İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

RASTGELE DONATILI ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

UZMANLIK TEZİ

EKİM 2015

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

RASTGELE DONATILI ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

UZMANLIK TEZİ

Gökhan BIYIK **Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN**

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

(Tarih)

Rastgele Donatılı Zeminlerin Taşıma Gücü

(Uzmanlık Tezi)

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Eylül 2015

ÖZET

Üzerlerine temellerin oturtulacağı zeminlerin taşıma kapasitelerinin izin verilebilir ölçüde ve oturma değerlerinin de uygun olması konuları geoteknik ihtiyaçlar doğurmuştur. Üst yapıdan gelen yükleri zemine ileten temeller, hem üzerine oturdukları zeminde meydana gelecek gerilmeleri en aza indirmeli hem de yapısal bütünlüklerini korumalıdır. Kayma gerilmesinde yenilmelerin veya aşırı miktarda oturmaların olmasına, zeminde oluşan aşırı gerilmeler sebep olabilir. Bu yüzden temeller tasarlanırken hem geoteknik ve hem de yapısal ihtiyaçlar en ekonomik olacak şekilde göz önünde bulundurulmalıdır. Taşıma kapasitesinin artırılması ve oturmaların izin verilebilecek aralıklarda tutulması amacıyla son yıllarda, zemin içerisine alüminyum şerit, metal şerit, cam yünü levha, çelik çubuk donatı, çelik şerit çubuk, polipropilen lif vb. gibi çeşitli donatılar zemin içerisine yerleştirilmektedir. Burada amaç, yapı temellerinin altındaki zeminin taşıma kapasitesini artırarak oturmaları minimuma indirmektir. Çekmeye karşı dayanıklı ve zeminle arasında yeteri kadar sürtünmeye dayanıklı olan bu donatıların kullanılması ile daha önce kullanılan yöntemlere göre daha hızlı ve ekonomik çözümler elde edilmiştir. Bu çalışmada, rastgele donatılı zeminlerin ideal derinlikte optimum taşıma kapasitesi, kayma mukavemetleri, donatı derinliğinin değişmesinin göçme davranışını nasıl etkilediği ve taşıma gücünün nasıl değiştiği gibi özelliklerin gözlemlenebilmesi amacıyla yapılan birtakım deney ve çalışmalar araştırılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların İller Bankası A.Ş. bünyesinde yapılan işlerde nasıl kullanılabileceği ve ne kadar faydalı olabileceği konuları araştırılmıştır. Uygulama daha önce yapılan bir tesis için örneklendirilmiştir. Bankamız hem altyapı hem de üst yapı hizmeti vermekte olup üstyapının yerleştirileceği problemli zeminlerde zemin ıslahına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada gösterilen her türlü zemin ıslahı yöntemi çalışma alanımız olan sahalara kolay ve ekonomik olacak şekilde uygulanabilirdir.

Anahtar Kelimeler	:	Rastgele donatılı zemin, Polipropilen, Taşıma gücü, Şerit temeller.
Sayfa Adedi	:	73
Tez Danışmanı (Kurum)	:	Gökhan BIYIK
Tez Danışmanı (Üniversite)	:	Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

Bearıng Capacıty Of Randomly Reınforced Soils

(M.S. Thesis)

Şeyda DOĞAN KÜÇÜKÇONGAR

ILLER BANKASI A. Ş.
September 2015

ABSTRACT

The matters of reinforced soils having the permissible bearing capacity of grounds on which bases will be set and their having suitable sitting as well have been sourced from geotechnical needs. The bases conveying the burdens from bodyworks to the ground should both minimize the stretches of the ground and preserve the structural unity. Over stretching of the ground may cause to the collapse of sliding stretches or over sitting. For this reason, both the geotechnical and structural needs should be cared most economically when bases are planned. In order to increase bearing capacity and to keep the sittings between reasonable intervals, aluminum strips, metal strips, glass wool boards, steel bars, steel strip bars, polypropylene fiber etc. have been placed into ground. Our aim is to increase bearing capacity under bases and to minimize sittings. When compared to previously used methods, more speedy and economical solutions have been obtained by using this equipment sufficiently resistant to shrinkage and friction. In this study, some experiments and researches like optimum bearing capacity of randomly reinforced soils at an ideal depth, sliding resistances, ho reinforcing -depth change affects collapsing movement and how the bearing capacity changes have been researched. In addition, how these studies can be used for the projects of the İller Bankası A.Ş. and how much they can be useful have been assessed. This application has been exemplified for a plant. Our bank has been serving for both infrastructures and bodyworks, and it needs breeding of problematic grounds where bodyworks will be located. All methods of ground breeding shown in this study are easily and economically applicable in our project fields.

Key Words	:	Randomly reinforced soil, Polypropylene, Bearing capacity, Strip footing.
Page Number	:	73
Supervisor (İnstitution)	:	Gökhan BIYIK
Supervisor (University)	:	Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışma sırasında değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN'a ve Sayın Gökhan BIYIK ile her zaman beni destekleyen ve her konuda olduğu gibi çalışmalarım sırasında da yardımlarını benden esirgemeyen sevgili eşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi

ABSTRACT.....v

TEŞEKKÜR.....vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ….....ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....x

RESİMLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR.....xii

1. GİRİŞ.....1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 2

2.1. Donatılı Zeminler.....2

2.1.1. Geotekstiller.....3

2.1.2. Geomembran.....7

2.1.3. Geogrid 8

2.1.4. Geoboru.....11

2.1.5. Geofoam.....11

2.1.6. Geohücre.....13

2.1.7. Polipropilen lif 15

2.2. Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri 17

2.2.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar 18

2.2.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar 47

2.3. Rastgele Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri.....54

3. YÖNTEM 58

3.1. Taş Kolon Yöntemi 58

4. ARAŞTIRMA BULGULARI 60

4.1. Kum Zemindeki Deney Sonuçları 60

4.2. Diğer Zemindeki Deney Sonuçları 64

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 65

KAYNAKLAR 67

ÖZGEÇMİŞ 74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması 4

Çizelge 2.2. Geotekstiller malzemelerin bozulma süresi tahmini için kullanılan yöntemler 4

Çizelge 2.3. Polipropilen liflerin teknik özellikleri 16

Çizelge 2.4. Donatı ile İlgili Optimum Değerler 42

Çizelge 4.1. Şarkışla (SİVAS) Atıksu Arıtma Tesisi Zemin Parametreleri Tablosu.....65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Örgülü multifilament geotekstil (x30 büyütülmüş hali) 5

Şekil 2.2. Örgüsüz ısıl işlemle bağlı geotekstil (x30 büyütülmüş hali) 5

Şekil 2.3. Farklı metotlarla üretilen, polipropilenden imal edilen geotekstil malzemelerin çekme deneyi davranışları (Koerner,1986). 6

Şekil 2.5. Tek eksenli geogrid.....8

Şekil 2.6. İki eksenli geogrid 8

Şekil 2.9. EPS Köpüğün hafif dolgu malzemesi ve geoteknik yapılara etkiyen zemin basınçlarının azaltılması amacıyla kullanımı.....13

Şekil 2.13. u/B>0.67 olduğu durumdaki göçme şekli.....20

Şekil 2.14. Donatı sıyrılması olduğu durumdaki göçme şekli 20

Şekil 2.15. Donatı kopması olduğu durumdaki göçme şekli 21

Şekil 2.16. I. Tür Göçme.....28

Şekil 2.17. II. Tür Göçme 28

Şekil 4.1. Dr=%50 rölatif sıkılıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri 61

Şekil 4.2. Dr=%65 rölatif sıkılıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri 62

Şekil 4.3. Şerit temellerde eş basınç eğrileri.....63

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Geomembran.....7

Resim 2.2. Geoboru 11

Resim 2.3. Geofoam 12

Resim 2.4. Geohücre.....14

Resim 2.5. Geohücrenin uygulanması 15

Resim 2.6. Polipropilen lif türleri 17

Resim 3.1. Taş kolon uygulaması.....59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
İLBANK A.Ş.	İller Bankası Anonim Şirketi
B	Temel genişliği
BCR	Taşıma kapasitesi oranı
c	Kohezyon
D_f	Temel derinliği
D_r	Rölatif sıkılık
E	Zeminin boşluk oranı
G_s	Özgül ağırlık
N_c, N_q, N_γ	Taşıma kapasitesi katsayıları
Ø	Kayma mukavemet açısı
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
LR	Donatı boyu
U	Donatı derinliği
Z	Donatı aralığı
N	Donatı tabaka sayısı
DR	Donatı derinliği
B_t	Fiktif temel genişliği
D_{50}	Ortalama çap
IF	İyileştirme faktörü

1. GİRİŞ

Donatılandırılmış zeminlerle ilgili yapılan araştırmalar, günümüzde de hala devam etmektedir. Zemine donatı uygulamasında hedeflenen en önemli noktalardan biri oturmadan kaynaklanan deformasyonlar azaltılarak taşıma kapasitesini artırmaktır. Donatı ilavesi ile donatıyla zemin arasında meydana gelen adhezyon ve sürtünme kuvveti, çekme gerilmelerine karşı dayanımı artırırken, zemini daha güçlü bir hale getirir. Zemin içerisinde kullanılan donatı elemanları, ya belirli bir düzende ya da rastgele bir biçimde teşkil edilebileceği gibi belli bir açı ile de yerleştirilebilirler. Donatı ile zeminin bir bütün olarak çalışabilmesi için, donatının yeterli çekme dayanımına sahip olması, donatının kopması ve sıyrılması gibi tahkiklerin sağlaması ve yeterli büyüklükte sürtünme kuvvetine sahip olması gibi özelliklerin taşınması gerekmektedir (Sağlamer ve Aygıt, 1987).

Ayrık bir şekilde bulunan liflerin zemin içerisine düzensiz olarak yerleştirilmesi, rastgele donatılı zemin kavramını oluşturmuştur. Yapılan son çalışmalar, metal şerit, atık lastik, alüminyum şerit, çelik şerit çubuk gibi malzemelerin zemin içerisinde kullanılmasıyla rastgele donatılı zemin oluşturulduğunu göstermektedir. Rastgele donatılı zeminlerde, donatı zemine doğrudan uygulandığından diğer yöntemlere göre avantaj sağlar. Bir başka teknik üstünlüğü ise sistematik olarak donatılandırılmış zeminlere benzer olarak daha önce belirlenmiş donatılarla orantılı bir şekilde kayma yüzeylerinin oluşmaması ve farklı kısımlarda zeminin güçlenerek mukavemet özelliklerinin artmasıdır.

Rastgele donatılı zeminlerin taşıma kapasitesinin ve mukavemet özelliklerinin araştırılması amacıyla son zamanlarda birçok laboratuvar deneyleri yapılmış olup birbirinden ayrık yapıda olan liflerle donatılandırılmış zeminlerle yapılan çalışmalar da gün geçtikçe artış göstermektedir. Araştırmacılar yaptıkları deneysel çalışmalarının sonucunda bu konu ile alakalı teorik modeller önermiştir. Çalışmalarında, ideal derinlikteki taşıma kapasitesi, göçme biçimin donatı derinliğine bağlı olarak değişmesi, donatı ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti, kullanılacak donatının içeriği, mukavemet özellikleri ve narinliği gibi fiziksel özelliklerin de rastgele donatı zeminleri etkilediği görülmüştür (Yetimoğlu ve Salbaş, 2002).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Donatılı Zeminler

Mühendislik uygulamalarında genelde taşıma kapasitesinin artırılması amacıyla geosentetik malzemeler, donatı olarak kullanılmaktadır.kaplaması olmayan yollarınbasınç dayanımını arttırarak tekerlek izi derinliği oluşumunu engellemek, şev göçmelerini önlemek ve betonarme olmayan çok yüksek istinat duvarlarında istenen parametrelerin sağlanması için donatı olarak geosentetik ürünlerden geogridya da geotekstil malzemeler kullanılmaktadır. Geogridler ve geotekstiller, geosentetik malzemelerin bir olup kullanımları oldukça yaygındır. İnşaat mühendisliğinde ayırma, donatı, filtrasyon ve drenaj amacıyla geotekstiller kullanılırken, geogridler de donatı ve ayırma amacı ile kullanılmaktadır (Koerner, 1994).

Donatılı zeminlerde amaç zemindeki taşıma kapasitesini artırmak olup zeminiçerisine polimerik, metal şerit, lastik vb. malzemeler eklenerek zeminin çekme dayanımının artırılması sağlanmaktadır. Donatılı zemin kavramı, 1960'larda bir inşaat tekniği olarak Fransız yol araştırma laboratuvarında araştırılmıştır. Vidal (1968), araştırma sonuçlarını ve daha önceki araştırmaları birlikte değerlendirmiştir. Donatılandırılmış zeminler üzerine inşa edilen yapıların çok iyi performans gösterdikleri gözlemlenmiştir (Vidal, 1968).

Çekme dayanımı düşük olan zeminlerin, geosentetik malzemelerin donatı olarak kullanılması iledayanımı artırılmaktadır. Geoteknik uygulamalarda, zemine donatı ilave edilmesiyle kolay ve ekonomik çözümler elde edilmektedir. Yapılan son çalışmalarda donatılı zeminler özellikle temellerin altında kullanılmaktadır. Donatıyla zemin arasında yeterli sürtünme kuvveti ve kullanılan donatının çekme mukavemeti yeterli büyüklükte ise donatı ile zemin bütün bir malzeme gibi hareket etmektedir. Literatürdeki araştırmalardagenellikle tek tip donatı malzemesi kullanılarak ve çekme dayanımından zeminin nasıl etkilendiği incelenmiştir. (Çiçek, 2011)

2.1.1. Geotekstiller

Geotekstil, Amerikan standartlarına (Amerikan Society of Testing and Materials-ASTM) göre sistemin, yapının ya da projenin kısımlarından biri olan temel parçası veya zemin, geoteknik mühendisliği ve kaya ile alakalı rastgele bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürünü şeklinde tanımlanmaktadır.

Yapılan araştırmalarda, hem yapı tekniğine uyum sağlayabilen hem de zeminin güçlenmesini sağlayan malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Araştırmalarda, birim alana gelen yükün azaltılması için yükün uygulandığı alan genişletilmiştir. Böylece daha sağlam bir zemin elde edilmiştir.Yapılan önceki çalışmalarda kafes olarak imal edilen demir donatılar, telya daşeritlerdenoluşturulan malzemeler kullanılmaktadır. Ancak daha sonra geogrid, geosentetik gibi malzemeler bu malzemelerin yerlerine kullanılmaya başlamıştır. Hammaddesi sentetik olan bu malzemeler uygulamada;drenaj,takviye, ayırma, yük dağıtıcı, filtre, mekanik koruyucu, izolasyon gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin maliyetlerinin düşük ve uygulamalarının kolay olması kullanımlarını her geçen gün yaygınlaştırmaktadır (Akyüz, 2009).

Geotekstil malzemelerin başlıca türleri, örgülü ve örgüsüz geotekstillerdir. Lifya da şeritlerin kumaş gibi dokunması ile örgülü geotekstiller oluşturulur.Örgüsüz geotekstiller ise mekanik olarak, ısı ya da kimyasal metodlarla elyafların birleştirilmesi ileüretilirler. Geotekstil pazarının önemli bir miktarını örgüsüz tipler oluşturur. (Koerner, 1993).

Fiber malzemeler üretimim için kullanılan hammaddelerin tüketim tüketim sırası aşağıda gösterilmektedir.

- %65 civarında polipropilen
- %32 civarında polyester
- %2 civarında poliamid
- %1 civarında polietilen

Çizelge 2.1'de yukarıda sıralanan malzemelerin temel özellikleri gösterilmektedir (Benek, 2006).

Çizelge 2.1. Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması

POLYMER GRUBU ÖZELLİKLERİ		Polyester	Poliamid	Polipropilen	Polietilen
Dayanım		⬟	◈	O	O
Elastisite Modülü		⬟	◈	O	O
Kopmada Uzama		O	◈	⬟	⬟
Sünme		O	◈	⬟	⬟
Birim Ağırlık		⬟	◈	O	O
Maliyet		⬟	◈	O	O
ÇEVRE ŞARTLARINA DAYAINIM					
U.V.IŞIĞI	Stabilize	⬟		⬟	⬟
	Stabilize Edilmemiş	⬟			
Alkali			⬟	⬟	⬟
Mikro organizma vs		◈	◈	◈	⬟
Fuel oil		◈	◈	O	O
Deterjan		⬟	⬟	⬟	⬟

⬟Yüksek ◈Orta ODüşük

Üretim şekillerine göre geotekstiller,klasik, özel ve kompozit olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

Çizelge 2.2. Geotekstiller malzemelerin bozulma süresi tahmini için kullanılan yöntemler (Koerner ve Hsuan, 1993)

Yöntem	*Prensip*	*Avantajları*	*Dezavantajları*
1 .Gerilme Limiti Deneyi	Kaplanmış boru kesitleri değişik basınçlar altında göçme meydana gelene kadar test edilir.	* ISO, Alman, ASTM normlarında yer almaktadır. * Belirli servis ömrü için elde edilen tasarım basınçları * Tasanın basıncı içiıı güvenlik sayısı uygulanabilir	* Sadece plastik borular için kullanılabilir * Gerilme durumu ve büyüklüğü bilinmelidir * Göçme süreleri çok uzun * Datalaların ekstrapole edilmesi gereklidir
2 Proses Hızı Yöntemi	Kaplanmış boru kesitleri çeşitli basınçlarda test edilir ve göçme meydana gelene kadar sıcaklık artırılır.	* Geosentetiklere adapte edilebilir * Her sıcaklık için esneklikten kırılganlığa geçiş eğrileri * İstenilen servis ömrü ve kabul edilebilen gerilmeler elde edilir	* Sadece polyolefınlerle ilgilidir * İstenen sıcaklıktaki davranışı elde etmek için ekstrapolasyon gerekmektedir
3. Hoechst Çok Parametreli yöntem	Sünme ve gerilme ilişkisi dataları, arazi şekil değiştirme değerleriyle üst üste konur	* Geosentetiklere uygulanılabilir * Yüksek gerilmeler altında polimerlerin davranışları araştırılabilir * Arazi datalarını da içerir	* Sadece HDPE ye uygulanır * Çok miktarda laboratuar dataları gereklidir * Arazideki şekil değiştirmelerin izlenilmesi zordur
4 Arrhenius Modeli	Arazinin özel koşullarına göre yüksek sıcaklıklarda ekstrapole edilmiş eğriler kullanarak dengelenmiş servis ömürleri elde edilir.	* Geosentetiklere uygulanabilir * Arazi koşullarının tam olarak temsil edilmesine imkan sağlar * Tüm polimerlere uygulanabilir	* Deney düzeneğinin kurulması zordur * Lineer aktivasyon enerjisi kabul edilir * Uzun deney süresi gereklidir * Dataların ekstrapole edilmesi gereklidir

Geotekstil üretiminde dokuma stili, polimer ve fiber tipi oldukça önemlidir.

Polimer Tipi: Geotekstiller üretilirken kullanılan polimerik malzemelerinkullanım oranları aşağıda gösterilmiştir.

- Polipropilen (PP) (% 85)
- Polyester (PET) (% 12)
- Polietilen (PE) (% 2)
- Poliamid (PA) (% 1)

Dokumanın Stili: Dokuma şekli aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

-Örgülü
-Örgüsüz

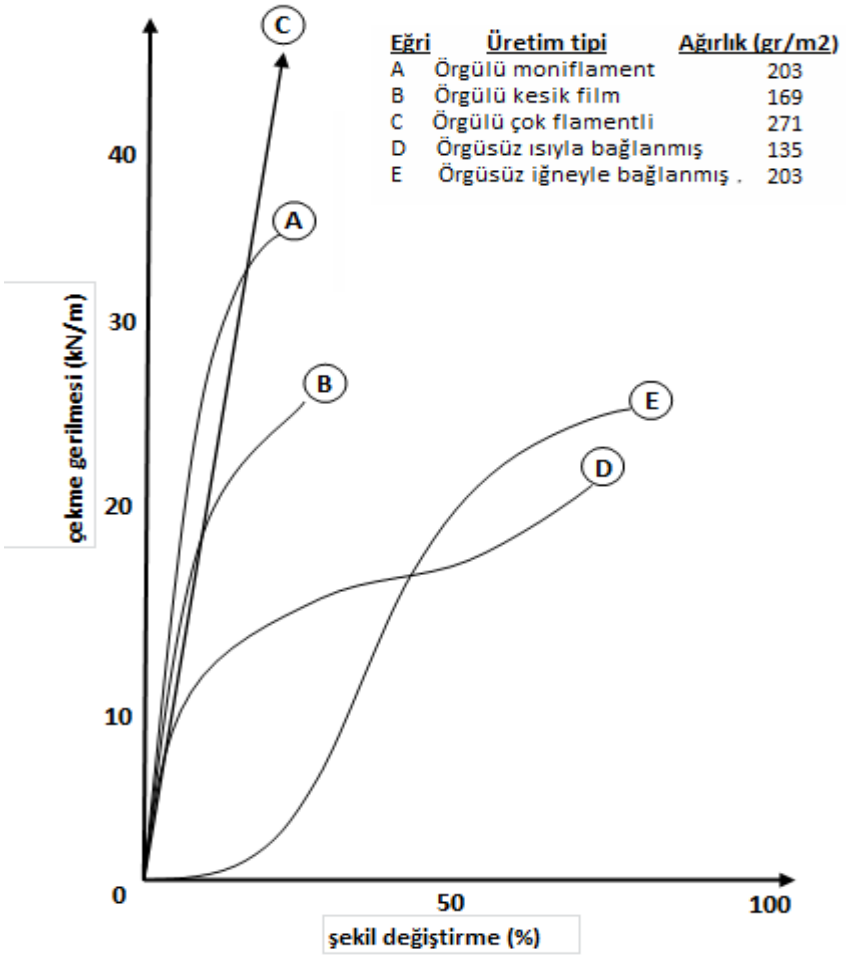
Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de örgülü ve örgüsüz geotekstil örnekleri görülmektedir.

Şekil 2.1. Örgülü multifilament geotekstil (x30 büyütülmüş hali)

Şekil 2.2. Örgüsüz ısıl işlemle bağlı geotekstil (x30 büyütülmüş hali)

Örgüsüz kumaşların üretimi örgülülere göre daha farklıdır. Üretim aşamaları aşağıda gösterilmektedir:

- Liflerin hazırlanması
- Ağ formasyonu
- Ağ bağı
- İleri düzeltme (Aşkın, 2011).



Şekil 2.3. Farklı metotlarla üretilen, polipropilenden imal edilen geotekstil malzemelerin çekme deneyi davranışları (Koerner,1986).

Şekil 2.3'de de görüldüğü gibi A,B ve C'ningerilme dayanımı daha fazladır.E ve D ise tam ters davranış göstermektedir. Örgüsüz geotekstiller, fiberlerin bağlanma şekillerine farklı davranış sergilemektedir. Isı ile bağlanan geotekstillerin çekme dayanımı daha fazlayken, iğnelemeyle üretilenler daha fazla şekil değiştirmektedir.Bu eğriler çekme testi sonucunda elde edilmiştir. (Benek, 2006).

2.1.2. Geomembran

Geomembranlar, Amerikan standartlarına (Amerikan Society of Testing and Materials-ASTM) geoteknik mühendisliğiyle alakalı insanlar tarafından oluşturulan bir yapı, proje ve sistemdeki sıvı akışını kontrol edebilecek kadar geçirgenliği az olan polimer, asfalt ve buna benzer karışımlardan üretilen sürekli membran tipindeki kaplama ve izole bariyeridir. Uygulamada geomembranlar genel olarak geçirimsizliğin sağlanması amacıyla kullanılır. Geomembranlar, tünellerde, kaya dolgu barajlarda geçirimsizlik sağlamasının yanı sıra sıvı atıklar ve su kanalları için kaplama malzemesi olarak, şişen ve don hassassiyeti olan zeminlerin kontrolünde kullanılmaktadır. Asfalt kaplamaların altında sızdırmazlığın sağlanması amacıyla da geomembranlar kullanılmaktadır.

Resim 2.1. Geomembran

Yeraltında geomembranların geoteksitllerle de kullanımları söz konusudur. Bunun nedeni, bu iki malzemenin farklı ancak birbirlerini tamamlar özellik göstermeleridir. Geomembranlar geçirimsiz ve esneklerdir. Geotekstiller ise geçirimli ve gözenekleri olan malzemelerdir. (Demiröz, 1996).

2.1.3. Geogrid

Yüksek mukavemet sahip polimerlerin soğuk işleme metoduyla elde edilip geliştirilmesi ile bu tür malzemeler, yapı malzemesi olarak kullanılmasının yanında zeminde de kullanılmaya başlanmıştır. En yaygın kullanım alanları ise zemin güçlendirilmesidir. Zeminler güçlendirilirken çok farklı yaklaşım, malzeme ve yöntem malzeme olmakla birlikte bu alandaki geogrid kullanımı da hızla artış göstermektedir. Geogridlerin üretimi farklı tiplerde, hammaddesine bağlı olarak farklı mukavemetlerde ve göz açıklıklarında olmaktadır.

Geogrid lifler, geotekstil ipliklere kıyasla daha rijit malzemelerdir. Geogridlerdeki lif mukavemetiyle birlikte düğüm noktalarının mukavemeti de önemli bir değişkendir. Enine liflere zemin tanelerinden gelen yük düğüm noktaları sayesinde boyuna liflere aktarılmaktadır. (Demiröz, 2008).

Geogridlerin çalışma presibi, üzerine granüler ya da dolgu malzemesi serildiği zaman, malzeme tanelerinin, geogridteki göz açıklıklarıyla bütün olarak kenetlenmesidir. Geogridle, mukavemeti yüksek olan elemanlara sürtünerek ve kenetlenerek dolgu ile donatılandırılmış alanlar oluşturulur. (Karagül, 2006).

a. Tek yönlü geogrid (URL-1, URL-2)

Şekil 2.5. Tek eksenli geogrid

b. Çift yönlü geogrid

Şekil 2.6. İki eksenli geogrid

Geogridler üç tipte üretilirler. Plakların delinerek belli sıcaklıkta çekilmesi ile Ekstrüde geogridler üretilir. Dokuma geogridler ise istenen mukavemete ulaşan polyester ipliklerin dokuma tezgahlarında örülmesiyle üretilir. Yapıştırma geogridler malzemeler, lazer ve ışıl işlem uygulanarak polimer şeritlerin birbirine dik olacak şekilde yapıştırılmasıyla elde edilirler. Kullanımları hala yaygın olan polyester, polipropilen, polietilen ve geogrid malzemelerden başka farklı polimerlerden geogrid üretimiyle ilgili çalışmalar çeşitli firmalarca sürdürülmektedir (Aşkın, 2011).

Yüksek çekme mukavemetlerine sahip olan geogridlerin kullanılmasıyla kullanıldıkları ortamdaki stabilite artar. Geogridlerin diğer geosentetiklere kıyasla mukavementinin yüksek olması ve kullanıldıkları ortamla bütünleşebilmeleri bu malzemelerin zemin iyileştirmelerinde, şevlerde ve donatı olarak kullanılmasını sağlarlar. Taşıma gücü problemlerinin çözümünde de kullanılan geogridler, yükü zemine eşit yayarak istenmeyen oturmaları engellemiş olur. Geogridlerin zemin iyileştirmede kulanılmasının en önemli faydaları;

· Zamanla oluşan bozulmaları azaltır.
· Derin çatlakları engeller.
· Yükün eşit olarak dağılmasını sağlar.
· Taşıma gücünü artırır.
· İstenmeyen oturmaları önler.
· Alt temeldeki taşıma gücünü arttırır.

Yolların iyileştirilmesi için kullanılan geogridler, oturma farklılıklarını engellemek ve zemindeki taşıma kapasitesini arttırmak için kullanılırlar. Geogridler üzerine gelen yükü alanlarıa eşit bir şekilde dağıtarak birim alandaki yükü azaltmış olurlar. Yolun standartları yükseldikçe yoldaki dolgular, daha önemli ve yüksek maliyetli olmaktadır. Bilhassa taşıma gücü zayıf olan zeminlerin yol inşaatında sorunlar yaşanmaktadır. Taşıma kapasitesi belirli ölçüde olan dolgularda meydana gelen yataydaki toprağın basıncıyla birlikte dolgunun tabanında yatay kayma gerilmesi meydana gelmekte ve dolgu yana doğru yayılma eğilimi göstermektedir. Zemin kayma direnci seviyesi istendiği gibi olmadığından stabilitesi bozulmaktadır. Bu tür yanal bozulmalar ve istenmeyen oturmalar geogridlerle engellenebilir.

Oluşan dinamik yükler karayollarının aksine demiryollarında zemin oturması ve çatlaklar oluşturur. Zemin üzerindeki dinamik yük kaynaklı gerilmeler ve farklı oturma sebebiyle oluşan çatlaklara engel olmak için geogrid malzeme kullanılır. Dolgu zeminin kalınlığı geogridlerle azaltılabilir. Geogrid malzemenin zemine gelen yükü eşit bir şekilde dağıtması gerilme soğanının da genişlemesine sebep olur. Zeminde oluşabilecek oturmalar da böylelikle engellenmiş olur. (Tunç, 2002).

Yatay ve düşey hareketlerin veya trafik yüklerinin olduğu bölgelerde zeminin zayıf olması özellikle tekerlek geçiş bölgelerinde dolgu tabakasında yerel oturmalar oluşturmaktadır. Burada, geogridlerin sağladığı çekme gerilmenin etkisiyle yük daha geniş alana yayılarak sonucunda yükü dengeleyerek oturmayı engellenmiş olur. Göz önünde bulundurulması gereken husus membran etkisiyle geogridte meydana gelebilecek uzamadır. (Karagül, 2006).

Donatı ve zeminin birbiri üzerindeki etkisi donatılı zemin yapılarının kompozit malzeme gibi davranmasına sebep olur. Bunun sonucunda zemindeki kayma dayanımı ve göçmeden önce oluşan deformasyon kapasitesinde artma meydana gelir.

Zemin ve donatı etkileşiminin sebepleri;

1) Çekme direnci: Zemindeki geogrid tabaka üzerinde meydana gelen çekme gerilmelerinden kaynaklanır. Çekme gerilmeleri iki bileşenden oluşur:

a) Geogrid malzeme katmanları boyunca zemindeki tanelerle donatı arasındaki sürtünme dayanımı
b) Geogrid katmanları üzerinde bulunan enine nervürlerle zemin taneleri arasındaki sürtünme dayanımı

2) Kayma direncini ise iki bileşen oluşturur. Bunlar:

a) Geogridlerdeki boşluklara giren zemin taneleriyle donatı arasındaki kayma dayanımları
b) Geogridlerdeki boşluklara giren zemin taneleriyle yine geogrid arasındaki kayma dayanımları (Demiröz, 2008).

2.1.4. Geoboru

Geoborular, su, petrol ve gaz vb. likit maddelerin yeraltında taşınmasında kullanılmaktadır. Geoboruların üretiminde, polipropilen (PP), polivinil klorit (PVC), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), akrilonitril bütadien stiren (ABS), polibütilen (PB) ile seliloz asetat bütrit (CAB) gibi malzemeler kullanılmaktadır. Geoboruların kullanım alanları aşağıda gösterilmektedir.

· Tünellerde sızma drenajı
· İstinatların arkasındaki boşluk suyunun drenajı
· Demiryollarının, hava alanlarının ve karayollarının kenar drenajı
· Kaya şevlerinde ve zeminde oluşan sızmalar için kuşaklamalarda drenaj
· Atıksu dreni
· Kimyasal taşınan boru hatlarında
· Atık malzeme ve zemin dolgularının sularının uzaklaştırılması amaçları ile kullanılırlar (Koerner, 1999).

Resim 2.2. Geoboru

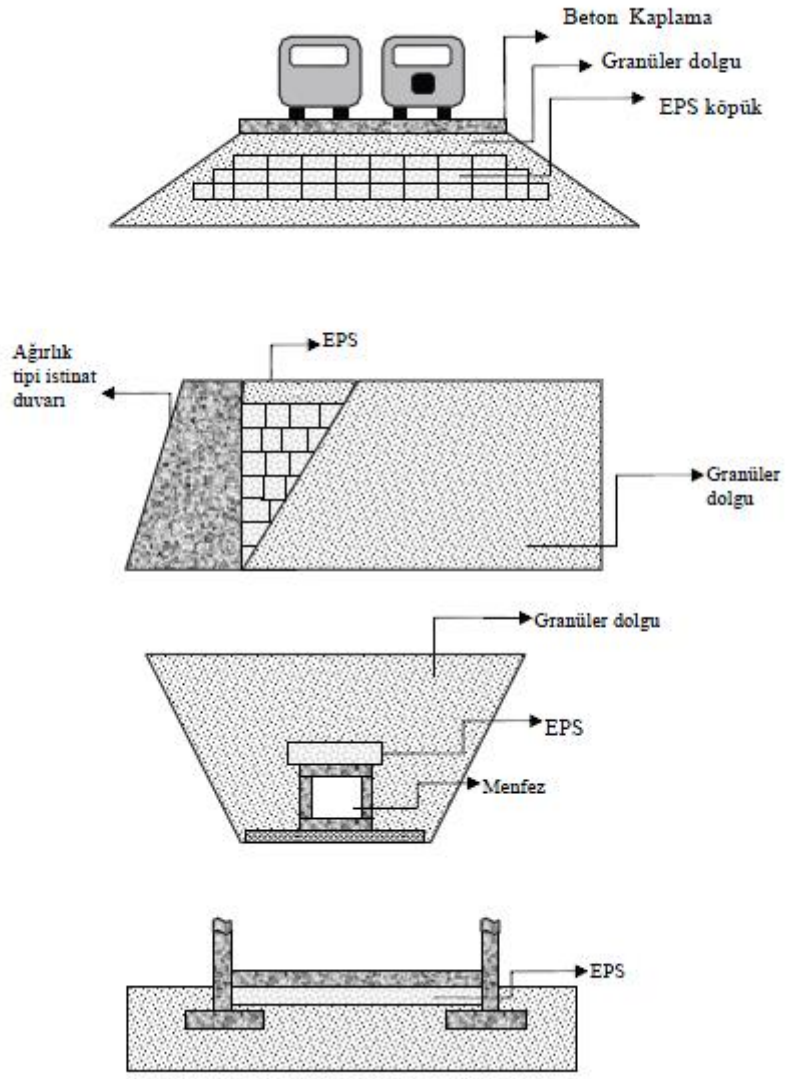
2.1.5. Geofoam

Genleştirilmiş polistren sert köpük, EPS malzemenin geoteknik uygulamalarda kullnaımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. EPS, petrolden elde edilmekte olup pentan gazı ve buhar ile reaksiyona girdiğinde kapalı gözenekli yapıya dönüşen bir malzemedir.

Beyaz renkteki EPS'ler yaygın olarak ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmakta olup parlama noktası 360-370 C˚yi bulmaktadır. Bu da malzemenin kolayca tutuşma olasılığını ortadan kaldırmaktadır. EPS'nin bir diğer avantajı ise malzeme fiziksel ve kimyasal özelliğini kaybetmeden otuz yıl dayanabilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde EPS'ler, konsolidasyon oturmalarının önlenmesi, şev stabilitesinin artırılması, istinat yapılarına etki eden statik ve dinamik zemin basınçlarının düşürülmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. olmuştur. (Ertuğrul, Trandafir ve Özkan, 2012).

Geofoamlar, polistiren köpük malzeme bünyesindeki EPS ve XPS (sıkıştırılmış polistiren) olmak üzere iki türde üretilirler. geofoam, plastik ya da camsı köpükten oluşan bir malzemedir. Özellikle don ve çözünmeden etkilenmenin fazla olduğu yerlerde bulunan yollarda, demiryollarında ve hava alanı kaplaması altında, zayıf ve yumuşak zeminlerin üzerine yapılan dolguların içinde, geofoam kullanılmaktadır. Geofoamların ülkemizde uygulama alanları az olup geosentetiklerle geokompozit oluştururlar. (Yılmaz, Eskişar ve Aklik, 2005).

Resim 2.3. Geofoam



Şekil 2.9. EPS Köpüğün hafif dolgu malzemesi ve geoteknik yapılara etkiyen zemin basınçlarının azaltılması amacıyla kullanımı

2.1.6. Geohücre

Uygulamada genellikle, yumuşak ve zayıf bir zeminle karşılaşılması durumunda yük desteği sağlamak için projelendirme ihtiyacı doğar. Yüzeydeki zemin tabakalarının stabil durumda olmamaları ya da çevresel sorunların varlığı, yük altında zemine destek verecek tabakaların oluşturulması ihtiyacını ortaya çıkarır. Geochücre destek sistemlerinde hücre içine konulan granüler dolgu tabakalarının yük-deformasyon performansı, hcrelerin tek olarak kuşatılmış dayanma gücünden ve yan hücrelerdeki dolgu malzemesinin pasif direnci ile sağlanır. Kesme gerilmeleri vasıtasıyla komşu hücrelere düşey gerilmeler aktarılır. Bu sistemle interlock oluşumu sağlanır ve kenetlenme mekanizması geliştirilmiş

olur. Bu yüzden üç boyutlu geohücrelerin rijitliği fazladır (Şekil 2.10). Geohücre, içerisine konulan granüler dolgu tabakalarının kayma dayanımını belirgin bir şekilde arttırır ve aynı zamanda düşük kalitedeki agreganın da kullanılabilmesine olanak sağlar. Yapı ve hücresel sistem yükleri eş zamanlı olarak komşu hücrelere dağıtarak doğal zemine aktarılacak yükün azaltılması sağlanır. Bu sayede dolgu kalınlığı da düşürülmüş olur.

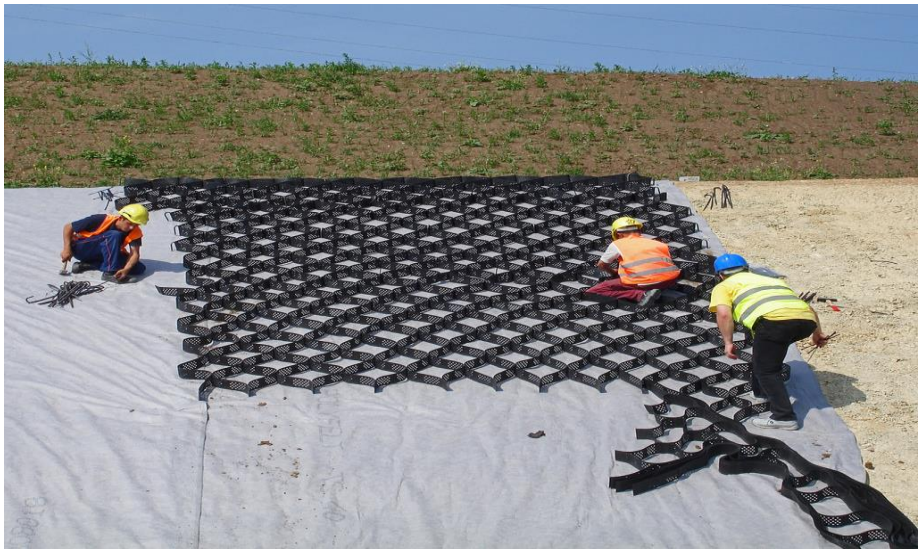
Geohücrenin en büyük avantajlarından biri, genellikle 150–190 kPa olacak şekilde yüksek bir zahiri kohezyon davranışı göstermesi ve bundan dolayı izin verilen taşıma gücü değerini önemli ölçüde arttırmasıdır. Bu sebeple de daha ekonomik olabilecek temel seçenekleri sunmaktadır.

Doğal zemin koşullarındaki en elverişsiz şartlar ve BCR'nin en az olduğu değerler için, mukavemet artışının önemli olduğu görülmektedir. Bu da gösteriyorki zeminin doğal dayanımının artması daha büyük yüklemeler altında daha ekonomik sonuçlar sağlamaktadır (Yılmaz, Yurtcan ve Uğur, 2008).

Resim 2.4. Geohücre

Rajagopal, Krishnaswamy ve Latha (1999), geohücrenin granüler zeminlerde kullanması ile dayanım ve rijitlikteki artış miktarlarını araştırmışlardır. Yapılan üç eksenli deneylerin sonuçlarından elde edilen verilere göre, taneli zeminlerde geochücre kullanılmasının "görünen kohezyonda" hissedilebilecek bir artmaya neden olduğu

görülmektedir. Zeminde geohücre kullanılmasının zemin rijitliğinde de bir artmaya neden olduğu görülmüştür. (Rajagopal, Krishnaswamy ve Latha, 1999).



Resim 2.5. Geohücrenin uygulanması

2.1.7. Polipropilen lif

Polipropilen lifleri, kullanımları en az insanlık tarihi kadar eski tabi donatı saman ve hayvan kıllarının günümüz teknolojisi ile uyumlaştırılmış hali olarak tanımlayabiliriz. Polipropilen lifler sıva, harç, beton ve püskürtme beton uygulamalarında çok sık kullanılması ile birlikte son zamanlarda zemin ıslahı çalışmalarında da kullanımı hızla artş göstermektedir. Konuyla alakalı bilimsel çalışmalar da son yıllarda artmıştır.

Polipropilen, ziegler–natta katalizörleri olan TiCl3, DEAC (dietilalüminyumklorür) veya bazı metalosen katalizörlerinin var olmasında propilen monomerinin polimerleşmesinden oluşur.

Polipropilen türleri dünya da 150'den fazla olarak üretilmektedir. Bunlar fiziksel özellik açısından özellikle birbirinden farklı özellikler taşırlar. Polipropilenlerin bazı teknik özellikleri aşağıda gösterilmektedir (Anonim, 2009) :

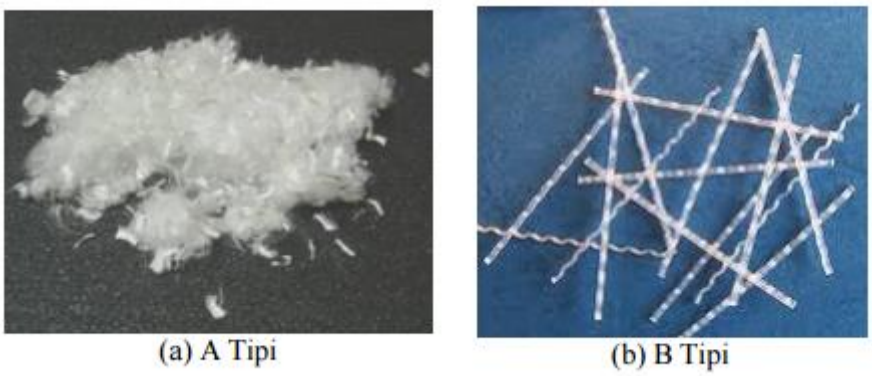
Çizelge 2.3. Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Özellikler	A tipi lif	B tipi lif
Şekil	Stable fiber	monoflament
Boyut (mm)	15	45
Özgül ağırlık (g/cm^3)	0.92	0.91
Elastisite modülü (GPa)	3.15	3.5
Çekme dayanımı (MPa)	620	724
En büyük uzama (%)	22	15
Elektrik geçirgenliği	Düşük	Düşük
Erime noktası (^{o}C)	160	164
Yanma noktası (^{o}C)	590	550
Isıl iletkenlik	Düşük	Düşük
Alkalilere direnci	Yüksek	Yüksek
Asitlere direnci	Yüksek	Yüksek
Tuzlara direnci	Yüksek	Yüksek

Polipropilenler kimyasal direnç bakımından iyi olan malzemelerdir. Tuzların, asitlerin ve bazların sulu çözeltilerinden etkilenmez; alkol ve deterjan dayanumı da oldukça fazladır. Aromatik hidrokarbonlarda, yağlarda, holojenli hidrokarbonlarda sıcaklığın yüksek olmasu durumunda şişme olur. Polietilenlere göre ışık, ısı ve yükseltgenlerden daha çok etkilenmektedir. Bundan dolayı polipropilenlerin üretilme sürecinde antioksidan ve ultraviyole ışık absorblayıcılarla stabil hale getirilmesi gerekmektedir (Anonim, 2009).

Düşük ve orta konsantrasyonda bulunan kimyasallara karşı dayanımlarının yüksek olması bu grubun temel özellikleri arasındadır. Fakat sünmeye karşı hassassıkları kolay tutuşmalarına sebep olmaktadır. Geotekstil üretiminde LDPE ve HDPE olmak üzere farklı iki türde polietilen kullanılmakta olup LDPE :Yoğunluğu düşük polietilen (920-930 kg/m3), HDPE: Yoğunluğu yüksek polietilen (940-960 kg/m3) LDPE; Bükülme özelliğinin önemi ve su buharı dayanımının yüksek olmasının istendiği zaman kullanılmaktadır. HDPE, LDPE ile kıyaslandığında sert ve katılığının fazla olduğu bir yapıda olduğu görülür. HDPE'nin kimyasal direnci de LDPE'ye göre daha fazladır. Polietilen malzemeler, uzun süre ışıkta kalması, yüksek sıcaklığa maruz kalması veya nemli ortamlarda kalması durumunda gevrekleşerek özelliğini kaybeder. Fakat bu durum polietilene katkı maddesi katılmasıyla iyileştirebilir. PE ürünler saklanırken bu hususlara dikkat edilmelidir (Benek, 2006).

%100 polipropilen esaslı ve çürümeyen ürünler olan polipropilen elyafları, kolay uygulanabilen malzemeler olup ilave işçilik gerektirmezler. Bu elyaf malzemeler betonun ve sıvanın kalitesini artırırken, zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadırlar. Polipropilen malzemeler betona ya da zemine katıldığında en iyi sonucu verip kullanım alanlarını her geçen gün yaygınlaştırmaktadır. Polipropilen lifler katıldıkları ortam içerisinde üç boyutlu mikro donatı ağı oluşturarak, betonda bazı özellikleri iyileştirebilmektedir. Metal elyaf, hasır demir ve kümes filesi gibi kullanılan diğer alternatif donatı sistemleriyle polipropilen lifler karşılaştırıldığında polipropilenlerin en hafif mikro donatı sistemi olduğu görülmektedir. Bu malzemeler katıldıkları ortamdaki ölü donatı ağırlığını ortadan kaldırırlar.



Resim 2.7. Polipropilen lif türleri

2.2. Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri

Donatılı zeminler üzerine yapılan birçok deney ve çalışma literatürde mevcuttur. Kum zeminler ve diğer zeminler üzerine oturan temellerde kullanılan donatılar, temel taşıma gücünü ve oturmada gösterilen davranışı araştıran çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde, donatılandırılmış zemin tabakaları üzerine oturtulan yüzeysel temellerin taşıma gücü, oturma davranışları, göçmeleri ve göçme yüzeylerinin nasıl olduğu gibi konulara, zeminin kohezyonlu veya kohezyonsuz olması, kullanılan donatının türü (metal lif, polipropilen lif, şerit çubuk veya geotekstil, geogrid), temelin şeklinin ne olduğu (kare, şerit dikdörtgen, halka ve daire), yüklemenin nasıl olduğu (eksenel, eksantrik, statik ya da dinamik), zemin içine donatının ne şekilde yerleştirildiği (eğimli, yatay ya da düşey) ölçülere dayanarak incelenmiştir.

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

2.2.1. Kum zeminler üzerindeki çalışmalar

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

Binquet ve Lee (1975a) yaptıkları laboratuvar model deneylerde, konu ile 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 seriden oluşan model deneyler yapılmıştır.

· **A serisi:** Kum zemin katmanının derinde ve homojen olarak bulunması hali,
· **B serisi:** Kum zemin tabakasının altında çok yumuşak (kil veya turba) bir katman bulunduğu durum,

· **C serisi:** Kum zemin katmanı altında belirli boyutları olan fazla yumuşak zemin (kireçtaşı ya da 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 durumumda, BCR'de (Taşıma Kapasitesi Oranı) büyük ölçüde artış elde edildiği söylenmiştir.

Donatı tabaka sayısının, N'nin 4 ile 6 arasında olması durumunda, taşıma kapasitesi oranında takribi 2 ile 4 kat değerinde artma 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≈0,30B olduğunda ulaşılmıştır. Ancak bu halde de üstteki donatı katmanlarında kopmaların olduğu görülmüştür.

Deneyde, göçme tiplerinin donatının sayısı ve başlangıç donatı derinliğine göre değiştiği gözlenmiştir. Başlangıçtaki donatının derinliğinin, u>0,67B olması durumunda, donatıların rijit bir taban davranışı göstermekte olduğu ve göçme olduğu üst kısımdaki zemin kaymasıyla oluşmaya başladığı söylenmiştir. u<0,67B olduğundaysa farklı iki hal olduğu gözlemlenmiştir. Donatı sıyrılmasından dolayı oluşan göçme, N≤2 olduğunda, üst donatı tabakalarında kopmaların meydana gelmesiyle oluşan göçmenin ise, N≥4 olduğu durumda oluştuğu ifade edilmiştir.

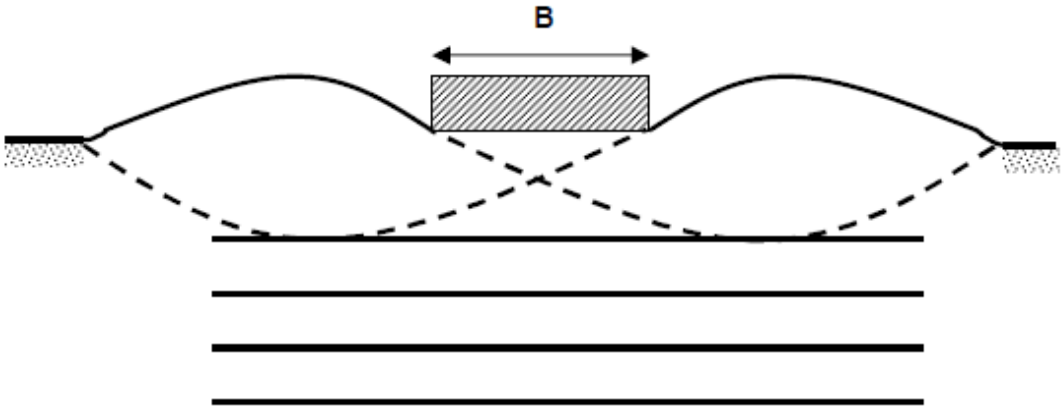
Yük-oturma eğrilerindeki kırılganlığın B serisinde, A serisine göre daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca zemin tabakası yumuşak olduğundan B serisindeki BCR'nin, A'daki seriye kıyasla küçük ve oturmaların da daha fazla olduğu görülmüştür.

N>4 ve u>0,67B olarak seçilmesi durumunda, C serisindeki taşıma gücünde 2 ile 3 kat arasında bir artma olduğu ifade edilmiş olup donatı katmanlarının, N>3 olduğu halde de BCR'de birden bire artış gözlenmiştir.

Farklı zemin şartlarında yapılan model deneylerin, donatılandırılmış zeminlerdeki davranışın anlaşılması için teorik olarak yapılan çalışmalara kıyasla sonuçların daha doğru olduğu görüşüne varılmıştır.

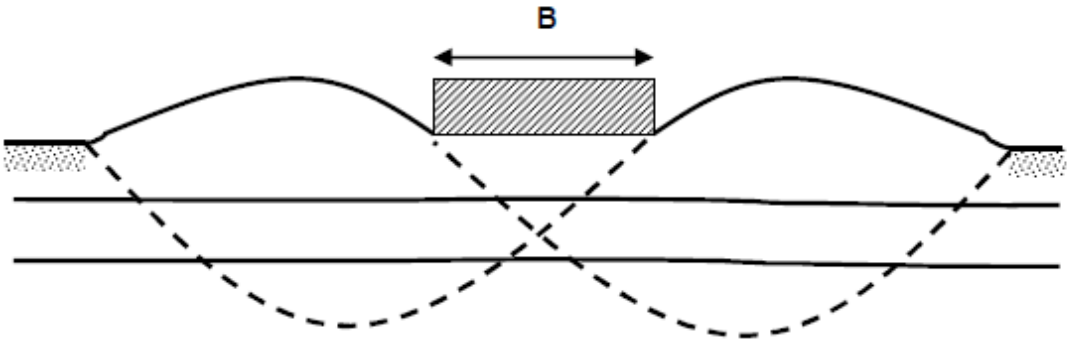
Binquet and Lee (1975b), donatılandırılmış kum zemine oturan şerit temellerdeki taşıma gücünü incelemek amacıyla yaptığı model deneylere ek olarak teorik çalışma yaparak konuyu araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda görülen çeşitli göçme şekilleri dikkate alınarak, taşıma kapasitesi analizleri yapılmıştır. Donatılı zeminlerde, donatı elemanlarının dayanımına ve yerleştirilme şekline göre farklı göçme şekilleri oluştuğu savunulmuştur. Çalışmaya göre,

Başlangıçta donatılandırılan tabaka üzerinde oluşan kayma göçmesi; Başlangıç donatı tabakasının derinliğinde (u/B>0,67) oluşan bu göçme Şekil 2.7'de gösterimiş olup bu durumunda donatı katmanları rijit bir taban davranışı göstermekte ve kayma bölgesi üst kısımda kalmaktadır.



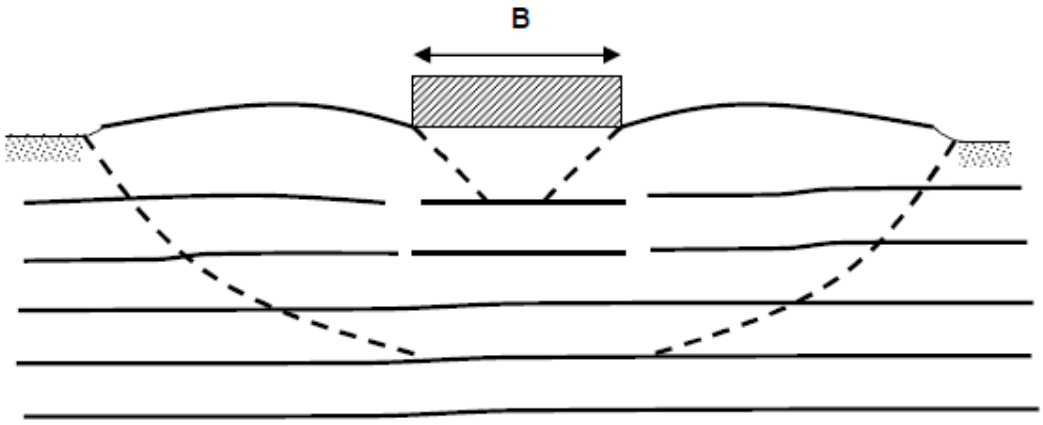
Şekil 2.13. u/B>0,67 olduğu durumdaki göçme şekli

Donatı sıyrılması nedeniyle oluşan göçme; Donatıların seyrek (u/B<0,67 ve N<3) olması ya da sürtünme direnci oluşturmada donatı uzunluğunun yetmemesi durumunda bu tip göçme meydana gelmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Donatı sıyrılması olduğu durumdaki göçme şekli (u/B<0,67 ve N<3)

Donatının kopması sebebiyle medyana gelen göçme; Donatının oldukça uzun olması ve çok az aralıklı (u/B<0,67 ve N>3) olduğu halde oluşan bu göçme Şekil 2.15'de gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Donatı kopması olduğu durumdaki 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.

Milovic (1977), kumlu zeminler üstüne oturacak şerit temellerin taşıma gücünü incelemek amacıyla laboratuvar deneyleri ve arazide plaka yükleme deneyi olmak üzere birçok deney yapmıştır. Laboratuvar çalışmasında, B=25 cm genişliğinde ve çapı 6-12 mm çelik şerit çubuklar kullanılırken arazideki deneylerde ise D=60 cm çapında dairesel temel ve 15 mm çaplı polipropilen kordon donatı kullanmıştır. Araştırmacı deneysel çalışmalarının sonucunda donatı boyunun L_R=4B ya da L_R=4D olarak seçilerek zemin içine bir katman şeklinde yerleştirilmesiyle donatı taşıma gücünde artış olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca donatılı zemindeki meydana gelen oturmanın donatı olmayan zeminlere (kumlu) göre az olduğunu vurgulamıştır.

Bassett ve Last (1978), yaptıkları çalışmada temel zemininde üst yapı yüklerinin oluşturduğu asal çekme birim deformasyonların hsaplanmasında teorik analiz yöntemini kullanmışlardır. Deneylerde kullanılan model şerit temel plak, B=10cm genişliğinde ve L=20 cm uzunluğundadır. Deney, orta ve gevşek sıkılıktaki bir kumlu zemin tabakası üstünde yapılmış olup donatı malzemesi olarak pipet ve çelik çubuk kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda donatılandırılmış zemin nihai gücünde ve yük-oturma eğrisi rijitliğinde donatı kullanılmayan duruma göre iki kat daha fazla artış olduğu gözlemlenmiştir.

Andrawes, McGown ve Al-Hasani (1978) yaptıkları model deneylerle, pürüzsüz ve pürüzlü çelik levha ve polimer örgüsüz geotekstil levha donatı olarak kullanmıştır. Yaptıkları çalışmada, donatının yüzey pürüzlülüğü, donatının uzaması ve donatı derinliği

gibi konuların gevşek kumlu zemin katmanı üstüne oturan temelin taşıma gücüne ne kadar etki ettiğini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, taşıma kapasitesinin en yüksek olduğu, optimum derinliğinin u/B=4 olduğunu belirtmişlerdir.

Saran ve Talwar (1981) yaptıkları deneyde, metal şeritler ve cam yünü levhalar kullanmışlardır. Çalışmalarında donatı tabakası derinliğini ve donatı uzunluğunu parametre olarak kullanmış ve donatılı orta-sıkı kuma oturtulan bir şerit temel üstünde model deney yapmışlardır. Araştırmacıların yaptıkları çalışmada N>6 ve u>B/3 olduğu durumda donatının, temel tabanından itibaren 2B derinlikte yerleştirilmesi durumunda en ideal sonucun elde edildiği belirtilmiştir.

Giroud ve Nioray (1981) yaptıkları çalışmada, kohezyonlu bir zemin üstünde bulunan kaplama olmayan yollardaki tasarımda dolgu ile kil arasına geotekstil yerleştirmiş ve çalışma sonucunda taşıma gücünün arttığı görülmüştür. Ayrıca gereken dolgu hacminin de %20 ile %60 arasında düşürülebileceğini söylemişlerdir.

Ingold ve Miller (1982) çalışmalarında, geogrid donatılı kil zeminlerin üzerindeki şerit temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Çalışmada, B=5 cm genişliğindeki şerit temel plak kullanılmıştır. Deneylerdeki donatı konfigürasyonunda u, z ve N parametreleri kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, Düşey donatı aralığı z'nin artırılması ile kil zemin taşıma gücünün düştüğü ve s/B=%10, %20 gibi büyük oturma seviyelerinde, u/B'nin de artırılmasıyla taşıma kapasitesi oranının azaldığı, s/B=%5 gibi küçük oturma seviyelerinde ise taşıma kapasitesi oranının en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Bu durumda u/B'nin de yaklaşık olarak 0,45 olduğu görülmüştür.

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 derinliğ, 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 her iki temelde de benzer davranışın olduğu,

· Dairesel ve sürekli temelin oturduğu herhangi bir düzeyde, taşıma gücünün en fazla u=0,47 B ya da u=0,47 D donatı derinliğinde olduğunu,

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

Fragaszy, Lawton ve Asgharzadeh-Fozi (1983) kum zeminler üzerinde yaptıkları model deneylerde donatı uzunluğu, donatı yerleşimi ve kum sıkılığını taşıma gücünü nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Deneylerde, B=76mm genişliğinde şerit ve B=63.5mm genişliğinde kare temeller ve donatı olarak alüminyum folyolardan kesilmiş şerit donatılar kullanılmıştır. Donatı konfigürasyonunda ise N'nin 3, u/B=0.3~0.4, Dr=%47 parametreleri kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kumlu zeminin rölatif sıkılığı Dr=% 51-% 90 arasında ve s/B= % 10 oturma oranında olduğunda taşıma kapasitesi değerlerinin yaklaşık olarak eşit olduğu görülmüştür. Sıkı kumda % 4 oturma oranı için hesaplanan taşıma kapasitesi değerlerinin gevşek kuma göre daha fazla olduğu görülmüştür. Donatı uzunluğunun L_R=3B~7B aralığında olduğunda ise taşıma gücünün çok fazla arttığı ancak L_R>7B olması durumunda taşıma gücünde herhangi bir artış olmadığı tespit edilmiştir.

Guido, Biesiadecki ve Sullivan (1985), çalışmalarında kum zemin üzerine oturan kare temellerde geotekstil donatı kullanılması durumunda yük-oturma davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında B=31cm genişliğinde kare temel ve özellikleri farklı olan altı tür örgülü ve örgüsüz levhalar ile geotekstil donatı kullanmışlardır. Donatı konfigürasyonunda ise N, u, z, B ve donatı çekme mukavemeti parametreleri kullanılmıştır. Rölatif sıkılığı D_r=% 50 ve içsel sürtünme açıları (Ø=35°, 36°) olarak hazırlanan deney kumu üzerinde indeks özellikleri farklı alınarak tekrarlanan deneyler yapılmış ve zemin cinsinin deney sonuçlarını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda,

· Kum zeminde N>1 olması durumunda ilk donatı tabakasının derinliği u'nun artması ile taşıma kapasitesi değerinin azaldığı,

· N=3 olması durumunda BCR değerinde artış olduğu, N>3'de ise BCR değerinde az miktarda azalma olduğu,

· u/B<0,15 olması durumunda zımbalama göçmesine benzeyen yük-oturma eğrilerinin görüldüğü,

· Donatı genişliği B_R'nin 2,5B efektif donatı genişliğine kadar taşıma kapasitesi oranınında donatı genişliğiyle artış olduğu ve daha fazla büyüklükteki donatı genişliğinde taşıma kapasitesi oranının sabit olduğu ve değişmediği,

· Donatının çekme dayanımının fazla olması durumunda donatının kalınlığı artırıldığında daha az BCR elde edildiği görülmüştür.

Dembicki, Jermolowicz ve Niemunis (1986), çalışmalarında sıkı kum-geotekstil-yumuşak kil gibi tabaka sayısı fazla zeminin eksantrik, eksenel ve eğik yükler altında yük-oturma davranışının nasıl olduğunu araştırmışlardır. Deneysel çalışmada, çekme dayanımı ve kalınlıkları farklı olan geotekstil levhalar donatı olarak kullanılmış ve model deneyler zemin üzerine oturan B=20cm genişliğindeki şerit temel üzerinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda,

·Donatı derinliği, u/B=1,0 ve s/B=%5 oturma olması durumunda taşıma gücünün en maksimum değeğrde olduğu kaydedilmiştir.

·Donatı boyu, L_R'nin 5B'den 13B'ye çıkarılması durumunda taşıma kapasitesi oranı, BCR'nin 1,10'dan 1.30'a yükseldiği görülmüştür.

·Donatı boyu, L_R'nin taşıma kapasitesi oranını değiştirmediği tespit edilmiştir.

Guido, Dong ve Sweeny (1986), çalışmalarında kum zemine oturan şerit temelin geotekstil ve geogrid donatı kullanılması sonucu yük-oturma davranışını araştırmışlardır. Çalışmada geotekstil ve geogrid donatı birbirleri ile kıyaslanmıştır. Deneylerde kullanılan geogrid TENSAR SS1 ve DUPONT TYPAR 3401 örgüsüz geotekstil donatı olarak kullanılmış olup kum zemin %55 rölatif sıkılıkta hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada, kum

zemin üzerine B=305mm genişliğinde kare temel oturtulmuştur. Çalışmada kum zeminin hem geogrid hem de geotekstil donatı kullanılması durumunda göçme olduğu andaki taşıma gücünün donatı konfigürasyonundaki parametreler ve bu parametrelerdeki değişmenin benzer olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar sonucunda,

· Donatıların aynı yerleşim düzeninde olması durumunda, geogridle donatılandırılan kumların nihai taşıma gücünün geotekstille donatılandırılan kumlu zemine kıyasla daha büyük olduğu,

· İlk donatı tabakası derinliğinin ve düşey donatı aralığının küçülmesiyle taşıma kapasitesi oranı BCR'nin arttığı,

· N=3 ve donatı genişliğinin 2.5B olması durumunda, BCR değerlerinde, N ve B_R değerleriyle birlikte artış olduğu görülmüştür. N>3 ve B_R>3 olması durumunda ise taşıma kapasitesi oranının sabit olduğu,

· Geogridle donatılandırılan kumlarda, donatı-zemin etkileşimi bakımında donatı çekme deneylerinin geotekstille donatılandırılan kumlardaysa kesme kutusu deneylerinin yapılmasının daha doğru olacağı görüşüne varılmıştır.

Guido, Knueppel ve Sweeny (1987), daha önce yaptıkları çalışmalarına benzer bir şekilde geogrid donatılı kumlu zeminlerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Deneylerde TENSAR SS1, SS2, SS3 geogrid donatı kullanılmış olup u, N, z ve B_R donatı konfigürasyon parametrelerinin taşıma gücüne etkisini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda, geogridle donatılandırılan kumlu zemine oturan kare temeller için elde edilen yük-oturma eğrileri zımbalama göçmesini belirleyecek şekildedir. N=3 ve donatı genişliğinin 2,5B olması durumunda taşıma gücünde N ve B_R değerleriyle artış olmaktadır. N>3 ve B_R>3 olduğunda ise taşıma kapasitesi oranının sabit değerde olduğu görülmüştür. Üç tip geogrid için de, N>1 olduğunda kum zeminde ilk donatı katman derinliğinin azalması durumunda taşıma kapasitesi oranı değerleri büyürken, SS3 türü geogridlerde öteki tür iki geogride kıyasla farklı olan u/B-BCR bağlantısı olduğu görülmüştür. Zemin tane çapı büyüklüğünün ve grid açıklığının, donatı çekme mukavemetine göre zeminin taşıma gücü için daha önemli olduğu belirtilmiştir.

Verma ve Char (1988) yaptıkları model deneylerde, üzerine 10cm genişliğinde şerit temel konulmuş kum zemine, donatıları düşey olarak yerleştirerek taşıma gücündeki değişimi araştırmışlardır. Donatı malzemesi olarak 1,7-2,51mm çapında galvanizli çelikler kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda donatılandırılmış zeminin donatı olamayan zemine kıyasla üç kat fazla nihai taşıma kapasitesinde olduğu ve donatılandırılmış zeminde pekleşmeyi gösteren yük-oturma eğrileri elde edildiği görülmüştür. Deney sonuçlarına göre taşıma gücünde görülen artmanın sebebinin, donatıların kazıklı temele benzer davranış göstermesi, sürşarj yükünü arttırması ve psödo kohezyon'dan olduğunu ileri sürmüşleridr. Donatılandırılmış zemin taşıma gücünün, Terzaghi (1943) formülü ile de hesaplanabileceği belirtilmiştir.

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 tutulurken, temel tabanındaki ve kil yüzey arasındaki mesafe H=0B~3B, donatı genişliği B_R=2B~10B, arasında seçilmiştir. Donatılandırılmış zemindeki taşıma kapasitesi oranı donatı kullanılnmayan zemine kıyasla %8 daha fazla ve ideal bir H/B oranının 0,75 olduğu görülmüştür. 4B'den fazla olan 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 sıkılıkta üniform kum zeminde, donatı malzemesi olarak alüminyum şeritlerle ızgara olacak biçimde birbirlerine kaynaklanmış çelik çubuk donatı kullanarak model deneyler yapmıştır. Çalışmada donatı yerleşim düzeni N, donatı genişliği B_R, düşey donatı aralığı z, ilk donatı tabakasının temel tabanından derinliği ise u olarak tanımlamış ve elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

1. Donatı kalınlığı üç kat dahi arttırılsa taşıma kapasitesi oranı değerindeki artış %15'i geçmemektedir.
2. Temel parametreleri ve donatı sabit tutularak çelik çubukların birbiriyle 90°'lik açıyla kaynaklanması halinde en büyük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır.
3. Taşıma kapasitesinin en büyük değere ulaştığı durum, alimünyum şerit donatı temelin kenarına paralel olacak bir biçimde iki sıra olarak yerleştirilmiş olup plandaki temel

alanının dışındaki 2 sırada bulunan alüminyum şerit donatının taşıma gücüne herhangi bir etkide olmadığı gözlenmiştir.

4. Taşıma kapasitesinin N=4 değerinde arttığı, N>4 olması durumundaysa taşıma gücündeki artmanın fazla olmadığı görülmüştür.

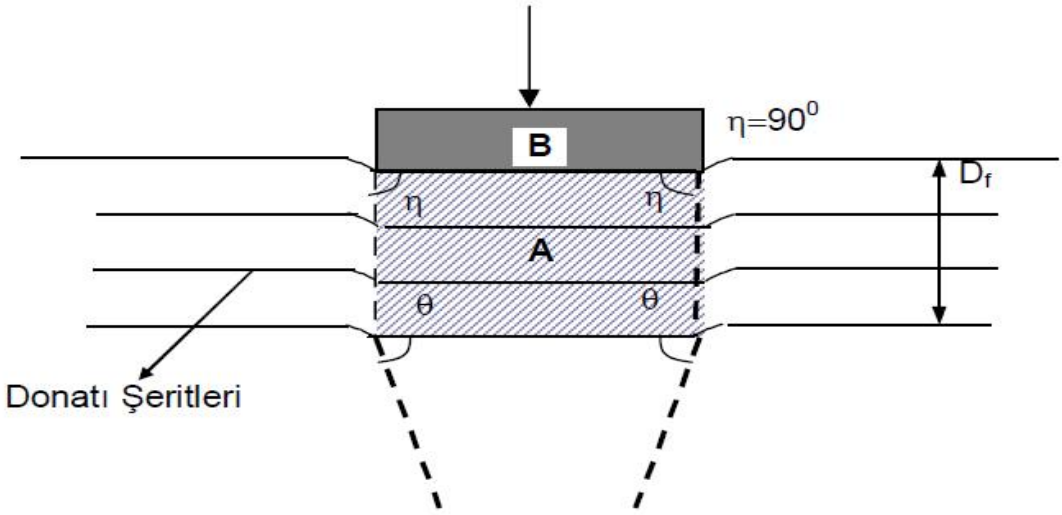
5. Düşey donatı aralığı mesafesinin (z) donatı boyutuyla taşıma kapasitesini, değiştirdiği görülmüştür.

6. Donatılı kum zeminlere oturan kare temellerin taşıma kapasitesinin, ızgara şeklindeki donatı (kaynaklanmış çelik çubuk) ile donatı boyutlarının (B_R=2B) arttığı gözlemlenmiştir.

7. Donatılandırılmış zeminde, temel biçiminin yük ile oturma davranışına göre önemli bir etmen olmadığı ifade edilmiştir.

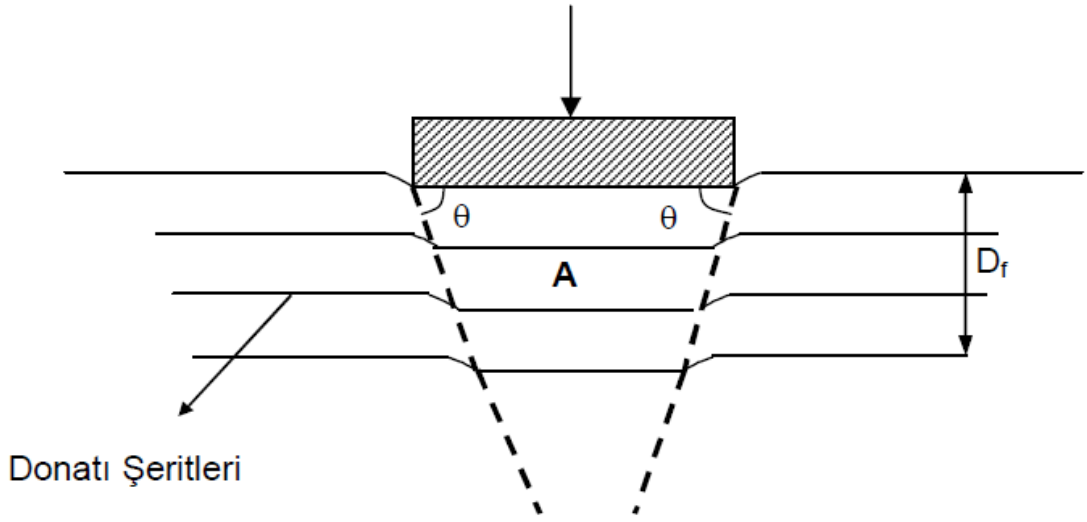
Huang ve Tatsuoka (1990) tarafından donatılı kum bir zemine oturan sürekli temelin taşıma gücünü araştırmak için analitik bir metot geliştirmişlerdir. Yapılan çalışma Binquet ve Lee (1975a,b) tarafından yapılan araştırmaya benzerlik göstermektedir. Çalışmada, laboratuvarda yaptıkları model deneyler ile donatılı zeminlerin kırılma davranışı incelenmiş ve iki farklı göçme türü olduğu belirtilmiştir. Bu göçmeler;

I. Tür Göçme: Donatılandırılmış kısmın altında meydana gelen göçme bölgesel kayma yenilmesi olarak ifade edilmiştir. Tanımlanan göçmede, donatılandırılmış bölgenin rijit bir derin temele benzer davrandığı söylenmektedir. Donatılı bölgenin altında bulunan donatısız bölgede meydana gelen göçme Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Ayrıca, temel genişliğinin donatı boyundan küçük olması durumunda geniş bir plak gibi davranan donatılı bölge taşıma kapasitesini artırmaktadır.



Şekil 2.16. I. Tür Göçme

II. Tür Göçme: Donatının rijit bir şekilde davranmadığı durumlarda donatılı bölgede oluşan göçme Şekil 2.17'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 2.17. II. Tür Göçme

(i) "I. Tür Göçme" Halinde Donatılı Zeminlerin Taşıma Kapasitesi:

Donatı uzunluğu, L=B ve toplam donatı zon derinliğinin, $D_R \cong B$ olduğu düşünülerek göçme hesabı yapılmış ve hesaplamalarda donatılandırılmış bölge donatı kullanılmayan zemine oturan eş derinlikteki rijit derin temel ($D_R=D_f$) gibi düşünülmüştür. Aşağıda verilen ifade taşıma kapasitesindeki artış miktarını göstermektedir.

$$\Delta q_B = K_p^2 \gamma_d \left[\frac{(2Df+b+S2)-(c+S1)}{2}\right] \quad (2.1)$$

Burada;

K_p: Pasif toprak basıncı katsayısı ($Kp=\tan^2(45+ Ø/2)$,
γ_d: Kuru birim hacim ağırlığı,
D_f: Temel derinliği,
b: Derin temel için kayma bloğunun yüksekliği,
c: Df=0 olduğunda kayma bloğunun yüksekliği
S_1: Df=0 olduğunda, göçmenin gerçekleştiği andaki oturma miktarı
S_2: Derin temel için göçme durumundaki oturma olarak tanımlanır.

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

$$\Delta S = 2\{\sum_{i=1}^{n} Te,i \,.\, tanØ \,.\, Ni\} / B \quad (2.2)$$

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,

$$\Delta q_A = \Delta q_A + \Delta S \quad (2.3)$$

olur.

(ii) "II. Tür Göçme" Halinde Donatılı Zeminlerin Taşıma Kapasitesi:

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;

$$\Delta q_A = K_p \sigma_t \quad (2.4)$$

bağıntısıile hesaplanır. Bu bağıntıdaki σ_t ise;

$$\sigma_t = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (Tav,i \; . \; Ni) \right\} / D_R \quad (2.5)$$

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.

$$T_{av,i} = \frac{(Tmax,i + Te,i)}{2} \quad (2.6)$$

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

Takemura, Okamura, Suemasa ve Kimura (1992), geogridle donatılandırılmış kum zemin üstüne oturmuş olan şerit temelin nihai taşıma gücünü tespit etmek için

yüzeysel temel üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, yükün şiddeti uç noktaya erişmeden önce, temel altında gömülü temele benzer davranış gösteren rijit bir zemin bloğunun meydana geldiği görülmüştür.

Abdel-Baki, Raymond ve Johnson (1993), çalışmalarında granüler bir zemini donatılandırarak üzerine oturan şerit temelin eğimli ve eksantrik yükler altıdaki taşıma gücü araştırılmıştır. Dr=% 90 rölatif sıkılıkta çalışılmıştır. Donatı tabaka sayısı N=1 olarak alınan çalışmada, donatı malzemesi olarak kaynaklanmış galvaniz çelik çubuklar kullanılmış olup deneyde B=20cm şerit temel genişliği olan alüminyum plakla çalışılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, donatı katmanı derinliği u'nun artışı ile taşıma gücündeki artmanın çok olmayıp azaldığı ve u>0,4B olması halinde ise donatılarda taşıma gücüne önemli bir etki olmadığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, donatı mukavemetinin yeterli büyüklükte olması durumunda, donatı kopmasına karşı tek tabakadan oluşan donatılandırılmış granüler zemine oturan şerit temelin taşıma gücünü (q),

$$q = \frac{1}{2}\,\gamma\, B_t\, N_\gamma \tag{2.7}$$

$$B_t = B + 2\,\tan\text{Ø}\; D_R \tag{2.8}$$

Burada;

B: Temelin genişliği
B_t: Fiktif temelin genişliği
q: Temel kenarlarından itibaren lineer olduğu düşünülen düşey gerilme dağılışının düşeyle yaptığı açı
D_R: Donatı derinliği

$$\theta = \left[\frac{\phi}{\Pi/4} - 2\,\frac{DR}{B}\right]\frac{2\Pi}{3} \tag{2.9}$$

formülü ile açıklamaktadır. Burada içsel sürtünme açısı (Ø) ve Vesic (1973) tarafından tavsiye edilen zeminin kayma mukavemet açısına bağlı taşıma kapasitesi katsayısı N_γ değerleri ile taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Analizle deney sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılmasıyla bunların uyum içinde olduğu görülmüştür.

h: Donatı-zemin kompozit malzemesi kütlesindeki donatıların hacimsel yüzdesini,
R: Donatı çekme mukavemetini,
göstermektedir.

Khing, Das, Puri, Cook ve Yen (1993), yaptıkları çalışmalarda, donatı konfigürasyonu parametreleri olan u, N ve BR değerlerinin, D_r≈%70 rölatif sıkılıkta, geogrid donatılı iyi derecelenmiş ince taneli kum üstüne oturan, 101,6x30,48x2,54cm ebatlarındaki bir şerit temelde taşıma kapasitesini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, donatılandırılmış zemindeki nihai taşıma gücü ve göçmenin olduğu andaki oturma analiz edilerek, deneylerde parametre değişiminin taşıma kapasitesi oranına olan etkileri aşağıda gösterilmiştir:

Başlangıç donatı katmanı derinliğindeki değişimenin (u/B)'nin taşıma kapasitesi oranına olan 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 aşamalarda oluşan oturmaların gözlemlenmesi için u/B-BCR arasındaki bağlantı araştırılmıştır.

Donatı katman sayısı N'deki değişmenin taşıma kapasitesi oranına 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 tüm değerlerinde; BCR_S≈(0,67-0,70) BCRU şeklinde bir eşitliğin olduğu ifade edilmiştir.

Donatı boyundaki değişmenin (b/B) taşıma kapasitesi oranına 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 belirli bir oturma oranına karşı gelen yükle taşıma kapasitesi oranı (BCR_S) arasında bir bağıntı oluşturulmak istenmiştir.

Daniele, Pıcarellı, Rıccıutı ve Rımold (1993), tasarladıkları aletle zemin-geosentetik etkileşimini göstermeyi amaçlamış ve çeşitli geogridlerle güçlendirilen siltli kum ve çakıllar ile yapılan doğrudan kesme çalışmalkarı neticesinde, geosentetiklerin zeminin kohezyonunda herhangi bir artışa yol açmadığı ve bu karışımların olağan dışı bir şekilde göçtüğü görülmüştür. Geleneksel metodlarla kayma ve pik kayma dayanımının eksik varsayıldığı ayrışmış siltli kum ve kilde yapılan çekme deneyleriyle görülmüştür.

Omar, Das, Yen, Puri ve Cook (1993), yaptıkları model deneylerde çift eksenli geogrid donatı TENSAR BX1000 (SSO) türünde kullanılmış olup donatılandırılmış kum zemin üstüne oturan temelin taşıma gücü bakımından efektif donatının yerleşimindeki düzen ve donatının kritik derinliğinin ne olması gerektiğini araştırmışlardır. Deneyde %70 rölatif sıkılıktaki üniform kum zemine oturan 7,62x30,48cm boyutlarındaki şerit ve 7,6cm boyutundaki kare temellerin taşıma kapasitesi değerlerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada alüminyum plaka şeklindeki B/L=0 olan şerit, B/L=0, 0,3, 0,5 ve 1,0 arasında değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışma sonucunda taşıma kapasitesinde artış olduğu gözlenmiştir.

Yetimoğlu, Wu ve Sağlamer (1994), çalışmalarında, tek eksenli geogrid donatıdan oluşan kum zemin üstüne oturtulan dikdörtgen temelin taşıma gücünü araştırmışlardır. Sonlu elemanlar analizinde, donatının yerleştirilme şekli ve donatının rijitliği parametreleri de dikkate alınmıştır. Deneylerde %70 sıkılıktaki iyi derecelenmiş Yalıköy kumu, model tankın içine vibrasyonla sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. 101,50x127x12,50mm ebatlarındaki çelik dikdörtgen temel ve donatı malzemesi olarak da terragrid gs1000 kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler aşağıda gösterilmiştir.

· Donatı tabaka sayısının etkisi
· Donatı rijitliği
· Donatı tabakasının boyut etkisi
· Donatı tabakaları arasındaki düşey mesafe etkisi,

· Başlangıç donatısının derinlik etkisi

Sonlu elemanlar sonuçları ve deneylerden bulunan sonuçlar şu şekilde sunulmuştur:

· Göçme anındaki oturmaların donatılı zeminlerde yapılan deneylerde, daha büyük olduğu,

· Donatısız zemine göre donatılı zeminin nihai taşıma kapasitesinin dört kat arttığı,

· Donatı rijitliğinin yükün belirli bir değere erişmesinden sonra arttığı fakat taşıma gücünde fazla bir artış olmadığı,

· Donatılandırılmış 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,

· Fazla tabakadan oluşan donatılandırılmış kumlu zeminde en üsteki donatı katman derinliği u=0,3B değerinde olması durumunda taşıma gücünün en yüksek değerde olduğu ve donatılar arası düşey aralığın z=0,20B~0,40B arasında değişim gösterdiği,

· Yapılan deney ve analiz sonucunda, donatı boyunun artırılmasıyla taşıma kapasitesi oranında artışın az olduğu,

· Donatı boyunun 4,5B'yi geçmesi durumunda taşıma kapasitesi oranının sabit olduğu,

· Donatılandırılmış kum zemindeki taşıma kapasitesi oranının donatı tabaka sayısına ve belli bir efektif bölge içerisindeki donatı tabaka genişliğine bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir.

Yetimoğlu (1994), laboratuvarda yapılan model deneyler ve sonlu elemanlar analizi ile geogridle donatılandırılmış kum bir zemin üstüne oturan temelin taşıma kapasitesini araştırmıştır. Model deneylerde donatı konfigrasyonu olarak u, z, N ve B_R parametreleri temel alınarak dikdörtgen bir plak kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinin eksenel simetri geometri şartlarında, donatı konfigrasyonuna ek olarak donatı rijitliğinin taşıma gücüne olan etkisini incelemişlerdir. 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 donatının tabaka derinliği (u) ile taşıma gücüne ilişkisi, donatılandırılan tabaka sayısının N=1 ve N>1 olması durumunda, donatılandırılmış zemin taşıma gücü değerlerinin farklı olduğu belirtilmiştir.

· Kum zeminin belirli derinliklerde geogridle donatılandırılması halinde, nihai taşıma gücünde 4 kat kadar artışın meydana geldiği belirtilmiştir.

· Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, donatılandırılmış ve donatılandırılmamış kum zemine oturan temelde göçmenin gerçekleştiği zamandaki oturma miktarlarının birbirlerinden farklı olmadığı,

· Yatay bir şekilde yerleştirilen donatıların arasındaki düşey mesafenin (z), ideal olarak $(z/B)_{opt}$=0,15 olması durumunda taşıma gücünün en yüksek olduğu görülmüştür.

Das ve Omar (1994) yaptıkları deneysel çalışmada, kum zeminlere oturan şerit temellerin, geogridle donatılandırılmasıyla taşıma gücünün nasıl değiştiği araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan çift eksenli geogrid TENSAR BX1000 (SSO) tipidir. Ayrıca deneyler üniform olarak derecelenmiş ince taneli kum üzerinde yapılmıştır. Deneylerde kumun sıkılığı ve temel genişliği değiştirilmiş olup bu değişimin taşıma kapasitesine olan etkisi saptanmaya çalışılmıştır. L=30.48cm sabit uzunluğunda ve temel genişlikleri 5.08cm, 7,62cm, 10,16cm, 12,7cm, 15,24cm olan farklı altı tane model şerit temel kullanılmıştır. 21 adedi donatılı zeminde, 21 adedi de donatısız zeminlerde yapılmak üzere toplam 42 tane deney yapılmıştır. D_r=%55, %65, %75 rölatif sıkılıklardaki kum zemin, yağmurlama metoduyla tank içine yerleştirilmiştir. u/B=h/B=l/3, b/B=8 ve d/B=2 donatılı zeminler üstünde yapılan bütün deneylerde boyutsuz parametreler olarak kullanılmıştır. Aşağıda deney sonuçlarından elde edilen veriler özetlenmiştir:

· Çalışılan tüm sıkılık oranlarındaki donatılı ve donatısız zeminler için, nihai taşıma kapasitesi ile temelin genişliği arasındaki ilişkinin, doğrusal olmadığı görülmüştür.

· Çalışılan tüm sıkılık oranlarındaki kum zeminlerde, B değerinin artmasıyla taşıma kapasitesi oranında azalma olduğu gözlenmiştir.

· Çalışılan bütün sıkılıklarda, kullanılan temel çapının 13-l4 cm'den daha fazla olması durumunda taşıma kapasitesi oranının, yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür.

Wasti ve Bütün (1996), laboratuvarda yaptıkları model deneylerde donatılandırılmış ve donatısız kum zemine oturtulan şerit temellerin taşıma gücünü araştırmışlardır. Kum zemin içine parçacık halinde rastgele şekilde yerleştirilen donatı malzemesinin taşıma kapasitesini artırdığını belirtmişlerdir.

Çelik (1997), çalışmasında, yüzeysel şerit temellerin geogrid donatılı bir zemin üzerine oturmasının taşıma kapasitesine etkisini araştırmıştır. Deneylerde kullanılan donatı FORTAC geogrid olup Trabzon ili, Of ilçesinden alınan sahil kumuyla deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, düzlem deformasyon şartlarında temel genişlikleri B=35mm, 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 ve Collin (1997) tarafından büyük ölçekli model temeller ile geosentetik donatılandırılmış zeminlere oturtulan sığ temelin taşıma gücünü 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, başlangıç donatısı derinliği, donatılandırılan tabaka sayısı, tabakalar arası uzaklık, zemin yoğunluğu ve donatı türü alınmıştır. Deneyler sonucunda, zemine eklenen donatının taşıma kapasitesini 2,5 kat artırdığı görülmüştür. Deneylerde kullanılan model kare temellerin kenar uzunluğu 0,30m, 0,46m, 0,61m ve 0,91m olup geosentetik donatı tabaka sayısı 3 alınarak sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan model temel çelik donatılı ve betonarme malzemeden üretilmiştir. Kare temeller, boyutun etkisinin azaltılması amacıyla kullanılmıştır. Deneylerin yapıldığı duvarla çevrili alan, 5,4m genişlik, 6,9m 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}=0,25*mm,* Cu=1,7, γ_{kmax}=16,7kN/m^3 ve γ_{kmin}=13,8kN/m^3 olarak belirlenmiştir.

İki aşamadan oluşan deneylerin ilk aşamasında, donatı aralıklarının farklılığı ile farklı geosentetik tiplerinin etkisi, ard arda yapılan üç deney ile incelenmiştir.

Seri 1: Donatılı deneylerle karşılaştırmak için yapılan donatılandırılmamış deneyler, her boyutta temel ile yapılmıştır. Hesaplanan γ_k =14,9kN/m^3'tür.

Seri 2: 2. seride 3 tabaka geogrid kullanılmıştır. Deney alanı tamamıyla donatılandırılmıştır. Donatılar, birbirlerinin üstüne binmesi engellenmek için zikzak şekilde konulmuş ve 60cm'lik bölümler birbirlerinin üstüne binmiştir. Hesaplanan γ_k =14,8kN/m^3'tür.

Seri 3: 3. seride donatı değiştirilerek geocell kullanılmıştır. Kaymasının engellenmesi amacıyla sabitlenen, 4 tane geocell kullanılmıştır. Bu deneyde γ_k=14,8 kN/m^3 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra başlangıç donatı derinliği, donatılandırılmış katman sayısı, tabakalar arası uzaklık, zemin yoğunluğu ve donatı türü gibi parametlerin etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan temel 0,61m boyutlu temel kullanılmıştır. Bu kısımda da farklı deney serileri kullanılmış ve Seri 4, Seri 5, Seri 6 olacak şekilde isimlendirilmiştir.

Seri 4: Bu kısımda başlangıç donatısının derinliği ve donatının genişlik etkisi incelenmiştir. Deneyler, 0,25B ve 0,375B derinliğe bir donatının yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Böylelikle donatının derinliği 150 ve 225mm olmuştur. γ_k =14,7kN/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Seri 5: Bu kısımda γ_k =14,5kN/m^3 olarak hesaplanmış olup 150 mm ve 300 mm derinliklerde iki donatı kullanılarak deneyler yapılmıştır..

Seri 6: Bu kısımda γ_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 temelin alt kısmına gelecek kısım dikkatli bir şekilde

düzeltilmiştir. Tüm tabakının ardından yoğunluklar beş kısımda nükleer metodla ölçülmüştür. Temelin köşe noktalarına yerleştirilen dört tane deplasman ölçer yardımıyla meydana gelen deformasyonlar ölçülmüş olup yüklemeler hidrolik kriko vasıtasıyla yapılmıştır. Belli aralıklarla deformasyon ölçümleri yapılmış, her kademede 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.

Geosentetikle donatılandırılmanın kum zeminin taşıma gücünde yaklaşık 2,5 kat artış meydana getirtiği gözlenmiştir. Maksimum taşıma kapasitesi değerine donatı derinliğinin 0,25B olması durumunda ulaşılmıştır.

Villard ve Giraaud (1998) çalışmalarında sonlu eleman yöntemi ile üç boyutlu zemin-geotekstil etkileşimini analiz edilmiştir. Membrana düzenli bir şekilde dikey yüklerin uygulanmasıyla geosentetiğin davaranışı gözlemlenmiştir. İzotropik ve elastik olmayan ortamlarda analiz sonuçlarının iyi olduğu belirtilmiştir.

Tan, Chew ve Wong (1998), yaptıkları çalışmada zemin-geotekstil arayüzünde oluşan kayma mukavemetini araştırmışlardır. Araştırmacılar kum geotekstil arayüzünde olan pik ve rezidüel sürtünme açılarının geotekstil malzemenin nominal kütlesinden ve yükleme hızından çok fazla etkilenmediğini gözlemlemişler. Benzer koşullar altında oluşturulan numuneler direkt kesme ve halka kesme deneylerinde test etmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta, direkt kesme deneyinde halka kesme deneyine göre daha büyük içsel sürtünme açısının 3 mm küçük kayma deformasyonunda elde edildiği görülmüştür.

Gabr ve Hart (2000), yaptıkları model deneylerde elastisite modülünü kum zemini polimer geogridlerle donatılandırarak hesaplamışlardır. Deneyde, 1,52´1,52´1,37m boyutlarındaki deney kasası ve 30cm kenar uzunlıklu kare şeklindeki plaka kullanmışlardır. SR1 ve SR2 olan farklı iki geogrid kullanılmış olup toplamda 9 tane yükleme deneyi yapılarak ve elastisite modülünü, 9,2mm ve 4,6mm'lik deformasyon

düzeyinde 1 *E* olduğu görülmüştür. Donatılı ve donatısız durumlardaki elastik modüllerin karşılaştırılması amacıyla deneylerde 3 tabaka donatı kullanılmıştır. Deney sonucunda hesaplanan 1 *E* değeri literatürde tavsiye edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, u/B= 0,5 için bulunan 1 *E,* Adams ve Collin (1997)'e göre %20 oranında daha az olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma, kum zemine ilave edilen donatının, yükün taşıma gücünde artışa, düşey deformasyonda ise azalmaya sebep olduğunu göstermiştir.

Haeri, Noorzad ve Oskoorouchi (2000), geotekstil ile donatılandırılmış bir zemin üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada; kullanılan geotekstil tabakalarının sayısı, tipi ve yerleştirilme şeklinin değiştirilmesiyle malzemedeki mekanik davranış farklılığını incelemişlerdir. Deneysel çalışmada kuru kum kullanılmış, gerilme-deformasyon davranışını tespit etmek için üç-eksenli deney yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde, geotekstil ile donatılandırılmış kumda mukavemetin, geotekstille kum arasındaki sürtünmeye göre değişim gösterdiği ve sürtünmenin artmasıyla dayanımda da artış olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, yenilmeye sebep olan önemli etmenlerden birinin donatının yerleştirilme düzeninin olduğu tespti edilmiştir. Donatılandırılmamış deneylerle karşılaştırma yapıldığında, donatılı zeminlerin rijitliğinin donatı tipine göre değişim gösterdiği görülmüştür.

Shin ve Das (2000) yaptıkları araştırmada, geogridle donatılandırılmış bir kum zemine oturtulan şerit temelin taşıma gücünü incelemiştir. Birden fazla geogrid tabakalı donatının orta sıkı kum zemin üstüne oturtulan şerit temeldeki taşıma kapasitesi nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Temel derinliği genişliğinden daha küçük seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, birinci donatı katman derinliği u=0,3B olduğunda, taşıma gücünün en yüksek olduğu belirtilmiştir.

Arslan (2001), yaptığı çalışmada, dairesel temel kullanılarak donatılı ve donatısız zeminler üzerinde bir takım deneyler yapmıştır. ANSYS yazılımı kullanarak sonlu eleman ağı olışturulurken dairesel temelin, kare temele dönüştürülmesi ile çözüme gitmiştir. Çalışmasında aşağıda gösterilen parametreleri incelemiştir.

· Yüklemenin farklılığı durumlarındaki sınır etkisi,

· Model temeldeki uzunluğun sınır etkisi,

· Model temeldeki genişliğin sınır etkisi,

· Kasa derinliğindeki sınır etkisi,

· B, 2B ve 3B derinliklerinde temel ortasının altında görülen oturma ve taşıma gücü değerleri.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulguları elde edilmiştir.

· Laboratuvar ve ANSYS yazılımından elde ettiği sonuçları karşılaştırıldığında, donatı ile ilgili değişkenlerin (u, z, N ve B_R) temelin taşıma kapasitesine etki ettiği,

· İlk donatı tabaka derinliği olan u'nun, taşıma gücüne etkisinin donatının katmanlarının 1 ve 1'den büyük olması halinde değiştiği,

· Donatılandırılmamış zeminde N=1 olduğunda taşıma gücünün maksimum olduğu,

· Donatılandırılmış zeminde donatı katman derinliğinin optimum değerinin 0,3B olduğu görülmüştür.

Fakher ve Jones (2001), çalışmalarında geosentetik güçlendirmeyi farklı iki yöntemle modellemişlerdir. Burada, artan eğilme rijitliğinin ne kadar önemli olduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Oldukça yumuşak olan bir kilin üstünde güçlendirilen tabakayla üsteki kum tabakasının analizini yapmışlardır. Yumuşak kilin su içeriğinin fazla olduğu ve kesme dayanımının ise az olduğu düşünülmüştür. İlk model geosentetik eğilme rijitliği bulunmayan çubuk elemanlarla yapılırken ikinci modelse elastik eğilme dayanımındaki iki boyutlu kiriş elementler ile yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, yumuşak killerin üzerinde güçlendirme yapılmasıyla geosentetiğin eğilme dayanımında artış olduğu görülmüştür.

Aiban ve 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.

Alawaji (2001) tarafından yapılan deneysel çalışmada, kum zeminlerin geogrid donatısıyla takviye edilmesinin su içeriğiyle değişimi incelenmiştir. Deneylerde Tensar 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 gerilme seviyeleriyle birlikte kuru ve yaş yükleme durumları 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, elastisiste modülünde % 2000, taşıma kapasitesi artışının da %320 olduğu görülmüştür. Geogridte genişliğin 4D ve donatının yerleştirilmesinde derinliğin 0,10D olması durumunda en faydalı ve ekonomik bulgular elde edilmiştir.

Yıldız (2002), yaptığı model deneysel çalışmada, geogridle donatılandırılarak güçlendirilen kum zemin üstüne oturtulan ve taban alanı daire şeklinde olan temellerinin taşıma gücünü araştırmıştır. Deneylerde; birinci donatı tabakasının mesafesi, geogridler arası mesafe, donatı tabakalarının sayısı, donatının uzunluğu gibi donatıyla alakalı değişkenlerin taşıma gücünü ne kadar etkilediği araştırılmıştır. Maksimum taşıma kapasitesine, deneysel sonuçla elde edilen en uygun donatı yerleşim düzeninin araştırılmasıyla ulaşılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilenler;

· Donatıyla zemin arasında meydana gelen aderans ve sürtünme kuvvetleri sonucunda donatılandırılmış zemin sistemlerinde, zemin rijit ve kompozit bir davranış göstermektedir. Donatılandırma, kum zeminin taşıma kapasitesini ve oturma davranışını büyük oranda iyileştirmektedir.

· Deneysel çalışmada farklı temel tiplerinde ulaşılan donatıyla alakalı ideal edeğer Çizelge 2.4'te gösterilmektedir. İdeal değerlerin kullanılmasıyla taşıma gücünde 3-4 kat oranında artma olmuştur.

Çizelge 2.4. Donatı ile İlgili 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

Moroğlu (2002) deneysel çalışmasında donatılandırılmış kum zemin üzerine yerleştirilen model şerit bir temelin taşıma kapasitesi incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullandığı tankın ebatları 0,90 m (uzunluk) x 0,65 m (yükseklik) x 0,10 m (genişlik)'dir. Tank yüzleri, 1,2 cm kalınlığında cam plakalarla kaplıdır. 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 ekrantristelerde yüklemeler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, tane çapı aralıkları 0,2-4 mm olan orta-iri kum kullanılmış, kumun rölatif sıkılığına deneylerde dikkat edilmiştir. Deneylerde örgülü geotekstil kullanılmıştır. Temel tabanı altından temelin genişliğinin yarısı kadar derinlikte yatay bir şekilde donatı yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara aşağıda değinilmiştir.

· Donatılandırılmış zemindeki taşıma kapasitesinde, merkezi olarak yüklenmiş temelde, donatı kullanılmayan orta-iri kuma zemine kıyasla ortalama % 50 oranında artma olmuştur.

· Geotekstilin taşıma kapasitesine etkisinde, eksantrisitenin artmasıyla azalma olmuştur.

· Geotekstille donatılandırılmış zeminde, temelde göçme oluşması için gerekli hareket, donatılandırılmamış duruma kıyasla daha fazladır.

· Yanal hareketi engellenmemiş temelin, başlangıç kayma yüzeyi, eksantrisitenin oluştuğu kısımda olmaktadır.

· Geotekstille donatılandırılmış kum zemindeki temelin dönmesi, eksantrisite yönünde meydana gelmekte, eksantriste büyüdükçe, temelin dönmeside artmaktadır.

Moroğlu ve Uzuner (2002) tarafından, kum zemin üzerindeki eksantrik ve merkezi yüklenmiş şerit temelde, taşıma kapasitesi, kırılma yüzeyi ve oturma-yük eğrilerinin donatılandırılmamış ve donatılandırılmış durumlarda kıyaslamalı olacak şekilde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir:

· Merkezi yüklü temelde zemin donatılandırılmasıyla taşıma kapasitesinde % 50 artış olduğu,
· Eksantrik temellerde ise kırılma yüzeyinin temelin eksantriste olduğu tarafta meydana geldiği,
· Kırılma yüzeyinin kum yüzeyle arakesitinin temele mesafesinin eksantristenin artmasıyla azaldığı,
· Eksantristenin artmasıyla taşıma kapasitesinde azalma olduğu ve bu durumun, Meyerhof Taşıma Gücü yöntemiyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Yetimoğlu ve 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 artışına bağlı bir artma olduğu görülmüştür.

Bathurst, Blatz ve Burger (2003), geosentetik ile güçlendirilmiş 2 adet büyük ölçekli ve bir tane donatılandırılmamış kumlu şeve oturtulan şerit temelde taşıma kapasitesi ile alakalı çalışmalar yapmıştır. Çalışmada farklı iki tipte geogrid kullanılmıştır. Modelin geometrisi ve yükleme koşulu yapılan 3 deney düzeneği için benzer alınarak, geogrid donatının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Donatısız ve donatılı durumun karşılaştırılmasında, zemine geogrid yerleştirilmesinin taşıma kapasitesini 1,6 kat artırdığı; rijitliğ ve gücü fazla olan bir geogrid konulması halindeyse, 2,0 kat artış gözlenmiştir.

Laman ve Keskin (2004) yaptıkları model deneylerle, kumlu zeminler üstüne oturan kare temellerin zemin içerisinde oluşturduğu ek düşey gerilmeleri araştırmışlardır. Kare kesitindeki kasa içinde gerçekleştirilen deneylerde gerilme değerlerininin ölçülmesi amacıyla 1 tane basınç ölçer kullanmışlardır. Rölatif sıkılığın ek düşey gerilmelere olan etkisini araştırmak için deneyin gerçekleştirileceği kum zemin farklı iki rölatif sıkılıkta hazırlanmıştır. Deney düzeneği de, sonlu elemanlar metoduyla modellenmiş PLAXIS paket programıyla analiz edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, mevcuttaki teorik yöntemlerle

deneysel bulgular birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, derinliğin artmasıyla gerilme değerlerinde azalma olduğu, bulunan sonuçların farklı üç derinlikte de Boussinesq çözümleriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

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, ahşap malzemeden olan şerit temellerin taşıma gücünü incelemişlerdir. Taşıma kapasitesi deneylerinde kullanılan tank (70x10x40 cm) ön ve arka yüzleri 0,8 cm kalınlığında camdan oluşmaktadır. Sonuçta B=3,5, ve B=5,0 cm için ideal derinlik yaklaşık olarak temel genişliğimin yarısında meydana gelmiş ve kullanılan iki temel içinde sınır taşıma kapasitesini gösteren matematiksel bir model oluşturulmuştur.

B=35 mm'de

$$q_{sınır}=-1252.5u^2+1212.50u+120.75 \quad (2.10)$$

B=50 mm için

$$q_{sınır}=-1238.3u^2+1238.8u+175.40 \quad (2.11)$$

3 tabaka geogrid donatısı kullanıldığında zeminin sınır taşıma kapasitesinde donatısıza göre B=35 mm'lik şerit temelde 5,1 oranında, B=50 mm'lik şerit temelde 3,6 oranında artış gözlenmiştir. Donatıların arasındaki mesafenin taşıma kapasitesine fazlasıyla etki ettiği ve u=0,5B olduğunda zemin emniyet gerilmesinde oturma analizlerinin de yapılmasının gerekli olduğu görülmüştür.

Laman, Keskin ve Yıldız (2004), kumlu zeminlere yerleştirilen dairesel taban alanlı temelden kaynaklı zeminde meydana gelecek düşey ve yatay yöndeki gerilmeleri model deneylerle incelenmişlerdir. Gerilmeleri belirlemek için basınç sensörü kullanılmıştır. Deneylerde iki sıkılıkta kum numune hazırlanmış ve farklı iki çaptaki dairesel taban alanlı temeller kullanılmıştır. Deneysel çalışmalara ek olarak deneysel model, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak PLAXIS yazılımı ile de analiz edilmiştir. Bulgular, mevcuttaki teorik metodlar ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Temel tabanı baz alınarak z derinliğindeki yatay düzlemdeki gerilme dağılışının aynı karakteristikte olduğu, ölçüm mesafesinin büyümesiyle temelin plaka merkezi altındaki gerilmenin de küçüldüğü ve kum zeminin rastgele bir yerindeki gerilmenin üstündeki yükle doğru orantılı birşekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna ilaveten kum zemin örneklerinin rölatif

sıkılık oranınındaki artışla, benzer yük altında daha yüksek gerilmenin meydana geldiği belirlenmiştir.

Babacan (2004), yaptığı model deneyle geogridle donatılandırılmış ve donatılandırılmamış kumlu zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma gücünü (BCR) araştırmıştır. Çalışmada kullanılan donatı, TENSAR tarafından üretilen iki yönlü geogrid ve beş farklı türdeki dairesel temel model temel olarak kullanılmıştır. Deneylerde 700x700mm boyutlarındaki kare kesitli çelik tank içine malzemeler tabakalar halinde sıkıştırılarak serilmiştir. Araştırmacı, çalışmasında Yıldız (2002)'den alınan donatı konfigürasyonunu ve kum zeminin fiziksel özelliklerine ait verileri kullanmıştır. Sonuçta bulunan değerler birbirleriyle kıyaslanmış ve her iki durum için ideal temelin yarıçap oranları saptanmıştır. Donatılandırılmamış zeminde görülen yenilme türünün, genel kayma göçmesi olduğu gözlemlenmiştir. Donatılandırılmış zeminde r/R=0, r/R=0.18 boyutlarındaki dairesel temelde görülen göçme türünün ise, zımbalama kayma göçmesi ve diğer temellerde, genel kayma göçmesi olduğu görülmüştür. Ayrıca deneyde donatı kullanılması durumunda donatı sıyrılmasının ya da kopmasının olduğu tespit edilmiştir. PLAXIS bilgisayar programı ve deneysel çalışma sonucunda görülen göçme yüklerinin birbirleriyle kıyaslanması halinde, göçme yükü değerleri ve buna bağlı taşıma kapasitesi değerleri r/R'nin küçük olduğu değerlerde yani 0,29'a kadar uyum gösterdiği fakat büyüyen değerlerde sonuçların aynı olmadığı olduğu saptanmıştır.

Laman ve Babacan (2004), deneysel çalışmalarında çapları aynı olamayan model halka temellerle iki yönlü geogrid donatı kullanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilen halka temellerde PLAXİS V.7.2 bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır. Elde edilen analiz ve deney sonuçlarına göre, donatı kullanılması ve kullanılmaması durumları için halka temellerdeki nihai taşıma güçleri belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında Babacan (2004)'den alınan donatı konfigürasyonunu ve kum zeminin fiziksel özelliklerine ait verileri kullanmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, ideal r/R'nin 0,29, teorik çalışma sonucundaysa ideal r/R'nin 0,41 olduğu görülmüştür. Zemin içerisine donatı yerleştirilmesinden kaynaklı zemin taşıma kapasitesindeki artış olan BCR'nin 3,02 olduğu görülmüştür. Yapılan analizlerde; zemine donatı yerleştirilmesiyle zemindeki taşıma kapasitesi değerinde (BCR=3,02) artış olduğu belirtilmiştir.

Moroğlu, Uzuner ve Şadoğlu (2004a, 2004b ve 2006), yaptıkları bir dizi deneysel çalışmada, donatılandırılmamış ve donatılandırılmış sıkı kum üzerindeki model yüzey bir şerit temelin çekirdeğinde, üstünde ve dışında eksantrik şekilde oluşturulan yükleme sonuçlarını araştırmışlardır. Çalışmada zemindeki sınır taşıma kapasitesi ölçülmüş ve kırılma yüzeyi belirlenmiştir. Şerit temel altında donatı malzemesi olarak örgülü geotekstil 0,05m derinliğe yatay bir şekilde yerleştirilmiştir. Deney kumu olarak kullanılan yerel sahil kumu % 74 rölatif sıkılıkta olacak şekilde tokmaklanmak suretiyle deney tankı içinde sıkıştırılmıştır. Eksantrik yüklenen model şerit temelin yanal hareketi önlenmemiş, ilk kırılma yüzeyi eksantrisite yönünde oluşmuştur. Deneysel çalışma sonuçları ile zıtlık yaratabilmek için yanal hareket önlenmiş ve ilk kırılma yüzeyinin eksantrisitenin tersi olan kısımda oluştuğu vurgulanmıştır. Sınırlı sayıda ve şartlarda yapılan bu deneylerin sonuçları aşağıda sıralanmaktadır:

1. Temel genişliğinin yarısı kadar bir derinliğe örgülü bir geotekstilin yerleştirilmesiyle sıkı kuma oturtulan model yüzey bir şerit temelin taşıma kapasitesinin, donatılandırılmamış hale kıyasla % 50 daha fazla olduğu görülmüştür.

2. Geotekstil donatı, temelin yük-oturma eğrisini, oturma şartları bakımından iyi hale getirmiştir. Yani donatılandırılmamış haldeki aynı oturmaya karşılık gelen taşıma gücü değeri, donatılı durumda artmıştır.

3. Donatılı durumdaki kırılma yüzeyinin zeminin yüzeyiyle arakesitinin temel kenarına mesafesi, donatısız duruma göre fazladır.

Patra, Das ve Shin (2005), çalışmalarında çok tabakadan oluşan geogridle donatılandırılmış orta sıkılıkta bulunan kum zemin üstünde, eksantrik yüklenmiş şerit temelde farklı derinlikte ve yüzey temel şartlarındaki haline dikkat edilmesiyle zemin taşıma gücünü araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan 0,8m x 0,365m x 0,7m boyutlarındaki model tank yumuşak çelikten yapılmıştır. Deneysel çalışmadaki doğal kumun içsel sürtünme açısı 42.4° ve D_r=%71 olup geogrid donatı olarak bir yönlü TENSAR BX1100 kullanmışlardır. Donatılandırılmış zeminlerdeki bütün deneylerde boyutsuz parametre olarak; u/B=0,35 h/B=0,25, b/B=5 ve e/B=0,1 değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda taşıma kapasitesinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Kumar, Ohri ve Bansal (2007), yaptıkları çalışmalarında, taşıma gücü düşük olan bir kum dolgu üzerine, donatılı ve donatısız kum tabakası halinde bir temel zemin oluşturmuş ve üstüne yerleştirilecek şerit temellerin nihai taşıma güçlerini araştırmışlardır. Elde edilen model deney sonuçlarına göre tespit edilmiş üç ana sorun aşağıda gösterilmektedir:

1. Tabakalandırılmış temel zemininde temel taşıma gücü üstündeki tesiri;

2. Üstteki tabakanın yatay konumlandırılmış geogrid katmanlarla donatılandırılması halinde taşıma gücü üstündeki tesiri;

3. Donatılı ve donatısız katmanlı temel zeminin donatılandırılması durumunda temelin oturması üzerinde tesiri.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda donatı kullanılması durumunda temel zemininde meydana gelen oturmanın azaldığı ve taşıma gücünün arttığı görülmüştür.

Keskin, Laman ve Baran (2008), deneysel ve sayısal olarak yaptıkları çalışmalarında, kumlu zeminler üzerindeki üniform yüklenmiş kare temelin merkezinin altında meydana gelen ek düşey gerilmeleri araştırmışlardır. Çalışmalarında elde edilen değerler Boussinesq yönteminden bulunan sonuçlarla kıyaslanmıştır. Kare kesitinde bir kasa içinde gerçekleştirilen deneylerde düşey gerilme değerlerinin bulunmasında basınç ölçerden faydalanılmıştır. Numerik çalışmalarda temel zemini, iki boyutlu eksenel simetrik olarak ve üç boyutlu durumlarda da sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasıyla lineer elastik ve non-lineer elasto-plastik malzeme gibi modellenerek, analiz için kullanılmış olan modelin ek düşey gerilmelere olan etkileri gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda sayısal, deneysel ve teorik sonuçlardan belirli derinliklerde genel bir uyum olduğu gözlenmiştir.

2.2.2. Diğer zeminler üzerindeki çalışmalar

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

Zhan ve 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.

Han ve 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.

Mandal ve Sah (1992) kil zemine yatay bir şekilde konulan geogrid donatının, kare bir temelin taşıma gücüne olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma, donatılı ve donatısız olmak üzere, boyutları 460x460x460mm olan bir tankta, 100mm kenar uzunluğunda ve 48mm kalınlığındaki kare şeklinde bir model temel kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. İki adet deplasman ölçerle oturmalar ölçülmüştür (1 mm/dak. hızda, kapasite 50mm). Kullanılan kil zeminin endeks özellikleri w_L=%72, w_P=%41, s=27 kN/m^2, w = %28 olarak belirlenmiştir.

Deney, kare temelin ebatlarına göre ve u/B=0, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 ve 2,0 olan farklı donatı derinliklerinde yapılmıştır. Temelin genişliğinin %11'ine denk olmasına kadar oluşacak oturmalara karşı gelen taşıma güçleri (q ve q_0) hesaplanmıştır. Taşıma kapasitesi oranı (BCR), oturma oranı (SR), iyileştirme faktörü (IF) ve oturma azalması oranı (PRS) şu şekilde tanımlanmıştır.

$$BCR = \frac{qr}{qo} \qquad (2.12)$$

$$SR = \frac{S}{B} \quad (2.13)$$

$$IF = \frac{Pr}{Po} \quad (2.14)$$

$$PRS = \frac{So-Sr}{So} = 1 - \frac{Sr}{So} \quad (2.15)$$

q_r= donatılandırılmış zeminin sınır taşıma gücü
q_0= donatılandırılmamış zeminin sınır taşıma gücü
S= zeminde oluşan oturma
B= temelin kısa kenar uzunluğu
P_r= donatılandırılmış zemindeki göçme anındaki yük
P_0= donatılandırılmamış zemindeki göçme anındaki yük
S_0= donatılandırılmamış zeminin göçme anındaki oturması
S_r= donatılandırılmış zemindeki, S_0'ın bulunduğu yüke karşılık gelen oturma

Deneyler sonucunda, kare temelde u/B=0,175 olması halinde taşıma gücünde %36 artış olduğu ve oturma yönünden de iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. u/B= 0–0,25 aralığında IF'de önemli ölçüde düzelmenin mevcut olduğu görülmüştür. u/B=0,25 olması halinde $(PRS)_{max}$=%45 olarak bulnmuştur.

Shin, Das, Puri, Yen ve Cook (1993) tarafından yapılan laboratuvar deneyleri ile suya doygun haldeki killi zemin üstüne oturtulan şerit temelin geogrid donatılarla güçlendirilmesinin taşıma kapasitelerine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde bir tipte kil kullanılmış ve ortalama su muhtevasının değiştirilmesi drenajsız kayma mukavemeti değerinde farklılıklar oluşturmuştur. Yapılan deneylerde, maksimum taşıma kapasitesine ulaşmak için, tabaka genişliği, kritik geogrid tabaka derinliği, ilk donatı tabaka derinliğinin bulunması hedeflenmiştir. Deneyde kullanılan kilin %98'i 200 nolu elek altında kalmış ve endeks özellikleri w_L=%44, IP=%20 olarak bulunmuştur. Kil zeminde G_s=2,74'tür. Deneylerde öncelikle öğütülen zemin daha sonra önceden belirlenen su muhtevasında karıştırılmıştır. Nemli zeminin, plastik kaplarda saklanarak ve kullanımından önce bir hafta süreyle kürde bekletilerek, su içeriğinin değişmemesine dikkat edilmiştir. Deneylerde kullanılan model temeller, 7,62x30,48cm boyutlarındadır. Model kasa 1,09m uzunluğunda, 30,48cm genişliğinde ve 0,90m yüksekliğindedir. Kasa kenarlarında sürtünmenin az

olması hedeflenmiştir. Deneyde nemli zemin 25,4mm kalınlığındaki çekiçle sıkıştırılmış ve model temel üstüne yükleme hidrolik kriko vasıtasıyla yapılmıştır. İki adet deplasman ölçer alüminyum temel üzerine yerleştirilerek okuma alınmış ve her yük kademesinde 10–15 dk kadar beklenmiştir. Yapılan her deneyin arkasından drenajsız kayma mukavemeti c_u, veyn aletiyle ölçülmüştür. Deneyler, 7 farklı seri için yapılmıştır. Seri A'da donatılandırılmamış kil kullanılmış olup; Seri B, C, D ve E'de kritik $(u/B)c_r$ ve $(b/B)c_r$ değerlerini, Seri F ve G'de ise kritik $(d/B)c_r$ değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Herbir deney ardından yük oturma eğrileri çizilmiş ve Vesic (1973)'e göre taşıma kapasitesi değerleri bulunmuştur. Temellerde kullanılan $q_u=C_u*N_c$ ifadesine, deney sonuçlarından elde edilen veriler konulmuş buradan teorikte N_c'nin değeri olan 5,14 değeriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre, rastgele bir b/B oranında BCR değeri u/B≈(u/B)cr değerine kadar artış gösterirken, bu değerden sonra azalma olduğu görülmektedir. Kritik u/B değeri, (u/B)cr ≈ 0,4 oranında bulunmuştur. Ayrıca, BCR değerlerine karşılık farklı u/B ve b/B değerlerinin grafikleri çizilmiş ve bunlara göre göçme mekanizmaları yorumlanmıştır.

Demerchant, Valsangkar ve Schrıver (2002) plaka yükleme deneylerini geogrid ile donatılandırılmış 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. Zemin, tane boyutu 19mm ve 4,7mm aralığında değişen, 1,4 üniformluk katsayısında, özgül ağırlığı ise 1,25 ile 1,40 civarında değişen, yoğunluğu az olan agregalardan meydana gelmektedir. Üç eksenli basınç deneyi ile 735kg/m^3 ve 832kg/m^3'lık kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmış ve bu değerlere karşılık gelen içsel sürtünme açıları 39,5° ve 44,5° 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 yükseldiğinde bir tabaka BX1100 donatısının s/B=%2 oranındaki taşıma gücü 82,2 kN/m^2'den 52,6 kN/m^2'ye, bir tabaka BX1200 donatısının s/B = %2 oranındaki taşıma gücüyse 49,3 kN/m^2'den 38,8 kN/m^2'ye azalmıştır. 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 rijitlikte olan geogrid malzemeye göre daha iyi olduğu, belirli bir oturmadan sonra ise tamamen farklı davranış gösterdiği görülmektedir.

Otani, Hidetoshi ve Izgaramoto (1998) çalışmalarında, geosentetikle donatılandırılmış kohezyonlu zemin üstüne oturtulan esnek üniform şerit temelin taşıma gücü rijit plastik sonlu eleman formülüyle araştırmışlardır. Kullanılan yöntem, plastisite teorisinin üst sınır teoremine dayandırılmakta ve limit durum halinde yük faktörü taşıma gücü şeklinde ifade edilmektedir. Kum ve donatı malzemesi, aynı değerdeki kohezyona sahip olan kompozit bir malzeme gibi düşünülerek modellenmiştir. Çalışmada alt tabakada bulunan yumuşak zeminin tamamının kohezyonlu olduğu düşünülmüş ve Von-Mises kırılma kriterlerine göre donatılı zeminle yumuşak zemin modellenmiştir. Yapılan analizlerde kullanılan yöntem başlangıçta donatısız zeminlerde Prandtl çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Donatı boyu, derinliği ve sayısı değiştirilerek donatılı durum için analizler yapılmıştır. Donatılandırmanın taşıma gücüne olan etkisi deneylerden elde edilen sonuçlara göre araştırılmıştır. Taşıma gücünü ya da göçme yükününün belirlenmesi amacıyla üst sınır, alt sınır metodu, kayma çizgisi metodu, sonlu elemanlar metodu (deplasman yaklaşımı) ve limit denge metodu gibi bir çok metot kullanılabilir. Donatılandırılmış yapıların analizinde göçme yeri ve şeklinin önemi limit denge metodlarına dayanmaktadır. Fakat limit denge metodu taşıma gücünün bulunmasında sağlanılması gerekli olan denge, bünye denklemleri, deplasman sınırları, kompabilite ve göçme ilişkisi gibi birçok koşul sağlanmamaktadır. Donatılandırılmış zemin taşıma gücü geosentetik katman sayısıyla beraber, donatı derinliğine ve boyuna da bağlıdır. Bu durum çalışma yapılan zemindeki göçme mekanizmasından ayrı olacak bir şekilde bulunmaktadır. Analiz donatılandırılmış ve donatılandırılmamış durumlarda gözlemlenmiştir.

Donatısız Durum: Oluşturulan model Prandtl çözümleriyle (qu= 5.14cu) kıyaslanmış ve çok iyi sonuçlar bulunmuştur. Modellerle ortaya çıkan taşıma gücü ve plastik akma mekanizmaları grafiklerle gözlenmiştir.

Donatılı Durum: Değişik derinlikte ve uzunlukta donatı sayılarının değiştirilmesi ile analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar taşıma gücü ve göçme mekanizmalarıyla beraber grafiklenmiştir. Sonuç olarak donatısız durumda plastik akmanın görüldüğü yerin yükün uygulandığı köşe kısım olduğu ve donatılı durumda ise yükün daha altında oluştuğu gözlemlenmiştir. Donatılandırılmış durumda ise taşıma gücü artarken akma daha fazla bir yüzeyde gerçekleşmektedir. Donatılandırmanın daha derinde ve kullanılan donatı bounun daha uzun olması durumunda da taşıma gücünde artış olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak donatı çekme gerilmesinin büyümesiyle donatı kullanımının etkisinde artış olduğu görülmektedir. Çalışmada en ideal donatı tabaka sayısının 5, donatı derinliğinin ise 0,4B olduğu görülmüştür.

Deb, Sıvakugan, Chandra ve Basudhar (2007) yaptıkları çalışmada, Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) programıyla düzlem deformasyon şartlarında, yumuşak zemin üstüne donatılandırılmış taneli katmanın yerleştirilmesiyle taşıma gücünde meydana gelecek değişiklikleri araştırmışlardır. Deneylerde, yumuşak zemin, stabilize dolgu katmanı ve geosentetik donatı lineer elastik malzemeler şeklinde modellenmiştir. 6m derinliğinde bulunan yumuşak zemin üstündeki 1m kalınlığı sahip granüler donatılandırılmış dolgu, problem olarak düşünülmüştür. Donatı sayısı 1'den 3'e kadar değiştirilmiş olup 1m derinlik içine 0,25m düşey mesafelerle yerleştirilmiştir. FLAC programı ile hesap yapılarak, taşıma kapasitesi, oturmadaki değerler, toplu değişkenli model ve sonlu farklar metoduyla kıyaslanmıştır. FLAC programı analizleri sonucunda, oturmadaki azalışlar; bir, iki ve üç sırada donatının tasarımında sırası ile %8,5, %12,2 ve %14,5 değerlerinde olduğu görülmüştür. Toplu değişkenli modelle yapılan analiz sonuçlarından, oturmada azalma olduğu; donatılandırılmamış, bir, iki ve üç sıralı donatı tasarımında sırası ile %18,2, %25,4 ve %29,2 ve %32 değerleri görülmüştür. Çalışmalar sonucunda, her iki yaklaşım için donatı tabaka sayısının artmasının oturmaları azalttığı görülmektedir. Temelin merkez seviyesinde ve z/B oranının 0,375 değerinden az olması halinde oluşan düşey gerilmeler, bütün donatılandırılmış kombinasyonlarda donatılandırılmış katman sayısının artmasıyla düşmektedir. Temelin merkez noktasından uzaklaşıldıkça donatılandırılmamış durumda en düşük düşey gerilme değeri görülürken, z/B değerinin 1,6 'dan büyük olmasında ise düşey gerilme donatılandırılmış katman sayısının artmasıyla azalmaktadır.

Selveaduari ve Gnanendran(1989), geogridle donatılandırılmış şev dolgusunun üzerindeki sürekli bir temel taşıma gücünü model deneylerle araştırmışlardır. Tek bir donatı tabakası kullanmışlardır. Farklı derinlikte, şevin tepe noktası yakınlarındaki bir yere konumlandırılan sürekli temelin yük-oturmasını incelemişlerdir.. Çalışmalarda, şev dolgusu üzerindeki sürekli temelin taşıma gücünün geogridle 1,8 kat oranında arttırıldığı, uygun donatının katman derinliği, temel genişliğinin 0,5-0,9 katı olan derinliklerde olduğu görülmüştür.

Huang, Tatsuoka ve Sato (1994), laboratuvar ortamında yaptıkları model deneyleri, şerit temelle yüklenen donatılandırılmış şev üstünde uygulamışlardır. Deneysel çalışmalarında, donatılandırılmış şevin yükleme durumunda gösterdiği yenilme sistemi araştırılmıştır. Çalışmalarında fosforlu bronz şeritler, donatı malzemesi olarak kullanılmıştır. Zemine belirli bir açıyla yerleştirilen bronz şerit donatıların taşıma gücünü nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlardan, zemine üç donatı katmanı konulmasıyla ulaşılan taşıma gücü değerinde, donatı kullanılmayan duruma göre yaklaşık olarak 3 kat daha fazla artış görülmüştür. Donatının 30° açıyla yerleştirilmesi durumunun da, donatıların yatay halde yerleştirilmesi durumuna göre taşıma kapasitesi değerini yaklaşık 1,3 kat artırdığı görülmüştür.

Lee ve Manjunath (2000), yaptıkları deneysel çalışmada, geosentetik malzemeyle donatılandırılmış şeve oturtulan rijit şerit temelde 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 şevin tepe noktasına mesafesinin taşıma gücünü nasıl etkilediği araştırılmıştır. Temelin kendi genişliğinin 5 katına kadar uzak mesafeye konulması halinde şevdeki açının taşıma gücü üstünde herhangi bir etkinliğinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Yoo (2001), yaptığı deneysel çalışmada, donatılandırılmış şeve oturtulan şerit temeldeki taşıma gücünü araştırmıştır. Yapılan deney sonuçları, GEOFE2D sonlu elemanlar yazılımı ile modellemiş ve elde edilen sonuçarı, deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Ayrıca donatılarda meydana gelen gerilmeler de saptanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda bulunan sonuçlara göre, ideal başlangıç donatısı derinliği değerinin, temel genişliğinin 1,0 katı kadar olduğu bulunmuştur. Zemindeki tek katman donatının ideal derinlik değerine konulması halinde ise taşıma kapasitesinde donatı kullanılmayan duruma oranla 1,73 kat civarında artış olmuştur.

Dawson ve Lee (1988), yerinde arazi deneyleriyle donatılı kil zeminlere oturan sürekli temelin oturmasını araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, kazılan killi zemin yeniden sıkıştırılarak donatılandırılmış ve 4 yıl boyunca önceden belirlenen yük basamaklarında 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.

Das, Omar ve Atalar (2000), deneysel çalışmalarında, suya doygun kil şevlerin geogrid ile takviyeli edilmesi ile üstündeki sürekli temelin taşıma gücü etkisini incelemişleridir. Rijitliğin sağlanması için ahşap temel üstüne alüminyum levha yerleştirlmiştir. Yüklenme sırasında yükün merkez noktasında düşey şekilde etki etmesini sağlamak için temel 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. Çift eksenli geogrid donatı malzemesi olarak kullanılmış ve temelin genişliğinin 5 katı olacak şekilde yatay konumda konulmuştur. Deney sonucunda, taşıma gücünün arttırılması amacıyla başlangıç geogrid levhasının temel tabanında itibaren 0,4B derinliğe yerleştirilmesinin gerekli olduğu ve bu sayede sürekli temeldeki taşıma gücünün tahmin edilebileceğini savunmuşlardır.

2.3. Rastgele Donatılı Zeminlerin Kaynak Özetleri

Hoare (1979) çalışmasında, lif ve polipropilen şeritlerin kumlu çakıl zemin içerisinde rastgele karıştırılmasıyla numuneler elde etmiştir. Hazırlanan numunelerle üç eksenli basınç ve kompaksiyon deneylerini yapmıştır. Çeşitli kompaksiyon yöntemleri ayrık liflerle rastgele donatılandırılmış kumlu çakıl zeminde uygulanmıştır. Yapılan deney sonucunda, ayrık liflerle rasgele donatı kullanılan zeminlerde donatı kullanımının, zemin mukavemetini ve duktilitesini (yüksek gerilme-deformasyon dayanımına) iyi yönde etkilediği görülmüştür.

Gray ve Ohashi (1983), deneysel ve teorik olarak yaptıkları çalışmalarında ayrık yapılı olacak şekilde yönlenmiş (oriented) liflerle zemini donatılandırarak zeminin kayma mukavemeti özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, sıkı ve gevşek kum numune içerisine, farklı oranlarda kullanılan doğal, sentetik ve metal ayrık donatıların başlangıçtaki açıları farklı olacak biçimde yerleştirilmesiyle kesme deneyi yapılmıştır. Çevre basıncı kritik bir değerdeyken zeminlerin kırılma zarflarının donatılı ve donatısız durumda benzer

özellik gösterdiği gözlenmiştir. Donatı boyunun artırılmasının da belli bir seviyeye kadar mukavemette artışa neden olduğu ve daha sonra bir üst limite ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Maher ve Gray (1990), çalışmalarında zeminleri ayrık liflerle rastgele donatılandırarak statik yükler altındaki davranışlarının nasıl olduğunu araştırmışlardır. Zemin ve donatı özelliklerinin incelenmesi için bir dizi üç eksenli basınç deneyi yapılmış olup ayrık lifli rastgele donatılı bir zeminde oluşan mukavemet artışını gözlemleyebilmek için istatistik teorisine dayalı bir model geliştirmişleridir. Kırılma zarfındaki geçiş gerilmesinin de D_{50} ve donatı miktarı değişkenlerinden bağımsızken donatı boyunun çapına oranı, tane şekli ve tane dağılımı gibi donatı ile zemin parametrelerine bağlı olduğu görülmüştür.

Nataraj (1997), yaptığı laboratuvar deneyinde kum ve killi zeminlere 25mm uzunluğundaki fibrilli polipropilen fiber lifi farklı oranlarda karıştırarak zemin ıslahı konusunu araştırmıştır. Burada fiber malzemenin zemine olan etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Malzemenin kuru ağırlığının %0,1-0,3 farklı oranlarında fiber malzeme kullanarak hazırladığı karışımlar üzerinde serbest basınç ve kesme deneyleri yapmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, maksimum kuru birim hacim ağırlığının en fazla olduğu değerdeki fiber malzemenin katkı oranı kilde %0,2 iken kum malzemede %0,1 olduğu görülmüştür. Her iki zeminde fiber katkı kullanılması durumunda serbest basınç direnci ve taşıma kapasitesinde büyük ölçüde artış olduğu görülmüştür (Çetinkaya, 2012).

Kaniraj ve Gayathri (2003) uçucu kül malzemeye fiber malzeme karıştırılmasının, malzemenin geoteknik özelliklerinde değişime olduğunu görmeleri üzerine, farklı iki uçucu kül numunesi ile birtakım deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmada F tipinde uçucu kül kullanılmış olup Yeni Delhi'deki Rajghat ve Dadri termik santrallerinden elde edilmiştir. Karışımlarda %1,0 sabit oranında farklı iki tür malzeme kullanılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda; yapılan standart proktor testinde Dadri uçucu külünde belirgin bir değişim olmadığı görülürken, Rajghat uçucu külünde optimum su muhtevası azalmış ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı artmıştır. 6mm uzunluğunda olan fiber malzeme serbest basınç deneyinde kullanıldığında fibersiz duruma kıyasla daha fazla

eksenel yük taşıdığı görülmüştür. Yükün azalmasıyla beraber deformasyonun devam ettiği kaydedilmiştir. 20mm'lik fiber malzeme kullanılması durumunda ise eksenel yükte herhangi bir azalma olmadığı görülmüştür. Yani fiber malzeme uzunluğunun malzemenin davranışına herhangi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Fiber boyunun kısa olması durumunda malzemenin pik gerilime ulaşması halinde malzemenin yük miktarında azalma olduğu görülmektedir (Çetinkaya, 2012).

Kumar, Mehndiratta, Chandranarayana ve Singh (2005) uçucu kül dolgulara rastgele katılan fiber malzemenin etkilerinin araştırılması için bir dizi deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmada kullanılan uçucu kül Hindistan'ın Dadri bölgesindeki ulusal bir termik santralden elde edilmiştir. Sürekli boydaki fiber kesilerek çalışmada kullanılan fiber donatı oluşturulmuştur. Kötü derecelenmiş ince kum (SP) deney zemin numunesi olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda; modifiye proktor testinde fiber oranının artırılmasıyla optimum su muhtevasında ve maksimum kuru birim hacim ağırlığında azalma olduğu görülmüştür. Malzemenin ıslak ve kuru taşıma kapasitesi değerlerinin fiber oranının artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu artış %1,0 fiber oranındaki malzemeye kadar olmuş, bu oranın üstünde fiberin artırılmasıyla artışların oransal olarak belirgin olmadığı görülmüştür. Kuru taşıma kapasitesi testlerinde ise %2,0 fiber oranına kadar artışların devam ettiği kaydedilmiştir. %0,5 oranında fiber katkı kullanılması durumunda uçucu kül zemin numunesi üzerindeki taşıma kapasitesindeki artışın donatısız duruma kıyasla çok yüksek bir oranda olduğu görülmüştür. Fiber malzemenin artırılmasıyla beraber içsel sürtünme oranında da artma olduğu gözlemlenmiştir. İçsel sürtünme açısındaki yüzdesel artışın en büyük değerinin %0,5 fiber oranında olduğu tespit edilmiştir. Arazide yapılan taşıma kapasitesi deneylerinde %0,5 fiber malzeme oranında taşıma kapasitesindeki artışın % 40,64 olduğu görülmüştür (Çetinkaya, 2012).

Jadhao ve Nagarnaik (2008), çalışmalarında yol dolgusuna polipropilen lif katkısının mühendislik davranışına olan etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmada, zemin-uçucu kül karışımına fiber malzeme eklenmiş olup deneylerde %85 silt oranında malzeme kullanılmıştır. Uçucu kül numunesi F tipindedir ve Hindistan'ın Eklahare bölgesindeki Nashik Termik Santralinden alınmıştır. Karışımlarda kullanılan polipropilen lifler ise RP6, RP12 ve RP24 tipindedir. Karışımlar üzerinde standart proktor ve serbest basınç testleri yapılmış, taşıma kapasitesi değerleri tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, karışımlarda

fiber katkı kullanılmasının mühendislik özellikleri bakımından önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Karışıma fiber eklenmesiyle; yapılan proktor testlerine göre karışımın maksimum birim hacim ağırlığında artış olmakta ve optimum su muhtevasında azalma olmaktadır. Yapılan serbest basınç deney sonuçlarında ise serbest basınç değerinde ve malzemenin sünekliğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan fiber malzemenin uzunluğunun artırılması serbest basınç değerindeki artış miktarını azaltmakta ancak malzemenin süneklilik değğerini arttırmaktadır. BCR deneylerinde, %1,0 oranında fiber katkısının etkisinin olumlu olduğu ve fiber uzunluğunun 12mm'ye kadar olması durumunda karışımlarda bu etkinin devam ettiği görülmektedir. Çalışmalar sonucunda, fiber malzeme ile güçlendirilen zemin uçucu kül karışımlarında en yüksek performansa 12mm fiber uzunluğunda ve ağrlıkça %1,0 fiber malzeme oranının zemin-uçucu kül karışımına eklenmesiyle ulaşıldığı görülmüştür (Çetinkaya, 2012).

S.Ayyappan (2010) yaptığı deneysel çalışma ile yol dolgularına polipropilen lif eklenmesinin mühendislik davranışına olan etkilerini incelemiştir. Çalışma, zemin-uçucu kül karışımına fiber donatı eklenmesiyle yapılmıştır. Deneylerde %85 silt oranına sahip bir malzeme kullanılırken, Tuticorin Termik Santrali'nden F sınıf uçucu kül alınmış ve RP6, RP12, RP24 tiplerinde fiber malzeme kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, fiber malzemenin zemin uçucu kül karışımına eklenmesiyle mühendislik özelliklerinde belirgin değişiklikler olduğu kaydedilmiştir.

Yapılan proktor testlerinde, karışıma fiber malzeme eklenmesinin karışımın maksimum birim hacim ağırlığını artırmakta olduğu ve optimum su muhtevasını düşürdüğü görülmektedir. Serbest basınç deneyleri sonuçlarına göre serbest basınç değerinde ve malzemenin sünekliğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Fiber malzeme uzunluğunun artırılması ile serbest basınç değerindeki artış azaltmakta ancak malzemenin sünekliği artmaktadır. BCR deneylerinde ağırlıkça %1,0 oranında fiberin olumlu etkisi görülmekte ve fiber uzunluğunun 12 mm'ye kadar olması durumunda bu etki devam etmektedir. Özetle deneysel sonuçlara göre fiberle donatılandırılmış zemin uçucu kül karışımlarında en yüksek performansa 12mm fiber malzeme uzunluğunda ve zemin-uçucu kül karışımının ağırlıkça %1,0'i olması durumunda ulaşıldığı görülmüştür (Çetinkaya, 2012).

3. YÖNTEM

Son yıllarda gerek dünyada gerekse ülkemizde kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biri donatıyla zeminin güçlendirilmesi biriyse taş kolon oluşturma yöntemidir. Bütün mühendislik yapılarında zeminin durumu ve problemi kendisine özgü bir şekildedir. Farklı zemin yapılarında ve yeraltı suyu durumu olması halinde farklı türde zemin iyileştirmesi yöntemleri de önerilebilir. Belirli bir zemin probleminde, zemin iyileştirme yöntemlerinin biri ya da birkaçının uygun olması söz konusu olabilir. Zemin ıslahı yöntemlerinden tümünün benzer zemin koşullarında uygulanması mümkün olamamaktadır. Örneğin problemli farklı zemin tabakalarına sahip bir zeminde rastgele donatıyla birlikte taş kolon yönteminin uygulanması mümkündür. Aşağıda taş kolon yöntemi teorik olarak anlatılacaktır.

3.1. Taş Kolon Yöntemi

Taş kolon yöntemiyle zayıf, yumuşak ve gevşek zemin türlerinin iyileştirilmesi, günümüzde birçok ülkede uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde sınırlı sayıdaki projelerde uygulanmıştır. Taş kolon yöntemiyle üstyapı proje yüküne, çalışma sahası ve zemin şartlarına bağlı olacak şekilde zemindeki taşıma gücünde artış olmakta, oturma (konsolidasyon) süresi daha az olmakta ve deprem anında sıvılaşan ya da mukavemetini yitiren zeminler daha sağlam bir hale getirilmektedir. Taş kolonların uygulanma alanları çoğunlukla yumuşak ve orta katı kil zeminler ve 10.0 m'den az problemli zemin tabakalarıdır. Taş kolon yönteminin uygulanmasıyla oturma problemi %50-%60 civarında azalabilmekte, taşıma gücünde de önemli ölçüde artış olmaktadır. Uygulamada taş kolon uçlarının sağlam bir zemin tabakasına oturtulması tercih edilmektedir.

Resim 3.4. Taş Kolon Uygulaması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ve değerlendirilmesi bu bölümde gösterilmiştir.

4.1. Kum Zemindeki Deney Sonuçları

Kum zemin üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve araştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde sıralanmaktadır.

Ayrık liflerle rastgele donatılandırılan zeminlerin, mukavemetinde ve duktilitesinde (daha yüksek gerilme-deformasyon değerlerine dayanımına) artış olduğu gözlemlemiştir. Kırılma zarfındaki geçiş gerilmesi değerinin, donatı miktarı ve D_{50} gibi değişkenlerden bağımsız olup donatı boyunun çapına oranı, tane şekli ve dağılımı gibi bazı donatı-zemin parametrelerine bağlı olduğu gözlenmiştir.

Değişik donatı oranlarında ve farklı açılarda yerleşim şekillerinde doğal, metal ayrık ve sentetik donatı kullanılması durumunda, kritik bir çevre basıncı değerinden sonra donatılı zeminin kırılma zarfının donatısız zeminle paralel olduğu görülmüştür. Donatı boyunun artırılmasının ise belli bir değerde zemin mukavemetini artırdığı fakat sonra üst bir limite ulaşıldığı görülmüştür.

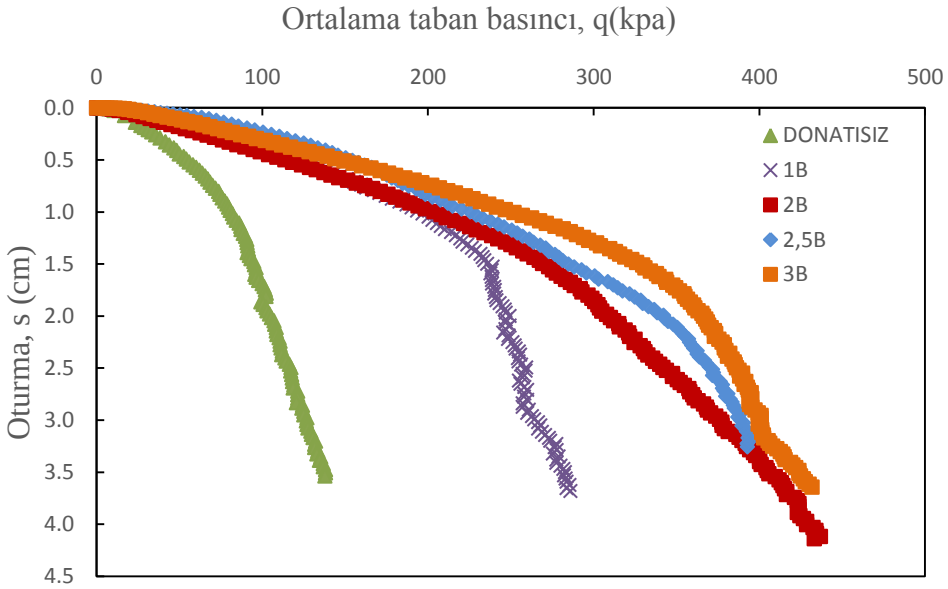
Maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri en yüksek durumda %0,1 oranında kullanılan fiber katkı, serbest basınç direncini ve BCR değerini önemli derecede arttırdığı görülmüştür. Bu oranın üzerindeki fiber artışı, oransal anlamda belirgin olmadığı görülmüştür. Fiber artışı ile birlikte içsel sürtünme oranında da artış gözlemlenmiştir. İçsel sürtünme açısındaki en büyük yüzdesel artış %0,5 fiber oranında olmuştur. Arazide yapılan BCR deneylerinde %0,5 fiber oranında taşıma kapasitesi değerindeki artış % 40,64 olarak tespit edilmiştir.

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 yoğunlaşılmıştır. Rastgele donatılı

zeminler üzerinde yapılmış çalışma sayısı çok fazla değildir. Dolayısıyla rastgele donatılı zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda incelenen parametre sayısı da sınırlı kalmıştır.

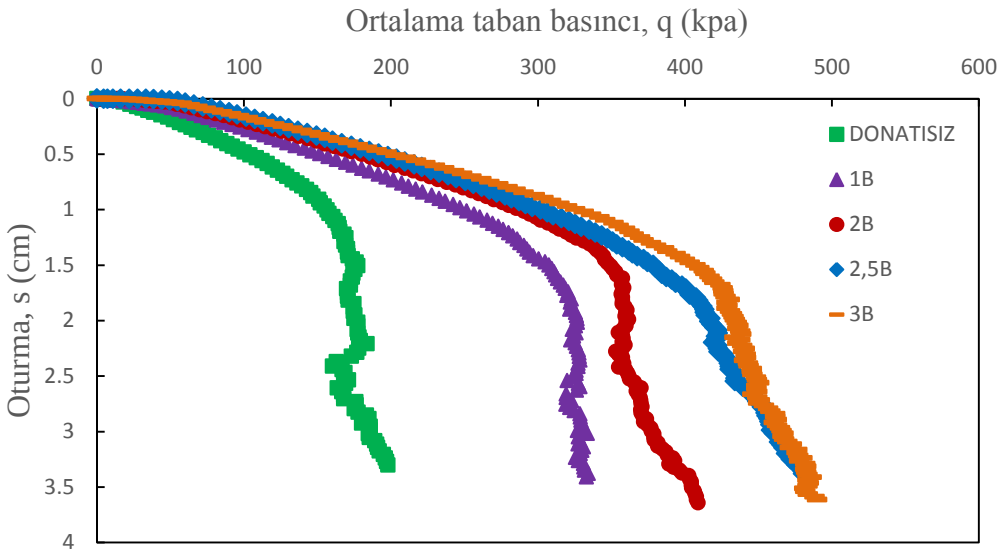
Yapılan deney ve çalışmalarda:

Sabit rölatif sıkılıkta donatı derinliği arttıkça nihai taşıma kapasitesi artmış ve aynı taban basıncı değerinde yaptığı oturmalarda azalmıştır.



Şekil 4.1. D_r=%50 rölatif sıkılıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri

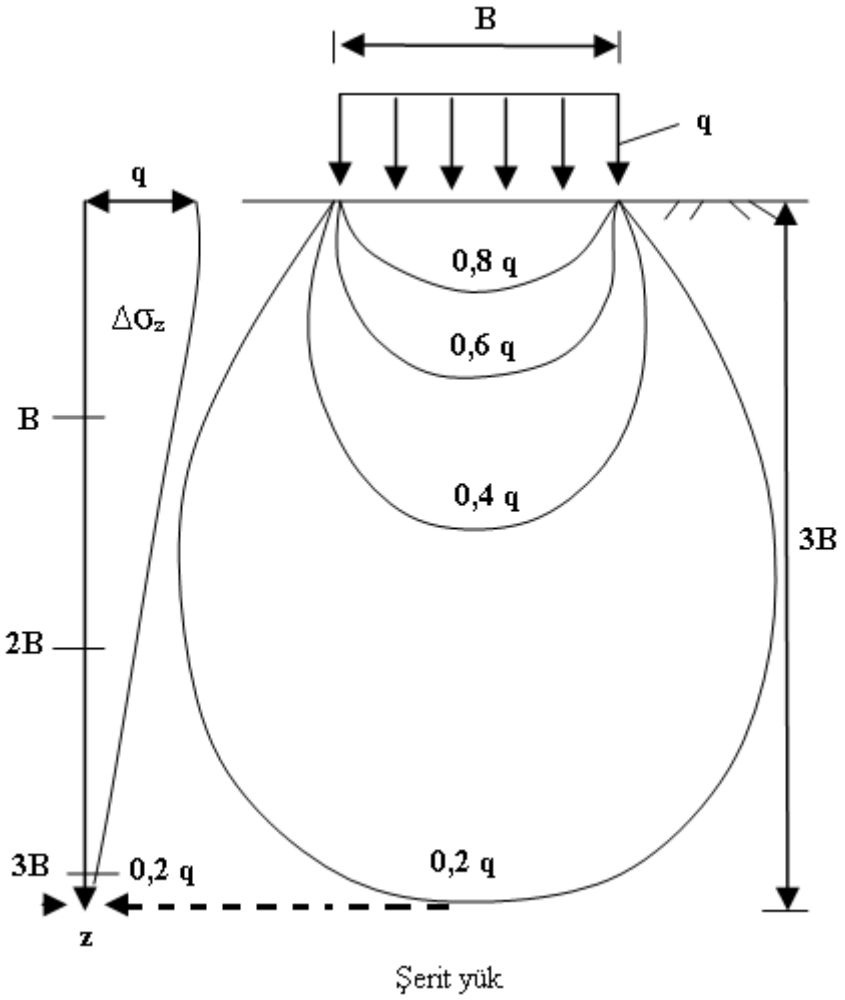
- %50 rölatif sıkılıkta, taban basıncı ile oturma ilişkisini veren eğrinin eğiminin değiştiği yük değeri, yani kırılmaya başladığı ilk yük değeri donatı derinliğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Donatı derinliği arttıkça kırılmaya başladığı ilk yük değeri de artmıştır. Donatı derinliği arttığı zaman 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 oturmalardaki azalma çok fazla değişmemiştir.



Şekil 4.2. D_r=%65 rölatif sıkılıkta farklı derinliklerde donatı kullanılması durumunda ortalama taban basıncı-oturma eğrileri

%65 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 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 oturmalardaki azalma çok fazla değişmemiştir (Küçükçongar, 2015).

Donatı derinliğinin 2B ya da 2,5B den büyük olması durumunda ise taşıma kapasitesindeki artış ve aynı taban basıncına karşılık gelen oturmalardaki azalmanın çok fazla değişmemesinin sebebi şerit temellerde gerilme artışları 3B derinliğe kadardır. Yani temel zemine uyguladığı etki derinliği 3B kadardır.



Şekil 4.3. Şerit temellerde eş basınç eğrileri

Farklı donatı derinliklerinde, 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.

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.

4.2. Diğer Zemindeki Deney Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar ve araştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde sıralanmaktadır.

Silt zemine fiber eklenmesi ile yapılan proktor testlerinde karışımın maksimum birim hacim ağırlığında artış görülmekte ve optimum su muhtevası düşmektedir. Yapılan serbest basınç deneylerinde ise serbest basınç değerinde ve malzemenin sünekliğinde artış görülmektedir. Fiber malzeme uzunluğunun artırılması ile serbest basınç değerindeki artış azaltmakta ancak malzemenin sünekliğinde artış görülmektedir. %1,0 fiber oranı ve fiber uzunluğunun 12mm olması durumunda BCR deneylerinde en olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Çetinkaya, 2012).

Deneylerde kısa fiber kullanılması durumunda, pik gerilime ulaşıldıktan sonra malzemenin yük miktarında azalma görülmektedir.

Donatısız deneylerde zemin tanelerindeki hareketin daha fazla donatılı durumda ise daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Yer değiştirme vektör alanı haritalarından hareketle donatı derinliğinin artmasıyla temel zemininin yanal doğrultuda hareketi azalmıştır. Özellikle donatısız deneylerde spiral şeklinde kayma bantları görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşağıda İLBANK A.Ş. bünyesinde yapımı devam eden Şarkışla Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait zemin parametreleri verilmiş olup inşaatın yapılacağı tesisin zemininde rastgele donatının uygulanabilirliği gösterilecektir.

Çizelge 4.1. Şarkışla (SİVAS) Atıksu Arıtma Tesisi Zemin Parametreleri Tablosu

Kod	Ünite İsmi	Temel Derinliği	Oturacak maks. yük (su dahil) (kg/cm^2)	Taşıma Gücü (qem) (kg/cm^2)	Oturma Miktarı (cm)
B101	İDARİ BİNA	1,20	0,15	0,77	1,97
B102	BELT PRES BİNASI	1,20	0,17	0,79	0,65
B103	BEKÇİ BİNASI	1,00	0,18	0,78	0,15
B104	BLOWER BİNASI	1,20	0,16	0,78	0,32
B105	TRAFO-JENERATÖR BİNASI	1,20	0,14	0,81	0,61
T102	TERFİ MERKEZİ	8,00	2,11	2,11	3,85
T103	HAV. KUM TUTUCU	0,95	0,53	0,69	4,18
T105	HAVALANDIRMA HAVUZU	2,45	0,5	1,01	0,24
T106	ÇÖK. TANKLARI DAĞITIM YAPISI	3,00	0,88	1,13	2,75

Tesisin Zemin Etüt ve Değerlendirme Raporu'nda çalışma alanında zemin genelinin İnce Çakıllı KUM, killi KUM, kumlu KİL karakterli ve yeraltı suyunun yüzeye yakın olduğu görülmüştür. Çizelge 4.1'de da görüldüğü gibi tesiste yer alan bazı yapılarda görülen oturma değerleri, su yapılarında izin verilebilir maksimum oturma değeri olan 2,5 cm'den büyüktür. Bu yüzden tesiste zemin ıslahı yapılması öngörülmüş ve oturma problemlerini ortadan kaldırmak için jet grout uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada daha önce yapılan rastgele donatılı zemin örnekleri göz önünde bulundurularak, çalışma sahasında farklı zemin ıslahı yöntemlerinin de uygulanabilirliğini örneklerle açıklanmıştır.

Tesiste yapıların oturtulacağı çalışma alanında zemin, kil ve kum olup yeraltı su seviyesi yüksektir. Kil zeminin taşıma kapasitesi taş kolon yöntemi ile yükseltilebilirken kum zemin zeminde ise rastgele donatılandırma yöntemi uygulanabilir. Zemin rastgele donatılandırılarak taşıma gücü artırılırken oturma oranı da azaltılmış olacaktır. Böylelikle tesiste jet grout yöntemine göre hem daha ekonomik hem de uygulanabilirliği daha kolay olan bir zemin ıslahı yapılmış olur. Ayrıca tesisteki bazı yapılarda görülen oturma değerleri

izin verilebilir değerlerin altındadır. Ancak bu yapıların altındaki zeminde de rastgele donatı uygulanarak bu oturma tamamen ortadan kaldırabilir. Böylelikle üst yapıya zeminden dolayı gelebilecek hasar en aza indirgenmiş olur. Zemin donatılandırması uygulaması kolay ve ekonomik bir çözümdür.

İLBANK A.Ş. tarafından yapılacak olan tüm üstyapı işlerinde ve yol inşaatlarında zemin ıslahının gerekli olması halinde zemin rastgele donatılandırılarak taşıma kapasitesi artırılıp zemin oturması önemli derecede azaltılabilir. Oluşturulan zemin etüt raporlarından problemli zemin tespit edilip yapılacak hesaplamaların ardından seçilen temel türüne göre uygun bir tabaka derinliği donatılandırılarak ekonomik ve kolay bir şekilde zeminin iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu yöntemin hem ekonomik olması hemde kolay uygulanabilir olması tercih edilme sebepleri arasındadır.

KAYNAKLAR

Abdel-Baki, S., Raymond, G. P., Johnson, P. (1993). *Improvement of bearing capacity of footings by a single layer of reinforcement*. Proceedings of Geosynthetics 93 Conference, Canada, 407-416.

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.

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.

Akyüz, İ. (2009). *Donatılı ve Donatısız Zemin Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması,* Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversiesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 47-48.

Alawaji H. A. (2001). Settlement and bearing capacity of geogrid–reinforced sand over collapsible soil. *Geotextile and Geomembranes*, 19, 75–88.

Anonim, (2009). *Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi,* Kimya Teknolojisi Propilen Türevleri ve Prosesleri, Ankara.

Andrawes, K. Z., McGown, A. and Al-Hasani, M. M. (1978). Alternation of soil behavior by the ınclusion of materials with different properties. *Ground Eng.*, 11(6), 35-42.

Arslan, A. (2001). *Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 81.

Aşkın, H. (2011). *Kaplamasız Yolların Geotekstil İle Tasarımında Analitik Çözümle Basitleştirilmiş Yaklaşımların Karşılaştırılması ve Geotekstillerde Enerji Emilim Potansiyelinin Önemi,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8,13,69.

Babacan, D. Ş. (2004). *Donatılı Zemin Üzerine Oturan Ring Temellerin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 101.

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, 368.

Basset, K H. and Last, N. C. (1978). *Reinforcing earth below footmgs and embankments.* ASCE Symposiurn on Earth Reinforcement, Pittsburgh, 202-231.

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. *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 1067-1083.

Benek, M., B. (2006). *Geotekstiller Üzerine Bir İnceleme ve Uygulama Örnekleri*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 10,29.

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.

Çelik, S. (1997). *Geogrid Donatılı Yüzeysel Şerit Temellerde Geogridin Zeminin Taşıma Gücüne Etkisi,* Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 85.

Çetinkaya, M. (2012). *Polipropilen Liflerin Uçucu Kül Zemin Karışımlarında Geoteknik Özelliklere Etkisi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 37-41-47.

Çiçek, E. (1994). *Geosentetik Donatılı Kum Zemine Oturan Şerit Temellerin Analizi,* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-2.

Danıele, C., Pıcarellı L., Rıccıutı A., and Rımold P. (1993). *Laboratory ınvestigations on the shear strength of geogrid reinforced soils.* ASTM Special Technical Publication Symposium on Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures, 1190, 119-137.

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. And Omar, M. T. (1994). The effects of foundation width on model test for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 12(2), 133-141.

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., Sıvakugan 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 Schrıver, A. B. (2002). Plate load tests on geogrid reinforced expanded shale light weight aggregate. *Geotextiles and Geomembranes,* 20, 173-190.

Dembicki, E., Jermolowicz, P. And Niemunis, A. (1986). *Bearing capacity of strip foundation on soft soil reinforced by geotextile.* 3rd International Conference on Geotextiles, Vienna, 1, 205 -209.

Demiröz, A. (1996). *Geoteknik Açıdan Katı Atık Depolarının Değerlendirilmesi*. Doktora Semineri I, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 65,67.

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, Konya, 2,67,72.

Ertuğrul Ö. L., Trandafır A. C. ve Özkan M. Y. (2012). Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması. *İMO Teknik Dergi*, 5885-5901, Yazı 375, 5887.

Fakher, A., and Jones, C. (2001). When the bending stiffness of geosynthetic reinforcement is important. *Geosynthetics International*, 8, 445-460.

Fragaszy, R., Lawton, E., Asgharzadeh-Fozi, Z. (1983). *Bearing capacity of reinforced sand.* Proceedings 8th., European Conference Soil Mechanic, Helsinki, 57-360.

Gabr, M. A. and Hart, H., 2000. Elastic Modulus of Geogrid Reinforced Sand Using Plate Load Tests. *Technical Note, Geotechnical Testing Journal*.

Gray, D. H. and Ohashi, H. (1983). Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand. *ASCE Journal of Geotechnical*, 109(3), 335-353.

Giroud J. P. And Noiray, L. (1981). Geotextile reinforced unpaved road design. *ASCE, Geotechnical Engineering*, 107(9), 1233-1254.

Guido, V. A., Biesiadecki, G. L. and Sullivan, M. J. (1985). *Bearing capacity of a geotextile reinforced foundation.* Proceedings. 11th. Int. Conferance Soil Mechanics. and Foundation Engineering., San Francisco, 1777-1780.

Guido, V. A., Dong, K. G. and Sweeny, A. (1986). Comparison of geogrid and geotextile reinforced earth slab. *Canadian Journal Geotechnical Engineering*, 23(1), 435–440.

Guido, V. A., Knueppel, J. D. and Sweeny, M. A. (1987). *Plate loading tests on geogrid-reinforced earth slabs.* Geosynthetics 87, Conference Proceedings, New Orleans, U.S.A., 216–225.

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.

Hoare, D. J. (1979). *Laboratory Study of Granular Soils Reinforced with Randomly Oriented Discrete Fibers.* International Conference on Soil Reinforcement, Paris, 1, 47-52.

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.

Ingold, T. S. and Miller, K. S. (1982). *Analytical and laboratory ınvestigations of reinforced clay.* 2 nd bit. Conference on Geotextiles, Las Vegas, 3, 587-592.

Jones, C., and Agaiby, S. W. (1995). Design of reinforced fill systems over voids. *Canadian Geotechnical Journal,* 32, 939-945.

Karagül, B. Ç. (2006), Arazi İyileştirme Malzemeleri. *Geosentetikler, Geogridler, Dizayn Konstriksiyoni,* 252, 41–50.

Keskin, M.S., Laman, M. ve Baran, T. (2008). Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti Ve Sayısal Analizi. *İMO Teknik Dergi,* 299, 4521-4538.

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. (1994). Designing with Geosynthetics. *Third Editon, Prentice Hall, New Jersey, USA,* 783.

Koerner R. M. (1999). Desingning with geosynthetics. *Prentice Hall Inc, Four Edition, New Jersey,* 784.

Kumar, A., Ohri, L. M., and Bansal, K. R. (2007). Bearing capacity tests of strip footings on reinforced layered soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25, 139-150.

Küçükçongar, D., Ş. (2015). *Polipropilen Liflerle Rastgele Donatılandırılmış Kum Zeminlerin Optimum Derinlik Taşıma Gücü İlişkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 68,71.

Laman, M. ve Keskin, M.S. (2004). Kumlu Zeminlerde Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431/3, 53-57.

Laman, M. ve Babacan D. Ş. (2004). Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Ring (Halka) Temellerin Analizi. *Çukurova Üniversitesi, Müh-Mim.Fak., Dergisi,* Adana, 19(2), 281-289.

Laman, M., Yıldız, L., Keskin, M.S., ve Uncuoğlu, E. (2007). Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 277, 4198.

Lee, K. M. and Manjunath, V. R. (2000). Experimental and numerical studies of geosynthetic- reinforced sand slopes loaded with a footing. *Canadian Journal Geotechnical/Rev. Canadian Geotechnical*, 37(4), 828-842.

Maher, M. H., and Gray, D. H. (1990). Static Response of Sands Reinforced with Randomly Distributed Fibers. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering.* 116(11),1661-1677.

Mandal, J. N. and Sah, H. S. (1992). Bearing capacity tests on geogrid-reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(3), 327,333.

Milovic, D. (1977). *Bearing capacity tests on reinforced sand.* Proceedings of the International Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering, Tokyo, Japan, 1, 651-654.

Moroğlu, B. (2002). *Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Şerit Temelinin Taşıma Gücü,* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 84.

Moroğlu, B. ve Uzuner, B. A. (2002). *Donatılı Kuma Oturan Eksantrik Yüklü Model Yüzey Şerit Temelinin Davranışı.* Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Cilt I, 277-287.

Moroğlu, B., Uzuner, B. A. ve Şadoğlu, E. (2004a). *Eksantrik Yüklü Şerit Temel Altındaki Donatısız Ve Donatılı Kumda Kırılma Yüzeyleri.* Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İTÜ, İstanbul, 587-594.

Moroğlu, B., Uzuner, B. A. ve Şadoğlu, E. (2004b). *Donatısız ve Donatılı Kuma Oturan Yüzey Şerit Temelinde Yük-Oturma İlişkileri.* Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, BÜ, İstanbul, 147-153.

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, 39-46.

Nalçalan M., S. (2004). *Problemli Zeminlerde Geoteknik Çözümler*. TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri,430, 29-30.

Omar, M. T., Das, M. B., Yen, S. C., Puri, V. K., and Cook, E. E. (1993). Ultimate bearing capacity of rectangular foundations on geogrid- reinforced sand. *Geotechnical Testing Journal*, 16(2), 246-252.

Otani J., Hidetoshi O. and Izgaramoto K. (1998). Bearing capacity analysis of reinforced foundations on cohesive soil. *Geotextiles and Geomembranes* 16, 195-206.

Patel, M. M. (1982). *Influnce of shape pf footings on the performance of the reinforced sand bed.* Proceedings of the Confrence on Contruction Practices and Instrumentation in Geotechnical Engineering, 1, 265-269.

Patra, C. R., Das, M. B., and Shin, E. C. (2005). *Ultimate bearing capacity of eccentrically loaded strip foundations on sand reinforced with geogrids.* Paper Presented in International Symposium on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics, 1, 335-344.

Rajagopal, K., Krishnaswamy N.R. and Latha, G.M. (1999). Behaviour of sand confined with single and multiple geocells. *Geotextiles and Geomembranes*, 17,(3), 171-184.

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.

Saran, S. and Talwar, D. V. (1981). *Laboratory investigations of reinforced earth slab*. Proceedings Indian Geotechnical Conference Hyderabad, 1, 389-394.

Selvadurai, A. P. S. and 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.

Takemura, J., Okamura, M., Suemasa, and N., Kimura, T. (1992). *Bearing Capacities and Deformations of Sand Reinforced with Geogrids.* Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice, Fukuoka-Japan, 695-700.

Tan, S. A., Chew, S. H. and Wong, W. K. (1998). Sand-geotextile ınterface shear strength by torsional ring shear tests. *Geotextiles and Geomembranes,* 16(3), 161-174.

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.

Verma B. P. and Char, A. N. R. (1988). *Modeling for bearing capacity analysis of reinforced sand subgrades.* International Geotechnical Symposium on Theory and Prctice of Earth Reinforcement, Japon, 245-250.

Vidal M. H. (1968). *La terre arme*. AnnAnneles de L'Intitut Technique du Batiment et des Travoux Publics, 888-938. (as referred by Das, M. B.,1990).

Villard, P., and Giraud, H. (1998). Three-dimensional modeling of the behavior of geotextile sheets as membranes. *Textile Research Journal,* 68, 797-806.

Wasti, Y. and Bütün, M. D. (1996). Behaviour of model footings on sand reinforced with discrete ınslusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 14(1), 575-586.

Yetimoğlu, T. (1994). *Geogrid Donatılı Kum Zemin Üzerine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 270.

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. ve Salbaş, O. (2002). Dağınık Liflerle Rastgele Donatılı Kumların Kayma Mukevemeti, *İMO Teknik Dergi*, 174, 2587-2596.

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.

Yıldız A. (2002). *Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yılmaz, H. R., Eskişar, T., ve Aklık P. (17-Haziran-2005). *Geofoam Malzemesinin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanım Alanları ve Önemi Üzerine Bir İnceleme*. İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni, 123, 14-19.

Yılmaz, H., Yurtcan, U. E. ve Uğur, N. (16-17 Ekim 2008). *Geocell Hücresel Destek Sistemlerinin Yol Üst Yapısında Kullanımı Üzerine Teorik Bilgiler ve Nümerik Bir Uyulama ile Faydaların Açıklanması*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi,Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yoo, C. (2001). Laboratory ınvestigation 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

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	:	KÜÇÜKÇONGAR DOĞAN, Şeyda
Uyruğu	:	T.C.
Doğum tarihi ve yeri	:	08/06/1985 Sarıkamış
Medeni hali	:	Evli
Telefon	:	0 (542) 376 37 67
e-mail	:	seydad@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü /Geoteknik Bilim Dalı	2015
Yüksek lisans	Atatürk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları	2009
Lisans	Atatürk Üniversitesi/ İnşaat Müh.	2010
Lisans	Atatürk Üniversitesi / Matematik	2008
Lise	Kars Fen Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2011	Emircan Mimarlık&İnşaat/BURSA	İnşaat Mühendisi
2011-2012	TOKİ/ Prokon-Beşer Müh. ve Müş.Ltd.Şti. İş Ort.- Bct-Emcan Müşavirlik /ERZURUM	Kontrol Müh.
2012-devam ediyor	İlbank A.Ş. Sivas Bölge Müdürlüğü	Tek.Uzm.Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kayak, Paten, Kitap, Müzik

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ