



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**GEOHÜCRE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN
ARAZİ DENEYLERİ İLE
ARAŞTIRILMASI**

Gökçe Gizem PORTAKAL

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

EYLÜL 2021



İSTE, TEKNOVERSİTE'nin hayat bulduğu ilk ve tek üniversitedir.





**GEOHÜCRE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİNLERDE
TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAZİ DENEYLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

GÖKÇE GİZEM PORTAKAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2021

Gökçe Gizem PORTAKAL tarafından hazırlanan “GEOHÜCRE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİNLERDE TAŞIMA GÜCÜNÜN ARAZİ DENEYLERİ İLE ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata
Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 27 / 09 / 2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafımdan Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- 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 çalışmada 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.

Gökçe Gizem PORTAKAL

27 / 09 / 2021

GEOHÜCRE İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ ZEMİNLERDE TAŞIMA
GÜCÜNÜN ARAZİ DENEYLERİ İLE ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Gökçe Gizem PORTAKAL

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Eylül 2021

ÖZET

Yapıdan aktarılan yükleri güvenle taşıması, limitlerin üstünde deformasyon yapmaması, dayanıklı olması ve iklim koşullarının etkisiyle özelliklerinin değişmemesi bir temel zemininin sağlanması gereken şartlardır. Bu şartların sağlanabilmesi için ise geoteknik açıdan nitelikli zemin ortamının oluşturulması gerekmektedir. Geoteknik açıdan nitelikli zeminin elde edilebilmesi, çeşitli iyileştirme yöntemlerinin zemine uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir. Zemin iyileştirme amaçlı kullanılan geohücre, içine yerleştirilen dolgu malzemesi ile sürtünmeden dolayı kenetlenerek, yükleri daha iyi yaymakta ve yük altında meydana gelen oturmalarda azalma sağlamaktadır. Bu çalışmada, geohücre ile donatılan zeminlerde, zemin türü, temel geometrisi ve boyutu, geohücre türü ve geohücrenin zemin yüzeyi ile düşey mesafesinin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla arazi ortamında yapılan plaka yükleme deneylerinde 0-5 mm, 5-12 mm ve 0-16 mm dane çapı aralıklarına sahip üç farklı zemin türü ile 21x24.5x10 cm ve 28x34x10 cm hücre boyutlarına sahip iki farklı geohücre kullanılmıştır. Zemin türü etkisinin incelendiği deneylerde daire ve kare kesitli toplam altı farklı model temel kullanılmıştır. İri daneli zeminin daha küçük dane boyutuna sahip zemine göre ortalama 1.2 kat daha fazla taşıma gücü sağladığı belirlenmiştir. Geohücrede hücre boyutunun azalması ile birlikte yaklaşık olarak %4.03 oranında bir taşıma gücü artışı elde edilmiştir. Aynı zamanda birim alana düşen hücre sayısının artmasıyla birlikte oturma değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Geohücre, taşıma gücü, zemin iyileştirme, plaka yükleme deneyi

Sayfa Adedi : 49

Danışman : Prof. Dr. Murat ÖRNEK

INVESTIGATION OF BEARING CAPACITY OF GEOCELL-
REINFORCED SOILS WITH FIELD TESTS
(M. Sc. Thesis)

Gökçe Gizem PORTAKAL

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

September 2021

ABSTRACT

The conditions that a foundation must be provided are that it can safely carry the loads transferred from the structure, it does not deform above the limits, it is durable and its properties do not change with the effect of climatic conditions. In order to provide these conditions, it is necessary to create a geotechnically qualified soil environment. Geotechnically qualified environment is obtained by applying various improvement methods to the soil. The geocell used for soil improvement purposes, interlocks with the filling material placed inside it due to friction, spreading the loads better and reducing the settlements. In this study, the effects of soil type, foundation geometry and size, geocell type and the vertical distance of the geocell from the soil surface on the bearing capacity were investigated in soils reinforced with geocells. For this purpose, three different soil types with 0-5 mm, 5-12 mm and 0-16 mm particle diameter sizes and two different geocells with 21x24.5x10 cm and 28x34x10 cm cell sizes were used in the plate loading tests conducted in the field environment. A total of six different model foundations with circular and square sections were used in the tests in which the effect of soil type was examined. It was determined that coarse-grained soil provides an average of 1.2 times more bearing capacity than soils with smaller particle sizes. With the decrease in cell size in the geocell, an approximately 4.03% increase in bearing capacity was obtained. Also, it was determined that the settlement values decreased with the increase in the number of cells per unit area.

Keywords : Geocell, bearing capacity, soil improvement, plate loading test

Page Number : 49

Supervisor : Prof. Dr. Murat ÖRNEK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca tecrübesi, bilgi birikimi ile yoluma ışık olan ve her türlü desteği sabır ve özenle gösteren çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Murat ÖRNEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamda bilgi birikimi ve tecrübesiyle ihtiyaç duyduğum teknik konularda desteğini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Yakup TÜREDİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca tecrübelerini aktaran, her türlü destekleriyle yanımda olan canım arkadaşlarım İnş. Yük. Müh. Merve ERGİNER'e ve İnş. Yük. Müh. İbrahim ERGİNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım için arazi koşullarını sağlayan Karayolları 53.Şube Şefi Emrullah EDİS'e, Karayolları 53. Şube Şefliği Plent sorumlusu Osman NERGİS'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımı yaparken yardımını esirgemeyen, biricik kızı Belinay'la geçireceği vakitlerde bana desteğe gelen çok kıymetli Hıdır ATILGAN'a ve biz çalışırken arka planda bize destek veren eşi Filiz ATILGAN'a teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarında destek olan Karayolları 53. Şube Şefliği çalışanları ve Orak Altyapı işçilerine teşekkürlerimi sunarım.

Geohücre temininde yardımcı olan Kartuş Plastik firmasına ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, her anımda arkamda duran, tez çalışmam boyunca da maddi ve manevi her türlü desteği sabırla yapan, çok değerli annem Saadet GENÇ, babam İlhan GENÇ, ablalarım Aslı İrem KESKİN ve Ayşe Sinem KARA, eşim Murat PORTAKAL ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Geosentetikler	11
3.2. Geohücre	11
3.3. Geohücrenin Kullanım Alanları.....	12
3.4. Geohücrenin Avantajları	14
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
4.1. Deney Ortamı	15
4.1.1. Plaka yükleme deneyi düzeneği	16
4.1.2. Dolgu malzemeleri	18
4.1.3. Model temeller	21
4.1.4. Geohücreler	21
4.2. Deney Programı	22
4.3. Deneyin Yapılışı	24
5. BULGULAR.....	26

	Sayfa
5.1. Seri 1 (Dolgu malzemesi dane boyutunun etkisi)	27
5.2. Seri 2 (Temel geometrisi ve boyutunun etkisi)	30
5.3. Seri 3 (Geohücre boyutunun etkisi)	37
5.4. Seri 4 (Geohücre yerinin etkisi)	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	44



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. G ₁ Teknik Özellikleri.....	22
Çizelge 4.2. G ₂ Teknik Özellikleri.....	22
Çizelge 4.3. Deney Programı	23



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Z_1 zemini için dane boyutu dağılım eğrisi.....	18
Şekil 4.2. Z_2 zemini için dane boyutu dağılım eğrisi.....	19
Şekil 4.3. Z_3 zemini için dane boyutu dağılım eğrisi.....	19
Şekil 5.1. Teğet kesiştirme yöntemi (Örnek, 2009).....	26
Şekil 5.2. Zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi.....	27
Şekil 5.3. G_1 donatısı ile zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi.....	28
Şekil 5.4. G_2 donatısı ile zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi.....	29
Şekil 5.5. Daire kesitli model temellerin çap etkisi için Q-s/D eğrisi.....	30
Şekil 5.6. G_1 donatısı ile daire kesitli model temellerin çap etkisi için Q-s/D eğrisi.....	31
Şekil 5.7. Kare kesitli model temellerin genişlik etkisi için Q-s/B eğrisi.....	32
Şekil 5.8. G_1 donatısı ile kare kesitli model temellerin genişlik etkisi için Q-s/B eğrisi.....	32
Şekil 5.9. D_1 ve B_1 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	33
Şekil 5.10. G_1 donatısı kullanılarak D_1 ve B_1 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	34
Şekil 5.11. D_2 ve B_2 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	35
Şekil 5.12. G_1 donatısı kullanılarak D_2 ve B_2 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	35
Şekil 5.13. D_3 ve B_3 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	36
Şekil 5.14. G_1 donatısı kullanılarak D_3 ve B_3 model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi.....	37
Şekil 5.15. Z_1 zemini kullanılarak yapılan deneylerde G_1 - G_2 donatıları için Q-s/D eğrisi..	38
Şekil 5.16. Z_2 zemini kullanılarak yapılan deneylerde G_1 - G_2 donatıları için Q-s/D eğrisi..	38
Şekil 5.17. Z_3 zemini kullanılarak yapılan deneylerde G_1 - G_2 donatıları için Q-s/D eğrisi..	39
Şekil 5.18. G_1 donatısı kullanılarak yapılan deneylerde U_1 - U_2 - U_3 için Q-s/D eğrisi.....	40
Şekil 5.19. G_2 donatısı kullanılarak yapılan deneylerde U_1 - U_2 - U_3 için Q-s/D eğrisi.....	40

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Geohücrenin yapısı (Şimşek, 2017).....	11
Resim 3.2. Geohücre ile şev stabilitesinin sağlanması (www.baselok.com).....	12
Resim 3.3. Dayanma duvarlarında geohücre kullanılması (www.baselok.com).....	12
Resim 3.4. Hidrolik yapılarda geohücre kullanımı (www.baselok.com)	13
Resim 3.5. Geohücre ile karayolu zemin stabilitesi sağlanması (www.baselok.com)	13
Resim 3.6. Geohücrenin drenaja uygun yapısı (www.movea.com.tr).....	14
Resim 4.1. Deney ortamının oluşturulması.....	15
Resim 4.2. Plaka yükleme deney düzeneği.....	16
Resim 4.3. Hidrolik piston	17
Resim 4.4. Deplasman ölçerler	17
Resim 4.5. Deneyleerde kullanılan zemin dolgusu malzemeleri.....	20
Resim 4.6. Sıkılık deneyinde kullanılan malzemeler.....	20
Resim 4.7. Dairesel kesitli model temeller	21
Resim 4.8. Kare kesitli model temeller.....	21
Resim 4.9. Hücre Boyutları	22
Resim 4.10. Dolgu malzemelerinin yerleştirilmesi	24
Resim 4.11. Geohücrenin yerleştirilmesi ve çubuk yardımıyla sabitlenmesi	24
Resim 4.12. Kompaktör ile sıkıştırma işlemi.....	25
Resim 4.13. Piston ve deplasman ölçerin konumu	25

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

B	Temel genişliği
cm	Santimetre
D	Temel çapı
G	Geohücre
m	Metre
mm	Milimetre
s	Oturma
TBR	Trafik Fayda Oranı
U	Mesafe
Z	Zemin
Q	Yük
γ	Birim hacim ağırlık
%	Yüzde

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
İSTE	İskenderun Teknik Üniversitesi
TS	Türk Standartları

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve kentleşmeye paralel olarak yapılaşma ülkemizde ve dünyada günden güne artmaktadır. Bu durum yerleşke alanlarında arazi sorununu oluşturmuştur. Buna bağlı olarak elverişsiz arazi kullanımı çok sık gündeme gelmeye başlamıştır. Bu sebeple arazinin taşıma gücünü arttırmak ve zemini yapı inşa etmeye uygun hale getirmek için inşaat mühendisliğinde zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Zemin iyileştirme yöntemleri mekanik, hidrolik, fiziksel-kimyasal ve donatı kullanılarak iyileştirme olarak 4 gruba ayrılmaktadır (Hausmann, 1990). Mekanik iyileştirme, dinamik veya statik yükleme yapılarak zemini ağır yük ile sıkıştırma olarak tanımlanmaktadır. Kompaksiyon işlemi olarak da adlandırılan bu yöntemde, zemindeki hava boşluklarının azalması sağlanmaktadır. Hidrolik iyileştirme ile dren veya kuyu yardımıyla zeminde bulunan serbest boşluk suyunun uzaklaştırılarak yeraltı su seviyesinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Fiziksel ve kimyasal iyileştirme, fiziksel karıştırma, enjeksiyon, zemini ısıtma ve dondurma gibi yöntemleri içermektedir. Kireç, çimento, uçucu kül gibi katkı malzemelerini zemine ekleyip karıştırma fiziksel karıştırma işlemi iken bu malzemeleri zemin boşluklarına enjekte etme enjeksiyon işleminin kapsamındadır. Zemini ısıtarak kimyasal yapısını değiştirip zemindeki suyu buharlaştırma veya zemin içindeki suyu dondurarak zemin daneleri arasındaki bağı kuvvetlendirme ise ısıtma ve dondurma işlemleri kapsamındadır. Donatı kullanarak iyileştirme, donatı görevi görebilecek malzemeler kullanılarak zeminin çekme dayanımı arttırmak olarak tanımlanmaktadır. Donatı malzemesi olarak ankraj veya çivi kullanılabildiği gibi zemini hapsedip kenetlenme sağlayan çelik veya sentetik malzemeler de kullanılmaktadır (Sarsılmaz, 2017).

Geoteknik mühendisliği, projenin amacına, arazi koşullarına, zeminin türüne göre optimum faydayı sağlayan iyileştirme yöntemlerinden biri ve/veya birkaçını seçmeyi ve uygulamayı içermektedir. Zemin türüne göre kohezyonsuz zeminlerde mekanik iyileştirme ve donatı kullanılarak iyileştirme yöntemleri tercih edilirken, kohezyonlu zeminlerde hidrolik iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Yapı kullanım amacına göre ise konut, fabrika gibi üstyapı projelerinde sıkıştırma ve enjeksiyon yöntemleri diğer yöntemlere göre daha yaygın kullanılırken, karayolu ve demiryolu gibi altyapı projelerinde donatı olarak geosentetikler kullanılarak güçlendirme tercih edilmektedir.

Geosentetikler, ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım işlevlerine sahip hammaddesi polietilen, polyester, polipropilen olan sentetik malzemelerdir (Örnek, 2009). İşlevlerine göre geomembran ile geonet yalıtım ve drenajda, geotekstil ayırma ve filtrelemede, geogrid güçlendirmede, geohücre ise şev stabilitesi ve güçlendirmede kullanılmaktadır.

Geohücreler üç boyutlu polimerik petek yapıları sayesinde dolguyu hapsederek zemin stabilitesini arttırmakta ve zeminin yanal hareketini azaltmaktadır (Han, Yang, Leshchinsky ve Parsons, 2008). Karayolu projelerinde yükün daha geniş alana yayılmasını sağlayarak yol temelinin taşıma gücünü arttıran geohücre, kolay uygulanabilir olması ve düşük maliyetinden dolayı tercih sebebidir (Şimşek, 2017). Hücre açıklığı, yüksekliği ve kalınlığı projeye uygun olarak istenilen boyutlarda üretilebilmekte ve akordiyon yapısı sayesinde kolay katlanıp açılabilmesi için nakliye ve uygulamada zorluk yaşanmamaktadır.

Bu çalışmada, geohücre donatısının zemine takviye olarak kullanıldığında taşıma gücüne etkisi arazi deneyleri ile araştırılmıştır. Dolgu malzemesi türü, temel geometrisi, geohücre boyutu ve geohücrenin zemin yüzeyine mesafesinin taşıma gücü ve oturmaya etkisinin araştırıldığı deneyler 5 seri halinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 25, 30 ve 45 cm çaplarında dairesel plakalar ve bunlarla eşdeğer kesit alanına sahip 22, 26 ve 40 cm ölçülerinde kare plakalar yüzeysel model temel olarak kullanılmıştır. Boyutları 21x24,5 ve 28x34 olan geohücreler ile kenetlenen 0-5, 5-13 ve 0-16 mm dane boyutlarında dolgu malzemeleri kullanılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar aşağıdaki düzende sunulmuştur.

İlk kısımda tezin konusu ve kapsamından bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci kısmında, çalışma konusu olan geohücrelere ilişkin literatür taraması yapılarak konu ile ilgili önceki yıllarda yapılan çalışmalar sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, donatılı zeminlerde kullanılan geohücrelerden bahsedilmiş, kullanıldığı alanlar, kullanım aşamaları ve sağladığı faydalar hakkında genel bilgiler aktarılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, arazi ortamında yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiş ve deney düzeneğinden bahsedilmiştir. Aynı zamanda deneyde dolgu malzemesi

olarak kullanılan zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacı ile yapılan deneyler açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, arazi deneyleri ile elde edilen bulgulardan bahsedilmiş, grafikler halinde sunulmuştur.

Altıncı bölümde ise tez çalışması kapsamında arazi ortamında yapılan deneyler ile elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve bu tez çalışması ışığında gelecekte yapılabilecek çalışmalar için çeşitli öneriler sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geohücreler ve geosentetiklerin farklı zeminlerde, farklı kullanım şekillerinde ve çeşitli yüklemeler altında gösterdikleri davranışların ele alındığı birtakım deneysel ve sayısal çalışmalar aşağıda derlenmiştir.

Inti ve Tandon (2021) tarafından yapılan çalışmada, yolun üst yapısında kaplama kısmı olmadan geohücrenin etkisi incelenmiştir. Düşük hacimli yolların modeli oluşturularak yapılan laboratuvar deneylerini içeren çalışmada, yolda oluşan gerilmelerin geohücre kullanılması ile daha iyi yayıldığı gözlenmiştir. Kaplamasız modelde çıkan sonuçlara göre kaplama tasarımlarının yeniden gözden geçirilebileceği önerilmiştir.

Fakharian ve Pilban (2021) tarafından yapılan çalışmada, kum zeminde geohücrelerin çekme kuvvetine tepkisi araştırılmıştır. Geohücreler geleneksel dizilim dışında diyagonal olarak yerleştirilerek iyileşmedeki katkısı gözlenmiştir. Sonuçlarda diyagonal geohücrelerin çekme direncini karşıladığı ve yük oturma tepkisinin geleneksel dizilime göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Xianrong, Xiedong, Yunsheng ve Xiaowei (2020) tarafından yapılan çalışmada, asfalt karışımların hizmet ömürlerine geohücrenin etkisi incelenmiştir. Geliştirilen viskoelastik model sayesinde deney sonuçlarından, aynı yükleme koşulları altında donatılı numunelerde donatısız numunelere göre yorulma ömrünün arttığı gözlenmiştir. Yükleme sıcaklığının da iyileştirme üzerinde etkisi olduğu ve sıcaklık arttıkça %230'a varan bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Huang, Lin, Pokharel, Tura ve Mukhopadhyaya (2020) tarafından yapılan çalışmada, donma-çözülme döngüsünde hasarı azaltmak için geohücrenin faydası ele alınmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerinde geohücre ile güçlendirilmiş zeminlerde beş donma-çözülme döngüsünden sonra, geohücreler sayesinde zeminde donma kabarması ve çözülme oturmasının donatısız duruma göre %34'e kadar azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda taşıma kapasitesi de donatısız duruma göre %253 artmıştır.

Arvin, Abbasi ve Fahliani (2020) tarafından yapılan çalışmada, geofom ve geohücre ile kompozit biçimde oluşturularak geofomun taşıma gücü özellikleri üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Hafif dolgu geosentetiği olan geofom, geohücre arasına yerleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinde kesme mukavemetinde %72'ye varan, düşey yer değiştirmede ise %67'ye varan oranlarda iyileşmeler gözlenmiştir.

Işık, Gürbüz ve Anıl (2019) tarafından yapılan çalışmada, çekme deney düzeneği ile zemin-geohücre arasındaki davranış incelenmiştir. Değişen düşey yükler altında kum zeminde artan geohücre sayısı ve uzunluğu (SxL) değeri ile çekme kuvvetinin de arttığı sonucuna varılmıştır.

Toprak (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı gerilme altında farklı sıklıklara sahip üç farklı dane boyutundaki zemine geohücre yerleştirilerek kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deniz kumu tercih edilen deneylerde, geohücre ile zemin arasında etkileşimin olumlu olduğu aynı zamanda sıklık arttıkça kayma mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Dane boyutlarının artmasının kayma mukavemetini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Aynı özellikteki deney numunelerinde dane boyutları arasında yaklaşık olarak %5 ile %15 arasında iyileşmeler elde edilmiştir.

Merjardia, Behrad ve Tafreshi (2019) tarafından yapılan çalışmada, geohücre ile güçlendirilmiş zeminlerde bir takım optimum parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla dört farklı dane boyutu, iki farklı geohücre açıklığı ve üç farklı plaka genişliği kullanılarak toplam 36 adet model deney, laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda beklenildiği gibi güçlendirme ile zemin taşıma gücü donatısız duruma göre yaklaşık 5.24 kat artmıştır. Optimum geohücre açıklığı, dolgu malzemesinin dane boyutunun yaklaşık 15 katı, optimum temel genişliği ise dane boyutunun yaklaşık 20 katı olarak belirlenmiştir.

Choudhary, Pandit ve Babu (2019) tarafından yapılan çalışmada, ankraj plakası uygulanmış kum zeminde geohücre ve geotekstil takviyesinin etkileri gözlenmiştir. Deneyler laboratuvar ortamında, donatısız, geohücre ve geotekstilin ayrı ve birlikte kullanımı ile yapılmıştır. Ayrıca deneyler üç boyutlu sayısal analiz ile de karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yük-ankraj deplasman eğrisi olarak verilmiştir. Model deneylerde ve sayısal analizlerde geohücrenin gelen yükü daha geniş alanlara yaydığı, geotekstilin ise zeminin

sertliğini arttırdığı gözlenmiştir. Donatısız durumda temel boyutunun %60'ı kadar deplasman olduğu görülmüştür. Ancak beklenildiği gibi donatılı durumda ise donatısız duruma göre 4.5 kat daha iyi sonuç alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada geohücre genişliğinin optimum ölçüsünün ankraj boyutunun 5.4 katı kadar olduğu belirlenmiştir.

Mehrijardi ve Motarjemi (2018) tarafından yapılan çalışmada, geohücre ile güçlendirilmiş zeminlerin geohücre ile güçlendirilmemiş zeminlere göre kayma mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı dane çapına sahip zemin dolgusu, farklı gerilme ile farklı zemin yoğunluğunda yapılan 36 adet model deney sonuçları üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Geohücre ile güçlendirilmiş zeminin dane çapı arttıkça kayma mukavemetinin arttığı, donatısız zeminde yoğunluğun artmasının iyileştirmeye olumlu etkisinin olduğu görülmüştür.

Kargar ve Hosseini (2017) tarafından yapılan çalışmada, zemin güçlendirilmesinde ve stabilizasyonunda kullanılan geosentetik ailesinden geohücrenin taşıma gücüne etkisi bir dizi laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Çalışmada hücre açıklığı, yüksekliği, genişliği ve sayısı değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Deneyler kum zeminde ve kare model temel ile yapılmıştır. Sonuçlar taşıma gücü-oturma grafiği ile verilmiştir. Hesaplamalara göre hücre yüksekliğinin artmasıyla oturmanın yaklaşık %48 oranında azaldığı görülmüştür. Hücre açıklığının azalmasının taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir. Optimum hücre genişliğinin temel boyutunun 5 katı olduğu belirlenmiştir. Hücre sayısının ise taşıma kapasitesini arttırdığı ancak en belirleyici özelliğin hücre yüksekliği olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yüzden hücre yüksekliğinin arttırılarak katman sayısının azaltılması tavsiye edilmiştir.

Şimşek (2017) tarafından yapılan çalışmada, geoteknik mühendisliğinde pek çok uygulamada kullanılan hücresel dolgu sistemi için 13 farklı model deney ile taşıma gücü ve oturma performansı irdelenmiştir. Çalışmada laboratuvar ortamında kum zemine çelik plaka ile yükleme yapılmıştır. Geohücre açıklığı ve yüksekliği değiştirilerek oluşturulan modellere ek olarak yükleme yerleri de değiştirilmiştir. Hesaplamalarda daha önceki çalışmalara dayanılarak temel çapının %20'si olan 52 mm'lik oturmaya karşılık gelen taşıma gücü esas alınmıştır. Sonuçlar yük-oturma grafiği şeklinde sunulmuştur. Deney sonuçları hücresel dolgu sisteminin zeminin taşıma gücünü %38 ile %73 aralığında arttırdığını göstermiştir. Hücre yüksekliği arttıkça taşıma gücünde artış görülmüştür. Hücre

açıklığının ise taşıma gücüyle ters orantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca yüklemenin hücre düğüm noktalarına yapılması durumunda hücre ortasına yükleme yapılması durumuna göre daha yüksek taşıma gücü değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

Palmeira ve Gongora (2016) tarafından yapılan çalışmada, sıkışabilir bir yol dolgusunda geogrid ve geotekstilin zemin-donatı kenetlenmesini etkileyen parametreleri araştırılmıştır. Çalışmada farklı tip zemin malzemesi, geotekstil ve farklı tip ve boyutlarda geogrid kullanılmıştır. Sonuçlar trafik fayda oranı (TBR) ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde donatı açıklığı-dolgu dane boyutu, geogrid kalınlığının dolgu stabilitesinde etkili olduğu görülmüştür. Geogrid varlığının, zemin tabakasındaki düşey yüklerde önemli bir azalmaya neden olduğu, geotekstil takviyesinin, geogrid kadar olmasa da dolgu stabilitesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Donatı açıklığı-dolgu dane boyutu oranının optimum değerinin 0.94 olduğu belirlenmiştir.

Biabani, Indraratna ve Ngo (2016) tarafından yapılan çalışmada, demiryolu dolgusunun balast olduğu literatürdeki veriler, model deneyler ve sayısal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmada balast malzemesinin ve geogrid özelliklerinin dolguya etkisi incelenmiştir. Sayısal analiz için ABAQUS programı kullanılmıştır. Sonuçlar deplasman-döngü sayısı grafiği olarak verilmiştir. Deney ve sayısal analiz sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Geohücrenin yanal ve eksenel deformasyonlara çok iyi katkı sağladığı gözlenmiştir. Döngüsel yüklemelerde düşük sertlikteki geohücrenin, yüksek sertlikteki geohücreye kıyasla daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Tafreshi, Shaghaghi, Mehrjardi, Dawson ve Ghadrđan (2015) tarafından yapılan çalışmada, geohücre ile güçlendirilmiş zemine oturan temelin yük-oturma bağıntılarını verecek analitik bir model sunulmuştur. Dolgu malzemesinin boyutsuz modülünü ve geohücrenin sekant modülünü, geohücrenin katman kalınlığını ve sayısını içeren analitik model, deneysel çalışmaların sonuçlarıyla desteklenmiştir. Katman sayısı, katman kalınlığı ve malzeme modüllerindeki artışın daha yüksek taşıma gücü sağladığı ve oturma değerlerini azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca analitik modelin sonuçları literatür verileri ile de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının ise birbiriyle tutarlı olduğu görülmüştür.

Hegde ve Sitharam (2015) tarafından yapılan çalışmada, boru hatlarının zeminlerinde geohücre ve geogrid kullanılmasının etkileri bir takım model deney ve sayısal analiz

programı ile incelenmiştir. Donatısız, geohücre veya geogrid donatı kullanılarak ve her ikisi birlikte kullanılarak yapılan model deneylerde ayrıca boru yerleştirme derinliği de değiştirilerek birtakım sonuçlar elde edilmiştir. Donatılı durumlarda boruya gelen basınçta %50'den fazla azalma gözlenmiştir. Üç boyutlu sayısal analiz programında ise donatılar sayesinde gerilmelerin yayıldığı ve borudaki basıncın azaldığı gözlenmiştir. Deney sonuçları ve sayısal analiz sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Mehrjardi, Tafreshi ve Dawson (2015) tarafından yapılan çalışmada, boru hattı zemininde geohücre ve kauçuk ilavesinin etkileri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Farklı sertlikteki boruların da incelemeye alındığı çalışmada geohücre kullanılan durumda boru üzerindeki gerilmenin dağılarak büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Kauçuk katkısının ise zeminin oturmasını yaklaşık %37 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca kauçuk katkılı dolgu malzemesinin elastik özelliğinden dolayı boru sertliğinin azalmasının boruya gelen gerilmeleri de azalttığı tespit edilmiştir.

Hegde ve Sitharam (2015) tarafından yapılan çalışmada, karmaşık yapıli geohücrelerin daha gerçekçi bir simülasyonu geliştirilerek kil zemin üzerindeki performansı incelenmiştir. Bu kapsamda üç boyutlu sayısal analiz ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Dolgu malzemesi olarak kum, donatı olarak geohücre ile birlikte geogrid kullanılmıştır. Kil zeminde gerilmelerde geohücre donatılı durumda yaklaşık %50 azalma görülürken, ek olarak geogrid kullanıldığında ise yaklaşık %70 azalma sağlanmıştır. Beklenildiği gibi donatıların yükü yayarak kil zemindeki gerilmeleri azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca sayısal analiz programının verdiği değerler ve deney sonuçları arasında uyum olduğu görülmüştür. Bu modellere ek olarak sayısal model üzerinde geohücre açıklığının ve yüksekliğinin etkileri de irdelenmiştir.

Neto, Bueno ve Futai (2013) tarafından yapılan çalışmada, sınırlandırma etkisine dayalı güçlendirme sağlayan geohücrelerin zemin taşıma gücüne etkisini hesaplamak için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntem, literatürde yer alan 9 farklı deneysel sonuçla doğrulanmıştır. Aynı taşıma gücü hesabında kullanılan 3 farklı hesap yöntemi ile karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmalar farklı zeminler, farklı hücre dolguları, farklı hücre geometrileri ve farklı yükleme şekillerinden oluşturulmuştur. Grafikler ilk önce deney sonuçları ve kendi hesap yöntemlerinin karşılaştırılması ve daha sonra ise her deneysel sonuç için 4 farklı hesap yönteminin karşılaştırılması olarak verilmiştir.

Sonuçlarda yeni geliştirilen yöntemin deneysel sonuçlarla yaklaşık benzer sonuçlar verdiği, diğer yöntemlere göre daha gerçekçi tahminler verdiği görülmüştür. Ayrıca yöntemin kil zeminlerden oluşan geohücreli dolgularda daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Şengül (2010) tarafından yapılan çalışmada, belli bir su içeriğine sahip killi bir yol dolgusunun kireçle stabilizasyonu ve geohücre ile iyileştirmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan killi zeminin su muhtevası artırılarak ilk önce kireç stabilizasyonu yapılmıştır. Ardından kireç stabilizasyonu yapılan zeminde geohücre donatı kullanılmıştır. Sadece kireç stabilizasyonunda çok iyi bir iyileşme görülmezken, donatılı durumda zeminin taşıma kapasitesinde artışlar gözlenmiştir.

Zhang, Zhao, Shi ve Zhao (2010) tarafından yapılan çalışmada, yol dolgusunda geohücre donatı ilavesinin araştırılması için laboratuvar modeli ve bir hesap yöntemi geliştirilmiştir. Aynı zamanda düşey gerilme etkisi ve geohücrenin membran etkisi incelenmiştir. Çalışmalarda yeni oluşturulan hesap yönteminin laboratuvar deneyi ile uyumluluğu irdelenmiş ve sonuçlar Koerner hesap yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilen hesap yönteminin, Koerner hesap yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Latha ve Rajagopal (2007) tarafından yapılan çalışmada, bir sonlu elemanlar programında farklı dolgu malzemesi, farklı geohücre derinliği, farklı geohücre sekant modülleri karşılaştırılmıştır. Programı test etmek için laboratuvar deney sonuçları kullanılarak doğrulaması yapılmıştır. Çalışma sonuçları uyumun granüler zeminlerde daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmada geohücreler için optimum sekant modülü aralığı belirlenmiştir.

Dash, Rajagopal ve Krishnaswamy (2003) tarafından yapılan çalışmada, farklı tip donatılarla güçlendirilen kum zemine oturan kare model temeller kullanılarak laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Donatı olarak geogrid, geohücre ve rastgele dağıtılmış ağ elemanlar seçilmiştir. Model deney sonuçlarından geohücre takviyeli kum zeminin diğer durumlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Geohücrenin zeminle kenetleyici yapısı sayesinde diğer durumların 8 katına kadar daha fazla yük taşıdığı belirlenmiştir.

Al-Qadi ve Hughes (2000) tarafından yapılan çalışmada, trafik yoğunluğu yüksek bir karayolunda yapım ve onarım işlerinin ardından 7 gün içinde oluşan tekerlek izleri üzerine çalışılmıştır. Sahada yapılan incelemeler sonucunda zayıf zemin üzerine oturan yolun zemini geotekstil, geogrid ve geohücre ile güçlendirilmiştir. Sahada düşen ağırlıklı sehim ölçer ile deneyler yapılmıştır ve 2 yıl boyunca aralıklarla deneyler yapılmaya devam edilmiştir. Sonuçlara göre donatılı durumdaki zeminde zeminin taşıma kapasitesinin donatısız duruma göre daha iyi olduğu ve timsah sırtı gibi bozulmalar olmadığı gözlenmiştir.

Yapılan literatür taraması ile farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalardan bu tez çalışmasının yöntemine ve içeriğine katkı sağlayacak çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Buna göre:

- ✓ Geohücre ile güçlendirilmiş zeminlerin taşıma gücü tayini ile ilgili çalışmaların genellikle laboratuvar ortamında yapıldığı, arazi koşullarında yapılan deneylerin oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.
- ✓ Geohücre ile güçlendirilmiş zeminlerin taşıma gücü tayini ile ilgili çalışmalarda, model temel kesitinin etkisinin araştırıldığı çalışmaların oldukça az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yapılan literatür taramasında, donatı çeşidi, dolgu malzemesi çeşidi, dolgu malzemesi kalınlığı gibi etkilerin genelde laboratuvar deneyleriyle araştırılmış olduğu görülmüştür. Bazı çalışmalarda sayısal analiz programları ve formülasyonların kullanılmış olduğu ve laboratuvar deneyleri ile karşılaştırıldığı görülmüştür. Bu çalışmada, önceki çalışmaların ışığında bazı optimum değerler kullanılarak geohücre ile güçlendirilmiş zeminde temel tipi ve boyutunun taşıma gücüne etkisi arazi ortamında yapılan plaka yükleme deneyleri ile araştırılmıştır. Aynı zamanda donatı türü, dolgu malzemesi türünün taşıma gücüne olan etkileri de ele alınmıştır.

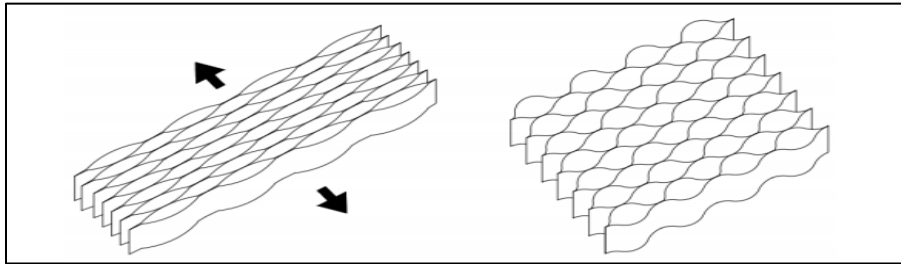
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Geosentetikler

Geosentetikler, polietilen (PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemelerinden üretilen hafif, tedariki ve uygulaması kolay, çevre şartlarına dayanıklı, üretim ve uygulama maliyeti düşük yapı malzemeleridir (Won ve Kim, 2007; Chen, Abu-Farsakh, Sharma ve Zhang, (2007); Yoo ve Kim, 2008; Shekarian, Ghanbari ve Farhadi 2008). Son yıllarda geoteknik mühendisliği uygulamalarında sıkça kullanılmaya başlanan geosentetikler, zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Geosentetikler grubunda yer alan geohücreler bu çalışmada kullanılmıştır.

3.2. Geohücre

Zemin iyileştirmede donatılı zeminler, malzemeyle kenetlenerek çekme kuvvetini karşılayan geosentetiklerden oluşmaktadır. Geohücreler zemin stabilizasyonunda kullanılan polimer malzemeden üretilen üç boyutlu petek görünümlü elemanlardır. Resim 3.1’de görüldüğü gibi geohücre, akordiyon gibi açılabilir ya da kapanabilir, kapalı haliyle taşınıp depo edilebilir özellikle üretilmektedir. Geohücreler şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda gerekli olan bariyer ve koruma işlevini yerine getirmektedir. Geohücre boyutsal olarak stabildir ve her bir hücrenin içine yerleştirilen malzemenin yanal olarak, etkin bir şekilde sınırlandırılmasını sağlamaktadır. Geohücre ile hapsedilen zemin, dağıtılan yüklere ve noktasal yüklerin zımbalama etkisine karşı oldukça dirençli hale gelmektedir. Geohücrelerdeki bu mekanizmalar sayesinde zeminin taşıma gücünde önemli mertebelerde artışlar elde edilebilmektedir (Yılmaz, 2007; Akyıldız, 2019, Yünkül, 2019).



Resim 3.1. Geohücrenin yapısı (Şimşek, 2017)

3.3. Geohücrenin Kullanım Alanları

Yüksek eğimli şevlerde, şev stabilitesinin sağlanması zor olduğundan çevresel hava olaylarının da (yağmur, rüzgâr) etkisiyle erozyon, heyelan gibi afetler yaşanmaktadır. Özellikle karayolu ve demiryolu gibi ulaşım için önem arz eden mühendislik yapılarında erozyon ve heyelana karşı koruma mutlaka gereklidir. Geoteknik mühendisliğinde bu gibi afetlere neden olan yüksek eğimli şevlerde geohücre kullanımı ile çözüm bulunabilmektedir. Geohücrenin, hücre yapısı sayesinde şev malzemesine kenetlenmesi ile zeminin kayması engellenmekte ve zemin stabilitesi artmaktadır. Ayrıca zemin yüzeyinin bitkilendirilmesine olanak sağlayan geohücre, doğal görünümlü güvenli bir koruma sağlamaktadır. Şevlerin stabilitesi ve dayanma duvarları için geohücre kullanımı Resim 3.2 ve Resim 3.3’de gösterilmiştir.



Resim 3.2. Geohücre ile şev stabilitesinin sağlanması (İnternet 1)

Resim 3.3. Dayanma duvarlarında geohücre kullanımı (İnternet 2)

Açık hidrolik yapılarında özellikle memba şevlerinde ve tabanında suyun kaldırma, aşındırma etkilerinin önlenmesi, yapının uzun ömürlü olması açısından önem arz etmektedir. Açık kanal, akarsu, gölet ve kıyı koruma gibi mühendislik yapılarında geleneksel koruma malzemeleri (beton, kaya dolgu, bitkilendirme) geohücre ile desteklenerek dayanıklılık arttırılmaktadır. Resim 3.4’de görüldüğü gibi hücre içlerine dolgu malzemesi olarak beton tercih edilirken, geomembran örtü üzerinde koruyucu bir katman görevini yapmaktadır.



Resim 3.4. Hidrolik yapılarda geohücre kullanımı (İnternet 3)

Karayolu, demiryolu gibi ağır yüklerin geçtiği ulaşım yapılarında yol dolgusu stabilitesinin sağlanması oldukça önemlidir. Bahsedilen mühendislik yapılarında, teknik özellikleri ve maliyeti açısından geohücre ile donatılma son zamanlarda geoteknik mühendisliğinde tercih sebebi olmuştur. Dolgu malzemesini içine hapsederek kenetlenme sağlayan geohücre, zeminle kompozit bir malzeme gibi davranmakta ve yükü daha fazla alana yayarak deformasyonları azaltmaktadır (Zhou ve Wen, 2008). Resim 3.5’de görüldüğü gibi karayollarında kaplama tabakasının altına yerleştirilerek yol dolgu malzemesi hücrelere doldurulmaktadır.

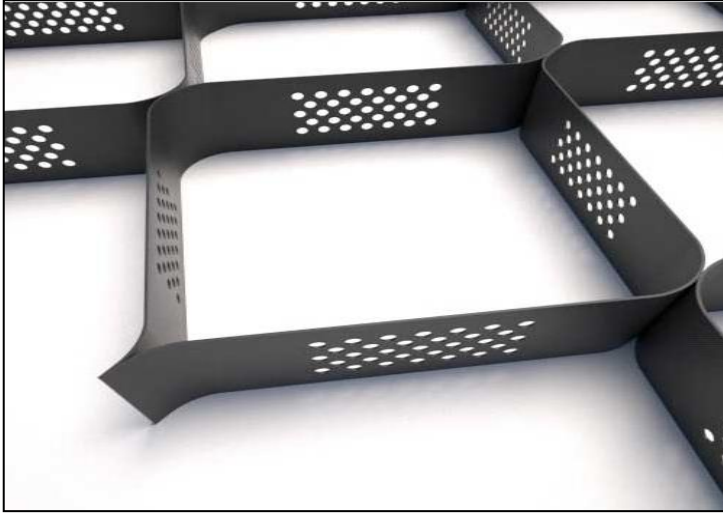


Resim 3.5. Geohücre ile karayolu zemin stabilitesi sağlanması (İnternet 4)

3.4. Geohücrenin Avantajları

Geohücre, şev stabilitesi, dayanma duvarları, zemin stabilizasyonu, kanal ve gölet şevi uygulamalarında ön plana çıkan önemli bir yapı malzemesidir. Bu gibi yapılarda kullanımı, geohücrenin bazı avantajlarından dolayı sıkça tercih edilmektedir.

Geohücrenin uygun fiyatlı yapı malzemesi olması da tercih sebeplerinden biridir. Bunun yanında kullanıldığı zeminde daha az dolgu malzemesi gerektirmesi nedeniyle yapım maliyeti düşmektedir. Ayrıca geohücrenin akordiyon yapısı sayesinde lojistiğinin ve kurulumunun kolay olması, uygulama esnasında özel işçilik gerektirmemesi, sağladığı önemli avantajlarından biridir. Geohücrenin özel delikli yapısı sayesinde doğal drenaj sağlanmakta ve bu esnada dolgu malzemesinin akışlardan etkilenmesi önlenmektedir. Resim 3.6'da geohücrenin drenaj için oluşturulan delikli yapısı görülmektedir (Şengül, 2010).



Resim 3.6. Geohücrenin drenaja uygun yapısı (İnternet 5)

Duvar imalatlarında zemin ile kenetlenmesi sayesinde şev stabilitesi sağlamanın yanında dış yüzeyin yeşillendirilmesine imkân vermesi, bu yapılarda geohücre kullanımını cazip kılmaktadır (Altay, 2019).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, zeminlerin geohücre ile donatılarak iyileştirilmesi sonucunda taşıma kapasitesindeki değişim araştırılmıştır. Arazi ortamındaki deneysel çalışmalarda geohücre boyutu, geohücresinin zemin yüzeyine olan düşey mesafesi, zemin dane boyutu, temel boyutu ve temel geometrisi değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar, Hatay ili, Antakya ilçesinde bulunan Karayolları 53. Şube Şefliği Serinyol Asfalt Plenti arazisinde yapılmıştır. Deney düzeneği, deneylerin yapıldığı zeminin mühendislik özellikleri, deney programı ve deneysel çalışma aşamaları tezin bu bölümünde anlatılmıştır.

4.1. Deney Ortamı

Deneyler, uzunluğu 2000 mm, genişliği 1500 mm ve yüksekliği 1000 mm olan dikdörtgen kesitli bir alan içerisinde gerçekleştirilmiştir. Alanın makine ile açılması Resim 4.1’de gösterilmektedir. Deneyin yapıldığı taban zemininin zemin sınıfı elek analizi yapılarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre SP (kötü derecelenmiş kum) olarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlık deneylerinden zeminin birim hacim ağırlığı 1.72 g/cm^3 olarak belirlenmiştir.



Resim 4.1. Deney ortamının oluşturulması

4.1.1. Plaka yükleme deneyi düzeneği

Zeminin taşıma gücünün tespiti için uygulanan bu deney, istenilen geometrideki bir plaka vasıtasıyla zemine uygulanan basınçla oturma değerin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Şengül, 2010).

Arazide yapılan deneylerde taşıma kapasitesinin tespiti için plaka yükleme düzeneği kurulmuştur. Bu aşamada yüklü bir kamyon deney alanına getirilmiş, model temel üzerine hidrolik piston yerleştirilmiştir. Piston ile kamyon destek noktasının kaldırılması sağlanmış bu sayede de pistonun kamyonu ittiği kuvvet kadar zemine yük uygulanmıştır. Yükleme sırasında zeminin yaptığı oturmaya ölçecek iki adet deplasman ölçer model temel üzerine yerleştirilmiştir. Plaka yükleme deneyine ait görünüm ise Resim 4.2’de sunulmuştur.



Resim 4.2. Plaka yükleme deney düzeneği

Hidrolik Piston

Deneysel çalışmalarda zemine yük uygulayabilmek için Werner Weitner markasının 700 bar kapasiteli WH serisi hidrolik el pistonu kullanılmıştır. Resim 4.3’de deney düzeneğinde kullanılan hidrolik piston gösterilmiştir.



Resim 4.3. Hidrolik piston

Deplasman Ölçer

Deneyleerde yükleme altında zeminde meydana gelen düşey deplasmanları ölçmek için, ATEK firması tarafından üretilen 0-300 mm aralığında deplasman değerlerini ölçebilen LTR 200 5K tipi 2 adet deplasman ölçer kullanılmıştır. Resim 4.4’de deney düzeneğinde kullanılan deplasman ölçerler gösterilmiştir.



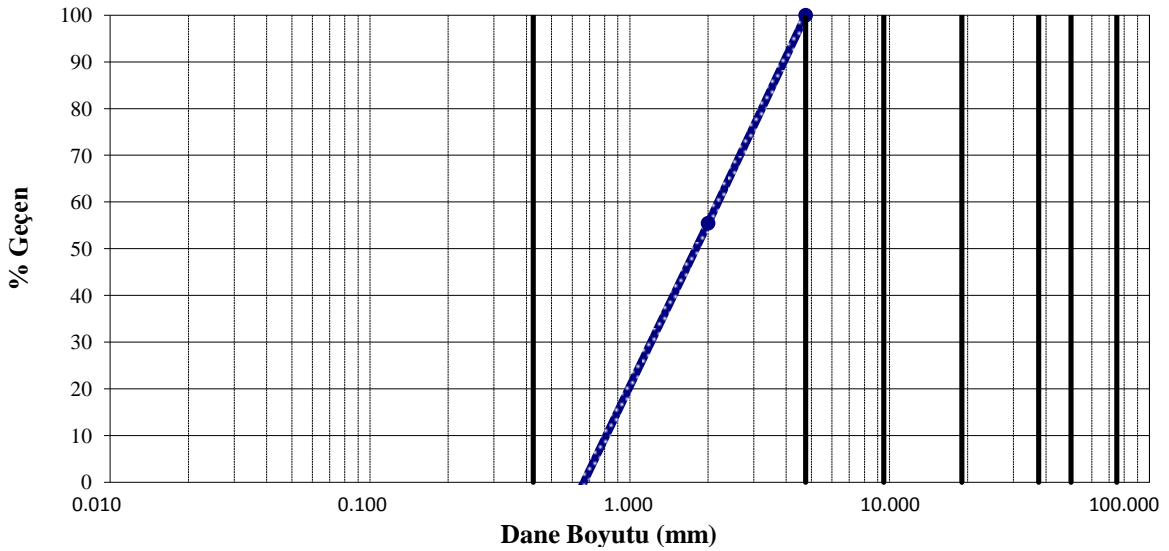
Resim 4.4. Deplasman ölçerler

4.1.2. Dolgu malzemeleri

Geohücre ile kenetlenecek dolgu malzemesi olarak Zemin 1 (Z_1) 0-5 mm, Zemin 2 (Z_2) 5-12 mm ve Zemin 3 (Z_3) 0-16 mm dane boyutlarında üç farklı kum zemin kullanılmıştır.

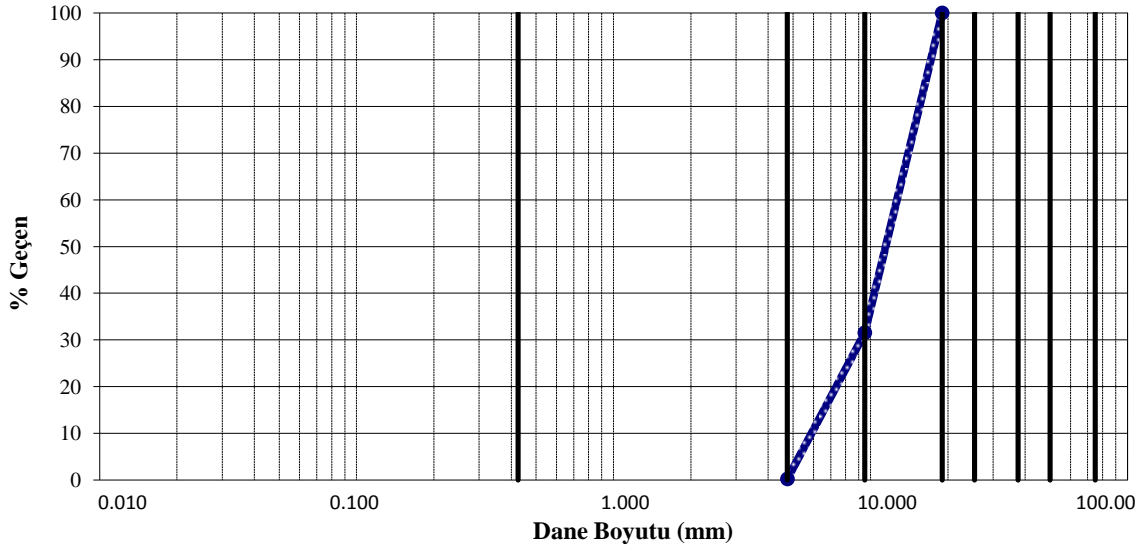
Deneyleerde kullanılan zeminler Bozkayalar Taş Ocağı Antakya-Hatay'dan temin edilmiştir. Zeminlerin mühendislik özellikleri, Orak Altyapı A.Ş. Nardüzü Asfalt Plenti'nde bulunan laboratuvarında belirlenmiştir. TS (Türk Standartları) ve ASTM (American Standarts of Testing Materials) standartlarında yapılan elek analizi, doğal birim hacim ağırlık deneyleri ile zeminin özellikleri belirlenmiştir.

Dane boyutları 0-5 mm arasında olan Z_1 zemini için elek analizi deneyi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 4.1'de verilmiştir. Dane boyutu dağılım eğrisinden Z_1 zemininin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ye göre kötü derecelenmiş kum (SP) sınıfında olduğu, birim hacim ağırlık deneylerinin sonucuna göre ise Z_1 zemininin gevşek haldeki birim hacim ağırlığının (γ) 1.62 gr/cm³ olduğu belirlenmiştir.



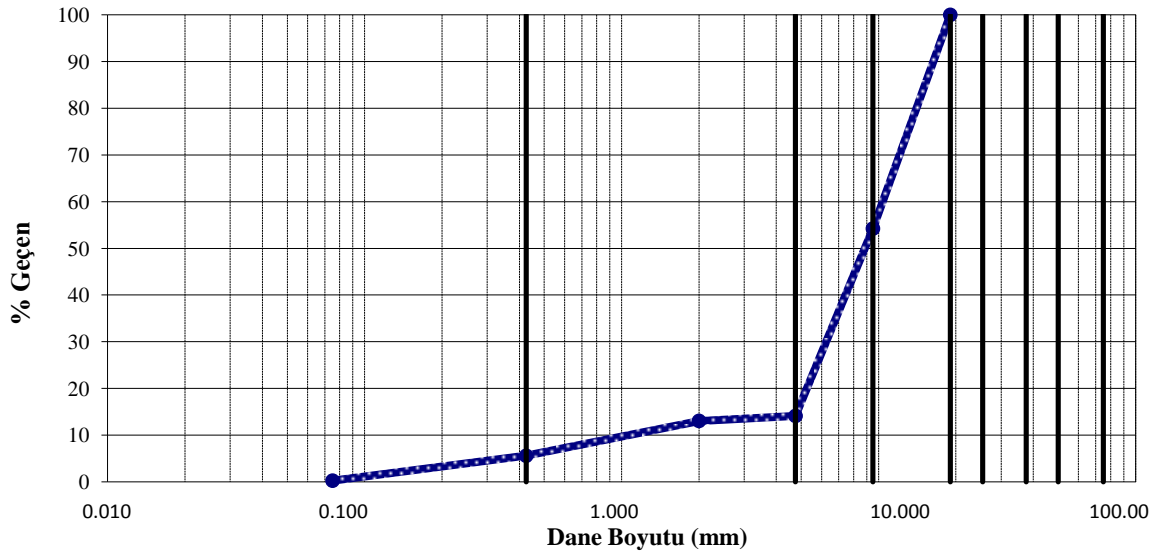
Şekil 4.1. Z_1 zemini için dane boyutu dağılım eğrisi

Dane boyutları 5-12 mm arasında olan Z_2 zemini için elek analizi deneyi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Elek analizinin sonucuna göre Z_2 zemininin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ye göre siltli kum (SM) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Birim hacim ağırlık deneylerinin sonucuna göre ise Z_2 zemininin gevşek haldeki birim hacim ağırlığı 1.68 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Z₂ zemini için dane boyutu dağılım eğrisi

Dane boyutları 0-16 mm arasında olan Z₃ zemini için elek analizi deneyi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 4.3'de verilmiştir. Elek analizinin sonucuna göre ise Z₃ zemininin siltli çakıl (GM) sınıfında olduğu, birim hacim ağırlık deneylerinin sonucuna göre ise Z₃ zemininin gevşek haldeki birim hacim ağırlığı 1.91 gr/cm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Z₃ zemini için dane boyutu dağılım eğrisi

Bahsedilen zemin dolgu malzemeleri Resim 4.5'de gösterilmiştir.



Resim 4.5. Deneysel zemin dolgusu malzemeleri

Rölatif Sıkılık (Dr)

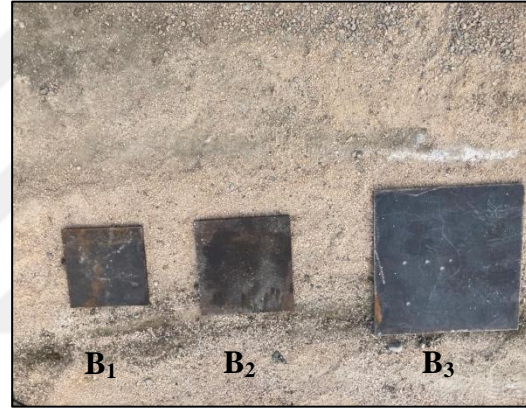
Zeminlerin sıkılık oranlarının belirlenmesi için laboratuvar ortamında rölatif sıkılık deneyleri yapılmıştır. Belirli bir hacimdeki kaptaki (628.30 cm³) gevşek birim hacim ağırlığı belirlenen zeminleri belirli vuruş sayısı ile sıkıştırıp sıkı birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Arazi deneylerinde kullanılan üç farklı zeminde %70 sıkılık oranı için gerekli birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Deneyde kullanılan ekipmanlara ve zemin malzemelerine ait resimler aşağıda gösterilmiştir (Resim 4.6).



Resim 4.6. Sıkılık deneyinde kullanılan malzemeler

4.1.3. Model temeller

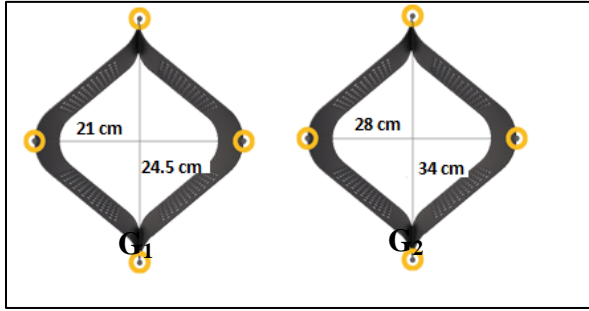
Çalışma kapsamında yapılan plaka yükleme deneyleri kare ve dairesel kesitli model temeller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı geometrideki model temeller eşdeğer kesit alanına sahip olacak şekilde metal plakalardan üretilmiştir. Dairesel kesitli model temeller (D_1 , D_2 , D_3) sırasıyla 25, 30, 45 cm çaplara sahiptir. Bunlara eşdeğer kesit alanındaki kare kesitli temeller (B_1 , B_2 , B_3) sırasıyla 22x22 cm, 26x26 cm, 40x40 cm boyutlarındadır. Plaka et kalınlıkları her iki kesitli model temellerde sabit olup 2 cm'dir. Model temellere ait görünüşler Resim 4.7 ve Resim 4.8'de verilmiştir.



Resim 4.7. Dairesel kesitli model temeller Resim 4.8. Kare kesitli model temeller

4.1.4. Geohücreler

Arazi ortamında gerçekleştirilen plaka yükleme deneylerinde zemini güçlendirmek amacıyla zemin geohücre ile donatılmıştır. Geohücreler, Geohücre 1 (G_1) 28 cm x 34 cm x 10 cm (genişlik x uzunluk x yükseklik), Geohücre 2 (G_2) 21 cm x 24.5 cm x 10 cm (genişlik x uzunluk x yükseklik) olmak üzere iki farklı hücre boyutuna sahiptir. Hücre boyutları Resim 4.9'da gösterilmiştir. Geohücrelerin her ikisi de 1.5 m x 2 m ölçülerinde 3 m² alana sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Geohücrelerin teknik özellikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de yer almaktadır.



Resim 4.9. Hücre Boyutları

Çizelge 4.1. G₁ donatısı teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değeri	Deney Standardı
Hücre eni (A)	28 cm	-
Hücre boyu (B)	34 cm	-
Yükseklik (H)	10 cm	-
Yoğunluk	0.935 /0.965 gr/cm ³	ASTM D-1505
Karbon siyah miktarı	%1.5-%2	ASTM D-1603
Çevresel baskıya direnç	> 3000 saat	ASTM D-1693
Kısa dönem çekme mukavemeti	>200 N/cm	EN ISO 10319
Uzun dönem çekme mukavemeti	>200 N/cm	ENV ISO 13438 B2

Çizelge 4.2. G₂ donatısı teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değeri	Deney Standardı
Hücre eni (A)	21 cm	-
Hücre boyu (B)	24.5 cm	-
Yükseklik (H)	10 cm	-
Yoğunluk	0.935 /0.965 gr/cm ³	ASTM D-1505
Karbon siyah miktarı	%1.5-%2	ASTM D-1603
Çevresel baskıya direnç	> 3000 saat	ASTM D-1693
Kısa dönem çekme mukavemeti	>200 N/cm	EN ISO 10319
Uzun dönem çekme mukavemeti	>200 N/cm	ENV ISO 13438 B2

4.2. Deney Programı

Tez çalışması kapsamında iki farklı boyuta sahip geohücre, üç farklı boyutta daire ve kare kesitli model temel ve üç farklı dane boyutunda zemin dolgusu malzemesi kullanılarak

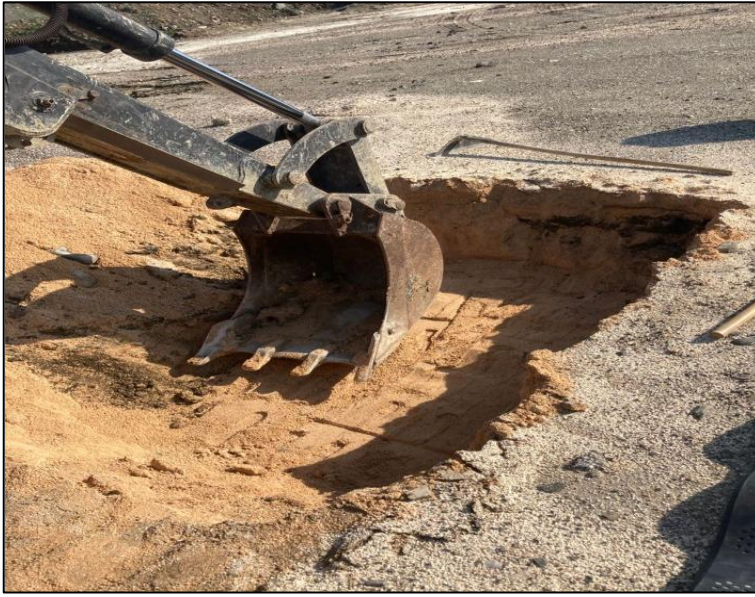
toplam 33 adet plaka yükleme deneyi yapılmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen maddesinden üretilen G_1 ve G_2 geohücreler, Z_1 , Z_2 , Z_3 zeminlerinde donatı malzemesi olarak kullanılmıştır. D_1 , D_2 , D_3 çaplarına sahip daire kesitli model temeller ve bunlarla eşdeğer kesit alanına sahip B_1 , B_2 , B_3 kare kesitli model temeller kullanılmıştır. Deneylerde geohücreler farklı derinliklere gömülmüştür. Deney programı Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney programı

Seri No	Deney No	Zemin Dane Boyutu (mm)	Zemin Kodu	Temel Boyutu D (cm)/B (cm x cm)	Temel Kodu	Geohücre Açıklığı (G) (cm x cm x cm)	Geohücre Kodu	Geohücre Yeri (U) (cm)	Geohücre Yeri Kodu
1	1	0-5	Z_1	45	D_3	-	-	-	-
	2	5-12	Z_2	45	D_3	-	-	-	-
	3	0-16	Z_3	45	D_3	-	-	-	-
	4	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	5	0-5	Z_1	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
	6	5-12	Z_2	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	7	5-12	Z_2	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
	8	0-16	Z_3	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	9	0-16	Z_3	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
2	10	0-5	Z_1	25	D_1	-	-	-	-
	11	0-5	Z_1	30	D_2	-	-	-	-
	12	0-5	Z_1	45	D_3	-	-	-	-
	13	0-5	Z_1	22x22	B_1	-	-	-	-
	14	0-5	Z_1	26x26	B_2	-	-	-	-
	15	0-5	Z_1	40x40	B_3	-	-	-	-
	16	0-5	Z_1	25	D_1	28x34x10	G_1	50	U_1
	17	0-5	Z_1	30	D_2	28x34x10	G_1	50	U_1
	18	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	19	0-5	Z_1	22x22	B_1	28x34x10	G_1	50	U_1
	20	0-5	Z_1	26x26	B_2	28x34x10	G_1	50	U_1
21	0-5	Z_1	40x40	B_3	28x34x10	G_1	50	U_1	
3	22	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	23	0-5	Z_1	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
	24	5-12	Z_2	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	25	5-12	Z_2	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
	26	0-16	Z_3	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	27	0-16	Z_3	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
4	28	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	50	U_1
	29	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	60	U_2
	30	0-5	Z_1	45	D_3	28x34x10	G_1	70	U_3
	31	0-5	Z_1	45	D_3	21x24.5x10	G_2	50	U_1
	32	0-5	Z_1	45	D_3	21x24.5x10	G_2	60	U_2
	33	0-5	Z_1	45	D_3	21x24.5x10	G_2	70	U_3

4.3. Deneyin Yapılışı

İlk olarak deneyler için açılan sahada, zemin dolgu malzemeleri makine yardımı ile yerleştirilmiştir (Resim 4.10). Geohücreler, deney programındaki U mesafesine göre deney sahası içine yerleştirilmiştir. Geohücre yerleştirilirken sabit durmadığı farkedilmiş ve kenarlardan çubuklar yardımıyla zemine sabitlenmiştir. Resim 4.11’de geohücrelerin yerleştirilmesi aşaması gösterilmiştir.



Resim 4.10. Dolgu malzemelerinin yerleştirilmesi



Resim 4.11. Geohücrenin yerleştirilmesi ve çubuk yardımıyla sabitlenmesi

Zemin ortamının sıklık oranı Bölüm 4.1.2’de bahsedilen laboratuvar deneyleri esas alınarak %70 olacak şekilde ayarlanmış ve gerekli geçiş sayısı uygulanmıştır. Zemin sıkıştırma işlemi kompaktör yardımıyla yapılmıştır (Resim 4.12).



Resim 4.12. Kompaktör ile sıkıştırma işlemi

Bu aşamalardan sonra zemine yükleme yapılması için plaka yükleme düzeneği kurulmuştur. Bölüm 4.1.1’de bahsedildiği gibi yüklü kamyon deney alanına getirilmiş, piston yardımıyla kamyonu taşıyan itki kuvveti kadar zemine yük uygulanmıştır. İki adet deplasman ölçer ile zeminin yaptığı deplasman her yüklemede okunmuş ve not edilmiştir. Resim 4.13’de deney esnasında pistonun ve deplasman ölçerlerin konumu gösterilmiştir.



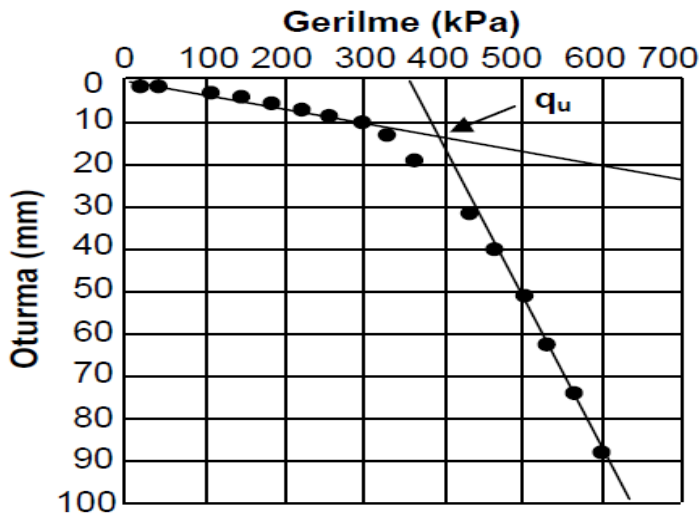
Resim 4.13. Piston ve deplasman ölçerlerin konumu

5. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında, arazi ortamında 3 farklı dolgu zemini içerisine yerleştirilen 2 farklı geohücre ve 6 farklı model temel üzerine belli miktarda yük uygulanmış ve yük altında meydana gelen deplasmanlar ölçülmüştür.

Deneyle Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi 4 seri halinde yapılmıştır. Seri 1'de donatılı ve donatısız zeminlerin taşıma gücü incelenirken zeminin dane boyutu da değişken parametre olarak kullanılmıştır. Seri 2'de temel boyutu ve geometrisinin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Seri 3'de geohücre boyutunun zeminin taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenirken Seri 4'de ise geohücrenin zemin yüzeyi ile arasındaki düşey mesafe değişken parametre olarak kullanılmıştır. Deneylede deplasman ölçerler ile tespit edilen oturma (s) değerleri daire kesitli temellerde temel çapına, kare kesitli temellerde temel genişliğine bölünerek s/D ve s/B boyutsuz büyüklükleri elde edilmiştir. Her seri için Q-s/B ve Q-s/D grafikleri elde edilerek taşıma gücünün değişimi incelenmiştir.

Literatür taraması neticesinde nihai taşıma gücünün hesaplanmasında farklı yöntemlerin uygulandığı görülmüştür (Örnek, 2009). Bu çalışmada, teğet kesiştirme yöntemi olarak adlandırılan oturma değerlerinde belirgin bir değişimin meydana geldiği noktaya karşılık gelen yük değeri nihai taşıma gücü olarak belirlenmiştir (Trautmann ve Kulhawy, 1988). Grafik üzerinde nihai taşıma gücü belirlenmesi yöntemi Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

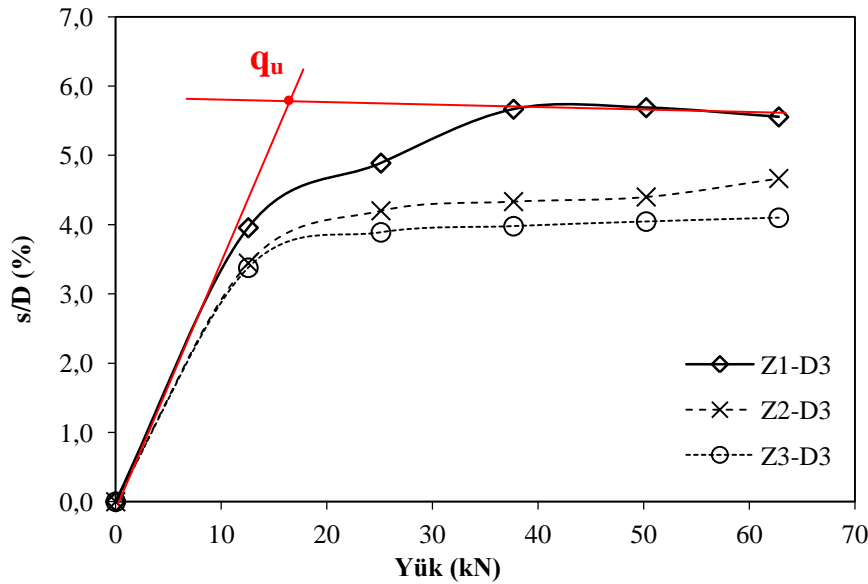


Şekil 5.1. Teğet kesiştirme yöntemi (Örnek, 2009)

5.1. Seri 1 (Dolgu malzemesi dane boyutunun etkisi)

Bu seride, dane boyutu 0-5 mm, 5-12 mm ve 0-16 mm olan zeminler değişken parametre olarak kullanılmıştır. Temel geometrisi ve boyutu sabit tutulmuş, çapı 45 cm olan daire kesitli model temel (D_3) kullanılmıştır. Donatısız ve donatılı durumlarda zeminlerin taşıma gücü değerleri araştırılmıştır.

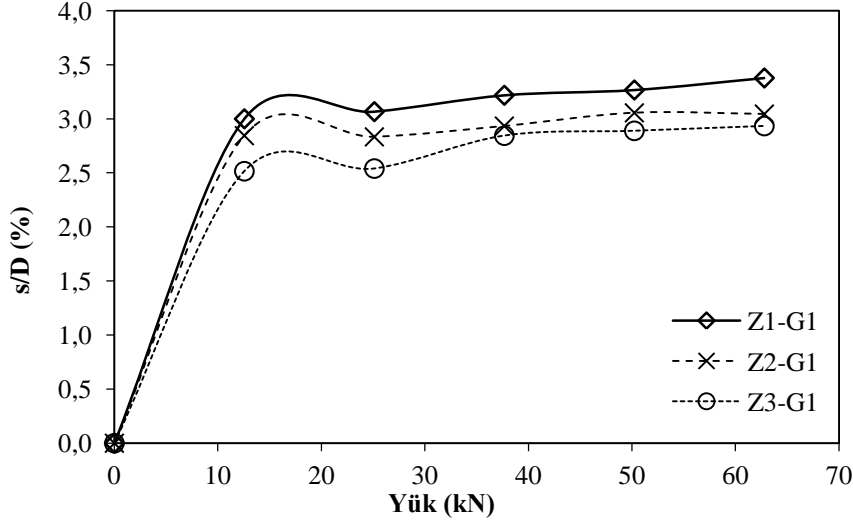
şekil 5.2’de donatısız durumda zemin dane boyutunun taşıma gücüne etkisinin incelendiği deneylerin Q-s/D grafiği verilmiştir.



şekil 5.2. Zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi

Donatı kullanılmadan yapılan deneylerde teğet kesişme yöntemi ile bulunan oturma değerleri göz önüne alınarak nihai taşıma gücü değerleri bulunmuştur. Bu hesaba göre Z_1 , Z_2 , Z_3 zeminleri için de grafiklerde nihai taşıma gücünün 15 kN civarında olduğu tespit edilmiş ve zeminlerin bu değerdeki oturma değerleri belirlenmiştir. Bu durumda Z_1 zemininin oturma değeri 25.2 mm iken Z_2 zemininde 19 mm, Z_3 zemininde 17.1 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında daha iri dane boyutuna sahip Z_3 zemininde, Z_1 zeminine ve Z_2 zeminine göre sırasıyla %32.1 ve %10 daha az oturma değeri gözlenmiştir.

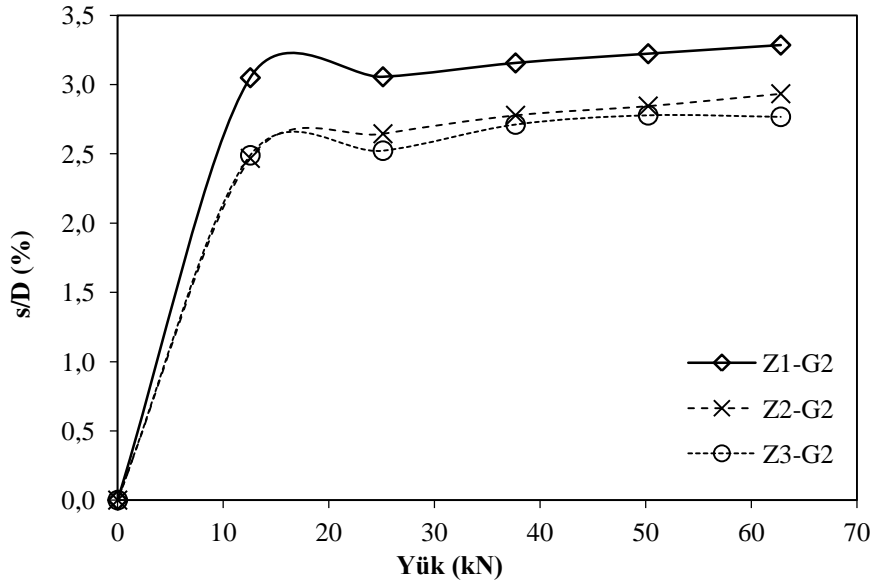
Şekil 5.3’de donatı olarak G_1 , model temel olarak D_3 ’ün kullanıldığı durumda zeminin dane boyutunun taşıma gücüne etkisinin incelendiği deneylerin yük-oturma eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.3. G_1 donatısı ile zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi

G_1 donatısı ile güçlendirilen zeminlerde yapılan deneylerde teğet kesiştirme yönteminde belirgin değişimin olduğu, nihai taşıma gücünün her üç zemin için de yaklaşık 18 kN civarında tespit edildiği belirlenmiştir. Bu durumda nihai taşıma gücüne karşılık gelen oturma değerleri Z_1 , Z_2 , Z_3 zeminlerinde sırasıyla 14,75 mm, 12,6 mm, 11,25 mm olmuştur. Bu durumda Z_1 , Z_2 ve Z_3 zeminlerindeki oturma değerleri arasındaki farkın 3,5 mm’ye kadar ulaştığı görülmüştür.

G_2 donatısı ile donatılan zeminlerde, D_3 model temeli kullanılarak yapılan yükleme deneyleri ile elde edilen Q-s/D grafiği Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. G₂ donatısı ile zemin dane boyutu etkisi için Q-s/D eğrisi

G₂ donatısı ile donatılan zeminlerde yapılan deneylerde Z₁ zemininin kullanımı ile elde edilen nihai taşıma gücü 15 kN iken Z₂ ve Z₃ zeminlerinde 18 kN civarında olduğu belirlenmiştir. Zeminlerin nihai taşıma güçlerine denk gelen oturma değerleri ise Z₁, Z₂ ve Z₃ zeminleri için sırasıyla 13.5 mm, 12.15 mm ve 11.2 mm olarak tespit edilmiştir. Daha iri dane boyutuna sahip Z₃ zemini Z₁ ve Z₂ zeminine göre sırasıyla %16.6 ve %7.8 daha az oturma değeri oluşturmuştur.

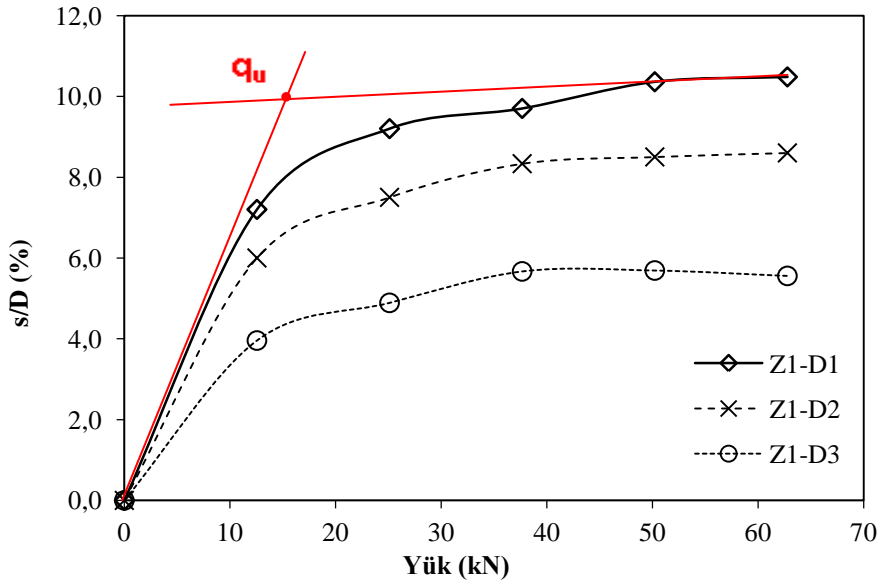
Zemin dane boyutunun taşıma kapasitesine etkisinin irdelendiği bu seride, donatısız ve donatılı durumlarda yapılan üç grup deneyde sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu, dane boyutu arttıkça oturma değerlerinin azaldığı ve taşıma gücünün arttığı görülmüştür. Bu sonuçla 0-16 mm dane boyutlarındaki zeminin boşlukları daha iyi doldurduğundan dolayı daha fazla taşıma gücü gösterdiği, ayrıca geohücrenin, iri dane boyutuna sahip zeminlerle daha iyi kenetlendiği belirlenmiştir.

Donatılı ve donatısız durumdaki deneylerin sonuçları irdelendiğinde, zemin dane boyutunun taşıma gücüne etkisinin donatısız durumda daha belirgin olarak gözlemlendiği tespit edilmiştir.

5.2. Seri 2 (Temel geometrisi ve boyutunun etkisi)

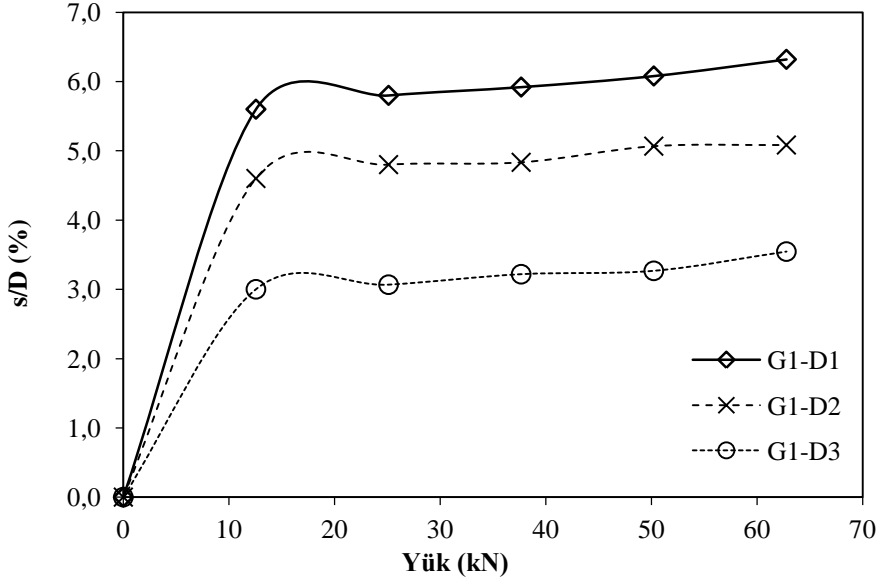
Bu seride, daire ve kare kesitli olmak üzere iki farklı temel geometrisi ve her kesit için üç farklı temel boyutu değişken parametre olarak kullanılmıştır. Daire kesitli 25 cm, 30 cm ve 45 cm çaplarına sahip temeller ve bu temellerle eşdeğer kesit alanına sahip 22 cm, 26 cm ve 40 cm genişliklere sahip kare temeller kullanılmıştır. Zemin dane boyutu (Z_1) sabit tutulmuştur. Zeminlerin taşıma gücü donatısız ve donatılı durumlarda incelenmiştir.

Şekil 5.5'de donatısız zeminde model temel olarak D_1 , D_2 ve D_3 model temellerinin kullanıldığı ve temel çapının taşıma gücüne etkisinin irdelendiği deneylerin Q-s/D grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.5. Daire kesitli model temellerin çap etkisi için Q-s/D eğrisi

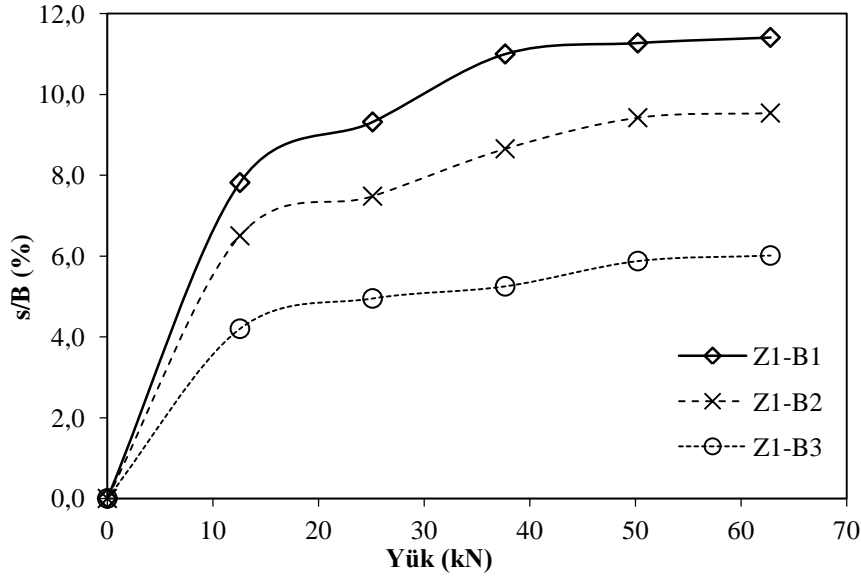
G_1 'in donatı olarak kullanıldığı deneylerde daire kesitli temellerde temel çapının taşıma gücüne etkisinin irdelendiği deneylerin Q-s/D grafikleri aşağıda yer almaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. G_1 donatısı ile daire kesitli model temellerin çap etkisi için Q-s/D eğrisi

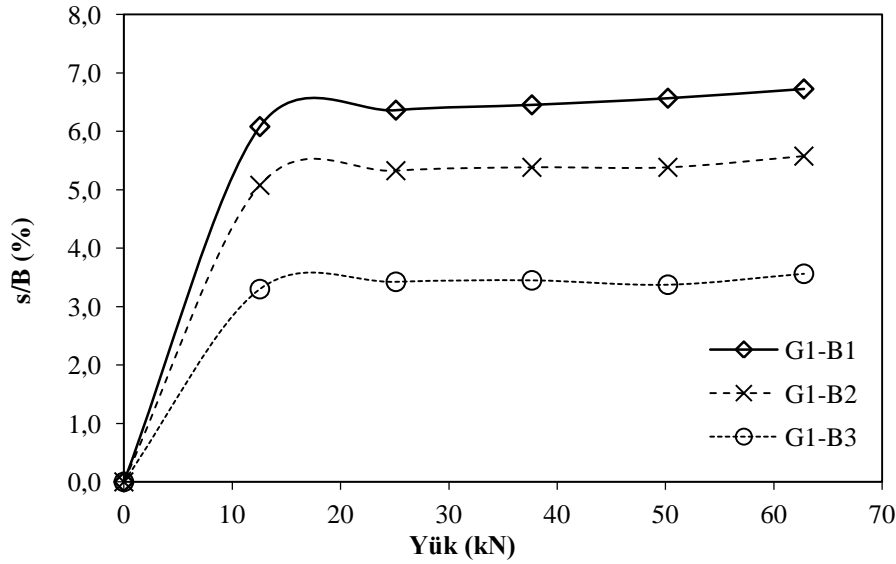
Donatı kullanılmadan yapılan deneylerde nihai taşıma gücü tespiti için teğet kesiştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu serideki deneylerde daha büyük çapa sahip D_3 model temelinde oturma değeri 25.2 mm iken, D_1 ve D_2 model temellerinde ise bu değerler sırasıyla 25.5 mm ve 25.9 mm olarak tespit edilmiştir. G_1 'in donatı olarak kullanıldığı deneylerde ise donatısız duruma göre daha az oturma değerleri elde edilmiş olup bu değerler D_1 , D_2 ve D_3 temelleri için sırasıyla 14.75 mm, 14.5 mm ve 14.2 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler irdelendiğinde daha büyük çapa sahip D_3 model temelinde daha az oturma değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Ancak bu farklar donatılı ve donatısız durumda 0.2 ila 0.7 mm mertebelerinde bulunmuştur.

Temel boyutunun taşıma gücüne etkisi kare kesitli temellerle de incelenmiştir. Bu deneylerin sonuçları Şekil 5.7'de Q-s/B grafiği ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kare kesitli model temellerin genişlik etkisi için Q-s/B eğrisi

G_1 'in donatı olarak kullanıldığı ve kare kesitli temelerde temel genişliğinin taşıma gücüne etkisinin irdelendiği deneylere ait yük-oturma ilişkileri Şekil 5.8'de verilmiştir.

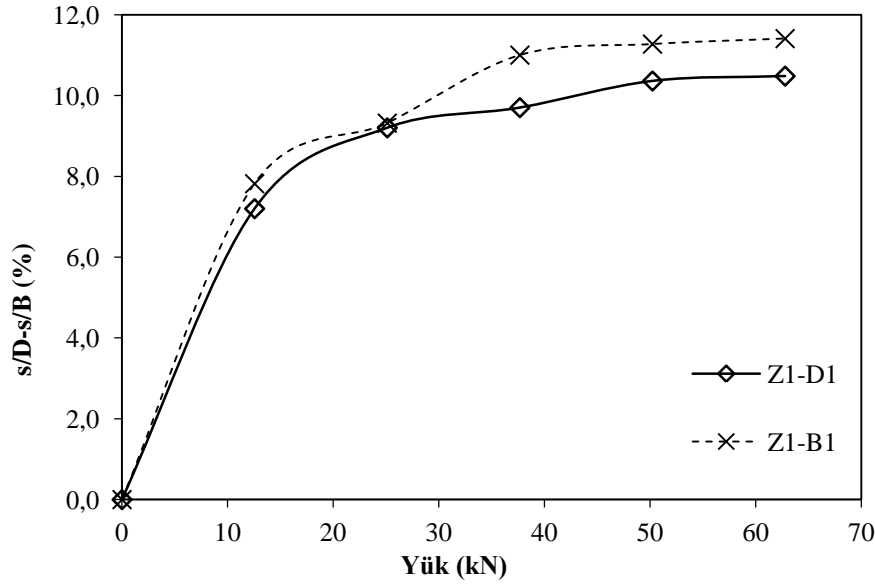


Şekil 5.8. G_1 donatısı ile kare kesitli model temellerin genişlik etkisi için Q-s/B eğrisi

Donatı kullanılmadan yapılan deneylerde daha büyük genişliğe sahip B_3 model temeli 18 mm oturma değeri, B_1 ve B_2 model temellerinden sırasıyla 20,9 mm ve 20,7 daha az oturma değeri vermiş ve dolayısı ile daha iyi taşıma gücü değeri sağlamıştır. G_1 'in donatı olarak kullanıldığı deneylerde ise B_3 , B_1 ve B_2 model temellerinden sırasıyla %15,5 ve %13,9 daha iyi taşıma gücü sağlamıştır. Bunun nedeninin temelin boyutunun artmasıyla

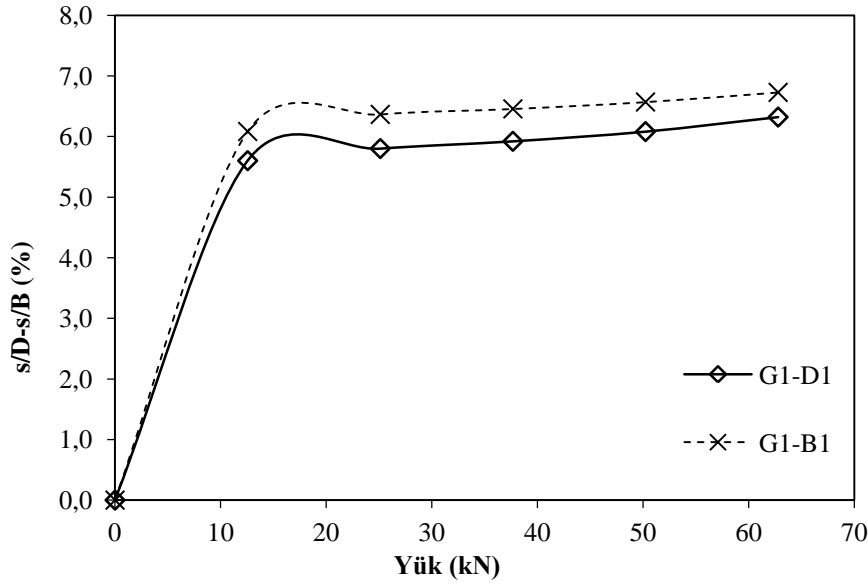
yükün daha iyi yayılması ve bu sayede oturmaların azalması şeklinde olduğu düşünülmüştür.

Temel geometrisinin taşıma gücüne etkisinin incelendiği deneyler için daire kesitli D_1 ile eşdeğer kesit alanına sahip B_1 kare kesitli model temelinin yük altında oluşturduğu oturma değerlerinin $Q-s/D - Q-s/B$ grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. D_1 ve B_1 model temeller için $Q-s/D-s/B$ eğrisi

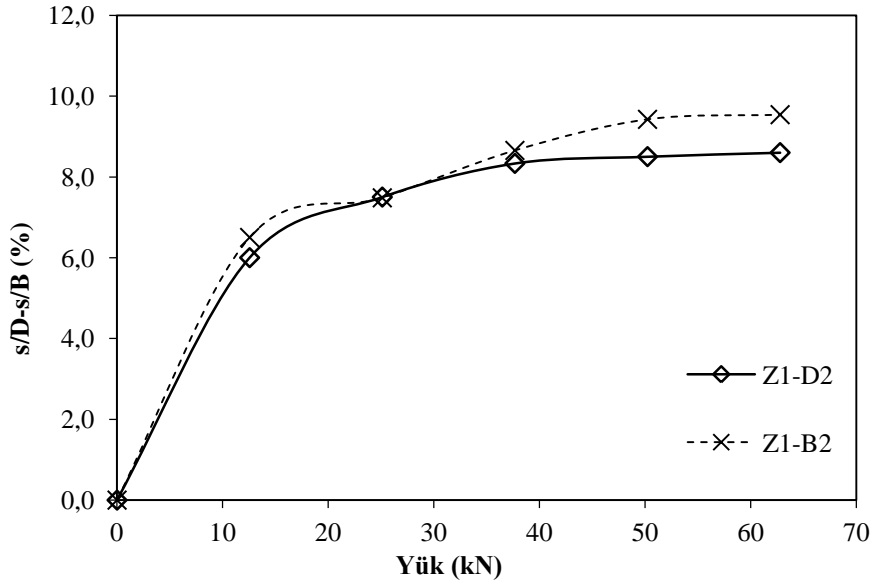
Donatı olarak G_1 'in kullanıldığı ve temel geometrisinin taşıma gücüne etkisinin incelendiği D_1 ve B_1 temellerinin oturma değerlerinin $Q-s/D-s/B$ grafiği Şekil 5.10'da verilmiştir.



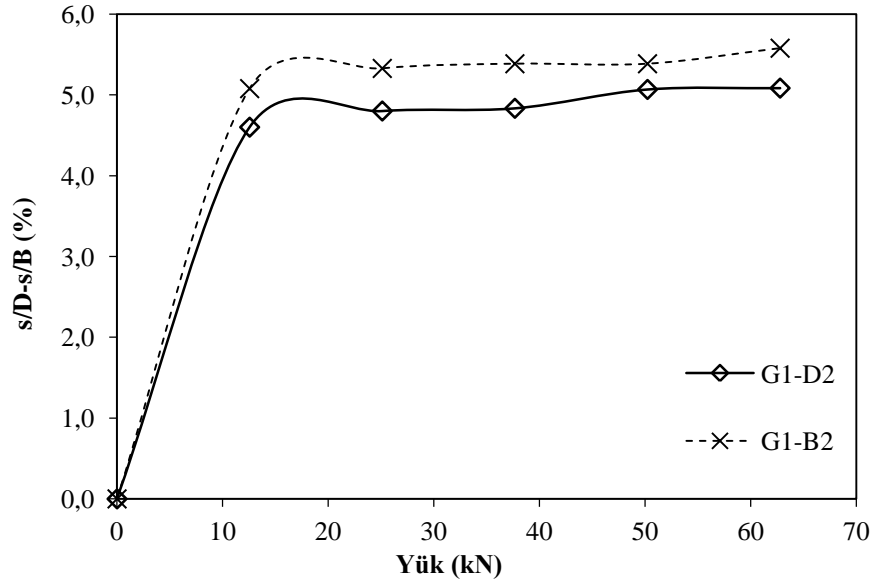
Şekil 5.10. G₁ donatısı kullanılarak D₁ ve B₁ model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi

Donatılı ve donatısız olarak yapılan iki grup deneyde de kare kesitli temel B₁, daire kesitli temel D₁'e daha az oturma meydana getirmiştir. Donatısız durumda B₁ ve D₁ model temellerinin yaptığı oturma değerleri sırasıyla 20,9 mm ve 25,9 mm iken donatılı durumda bu değerler 14,3 mm ve 14,75 mm mertebelerine kadar azalmıştır. Bu değerlere göre donatısız durumda daire kesitli temele göre %19 daha iyi taşıma gücü veren B₁ kare temeli, donatılı durumda %3 daha iyi taşıma gücü sağlamıştır.

Daire kesitli D₂ ile eşdeğer kesit alanına sahip B₂ kare kesitli model temelinin donatısız zeminde yük altında oluşturduğu oturma değerleri Q-s/D-s/B grafiği Şekil 5.11'de, G₁ donatısının kullanıldığı durumun yük-oturma ilişkisi de Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. D₂ ve B₂ model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi



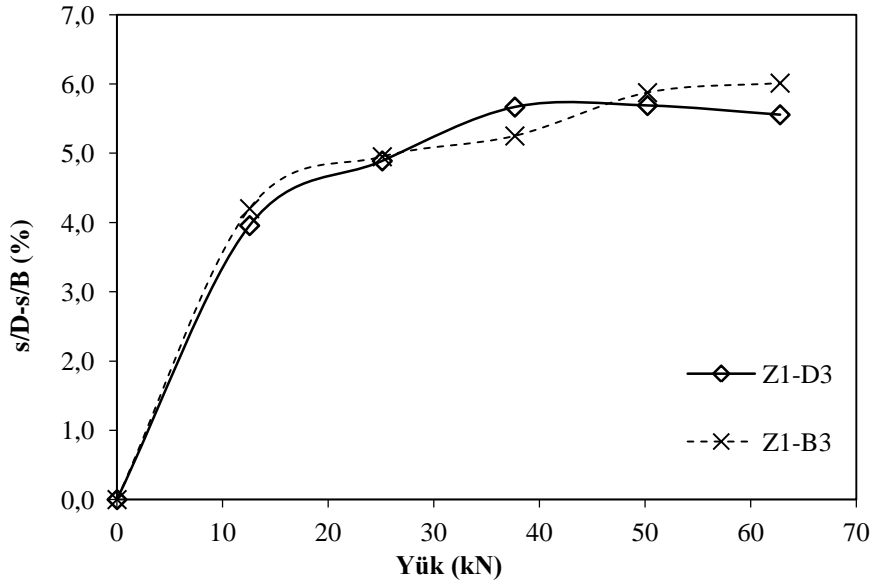
Şekil 5.12. G₁ donatısı kullanılarak D₂ ve B₂ model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi

Donatılı ve donatısız olarak yapılan iki grup deneyde de nihai taşıma gücünün yaklaşık 15 kN olduğu belirlenmiştir. Buna göre donatısız durumda B₂ model temelinin oturma değeri, D₂ model temeline göre %18 daha az iken donatılı durumda bu oran %3.2 mertebesinde olmuştur.

İki grubun da Q-s/D-Q-s/B grafiklerine irdelendiğinde yük arttıkça temellerin oturma değerleri arasındaki farkların arttığı görülmüştür. Bu durumda yük arttıkça temel

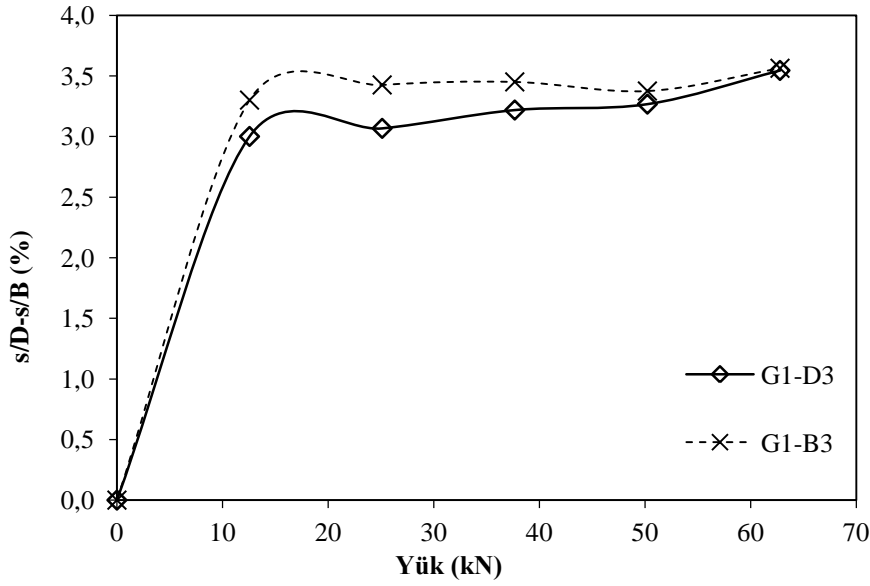
geometrisinin taşıma gücüne etkisinin daha iyi gözlemlenebildiği yorumu çıkarılmıştır. Ayrıca temel geometrisinin taşıma gücüne etkisinin, donatısız durumlarda donatılı durumlara göre daha belirgin olduğu görülmüştür.

Daire kesitli D_3 ile eşdeğer kesit alanına sahip B_3 kare kesitli model temelının yük altında oluşturduğu oturma değerlerinin $Q-s/D-s/B$ grafiği Şekil 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.13. D_3 ve B_3 model temeller için $Q-s/D-s/B$ eğrisi

Donatı olarak G_1 'in kullanıldığı ve temel geometrisinin taşıma gücü etkisinin incelendiği D_3 ve B_3 temellerinin oturma değerlerinin $Q-s/D-s/B$ grafiği Şekil 5.14'de verilmiştir.



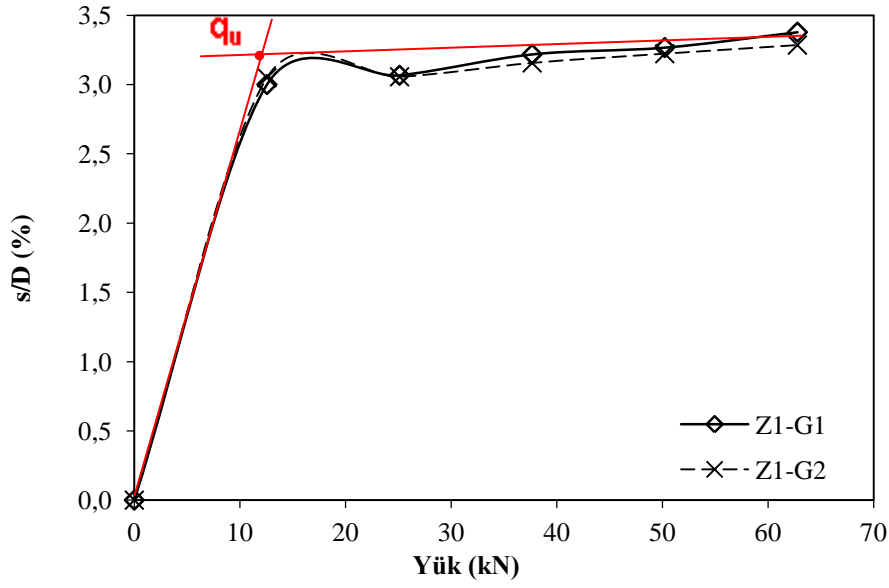
Şekil 5.14. G₁ donatısı kullanılarak D₃ ve B₃ model temeller için Q-s/D-s/B eğrisi

Donatısız durumda kare kesitli temel B₃, 18 mm oturma değeri verirken daire kesitli temel D₃, 25.2 mm oturma değeri göstermiştir. Donatılı durumda ise B₃ model temelini oturma değeri 12.08 mm, D₃ model temelini oturma değeri 14.2 mm olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre B₃ model temelinde iki durumda da yaklaşık 2.2 mm'ye kadar daha az oturma değerine sahip olduğu görülmüştür.

5.3. Seri 3 (Geohücre boyutunun etkisi)

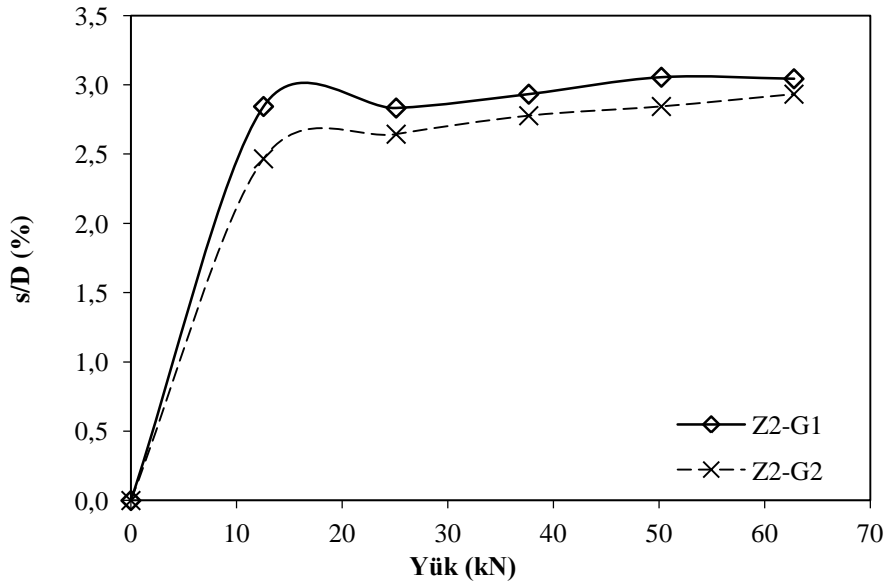
Bu seride hücre açıklığı 28x34x10 cm ve 21x24.5x10 cm olan iki geohücre değişken parametre olarak kullanılmıştır. Geohücre yeri (U) ve temel boyutu (D₃) sabit tutulmuştur. Geohücre boyutunun etkisi üç farklı zemin kullanılarak incelenmiştir.

Şekil 5.15'de Z₁ dolgu malzemesinin kullanıldığı deneylerden elde edilen veriler Q-s/D grafiğinde verilmiştir.

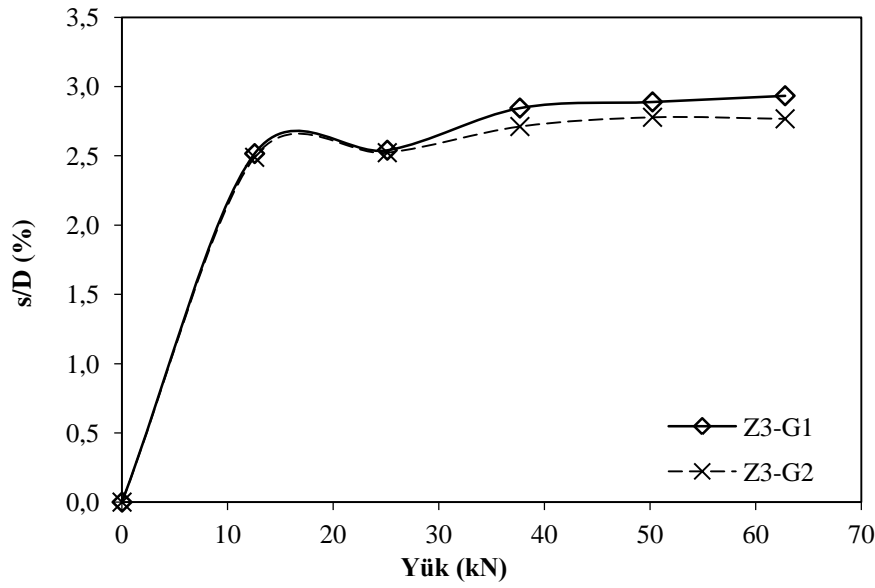


Şekil 5.15. Z₁ zemini kullanılarak yapılan deneylerde G₁-G₂ donatıları için Q-s/D eğrisi

Z₂ ve Z₃ zeminlerinin kullanıldığı deneylerde elde edilen yük-oturma ilişkisi Q-s/D grafiği olarak verilmiş ve sırasıyla Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de sunulmuştur.



Şekil 5.16. Z₂ zemini kullanılarak yapılan deneylerde G₁-G₂ donatıları için Q-s/D eğrisi



Şekil 5.17. Z₃ zemini kullanılarak yapılan deneylerde G₁-G₂ donatıları için Q-s/D eğrisi

Deneylerden elde edilen değerlerde üç grup deneyde de G₂ donatısının G₁ donatısına göre daha az oturma meydana getirdiği belirlenmiştir.

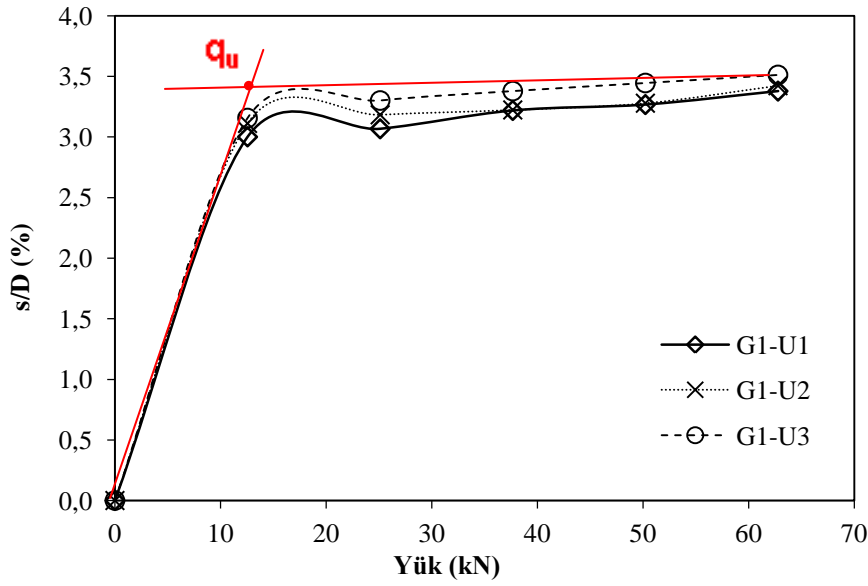
Z₁ zemininde G₂ donatısı kullanılması durumunda gözlenen oturma G₁ donatısı kullanılması durumuna göre %3.22 daha az iken bu oran Z₂ zemininde %3.6, Z₃ zemininde ise %0.5 olarak elde edilmiştir.

Eşdeğer kesit alanda daha fazla hücre sayısına sahip G₂ donatısı, G₁ donatısına göre daha iyi taşıma gücü sağlamıştır. Hücre boyutunun küçük olması zeminde daha sık ağ yapısı oluşturduğundan daha iyi taşıma gücü sağlamaktadır. Ancak iki geohücrenin taşıma gücündeki oturma değerleri çok yakın değerlerde olup nedeninin deneylerin küçük ölçekte yapılmasından kaynaklı olduğu düşünülmüştür. İki geohücrenin taşıma gücü farkı büyük ölçekli deneylerde daha net irdelenebileceği düşüncesine varılmıştır.

5.4. Seri 4 (Geohücre yerinin etkisi)

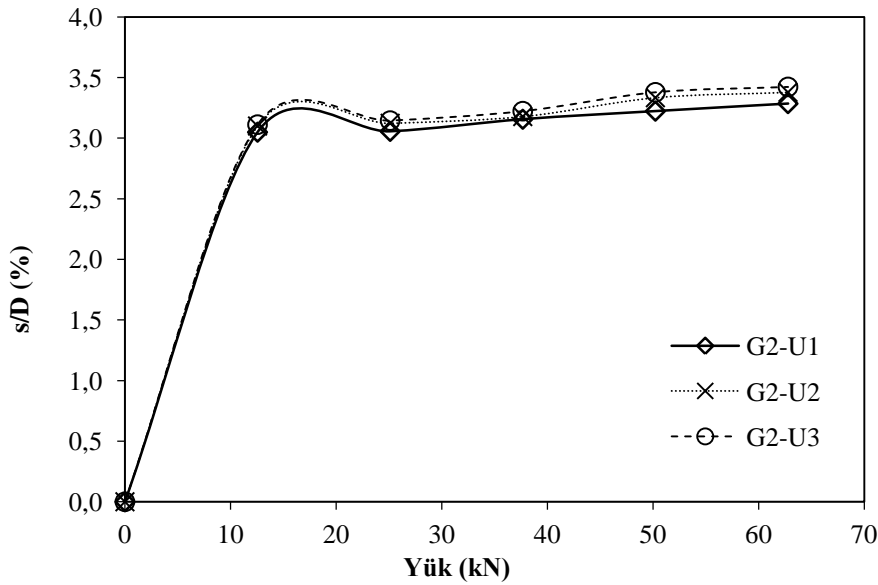
Bu seride geohücrenin zemin yüzeyinden uzaklığı (50 cm, 60 cm ve 70 cm) değişken parametre olarak kullanılmıştır. Dolgu zemini malzemesi dane boyutu (Z₁) ve model temel boyutu (D₃) sabit tutulmuştur. Geohücrenin yerinin taşıma gücüne etkisi iki farklı boyuta

sahip geohücre kullanılarak incelenmiştir. Şekil 5.18'de donatı olarak G_1 donatısının kullanıldığı deneylerin Q-s/D grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.18. G_1 donatısı kullanılarak yapılan deneylerde U_1 - U_2 - U_3 için Q-s/D eğrisi

Şekil 5.19'da donatı olarak G_2 kullanılan deneylerin Q-s/D grafiği verilmiştir.



Şekil 5.19. G_2 donatısı kullanılarak yapılan deneylerde U_1 - U_2 - U_3 için Q-s/D eğrisi

Deneyleerde G_1 donatısının U_1 , U_2 , U_3 mesafelerine yerleştirilmesi durumunda elde edilen nihai taşıma gücü her üç deneyde de 15 kN civarında olmuştur. Bu değere karşılık gelen oturma değerleri U_1 mesafesi için 13.95 mm iken, zemin yüzeyine daha uzak mesafe olan

U_2 ve U_3 için sırasıyla 14.5 mm ve 14.85 mm olarak tespit edilmiştir. Bu durumda zemin yüzeyine daha yakın mesafe olan U_1 , U_2 ve U_3 mesafelerine göre sırasıyla yaklaşık 0.55 ve 0.9 mm daha az oturma değeri vermiştir.

G_2 donatısının U_1 , U_2 ve U_3 mesafelerine yerleştirilmesi halinde yapılan yükleme deneylerinde, nihai taşıma gücüne karşılık gelen oturma değerleri sırasıyla 13.5 mm, 14 mm ve 14.2 mm olarak belirlenmiştir. U_1 mesafesinin U_2 ve U_3 mesafelerine göre sırasıyla 1.03 ve 1.05 kat daha az oturma değeri sağladığı görülmüştür.

Elde edilen Q-s/D eğrilerinden, G_1 ve G_2 'nin donatı olarak kullanıldığı iki grup deneyde donatıların zemin yüzeyine uzaklığının artmasıyla oturmaların arttığı görülmüştür. Ancak artış oranlarının çok küçük olduğu belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, zeminlerin geohücre ile donatılarak iyileştirilmesi sonucunda taşıma kapasitesindeki değişim irdelenmek üzere deneyler yapılmıştır. Arazi ortamındaki deneysel çalışmalarda geohücre boyutu, geohücrenin yüzeyine olan düşey mesafesi, zemin dane boyutu, temel boyutu ve temel geometrisi değişken parametreler olarak kullanılmıştır.

Yapılan deneylerde değişken parametrelerin taşıma gücüne etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminin dane boyutunun artmasının oturma miktarını azalttığı tespit edilmiştir. İri daneli zeminin daha küçük dane boyutuna sahip zeminlere göre ortalama 1.2 kat daha fazla taşıma gücü sağladığı bu sonuçla geohücrenin, iri dane boyutuna sahip zeminlerle daha iyi kenetlendiği belirlenmiştir.
- Model temel olarak kullanılan kare kesitli temellerin, daire kesitli temellere göre %14.6 daha az oturma değeri verdiği tespit edilmiştir.
- En büyük temel boyutlarına sahip temeller D_3 ve B_3 , daha az oturma değeri vermiştir. Temel boyutlarının artması daha fazla taşıma kapasitesi sağlamıştır. Bunun sebebinin temelin boyutunun artmasıyla yükün daha geniş alana yayılması olduğu ve bu sayede oturmaların azaldığı düşünülmektedir.
- Donatı malzemesi olan geohücrenin, hücre boyutunun azalmasının %2.5 oranında taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçla, eşdeğer kesit alanında daha fazla hücre bulunmasının zeminin kenetleneceği yüzeyi arttırdığı ve kenetlenme yüzey alanının artmasıyla da taşıma gücünün arttığı tespit edilmiştir.
- Geohücrenin zemin yüzeyine mesafesi ile taşıma gücü ters orantılı olup bu mesafenin artmasıyla taşıma gücü azalmıştır. İki geohücre arasında taşıma gücü farkı oranı 1.05 kat belirlenmiştir.

Bu çalışmanın ışığında gelecekte yapılabilecek çalışmalar için sunulan öneriler aşağıda verilmektedir.

- Bu çalışmada, iki farklı hücre boyutuna sahip geohücre kullanılmıştır. Hücre boyutunun taşıma gücüne etkisini irdelemek için daha farklı boyutlardaki geohücreler kullanılabilir. Ayrıca hücre boyutunun taşıma gücüne etkisinin daha iyi incelenebilmesi için deney ölçeği arttırılabilir.
- Bu çalışmada donatılandırma tek katmanda yapılmıştır. Katman sayısı arttırılabilir ve donatılar arası mesafenin taşıma kapasitesine etkisi incelenebilir.
- Bu çalışmada, dolgu malzemesi olan zeminlerin dane boyutunun taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. İri dane boyutlu zeminlerin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Daha farklı dane boyutuna ve sıklığına sahip zeminlerin taşıma gücüne etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, M. H. (2019). Geosentetik türlerinin inşaat mühendisliğindeki uygulamaları ve sağladığı kolaylıklar. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10 (2), 791-796.
- Al-Qadi, I. L., & Hughes, J. J. (2000). Field evaluation of geocell use in flexible pavements. *Transportation Research Record*, 1709 (1), 26-35.
- Altay, G. (2019). Geocell kullanılarak oluşturulan dayanma duvarlarının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. Doktora Tezi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arvin, M. R., Abbasi, M., & Fahliani, H. K. (2021). Shear behavior of geocell-geof foam composite. *Geotextiles and Geomembranes*, 49 (1), 188-195.
- Avesani Neto, J. O., Bueno, B. S., & Futai, M. M. (2013). A bearing capacity calculation method for soil reinforced with a geocell. *Geosynthetics International*, 20 (3), 129-142.
- Biabani, M. M., Indraratna, B., & Ngo, N. T. (2016). Modelling of geocell-reinforced subballast subjected to cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 44 (4), 489-503.
- Chen, Q., Abu-Farsakh, M. Y., Sharma, R., & Zhang, X. (2007). Laboratory investigation of behavior of foundations on geosynthetic-reinforced clayey soil. *Transportation Research Record*, 2004 (1), 28-38.
- Choudhary, A. K., Pandit, B., & Babu, G. S. (2019). Uplift capacity of horizontal anchor plate in geocell reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 47 (2), 203-216.
- Dash S. K., Rajagopal K., & Krishnaswamy N. (2003) Behaviour of geocell-reinforced sand beds under strip loading. *Canadian Geotechnical Journal*, 44 (7), 905-916.
- Fakharian, K., & Pilban, A. (2021). Pullout tests on diagonally enhanced geocells embedded in sand to improve load-deformation response subjected to significant planar tensile loads. *Geotextiles and Geomembranes*, 49 (5), 47 (2), 203-216.
- Han, J., Yang, X., Leshchinsky, D., & Parsons, R. L. (2008). Behavior of geocell-reinforced sand under a vertical load. *Transportation Research Record*, 2045 (1), 95-101.
- Hausman, M. R., (1990). *Engineering Principles of Ground Modification*. McGraw-Hill.
- Hegde, A. M., & Sitharam, T. G. (2015). Three-dimensional numerical analysis of geocell-reinforced soft clay beds by considering the actual geometry of geocell pockets. *Canadian Geotechnical Journal*, 52 (9), 1396-1407.

- Hegde, A., & Sitharam, T. G. (2015). 3-Dimensional numerical modelling of geocell reinforced sand beds. *Geotextiles and Geomembranes*, 43 (2), 171-181.
- Huang, M., Lin, C., Pokharel, S. K., Tura, A., & Mukhopadhyaya, P. (2021). Model tests of freeze-thaw behavior of geocell-reinforced soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 49 (3), 669-687.
- Inti, S., & Tandon, V. (2021). Design of geocell reinforced roads through fragility modeling. *Geotextiles and Geomembranes*, 49 (5), 47 (2), 1085-1094.
- Işık, A., Gürbüz, A., Anıl, Ö. (2020). Assessment of soil-geocell interaction behavior by laboratory pullout tests. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35:1,27-38.
- İnternet 1, <https://baselok.com/geocell/>. Son Erişim Tarihi: 20 Ağustos 2021.
- İnternet 2, <https://baselok.com/geocell/>. Son Erişim Tarihi: 30 Ağustos 2021.
- İnternet 3, <https://baselok.com/geocell/>. Son Erişim Tarihi: 26 Ağustos 2021.
- İnternet 4, <https://baselok.com/geocell/>. Son Erişim Tarihi: 26 Ağustos 2021.
- İnternet 5, <https://www.movea.com.tr/hizmetler/hucresel-dolgu-sistemi/> Son Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2021.
- Kargar, M., & Hosseini, S. M. (2017). Effect of reinforcement geometry on the performance of a reduced-scale strip footing model supported on geocell reinforced sand. *Scientia Iranica*, 24 (1), 96-109.
- Madhavi Latha, G., & Rajagopal, K. (2007). Parametric finite element analyses of geocell-supported embankments. *Canadian Geotechnical Journal*, 44 (8), 917-927.
- Mehrjardi, G. T., & Motarjemi, F. (2018). Interfacial properties of geocell-reinforced granular soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 46 (4), 384-395.
- Mehrjardi, G. T., Behrad, R., & Tafreshi, S. M. (2019). Scale effect on the behavior of geocell-reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 47 (2), 154-163.
- Mehrjardi, G. T., Tafreshi, S. M., & Dawson, A. (2015). Numerical analysis on Buried pipes protected by combination of geocell reinforcement and rubber-soil mixture. *International Journal of Civil Engineering*, 13 (2), 90-104.
- Örnek M., (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

- Palmeira, E. M., & G3ngora, I. A. (2016). Assessing the influence of some soil–reinforcement interaction parameters on the performance of a low fill on compressible subgrade. Part I: fill performance and relevance of interaction parameters. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2 (1), 1-17.
- Sarsılmaz, O. M., (2017). Zemin iyileştirme y3ntemlerinin sınıflandırılması, incelenmesi, değerlendirilmesi ve anılan y3ntemlerin seçilme kriterleri 3zerine kapsamlı bir araştırma. Y3ksek Lisans Tezi. Ege 3niversitesi Fen Bilimleri Enstit3s3 İnaşat M3hendisliği Anabilim Dalı.
- Shekarian, S., Ghanbari, A., & Farhadi, A. (2008). New seismic parameters in the analysis of retaining walls with reinforced backfill. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (4), 350-356.
- Őeng3l E., (2010). Y3ksek su muhtevalı killi yol taban zemininin kireç stabilizasyonu ve h3cresel dolgu sistemiyle iyileştirilmesi. Y3ksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik 3niversitesi Fen Bilimleri Enstit3s3 İnaşat M3hendisliği Anabilim Dalı.
- Şimşek M. C., (2017). H3cresel dolgu sistemi ile g3çlendirilmiŐ kumlu zeminlerin statik y3k altında davranıŐı. Y3ksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik 3niversitesi Doğa ve Fen Bilimleri Enstit3s3 İnaşat M3hendisliği Anabilim Dalı.
- Tafreshi, S. M., Shaghghi, T., Mehrjardi, G. T., Dawson, A. R., & Ghadrđan, M. (2015). A simplified method for predicting the settlement of circular footings on multilayered geocell-reinforced non-cohesive soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 43 (4), 332-344.
- Toprak, 3. (2019). Deniz kumu ile doldurulmuŐ iki geocell arasındaki s3rt3nme davranıŐının incelenmesi. Y3ksek Lisans Tezi. Osmaniye Korkut Ara 3niversitesi. Fen Bilimleri Enstit3s3.
- Trautmann, C. H., & Kulhawy, F. H. (1988). Uplift load-displacement behavior of spread foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114(2), 168-184.
- Won, M. S., & Kim, Y. S. (2007). Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls. *Geotextiles and Geomembranes*, 25 (1), 10-22.
- Xianrong, W., Xiedong, Z., Yunsheng, Z., & Xiaowei, L. (2021). Fatigue damage characteristics of geocell-reinforced asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 269, 121252.
- Yoo, C., & Kim, S. B. (2008). Performance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: Full-scale load test and 3D finite element analysis. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (6), 460-472.
- Y3nk3l, K. (2019) Kohezyonsuz zeminlere g3m3l3 h3cresel yapı elemanları ile g3çlendirilmiŐ yatay sığ plaka ankrajların çekme davranıŐlarının incelenmesi. Y3ksek Lisans Tezi. Gazi 3niversitesi. Fen Bilimleri Enstit3s3.

Zhang, L., Zhao, M., Shi, C., & Zhao, H. (2010). Bearing capacity of geocell reinforcement in embankment engineering. *Geotextiles and Geomembranes*, 28 (5), 475-482.

Zhou, J., & Wen, C. (2008). Adaptive backstepping control of uncertain systems: Nonsmooth nonlinearities, interactions or time-variations. Springer Publishing.



DİZİN

A

ağ yapısı · 42
akordiyon · 2, 12, 15
altyapı · 2
arazi · iv, vi, 1, 2, 3, 11, 16, 22, 23, 44

B

baret · 25

Ç

çekme · 1, 4, 5, 12, 24, 49

D

dairesel plakalar · 2
dane boyutu · viii, 6, 29, 30, 32, 44, 45
dayanımı · 1
deney · xii, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 26, 27, 45
deneysel · 3, 4, 16
deplasman · xiii, 6, 8, 17, 19, 28
dikdörtgen · 16, 25
donatı · 1, 7, 8, 9, 10, 11, 25, 30, 33, 34, 35, 42, 43, 48
donatılı · 3, 4, 6, 9, 10, 12, 28, 29, 32, 34, 37, 38
donatısız · 4, 5, 6, 10, 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 38
düşey · iv, 5, 7, 10, 16, 19, 28, 44

E

enjeksiyon · 1, 2

G

geogrid · 2, 7, 8, 9, 10, 48
geohücre · iv, xii, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 23, 25, 28, 40, 42, 44, 45
geosentetikler · 2, 12
geoteknik · iv, 1, 13
geotekstil · 2, 6, 7, 10
gevşek · 26
güçlendirme · 2, 6, 9

H

hücre açıklığı · 2
hücresel dolgu sisteminin · 7

İ

inşaat · 1, 46
iri · 30, 32, 45
istatistik · 47
iyileştirme · iv, 1, 5, 48

K

karayolu · xii, 2, 13, 15
kare plakalar · 2
kenetlenme · 1, 14, 45
kesit · 2, 23, 25, 28, 32, 35, 37, 38, 42, 45
kohezyonlu · 1
kohezyonsuz · 1
kompaksiyon · 1
kum · 4, 5, 6, 7, 9, 10, 16, 19, 20

L

laboratuvar · 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 22, 27, 28

M

model · 25, 28

O

oturma · iv, 4, 7, 8, 17, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45

P

parametre · 28, 29, 32, 40, 42
petek · 2, 12
piston · xii, 17, 18, 19, 27
plaka Yükleme Deneyi · vii, 17
polietilen · 2, 12, 25

R

regresyon · 28

S

sayısal · 4
sentetik · 1, 2
seri · 28
sıklık · 5, 22, 27
stabilite · 2
statik · 1, 48

Ş

şev · xii, 2, 12, 13, 15

T

takviye · 2
taşıma · 11, 16, 28, 44
taşıma gücü · 17, 28, 29, 30, 31, 32, 38, 45
taşıma kapasitesi · 16, 44

teğet kesiştirme · 29, 31, 34
temel · iv, 2, 6, 7, 11, 16, 17, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 36,
38, 39, 40, 42, 44, 45
temel geometrisi · viii, 29, 32

U

ulaşım · 13, 14

Y

yanal · 2, 8, 12
yol · 2, 7, 9, 10, 14, 48
yükleme · iv, xii, 1, 4, 7, 9, 11, 17, 18, 19, 23, 25, 27,
31, 43

Z

zemin · 19
zemin iyileştirme · iv, 1
zemin stabilizasyonu · 15



TEKNOVERSITE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

