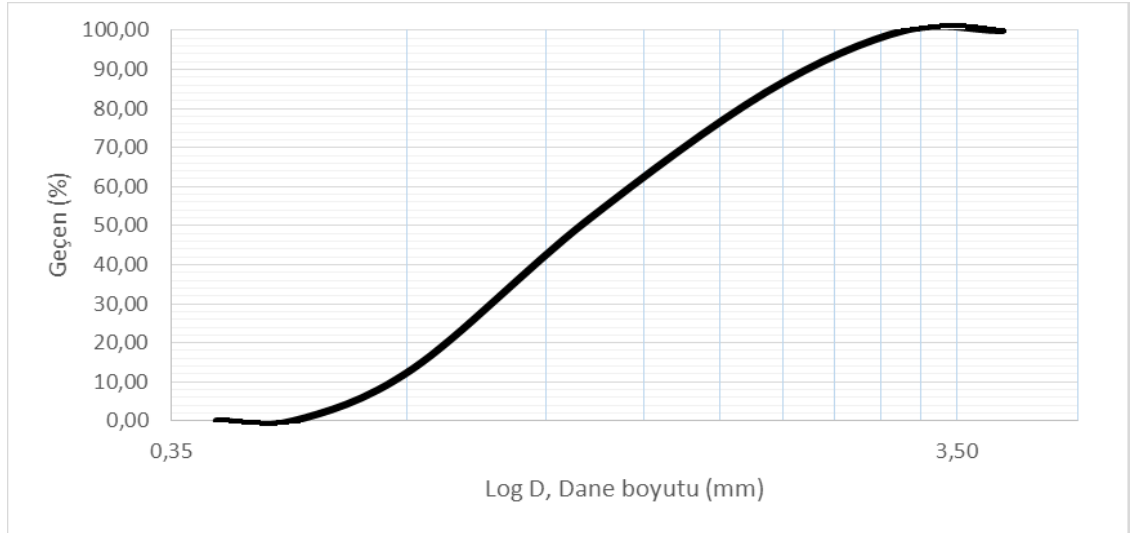
Bu çalışmada, Erzurum'daki kum ocağından elde edilen ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre SP olan dere kumu kullanılmıştır. ASTM standartlarına göre 2 mm çaplı (No. 10) ve 500 µm çaplı (No. 35) eleklerden yıkanarak elenen kum numune, etüvde 105°C kurutulduktan sonra laboratuvarda oda sıcaklığında havalandırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kum

Laboratuvar çalışmaları sırasında, önce deneyde kullanılan kumun indeks ve mukavemet özellikleri tespit edilmiştir. Bu amaçla elek analizi, tane birim hacim ağırlığı deneyi, maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlık deneyleri ve kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Elek Analizi: ASTM standartlarına uygun olan eleklerden elenen kum numunenin tane çapı dağılımları belirlenmiş olup numunenin zemin sınıfı, USCS'ye göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) olarak bulunmuştur. Elek analizi deney sonuçları Çizelge 3.1'de, deney kumunun tane çapı dağılım eğrisi ise Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Deney kumunun tane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 3.1. Elek analizi deney sonuçları

Granülometri Parametreleri	Değer
Zemin Sınıfı (USCS)	SP
Efektif Tane 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: Kullanılan kumun özgül ağırlığı, piknometre deneyi ile belirlenmiştir. (ASTM D854). Yapılan deneylerin üç kez tekrar edilmesi ve bulunan sonuçların ortalamasının alınması ile kumun özgül ağırlığı (G_s)=2,67 olarak hesaplanmıştır.

Maksimum ve minimum boşluk oranlarının belirlenmesi: Deneylerde kullanılan kumun, maksimum ve minimum birim hacim ağırlıkları ASTM D4253 –ASTM D4254 standartlarına göre belirlenmiştir. Zeminin rölatif sıklığı (D_r) aşağıdaki formülle ifade edilir.

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

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 %50 ve %65 rölatif sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu sıklık orta-sıkı zemin şartlarını ifade etmektedir. Tanka yerleştirilen kumun ağırlığının tartılıp deney tankının hacmine bölünmesiyle, kullanılan kumun boşluk oranı ve kuru birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. Bu işlemler tüm deneyler boyunca tekrar edilmiş olup ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

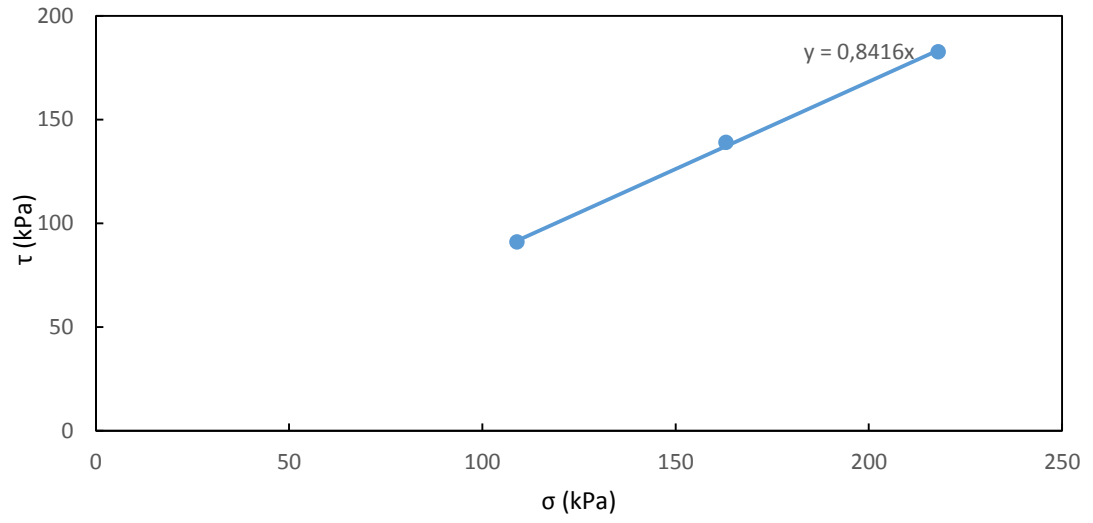
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kumun bazı indeks özellikleri

Rölatif sıklık parametreleri	Birim	D_r =%50	D_r =%65
		Değer	Değer
Özgül ağırlık (G_s)	-	2,67	2,67
Minimum boşluk oranı (e_{\min})	-	0,52	0,52
Maksimum boşluk oranı (e_{\max})	-	0,84	0,84
Boşluk oranı (e)	-	0,68	0,63
Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k)	kN/m ³	15,89	16,36

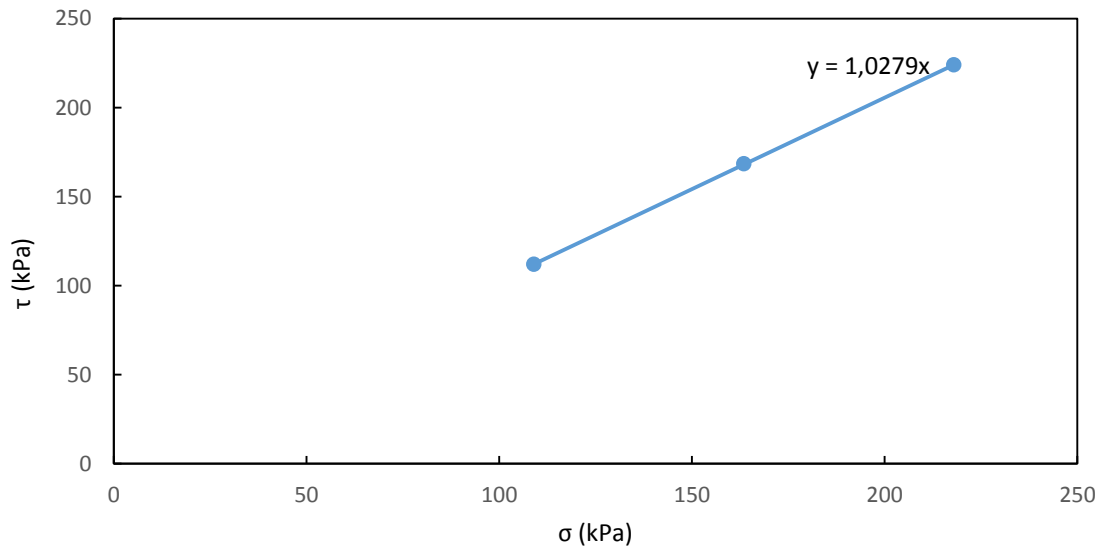
Kesme kutusu deneyi: Kesme kutusu deneyi, deney kumunun kayma mukavemeti parametrelerinin tayin edilmesi için yapılmıştır. Rölatif sıklığı %50 ve %65 olacak şekilde hazırlanmış olan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda D_r =%50 rölatif sıklıkta kohezyon $c=0$ kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi=40^\circ$; D_r =%65 rölatif sıklıkta kohezyon $c=0$ kPa ve içsel sürtünme açısı $\phi=46^\circ$ olarak bulunmuştur. Kesme kutusu deney aleti Şekil 3.3'te, deneylerden elde edilen kırılma zarfı ve gerilme deformasyon eğrileri Şekil 3.4-3.7'de gösterilmiştir.



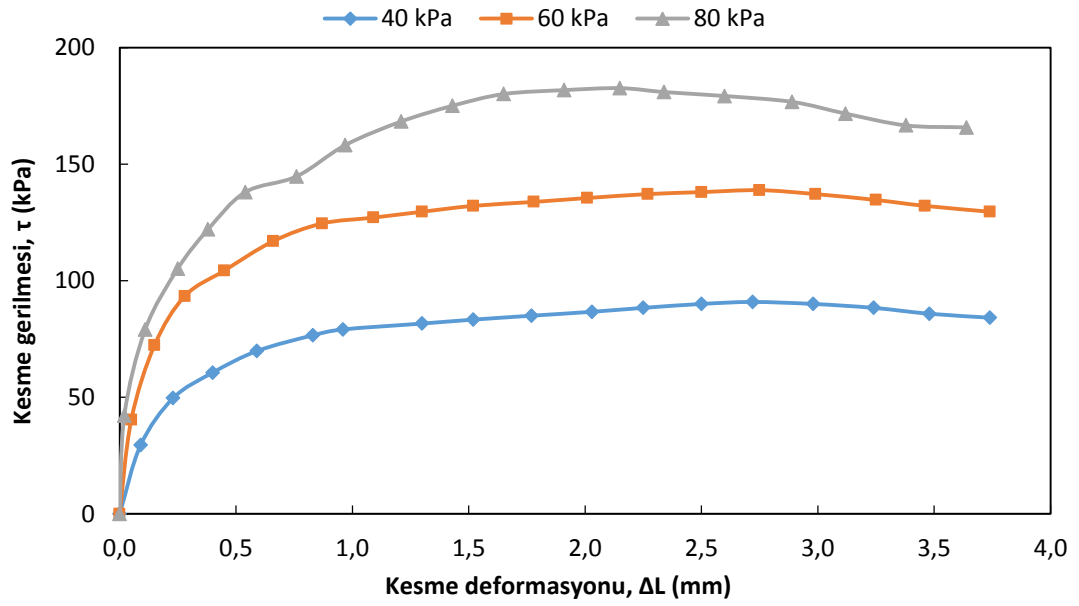
Şekil 3.3. Kesme kutusu deney aletinin görünümü



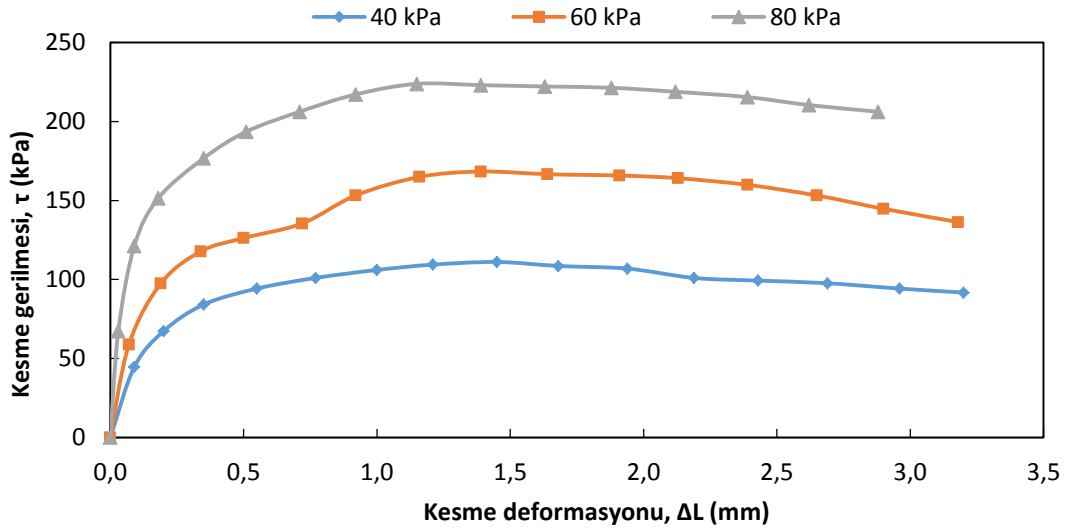
Şekil 3.4. $D_r = \%50$ rölâtif sıklıkta deney kumunun kırılma zarfı



Şekil 3.5. $D_r = \%65$ rölâtif sıklıkta deney kumunun kırılma zarfı



Şekil 3.6. D_r=%50 rölatif sıkılıkta deney kumunun Δl - τ ilişkisi



Şekil 3.7. D_r=%65 rölatif sıkılıkta deney kumunun Δl - τ ilişkisi

3.1.2. Deneyde kullanılan donatının özellikleri

Deneylerde donatı olarak 20mm uzunluğunda dalgalı polipropilen fırça kılı kullanılmıştır. Liflerin çekme dayanımı 150 MPa ve yoğunluğu 9 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.8’de kullanılan polipropilen lif görülmektedir.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan polipropilen lif

3.1.3. Deney düzeneği

Kum zemin üzerinde yapılan model plaka yükleme deneyleri, önce donatısız daha sonra da donatılı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde genişliği $B=50 \text{ mm}$ olan rijit polyamid model temel kullanılmıştır. Polipropilen lif donatılı kum zemin üzerine oturan sürekli temellerin taşıma gücünü etkileyen parametreler deneysel olarak araştırılmıştır.

Model Temel: Deneylerde kullanılan rijit polyamid model temel genişliği $B= 50 \text{ mm}$, yüksekliği $H=40 \text{ mm}$ ve uzunluğu $L=100 \text{ mm}$ olarak seçilmiştir (Şekil 3.9). Deney esnasında temelin oturmasının üniform olup olmadığını kontrol etmek için temel plakasının iki köşesine iki adet deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. İki LVDT okumasının birbirinden farklı olması durumunda, merkezi yükleme şartlarını yerine getirmediği için deneyler tekrar edilmiştir.



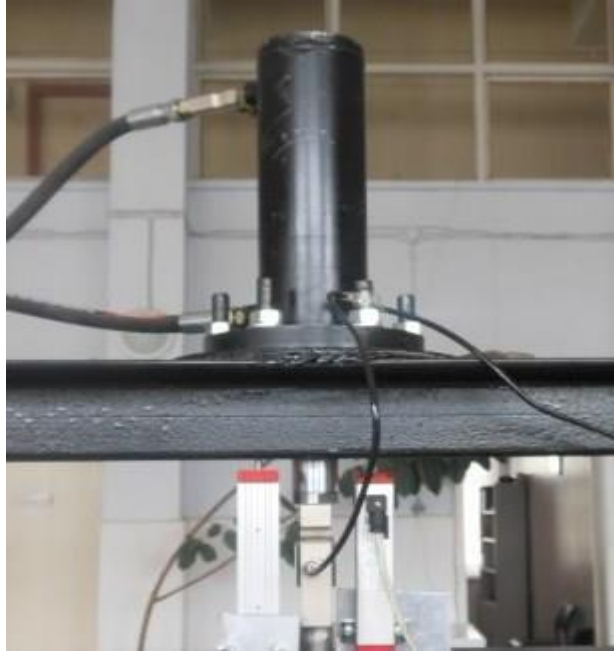
Şekil 3.9. Deneyleerde kullanılan model temel plakası

Deney Tankı: Deney tankı, 100 cm (uzunluk), 10 cm (genişlik) ve 100 cm (yükseklik) boyutlarında teşkil edilmiştir. Ön yüzü 20 mm kalınlığında Fiberglasstan, arka ve yan yüzeyleri ise 5 mm olan çelik sacdan imal edilmiştir (Şekil 3.10). Ayrıca, deney tankı kutu ve L profillerle desteklenmiştir. Kumun rahatlıkla boşaltılması için tankın alt tarafında boşaltma haznesi yapılmıştır.



Şekil 3.10. Deney tankının önden görünümü

Yükleme Sistemi: Deneylerde model temelin sabit bir hızla yüklenebilmesi için yükleme hızı ayarlanabilen 5000 kg kapasiteli hidrolik kriko kullanılmıştır. Yükleme düzeneği Şekil 3.11’de görüldüğü gibi reaksiyon kirişine monte edilmiştir. Şekil 3.11’de hidrolik pompa ve kontrol ünitesi görülmektedir.

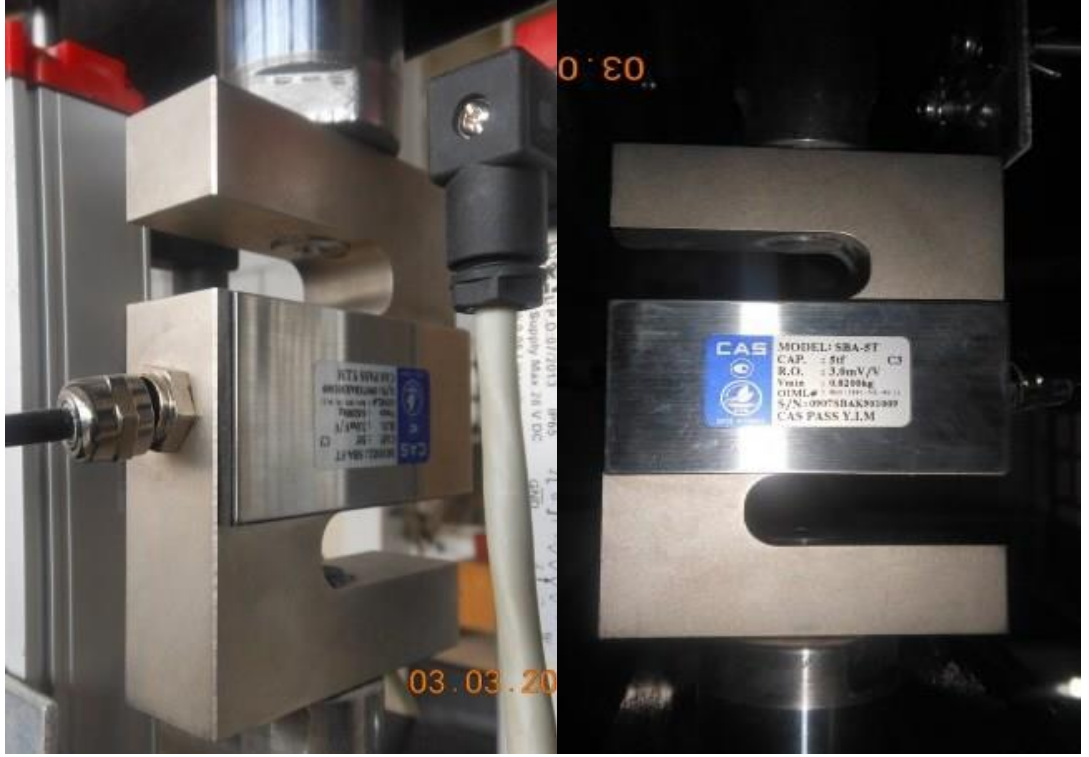


Şekil 3.11. Yükleme sistemi



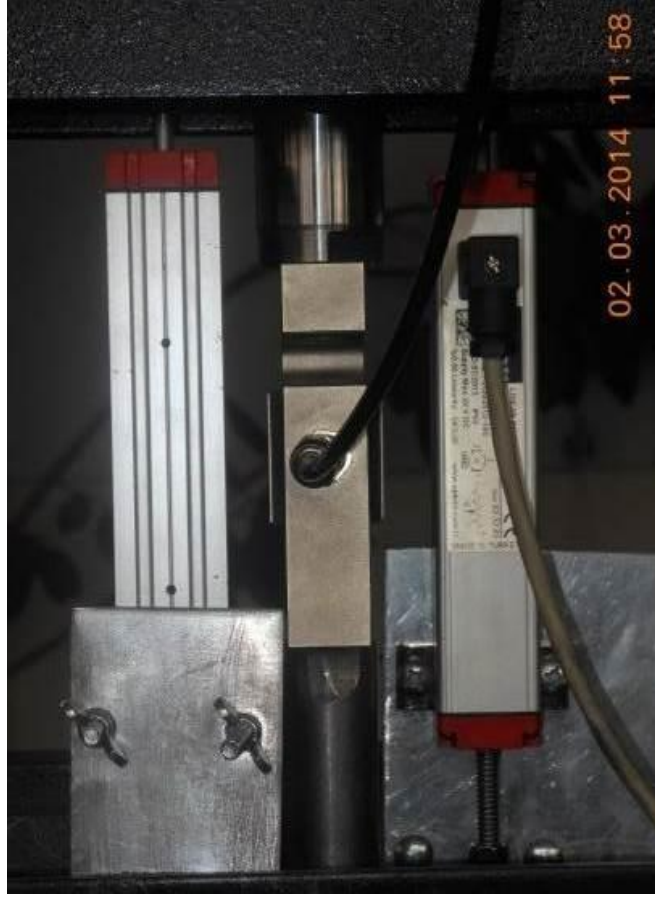
Şekil 3.12. Hidrolik pompa kontrol ünitesi

Yük hücresi: Deneylerde, temel plakasına gelen yükleri belirlemek amacıyla CAS firması tarafından üretilen 5000 kg kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Şekil 3.13’de yük hücresi görülmektedir.



Şekil 3.13. Deneylerde kullanılan yük hücresi

Deplasman ölçer (LVDT): Deneylerde, temel elemanında meydana gelen yer değiştirmeleri ölçmek için dijital LVDT’ler kullanılmıştır. İki adet LVDT temelin iki köşesine diagonal olarak yerleştirilmiştir. LVDT’lerin, çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan LVDT’ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetle okuma yapılmaktadır. Deneylerde kullanılan LVDT’lerin ölçme uzunluğu 75 mm’dir. Temel merkezinden 30 mm uzaklığa yerleştirilen LVDT’lerle temelin sağ ve solundaki oturmaların ölçülmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.14). Her iki LVDT’deki okumalar eşit olmadığı zaman, merkezi yükleme şartı sağlanmadığından deneyler tekrar edilmiştir.



Şekil 3.14. Doğrusal potansiyometrik cetvel (LVDT)

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 3.15). Veri toplama sistemi TESTLAB-Basic yazılımı ile kullanılabilir. Deneye başlanmadan önce her bir sensörün kalibrasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.15. Veri toplama sistemi

Dijital kamera: Çalışmada üç ayaklı sehpa üzerine sabitlenen ve 3264×1836 çözünürlüğe sahip fotoğraf makinesi ile her 30 sn'de bir ardarda fotoğraflar çekilmiştir. Elde edilen fotoğraflar Geopiv8 (White *et al.* 2003) programı ile analiz edilerek kum zeminde oluşan şekil değişimleri gözlemlenmiştir.

3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Yöntem

Donatılı ve donatısız orta sıkı bir kum zemin üzerindeki şerit temelin optimum derinlik-taşıma gücü ilişkisi laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Deneylerde kullanılan kum Erzurum'daki bir kum ocağından, polipropilen lif ise Fiberplas firmasından temin edilmiştir.

Deney tankı düz bir yüzeye yerleştirilmiş, tankın yatayda düzgünlüğü ise su terazisi ile kontrol edilmiştir. Öncelikle donatısız deneyler daha sonra donatılı deneyler yapılmıştır. Donatısız deneylerde rölatif sıklık %50 ve %65 olacak şekilde seçilmiştir. İstedığımız rölatif sıklığı sağlamak için kum zemin tank içerisine 10 cm'lik tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Herbir 10 cm'lik tabakaya gerekli kum miktarı belirlenen rölatif

sıklığa bağı olarak hesaplanarak koyulmuş ve titreşim uygulanarak sıkıştırılmıştır. Donatılı deneylerde ise, donatı yüzdesi %1 olarak seçilmiştir. Kullanılan donatı miktarı ise tanktaki kumun ağırlığının %1'i kadardır. Donatılı deneylerde, temel plakasının altından itibaren B (5cm), 2B (10cm), 2,5B (12,5cm), 3B (15cm) derinliğine kadar donatı yerleştirilmiştir. Sıkıştırma işleminin ardından temel plakasının, üst yüzeyinin yatayda düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiş ve temel plakası düz bir zemin yüzeyine yerleştirilmiştir. Herbir deney 3 kez tekrarlanmıştır. Deney programı Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney programı

Deney No	Rölatif Sıklık D_r (%)	Donatı Derinliği	Donatı uzunluğu (cm)	Temel Genişliği (cm)
1	50 (Donatısız)	-	-	5
2	65 (Donatısız)	-	-	5
3	50	B	2	5
4	50	2B	2	5
5	50	2,5B	2	5
6	50	3B	2	5
7	65	B	2	5
8	65	2B	2	5
9	65	2,5B	2	5
10	65	3B	2	5

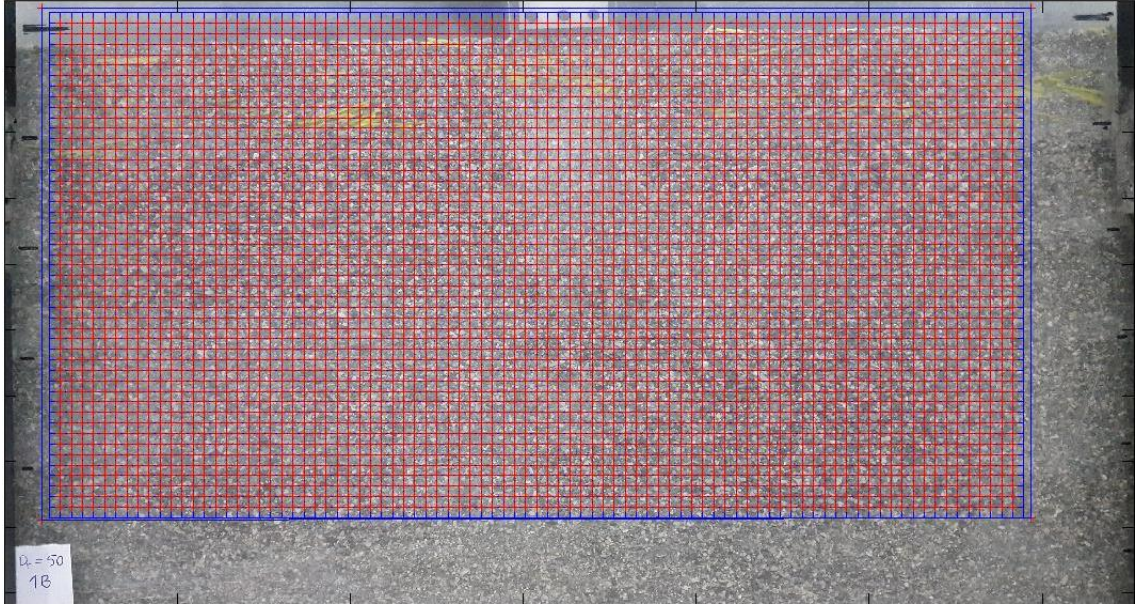
Bütün deneyler için kullanılan sabit yükleme hızı 1 mm/dak'dır. Temel plakası ve cam yüzey arasındaki sürtünmeler ihmal edilmiştir. Deneye başlamadan önce tüm cihaz okumaları sıfırlanmıştır. Deneylerde LVDT ve yük hücresinden 10 saniyede bir veri kaydedilmiştir. Temel plakasının oturması ve merkezi yükleme koşulu, temelin iki köşesine yerleştirilen deplasman ölçerlerle kontrol edilmiştir. Deney sırasında temelerde farklı oturmalar olduğunda, yani merkezi yükleme koşulunun sağlanamaması durumunda deney tekrar edilmiştir. Bunun nedeninin temel ile yan

yüzeyleler arasına giren kum tanelerinin fazla sürtünme göstermesinden kaynaklandığı varsayılmıştır.

3.2.1. Parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi

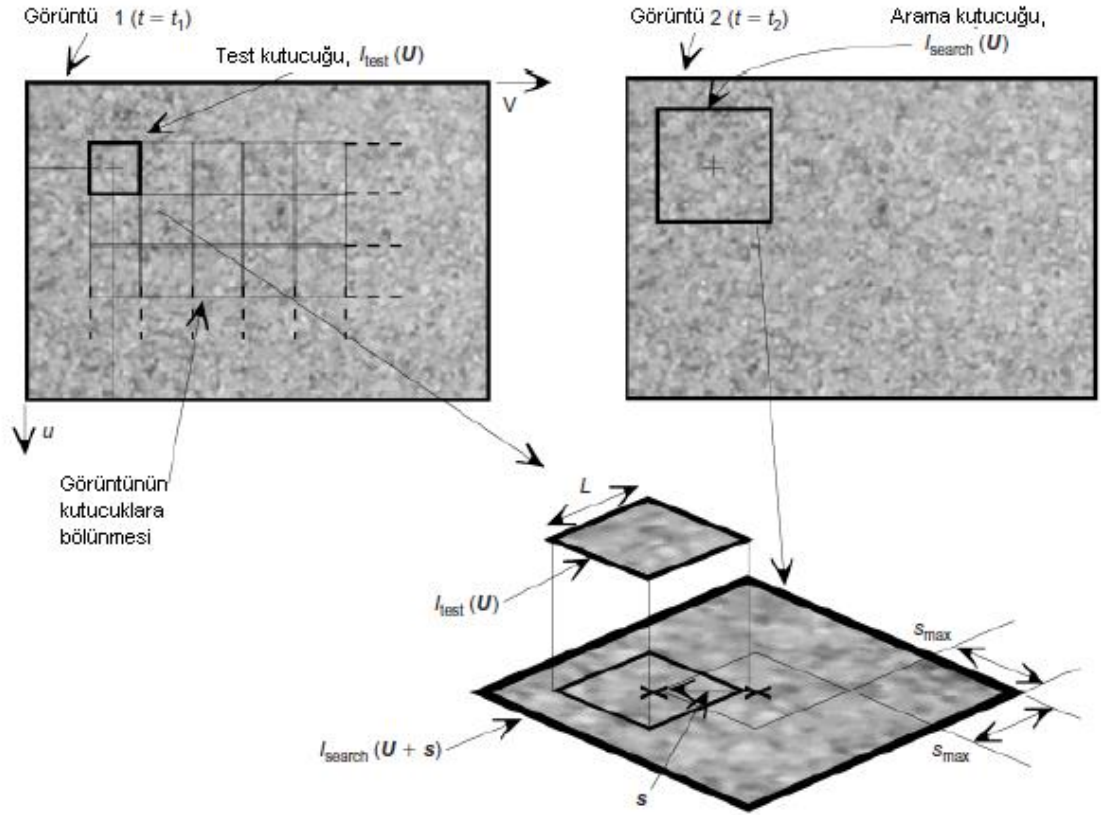
Parçacık görüntülü hız ölçümü (PIV) yöntemi akışa müdahalesiz bir alansal hız ölçüm yöntemi olup birçok dalda akışın incelenmesi için kullanılan bir yöntemdir. (White *et al.* 2003) PIV tekniğinde bazı değişiklikler yaparak geoteknik alanındaki çalışmalara uygun hale getirmişlerdir. Böylelikle, zeminlerin şekil değiştirmelerini tanımlamak ve değerlendirmek mümkün hale gelmiştir (White *et al.* 2001). GeoPIV geoteknik deneylere uygun tarzda parçacık görüntülü hız ölçümü yapabilen bir MATLAB R2013B modülüdür. Dijital resimlerden yer değiştirme alanlarını ölçmek için kullanılır.

Bu çalışmada, PIV metodu, yüzeysel bir şerit temelin altındaki, donatısız ve polipropilen liflerle rastgele donatılı orta- sıkı bir kum zeminde meydana gelen şekil değiştirmeleri gözlemleyebilmek ve tanımlayabilmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada, yüksek çözünürlüğe sahip fotoğraf makinesi ile 30 saniye aralıklarla fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraf çekimi esnasında oluşabilecek ufak titreşimlerin engellenmesi amacıyla, fotoğraf makinası sabitlenmiştir. Elde edilen fotoğraflar Geopiv8 (White *et al.* 2003) programı ile analiz edilerek kum zeminde meydana gelen şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Program seçilen alanı ağa böler (Şekil 3.16). Daha sonra GeoPIV8 algoritması hareket halinde alınan sonraki fotoğrafta ilk kutucuğu arar ve en yüksek benzerliği yakaladığı anda hareket vektörünü elde eder. Böylelikle hareket vektörleri elde edilir. Her kumun kendine özgü bir yapısı olduğundan, PIV yönteminde hedef taneciklerinin kullanılmasına gerek kalmaz (White *et al.* 2003). Bu özellik PIV yönteminin en önemli avantajlarından bir tanesidir. Burada White et al. 2003 tarafından Geoteknik uygulamalara yönelik geliştirilen GeoPIV8 yazılımı hakkında bilgi verilerek teorisi hakkında detaylar sunulmuştur.



Şekil 3.16. PIV analizi için inceleme alanının kutucuklara bölünmesi

PIV başlangıçta deneysel akışkanlar mekaniği alanında geliştirilen bir hız ölçüm tekniğidir. Teknik, aslında bir çekirdekli akışımın çift flaşlı fotoğrafçılık kullanılarak gerçekleştirilmesi temeline dayanmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan görüntüler, herbir çekirdek parçacığın görüntü çiftlerini içerir. PIV analizi için, görüntü test kutucuları ihtiva eden bir ağa bölünür. Flaşlar arasındaki süre esnasında herbir kutucuğun yer değiştirme vektörü, her bir kutucuğun oto korelasyon fonksiyonunun piklerinin yerleştirilmesiyle bulunur. Oto korelasyon fonksiyonundaki pik yakalanan her bir çekirdek parçacığının iki görüntüsünü gösterir. Geoteknik testlerinde PIV uygulamak için modifiye edilmiş bir yaklaşım kullanılmıştır.



Şekil 3.17. PIV analizi sırasında görüntü işleme

Dijital görüntü çifti arasındaki yer değiştirmeyi ölçmek için PIV sırasında yapılan görüntü işleme, Şekil 3.17’de şematik olarak gösterilmiştir. İlk resim test kutucuklarından oluşan bir ağa bölünmüştür. Her bir test kutucukları, $I_{test}(U)$, $L \times L$ piksel boyutlu görüntü matrisinin $I(U)$ bir örneğini içerir.

1. ve 2. görüntü arasındaki test kutucuğunun yer değiştirmesini bulmak için, bir arama kutusu $I_{search}(U+s)$ ikinci görüntüden çıkarılır. Bu arama kutucuğu test kutucuğunun u ve v yönlerinde bir mesafe s_{max} ötesine uzanır. Bu bölgede test kutucuğunun aranacağı gölgedir. test kutucuklarının aranacak olduğu bölgeyi tanımlayan u ve v yönlerinde bir mesafe s_{max} ile test kutucukları ötesine uzanır. $I_{test}(U)$ ve $I_{search}(U+s)$ ’un çapraz-korelasyonu $I_{search}(U+s)$ ’un karelerinin toplamının karekökü ile normalize edilmiş ve değerlendirilmiştir. Nihai normalize edilmiş korelasyon düzlemi $R_n(s)$ s ’nin alanındaki ofset aralığında test ve arama kutucukları arasındaki “uyum derecesi”ni göstermektedir.

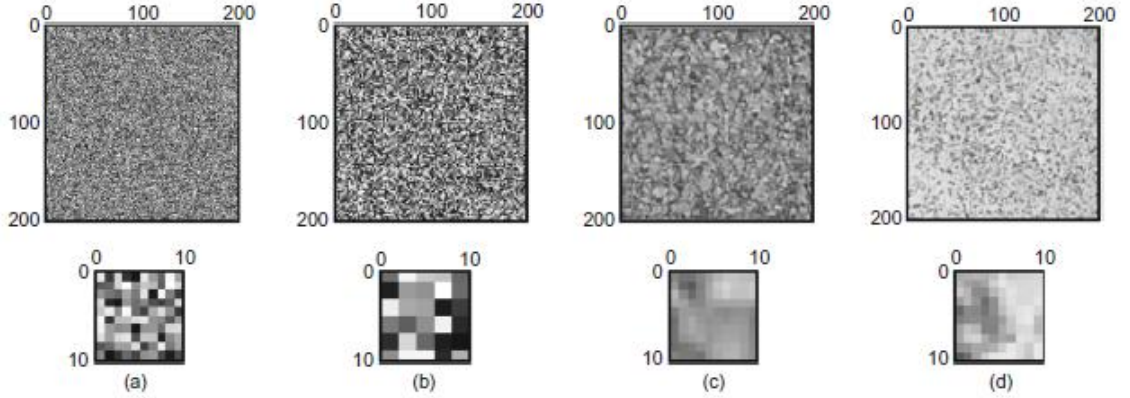
Sayısal gereksinimi azaltmak için, korelasyon işlemleri katlama teoremini takip ederek ve her bir kutucuğun hızlı Fourier dönüşümünün alınmasıyla frekans bölgesinde yürütülür. Normalize edilmiş korelasyon düzlemindeki en yüksek pik, $Rn(s)$, deney kutucuğundaki yer değiştirme vektörünü (s_{peak}) göstermektedir. Pike yakın bölgeye çif kübik enterpolasyon uydurmayla yerdeğiştirme vektörü alt piksel çözünürlükte oluşturulmuştur. Korelasyon Genellikle, biküçük enterpolasyon fonksiyonu 1/200th piksel aralıklarda değerlendirilir. Çözünürlüğü arttırmak için daha küçük bir aralık seçilebilir. Ancak, çoğu durumda doğruluk ve hassasiyet ile ilişkili hatalar büyük olduğundan 0.005 piksel çözünürlükten daha büyüğü gereksizdir.

Bir dizi deney PIV'in hassasiyetini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sabit kamera altında düzlemsel gövdenin kontrollü rijit cisim hareketini içerir. Her durumda, bir dizi test kutucukları düzlemsel gövde üzerinde kurulur ve bir çift görüntü karşılaştırılır. Kaydedilen yer değiştirme vektörlerindeki rasgele farklılıklar ölçüm tekniğinin hassasiyetini gösterir.

Deneyler serisi PIV'in hassasiyeti üzerinde aşağıdaki parametler araştırıldı:

- (a) deney kutucuklarının boyutu
- (b) zemin tipi / görünüm
- (c) hareket mesafesi: Bütün yada bir pikselin parçası.

Şekil 3.18(a) 10x10 piksel bir deney kutucuğunun büyütülmesiyle el edilmiş bu rastgele görüntünün bir örneğini gösterir. Tüm 500 x 500 piksel rastgele görüntünün 6, 8, 10, 16, 24, 32 ve 50 piksel kenar uzunluğu, L, olan kare deney kutucukları ile kapatılmış olan yedi PIV analizi dizisi gerçekleştirilmiştir. Analizler rastgele görüntünün karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Bir rastgele görüntünün kendisi ile karşılaştırılması sırasında kaydedilen yer değiştirme ölçümlerinin dağılımı, orijinal görüntünün bir kenarının kırılması ile oluşturulan 'yeri değiştirilmiş' görüntü ile aynıdır. Korelasyon düzlemi aynı olacaktır, ancak yapay görüntü kayması da eşit miktarda yer değiştirmiş olacaktır.



Şekil 3.18. PIV doğrulama deneyinde kullanılan görüntüler

Bu nedenle başlangıç deney sonuçları, sıfır piksellerin bir görüntü yer değiştirmesi üzerinde gerçekleştirmiş olmasına rağmen her bir pikselin parlaklığının rastgele ve komşularından bağımsız olduğu görülmüş olup; yapay zemin görüntünün herhangi bir tam sayı rijit cisme dönüştürülmesine karşılık gelmektedir. Her PIV analizinde sıfıra yakın dağıtılmış değerler dağılımı izlenmektedir. Büyük PIV kutucukları daha az dağılım üretmiş ve bu nedenle hassasiyeti geliştirmiştir. 50X50 piksel boyutundaki en büyük PIV kutucukları, 0.0007 piksel standart hata ile sıfır etrafında dağılmıştır. Bu analizler, ölçüm çözünürlüğünden ziyade ölçüm hassasiyetinin bir değeri olabilmesi için alt piksel korelasyon piki 1/200th'dansa 1/10000th aralıklarda değerlendirilmelidir.

Bu hassasiyet hataları korelasyon pikinin asimetrisi ile ilişkilidir. Bu rastgele görüntü durumunda enterpolasyondan önce korelasyon pikinin yüksekliği arama kutucuğunda mevcut olan deney kutucuğu için benzer eşleşmeler olarak tanımlanır.

Yukarıdaki tartışma, rastgele zemin görüntüsü kullanılarak çok keskin korelasyon pik noktası oluşmasıyla çok yüksek bir ölçüm hassasiyeti elde edilebileceğini göstermektedir. Ancak, zeminin gerçek görüntüleri tamamen rastgele değildir. Aynı tanenin parçalarını tanımlayacağı gibi komşu piksellerin parlaklıkları da bağımsız değildir. Matematiksel olarak ifade edilirse bir zemin görüntüsünün mekansal parlaklık frekansı düşüktür. Komşu pikseller benzer renklerdedir.

PIV analizinde optimum kutucuk boyutu seçimi iki çelişkinin dengelenmesini gerektirir. Büyük kutucukları gelişmiş hassasiyet sunarken, küçük kutucuklar ise görüntünün, ölçüm noktalarının daha fazla sayıda bulunmasını sağlar (White *et al.* 2003).

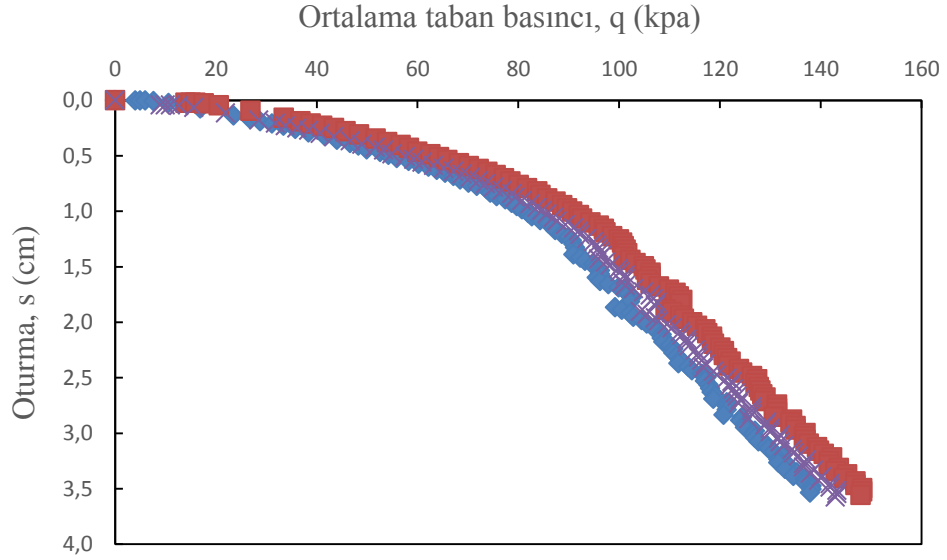
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile PIV analizinin değerlendirilmesi bu bölümde anlatılmıştır. Donatısız ve donatılı kötü derecelenmiş orta sıkı bir kum zeminde polipropilen liflerle yapılan model yükleme deneyleri açıklanmıştır. Deneyler sonucunda, farklı rölatif sıklıkta ve farklı derinliklere yerleştirilen liflerin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Donatısız ve donatılı olmak üzere orta sıkı kum zemin üzerindeki şerit temel için yapılan plaka yükleme deney sonuçları ortalama taban basıncı (q)-oturma (s) eğrileri ile açıklanmıştır. İlgili bölümün altında, donatısız ve donatılı deneylerden elde edilen sonuçlar ve yorumları açıklanmıştır. Ayrıca, PIV analizinin değerlendirilmesi bu bölümde yapılmıştır.

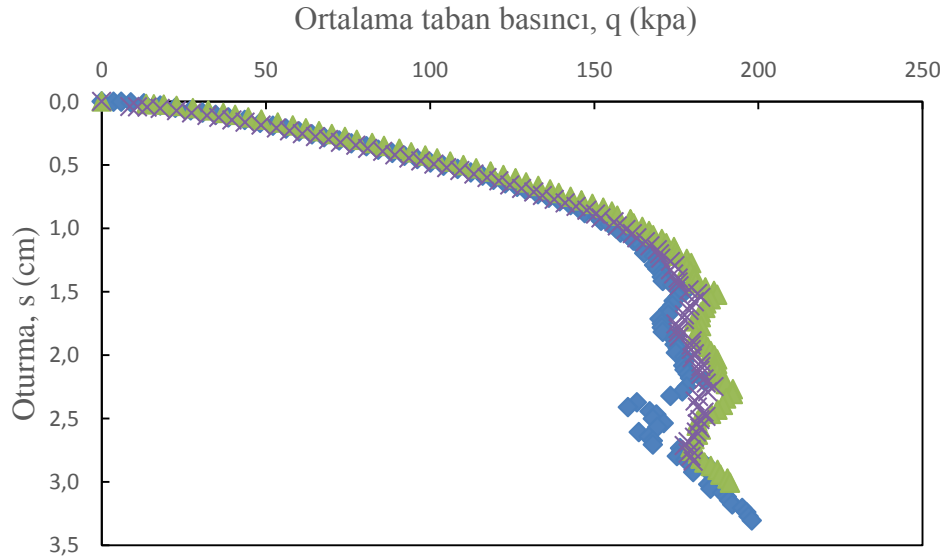
4.1. Donatısız Kum Zemindeki Deney Sonuçları

Öncelikle polipropilen lif kullanılmadan donatısız deneyler yapılmıştır. Deney, önce %50 rölatif sıklıktaki kumda daha sonra %65 rölatif sıklıktaki kum üzerinde yapılmıştır.

%50 ve %65 rölatif sıklıktaki kum, deney tankına tabakalar halinde serilerek yerleştirilmiştir. Tüm cihaz okumaları sıfırlanarak deneye başlanmıştır. Hidrolik kriko yardımıyla 1mm/dak hızla yükleme yapılmıştır. Diyagonal olarak yerleştirilen iki LVDT yardımıyla temel plakasının oturması gözlenmiştir. Donatısız deney modelinde, yapılan yükleme testlerinin sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı- oturma eğrileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Donatısız deneylerde kayma yüzeylerinin oluşmaya başladığı andaki nihai taşıma kapasitesi %50 rölatif sıklık için ortalama $q_u=52$ kPa, %65 rölatif sıklık için ortalama $q_u=172$ kPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. $D_r=50\%$ rölaf sıklıkta donatısız deneylerin ortalama taban basıncı-oturma eğrileri



Şekil 4.2. $D_r=65\%$ rölaf sıklıkta 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 %50 rölaf sıklık için $q_u=46$ kPa ve %65 rölaf sıklık için

$q_u=167$ kPa olarak belirlenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Şekil 4.3’de donatısız deneylere başlamadan önce deney tankının görünümü, Şekil 4.4’de ise deney yapıldıktan sonra deney tankının görünümü görülmektedir.



Şekil 4.3. Donatısız deney öncesi sistemin görünümü



Şekil 4.4. Donatısız deney sonrası meydana gelen göçme

4.2. Rastgele Donatılı Zemindeki Deney Sonuçları

Bu bölümde, farklı rölatif sıklıktaki kum numuneye farklı derinliklerde polipropilen lifler eklenerek yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm parametreler literatür taranarak belirlenmiştir. Araştırmada, ortalama taban basıncı-oturma eğrileri ve taşıma kapasitesi oranları incelenmiştir. Taşıma kapasitesi oranı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

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

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.

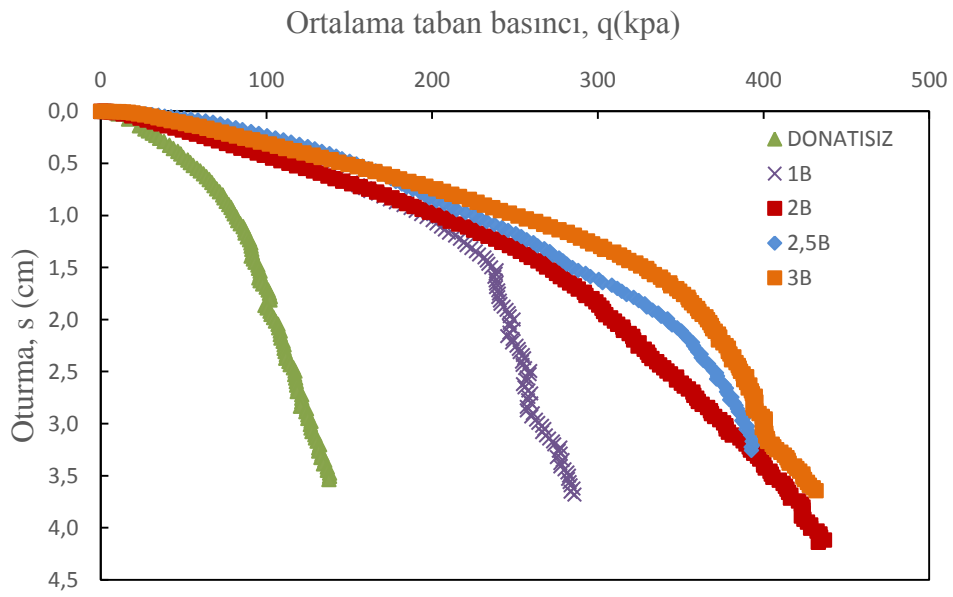
Çalışmalarda %50, %65 rölatif sıklık ve donatı derinliği $B=5$ cm, $2B=10$ cm, $2,5B=12,5$ cm ve $3B=15$ cm olarak alınmıştır. Rölatif sıklığın ve donatı derinliğinin taşıma gücü üzerinde etkisi incelenmiştir. İki ayrı rölatif sıklıkta ve dört farklı donatı derinliğinde deneyler yapılmıştır.

4.2.1. Sabit rölatif sıklıkta ve farklı donatı derinliği için deney sonuçları

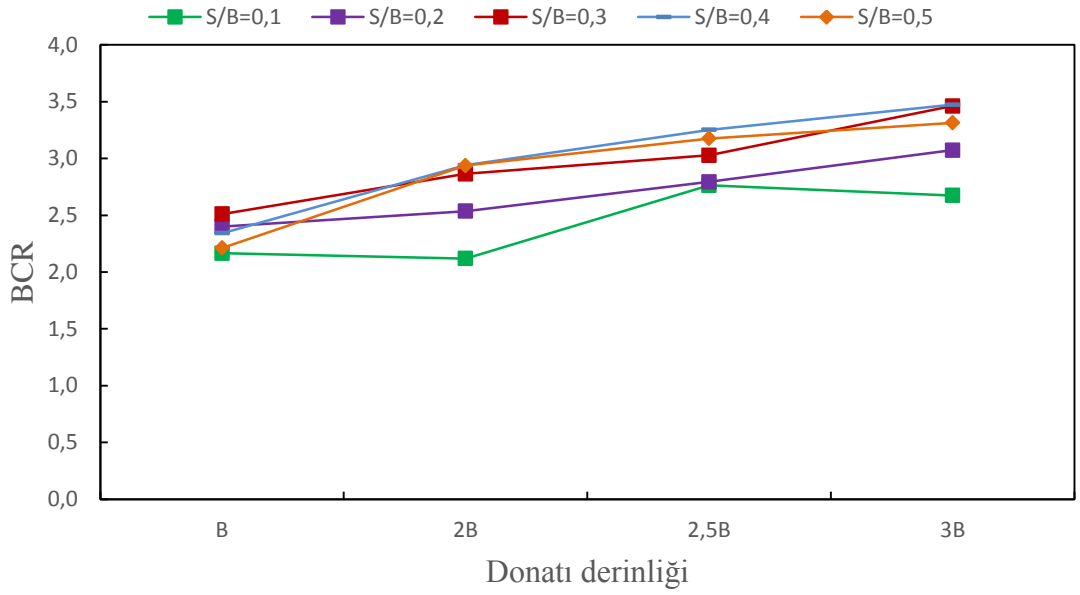
Sabit rölatif sıklıkta, donatı derinliği değiştirilmiş ve ortalama taban basıncı-oturma grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlar ve yorumlar aşağıda sunulmuştur.

i. Rölatif sıklığın %50 olması durumunda deney sonuçları

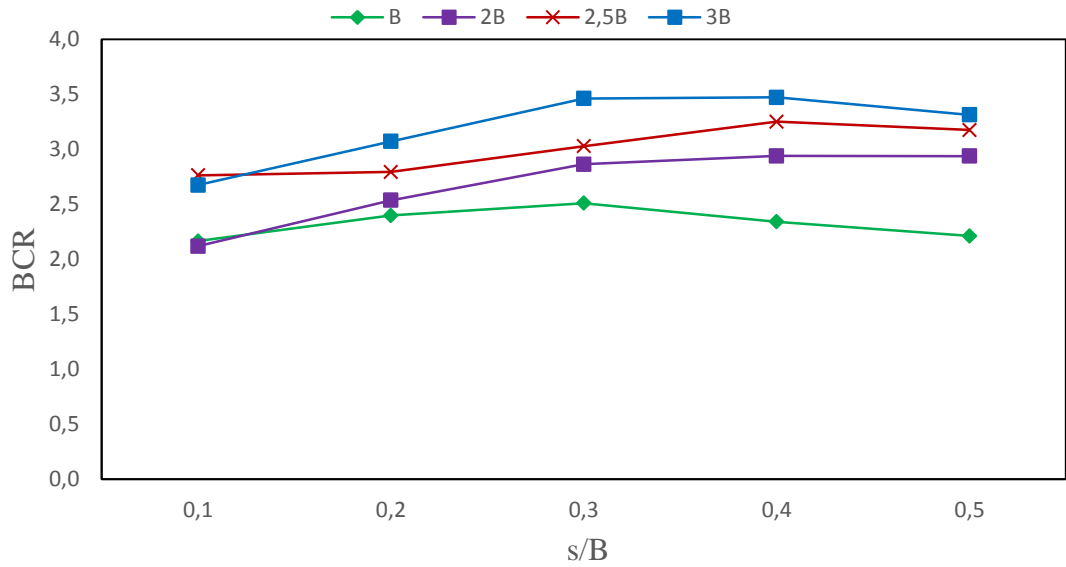
Deneysel sonuçlarda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) grafiği Şekil 4.5'de, farklı oturma oranları için hesaplanan donatı derinliği-taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.6'da ve farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen derinlik oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. D_r =%50 rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri



Şekil 4.6. $D_r=50\%$ rölâtif sıklıkta farklı oturma oranlarına karşılık gelen donatı derinliği- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi



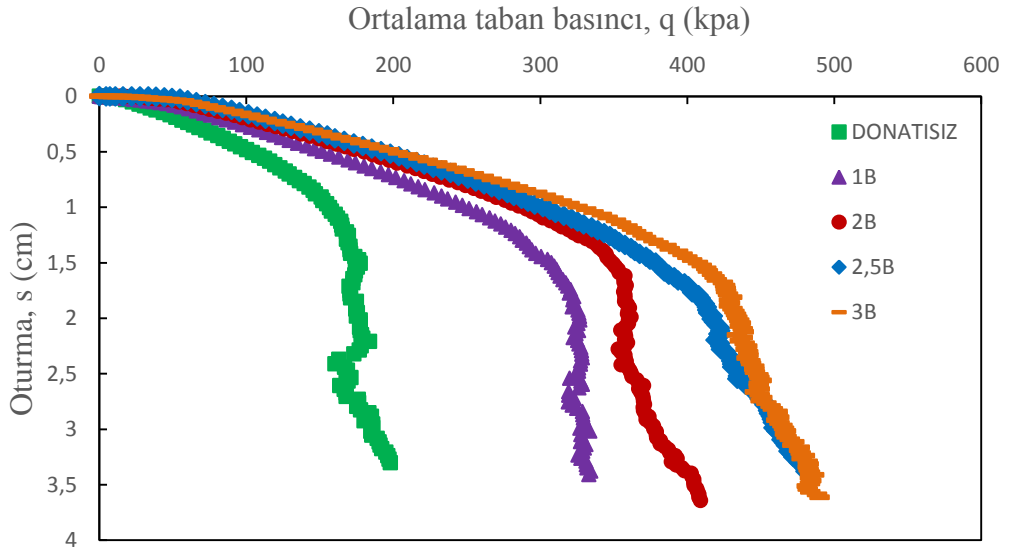
Şekil 4.7. $D_r=50\%$ rölâtif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

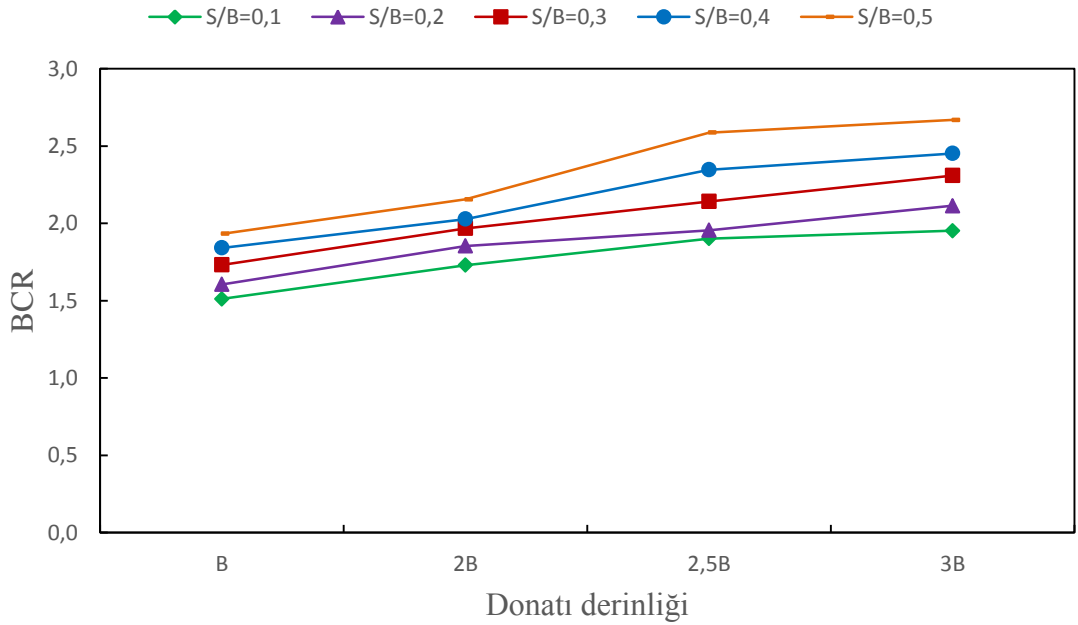
- Sabit rölatif sıklıkta ($D_r=50\%$), donatı derinliği arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır.
- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı derinliğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Donatı derinliği arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Donatı derinliği arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin eğimi tamamen değişmiştir. Donatı derinliği $2B$ 'ye kadar taşıma kapasitesinde önemli miktarda artış aynı taban basıncındaki oturmalarda ise azalma görülmüştür. Ancak donatı derinliğinin $2B$ den büyük olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artış ve aynı taban basıncına karşılık gelen oturmalardaki azalma çok fazla değişmemiştir.
- 50% rölatif sıklıkta, sabit bir oturma oranında (s/B), donatı derinliği arttıkça BCR değeri de artmıştır. Örneğin $s/B=0,2$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=2,4$ iken $3B$ donatı derinliğinde ise $BCR=3$ olmuştur.
- 50% rölatif sıklıkta, sabit donatı derinliğinde oturma oranı arttıkça BCR'de artmıştır. Örneğin donatı derinliğinin $2B$ olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelene $BCR=2,1$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=2,9$ olmuştur.

ii. Rölatif sıklığın 65% olması durumunda deney sonuçları

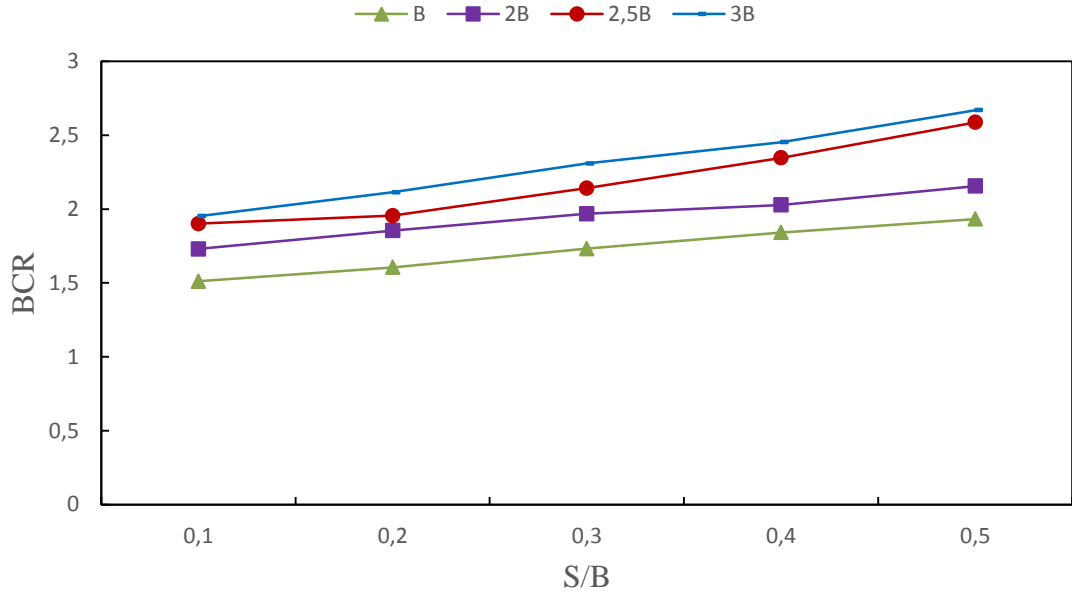
Deneysel sonucunda elde edilen ortalama taban basıncı (q)- oturma (s) grafiği Şekil 4.8'de, farklı oturma oranları için hesaplanan donatı derinliği-taşıma kapasitesi oranı ilişkisi Şekil 4.9'da ve farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen derinlik oranı-taşıma kapasitesi oranı ilişkisi ise Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. D_r =%65 rölatif sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri



Şekil 4.9. D_r =%65 rölatif sıklıkta farklı oturma oranlarına karşılık gelen donatı derinliği- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi



Şekil 4.10. $D_r=65\%$ rölaf sıklıkta farklı derinliklerde donatı kullanılmasına karşılık gelen oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı ilişkisi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Sabit rölaf sıklıkta ($D_r=65\%$), donatı derinliği arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda orantılı olarak azalmıştır.
- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı derinliğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Donatı derinliği arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Donatı derinliği arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin başlangıç kısmının eğimi azalmıştır. Donatı derinliği 2,5B'ye kadar taşıma kapasitesinde önemli miktarda artış ve aynı taban basıncındaki oturmalarda ise azalma görülmüştür. Ancak donatı derinliğinin 2,5B den büyük olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artış ve aynı taban basıncına karşılık gelen oturmalarındaki azalma çok fazla değişmemiştir.
- %65 rölaf sıklıkta, sabit bir oturma oranında (s/B), donatı derinliği arttıkça BCR değeri de artmıştır. Örneğin s/B=0,5 olması durumunda B donatı derinliğinde BCR=1,9 iken 2,5B donatı derinliğinde ise BCR=2,6 olmuştur.

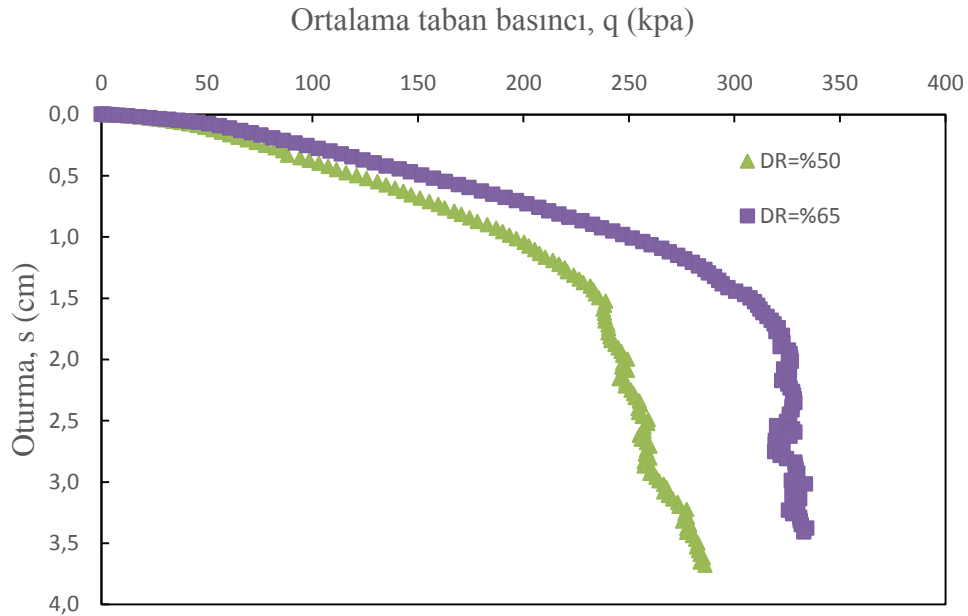
- %65 rölâtif sıklıkta, sabit donatı derinliğinde oturma oranı arttıkça BCR'de artmıştır. Örneğin donatı derinliğinin B olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelene $BCR=1,5$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=1,9$ olmuştur.

4.2.2. Sabit donatı derinliği ve farklı rölâtif sıklık için deney sonuçları

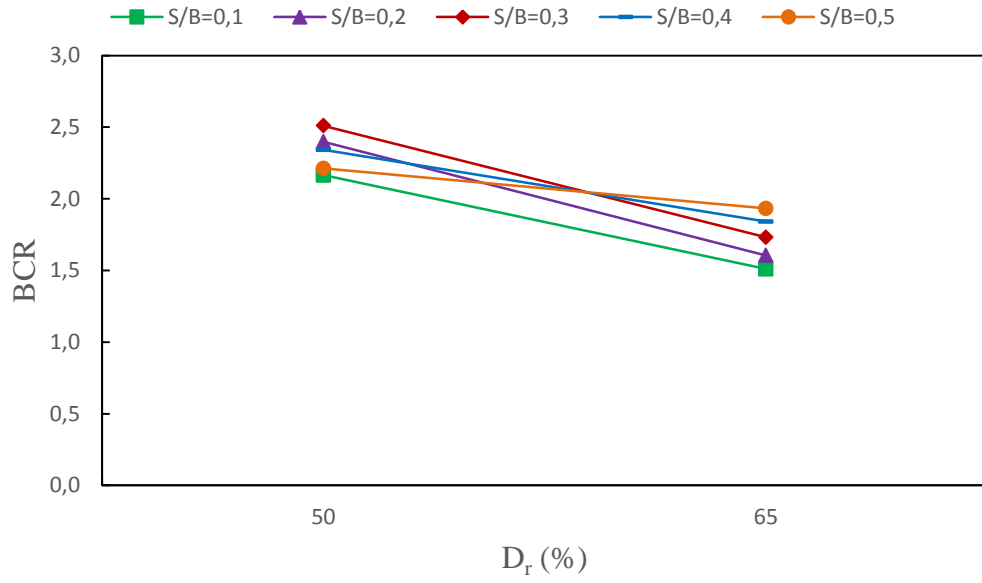
Sabit donatı derinliğinde fakat farklı rölâtif sıklıktaki kum için ortalama taban basıncı-oturma grafikleri her bir donatı derinliği için ayrı ayrı sunulmuştur.

i. Donatı derinliğinin B=5 cm olması durumunda deney sonuçları

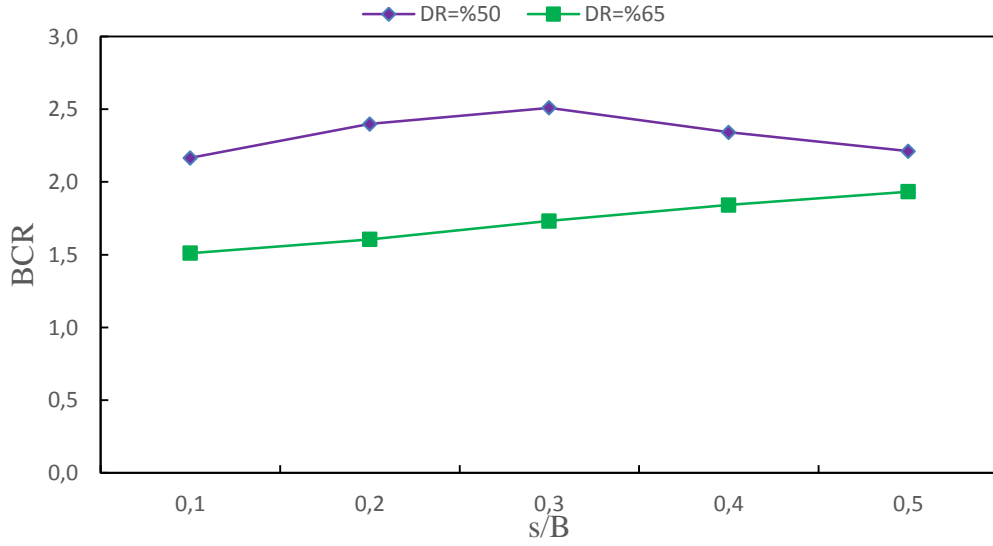
Sabit donatı derinliği ($B=5\text{cm}$) ve rölâtif sıklığın farklı olması durumunda ortalama taban basıncı (q)-oturma grafiği (s) Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Farklı oturma oranları için rölâtif sıklık- taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.12'de ve farklı rölâtif sıklık için oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. B=5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölâtif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği



Şekil 4.12. B=5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıkılık-taşıma kapasitesi oranı değişimi



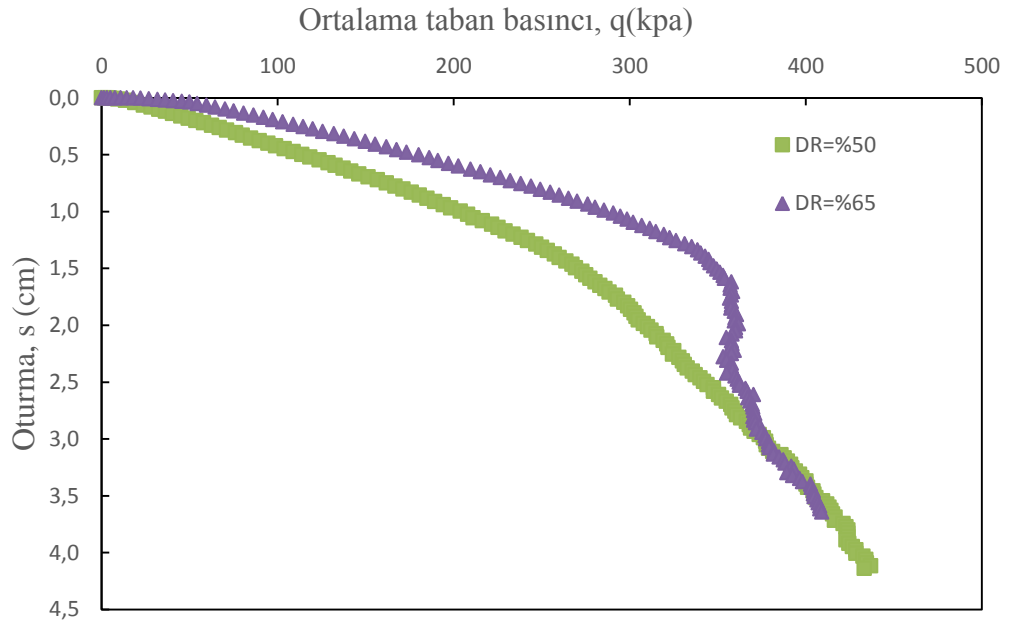
Şekil 4.13. B=5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı- taşıma kapasitesi oranı değişimi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

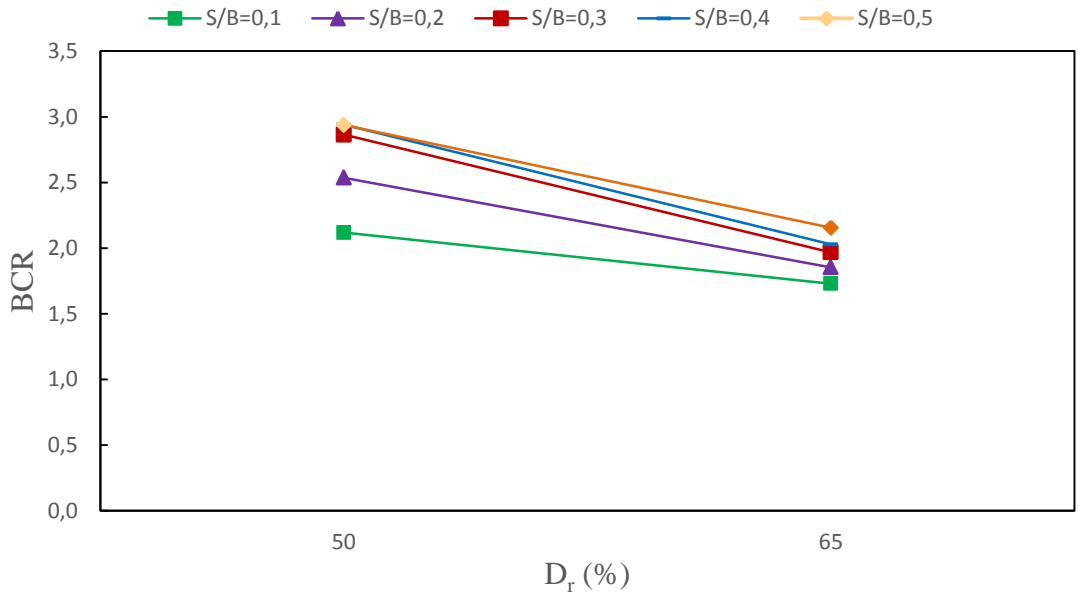
- 5 cm derinlikte donatı için deney kumunun rölatif sıkılığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri rölatif sıkılık arttıkça artmıştır.
- 5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölatif sıkılık arttıkça BCR azalmıştır. Örneğin $s/B=0,2$ 'de %50 rölatif sıkılıkta BCR=2,4 iken %65 rölatif sıkılıkta BCR=1,6 olmuştur.
- Sabit rölatif sıkılıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. Örneğin, %65 rölatif sıkılıkta $s/B=0,1$ 'de BCR=1,5 iken $s/B=0,5$ 'de BCR=1,9 olmuştur.

ii. Donatı derinliğinin $2B=10$ cm olması durumunda deney sonuçları

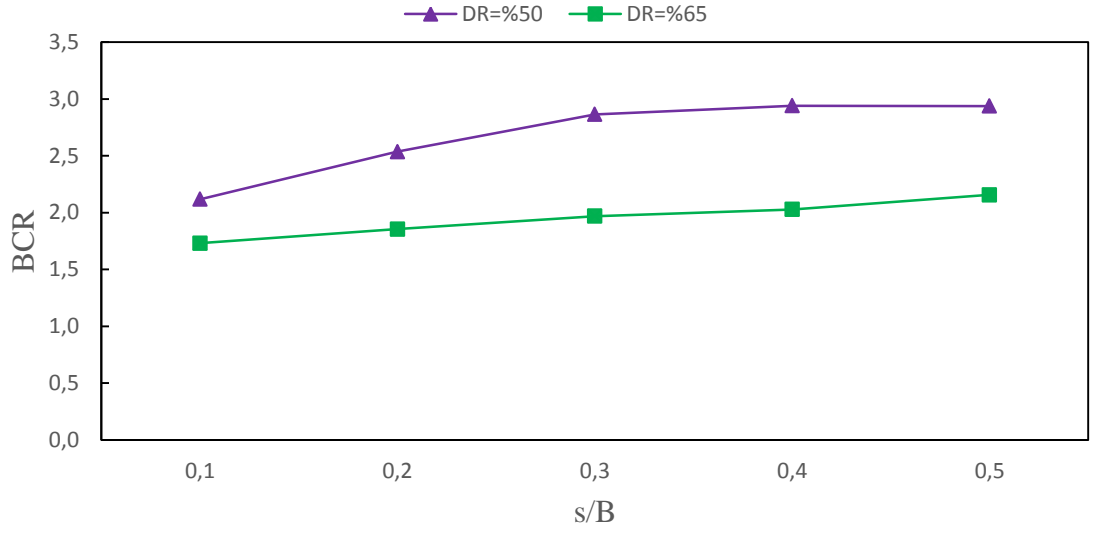
Sabit donatı derinliği ($2B=10$ cm) ve rölatif sıkılığın farklı olması durumunda ortalama taban basıncı (q)-oturma grafiği (s) Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Farklı oturma oranları için rölatif sıkılık- taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.15'de ve farklı rölatif sıkılık için oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 2B=10 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği



Şekil 4.15. 2B=10 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi



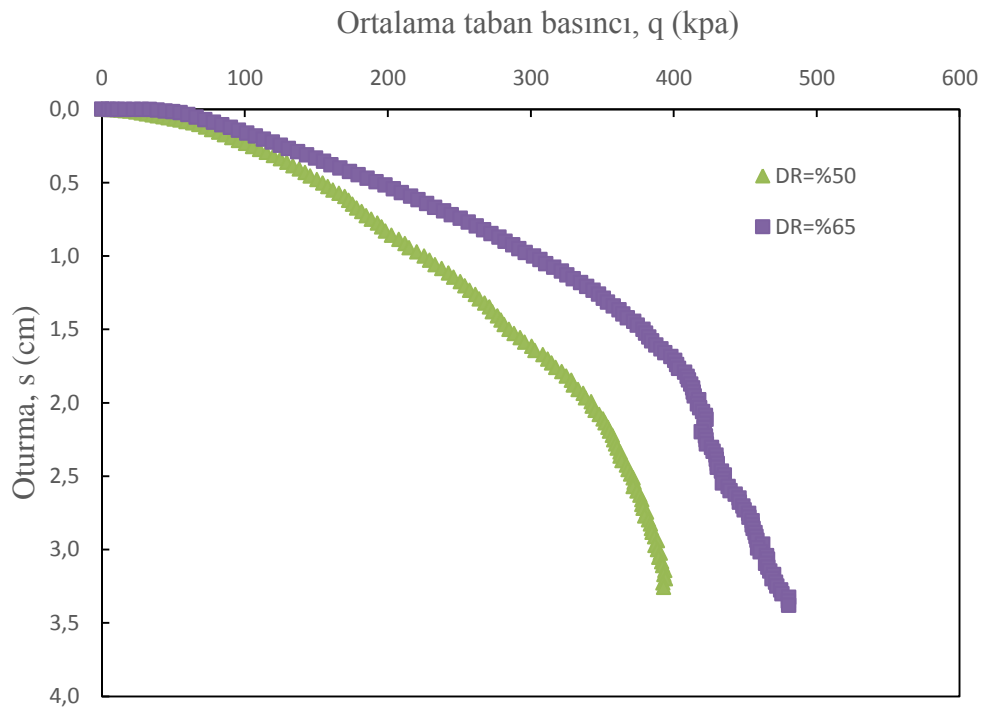
Şekil 4.16. 2B=10 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

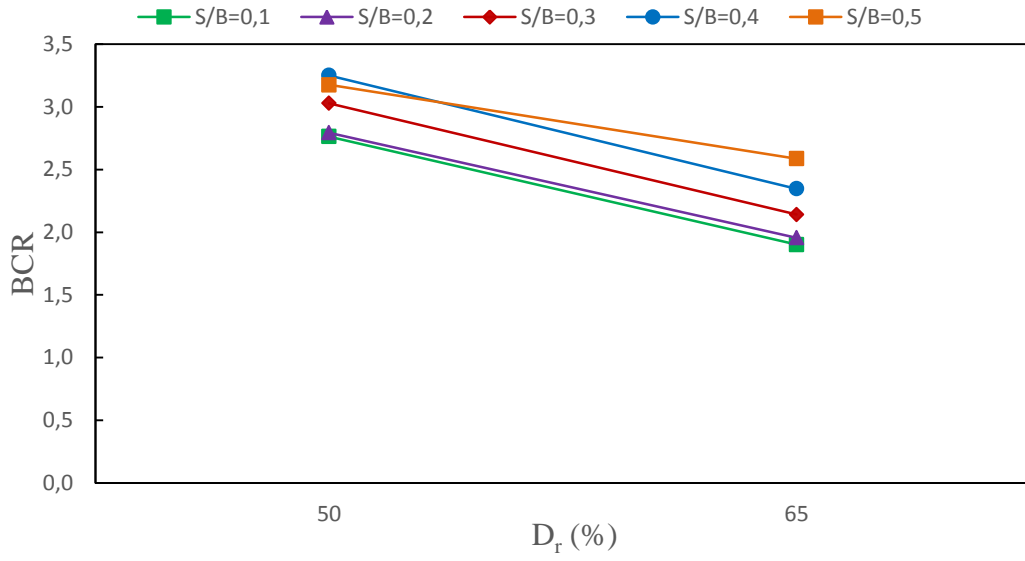
- 10 cm derinlikte donatı kullanılması halinde deney kumunun rölatif sıkılığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncı baz alındığında oturmalarda azalma görülmüştür. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri rölatif sıkılık arttıkça artmıştır.
- Sabit rölatif sıkılıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. Örneğin, %50 rölatif sıkılıkta s/B=0,1'de iken BCR=2,1 iken s/B oranı arttıkça BCR artmış ve s/B=0,5'de BCR=2,9 olmuştur. %65 rölatif sıkılıkta da s/B oranına bağlı olarak BCR de artmış fakat artış %50 rölatif sıkılıktaki kadar belirgin değildir.
- 10 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölatif sıkılık arttıkça BCR azalmıştır. s/B=0,2 oturma oranında %50 rölatif sıkılıkta BCR=2,5 iken %65 rölatif sıkılıkta BCR=1,9 olmuştur. Bu durum diğer oturma oranlarında da benzer davranış sergilemektedir.

iii. Donatı derinliğinin $2,5B=12,5$ cm olması durumunda deney sonuçları

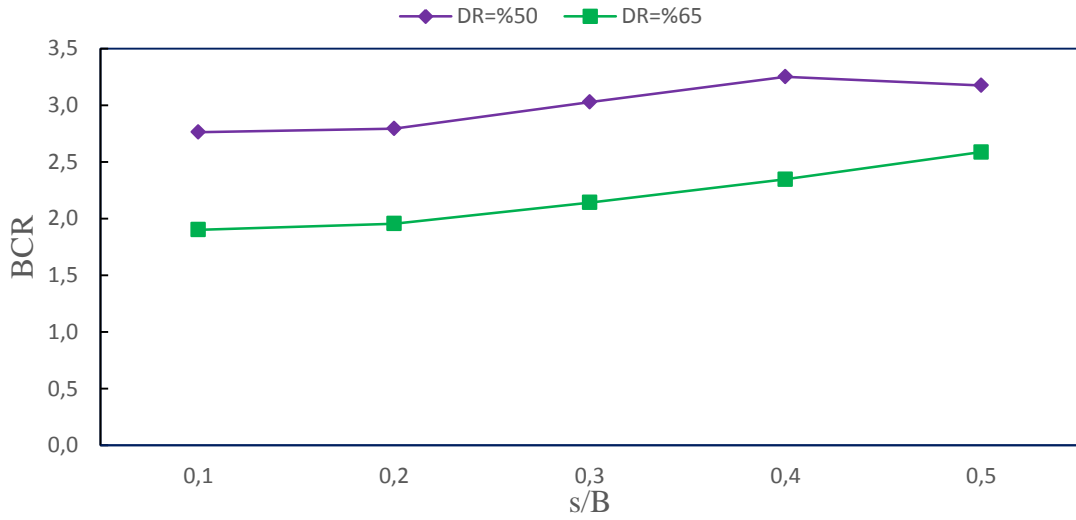
Sabit donatı derinliği ($2,5B=12,5$ cm) ve rölatif sıkılığın farklı olması durumunda ortalama taban basıncı (q)-oturma grafiği (s) Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Farklı oturma oranları için rölatif sıkılık- taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.18’de ve farklı rölatif sıkılık için oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.17. $2,5B=12,5$ cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıkılığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği



Şekil 4.18. 2,5B=12,5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıkılık-taşıma kapasitesi oranı değişimi



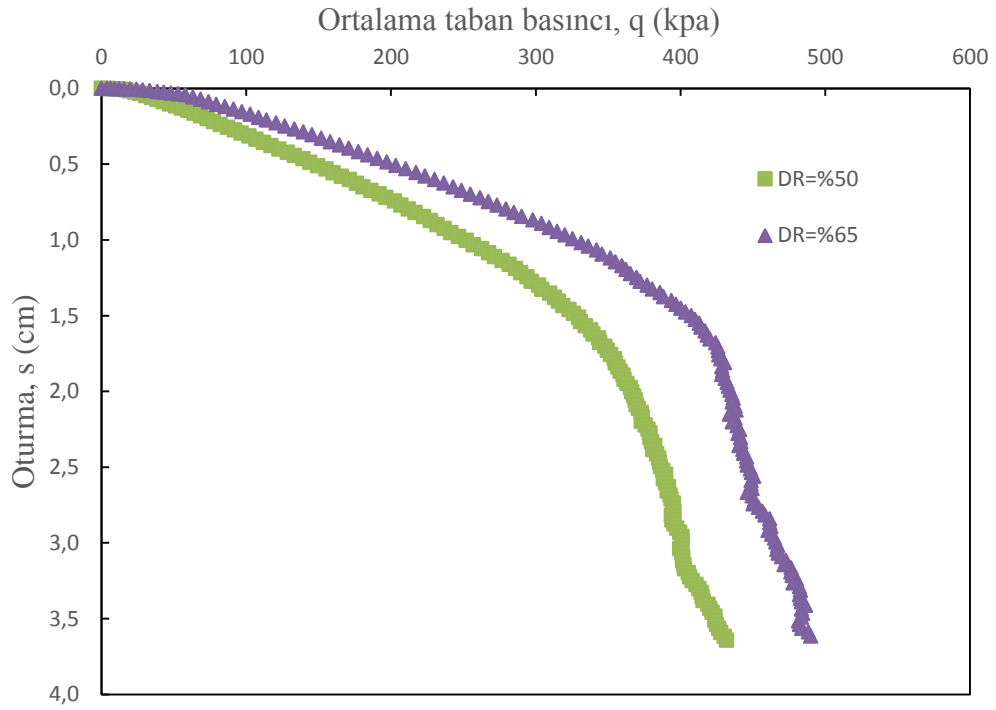
Şekil 4.19. 2,5B=12,5 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

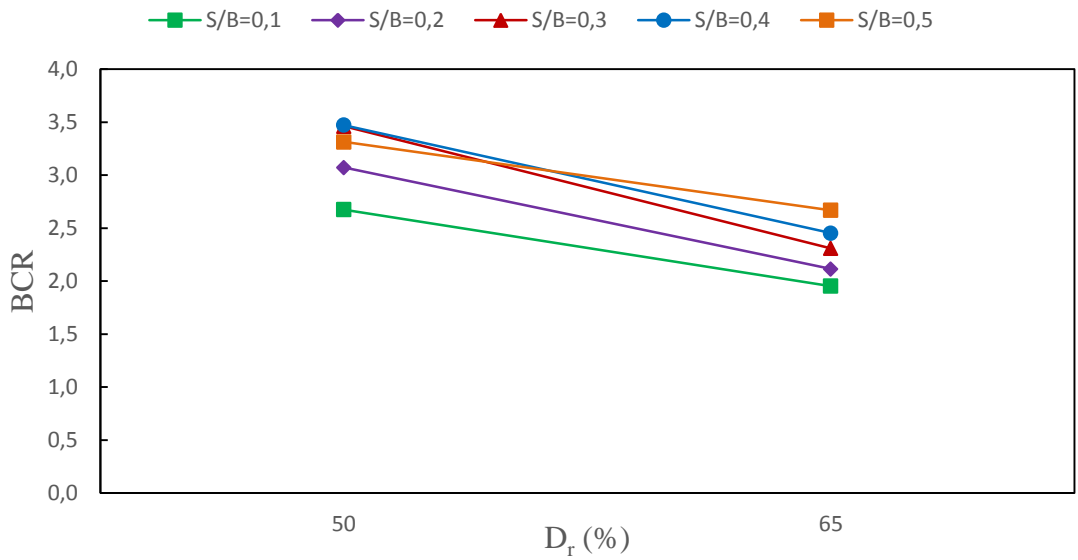
- 12,5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda deney kumunun rölâtif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncında oturmalarda azalma kaydedilmiştir.
- Sabit rölâtif sıklıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. Örneğin, %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de iken $BCR=2,8$ iken s/B oranı arttıkça BCR artmış ve $s/B=0,5$ 'de $BCR=3,2$ olmuştur.
- 12,5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölâtif sıklık arttıkça BCR azalmıştır. $s/B=0,2$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,8$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,0$ olmuştur. Bu durum diğer oturma oranlarında da aynı şekildedir.

iv. Donatı derinliğinin $3B=15$ cm olması durumunda deney sonuçları

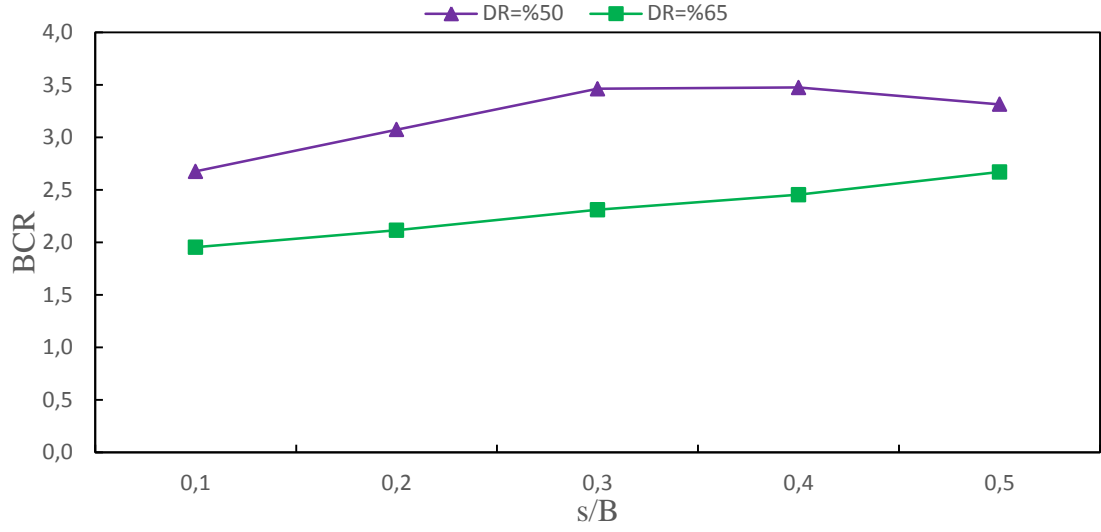
Sabit donatı derinliği ($3B=15$ cm) ve rölâtif sıklığın farklı olması durumunda ortalama taban basıncı (q)-oturma grafiği (s) Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Farklı oturma oranları için rölâtif sıklık- taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.21'de ve farklı rölâtif sıklık için oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. 3B=15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda farklı rölatif sıklığa karşılık gelen ortalama taban basıncı-oturma grafiği



Şekil 4.21. 3B=15 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda rölatif sıklık-taşıma kapasitesi oranı değişimi



Şekil 4.22. 3B=15 cm derinlikte sabit donatı kullanılması durumunda oturma oranı-taşıma kapasitesi oranı değişimi

Grafiklerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- 15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda deney kumunun rölatif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncında oturmalarda azalma görülmüştür.
- Sabit rölatif sıklıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. %50 rölatif sıklıkta s/B=0,1'de iken BCR=2,7 iken s/B oranı arttıkça BCR artmış ve s/B=0,5'de BCR=3,3 olmuştur.
- 15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölatif sıklık arttıkça BCR azalmıştır. s/B=0,1 oturma oranında %50 rölatif sıklıkta BCR=2,7 iken %65 rölatif sıklıkta BCR=2,0 olmuştur. Bu durum diğer oturma oranlarında da aynı şekildedir.

4.3. PIV ile Yapılan Çalışmalar

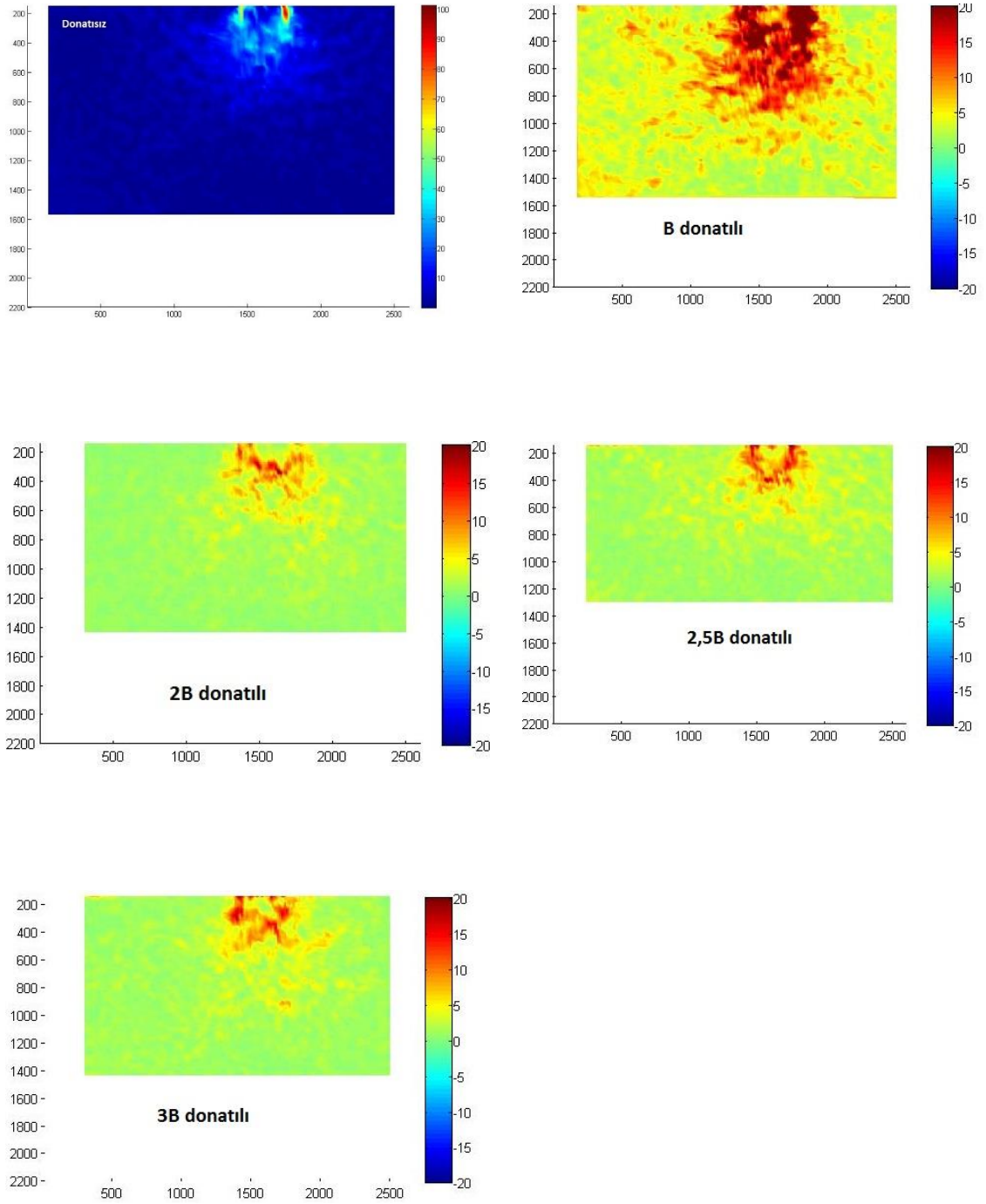
Bu bölümde, bir şerit temel altındaki, farklı rölatif sıklıktaki kum numuneye farklı derinliklerde donatı eklenerek yapılan deneyler sonucunda, göçme noktasına varan şekil değiştirme davranışının bir sonucu olan kayma bandının oluşumunu gözlemek için PIV kullanılmıştır.

Farklı rölatif sıklık, donatı derinliklerinde 1 cm ve 2 cm oturmalarında zeminde meydana gelene kayma kuşakları PIV yöntemiyle gözlemlenmiştir. Oluşan kayma kuşaklarının oluşumunu gözlemleyebilmek için MATLAB R2013B programı altında çalışan GeoPIV8 yazılımı kullanılmıştır.

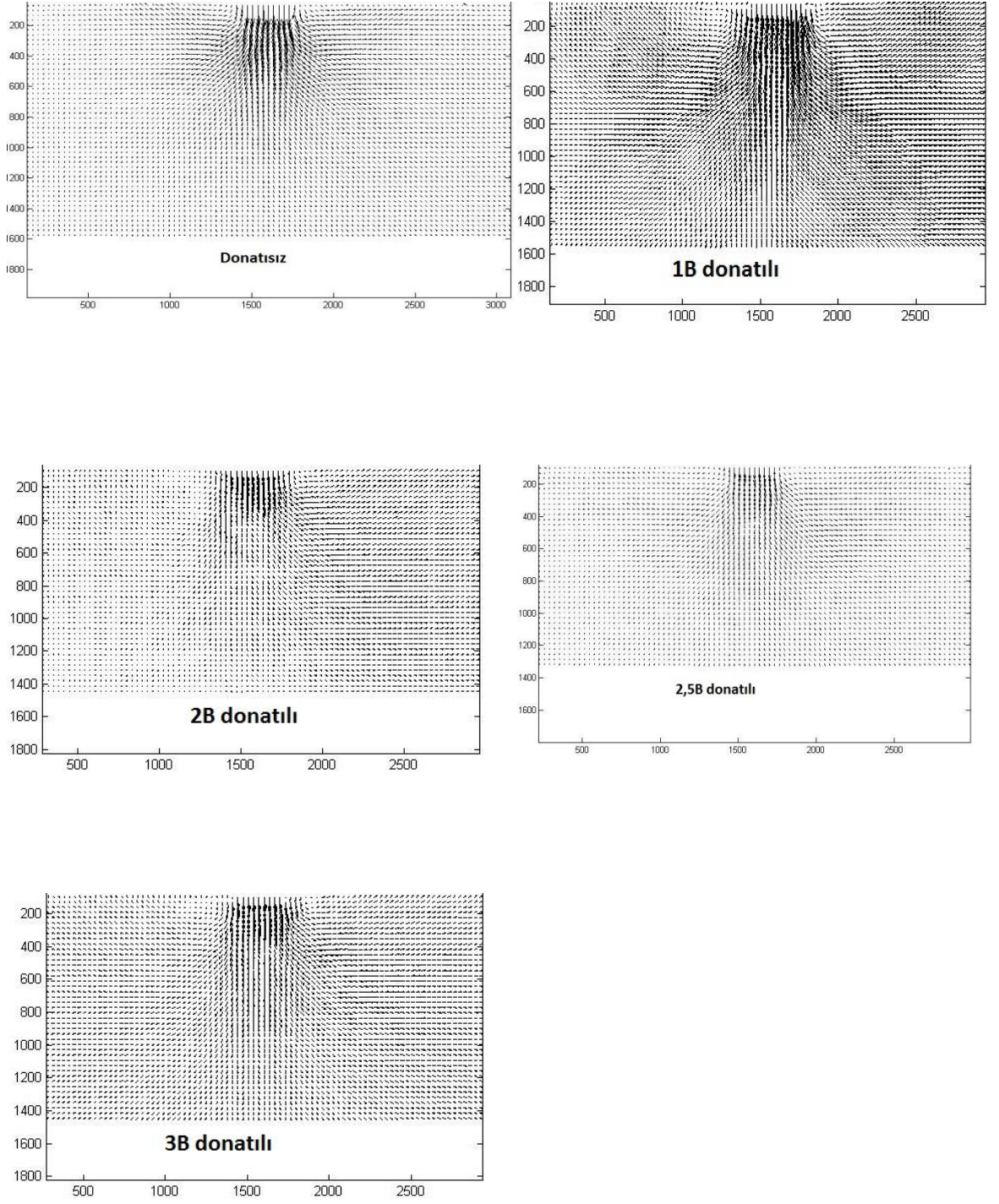
GeoPIV8 programı, temel altında, zeminde meydana gelen şekil değiştirme ve göçme şekillerini takip etme olanağı sağlamaktadır. Dolayısıyla kayma yüzeyinin oluşumu ve göçme durumu, hareketin her anı için gözlemlenebilmektedir.

4.3.1. $D_r=50$ için PIV analiz sonuçları

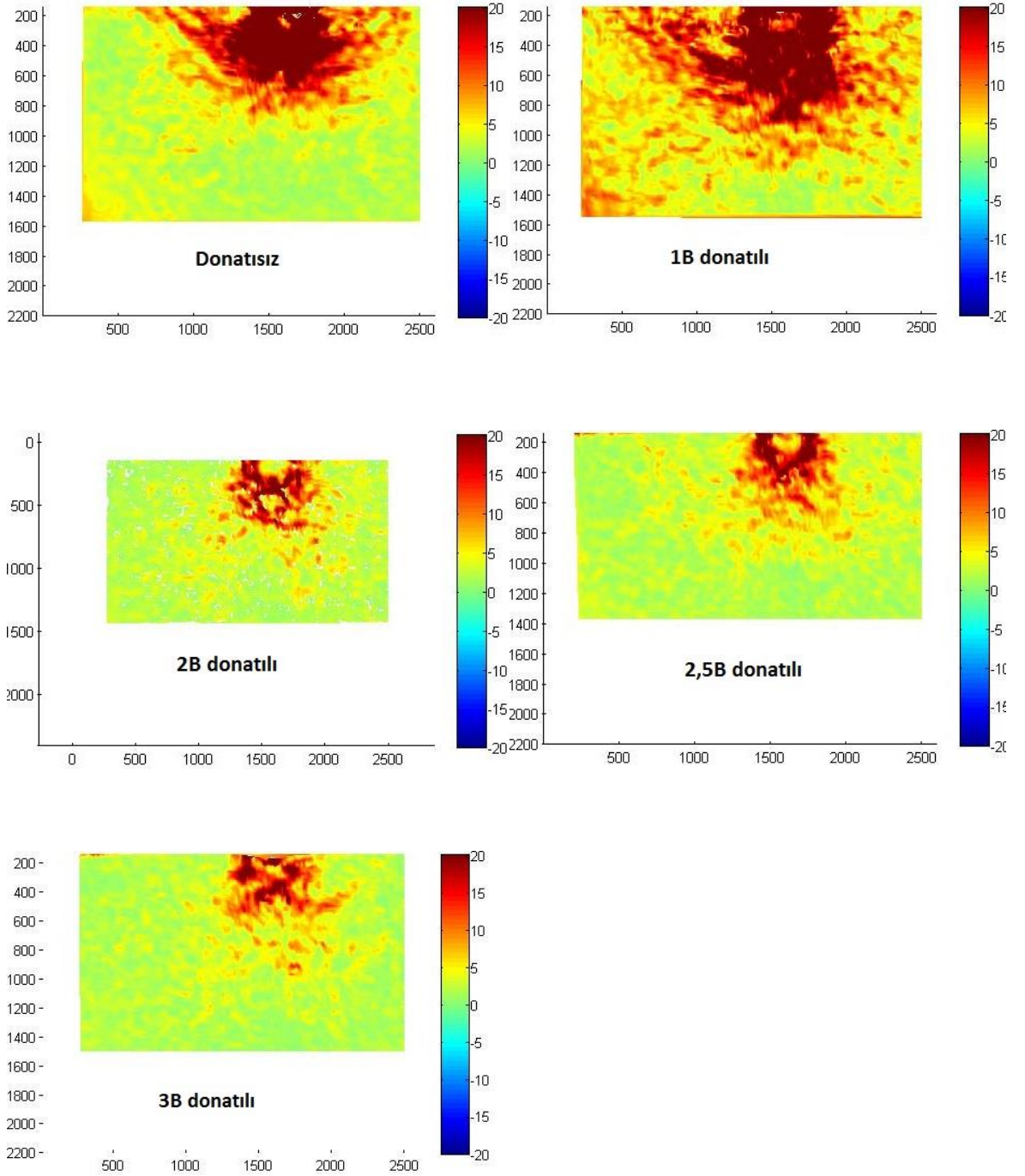
$D_r=50$ rölatif sıklıkta farklı donatı derinliklerinde, temelin 1 cm ve 2 cm oturması durumunda temel zemininde oluşan kaymalar PIV yöntemiyle analiz edilmiştir. Meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları ve yer değiştirme vektör alanları Şekil 4.23-Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



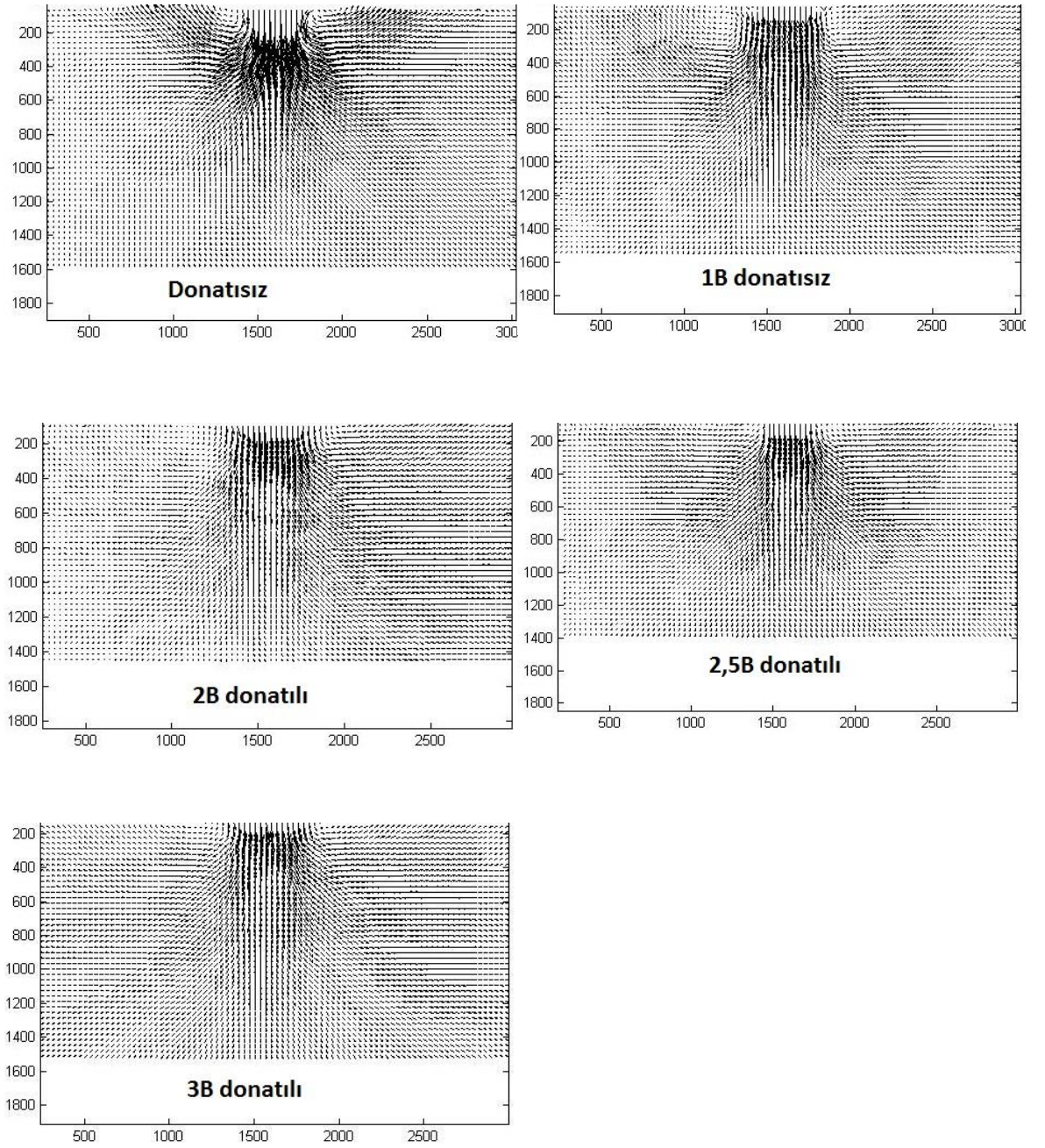
Şekil 4.23. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değişirme haritaları ($s=0,2B$, $D_r=\%50$)



Şekil 4.24. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları ($s=0,2B$, $D_r=\%50$)



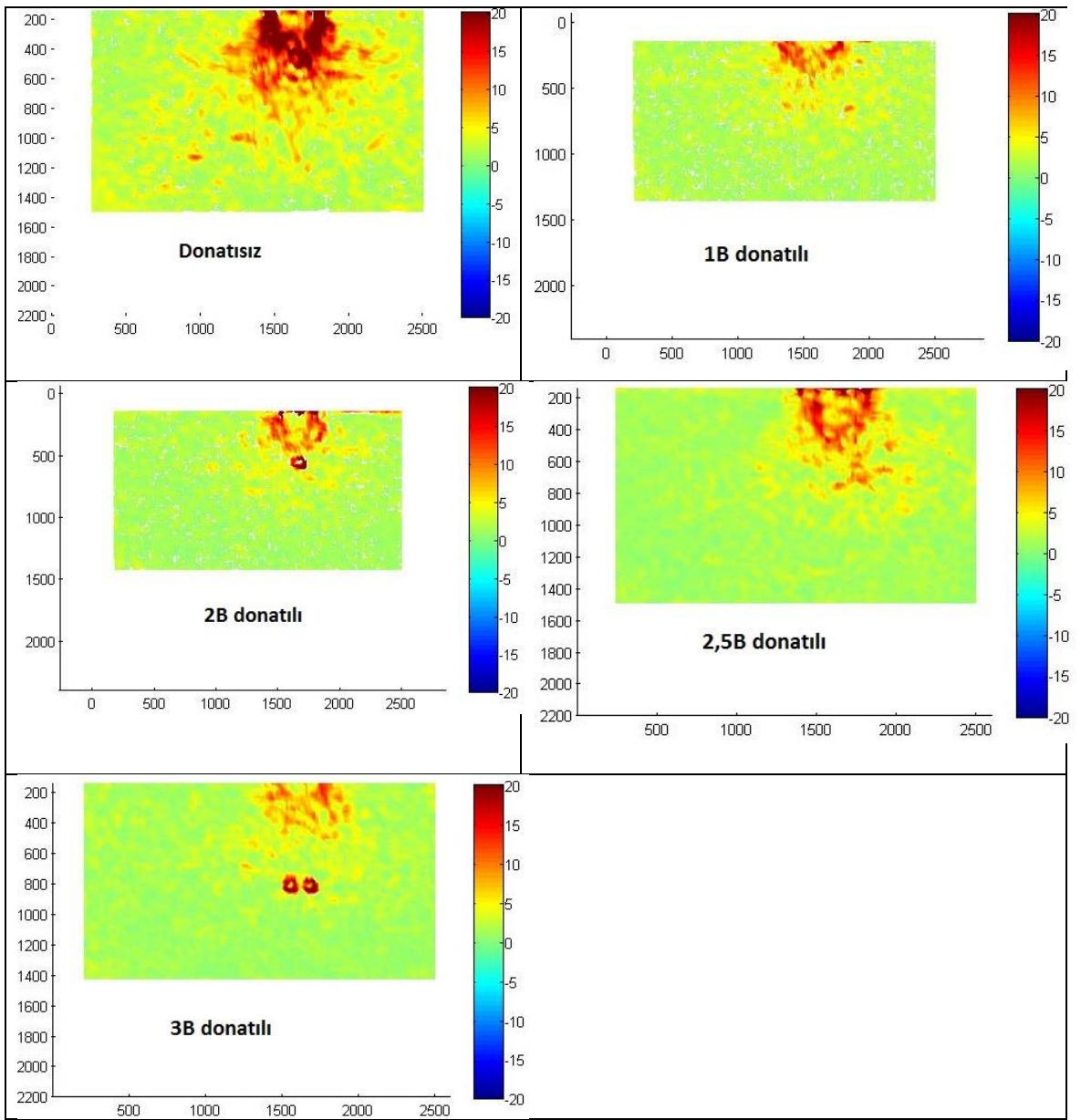
Şekil 4.25. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları ($s=0,4B$, $D_r=\%50$)



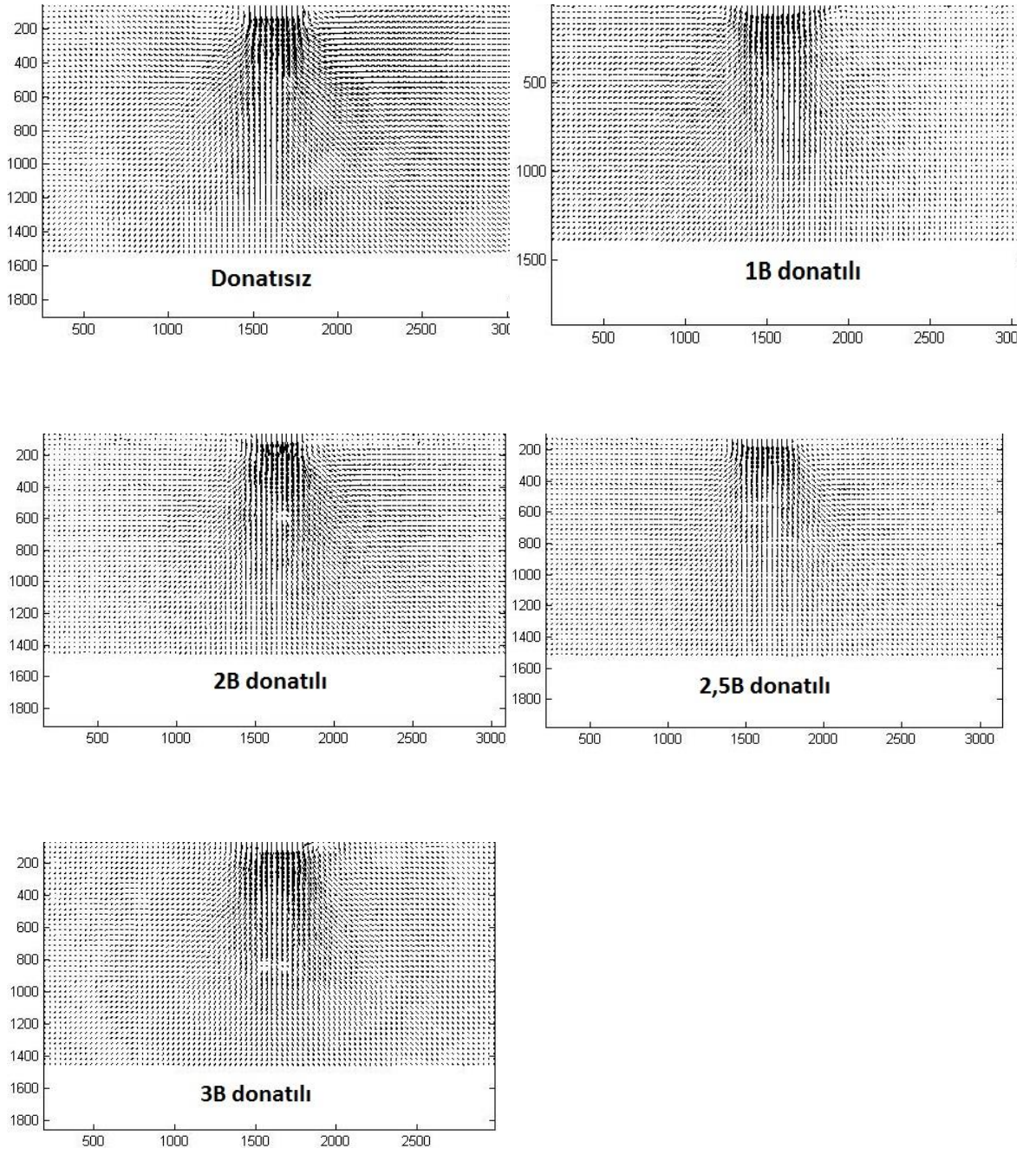
Şekil 4.26. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları ($s=0,4B$, $D_r=\%50$)

4.3.2. $D_r=65\%$ için PIV analiz sonuçları

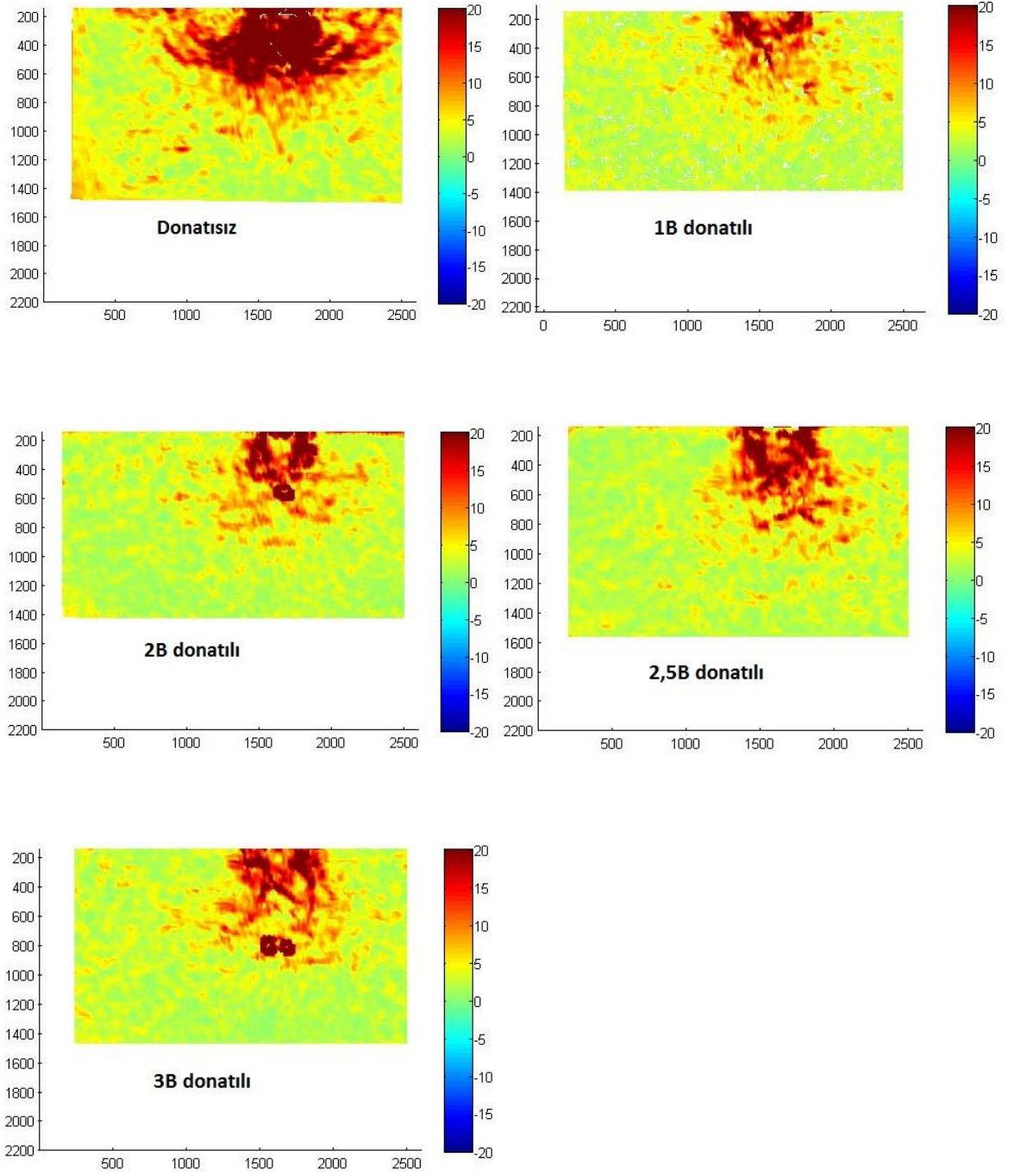
$D_r=65\%$ rölatif sıkılıkta farklı donatı derinliklerinde, temel 1cm ve 2 cm oturması durumunda temel zemininde oluşan kaymalar PIV yöntemiyle analiz edilmiştir. Meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları ve yer değiştirme vektör alanları Şekil 4.27-Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



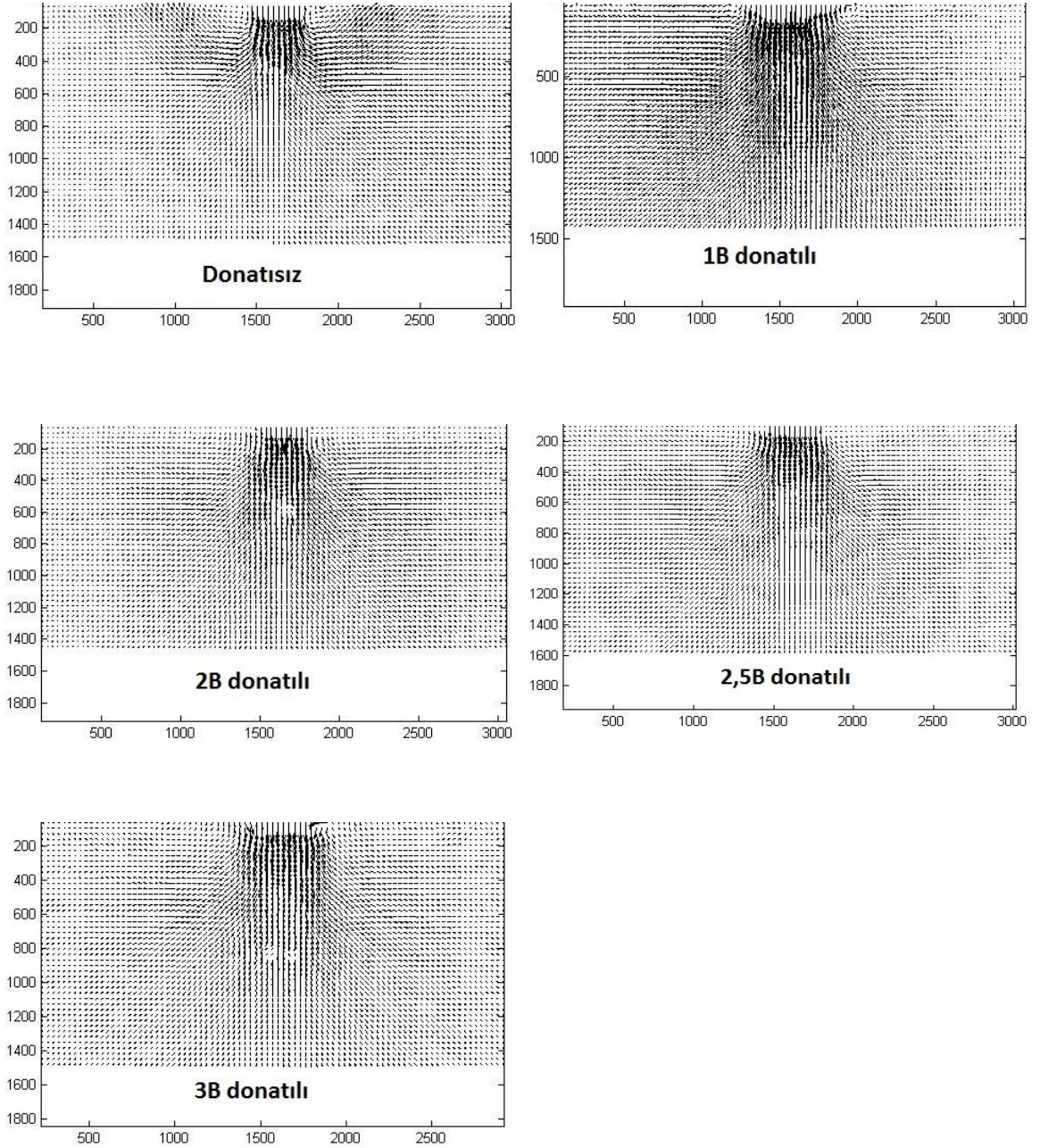
Şekil 4.27. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları ($s=0,2B$, $D_r=65\%$)



Şekil 4.28. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değıştirme vektör alanları ($s=0,2B$, $D_r=\%65$)



Şekil 4.29. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen kayma şekil değiştirme haritaları ($s=0,4B$, $D_r=\%65$)



Şekil 4.30. PIV yöntemi kullanılarak farklı donatı derinliği için meydana gelen yer değiştirme vektör alanları ($s=0,4B$, $D_f=\%65$)

- Donatı derinliği arttıkça, kayma bandı daha yukarıda kalmaktadır. Başka bir ifadeyle donatı derinliği arttıkça temel basıncından etkilenen zemin derinliği azalmaktadır.

- Donatısız deneylerde zemin tanelerindeki hareketin daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Oturma arttıkça kayma şekil değiştirmeleri de artmıştır.
- Yer değiştirme vektör alanı haritalarından hareketle donatı derinliğinin artmasıyla temel zemininin yanal doğrultuda hareketi azalmıştır.
- Özellikle donatısız deneylerde spiral şeklinde kayma bantları görülmüştür.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Donatılı zeminle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak literatürdeki çalışmaların birçoğu geosentetik donatı ve yüzeysel temellerde donatı tabakasının sayısı, ilk donatı tabakasının derinliği konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Rastgele donatılı zeminler üzerinde yapılmış çalışma sayısı çok fazla değildir. Dolayısıyla rastgele donatılı zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda incelenen parametre sayısı da sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmada; donatısız ve rastgele donatılı orta sıkılıktaki bir kum zemin üzerine oturan yüzeysel bir şerit temelin davranışı model yükleme deneyleri ile incelenmiştir. Donatı olarak polipropilen lifler kullanılmıştır. Deneylerde rölatif sıkılık %50 ve %65 olarak seçilmiştir. Farklı rölatif sıkılıkta, sabit donatı yüzdesinde (%1), 20 mm lif uzunluğu ve 4 farklı donatı derinliğinde (B, 2B, 2,5B ve 3B) lif kullanılarak ortalama taban basıncı- oturma ilişkileri belirlenmiştir. GeoPIV8 programı ile, temel altında, zeminde meydana gelen şekil değiştirme ve göçme şekilleri gözlemlenmiştir.

Deneylelerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Donatısız deneyler sonucu bulunan ortalama taban basıncı-oturma ilişkisinin 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.
- Sabit rölatif sıkılıkta ($D_r=\%50$), donatı derinliği arttıkça nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır.
- %50 rölatif sıkılıkta, taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı derinliğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Donatı derinliği arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri

de artmıştır. Donatı derinliği arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin eğimi tamamen değişmiştir. Donatı derinliği 2B'ye kadar taşıma kapasitesinde önemli miktarda artış aynı taban basıncındaki oturmalarda ise azalma görülmüştür. Ancak donatı derinliğinin 2B den büyük olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artış ve aynı taban basıncına karşılık gelen oturmalarındaki azalma çok fazla değişmemiştir.

- %50 rölatif sıklıkta, sabit bir oturma oranında (s/B), donatı derinliği arttıkça BCR değeri de artmıştır. Örneğin:

- $s/B=0,1$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=2,2$ iken 3B donatı derinliğinde ise $BCR=2,7$ olmuştur.

- $s/B=0,2$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=2,4$ iken 3B donatı derinliğinde ise $BCR=3,0$ olmuştur.

- $s/B=0,3$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=2,5$ iken 2B donatı derinliğinde ise $BCR=2,9$ olmuştur.

- %50 rölatif sıklıkta, sabit donatı derinliğinde oturma oranı arttıkça BCR'de artmıştır. Örneğin:

- Donatı derinliğinin B olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelen $BCR=2,2$ iken $s/B=0,2$ 'de ise $BCR=2,4$ olmuştur.

- Donatı derinliğinin 2B olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelen $BCR=2,1$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=2,9$ olmuştur.

- Donatı derinliğinin 3B olması durumunda $s/B=0,2$ oranına karşılık gelen $BCR=3,1$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=3,3$ olmuştur.

- Sabit rölatif sıklıkta ($D_r=\%65$), donatı derinliği arttığı zaman nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda orantılı olarak azalmıştır.

- Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı derinliğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Donatı derinliği arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Donatı derinliği arttığı zaman taban basıncı- oturma eğrisinin başlangıç kısmının eğimi azalmıştır. Donatı derinliği 2,5B'ye kadar taşıma kapasitesinde önemli miktarda artış ve aynı taban basıncındaki oturmalarda ise azalma görülmüştür. Ancak donatı derinliğinin 2,5B den büyük olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artış ve aynı taban basıncına karşılık gelen oturmalarındaki azalma çok fazla değişmemiştir.

- %65 rölatif sıklıkta, sabit bir oturma oranında (s/B), donatı derinliği arttıkça BCR değeri de artmıştır. Örneğin:

- $s/B=0,1$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=1,5$ iken 3B donatı derinliğinde ise $BCR=2,0$ olmuştur.

- $s/B=0,2$ olması durumunda 2B donatı derinliğinde $BCR=1,9$ iken 3B donatı derinliğinde ise $BCR=2,1$ olmuştur.

- $s/B=0,5$ olması durumunda B donatı derinliğinde $BCR=1,9$ iken 2,5B donatı derinliğinde ise $BCR=2,6$ olmuştur.

- %65 rölatif sıklıkta, sabit donatı derinliğinde oturma oranı arttıkça BCR'de artmıştır. Örneğin;

- Donatı derinliğinin 2B olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelen $BCR=1,7$ iken $s/B=0,3$ 'de ise $BCR=2,0$ olmuştur.

- Donatı derinliğinin B olması durumunda $s/B=0,1$ oranına karşılık gelen $BCR=1,5$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=1,9$ olmuştur.

- Donatı derinliğinin 2,5B olması durumunda $s/B=0,3$ oranına karşılık gelen $BCR=2,1$ iken $s/B=0,5$ 'de ise $BCR=2,6$ olmuştur.

- 5 cm derinlikte donatı için deney kumunun rölatif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır. Taban

basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri rölafif sıklık arttıka artmıştır.

- 5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölafif sıklık arttıka BCR azalmıştır. Örneğin:

- $s/B=0,1$ 'de %50 rölafif sıklıkta $BCR=2,2$ iken %65 rölafif sıklıkta $BCR=1,5$ olmuştur.

- $s/B=0,2$ 'de %50 rölafif sıklıkta $BCR=2,4$ iken %65 rölafif sıklıkta $BCR=1,6$ olmuştur.

- $s/B=0,5$ 'de %50 rölafif sıklıkta $BCR=2,2$ iken %65 rölafif sıklıkta $BCR=1,9$ olmuştur.

- 5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit rölafif sıklıkta s/B oranı arttıka BCR de artmıştır. Örneğin:

- %50 rölafif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=2,2$ iken $s/B=0,3$ 'de $BCR=2,5$ olmuştur.

- %65 rölafif sıklıkta $s/B=0,2$ 'de $BCR=1,6$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=1,9$ olmuştur.

- %65 rölafif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=1,5$ iken $s/B=0,3$ 'de $BCR=1,7$ olmuştur.

- 10 cm derinlikte donatı kullanılması halinde deney kumunun rölafif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncı baz alındığında oturmalarda azalma görölmüştür. Taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin değiştiği yük değeri yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri rölafif sıklık arttıka artmıştır.

- 10 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit rölafif sıklıkta s/B oranı arttıka BCR de artmıştır. Örneğin:

- %50 rölafif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=2,1$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=2,9$ olmuştur.

- %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,2$ 'de $BCR=2,5$ iken $s/B=0,3$ 'de $BCR=2,9$ olmuştur.
- %65 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=1,7$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=2,2$ olmuştur.

• 10 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölâtif sıklık arttıkça BCR azalmıştır. Örneğin:

- $s/B=0,1$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,1$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=1,7$ olmuştur.
- $s/B=0,2$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,5$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=1,9$ olmuştur.
- $s/B=0,5$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,9$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,2$ olmuştur.

• 12,5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda deney kumunun rölâtif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncında oturmalarda azalma kaydedilmiştir.

• 12,5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit rölâtif sıklıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. Örneğin:

- %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=2,8$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=3,2$ olmuştur.
- %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,2$ 'de $BCR=2,8$ iken $s/B=0,3$ 'de $BCR=3,0$ olmuştur.
- %65 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=1,9$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=2,6$ olmuştur.

• 12,5 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölâtif sıklık arttıkça BCR azalmıştır. Örneğin:

- $s/B=0,1$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,8$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=1,9$ olmuştur.

- $s/B=0,2$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,8$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,0$ olmuştur.
 - $s/B=0,5$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=3,2$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,6$ olmuştur.
- 15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda deney kumunun rölâtif sıklığı arttığı zaman taşıma kapasitesi artış göstermiş ve aynı taban basıncında oturmalarda azalma görülmüştür.
- 15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit rölâtif sıklıkta s/B oranı arttıkça BCR de artmıştır. Örneğin:
 - %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=2,7$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=3,3$ olmuştur.
 - %50 rölâtif sıklıkta $s/B=0,2$ 'de $BCR=3,1$ iken $s/B=0,3$ 'de $BCR=3,5$ olmuştur.
 - %65 rölâtif sıklıkta $s/B=0,1$ 'de $BCR=2,0$ iken $s/B=0,5$ 'de $BCR=2,7$ olmuştur.
- 15 cm derinlikte donatı kullanılması durumunda, sabit oturma oranında rölâtif sıklık arttıkça BCR azalmıştır. Örneğin:
 - $s/B=0,1$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=2,7$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,0$ olmuştur.
 - $s/B=0,2$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=3,1$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,1$ olmuştur.
 - $s/B=0,5$ oturma oranında %50 rölâtif sıklıkta $BCR=3,3$ iken %65 rölâtif sıklıkta $BCR=2,7$ olmuştur.
- GeoPIV8 programı kullanılarak elde edilen kayma şekil değiştirme haritaları ve yer değiştirme vektör alanları haritalarından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Donatı derinliği arttıkça, kayma bandı daha yukarıda kalmaktadır. Başka bir ifadeyle donatı derinliği arttıkça temel basıncından etkilenen zemin derinliği azalmaktadır. Donatısız deneylerde zemin tanelerindeki hareketin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Oturma arttıkça kayma şekil değiştirmeleri de artmıştır. Yer değiştirme vektör alanı haritalarından hareketle donatı derinliğinin artmasıyla temel zemininin yanal doğrultuda hareketi azalmıştır. Özellikle donatısız deneylerde spiral şeklinde kayma bantları görölmüştür.

Yapılan çalışmada iki farklı rölatif sıklık ve dört farklı donatı derinliği kullanılmıştır. İncelenen paramtrelerin sayısı ve seviyeleri arttırılarak daha geniş bir çalışma yapılması tavsiye edilmektedir. Daha çok paramtrenin incelendiği daha kapsamlı bir çalışma ile rastgele donatılı zeminlerin davranışı hakkında daha fazla bilgi edinilebilir. Rastgele donatı kullanılarak yapılan bu model deneylerin arazi ölçeğinde de çalışılmasının uygulamaya katkı sağlayabileceği düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Adams, M. T. and Collin, J. G., 1997. Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123(1), 66-71.
- Ahmadi H. and Hajjalilue-Bonab M., 2012. Experimental and analytical investigations on bearing capacity of strip footing in reinforced sand backfills and flexible retaining wall. *Acta Geotechnica*, 7, 357–373.
- Aiban, S. A. and Ali, S. M., 2001. Nonwoven Geotextile-Sabkha and –Sand Interface friction characteristics using pull-out tests. *Geosynthetics International*, 8(3), 193- 220.
- Alawaji H. A., 2001. Settlement and bearing capacity of geogrid–reinforced sand over collapsible soil. *Geotextile and Geomembranes*, 19, 75–88.
- Andrawes, K. Z., McGown, A. and Al-Hasani, M. M., 1978. Alternation of soil behavior by the inclusion of materials with different properties. *Ground Eng.*, 11(6), 35-42.
- Anonim, 2009. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi Propilen Türevleri ve Prosesleri, Ankara.
- Arslan, A., 2001. Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bağcı, F., 2007. Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin-Geosentetik Ara Yüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bathurst, R. J., Blatz, J. A. and Burger, M. H., 2003. Performance of instrumented large- scale unreinforced and reinforced embankments loaded by a strip footing to failure. *Can. Geotech. J.*, 40, 1067-1083.
- Binquet, J. and Lee, K. L., 1975a. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Div. ASCE*, 101(12), 1241-1255.
- Binquet, J. and Lee, K. L., 1975b. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical Engineering Div. ASCE*, 101(12), 1257-1276.
- Chen, R., Jane Kuo, K., Chen, Y. and Ku, C., 2011. Model tests for studying the failure mechanism of dry granular soil slopes. *Engineering Geology* 119, 51–63.
- Coduto, D. P., 2005. Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar. İkinci Baskı, Gazi Kitabevi Tic.Ltd.Şti, 149-152s, Ankara.
- Çelik, S., 1997. Geogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Geogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çoruh, T., 1991. Geosentetikler. DSİ Gen. Md. Teknik Araş. ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Yayını, No: 798, 176, Ankara.
- Das, B. M., 1988. Shallow foundation on sand underlain by soft clay with geotextile interface. *Geosynthetics for Soil Improvement*, ASCE Geotechnical Special Publication,18, 112-126.
- Das, B. M., 1999. *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement*. CRC Press. 363 WaShington, DC, USA.

- Das, B. M., Omar, T. M. ve Atalar, C., 2000. Geogrid Takviyeli Kil Şevlerin Üzerinde Yer Alan Sürekli Temellerin Toplam Taşıma Kapasitesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Sekizinci Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- Dawson, A. and Lee. R., 1988. Full scale foundation trials on grid reinforced clay. Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, 18, 127-147.
- Deb K., Sivakugan N., Chandra, S. and Basudhar P. K., 2007. Numerical analysis of multi layer geosynthetic-reinforced granular bed over soft fill. Geotechnical and Geological Engineering, 25, 639-646.
- Demerchant, M. R., Valsangkar, A. J. and Schriver, A. B., 2002. Plate load tests on geogrid reinforced expanded shale light weight aggregate. Geotextiles and Geomembranes, 20, 173-190.
- Demiröz, A., 1996. Geoteknik Açısından Katı Atık Depolarının Değerlendirilmesi. Doktora Semineri I, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demiröz, A., 2008. Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Sürekli Temellerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Faizi, K., Kalatehjari, R., Nazir, R. and Rashid, A. S. A., 2015. Determination of pile failure mechanism under pullout test in loose sand. Department of Geotechnics and Transportation, University Teknologi Malaysia, 22, 1490-1501.
- Gabr, M. A. and Hart, H., 2000. Elastic Modulus of Geogrid Reinforced Sand Using Plate Load Tests. Technical Note, Geotechnical Testing Journal.
- Giroud, J. P., 1986. From Geotextiles to Geosynthetics: A Revolution in Geotechnical Engineering, 3rd Int.Conf.On Geotextiles, Vienna, 1-18.
- Haeri, S. M., Noorzad, R. and Oskoorouchi, A. M., 2000. Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand. Geotextiles and Geomembranes, 18(6), 385-402.
- Han, J. and Gabr, M. A., 2002. Numerical analysis of geosynthetic-reinforced and pile-supported earth platforms over soft soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128, 44-53.
- Huang, C. C. and Tatsuoka, F., 1990. Bearing capacity of reinforced horizontal sandy. Geotextiles and Geomembranes, 9, 51-82.
- Huang, C., Tatsuoka, F. and Sato, Y., 1994. Failure mechanisms of reinforced sand slopes loaded with a footing. Soils and Foundations, 24 (2), 27-40.
- Khing, K. H., Das, B. M., Puri, V. K., Cook, E. E. and Yen, S. C., 1993. The bearing capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes, 12(4), 351-361.
- Koerner, R. M. and Hsuan, Y., 1993. The 1992 Mercer Lecture. Geotextiles and Geomembranes, 12, 52.
- Koerner, R. M., 2005. Designing with Geosynthetics. Prentice Hall, 796 p, New Jersey, USA.
- Köseoğlu, S., 1987. Temeller Statiği Ve Konstrüksiyonu II. Yüzeysel Temeller, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 2 s, İstanbul.
- Kumbasar, V. ve Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği. Çağlayan Kitabevi, 350,362 s, İstanbul.

- Laman, M., Keskin, M. S. ve Yıldız, A., 2004. Farklı Sıkılıktaki Kumlu Zeminlere Oturan Dairesel Temeller Altında Gerilme Analizi. Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Lee, K. M. and Manjunath, V. R., 2000. Experimental and numerical studies of geosynthetic- reinforced sand slopes loaded with a footing. *Can. J. Geotech./Rev. Can. Geotech.*, 37(4), 828-842.
- Mandal, J. N. and Sah, H. S., 1992. Bearing capacity tests on geogrid-reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(3), 327,333.
- Moroğlu, B., 2002. Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Şerit Temelinin Taşıma Gücü. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Ens., Trabzon.
- Moroğlu, B., Şadoğlu, E. ve Uzuner, B. A., 2006. Bir Model Yüzey Şerit Temelinin Donatısız ve Donatılı Kumda Davranışları. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, Türkiye.
- Nakata, Y., Hyodo, M., Hui, Q. and Kikkawa, N., 2009. Shear band development in sandy soil beneath strip footing using PIV. *AIP Conference Proceedings*, 1145,157-160.
- Patel, M. M., 1982. Influence of shape of footings on the performance of the reinforced sand bed. *Proceedings of the Conference on Construction Practices and Instrumentation in Geotech. Eng.*, 1, 265-269.
- Sağlamer, A. ve Aygıt, R., 1987. Donatılı Zemin İstinat Duvarları. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*, 2. Ulusal Kongresi, Cilt 2 , B.Ü., 275-286, İstanbul.
- Selvadurai, A. P. S., Gnanendran, C. T., 1989. An experimental study of a footing located on a sloped fill : Influence of a soil reinforcement layer. *Canadian Geotechnical Journal*, 26 (3), 467-473.
- Shin, E., Das, B., Puri, S., Yen, S. and Cook, E., 1993. Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced clay. *Tech. Note, American Society for Testing and Materials*, 534-541.
- Shin, E. C. and Das, B.M., 2000. Experimental study of bearing capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geosynthetics International*, 7 (1), 59-71.
- Singh, H. R., 1988. Bearing capacity of reinforced soil beds. Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Tan, Ö. ve Çelik, S., 2004. Geogrid Donatılı Model Şerit Temellerde Donatı Derinlik Oranı Ve Sınır Taşıma Gücü İlişkisi. Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, 155-160.
- Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik Ve Uygulamaları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, Türkiye, 912.
- Uzuner, B., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. *Derya Kitabevi*, 42-70-284-285 s, Trabzon.
- Vidal M. H., 1968. La terre arme. *AnnAnnales de L'Intitut Technique du Batiment et des Travoux Publics*, 888-938. (as referred by Das, M. B.,1990).
- Wasti, Y., 1992. İnşaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri
- White, D., Take, W. A. and Bolton, M. D., 2001. Measuring Soil Deformation in Geotechnical Models Using Digital Images and PIV Analysis”, *Proceeding of the 10th International Conference on Computer Methods ve Advances in Geomechanics*. Tucso: Arizona.

- White, D. J., Take, W. A. and Bolton, M. D., 2003. Soil Deformation Measurements Using Particle Image Velocimetry (PIV) and Photogrammetry. *Geotechnique* 53, 619– 631.
- Yetimoğlu, T., 1991. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstiller, *Zemin Müh. Der., Zem.Mek.Vetem.Müh.Türk.Mil.Kom.Bül.*, Sayı 1, 63-80.
- Yetimoğlu, T., 1994. Geogrid Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yetimoğlu, T., Wu, J., and Sağlamer, A., 1994. Bearing Capacity of Rectangular Footing on Geogrids-Reinforced Sand. *Journal of Geotechnical Eng. ASCE*, 120(12).2083-2099.
- Yetimoğlu, T. and Salbaş, O., 2003. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(2), 103-110.
- Yıldırım, D., 2009. Geogrid Donatılı Stabilize Dolgu Tabakası ile Kil Zeminlerin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yıldız A., 2002. Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Yılmaz, H. R., Eskişar, T., ve Aklık P., 2005. Geoföam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi Üzerine Bir İnceleme. *İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 17-Haziran-2005, Yıl: 20 Sayı:123, 14-19.
- Yoo, C., 2001. Laboratory investigation of bearing capacity behavior of strip footing on geogrid-reinforced sand slope. *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 279-298.
- Zhan, C. and Yin, J. H., 2001. Elastic analysis of soil-geosynthetic interaction. *Geosynthetics International*, 8, 27-48.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Sarıkamış'da doğdu. İlkokulu ve ortaokulu Sarıkamış'da tamamladı. 2000 yılında ŞBBK Anadolu Lisesi'ni, 2003 yılında Kars Fen Lisesi'ni bitirdi. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü'nde öğrenim görmeye başladı ve lisansının 4. yarısında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde çift anadal programına başladı. 2008 yılında matematik bölümünü bitirdi. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı Matematik Eğitimi Bilim Dalı'nda tezsiz yüksek lisans yaptı. 2010 yılında inşaat mühendisliğini bitirdi. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geoteknik Bilim Dalı'nda yüksek lisans yaptı. İller Bankası A.Ş.'de Teknik Uzman Yardımcısı görevini sürdürmektedir.