



**SIKIŞTIRILMIŞ MÜHENDİSLİK DOLGUSU ÜZERİNDEKİ YÜZEYSEL
TEMELLERİN PERFORMANSINA HÜCRESEL DOLGU
UYGULAMASININ ETKİSİNİN MODEL DENEYLERLE
ARAŞTIRILMASI**

Gözde TÜFEKÇİBAŞI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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.

İmza

Gözde TÜFEKÇİBAŞI

14/06/2022

SIKIŞTIRILMIŞ MÜHENDİSLİK DOLGUSU ÜZERİNDEKİ YÜZEYSEL
TEMELLERİN PERFORMANSINA HÜCRESEL DOLGU UYGULAMASININ
ETKİSİNİN MODEL DENEYLERLE ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Gözde TÜFEKÇİBAŞI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2022

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında; sınır şartları belirlenmiş tank içerisinde, hücre yüksekliği (100 mm) sabit tutularak farklı hücre açıklıklarını ve hücre kalınlıklarını kapsayan hücresel dolgu malzemelerinin (Geocell-33-1,5; Geocell-40-1,5; Geocell-60-1,0; Geocell-60-2,0) farklı derinliklerdeki kum veya çakıl tabakalara yerleştirilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan model mühendislik dolgularında, dairesel plaka altında yük-oturma ilişkileri incelenmiştir. Geocell hücrenin, kum içerikli mühendislik dolgularına katkılarının miktarını değerlendirmek için 14 adet model deney ve çakıl içerikli mühendislik dolgularına etkisini değerlendirmek için 8 adet model deney yapılmıştır. Beklendiği gibi artan rölatif sıkılığın hem kum hem de çakıl numunelerinde yük-oturma davranışını etkileyen en önemli değişken olduğu gözlemlenmiştir. Çakıl zeminlerde, geocellin 1.tabakaya yerleştirilmesi ve rölatif sıkılığın %44'den %66'ya çıkarılması ile temelin taşıma gücünde 1,59 kat artış ve geocellin 2.tabakaya yerleştirilmesi ve rölatif sıkılığın %46'dan ve %66'ya çıkarılması ile temelin taşıma gücünde 1,27 kat artış gözlemlenmiştir. Geocell malzemesinin temel altı zeminde varlığı, deney koşullarının Geocell donatı yerleştirme derinliğinin; 0-2/3D (model temel çapı) aralığında değişmesi durumunda yük-oturma davranışında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Aynı koşullarda, farklı yükleme hızlarında yapılan sınırlı sayıda deneylere göre, yükleme hızının donatılı kum zemindeki yük-oturma davranışına belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Çakıl, hücresel dolgu, kum, model deney, oturma, zemin iyileştirme

Sayfa Adedi : 99

Danışman : Prof. Dr. Yüksel YILMAZ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GEOCELL APPLICATION TO THE
PERFORMANCE OF SHALLOW FOUNDATIONS ON COMPACTED ENGINEERING
FILLS WITH MODEL EXPERIMENTS

(M. Sc. Thesis)

Gözde TÜFEKÇİBAŞI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

In this study, in the laboratory environment; in the tank with defined boundary conditions, load-settlement relationships under the circular plate were investigated in model engineering fills, which were formed by placing and compacting cellular filling materials (Geocell-33-1,5; Geocell-40-1,5; Geocell-60-1,0; Geocell-60-2,0) covering different cell openings and cell thicknesses, while keeping the cell height (100 mm) constant, on sand or gravel layers at different depths. 14 model experiments were conducted to evaluate the contribution of the geocell to the sand-containing engineering fills and 8 model experiments were conducted to evaluate the effects of the gravel-containing engineering fills. As expected, increasing relative compactness was observed to be the most important variable affecting load-settlement behavior in both sand and gravel samples. In gravel soils, by placing the geocell in the 1st layer and increasing the relative density from 44% to 66%, the bearing capacity of the foundation increased by 1.59 times and the geocell was placed in the 2nd layer and the relative density was increased from 46% to 66%, the bearing capacity of the foundation increased by 1.59 times was observed. Presence of the Geocell material in the sub-foundation in the test conditions, the Geocell reinforcement placement depth; no significant change was observed in the load-settlement behavior when it changed in the range of 0-2/3D (model foundation diameter). According to a limited number of experiments performed under the same conditions at different loading rates, it has been observed that the loading speed does not have a significant effect on the load-settlement behavior of the reinforced sand soil.

Science Code : 91105

Key Words : Geocell, gravel, model test, sand, settlement, soil improvement

Page Number : 99

Supervisor : Prof. Dr. Yüksel YILMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca gerek mühendislik çalışma prensipleri ve disiplini konusunda gerekse akademik bilgi birikimi açısından yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Yüksel YILMAZ'a ve deneysel anlamda yaptığı katkılarından dolayı hocam İnşaat Yüksek Mühendisi Uzman Aydın GÖKÇE'ye teşekkürü bir borç bilirim. Deney çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan meslektaşlarım İnşaat Mühendisi Yasin BİLİROL, Zafer KARAÇAĞIL ve Fazlı DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım. AR-GE çalışmaları kapsamında tezimi destekleyen, Geoplas A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım. Her konuda yanımda olan, beni destekleyen kıymetli dostum ve meslektaşım İnşaat Mühendisi Anıl ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım. Sabırla beni destekleyen eşim ve meslektaşım İnşaat Mühendisi Abbas ERDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ve en önemlisi, sevgi ve fedakarlıklarıyla maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Necla TÜFEKÇİBAŞI ve babam Kenan TÜFEKÇİBAŞI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	3
2.1. Geocell Malzemesinin Zemin Taşıma Kapasitesine Etkisinin Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar	6
2.2. Geocell Takviye Mekanizmalarının Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar.....	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	19
3.1. Çalışmada Kullanılan Zeminin Özellikleri	19
3.2. Çalışmada Kullanılan Hücresel Dolguların (Geocell) Özellikleri	24
3.3. Çalışmada Kullanılan Deney Düzeneği	25
3.4. Deneysel Çalışma Yöntemi.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
4.1. Rölatif Sıklığın Yük-Oturma Davranışına Etkisi	36
4.2. Yükleme Hızının Yük-Oturma Davranışına Etkisi	40
4.3. Geocell Donatı Yerleştirme Derinliğinin Yük-Oturma Davranışına Etkisi.....	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	61
EK-1. Deney numaralarına göre rölatif sıkılık deney verileri	62
EK-2. Kum deneylerine ait yükleme resimleri	63
EK-3. Çakıl deneylerine ait yükleme resimleri.....	69
EK-4. Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	73
EK-5. Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	88
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan geocelllerin boyutsal özellikleri.....	24
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan geocelllerin mekanik özellikleri (Geoplas, www.geoplas.com.tr , Ekim 2019)	24
Çizelge 3.3. Kum kullanılarak yürütülen yük-oturma model deneyleri	29
Çizelge 3.4. Çakıl kullanılarak yürütülen yük-oturma model deneyleri.....	33



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. a) Hücresel Dolgu Sisteminin genel görünüşü. b) Hücre duvarlarının kasnak kuvveti ve komşu hücrelerin pasif direnci (Koerner, 2012)	5
Şekil 2.2. Şekil 2. 2. Geocell ile güçlendirme yapılmadan önce ve sonra temel altındaki göçme yüzeyinin durumu (Krishna ve Biswas, 2015)	5
Şekil 2.3. Şekil 2. 3. Geocell ve dolgu malzemesinin ara yüz Dirençleri (Krishna ve Biswas, 2015)	6
Şekil 2.4. Geocellin temel taşıma gücüne etkisi (Gurbuz ve ark. 2012).....	10
Şekil 2.5. Geocellin yük-oturma davranışına etkisi (Han ve ark., 2008).....	12
Şekil 2.6. Geocell yüksekliğinin yük-oturma davranışına etkisi (Şimşek, 2008.....	13
Şekil 2.7. Geocell kaynak birleşim model yapıları (Pokharel ve ark., 2009).....	16
Şekil 3.1. İyi derecelendirilmiş kum (SW) numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi ...	20
Şekil 3.2. Kötü derecelendirilmiş çakıl (GP) numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi ..	22
Şekil 3.3. Şekil 3. 3. Geocell malzemesinin deney tankında tabakaları: a) tabaka ölçü detayları, b) donatının 1. tabakaya yerleştirilmesi, c) donatının 2. tabakaya yerleştirilmesi.....	30
Şekil 4.1. RD=%73 Geocell- 60.1 tek hücreli 2. tabaka kum deneyi uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	36
Şekil 4.2. Rölatif sıkılık deneylerinin (kum) uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	37
Şekil 4.3. Rölatif sıkılık deneylerinin (kum) uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	38
Şekil 4.4. Rölatif sıkılığın Geocell-33-1,5 malzemesinin 1.tabaya yerleştirilmesi ile çakıl numunesinin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri.....	39
Şekil 4.5. Rölatif sıkılığın Geocell-33-1,5 malzemesinin 2.tabaya yerleştirilmesi ile çakıl numunesinin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri.....	40
Şekil 4.6. Yükleme hızının uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri (Geocell-40-1,5)	41
Şekil 4.7. Yükleme hızının uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri (Geocell-60-2,0)	42
Şekil 4.8. Geocell-33-1,5 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Geocell-40-1,5 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri.....	45
Şekil 4.10. Geocell-60-2,0 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	46
Şekil 4.11. Geocell-60-1,0 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri	47
Şekil 4.12. Geocell-33-1,5 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda çakıl zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri.....	49
Şekil 4.13. Geocell-60-2,0 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda çakıl zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri.....	50

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Geocellin serilmesi ve hücrelerinin doldurulması (Geoplas, www.geoplas.com.tr , Ekim 2019)	4
Resim 3.1. Çakıl numunesine ait maksimum yoğunluk belirleme deneyinin yapılması aşamaları: a) zemin örneğinin kalıba serbest bir şekilde yerleştirilmesi, b) 1 cm kalınlığındaki plaka ve 15 kg sürşarj yükü yerleştirilmesi, c) sarsma tablasında 4 dk titreşim etkisine tutulması, d) sarsma işleminden sonra sıkışma miktarı kumpas yardımı ile belirlenmiş ve sıkışan hacim hesaplanması.....	22
Resim 3.2. Resim 3.2. Çakıl numunesine ait e_{max} deneylerinin yapılması aşamaları: a) hacmi bilinen bir kabın kullanılması, b) hacmi bilinen bir kalıba zemin örneği serbest bir şekilde yerleştirilmesi, c) kalıbın üst kısmının tıraşlanarak kalıptaki örnek ağırlığı belirlenmesi.....	23
Resim 3.3. Geocell numunesinin görünüşü: a) Geocell-60-1,0, b) Geocell-33-1,5.....	25
Resim 3.4. Model deney tankı detayları: a) deney tankının tabaka sınırları, b) deney tankının dış görünüşü ve yükleme mekanizması	25
Resim 3.5. Çakıl numune hazırlama detaylarından bir görünüş: a) çakılın elenmesi, b) çakılın yıkanması	26
Resim 3.6. Zemin numunesi yerleştirme detayları: a) numunenin tabaka detayları, b) numunenin tabakalar halinde serilmesi, c) numune tabakalarının düzeltilmesi, d) numune tabakalarının el ile tokmaklanması.....	27
Resim 3.7. Kum numunesinin deney düzeneğinin kurulması aşamaları a) geocell donatı yerleştirme, b) yükleme plakası yerleştirme, c) yükleme pistonunun yükleme plakasına ortalanması, d) deformasyon ölçer saatlerin yerleştirilmesi.....	28
Resim 3.8. Çakıl numunesinin deney düzeneğinin kurulması aşamaları: a) geocell donatı yerleştirme, b) yükleme yapılacak zemin yüzeyinin düzeltilmesi, c) yükleme pistonunun yükleme plakasına ortalanması, d) deformasyon ölçer saatlerin yerleştirilmesi	31
Resim 3.9. Çakıl numunesi rölatif sıkılık ayarlama yöntemleri: a) tahta tokmakla sıkıştırma, b) matkapla sıkıştırma.....	32
Resim 4.1. Geocell-60-1,0 tek hücreli geocell malzemesi deneyi: a) numunenin yerleştirilmesi, b) yükleme sonrası görünüşleri.....	35

Resim	Sayfa
Resim 4.2. Geocell-33-1,5 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	44
Resim 4.3. Geocell-40-1,5 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	45
Resim 4.4. Geocell-60-2,0 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	46
Resim 4.5. Geocell-60-1,0 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	47
Resim 4.6. Geocell-33-1,5 çakıl numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	49
Resim 4.7 Geocell-60-2,0 çakıl numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

C_c	Derecelenme Katsayısı
C_u	Üniformluk Katsayısı
D_{10}	Zeminin %10'unun Geçtiği Tane Çapı, mm
D_{30}	Zeminin %30'unun Geçtiği Tane Çapı, mm
D_{60}	Zeminin %60'nın Geçtiği Tane Çapı, mm
e	Boşluk oranı
e_{maks}	Maksimum boşluk oranı
e_{min}	Minimum boşluk oranı
G_s	Özgül ağırlık
R_d	Rölatif sıkılık, %

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
HDPE	High Density Polyethylene
Geocell-33-1,5	33 mm hücre açıklığında 1,5 mm kalınlığında Geocell
Geocell-40-1,5	40 mm hücre açıklığında 1,5 mm kalınlığında Geocell
Geocell-60-1,0	60 mm hücre açıklığında 1 mm kalınlığında Geocell
Geocell-60-2,0	60 mm hücre açıklığında 2 mm kalınlığında Geocell
GP	Poorly-Graded Gravel
USCS	Unified Soil Classification System
SW	Well-Graded Sands

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirme çalışmaları, zemin problemleri olan yerlerin inşaat alanı olarak kullanılabilmesi için çözüm getirmektedir. Son yıllarda, yüzeysel zemin iyileştirme yöntemi olarak diğer malzemelere oranla kullanım kolaylıkları nedeniyle geosentetik donatı malzemeleri sıklıkla tercih edilen ürünler arasında yer almaktadır. Geosentetik donatı malzemeleri, günümüz koşullarında fazla iş gücüne gerek kalmadan arazide uygulanmasının hızlı olması ve imalatın, nakliyesinin, bakım-onarımın kolay olmasından dolayı diğer güçlendirme yöntemlerinden bir adım öne çıkmıştır. Özellikle yakın geçmişte zemin iyileştirilmesinde kullanımı gün geçtikçe artan geocell donatı malzemesi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Diğer düzlemsel takviyelerle (geogrid vb.) kıyaslandığında; geocell donatı malzemesinin, sığ temellerin taşıma kapasitesini artırmada ve oturmasını azaltmada daha iyi performans gösterdiği önceki araştırmacıların çalışmalarının sonuçlarına göre bilinmektedir. Geocell donatı malzemesinin davranışının zemin çeşidine göre farklılık göstermesi tasarım parametrelerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Literatürde birçok ampirik hesaplama yaklaşımları mevcut olmasına rağmen geocell donatı ile güçlendirilmiş zemin yapılarının davranışı ve tasarımının kesinleşmiş bir standardı henüz ortaya koyulabilmiş değildir. Bu açıdan bakıldığında yapıların daha ekonomik, güvenli ve uzun ömürlü hale gelmesi için geocell donatı malzemesinin zemin ile birlikte kullanımıyla imal edilen yüzeysel temeller üzerinde çok fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Sıkıştırılmış mühendislik dolgusu üzerinde inşa edilecek yüzeysel temellerin performansına hücresel dolgu (geocell) uygulamasının etkisinin model deneylerle araştırılması kapsamında yapılan bu çalışmada; kohezyonsuz zeminlerde hücresel dolgu sistemlerinin etkisi model deneyler ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Tek tabakalı bir geocell donatı malzemesi kum veya çakıl ile doldurulmuş ve düşey yüke maruz bırakılmıştır. Geocell donatı boyutlarının, geocell donatı lokasyonunun (bulunduğu tabaka) ve yükleme hızının, yük-oturma ilişkilerini belirlenmek amacıyla 22 adet model deney uygulanıp, sonuçlar raporlanmıştır.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde, tezin amacı ve kapsamına değinilmiştir. İkinci bölümde geocell donatı malzemesi ile ilgili yapılan önceki çalışmaların bilgileri verilmiş ve ardından üçüncü bölümde yapılan deneylerin yöntemi ile kullanılan ekipmanlar hakkında

detaylı açıklamalar yapılmıştır. Dördüncü bölümde deneylerden elde edilen bulgular tartışılmış ve son olarak beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu tez çalışmasında; geocell ile güçlendirilmiş kum veya çakıl zemin numunesi üzerinde küçük ölçekli temel model ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda literatür çalışmaları kısmında geocell donatı malzemesinin tarihsel olarak genel amaçlı kullanımları ve özellikle kohezyonsuz zeminlerde kullanımıyla ilgili çalışmaların bulgularına değinilmiştir.

Geocell ile zeminlerin iyileştirilmesi, ilk olarak Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği tarafından 1970'lerde plaj kumuna yanal sınırlama sağlamak için yapılmıştır (Webster, 1979). Üç boyutlu polimerik petek hücrelerinden oluşan geocell malzemesi; inşaat mühendisliğinde zeminde statik ve tekrarlı yükler altında, esnek yol kaplamalarında temel zemininde, şevlerin veya istinat duvarlarının güçlendirilmesinde günümüzde başarıyla kullanılmaktadır. Polimerik hücreler, yanal hapsetme, gergin bir membran etkisi ve daha geniş bir alana gerilme dağılımı sağlayan birbirine bağlı bir petek tipi yapı üretmek için birbirine kaynaklanır (Zhou ve Wen, 2008). Geoceller; üç boyutlu hücrelerinin içindeki dolguyu sınırlayarak zemin tanelerinin yanal hareketini azaltır ve uygulanan yükleri daha geniş bir alana dağıtarak rijit bir temel oluşturur. İnşaat alanından kazı ile elde edilmiş veya geoteknik parametreler açısından zayıf zeminin kullanılabilmesini sağlayan hücresel dolgu malzemesi, anahtar bağlantı sistemi ve yüksek mukavemetli hücrelerin kullanımı sayesinde zemini kontrol altına alıp taşıma gücü ve oturma gibi parametreleri olumlu yönde etkiler.

Geocell malzemesi kanal, akarsu, gölet vb. açık hidrolik yapılarda delikli yapısından kaynaklanan drenaj özelliği ile sıkça kullanılmaktadır. Hücre duvarlarının delikli olması sayesinde yüksek yanal drenaj imkânı sağlanır. Özellikle suya doymuş malzemelerin hızlı drenajına izin vererek stabiliteye önemli katkı sağlar. Su birikintilerinin oluşumunu engeller. Yapı faydalı kesitinin sürekliliğini artırarak özellikle sel ve taşkın olan bölgelerde önemli avantajlar sağlar. Hücreler sayesinde küçük beton bloklar oluşturulur ve eğimli kanal yüzeylerinde çatlamalar olmadan kullanım ömrü uzun olan kanal yapıları oluşturulabilir. Bitkilendirme yapılan uygulamalarda suyun, besinlerin ve mikroorganizmaların hücreler arasında geçişine izin verir. Kök yapısının yüzey boyunca genişlemesine ve kenetlenmesine olanak sağlayarak çok daha dayanıklı ve sağlıklı bir kök koruma sisteminin oluşmasını sağlar. Pürüzlü yüzeyli hücreler dolgu malzemesi ile hücre yüzeyinin sürtünme direncini

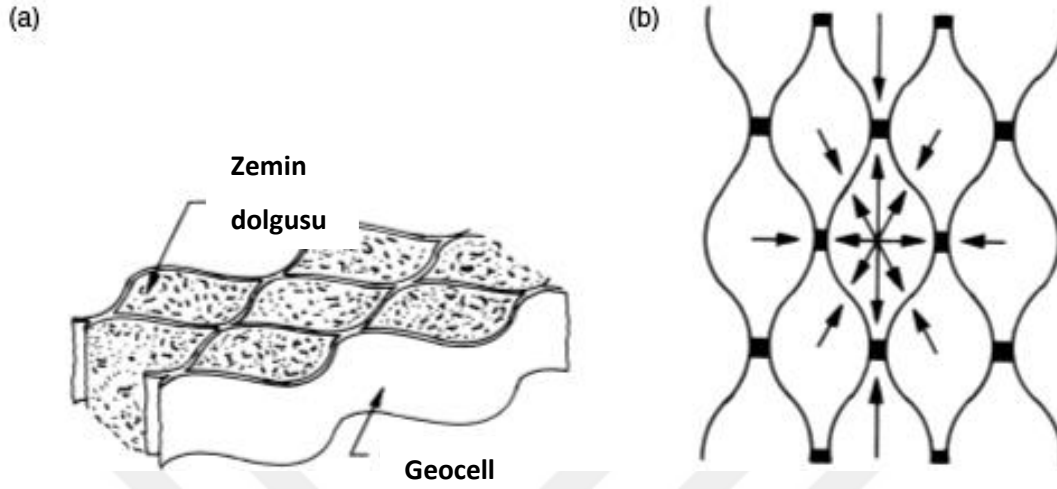
önemli oranda arttırır. Donma/ çözünme döngüleri, malzemenin su ve/veya rüzgâr nedeni ile aşınması gibi durumlarda iç dolgu malzemesinin hareketini sınırlar (Koerner, 2012).



Resim 2.1. Geocellin serilmesi ve hücrelerinin doldurulması (Geoplas, www.geoplas.com.tr)

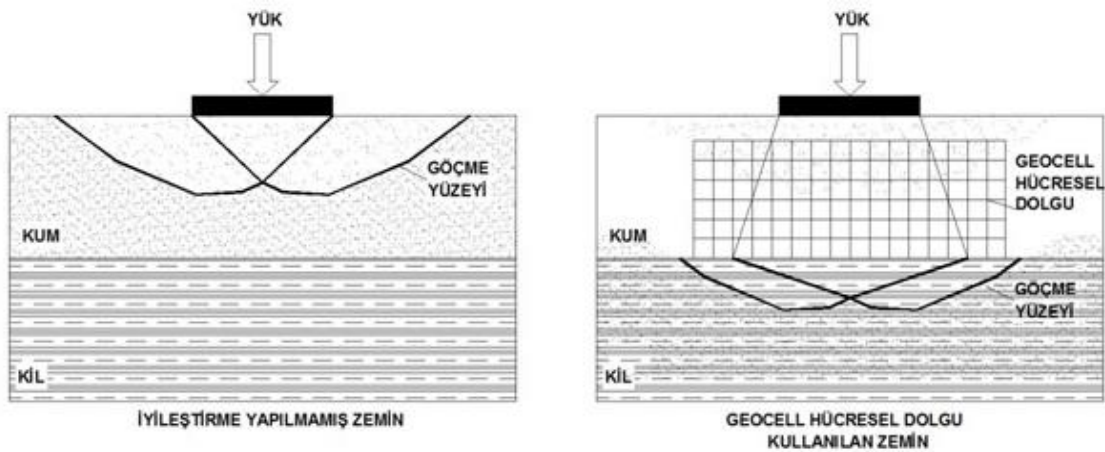
Polimer şeritlerin ultrasonik kaynak ile yapıştırılmasından oluşan geocell malzemesi istinat yapıları ve şev stabilitesinde güçlendirme malzemesi olarak kullanılırken estetik bir görünüşte sunabilir. Geocell istinat duvarları, dolgu malzemesinin geocell donatılar ile her kademe hücre yüksekliğinde serilip sıkıştırılması yöntemi ile imal edilirken esnek malzeme yapısıyla aynı zamanda deprem yüklerine karşıda dayanıklılık sağlar. Geleneksel dolgu malzemelerinin yapısal performansını ve dayanıklılığını arttırır. Resim 2.1’de geocell malzemesinin inşaat sırasında kullanımı gösterilmiştir. Geocell içine koyulan dolgu malzemesinin kayma mukavemetini artırır. Hücresel sistem üzerine gelen yoğun yükleri komşu hücrelere aktararak doğal zemine aktarılacak yükleri azaltır ve daha ince dolgu kalınlığının kullanılmasına olanak sağlar (Şekil 2.1). Shadmand ve ark. (2018) yaptığı çalışmalarda, geocell sistemin sadece temel tabakasının altındaki dolgu tabakası kalınlığını

değil aynı zamanda temel kalınlığını da azaltarak inşaat maliyetlerini önemli ölçüde etkileyeceğini bildirmişlerdir.

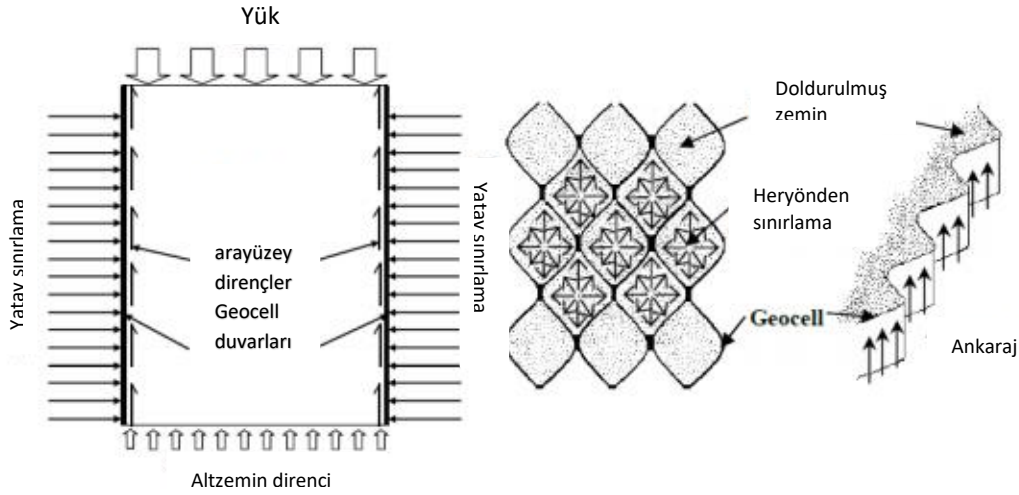


Şekil 2.1. a) Hüresel Dolgu Sisteminin genel görünüşü. b) Hücre duvarlarının kasnak kuvveti ve komşu hücrelerin pasif direnci (Koerner, 2012)

Geocell hücre duvarları, potansiyel yenilme düzlemlerini (güçlendirilmemiş durumda olduğu gibi) keser ve Şekil 2.2'de gösterildiği gibi potansiyel yenilme düzlemlerini zeminde daha derine inmeye zorlar. Geocell hücre duvarları, açıklıkları vasıtasıyla çevre zemine karşı ara yüzey dirençler elde eder ve güçlendirilmiş sistemin yük taşıma kapasitesini geliştirmek için zeminle sabitleme geliştirir (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Geocell ile güçlendirme yapılmadan önce ve sonra temel altındaki göçme yüzeyinin durumu (Biswas ve ark., 2013)



Şekil 2.3. Geocell ve dolgu malzemesinin ara yüz Dirençleri (Biswas ve ark., 2013)

Bir bütün olarak, doldurulmuş geocell-zemin şilte, gelen yükü daha geniş alan üzerine alttaki zemine yeniden dağıtan yarı rijit bir levha gibi davranarak, sistemin düşük gerilme yoğunluğu ve ilgili yerleşimlerle daha iyi performans göstermesine yol açar (Biswas ve ark., 2013). Mandal ve Gupta (1994), geocell malzemesinin çalışma mekanizmasıyla alakalı olarak yaptığı araştırmalara dayanarak; geocell malzemesinin yanal harekete ve kesme yenilmesine hem hücre duvarlarının gerilme mukavemeti hem de tam bitişik hücrelerin pasif direnci ile direndiğini belirtmiştir.

2.1. Geocell Malzemesinin Zemin Taşıma Kapasitesine Etkisinin Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

Geocell malzemesinin taşıma gücüne etkisini inceleyen Bathurst ve Jarrett (1988); sert bir geocell malzemesinin, zeminin yük taşıma kapasitesini iki kata kadar arttırılabileceğini rapor etmişlerdir. Dash ve ark. (2004) göre düzlemsel bir geogrid biçiminde güçlendirilmiş bir kum yatağının nihai taşıma gücü, güçlendirilmemiş kum yatağından dört kat daha yüksektir. Tingle ve Jersey (2007), zemin takviyesi olarak geosentetik kullanımının, geosentetik-zemin kompozitinin genel rijitliğini ve taşıma kapasitesini arttırdığı ve ayrıca geosentetiklerin oturma ve sürtünme derinliğinin azaltılmasında yardımcı olduğunu bulmuştur.

Mandal ve Gupta (1994), geocell-kum dolguların, yumuşak deniz kili üzerindeki tepkilerini araştırmıştır. Geocell takviyeli zeminin küçük oturma düzeylerinde taşıma kapasitesinin, güçlendirilmemiş zemine kıyasla fazla iyileşmediğini, ancak yüksek oturmalarda taşıma

kapasitesinin önemli ölçüde iyileşme gösterdiğini belirtmişlerdir. Krishnaswamy ve ark. (2000); laboratuvarında bir model testi gerçekleştirmiş ve geocell-zemin tabakasının nihai taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Geocell- kum takviyeli dolguya dayanan bir modelin yumuşak kil üzerindeki davranışını araştırmışlardır. Geocell kullanımının dolguların taşıma gücünü iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Geocell ceplerinin en boy oranı (yükseklik-çap oranı) performansı üzerinde de önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Geocell destekli modellerin; optimum en-boy oranı 0,5 olarak bulunmuştur. Emersleben ve Meyer (2008), yumuşak kil taban zemin üzerinde geocell-kum şilte üzerinde tam ölçekli trafik yükü ile model ve saha testi yapmışlardır. Uygun geocell yüksekliği ve çapı kullanılması durumunda, yük taşıma kapasitesini güçlendirilmemiş olana kıyasla 1,5 kata kadar artırdığını ve güçlendirilmemiş deneylerde yükleme plakasının altında yoğunlaşan gerilmelerin, geocell takviye durumunda daha geniş bir alana dağılmış gerilmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Dash ve ark. (2001a), uygulanan düşey yük-oturma davranışı ve geocell takviyeli kum üzerindeki şerit temellerin yüzey deformasyonları üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Geocell-kum temel sisteminin geometrisi ve yerleştirme derinliği, geocell malzemesinin rijitliği ve rölatif yoğunluğu üzerine ayrıntılı bir parametrik çalışma rapor etmişlerdir. Geocell ile taşıma kapasitesinde yaklaşık 8 kat iyileşme gözlenmiştir. Geocell tabakasının optimum genişliği, temel genişliğinin yaklaşık 4 katı olduğu bu çalışmada kullanılan tüm potansiyel yenilme düzlemlerini kestiğini rapor etmişlerdir. Şerit temelleri desteklemek için geocell kaynak açıklık mesafesinin en boy oranının yaklaşık 1,67 olduğu bulunmuştur.

Dash ve ark. (2001a), Yoon ve ark. (2008), Tafreshi ve Dawson (2010a), göre geocellin, temel altına yerleştirme derinliği, temel ve geocell arasındaki kum (u) yüksekliğidir. Dash ve ark. (2001a), bu zemin, gelen yükü daha az bir yoğunlukta ve alttaki geocell şilte ile düzgün bir şekilde yeniden dağıttığını ve böylece geocell duvarının erken lokal bükülmesini önlediğini göz önünde bulundurarak geocell hücre duvarının doğrudan yüklenmesini önlemek için en uygun değeri; 0,1D'lik yerleştirme derinliği önermiştir.

Mandal ve Gupta (1994); Mhaikar ve Mandal, (1996); Dash ve ark. (2001a-b, 2004) yaptıkları deneysel çalışmalara göre, geocell hücre açıklığının eşdeğer dairesel alanının çapı (plan olarak) olarak ifade edilen hücre boyutu (d) için küçük geocell ceplerinin daha yüksek performans sağladığını görmüş olmalarından dolayı cep açıklığının yükleme plakası

çapından daha az olmasını önermişlerdir. Dash ve ark. (2001a) göre, temel en az bir tam hücre açıklığını karşılayabilecek şekilde optimum hücre boyutu $0,8D$ olarak düşünülebilir. Tafreshi ve Dawson (2010a), geocell ve düzlemsel geotekstil takviyeli kumların davranışlarını araştırmış ve bunları statik ve tekrarlanan yükler altında güçlendirilmemiş durumlarla karşılaştırmıştır. Düzlemsel takviye ve geocell üst kısmının optimum yerleştirme derinlikleri sırasıyla 0,35 kat ve temel genişliğinin 0,1 katı olarak elde edilmiştir. Düzlemsel takviye sayısındaki artış ve ayrıca geocell yüksekliği, temel oturmasını azaltmıştır. Geocell takviye türü, diğer değişkenleri sabit tutularak düzlemsel geotekstil ile karşılaştırıldığında daha iyi performans göstermiştir. Tekrarlanan yükün genliğindeki artışın oturma artışlarına neden olduğu bulunmuştur ve her durumda, oturmanın en büyük kısmı ilk on döngüden sonra meydana gelmiştir. Tafreshi ve Dawson (2010b), taşıma kapasitesindeki artışın, geocell ve düzlemsel takviyeli zeminlerde, güçlendirilmemiş duruma göre sırasıyla %200 ve %150'sine ulaştığını rapor etmişlerdir. Güçlendirilmemiş zemindeki güçlendirilmemiş referans deneylere kıyasla oturmalarda %75 azalma, elde edilmiştir.

Sitharam ve ark. (2005), yumuşak kil taban üzerindeki kil dolgulu geocell malzemesini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, nihai taşıma kapasitesinde yaklaşık 5 kat artış sağlanmıştır. Yumuşak kil zeminin üzerindeki geocell-kil tabakasından dolayı oturmalarda yaklaşık %90 azalma olduğu bildirilmiştir. Geocell takviyeli kil ile kil taban zemin üzerinde az sayıda laboratuvar modeli araştırması yapılmıştır. Yükleme plakası genişliğinin 1,8 katı yüksekliğe ve yükleme plakası genişliğinin 4,9 katı genişliğe sahip bir geocell tabakasına sahip geocell kullanılması durumunda geocellin en az oturması elde edilmiştir. Geocell malzemesinin taşıma gücü etkisinde geometrik etkisinin araştırılması amacıyla; Tafreshi ve ark. (2015), düzlemsel geotekstillerin ve üç boyutlu geotekstillerin taşıma kapasitesi ve oturmalar katkısındaki iyileşmeyi karşılaştırmış ve geocell takviye sisteminin taşıma kapasitesini arttırmada ve oturmaları azaltmada daha etkili olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, çok tabakalı geocell takviyeli kohezyonsuz zeminler üzerinde dairesel temellerin oturmasını tahmin etmek için basitleştirilmiş bir yöntem sunmuşlardır. Dash (2012); geocell ile güçlendirilmiş kum zeminlere oturan temellerin taşıma ve oturma kapasitesinin geocell malzemesinin açıklığı, kalınlığı, yüksekliği, yönü gibi parametrelerden etkilendiğini rapor etmiştir.

Yuu ve ark. (2008), zayıf zemin üzerinde güçlendirme takviyesi olarak kullanılan geocellerin ayrıntılı bir incelemesini yapmışlardır. Birinci olarak görünür kaynaşmayı

arttırmak veya uzun süreli kalıcı plastik deformasyonları azaltmak gibi hapsetme etkisini araştırmak için üç eksenli hücreleri veya esneklik modül hücrelerini kullanmışlardır. İkinci olarak taşıma kapasitesinin arttırılması ve statik veya dinamik yükleme altında oturmanın azaltılması olarak takviye etkisinin araştırılması için laboratuvar modeli deneyler yapmışlardır. Üçüncü olarak sürtme derinliğini azaltmak ve yol ömrünü uzatmak gibi genel etkiyi araştırmak için tam ölçekli trafik testlerini deneysel olarak daha önce yapılmışlardır. Yuu ve ark. göre geocellerin geometrik değişkenleri (yükseklik ve genişlik), dolgu zeminin kalitesi, temel zemini dayanımını, yükleme tipi ve yeri; geocell takviyeli zayıf zemine göre performansı üzerinde en önemli etki faktörleridir. Yuu ve ark. geocell sisteminin etkinliğine rağmen, geocelllerin yolların temel takviyesi için kabulünün tasarım yöntemlerinin eksikliği nedeniyle sınırlı olduğunu belirtmiştir.

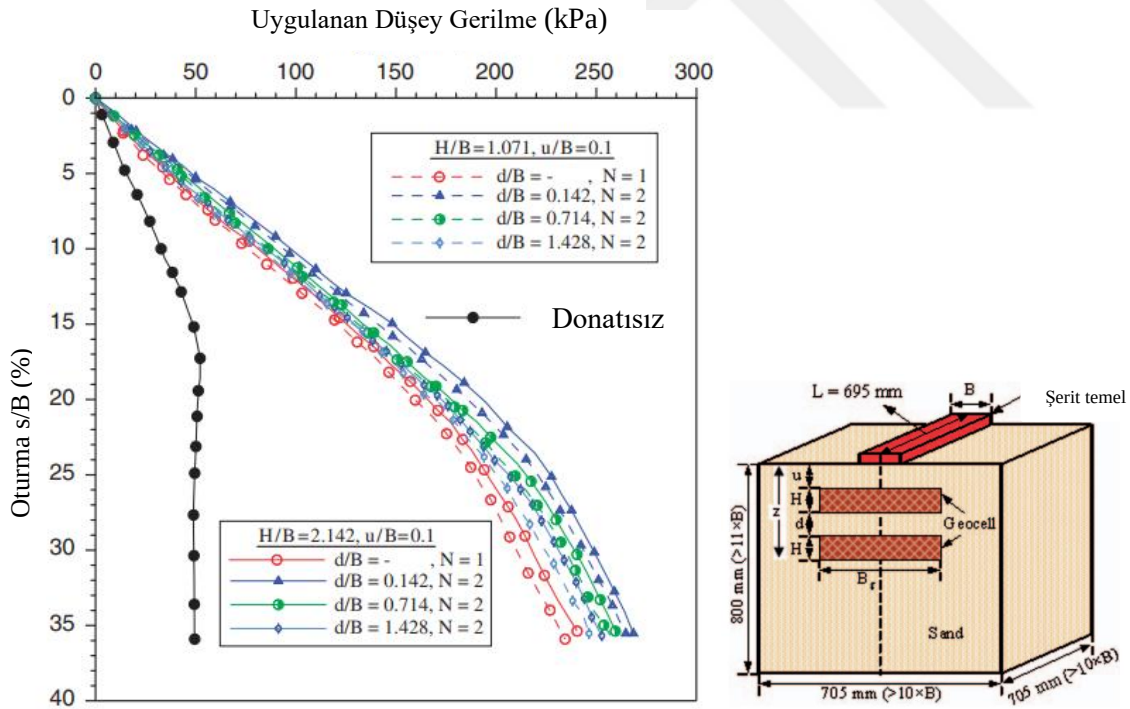
Dash (2010), kumlu zeminlerde geocell takviyeli temeller için zeminin rölatif sıkılık etkisini araştırmış ve geocell takviyesinin kumlu zeminlerde daha etkili kullanımı için temelin uygulanacağı zeminin daha yüksek rölatif sıkılıkta hazırlanması gerektiğini önermiştir. Biswas ve ark. (2013), geocell ile güçlendirilmiş zeminlere oturan temellerin performansının özellikle zemin dayanımına bağlı olduğunu belirtmiştir.

Mohamed (2010), geocell ile takviye edilmemiş kum ve geocell ile takviye edilmiş kum zemin üzerinde oturan temellerde yapmış olduğu deneylerle zeminlerin taşıma kapasitesi, zayıf zemin bölgesi olup olmaması ve zayıf zemin bölgesinin boyutları üzerine çalışmıştır. Zayıf zemin bölgesinin var olduğu durumda taşıma kapasitesinde azalma olduğunu belirtmiştir. Wang ve ark. (2008), geocell tabaka mekanizmalarını yanal direnç etkisi, düşey gerilme dağılım etkisi ve gerilmiş membran etkisi olarak gözden geçirmiş ve geocell takviyeli temel sisteminin taşıma kapasitesi hesaplama yöntemini önermiştir.

Sireesh ve ark. (2009), hem geocell takviyeli hem de takviyesiz koşullar için kil zemin yatağına yerleştirilen bir boşluk üzerindeki yükün etkisini araştırmak için bir dizi laboratuvar modeli deneyi gerçekleştirmiştir. Düşük plastisiteli siltli kil (CL) ve kuru kötü dereceli kum (SP) sırasıyla alt zemin ve dolgu zemini olarak kullanılmıştır. Geocell alanı, geocelin yüksekliği ve kum tabakası katman kalınlığı, model temel tabanın çapı (D) açısından tanımlanmış ve bu faktörlerin zeminin taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Geocell alanının (geocell tabakasının genişliği 4,9D'ye ulaşana kadar) arttırılmasıyla temel taşıma gücünde önemli bir artış gözlenmiştir, Geocell yüksekliği temel genişliğinin 1,8

katına kadar arttıkça, taşıma kapasitesi artmış, sonra azalmaya başlamıştır. Kum tabakasının kalınlığındaki artış ve rölatif yoğunluğu taşıma kapasitesini artırır.

Gürbüz ve Mertol (2012), kötü dereceli kum kullanarak 700,5mm uzunluğunda, 700,5 mm genişliğinde ve 800 mm yüksekliğinde rijit bir deney tankında gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda geocellerin genişliği, yüksekliği, katman sayısı, geocell katmanları arasındaki düşey mesafe ve temelin gerilme bölgesinin derinliği gibi çeşitli test parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Şekil 2.4'te gösterilen grafikleştirilmiş deney sonuçlarına göre; kohezyonsuz zeminler için, tek tabakalı geocell uygulanmasının; yük taşıma kapasitesini yaklaşık olarak 3,0 katı arttırdığı ve temelin oturmasındaki azalmanın yaklaşık olarak %62 olduğunu belirtmişlerdir. Geocell ile güçlendirme yapılması durumunda, iki geocell tabakası arasındaki optimum etkili mesafe, temel genişliğinin 0,142 katı, geocell hücrelerin etkili genişliğinin temel ile oranı yaklaşık 4,2 ve temelin etki derinliği, gerilme bölgesinin derinliğinin yaklaşık iki katı olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.4. Geocellin temel taşıma gücüne etkisi (Gürbüz ve Mertol, 2012)

Neto ve ark. (2013), zeminin temel taşıma kapasitesini ve geocell takviye mekanizmalarını dikkate alarak, geocell takviyeli zeminlerin taşıma kapasitesini tahmin etmek için çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçlarıyla doğrulanmış ve diğer

hesaplama yöntemleriyle karşılaştırılmış farklı geocell özellikleri (geometri), temel zemini ve geocell dolgusu (kum ve kil) ve yükleme şeklini (dairese, dikdörtgen ve şerit) içeren bir analitik yöntem önermişlerdir. Yöntemin, farklı geocell özellikleri (geometri), temel zemini ve geocell dolgu (kum ve kil) ve yükleme şekli (dairese, dikdörtgen ve şerit) için iyi bir yaklaşım olduğunu rapor etmişlerdir.

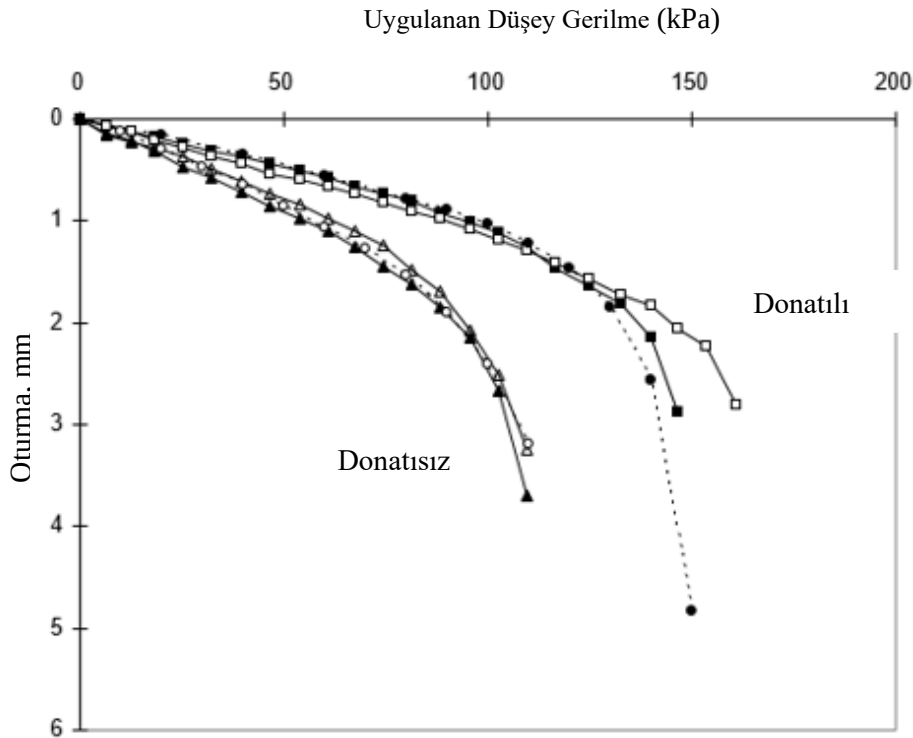
Kargar ve Hosseini (2017), temelın sınır etkilerinden etkilenmeyecek 800 mm (16B) uzunluğunda, genişliğı 342 mm tank içerisinde 50 mm genişliğinde, 340 mm uzunluğunda alüminyumdan yapılmış ve şerit temeli temsil eden yükleme plakası deney gerçekleştirmişlerdir. Küçük ölçekte hazırladıkları model deney düzeneğı üzerinde dokuma geotekstilden üretilen geocell ile takviye edilmiş ,% 72 rölatif yoğunluktaki 2,36 mm'den küçük tane boyutuna sahip kötü dereceli silis kumu üzerinde kumun basınç-oturma tepkisini incelemişlerdir. Çeşitli geometrik boyutlara (yükseklik, cep boyutu ve genişlik) sahip geoceller üzerinde bir dizi deney yapmışlardır, bunun sonucunda geocellin yüksekliğini arttırarak ve cep boyutunu azaltarak, kumlu zeminlerde geocell takviyesinin etkisinin önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir. Geocel tabakasının yerleştirme derinliğı tüm deneylerde sabit tutmuşlardır. Ayrıca, tek bir geocell takviyesinin, daha önce kullandıkları geocell yüksekliğinin 2 yarım yüksekliğinde geocell ve 4 çeyrek yüksekliğinde geocell tabakasıyla ile değıştirilmesinin, nihai taşıma kapasitesinde sırasıyla %10 ve %22 azalma ile sonuçlandığı sonucuna varılmışlardır.

Shadmand ve ark. (2018), granüler zeminlere yerleştirilen sığ temellerin taşıma kapasitesini ve yük-oturma davranışını araştırmak amacıyla güçlendirilmemiş ve geocell takviyeli zayıf derecelendirilmiş bir kum üzerinde büyük ölçekli yükleme deneyleri yapmışlardır. Deneylerde, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum numuneleri %35 ve %65'lik iki rölatif sıklık test edilerek temel genişliğı, zeminin rölatif yoğunluğu ve geocell yerleştirme derinliğinin etkileri araştırılmıştır. Test sonuçlarından ve önceki çalışmalardan yola çıkarak ölçek etkisinin tasarımda çok önemli olduğunu ve küçük ölçekli temel deney sonuçlarının tam ölçekli temellere genelleştirilmesinin uygun olmayacağını belirtmişlerdir. Düşük rölatif sıklığa sahip zeminler üzerinde model deneyler yapılarak tam ölçekli temellerin davranışının daha iyi tahmin edilebileceğini önermişlerdir.

Tekrarlı yüklerin, Geocell malzemesine etkisini araştırmak amacıyla; Indraratna ve ark. (2018); şerit yükleme, statik ve tekrarlı yükleme altında çok tabakalı geocell takviyeli

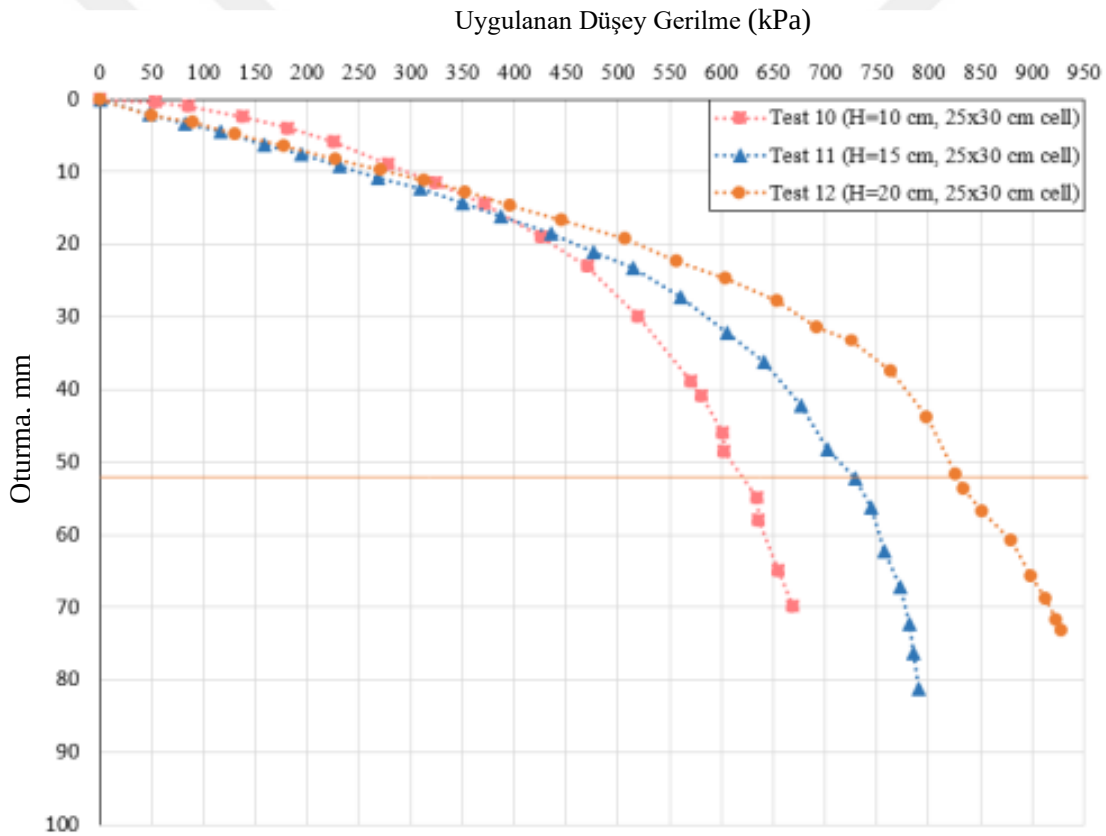
setlerin taşıma kapasitesini değerlendirmiştir ve geocell kullanımının zeminin taşıma kapasitesini olumlu etkilerini belirtmiştir. Siabil ve ark. (2019), esnek yol kaplamaları altında kullanılan temel ve taban zemini üzerinde büyük ölçekli tekrarlı yükleme deneyleri yapmışlardır. Geocell malzemesinin yanal sınırlama etkisiyle geocell malzemesinin olmadığı duruma göre tekerlik izi derinliğinde azalma görüldüğünü belirterek geocell malzemesinin kullanımı durumunda zemindeki iyileşmeyi rapor etmişlerdir.

Han ve ark. (2008), tek bir geocelli kumla doldurarak düşey bir yüke maruz bırakmış ve geocell takviyeli kumun dikey yük altında davranışı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Önceden belirlenen sabit deformasyonlara göre karşılaştırıldığında uygulanabilen yükün yaklaşık %65 arttığını ve mevcut testlerde, kumun taşıma gücünün 3,2 MPa'dan 6,0 MPa'ya yükseldiğini rapor etmişlerdir. Verilerine ve sayısal modele bakılarak geocellin nihai taşıma kapasitesini arttırdığını göstermiştir. Şekil 2.5'te gösterilen deney sonuçlarına göre donatısız kum için maksimum yer değiştirmenin, aynı yük altındaki donatılı kumun yaklaşık 2,5 katı olduğundan yola çıkarak yer değiştirmenin geocellin hapsedilmesinden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Araştırmacılara göre yük plakasının konumu, geocell hücre duvarlardaki maksimum sıkıştırma kuvvetinin dağılımını ve maksimum arayüz kayma gerilmelerini etkilemiştir.



Şekil 2.5. Geocellin yük-oturma davranışına etkisi (Han ve ark., 2008)

Şimşek (2017), geocell hücre yüksekliği, hücre genişliği ve yükleme yeri açısından değerlendirmek üzere laboratuvarında 13 model deney yürütülmüştür. 1 metre genişlik, 1 metre uzunlukta çelik tankta geocell ile güçlendirilmiştir kum üzerine statik yük uygulanmıştır. Yük geocell hücrenin merkezine ve geocell hücrenin polimer sınırlarının kesişimine uygulanmıştır. Sonuçlar yüke karşı oturma açısından sunulmuş ve geocell takviyesinin taşıma kapasitesi ve oturma performansı incelenmiş ve güçlendirilmemiş koşullarla karşılaştırılmıştır. Önceden belirlenmiş bir oturma değeri için, geocell kullanılması durumunda temelin taşıma kapasitesini %38 ila %73 oranında artırtmıştır. Ayrıca Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi geocell yüksekliğinin artması oturmaların azaltılmasında olumlu yönde etki yaptığını rapor etmiştir.



Şekil 2.6. Geocell yüksekliğinin yük-oturma davranışına etkisi (Şimşek, 2008)

Mehrjardi ve ark. (2019), daha büyük tane boyutuna sahip geri dolgu malzemelerinin geocell ve geri dolgu malzemesi arasındaki etkileşimi bozarak daha düşük taşıma kapasitesine neden olduğu sonucuna varmışlardır. Yükleme plakası boyutunun geocell ile güçlendirilmiş zeminlerde etkisini araştırmış ve taşıma kapasitesinin, artan yükleme plakası boyutuyla arttığını belirtmişlerdir.

2.2.Geocell Takviye Mekanizmalarının Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

İlk olarak; Mitchell ve ark. (1979), farklı yenilme modlarına dayanarak ızgara hücre sistemlerinin davranışını analiz etmek maksadıyla çalışmalar yapmışlardır. Cheung ve Chan (1990), farklı derinliklerdeki geocell için gerilmelerin değişimindeki niteliksel farklılığı; sıg ve derin kirişlerde eğilme gerilmelerinde gözlemlenen değişime benzetmektedir. Ayrıca, farklı açıklık-derinlik oranlarına sahip beton kirişler üzerindeki araştırmalardan, üstteki sıkıştırmanın uzunluk-derinlik oranındaki azalma ile azaldığını bildirmişlerdir. Huang ve Tatsuoka (1990); Kurian ve ark. (1997) göre düzlemsel takviyeli zemin güçlendirmesi durumunda bile, takviye katmanlarında temelin altında bir derinlikte basınç gerilmelerinin gelişmektedir.

Bathurst ve Karpurapu (1993), üç eksenli durumdaki geocell takviyeli zemin örneklerinin gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerine çeşitli araştırmalar yapılmışlardır. Geocell takviyeli numuneler üzerinde yapılan büyük ölçekli üç eksenli deneylerin sonuçları, kumun içsel sürtünme açısı sabit kalırken, kum nedeniyle görünür bir kohezyon oluştuğunda, geocell donatı kumun kesme mukavemetinin arttığını göstermiştir. Görünür kohezyonun, yenilme durumunda geocellin eksenel gerilmesine, geocell hücrelerinin çapına, geocell malzemesinin esneklik modülüne ve kumun iç sürtünmesi açısına bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. Rajagopal ve ark. (1999), üç eksenli deneyler ile geocell-kum sisteminin mukavemet ve rijitlik davranışını araştırmışlardır. Geocell takviyesinin kohezyonsuz zeminlerde bile belirgin kohezyon dayanımı sağladığını fakat sürtünme dayanımını etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Zhang ve ark. (2006), geocell ile takviye edilmiş kumlu zeminlerin kum-geocell malzemesi arasındaki etkileşimini belirlemek için yaptıkları deneylerde, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerindeki değişimleri incelemişler ve geocell ile güçlendirilmiş kumlu zeminlerde içsel sürtünme açısının ve görünür kohezyonun arttığını belirtmişlerdir.

Dash ve ark. (2001a), Latha ve Somwanshi (2009), Dash (2010) ve Pokharel ve ark. (2009), kumun rölatif sıklığındaki artışla, geocell-temel sisteminin performansının iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Geocell takviyeli sistemlerin gelişmiş performansına ulaşmak için zemin rölatif yoğunluğunun mümkün olduğunca yüksek tutulması tavsiye edilmiştir.

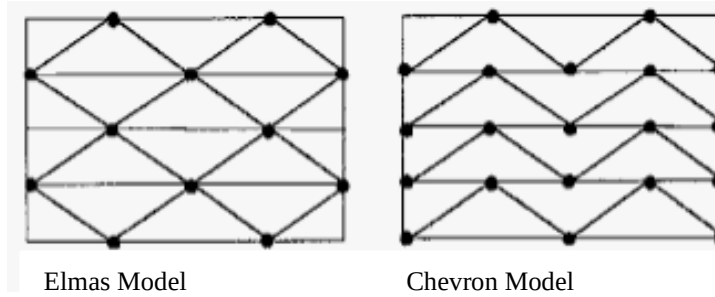
Giroud ve Han (2004), geocellin düzlem içi rijitliği, artan taşıma kapasitesi, gerilme dağılımı, taban zemin mukavemet özellikleri ve trafikle ilgili diğer faktörler için bir method geliştirmiştir.

Dash ve ark. (2007), şerit yüklemesi altında geocell takviyeli kum yataklarının davranışını incelemek için bir dizi laboratuvar modeli testi yapmıştır. Model temel deneyleri; kötü dereceli ve %70 rölatif sıkılığa (ID) sahip kum kullanılarak 1200 mm uzunluğunda, 332 mm genişliğinde ve 700 mm yüksekliğinde bir çelik tankta gerçekleştirilmiştir. Geocell şiltelerindeki yük dağılımının, geocell tabakasının geometrisi ve temelin altına yerleştirilmesi gibi faktörler tarafından yönetildiği bulunmuştur. Kaydedilen deformasyonlar, geocell güçlendirmesinin dolgu yüzeyinde temel rotasyonu ve kabarması pratik olarak ihmal edilebilir seviyelere indirebileceğini göstermiştir. Geocell hücre duvarındaki gerilimin merkezde en büyük ve temel genişliği dışında kalan kısımlarda çok daha küçük olduğundan yola çıkarak geocell tabakasının takviye edici etkinliğinin temelin altında maksimum olduğunu ve uç kısımların, zemin pasif direncinin ve geocell-zemin arayüzey sürtünme direncinin mobilizasyonu yoluyla zeminde ankraj elde ederek sadece ikincil bir şekilde katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Geocell duvarındaki gerinim varyasyonu modelleri, geocell yatağının taban yükü altında taban zemin destekli kompozit kiriş olarak davrandığını ve yatağın daha büyük derinliği (h) için derin kiriş etkisinin baskın hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, geocell takviyesinin temel zeminindeki potansiyel kırılma düzlemleriyle kesiştiğini ve temel basınçlarını daha derin bir derinliğe ilettiği sonucuna varmışlardır.

Wang ve ark. (2018), geocell ile güçlendirilmiş zeminlerin geoteknik parametrelerin üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneyler yapmıştır. Yapılan kapsamlı deney sonuçlarına göre içsel sürtünme açısında önemli bir değişiklik olmazken görünür kohezyon parametrelerinde yaklaşık olarak 2,24 kat artış olduğu görülmüştür. Pokharel ve ark. (2009), geocell takviyeli kumun davranışının, geocellin ilk şekline ve elastik modülüne bağlı olduğunu belirtmiştir. Latha ve Somwanshi (2009), farklı takviye formlarının performansını incelemiş ve geocell'in en avantajlı takviye olduğu sonucuna varmışlardır.

Pokharel ve ark. (2009); şekil, tip, temel derinliği, geocell yüksekliği ve dolgu malzemenin kalitesinin geocell takviyeli temel yatağı üzerindeki etkisini araştırmış ve dairesel şekilli geocell hücrenin eliptik şekilden daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır. Resim 2.7.'de

görüldüğü gibi geocell oluşumunun chevron modelinin, rijitlik kadar birim alan başına daha fazla eklemi olduğu için elmas modelinden daha faydalı olduğu bildirilmiştir. (Webster 1979; Dash ve ark. 2001a; Krishnaswamy ve ark. 2000; Pokharel ve ark. 2009).



Şekil 2.7. Geocell kaynak birleşim model yapıları (Pokharel ve ark., 2009)

Pokharel ve ark. (2009), bir yükleme plakası üzerinde statik ve tekrarlanan yükler altında tek bir geocell kullanarak güçlendirilmiş durumların davranışını araştırmıştır. Kötü derecelendirilmiş Kansas Nehri kumu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, tek bir geocell kullanılması durumunun, geocell takviyesiz duruma kıyasla rijitliği yaklaşık %50 ve maksimum yükü %100 artırabildiğini, ayrıca tekrarlanan yük deneylerinden, geocell takviyeli temelin, tekrarlanan yükün devir sayısı ile %95'e kadar elastik deformasyon artışı yüzdesine sahip olduğunu sonucuna varmışlardır. Han ve ark. (2008), temel tabakalarında geoceller kullanımının, taban zemin ve temel tabakası arasındaki düşey gerilmeleri ve taşıma kapasitesini arttırdığını rapor etmiştir.

Tanyu ve ark. (2013), dört farklı tür geocell ile büyük ölçekli laboratuvar deneyleri yapmıştır. Alt zemin reaksiyon modülü ve esneklik modülü incelenmiştir. İnşaat ekipmanları nedeniyle yükler ve araç geçişleri nedeniyle trafik yükü olmak üzere iki yükleme koşulu açısından deneyler yapılmıştır. Geocell kullanımının esneklik modülünü % 30-50 oranında artırdığını rapor etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmaya göre; geocell tekerlek izinin azalmasına katkıda bulunmuştur ve çakıl tabakasında geocell takviyesinin kullanılması ile zemin reaksiyonu modülü artmıştır.

Hegde ve Sitharam (2015); siltli kil, kum ve çakıl olmak üzere farklı zemin türleri üzerinde tek eksenli laboratuvar deneyleri gerçekleştirmiştir. Daha yüksek sürtünme açısına sahip dolgu zeminlerde, geocellerde deformasyon açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Mehrjardi ve ark. (2019); farklı tip geocell malzemeleri ile farklı tür zeminler üzerinde deneyler yaparak geocell malzemesinin, granüler zeminlerin ara-yüzey etkileşim özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 3, 6 ve 12 mm olmak üzere farklı ortalama tane çapı büyüklüklerine sahip kötü derecelenmiş zemin üzerinde farklı normal gerilmeler altında farklı sıkılıklarda (%50 ve %70), kayma düzlemlerindeki içsel sürtünme açısı ve kohezyon dayanımlarını araştırmışlardır. Orta boyutta (6 mm) tane çapında zeminin rölatif sıkılığının arttırılmasıyla geocell-zemin ara yüzeyindeki kayma dayanımının arttırıldığını rapor etmişlerdir.





3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Geocell donatı ile güçlendirilmiş kohezyonsuz zeminlerde, yük-oturma ilişkisini belirlemek için yürütülen ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri ve deneysel çalışmanın yöntemi bu başlık altında incelenmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan Zeminin Özellikleri

Kum veya çakıl zeminlerde yapılan deneylerde, öncelikle zemin numunelerinin elek analizi, özgül ağırlık, maksimum ve minimum boşluk oranları ile mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

ASTM C702 / C702M-11 standartlarına göre belirlenen gerekli numune miktarlarıyla, ASTM D6913 / 6913M-17 standartlarına uygun olarak aynı tür zeminde üçer numune alınarak elek analizi deneyleri yapılmıştır. Kum numunenin tane boyutu dağılım eğrisi Şekil 3.1' de verilmiştir.

Tane boyutu dağılım eğrilerinin biçimini tanımlayabilmek için bazı katsayılar; C_u (üniformluk katsayısı) ve C_c (derecelenme katsayısı) tariflenmiştir. Üniformluk katsayısı zemin tanelerinin dağılım aralığının bir göstergesi iken derecelendirme katsayısı dağılım eğrisini karakterize eder. C_u katsayısı eşitlik 3.1'den ve C_c sayısı eşitlik 3.2'den hesaplanır.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (3.2)$$

D_{10} = Zeminin %10'unun Geçtiği Tane Çapı, mm

D_{30} = Zeminin %30'unun Geçtiği Tane Çapı, mm

D_{60} = Zeminin %60'nın Geçtiği Tane Çapı, mm

Kum numunesi için;

$D_{10} = 0,15$ mm

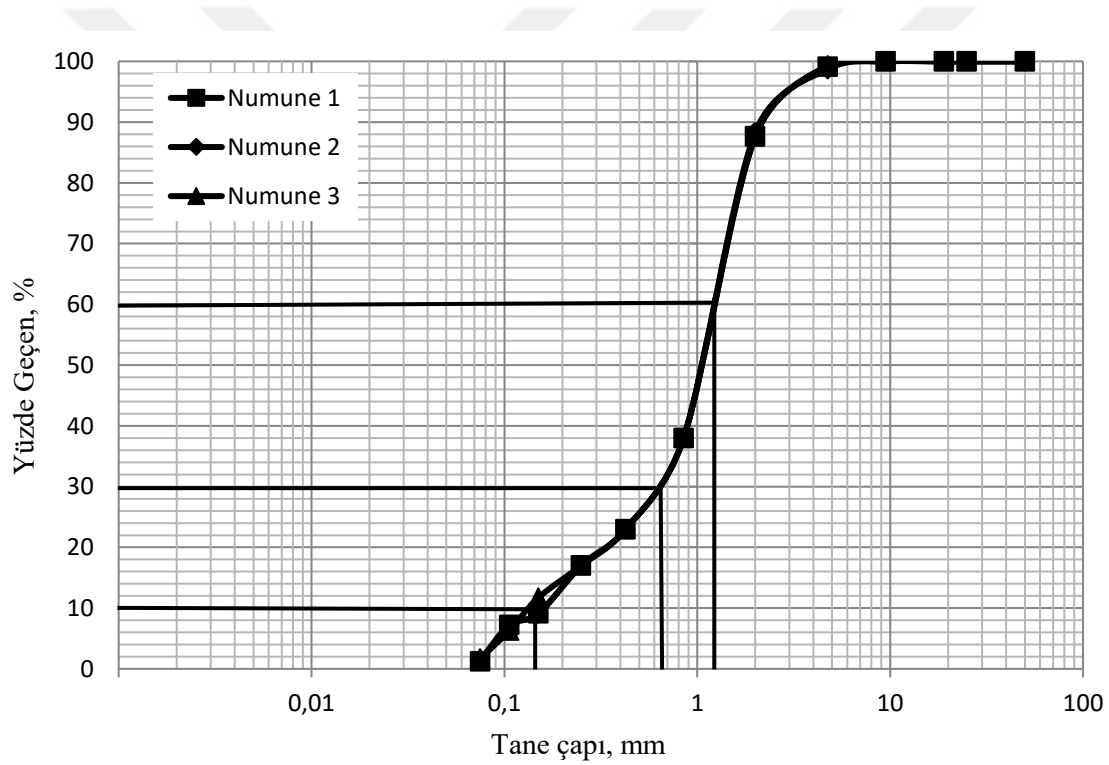
$D_{30} = 0,65$ mm

$$D_{60} = 1,2 \text{ mm}$$

$$C_u = \frac{1,2}{0,15} = 8$$

$$C_c = \frac{0,65^2}{0,15 \cdot 1,2} = 2,35$$

C_u (üniformalık katsayısı) > 6 ve $1 < C_c$ (eğrilik katsayısı) < 3 olduğundan deneylerde kullandığımız kum numunemiz, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre iyi derecelendirilmiş kum (SW) olarak adlandırılır. Kum numunenin tane dağılım eğrisi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. İyi derecelendirilmiş kum (SW) numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi

Çakıl numunesi için;

$$D_{10} = 2,4 \text{ mm}$$

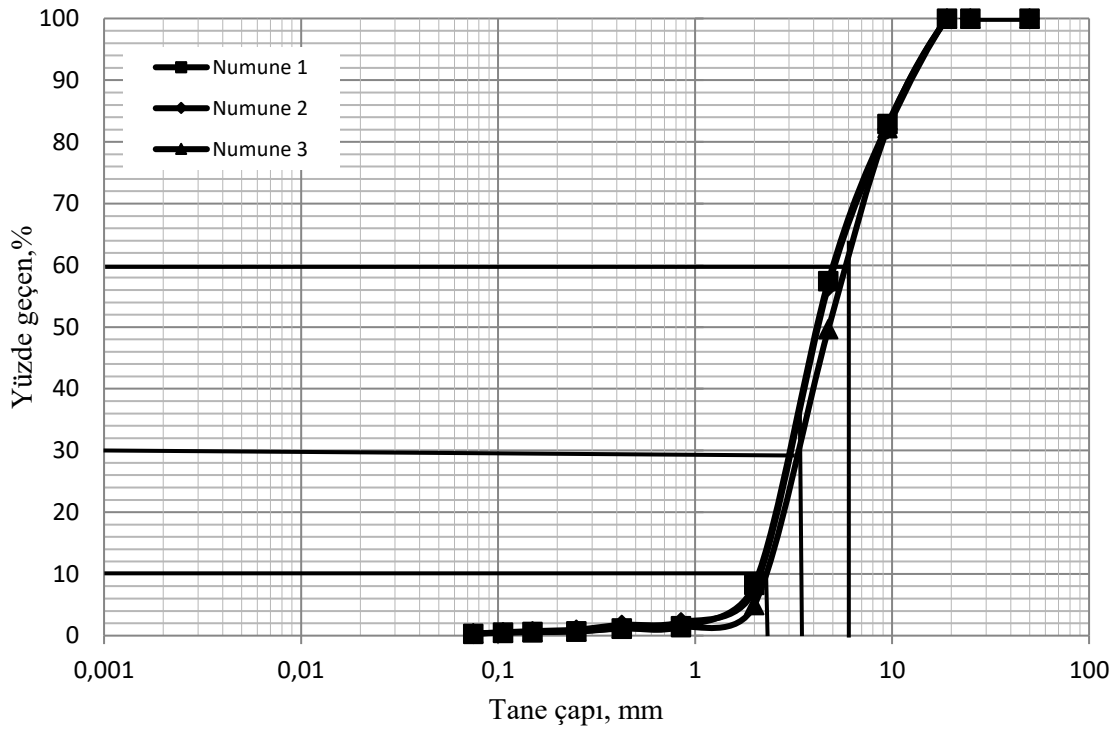
$$D_{30} = 3,5 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 6 \text{ mm}$$

$$C_u = \frac{6}{2,4} = 2,5$$

$$C_c = \frac{3,5^2}{2,4.6} = 0,85$$

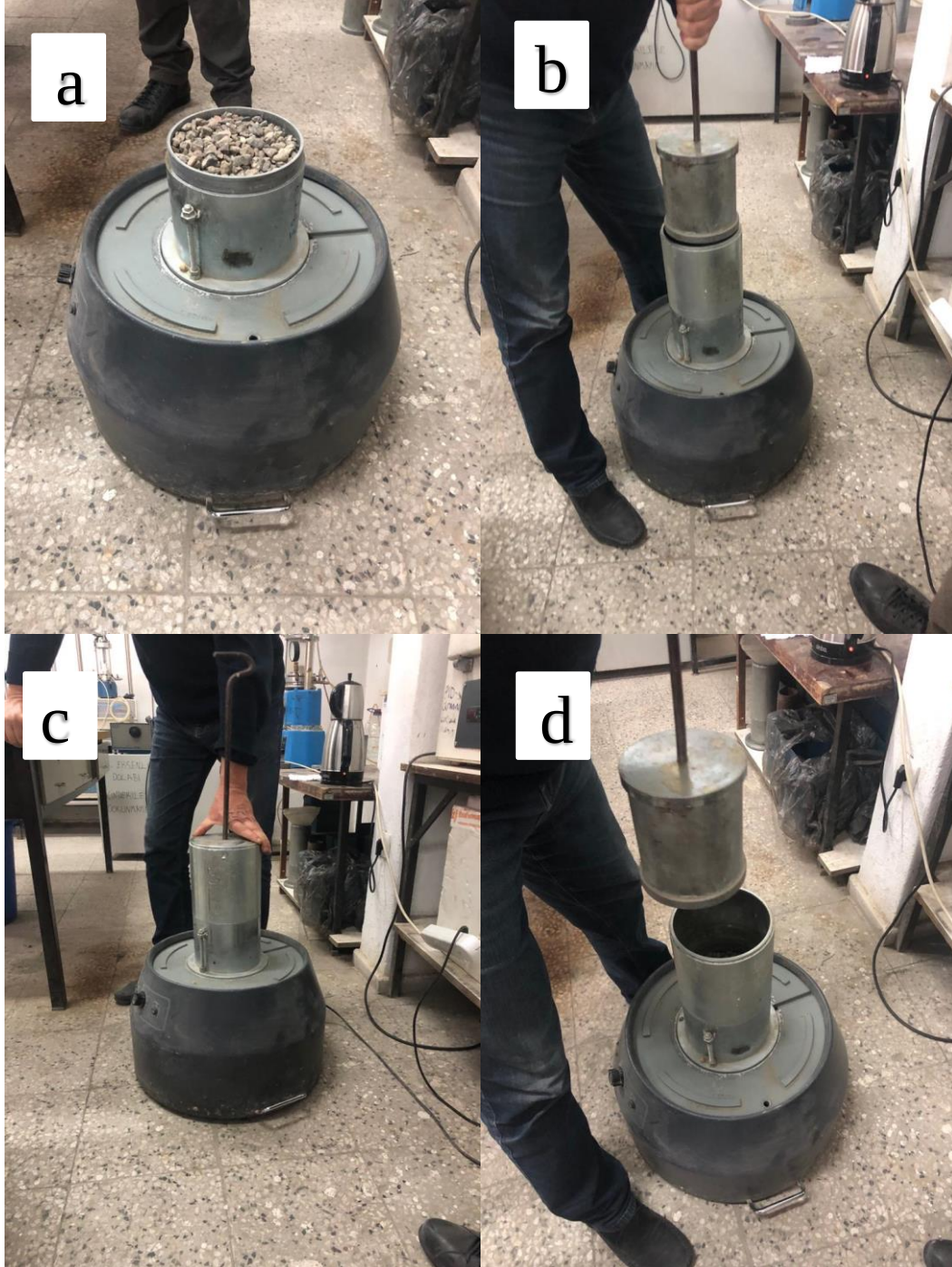
C_u (üniformluk katsayısı) < 4 ve $1 > C_c$ (eğrilik katsayısı) olduğundan deneylerde kullandığımız kum numunemiz, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelendirilmiş çakıl (GP) olarak adlandırılır. Çakıl numunenin tane dağılım eğrisi Şekil 3.2' de verilmiştir.



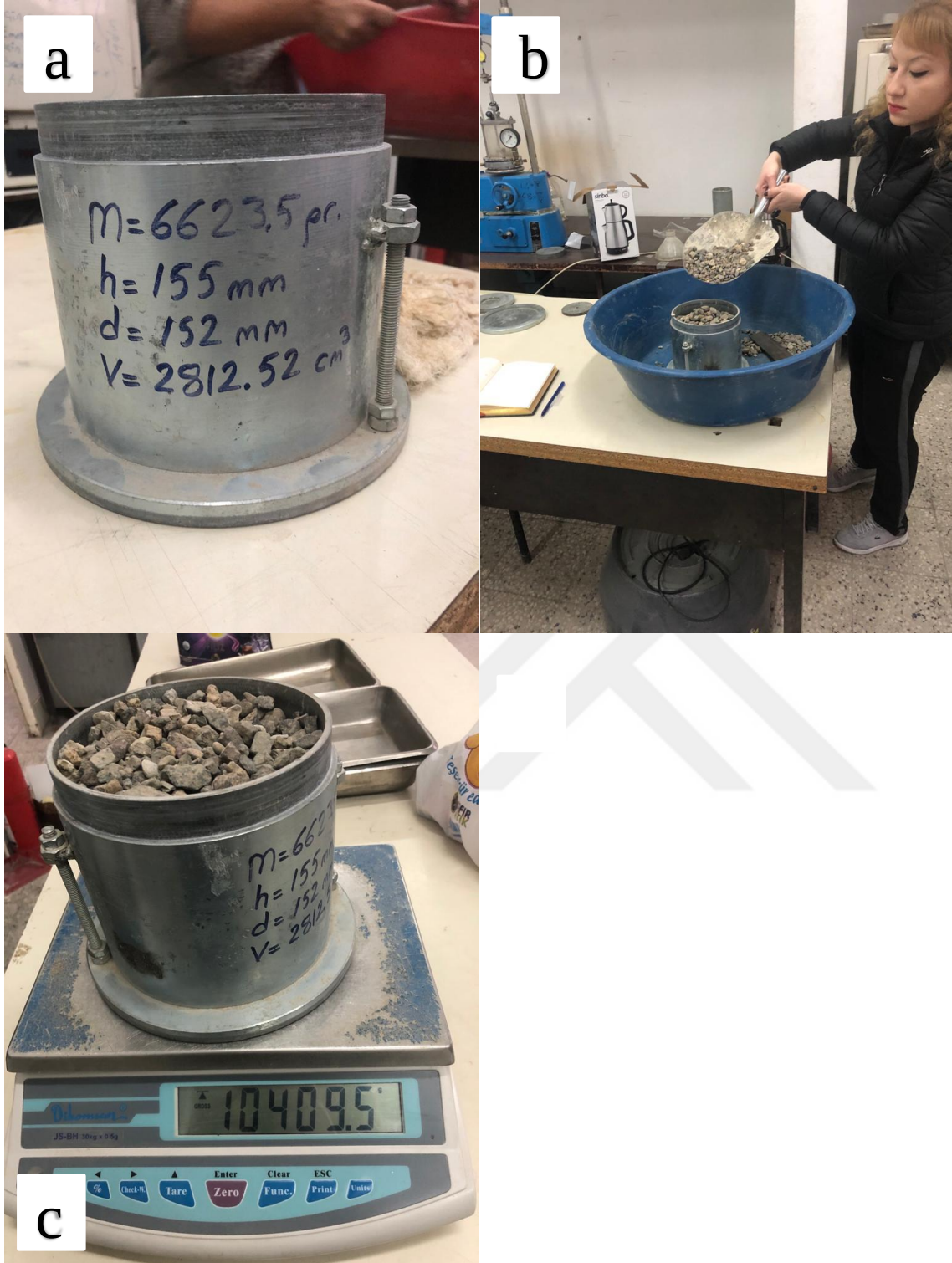
Şekil 3.2. Kötü derecelendirilmiş çakıl (GP) numunesinin tane boyutu dağılım eğrisi

Kum ve çakıl numunesinin özgül ağırlığının belirlenmesi için laboratuvarında üçer adet piknometre deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre kum malzemesinin özgül ağırlığı (G_s) (ASTM D854-14) ortalama olarak 2,70 belirlenmiştir. Çakıl numunesinin özgül ağırlığı, (G_s) (ASTM D854-14) ortalama olarak 2,74 belirlenmiştir. Özgül ağırlığı belirlenen kum ve çakıl numunelerinin en gevşek ve en sıkı durumunu ifade eden maksimum ve minimum boşluk oranları standartlara (ASTM D4253-16 ve ASTM D4254-16) uygun olarak hesaplanmıştır. Kum numunesinin maksimum (e_{max}) ve minimum (e_{min}) boşluk oranları sırasıyla 0,785 ve 0,416 olarak elde edilmiştir.

Deneyde kullanılan çakılın maksimum boşluk oranı (e_{max}) 1,049 ve minimum boşluk oranı (e_{min}) 0,760 olarak hesaplanmıştır. Çakıl numunesinin, Resim 3.1 'de maksimum yoğunluk ve Resim 3.2'de minimum yoğunluk deneylerinin yapılmasından görünüşler verilmiştir.



Resim 3.1. Çakıl numunesine ait maksimum yoğunluk belirleme deneyinin yapılması aşamaları: a) zemin örneğinin kalıba serbest bir şekilde yerleştirilmesi, b) 1 cm kalınlığındaki plaka ve 15 kg sürşarj yükü yerleştirilmesi, c) sarsma tablasında 4 dk titreşim etkisine tutulması, d) sarsma işleminden sonra sıkışma miktarı kumpas yardımı ile belirlenmiş ve sıkışan hacim hesaplanması



Resim 3.2. Çakıl numunesine ait minimum yoğunluk belirleme deneyinin yapılması aşamaları: a) hacmi bilinen bir kabın kullanılması, b) hacmi bilinen bir kalıba zemin örneği serbest bir şekilde yerleştirilmesi, c) kalıbın üst kısmının tıraşlanarak kalıptaki örnek kütlesinin ölçülmesi

3.2. Çalışmada Kullanılan Hücresel Dolguların (Geocell) Özellikleri

Bu çalışmada hücre yükseklikleri 100 mm olan değişik hücre boyutlarında ve kalınlıklarda 4 farklı HDPE ‘den (yüksek yoğunluklu polietilen) yapılmış hücresel dolgu malzemesi kullanılmıştır (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan geocelllerin boyutsal özellikleri

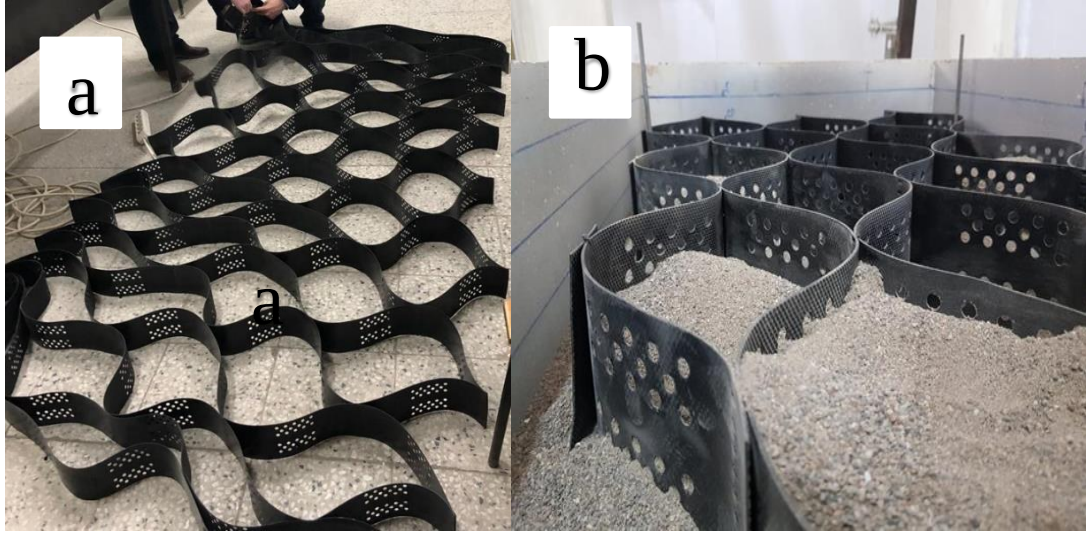
Hücresel Dolgu Adı	Yüksekliği (mm)	Açıklığı (mm)	Kalınlığı (mm)
Geocell-33-1,5	100	210 x 250	1,5
Geocell-40-1,5	100	250 x 300	1,5
Geocell-60-1,0	100	350 x 400	1,0
Geocell-60-2,0	100	350 x 400	2,0

Kullanılan geocell malzemesinin polimer yoğunluğu 0,935-0,965 g/cm³ değerleri arasındadır. Hücresel dolgu malzemelerinin, diğer mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Geocell-33-1,5 malzemesi; 330 mm, malzemenin dikiş arası açıklığını ve 1,5 hücre et kalınlığını temsil eden gösterimdir. Geocell-40-1,5 malzemesi; 400 mm, malzemenin dikiş arası açıklığını ve 1,5 hücre et kalınlığını temsil eden gösterimdir. Geocell-60-1,0 malzemesi; 600 mm, malzemenin dikiş arası açıklığını ve 1,0 hücre et kalınlığını temsil eden gösterimdir. Geocell-60-2,0 malzemesi; 600 mm, malzemenin dikiş arası açıklığını ve 2,0 hücre et kalınlığını temsil eden gösterimdir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan geocelllerin mekanik özellikleri (Geoplas, www.geoplas.com.tr, Ekim 2019)

Özellik	Değer			Test Method
Kalınlık (mm)	1,0	1,5	2,0	EN ISO 9863-1
Çekme Dayanımı Delikli (kN/m)	5,0	10,0	12,0	EN ISO 10319
İç Yapısal Bağlantılarda Gerilme (kN/m)	5,0	10,0	12,0	EN ISO 13426-1 (method B)

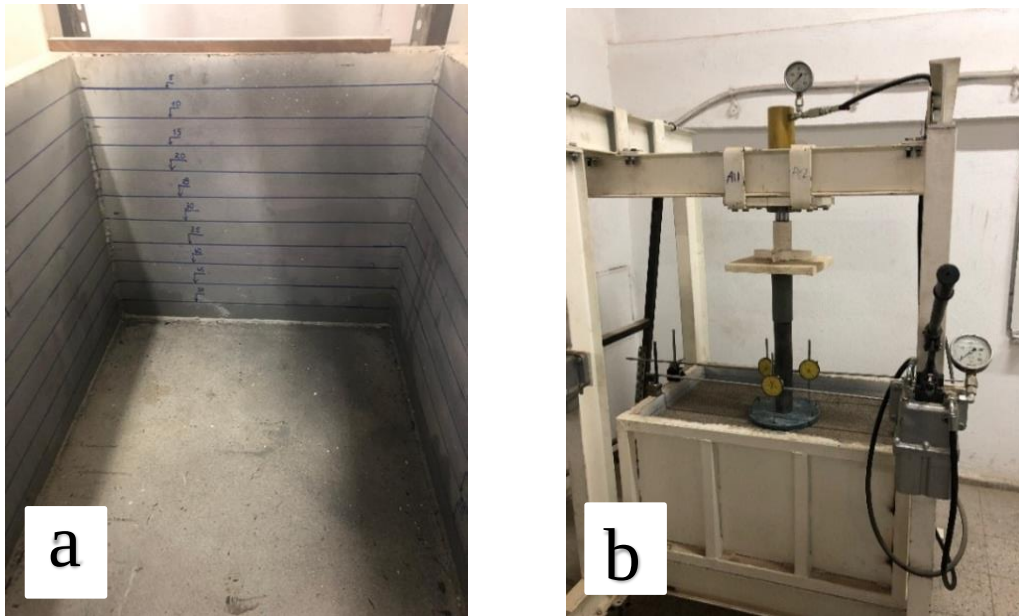
HDPE ‘den (yüksek yoğunluklu polietilen) yapılmış olan geocell malzemesi bu tez çalışmasında kullanılabilmesi için kullanılacak nominal tank boyutlarında (600 x 1000 mm) kesilmiştir. (Resim 3.3.)



Resim 3.3. Geocell numunesinin görünüşü: a) Geocell-60-1,0, b) Geocell-33-1,5

3.3. Çalışmada Kullanılan Deney Düzenegi

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda; 60 cm genişlik, 100 cm uzunluk ve 54,5 cm derinliğinde çelik profillerle güçlendirilmiş çelik deney tankı kullanılmıştır (Şekil 3.4.). Öncelikli olarak çelik tank içerisinde kum numune üzerinde donatılı ve donatısız yük-oturma deneyleri yürütülmüştür. Çelik tank tamamen temizlendikten sonra sadece çakıl numune içeren donatılı ve donatısız yük-oturma deneyleri yapılmıştır.



Resim 3.4. Model deney tankı detayları: a) deney tankının tabaka sınırları, b) deney tankının dış görünüşü ve yükleme mekanizması

Model temel üzerine dikey yükler uygulamak için elle çalıştırılan hidrolik krik o ile yük oturma deneylerinde 40 ton kapasiteli piston kullanılmıştır.

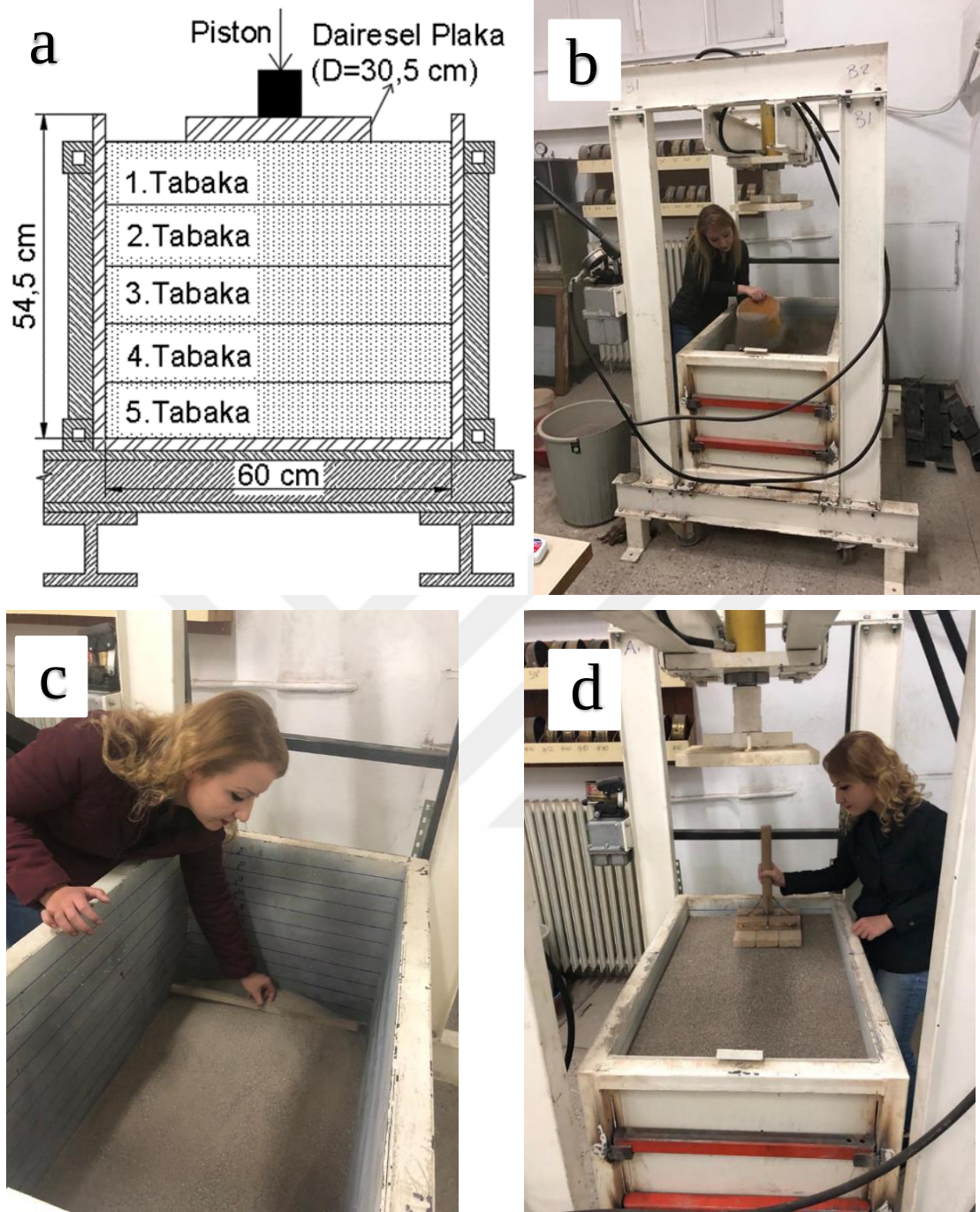
3.4. Deney sel Çalışma Yöntemi

Kum ve çakıl numuneleri deneyler için hazırlanırken öncelikle elenmiş ve ince malzemelerin deney sonuçlarına etkisini azaltmak amacıyla yıkanıp kurutulduktan sonra laboratuvar ortamında istenilen tane boyutlarına ayırıştırılmıştır (Resim 3.5.).



Resim 3.5. Çakıl numune hazırlama detaylarından bir görünüş: a) çakılın elenmesi, b) çakılın yıkanması

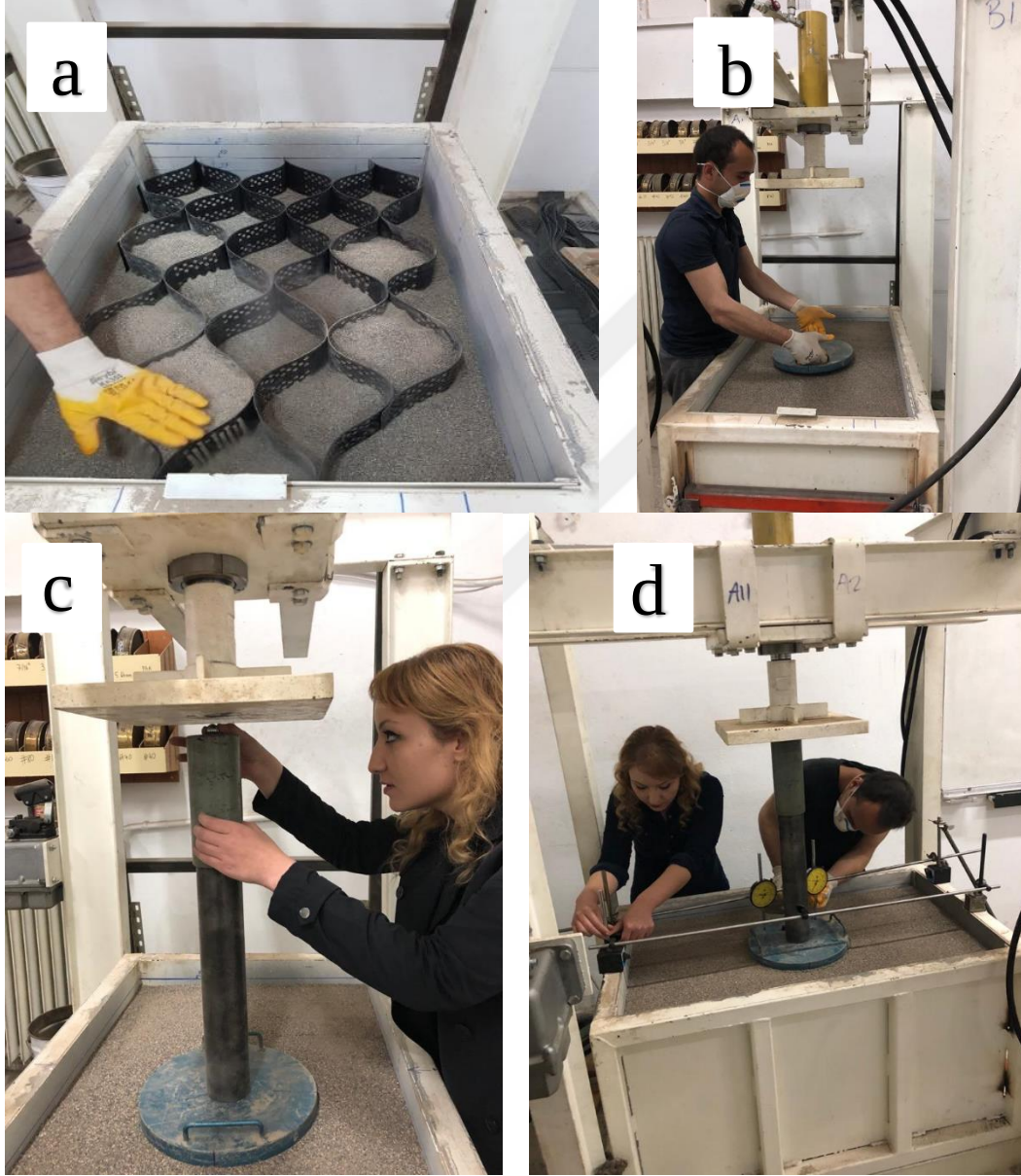
Kum veya çakıl numuneleri, model tank içerisine 100 mm kalınlığında 5 tabaka olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.6.a). Numunelerin tabakalara yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri el ile yapılmıştır (Resim 3.6.b-c-d.). Kum deneylerinde tabakaların rölatif sıklıkları ahşap tokmakla ayarlanmıştır. Hedef rölatif sıklığa göre son tabakanın sıkıştırma işleminden sonra zemin yüzeyi düzeltilmiş ve su terazisi ile kontrol edilerek düz bir yüzey elde edilmeye çalışılmıştır. Literatürdeki olumlu sonuç veren çalışmalara uygun olarak tüm plaka boyunca düzgün bir kuvvet iletimi için; yükleme plakası ile geocell malzemesinin doğrudan temasını engellemek amacıyla, donatılı numunelerde tabakaya yerleştirilen geocell malzemesinin üst yüzeyine yaklaşık 2 cm kalınlığında numune tabakası serilmiştir.



Resim 3.6. Zemin numunesi yerleştirme detayları: a) numunenin tabakalar detayları, b) numunenin tabakalar halinde serilmesi, c) numune tabakalarının düzeltilmesi, d) numune tabakalarının el ile tokmaklanması

Çalışmanın ilk aşamasında; geocell ile güçlendirilmemiş rölatif sıklığı %35 civarında olan kum ve rölatif sıklığı %75 civarında olan kum zemin numuneleri üzerinde üniform dikey yük uygulanarak yük-oturma ilişkileri araştırılmıştır. Kum numunesi deneylerinin sonraki bölümlerinde geocell malzemesi kullanılarak güçlendirilmiş deneylerde; farklı tabakaya yerleştirilmiş aynı tip geocellerin yük-oturma ilişkilerini yorumlayabilmek için 12 adet

deney yürütülmüştür. Ayrıca artan oturmalar altında yük azalması durumuna karşı yükleme hızı-oturma ilişkisini yorumlayabilmek için yavaş uygulanan yüklemeyle (30 dakika aralıklarla) 2 adet deney yürütülmüştür. Kum numunelere ait geocell ile güçlendirilerek yapılan deneylerin kurulum aşamaları Resim 3.7’de gösterilmiştir.



Resim 3.7. Kum numunesinin deney düzeneğinin kurulması aşamaları a) geocell donatı yerleştirme, b) yükleme plakası yerleştirme, c) yükleme pistonunun yükleme plakasına ortalanması, d) deformasyon ölçer saatlerin yerleştirilmesi

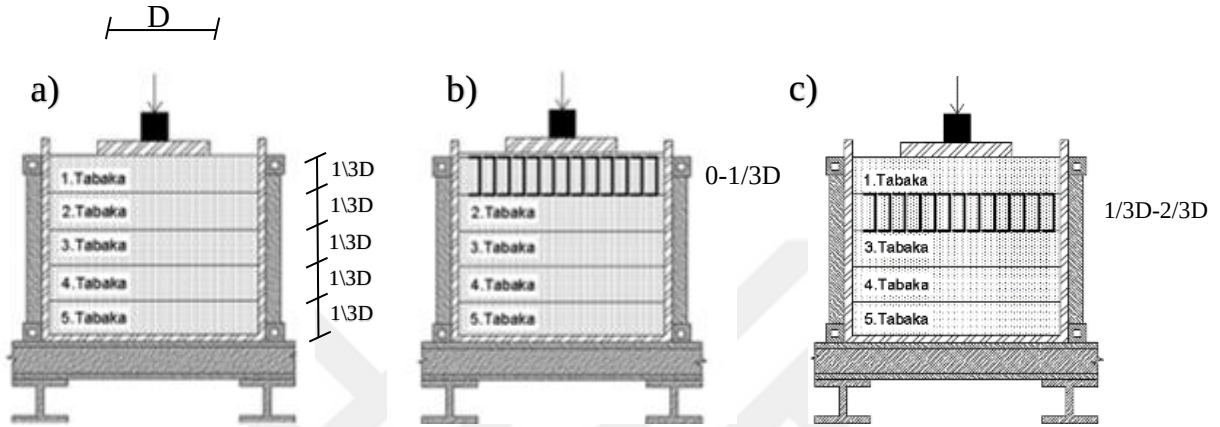
Model temel üzerine dikey yükler uygulamak için elle çalıştırılan hidrolik kriko ile yük-oturma deneylerinde 40 ton kapasiteli piston kullanarak nominal çapı 305 mm olan çelik bir plakaya yük kademeli olarak 50 kPa aralıklarla arttırılmıştır (yaklaşık 1200 kPa düzeyine

kadar). Hızlı deneylerde (12 adet yürütülmüştür) her yük kademesinde yaklaşık 5 dakika yük sabit tutulduktan (manuel olarak) sonra oturma değerleri dairesel plaka üzerine eşkenar üçgen geometrisinde yerleştirilmiş 3 adet deformasyon saati üzerinden belirlenmiştir. Saatlerden okunan deformasyon değerlerinin ortalaması alınarak yük-oturma eğrileri belirlenmiştir. Yavaş deneylerde (2 adet yürütülmüştür) her yük kademesinde yaklaşık 30 dakika beklendikten sonra plakanın oturması elde edilmiştir. Deneyler sırasında zemin yatağında yenilme olana veya krikonun maksimum kapasitesine ulaşana kadar yükleme devam etmiştir. Her tabakaya konulan kuru kum kütleleri referans alınarak, 12 adet donatılı ve 2 adet donatısız deneyde kum tabakalarının sıkıştırma yöntemine bağlı olarak maksimum seviyede sıkıştırılması hedeflenmiştir. Sadece 1 donatısız deneyde yük-oturma ilişkisine rölatif sıklığın etkisini gözlemlemek amacıyla gevşek olarak tanımlanabilecek rölatif sıklıkta (yaklaşık %35) kullanılmıştır. Çizelge 3.3'te kum numunesine ait laboratuvar ortamında yapılan deneylerin açıklamaları verilmiştir. Ayrıca rölatif sıklığın hesaplanmasına dair kütleli ölçümler Ek-1'de listelenmiştir.

Çizelge 3.3. Kum kullanılarak yürütülen yük-oturma model deneyleri

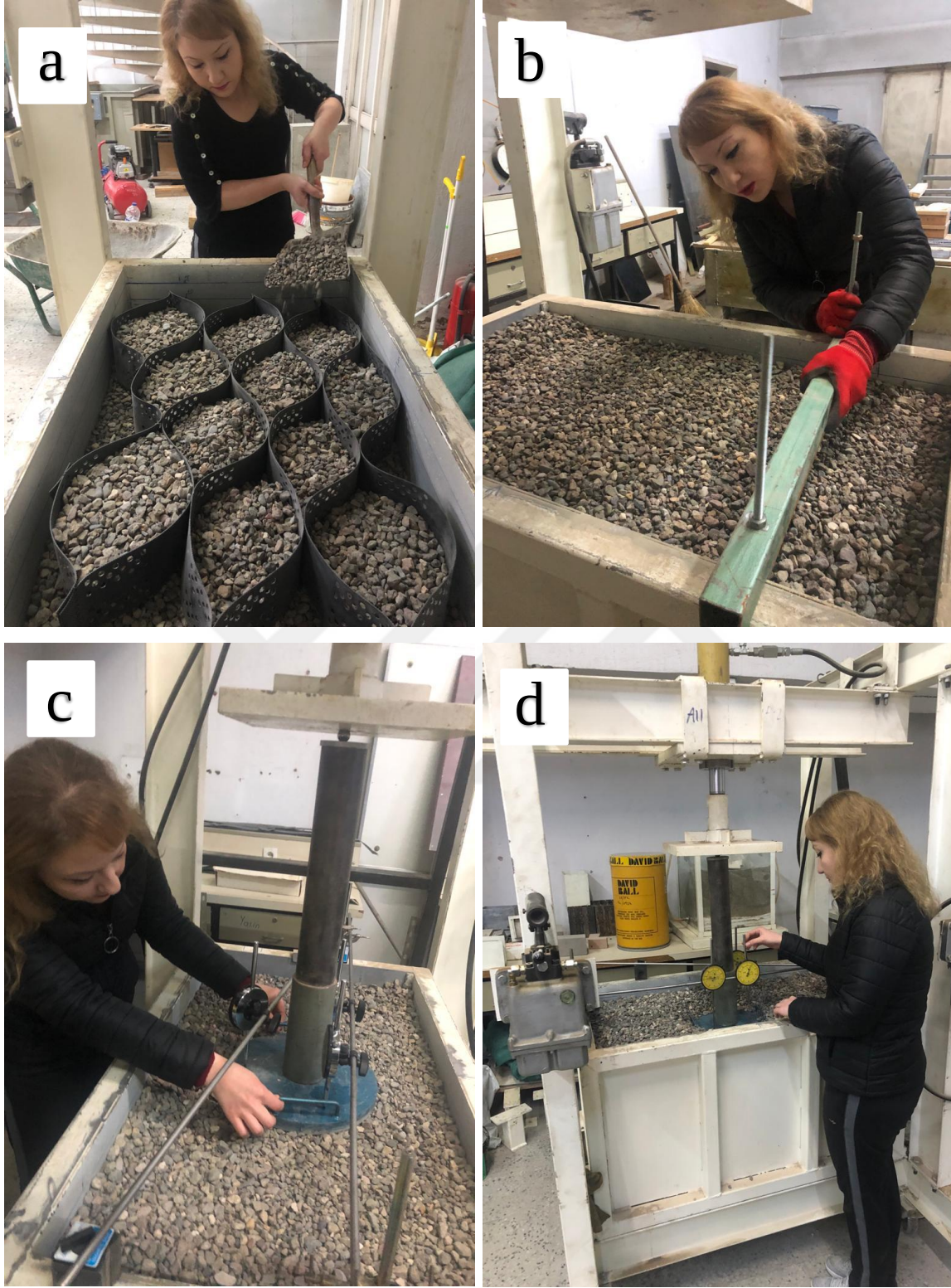
Deney no	Geocell Tipi	Geocellin Yerleştirildiği Tabaka	Rölatif Sıklık (%)
1	Geocellsiz	-	34
2	Geocellsiz	-	74
3	Geocell-60-1,0	1	37
4	Geocell-60-1,0	2	73
5	Geocell-60-1,0	1	71
6	Geocell-60-1,0	2	76
7	Geocell-60-2,0	1	77
8	Geocell-60-2,0	2	73
9	Geocell-40-1,5	1	72
10	Geocell-40-1,5	2	73
11	Geocell-33-1,5	1	76
12	Geocell-33-1,5	2	74
13	Geocell-60-2,0	2	77
14	Geocell-40-1,5	2	74

Deneyleerde kullanılan donatı malzemesinin yerleştirildiği tabaka detayları Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. D; model temelin taban çapı genişliği olarak referans alındığında; 1. tabaka olarak adlandırılan yerleştirme; $0-1/3D$ aralığı ve 2. tabaka yerleştirme olarak adlandırılan yerleştirme; $1/3D-2/3D$ aralığıdır.



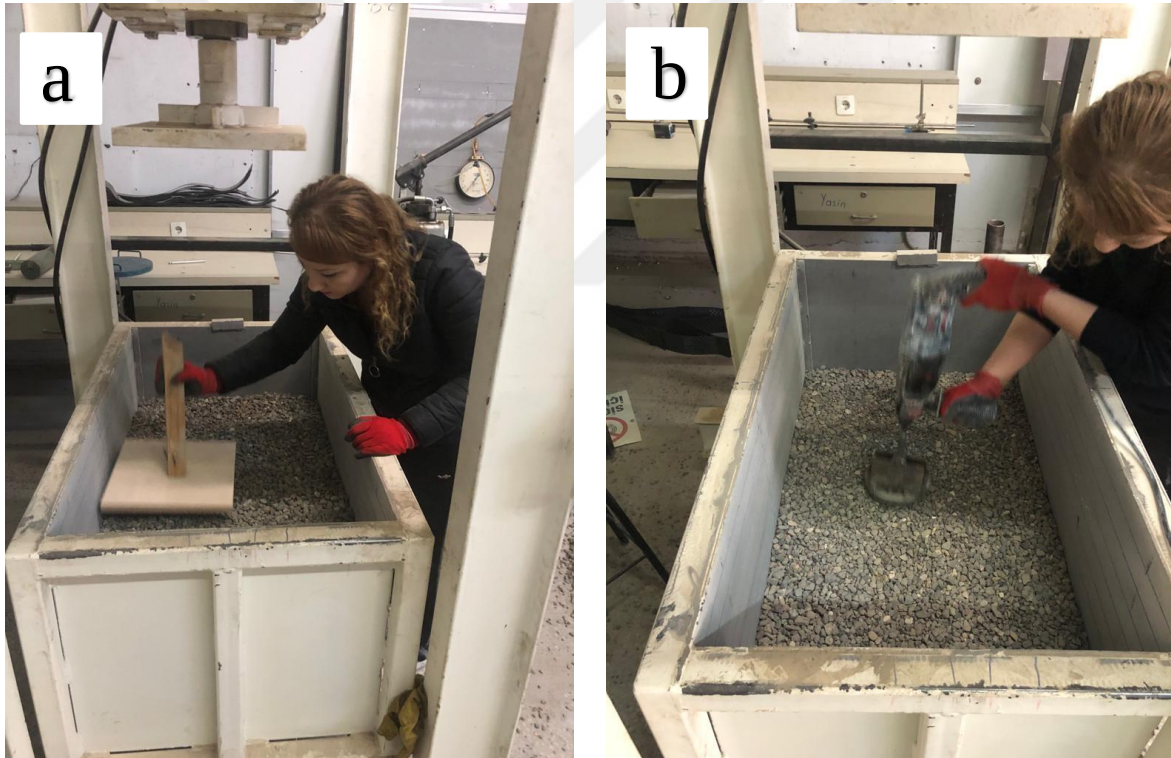
Şekil 3.3. Geocell malzemesinin deney tankında tabakaları: a) tabaka ölçü detayları, b) donatının 1. tabakaya yerleştirilmesi, c) donatının 2. tabakaya yerleştirilmesi

Çalışmanın ikinci aşamasında deney düzeneğinin kurulum aşamaları Resim 3.8.'de gösterilen çakıl numune deneyleri yapılmıştır. Geocell ile güçlendirilmemiş rölatif sıkılığı %21 olan çakıl ve tahta tokmakla sıkıştırılmış rölatif sıkılığı %44 olan çakıl zemin numuneleri üzerinde üniform yük uygulanarak yük-oturma ilişkileri belirlenmiştir. Çakıl numune deneylerinin sonraki bölümünde geocell malzemesi kullanılarak desteklenmiş tabaka deney serileri; aynı tabakaya yerleştirilmiş farklı tip geocellerin yük-deplasman ilişkisi, farklı tabakalara yerleştirilmiş aynı tip geocellerin yük-deplasman ilişkileri şeklinde olup, desteklenmiş tabakalarda 6 deney yürütülmüştür.



Resim 3.8. akıl numunesinin deney düzeneğinin kurulması aşamaları: a) geocell donatı yerleştirme, b) yükleme yapılacak zemin yüzeyinin düzeltilmesi, c) yükleme pistonunun yükleme plakasına ortalanması, d) deformasyon ölçer saatlerin yerleştirilmesi

Çakıl deneylerinde tahta tokmakla manuel sıkıştırmaya (Resim 3.9.a.) ek olarak rölatif sıkılığın iri taneli zeminlerde oturma davranışı üzerindeki etkisinin ayrıntılı araştırılması amacıyla, darbeli matkap kullanılarak (Resim 3.9.b.) ek bir sıkıştırma işlemi uygulanmış ve sonuçlara etkisi yorumlanmıştır. Rölatif sıkılığın daha da arttırılması durumunda; geocell malzemesinin çakıl zemin numunesini katkısını değerlendirmek amacıyla, aynı tip geocell malzemesinin 1. ve 2. Tabakaya yerleştirilerek darbeli matkapla sıkıştırılması kapsamında 2 adet deney yürütülmüştür. Her tabakaya konulan kuru çakıl kütleleri referans alınarak, donatılı (6 adet) ve donatısız (2 adet) deneylerde çakıl tabakalarının sıkıştırma yöntemine bağlı olarak maksimum seviyede sıkıştırılması hedeflenmiştir. Sadece 1 donatısız deneyde yük-oturma ilişkisine rölatif sıkılığın etkisini gözlemlemek amacıyla gevşek olarak tanımlanabilecek rölatif sıklıkta (yaklaşık %21) kullanılmıştır.



Resim 3.9. Çakıl numunesi rölatif sıklık ayarlama yöntemleri: a) tahta tokmakla sıkıştırma, b) matkapla sıkıştırma

Geocellerin tabakalara yerleştirilmesi, geocell açıklığı ve tank geometrisine bağlı olarak optimum tabakalamayı sağlayacak şekilde kesilip dolgu malzemesinin yerleştirilip sıkıştırılmasıyla yapılmıştır. Çakıl numuneleri üzerinde yürütülen toplamda 8 adet deney, Çizelge 3.4'te ayrıntılı olarak listelenmiştir.

Çizelge 3.4. Çakıl kullanılarak yürütülen yük-oturma model deneyleri

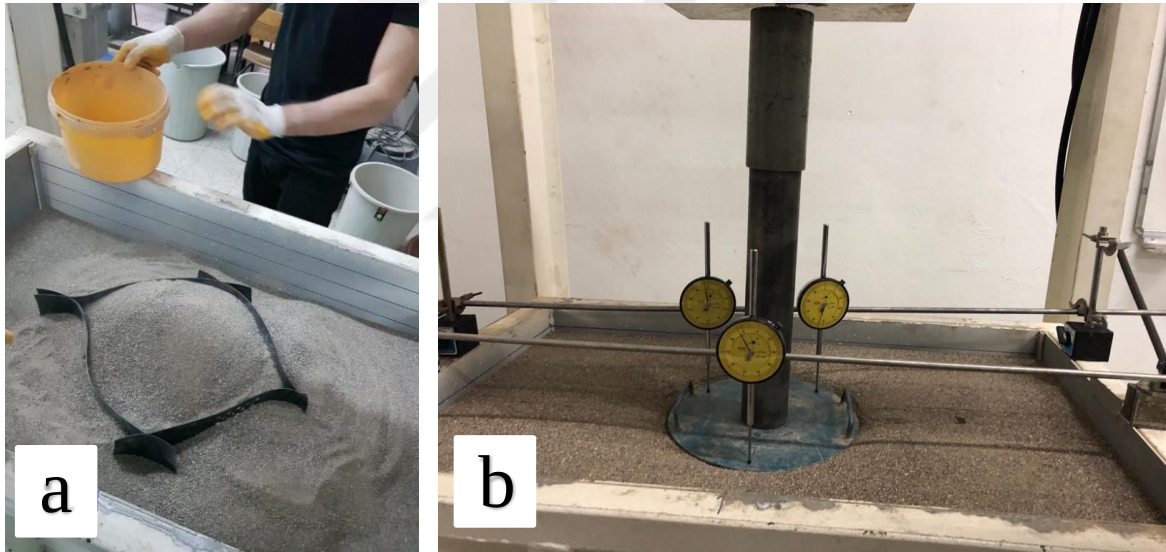
Deney no	Geocell Tipi	Geocellin Yerleştirildiği Tabaka	Rölatif Sıkılık (%)
15	Geocellsiz	-	21
16	Geocellsiz	-	44
17	Geocell 33-1,5	1	44
18	Geocell 60-2,0	1	42
19	Geocell 33-1,5	2	46
20	Geocell 60-2,0	2	45
21	Geocell 33-1,5	1	66
22	Geocell 33-1,5	2	66



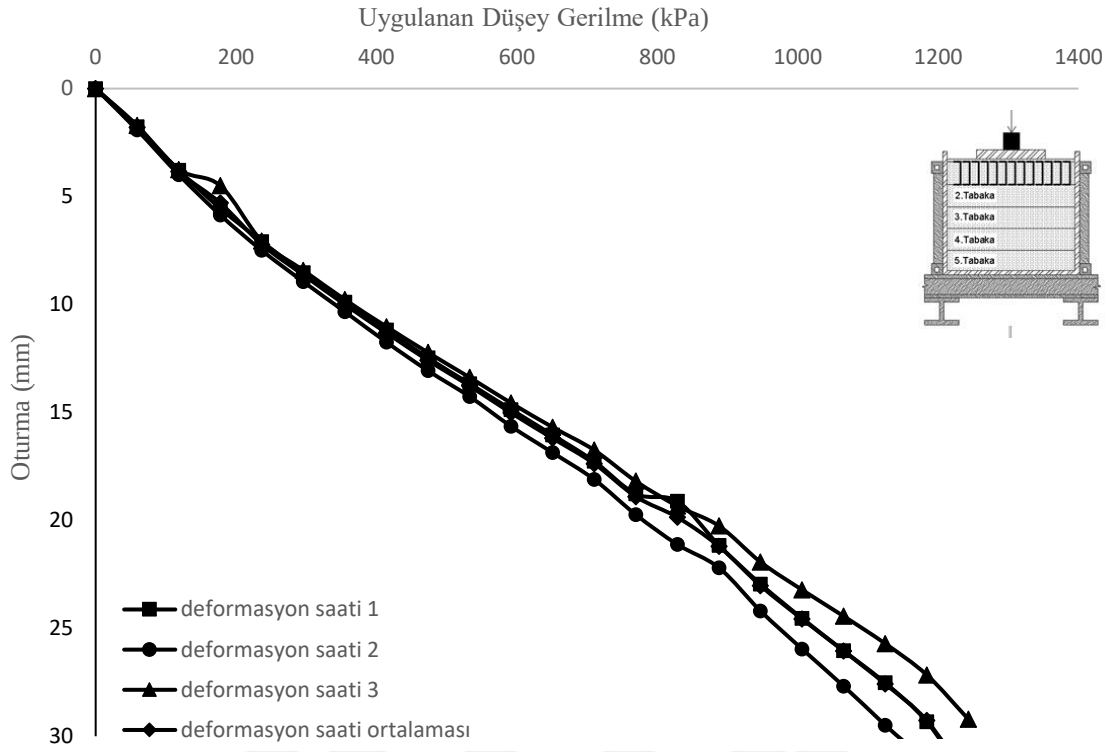
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Geocell donatı malzemesi kullanarak veya zeminin rölatif sıkılığını arttırarak yürütülen deneylerin bulguları ve tartışmaları bu bölümde yer almaktadır. 12 adet geocell ile güçlendirilmiş kum numune deneyi, 6 adet geocell ile güçlendirilmiş çakıl numune deneyi, geocellsiz 2 adet kum numune ve geocellsiz 2 adet çakıl numune deneyi olmak üzere toplam 22 adet gerçekleştirilen deneylerin grafikleri verilerek açıklamaları yapılmıştır.

İlk olarak Resim 4.1.'de gösterildiği gibi deney kutusu boyutlarında kesilen deney sonuçlarının geocell- kum deneyinin sonuçları şekil 4.1.'de verilmiştir. Kum zemin numunesi üzerinde yapılan yükleme deneyi sonucunda, 1200 kPa yük civarı altında yenilme gözlemlendiğinden deneye son verilmiştir (Deney 4, $R_d = \%73$).



Resim 4.1. Geocell-60-1,0 tek hücreli geocell malzemesi deneyi: a) numunenin yerleştirilmesi, b) yükleme sonrası görünüşleri



Şekil 4.1. RD=%73 Geocell-60-1,0 tek hücreli 2. tabaka kum deneyi uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

Kum numunesi deneylerinde; Geocell-60-1,0, deney kutusu boyutlarında kesilen sıkıştırılmayan deney (Deney 3, $R_d = \%37$) ve Geocell-60-1,0 tek hücre (Deney 4, $R_d = \%73$ ve Şekil 4.1.-Resim 4.1.) ile yapılan deney sonucunda, geocell etkisinin temel taşıma gücünde ve oturmalarda belirgin bir etki yapmadığı görülmüş ve bu sebeple yorumlama kısmına dahil edilmemiştir.

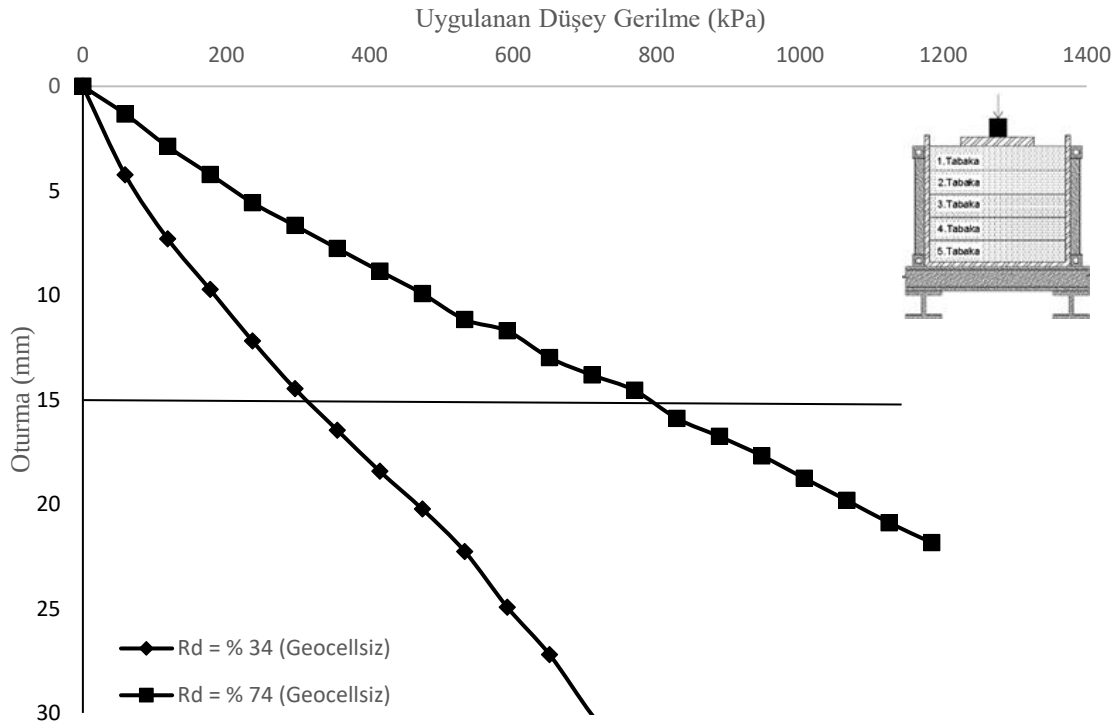
Farklı rölatif sıkılıklarda zeminlerin veya hücre açıklığı ve kalınlığı farklı olan (yüksekliği aynı) geocell malzemelerinin model temel üzerindeki etkileri 3 ana başlık şeklinde değerlendirilmiştir.

4.1. Rölatif Sıklığın Yük-Oturma Davranışına Etkisi

Rölatif sıklığın çakıl veya kum numuneleri üzerinde etkisinin araştırılması amacıyla, 2 adet kum ve 4 adet çakıl numunesi deneyi yapılmıştır ve sonuçlar bu başlık altında grafikleriyle sunulup tartışılmıştır. Rölatif sıklık deneylerinde, grafiklerin daha orantılı

gözlemlenebilmesinden dolayı referans olarak 15 mm oturma göz önünde bulundurulmuştur.

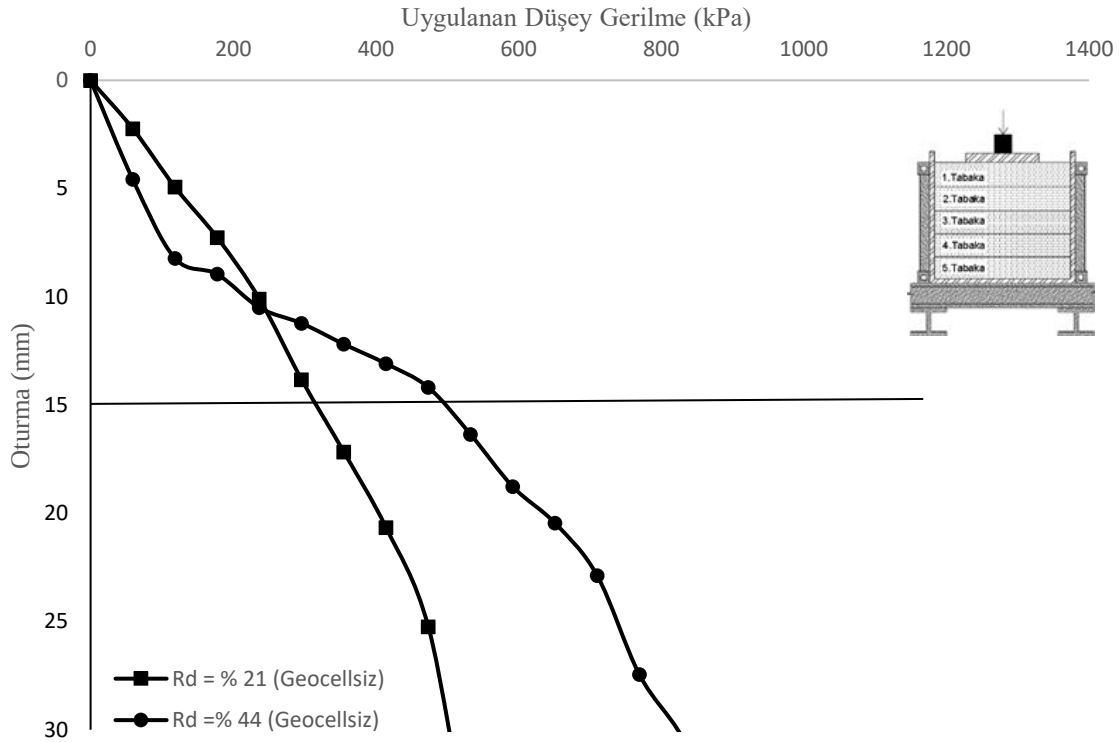
Öncelikle deney tankında; geocell ile güçlendirilmemiş kum ($R_d = \%34$) ve geocell ile güçlendirilmemiş kum ($R_d = \%74$) numuneleri üzerine aynı şartlar altında düşey gerilme uygulanmıştır. Kum numunesi rölatif sıkılık deneyleri sonuç grafikleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Kum ($R_d = \%34$) zemin numunesi üzerinde yapılan yükleme deneyi sonucunda, 1100 kPa yük altında yenilme gözlemlendiğinden deneye son verilmiştir. Kum ($R_d = \%74$) zemin numunesi üzerinde yapılan yükleme deneyi sonucunda ise 1200 kPa'ya kadar yük uygulanmış ve yenilme gözlenmemiştir. Özetle; 15 mm oturma referans alındığında rölatif sıkılığı $\%34$ 'ten $\%74$ 'e çıkarılan kum numunesinin taşıma gücü 300 kPa'dan 800 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 2,67 kat bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Rölatif sıkılık deneylerinin (kum) uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

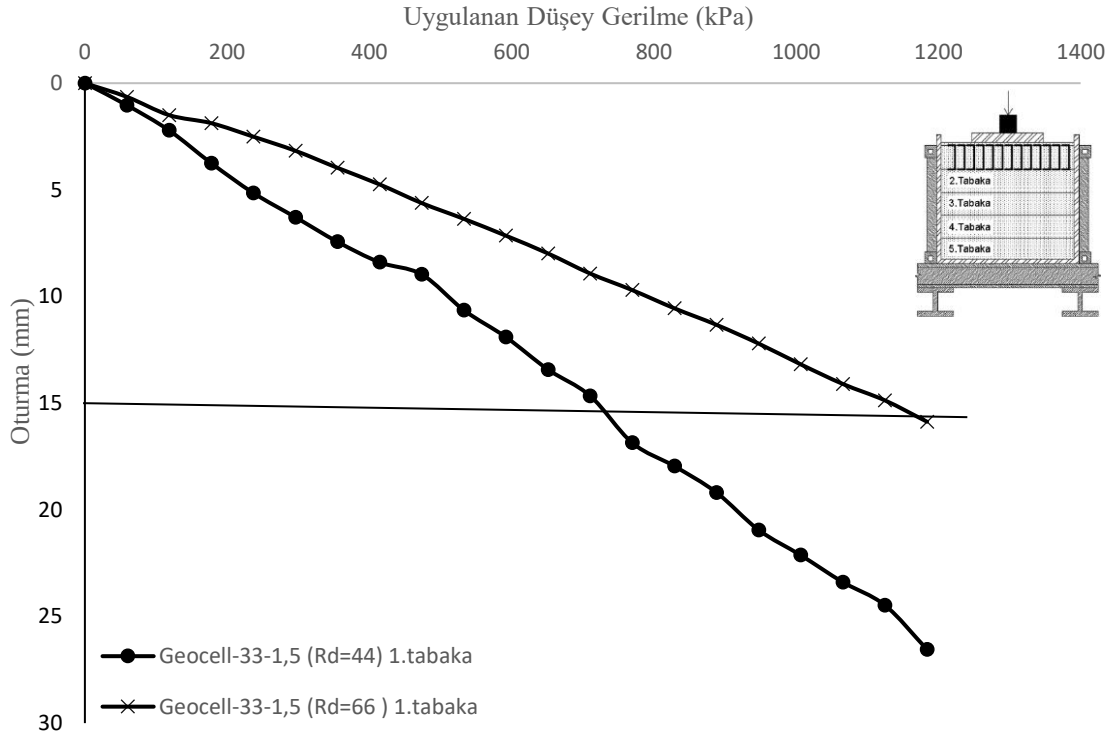
Rölatif sıkılık araştırma deneylerinin ikinci kısmında; geocell ile güçlendirilmemiş çakıl ($R_d = \%21$) ve geocell ile güçlendirilmemiş çakıl ($R_d = \%44$) numunesi aynı şartlar altında düşey yüke maruz bırakılmıştır. Çakıl numunesi rölatif sıkılık deneyleri sonuç grafikleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Rölatif sıkılığı $\%21$ olan geocellsiz çakıl numunesinde yükleme

sonlandırılmadan yenilme gözlenmiştir. Rölatif sıkılığı %44 olan geocellsiz çakıl numunesinde 1200 kPa yüke kadar yenilme gözlenmemiştir. Özetle; 15 mm oturma referans alındığında rölatif sıkılığı %21'den %44'e çıkarılan çakıl numunesinin taşıma gücü 330 kPa'dan 510 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,55 kat bir artış gözlenmiştir.



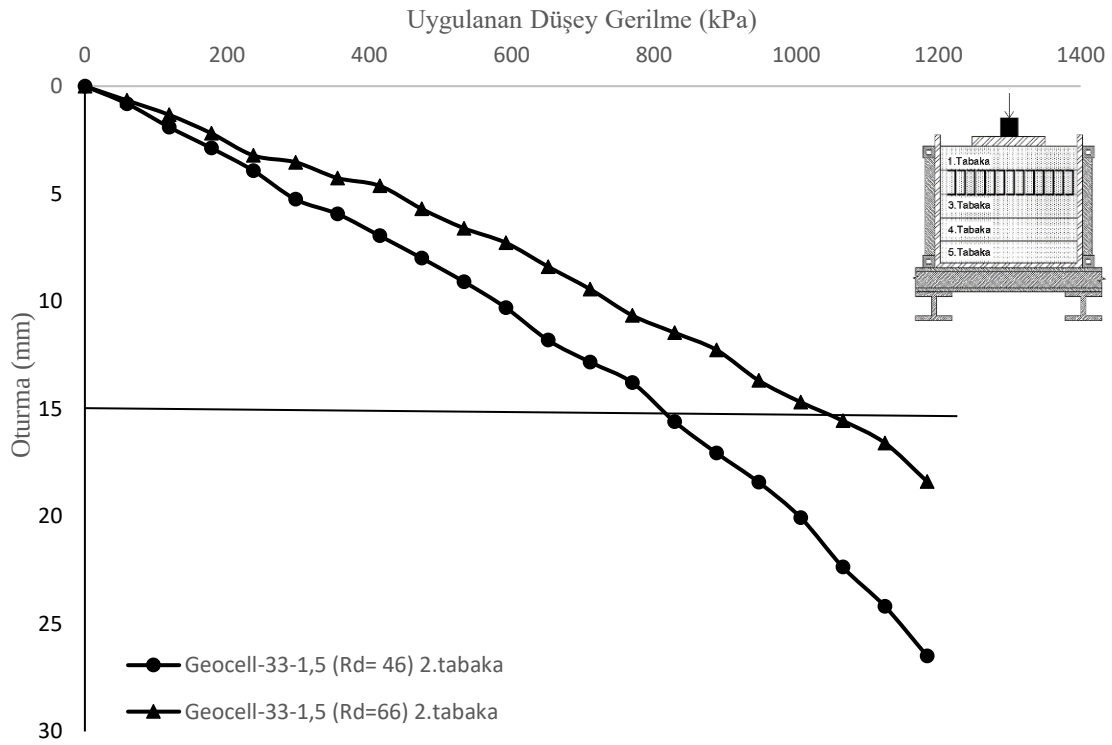
Şekil 4.3. Rölatif sıkılık deneylerinin (çakıl) uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

Benzer olarak; 1. tabakaya yerleştirilen Geocell-33-1,5 malzemesi kullanarak rölatif sıkılığı %44 ve %66 olan 2 adet deney yürütülmüştür. Rölatif sıkılık deneyleri sonuç grafikleri Şekil 4.4.'te verilmiştir. Rölatif sıkılığı %44 ve %66 olan Geocell-33-1,5 malzemeli çakıl deneylerinde, 1200 kPa yüke kadar yenilme gözlenmemiştir. Özetle; 15 mm oturma referans alındığında rölatif sıkılığı %44'ten %66'ya çıkarılan çakıl numunesinin taşıma gücü 710 kPa'dan 1130 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,59 kat bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Rölâtif sıkılığın geocell-33-1,5 malzemesinin 1.tabaya yerleştirilmesi ile çakıl numunesinin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

2.tabakaya yerleştirilen Geocell-33-1,5 malzemesi kullanarak rölâtif sıkılığı %46 ve %66 olan 2 adet deney yürütülmüştür. Rölâtif sıkılık deneyleri sonuç grafikleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. Rölâtif sıkılığı %46 ve %66 olan Geocell-33-1,5 malzemeli çakıl deneylerinde, 1200 kPa yüke kadar yenilme gözlenmemiştir. Özetle; 15 mm oturma referans alındığında rölâtif sıkılığı %46'dan %66'ya çıkarılan çakıl numunesinin taşıma gücü 810 kPa'dan 1030 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,27 kat bir artış gözlenmiştir.



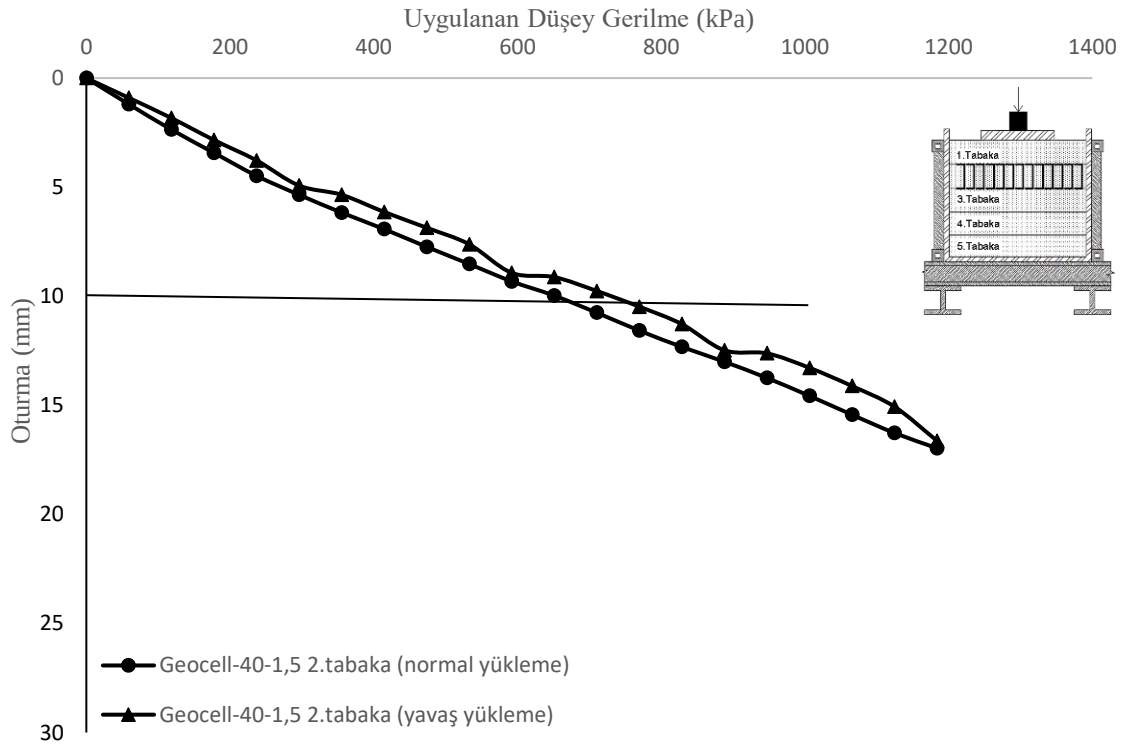
Şekil 4.5. Rölatif sıkılığın geocell-33-1,5 malzemesinin 2.tabaya yerleştirilmesi ile çakıl numunesinin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

Yüklem plakası çapı (30,5 mm) ile tank genişliği (60 mm) göz önünde bulundurulduğunda sınır şartlarının yük-oturma davranışına etkisinin önemli olacağı açıktır. Fakat her deney aynı fiziksel şartlar altında yürütüldüğünden, yük-oturma davranışlarının karşılaştırılabileceği düşünülmektedir. Literatürde daha önceki araştırmacıların çalışma sonuçlarıyla benzer şekilde rölatif sıkılık yük-oturma davranışını önemli derecede kontrol etmektedir.

4.2. Yükleme Hızının Yük-Oturma Davranışına Etkisi

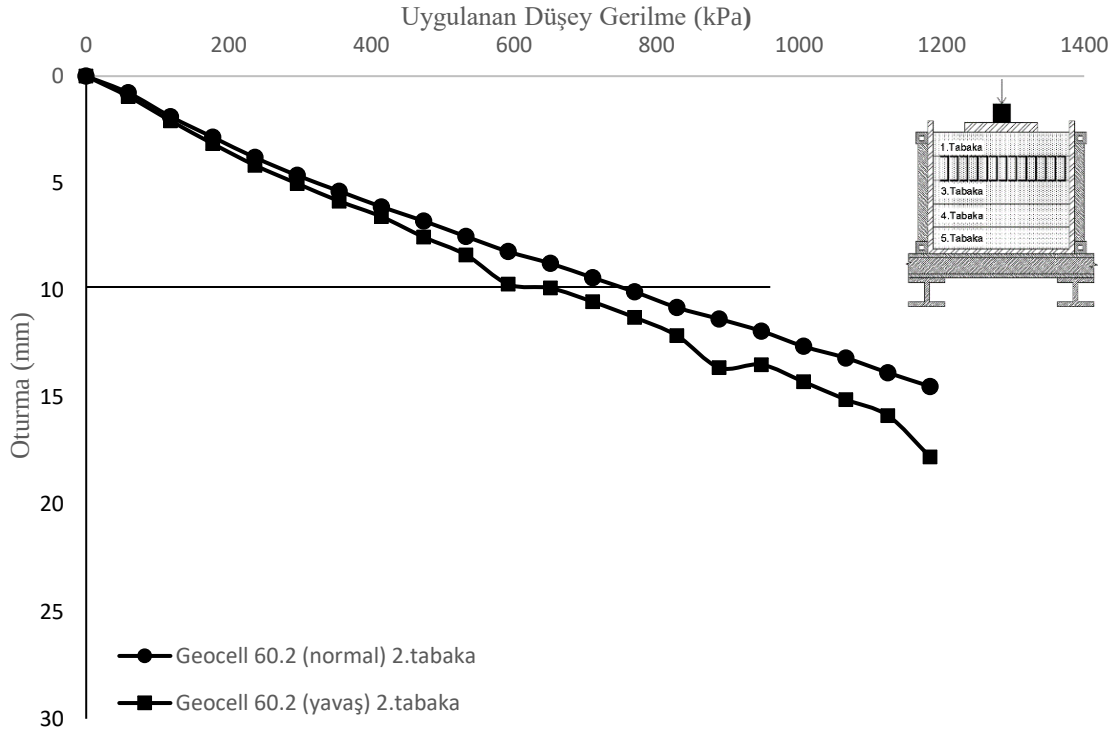
Ayrı geometrik özelliklere (hücre açıklığı, kalınlığı ve yüksekliği) sahip geocell malzemelerinin deney kutusu içerisinde aynı tabakaya yerleştirilerek farklı yükleme hızlarında, uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkisine etkisinin araştırılması amacıyla; araştırmada kullanılan iki tip geocell malzemesi dairesel temel altında düşey yüke maruz bırakılarak, elde edilen veriler grafikleştirilmiştir. Yükleme hızı deneylerinde, grafiklerin daha orantılı gözlemlenebilmesinden dolayı referans olarak 10 mm oturma göz önünde bulundurulmuştur.

Donatılı numuneler 2. tabakaya yerleştirilmiştir. Geocell-40-1,5 (Şekil 4.6.) ve Geocell-60-2,0 (Şekil 4.7.) üzerinde olmak üzere birer adet normal ve birer adet yavaş deney uygulanmıştır. Hızlı olarak adlandırılan deneylerde yük bekletme yapılmadan ard arda verilmiştir. Yavaş olarak tabir edilen deneylerde; her bir yükleme kademesinde 30 dakika beklenmiştir.



Şekil 4.6. Yükleme hızının uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri (Geocell-40-1,5)

10 mm oturma değeri referans alındığında; Geocell-40-1,5 malzemesi ile yapılan deneylerde, normal yükleme hızında yapılan deneyde taşıma gücü değeri 680 kPa olurken yavaş yükleme deneylerinde taşıma taşıma gücü değeri 780 kPa olarak grafikten okunmuştur. Geocell-40-1,5 malzemesi ile yapılan deneylerde, Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,15 kat bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Yükleme hızının uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri (Geocell-60-2,0)

10 mm oturma değeri referans alındığında; Geocell-60-2,0 malzemesi ile yapılan deneylerde, normal yükleme hızında yapılan deneyde taşıma gücü değeri 795 kPa olurken yavaş yükleme deneylerinde taşıma taşıma gücü değeri 710 kPa olarak grafikten okunmuştur. Geocell-60-2,0 malzemesi ile yapılan deneylerde, model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,12 kat bir azalış gözlenmiştir.

Grafikleştirilmiş sonuçlara göre; normal ve yavaş yüklemelerde model temel üzerindeki oturmalar ve temel taşıma kapasitesinde belirgin fark görülmemiştir. Geocell ile güçlendirilmiş model temellerde yapmış olduğumuz deney şartları göz önünde bulundurularak yükleme hızının yük-oturma davranışına etki etmediği sonucunda yorumlanabilir.

4.3. Geocell Donatı Yerleştirme Derinliğinin Yük-Oturma Davranışına Etkisi

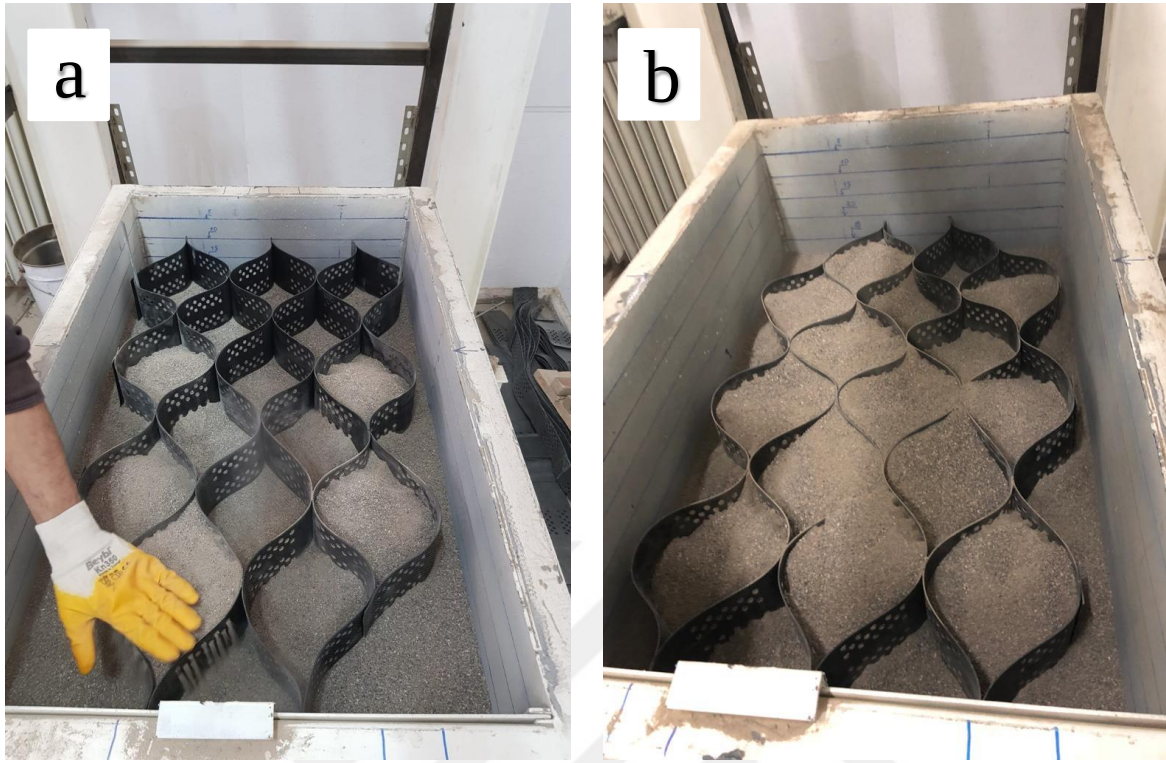
Laboratuvar ortamında, aynı geometrik özelliklere (cep boyutu, genişliği, et kalınlığı) sahip geocell malzemelerinin deney kutusu içerisinde farklı tabakalara yerleştirilerek düşey yük-oturma ilişkisinin araştırılması amacıyla; araştırmada kullanılan bütün geocell tipleri, ayrı

ayrı iki tabakaya da yerleştirilmiştir. Dairesel model temel, düşey yüke maruz bırakılarak, uygulanan düşey gerilme-oturma davranışına ait veriler elde edilerek grafikleştirilmiştir. Donatı yerleştirme derinliği deneylerinde, grafiklerin daha orantılı gözlemlenebilmesinden dolayı referans olarak 10 mm oturma göz önünde bulundurulmuştur.

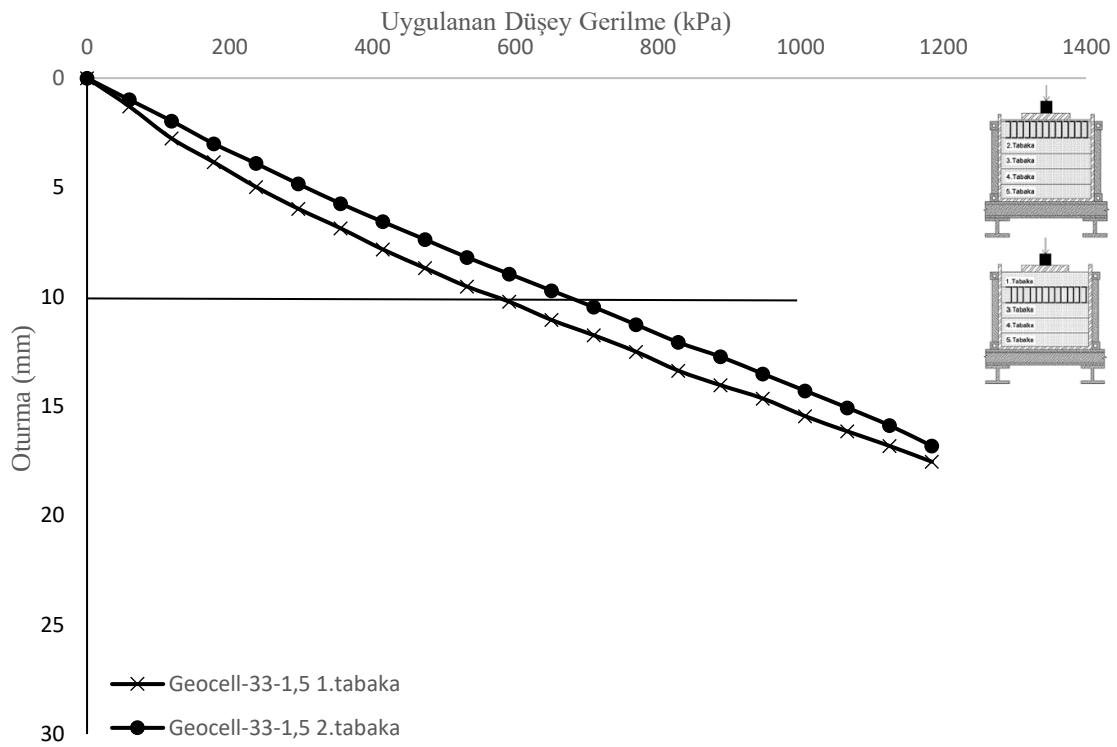
Kum zemin numunesi deneylerinde; Geocell-33-1,5 (Resim 4.2.); Geocell-40-1,5 (Resim 4.3.); Geocell-60-1,0 (Resim 4.4.) ve Geocell-60-2,0 (Resim 4.5.) malzemeleri 1. ve 2.tabakada ayrı ayrı yerleştirilerek ikişer adet deney yapılmıştır. Grafik üzerinden Geocell-33-1,5; Geocell-40-1,5; Geocell-60-1,0 ve Geocell-60-2,0 malzemelerinin farklı tabakalarda kullanılmasının zemin oturması ve yenilmesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Şekil 4.8.-4.9.-4.10.-4.11.).

Geocell-33-1,5 ile yapılan deneylerde, 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 590 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 680 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,15 kat bir artış gözlenmiştir. Geocell-40-1,5 ile yapılan deneylerde, 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 600 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 690 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,15 kat bir artış gözlenmiştir. Geocell-60-2,0 ile yapılan deneylerde, 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 850 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 790 kPa'ya düşmüştür. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,08 kat bir azalma gözlenmiştir. Geocell-60-1,0 ile yapılan deneylerde, 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 630 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 810 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,29 kat bir artma gözlenmiştir.

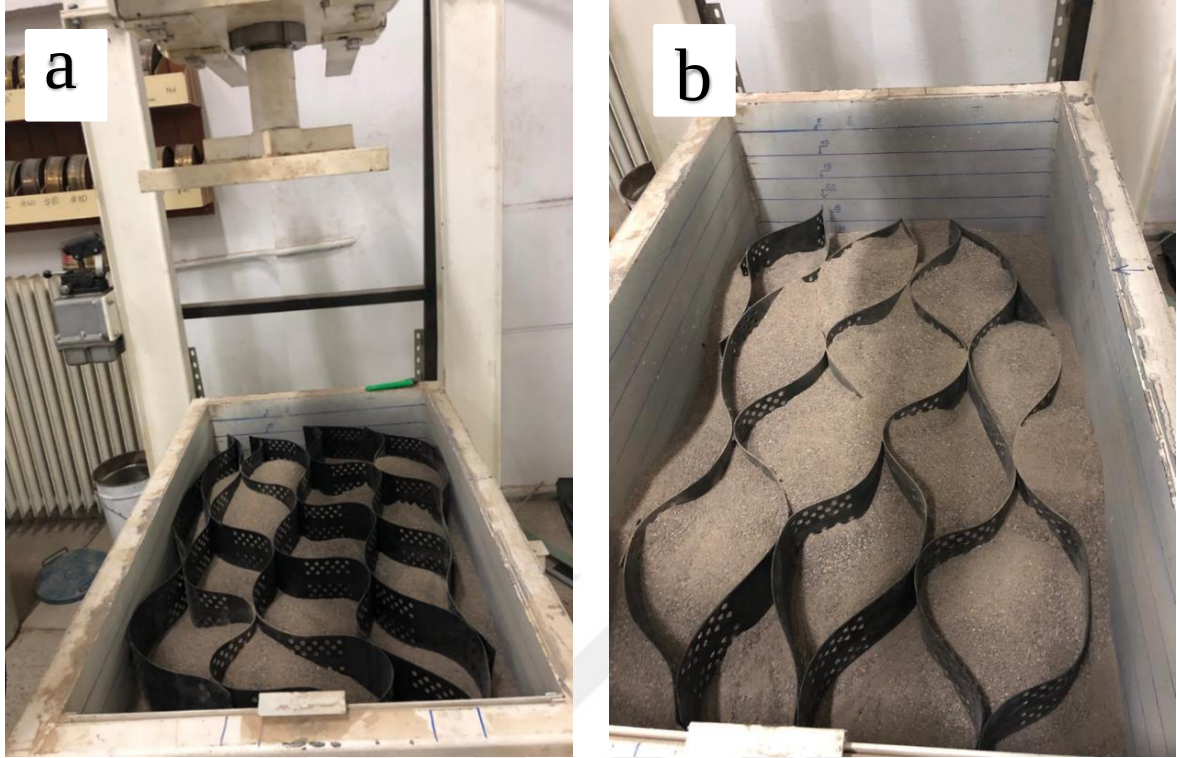
Kum zemin numunesi üzerinde yapılan deneylere ait aynı geocell malzemesinin farklı tabakalarda uygulamasına ait grafik verileri incelendiğinde ise 2.tabakaya yerleştirilen Geocellin 1. tabakaya yerleştirilen Geocell ile kıyasla, oturma ve taşıma gücü açısından belirgin bir fark olmadığı bulgulanmıştır. Ayrıca; Geocell-33-1,5; Geocell-40-1,5; Geocell-60-1,0 ve Geocell-60-2,0 malzemeleri üzerinde yapılan yükleme sonucunda 1200 kPa kadar yüke maruz bırakılmasına rağmen yenilme gözlenmemiştir.



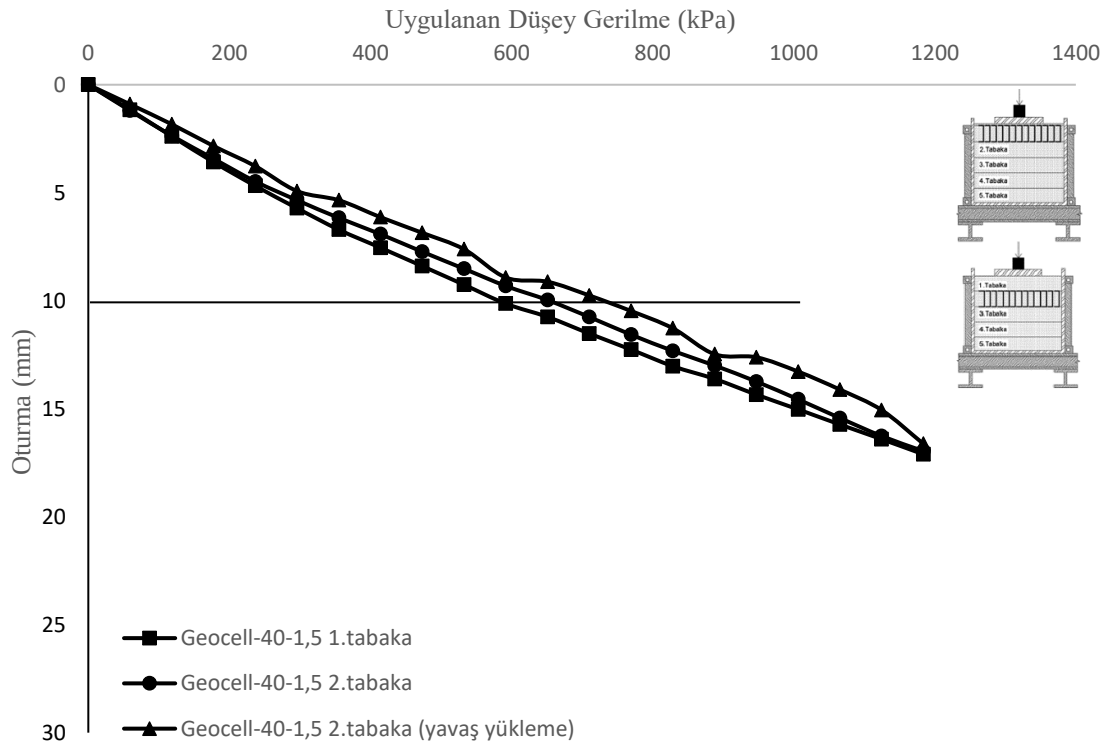
Resim 4.2. Geocell-33-1,5 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme
b) 2. tabakaya yerleştirme



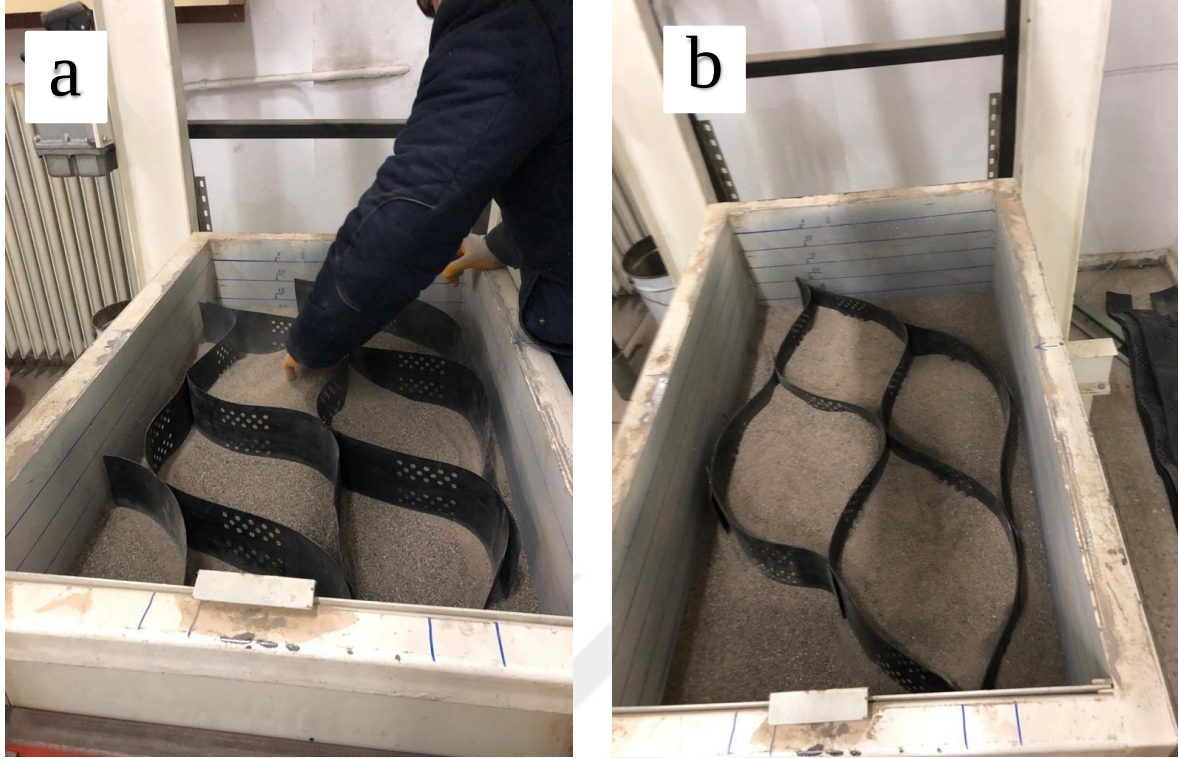
Şekil 4.8. Geocell-33-1,5 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



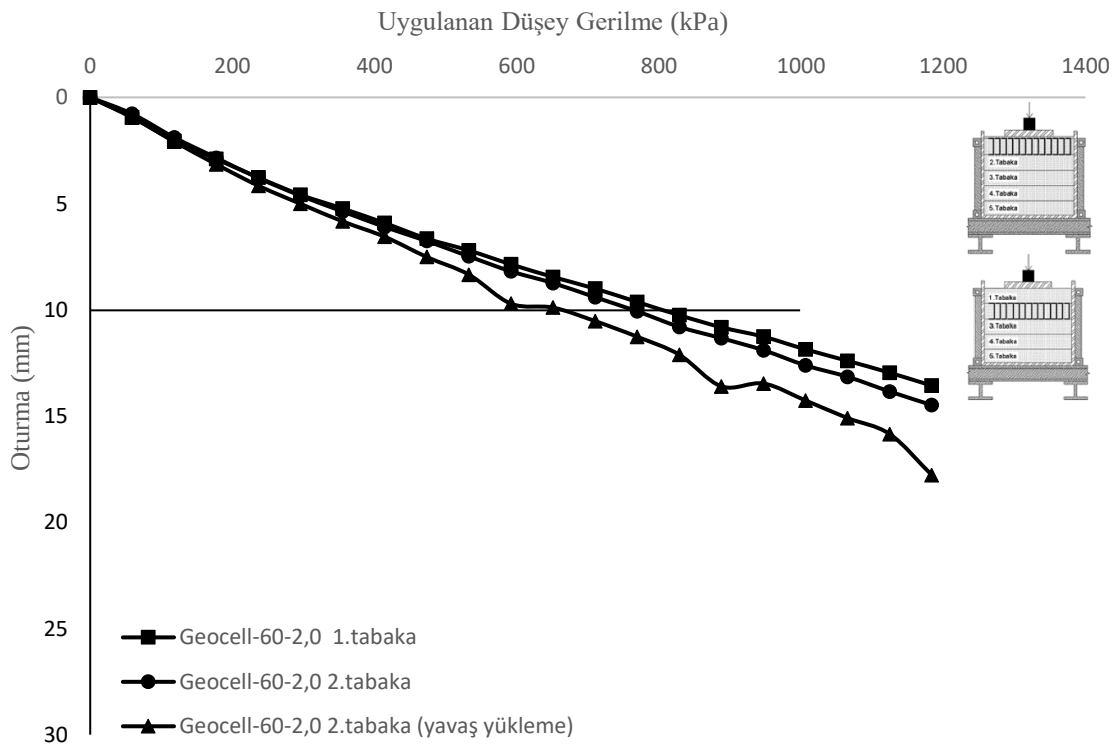
Resim 4.3. Geocell-40-1,5 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme



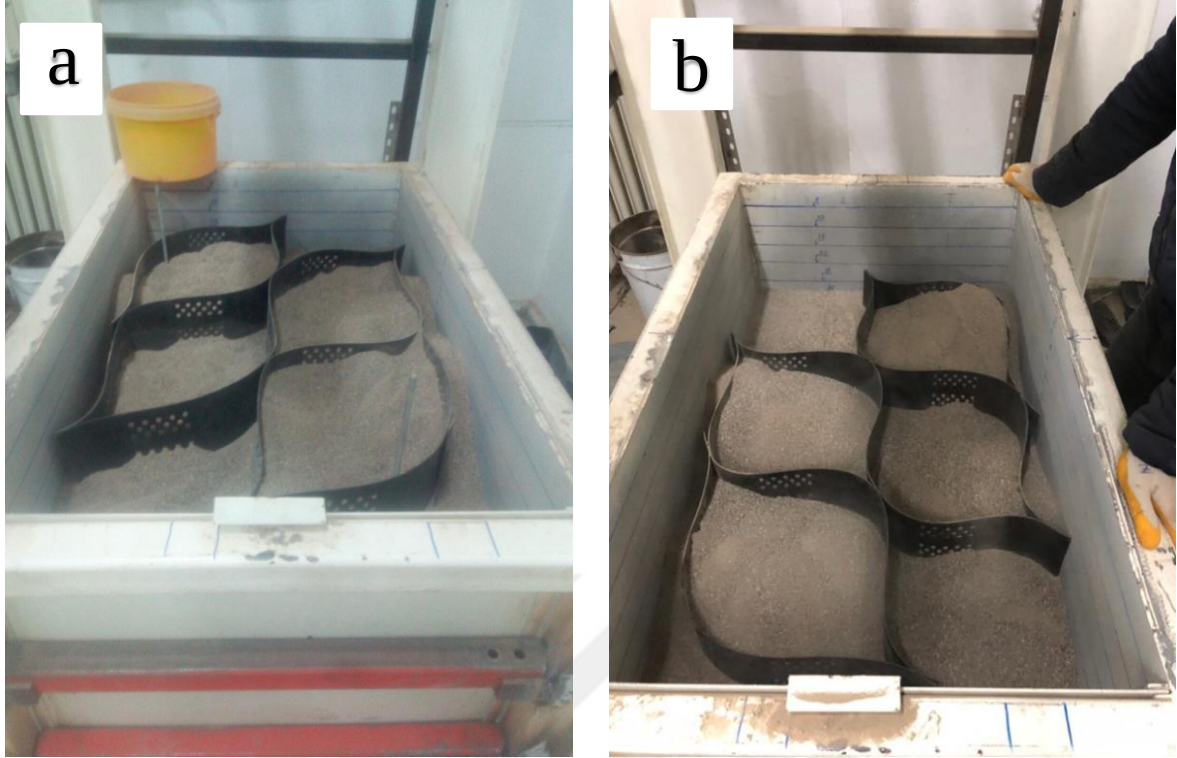
Şekil 4.9. Geocell-40-1,5 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



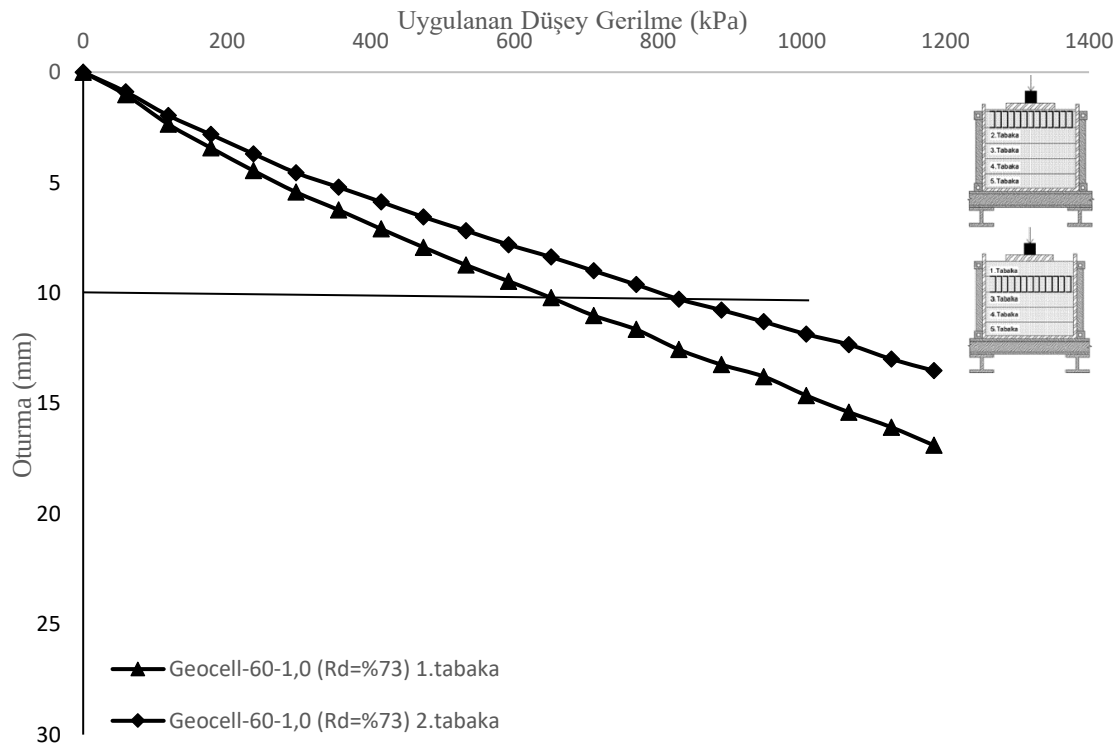
Resim 4.4. Geocell-60-2,0 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme



Şekil 4.10. Geocell-60-2,0 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



Resim 4.5. Geocell-60-1,0 kum numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme

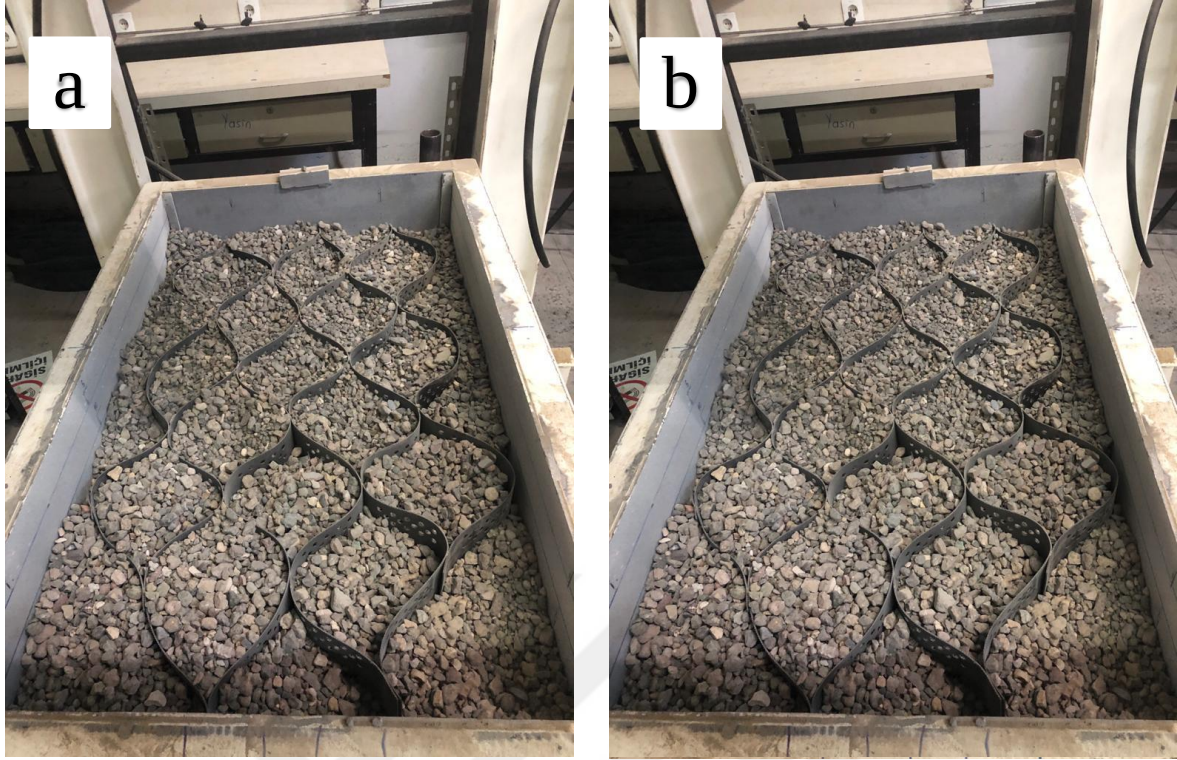


Şekil 4.11. Geocell-60-1,0 farklı derinliklerdeki tabakalarda uygulanması durumunda kum zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

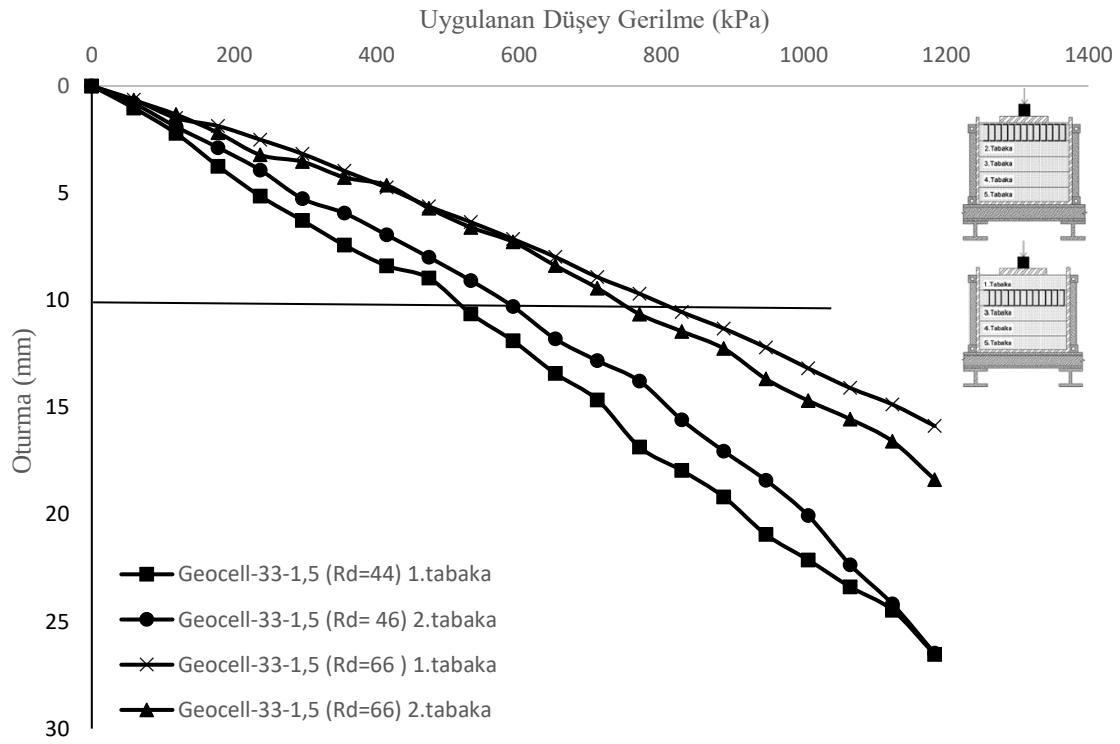
Çakıl zemin numunesi deneylerinde; Geocell-33-1,5 (Resim 4.2.); Geocell-40-1,5 (Resim 4.3.); Geocell-60-1,0 (Resim 4.5.) ve Geocell-60-2,0 (Resim 4.4.) malzemeleri 1. ve 2.tabakada ayrı ayrı yerleştirilerek iki adet deney yapılmıştır ve grafik üzerinden Geocell-33-1,5 ve Geocell-60-2,0 malzemelerinin farklı tabakalarda kullanılmasının zemin oturması ve yenilmesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Şekil 4.8.-4.9.-4.10.-4.11.).

Geocell-33-1,5 ($R_d = \%44-46$) ile 1. ve 2. tabakalarda yapılan deneylerde 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 510 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 590 kPa'ya yükselmiştir. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,1 kat bir artış gözlenmiştir. Geocell-33-1,5 ($R_d = \%66$) ile 1. ve 2. tabakalarda yapılan deneylerde 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 810 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 750 kPa'ya düşmüştür. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,08 kat bir azalma gözlenmiştir. Geocell-60-2,0 ile 1. ve 2. tabakalarda yapılan deneylerde 10 mm oturma referans olarak alındığında; 1.tabakada taşıma gücü 500 kPa iken, 2.tabakada taşıma gücü 505 kPa'ya düşmüştür. Model temelin taşıma gücünde yaklaşık 1,01 kat bir artış gözlenmiştir.

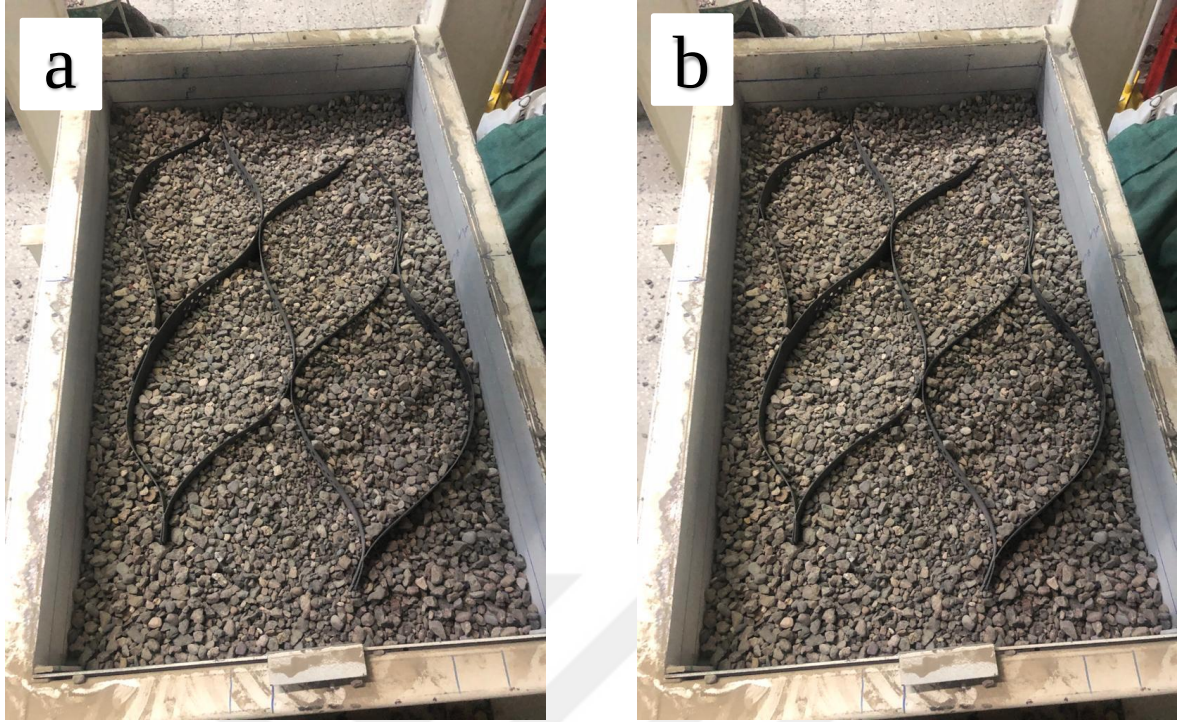
Çakıl zemin numunesi üzerinde yapılan deneylere ait aynı geocell malzemesinin farklı tabakalarda uygulamasına ait grafik verileri incelendiğinde ise 2.tabakaya yerleştirilen geocellin 1. tabakaya yerleştirilen geocell ile kıyasla, oturma ve taşıma gücü açısından belirgin bir fark olmadığı bulgulanmıştır. Ayrıca; Geocell-33-1,5 ve Geocell-60-2,0 malzemeleri üzerinde yapılan yükleme sonucunda 1200 kPa kadar yüke maruz bırakılmasına rağmen yenilme gözlenmemiştir.



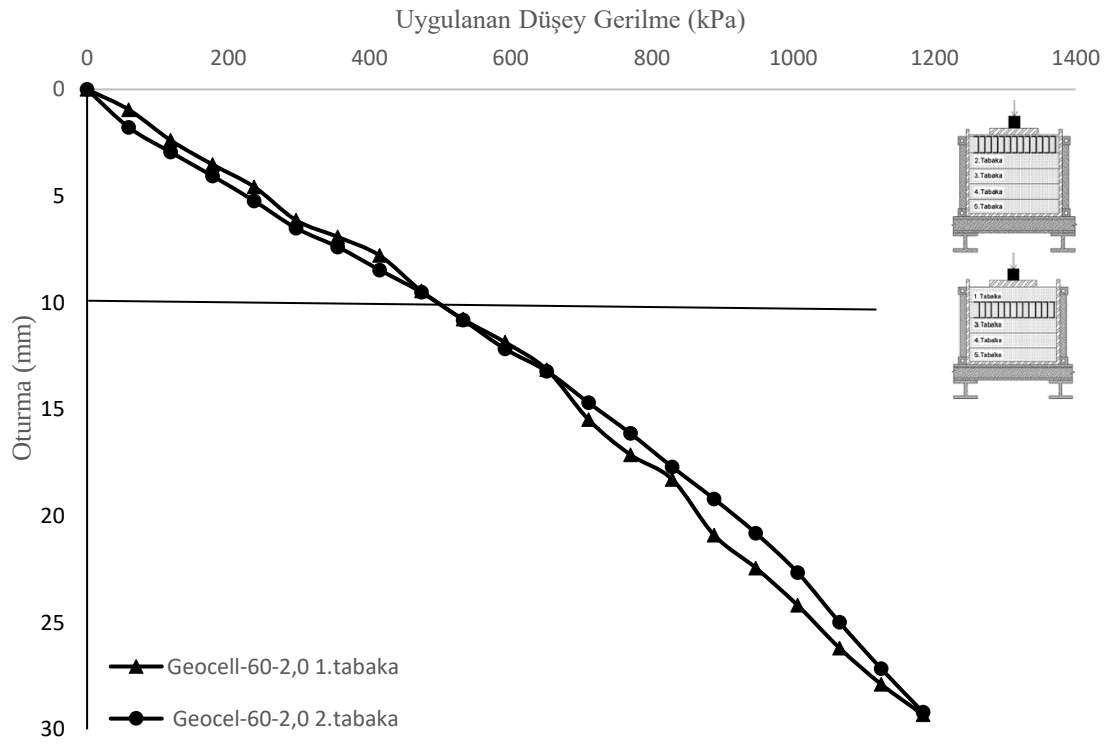
Resim 4.6. Geocell-33-1,5 çakıl numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme



Şekil 4.12. Geocell-33-1,5 farklı derinliklerdeki tabaklarda uygulanması durumunda çakıl zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



Resim 4.7. Geocell-60-2,0 çakıl numunesi deneyleri: a) 1. tabakaya yerleştirme, b) 2. tabakaya yerleştirme



Şekil 4.13. Geocell-60-2,0 farklı derinliklerdeki tabaklarda uygulanması durumunda çakıl zeminin uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

Yükleme başlığı referans alındığında donatı yerleştirme derinliğinin 0 D ile 2/3D aralığında olması durumunda yük-oturma davranışının önemli bir fark göstermediği görülmektedir. (D= model temelin taban çapı)





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında; sınır şartları belirlenmiş, tank içerisinde; farklı hücre açıklıklarını ve hücre kalınlıklarını kapsayan hücresel dolgu sisteminin farklı derinliklerdeki kum ve çakıl tabakalara yerleştirilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan model mühendislik dolgularında, dairesel plaka altında uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri incelenmiştir. Tek katmanlı geocell kullanılarak takviyeli kum ve çakılın statik yükleme altındaki davranışını araştırmak için yapılan 22 adet deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla ilgili detaylar aşağıda özetlenmiştir.

- Aynı koşullarda, farklı yükleme hızlarında yapılan sınırlı sayıda deneylere göre oturmelerde ortalama 1,12-1,15 kat aralığında değişim gözlenmiştir ve çalıştığımız zeminlerde sayısal olarak bu oran yükleme hızının donatılı kum zemindeki yük-oturma davranışına belirgin bir etkisi olmadığı şeklinde yorumlanabilir.
- Tüm geocell donatılı kum ve çakıl numuneleri, aynı yükler altında donatısız kum ve çakıl numunesine kıyasla belirgin şekilde daha düşük oturmalar elde edilmiştir.
- Çakıl zeminlerde, geocellin 1.tabakaya yerleştirilmesi ve rölatif sıkılığın %44'den %66'ya çıkarılması ile temelin taşıma gücünde 1,59 oranında artış ve geocellin 2.tabakaya yerleştirilmesi ve rölatif sıkılığın %46'dan ve %66'ya çıkarılması ile temelin taşıma gücünde 1,27 oranında artış gözlemlenmiştir.
- Benzer fiziksel şartlar altında, farklı derinliklerdeki tabakalara geocell yerleştirilerek yapılan deneyler sonucunda; 1-1,2 kat aralığında sayısal değişimler gözlemlendiğinden 0-2/3D (D= model temel çapı) aralığında donatı yerleştirme derinliğinin, donatılı kum ve çakıl zeminin yük-oturma davranışına belirgin bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Model deney bulgularına ve ilgili literatüre dayanarak; laboratuvar ortamında sınır şartları altında elde edilen sonuçlar daha büyük ölçekli arazi deneyleriyle desteklenerek geocell malzemesinin davranışı için ampirik yaklaşımlar önerilebilir.



KAYNAKLAR

- ASTM C702 / C702M-11, (2011). *Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D4254-14, (2014). *Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D6913 / D6913M-17, (2017). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D854-14, (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bathurst, R.J. and Jarrett, P.M. (1988). *Large Scale Model Tests of Geocomposite Mattresses over Peat Subgrades*. Transportation Research Record, 1188, 28-36.
- Bathurst, R.J. and Karpurapu, R. (1993). Large-Scale Triaxial Compression Testing of Geocell-Reinforced Granular Soils. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 16(3), 296-303.
- Biswas, A., Murali K., A. and Dash, S.K. (2013). Influence of Subgrade Strength on the Performance of Geocell-Reinforced Foundation Systems. *Geosynthetics International*, 20(6), 376-388.
- Cheung, Y.K. and Chan, H.C. (1990). *Finite Element Analysis. Inreinforced Concrete Deep Beams*. Edited by F.K. Kong. Blackie Publication, Glasgow, UK, 204–23
- Dash, S. K., Krishnaswamy, N. R. and Rajagopal, K. (2001a). Bearing Capacity of Strip Footings Supported on Geocell-Reinforced Sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 19(4), 235-256.
- Dash, S. K., Rajagopal, K. and Krishnaswamy, N. R. (2001b). Strip Footing On Geocell Reinforced Sand Beds With Additional Planar Reinforcement. *Geotextiles and Geomembranes*, 19(8), 529-538.
- Dash, S. K., Rajagopal, K. and Krishnaswamy, N. R. (2004). Performance Of Different Geosynthetic Reinforcement Materials In Sand Foundations. *Geosynthetics International*, 11(1), 35-42.
- Dash, S. K., Rajagopal, K. and Krishnaswamy, N. R. (2007). Behaviour of Geocellreinforced Sand Beds Under Strip Loading. *Canadian Geotechnical Journal*, 44(7), 905-916.
- Dash, S. K. (2010). Influence of Relative Density of Soil on Performance of Geocellreinforced Sand Foundations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(5), 533-538.

- Dash, S. K. (2012). Effect of Geocell Type on Load-Carrying Mechanisms of Geocellreinforced Sand Foundations. *International Journal of Geomechanics*, 12(5), 537-548.
- EN ISO 9863-1, (2005). *Geosynthetics–Determination of thickness at specified pressures*. 1: Single Layers. CEN, Brusel.
- EN ISO 10319. (1992). *Geotextiles: Wide-width Tensile Test*. CEN, Brusel.
- EN ISO 13426-1. (METHOD B), (2003). *Geotextiles and geotextile-related products — Strength of internal structural junctions*. CEN, Brusel.
- Emersleben, A. and Meyer, N. (2008). *The Use of Geocells in Road Constructions Over Soft Soil: Vertical Stress and Falling Weight Deflectometer Measurements*. 4th European geosynthetics conference, 132.
- Giroud, J.P. and Han, J. (2004). Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads. I. Development of Design Method. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130 (8): 775-786.
- Gurbuz, A. and Mertol, H. C. (2012). Interaction Between Assembled 3D Honeycomb Cells Produced from High Density Polyethylene and A Cohesionless Soil. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(12), 828–836.
- Han, J., Yang, X.M., Leshchinsky, D., and Parsons, R.L. (2008). Behavior Of Geocell-Reinforced Sand Under A Vertical Load. *Journal of Transportation Research Board*, 2045.1: 95-101.
- Hedge, A. and Sitharam T.G. (2015). Joint Strength and Wall Deformation Characteristics of A Single Cell Geocell Subjected To Uniaxial Compression. *International Journal of Geomechanics (ASCE)*, 15 (5), 1-8.
- Huang, C.C. and Tatsuoka, F. (1990). Bearing Capacity Of Reinforcedhorizontal Sandy Ground. *Geotextiles and Geomembranes*, 9, 51–82
- Indraratna, B., Sun, Q., Heitor, A. and Grant, J. (2018). Performance of Rubber Tire-Confined Capping Layer Under Cyclic Loading for Railroad Conditions. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(3), 06017021.
- İnternet: web: <https://www.geoplas.com.tr/tr/urunler/geocell-hucresel-dolgu-sistemi>. Son Erişim Tarihi: 05.10.2019.
- Kargar, M. and Hosseini, S. M. 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.
- Krishnaswamy, N.R., Rajagopal, K. and Latha, M.G. (2000). Model Tests On Geocell Supported Embankments Constructed Over Soft Clay Foundation. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 23, 45-54.

- Koerner, R.M. (2012). *Designing with Geosynthetics*. 6th Edition, Vol.1, Xlibris Corporation, ISBN-10: 1462882889, 1-526.
- Kurian, N.P., Beena, K.S., and Kumar, R.K. (1997). Settlement of Re-Inforced Sand in Foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 123, 818–827.
- Latha, G.M. and Somwanshi, A. (2009). Effect of Reinforcement form on the Bearing Capacity of Square Footings on Sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 27(4), 409-422.
- Mandal J.N. and Gupta P. (1994). *Stability of Geocell Reinforced Soil*. Construction and Building Materials, 8 (1), 55-62.
- Mitchell, J.K., Kao, T.C. and Kavazanjian, E. (1979). Analysis of Grid Cell Reinforced Pavement Bases. *Technical Report*, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA, 79-8.
- Mhaikar, S.Y. and Mandal, J.N. (1996). *Investigation on Soft Clay Subgrade Strengthening Using Geocells*. Construction and Building Materials, 10(4): 281286.
- Mehrijardi, G.T., Behrad R. and Tafreshi M.S.N. (2019). Scale Effect on the Behavior of Geocell-Reinforced Soil. *Geotextiles and Geomembranes* 47, 154-163.
- Mohamed, M.H.A. (2010). Two Dimensional Experimental Study for the Behaviour of Surface Footings on Unreinforced and Reinforced Sand Beds Overlying Soft Pockets. *Geotextile and Geomembranes*, 28, 589-596.
- Neto, A.J. O., Bueno, B. S., and Futai, M. M. (2013). A Bearing Capacity Calculation Method for Soil Reinforced with A Geocell. *Geosynthetics International*, 20(3), 129-142.
- Pokharel, S.K., Han, J., Leshchinsky, D., Parsons, R.L., and Halahmi, I. (2009). *Experimental Evaluation of Influence Factors for Single Geocell-Reinforced Sand*. Submitted for possible presentation and publication at the TRB 88th Annual Meeting, January 11 to 15, Washington, DC, 09-2192.
- Rajagopal, K., Krishnaswamy, N.R. and Latha, M.G. (1999). Behaviour of sand reinforced with single and multiple geocells. *Geotextiles and Geomembranes*, 17, 171.
- Shadmand, A., Ghazavi, M. and Ganjian, N. (2018). Scale Effects of Footings on Geocell Reinforced Sand Using Large-Scale Tests. *Civil Engineering Journal*, 4, No. 3.
- Siabil G.S.M.A., Tafreshi M.S.N. and Dawson A.R. (2019). Response of Pavement Foundations Incorporating Both Geocells and Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam. *Geotextiles and Geomembranes*, 48, 1, 1-23.

- Sireesh, S., Sitharam, T. G. and Dash, S. K. (2009). Bearing Capacity of Circular Footing on Geocell–Sand Mattress Overlying Clay Bed With Void. *Geotextiles and Geomembranes*, 27(2), 89-9.
- Sitharam, T. G., Sireesh, S. and Dash, S. K. (2005). Model Studies of A Circular Footing Supported on Geocell-Reinforced Clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(2):693-703.
- Şimşek, M. (2017). *Behavior of Geocell Reinforced Sandy Soils Under Static Load*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 118.
- Tafreshi, S. M. and Dawson, A. R. (2010a). Behaviour of Footings on Reinforced Sand Subjected to Repeated Loading–Comparing Use of 3D and Planar Geotextile. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(5), 434-447.
- Tafreshi, S. N. M. and Dawson, A. R. (2010b). Comparison of Bearing Capacity of a Strip Footing on Sand with Geocell and with Planar Forms of Geotextile Reinforcement. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(1), 72-84.
- Tafreshi, S. M., Shaghaghi, T., Mehrjardi, G. T., Dawson, A. R. and Ghadrddan, M. (2015). A Simplified Method for Predicting The Settlement of Circular Footings on Multi-Layered Geocell-Reinforced Non-Cohesive Soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(4), 332-344.
- Tanyu, B. F., Aydilek, A. H., Lau, A. W., Edil, T. B. and Benson, C. H. (2013). Laboratory Evaluation Of Geocell-Reinforced Gravel Subbase Over Poorsubgrades. *Geosynthetics International*, 20(2), 47-61.
- Tingle, J.S. and Jersey, S.R. (2007). Empirical Design Methods for Geosyntheticreinforced Low-Volume Roads. *Journal of the Transportation Research Board*. 1989(2), 91-101.
- Webster, S. L. (1979). *Investigation of Beach Sand Trafficability Enhancement Using Sand-Grid Confinement and Membrane Reinforcement Concepts*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Report GL-79-20 (1).
- Wang, Y., Chen, Y. and Liu, W. (2008). Large-Scale Direct Shear Testing of Geocell Reinforced Soil. *Journal of Central South University*, 15, 895–900.
- Wang, J. Q., Zhang, L. L., Xue, J. F. and Tang, Y. (2018). Load-Settlement Response of Shallow Square Footings on Geogrid-Reinforced Sand under Cyclic Loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(5), 586-596.
- Yoon, Y. W., Heo, S. B. and Kim, K. S. (2008). Geotechnical Performance of Waste Tires for Soil Reinforcement From Chamber Tests. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(1), 100-107.
- Yuu, J., Han, J., Rosen, A., Parsons, R.L. and Leshchinsky, D. (2008). *Technical Review of Geocell-Reinforced Base Courses Over Weak Subgrade*. Proceedings of GeoAmericas, American Conference On Geosynthetics, Cancun, Mexico, 1022-1030.

- Zhang, M.X., Javadi, A.A. and Min, X. (2006). Triaxial Tests of Sand Reinforced with 3D Inclusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 24 (4), 201–209.
- Zhou, H. and Wen, X. (2008). Model Studies On Geogrid or Geocell-Reinforced Sand Cushion on Soft Soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(3), 231-238.



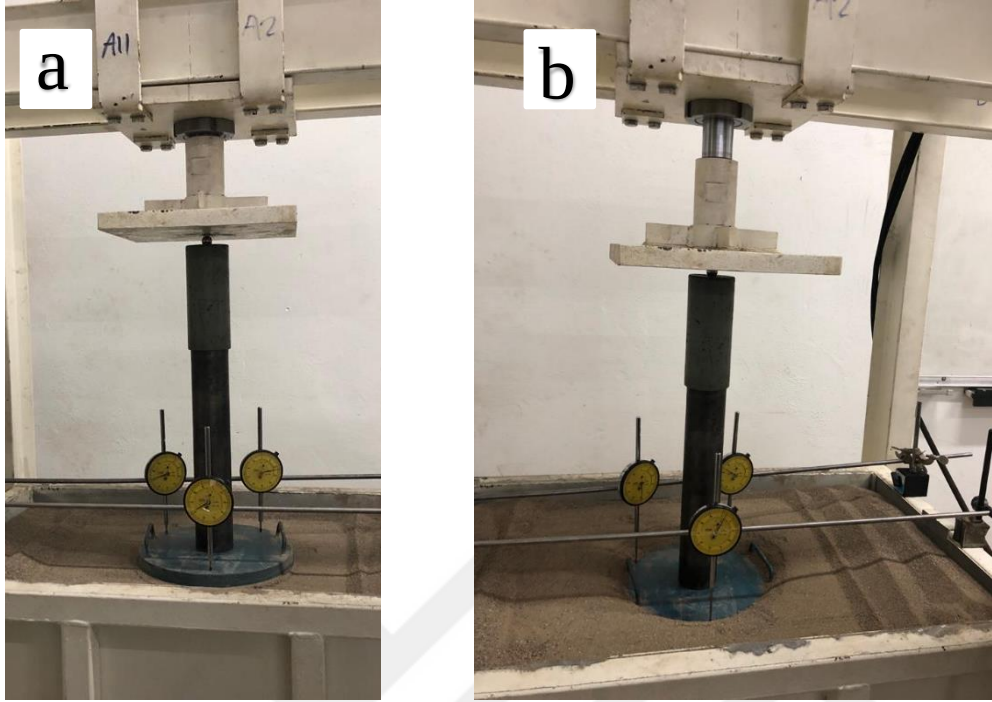




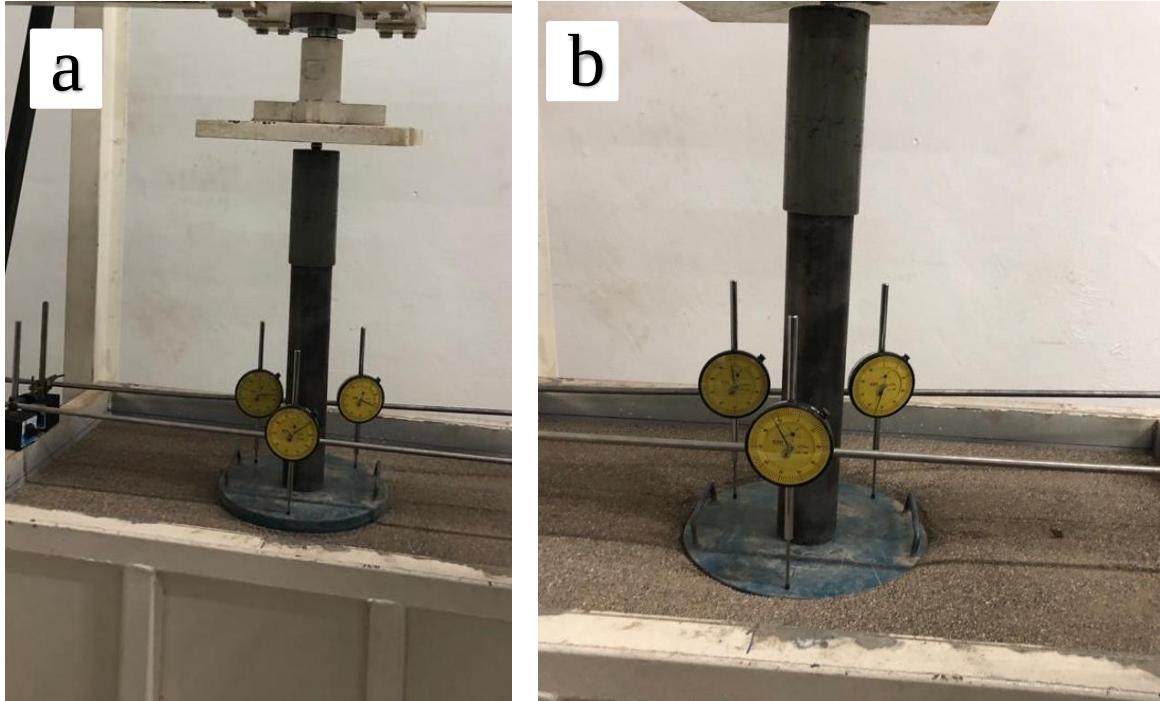
EK-1. Deney numaralarına göre rölatif sıkılık deney verileri

	R_d	$M_{zemin}(g)$	$V_{toplam}(cm^3)$	$V_{zemin}(cm^3)$	e	e_{max}	e_{min}	Zemin cinsi
1	34	532480	327000	197215	0,658	0,785	0,416	Kum
2	74	584196	327000	216369	0,511	0,785	0,416	Kum
3	37	536341	327000	198645	0,646	0,785	0,416	Kum
4	73	583013	327000	215931	0,514	0,785	0,416	Kum
5	71	579935	327000	214791	0,522	0,785	0,416	Kum
6	76	586861	327000	217356	0,504	0,785	0,416	Kum
7	77	588967	327000	218136	0,499	0,785	0,416	Kum
8	73	583075	327000	215954	0,514	0,785	0,416	Kum
9	72	581185	327000	215254	0,519	0,785	0,416	Kum
10	73	582932	327000	215901	0,515	0,785	0,416	Kum
11	76	587312	327000	217523	0,503	0,785	0,416	Kum
12	74	584107	327000	216336	0,512	0,785	0,416	Kum
13	77	588775	327000	218065	0,500	0,785	0,416	Kum
14	74	584282	327000	216401	0,511	0,785	0,416	Kum
15	21	444236	327000	164532	0,987	1,049	0,760	Çakıl
16	44	459513	327000	170190	0,921	1,049	0,760	Çakıl
17	44	458973	327000	169990	0,924	1,049	0,760	Çakıl
18	42	458330	327000	169752	0,926	1,049	0,760	Çakıl
19	46	460120	327000	170415	0,919	1,049	0,760	Çakıl
20	45	460152	327000	170427	0,919	1,049	0,760	Çakıl
21	66	472937	327000	175162	0,867	1,049	0,760	Çakıl
22	66	473782	327000	175475	0,864	1,049	0,760	Çakıl

EK-2. Kum deneylerine ait yükleme resimleri

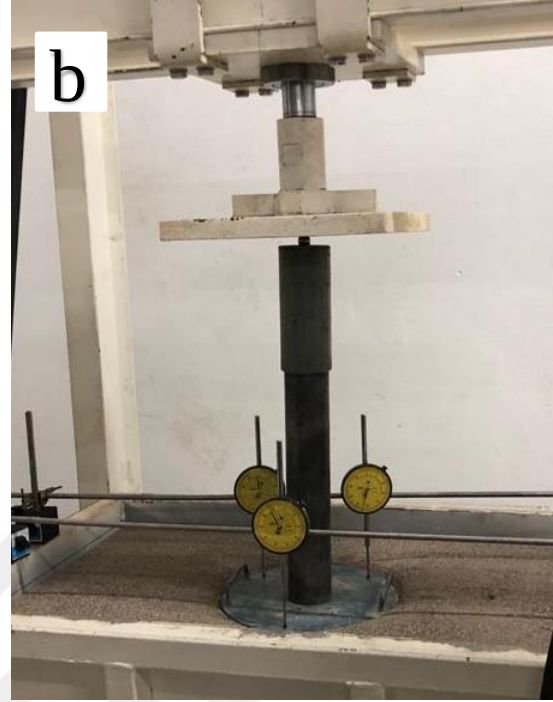


Resim 2.1. RD=%34 Geocellsiz kum: a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

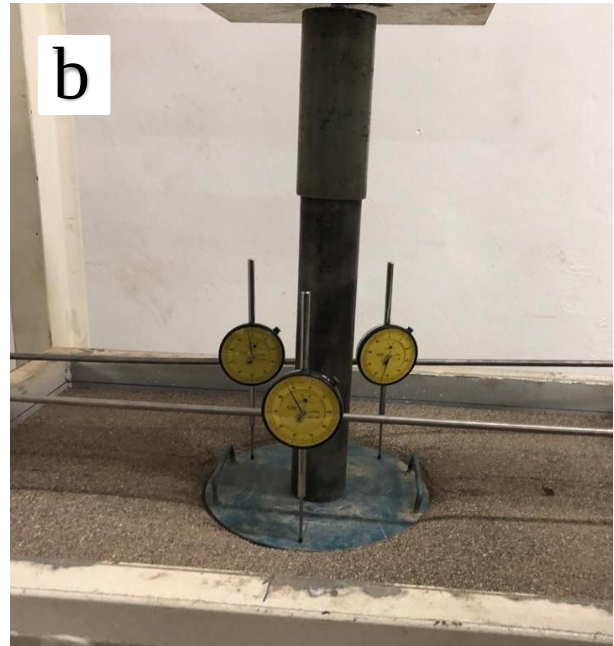
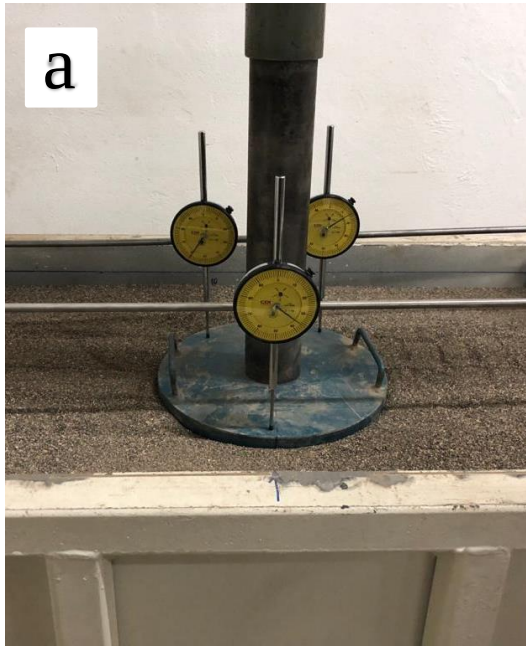


Resim 2.2. RD=%74 Geocellsiz kum: a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-2. (devam) Kum deneylerine ait yükleme resimleri

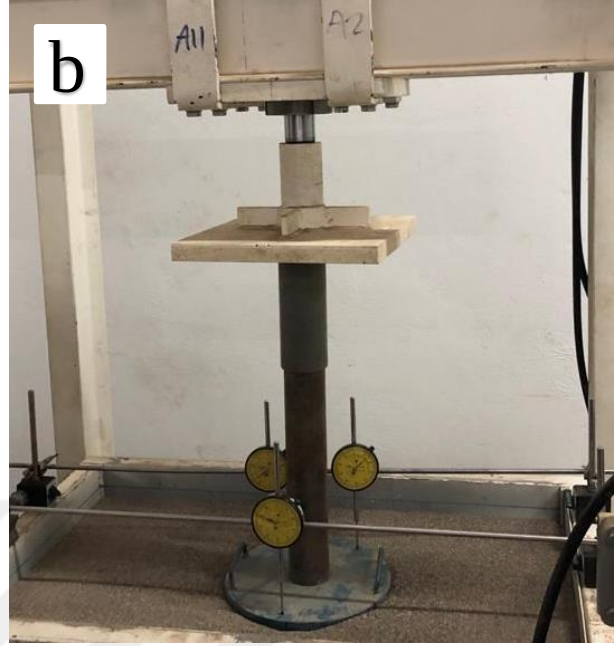


Resim 2.3. RD=%73 Geocell-60-1,0 tek hücreli kum: a) hücrenin yerleştirilmesi, b) yükleme sonrası

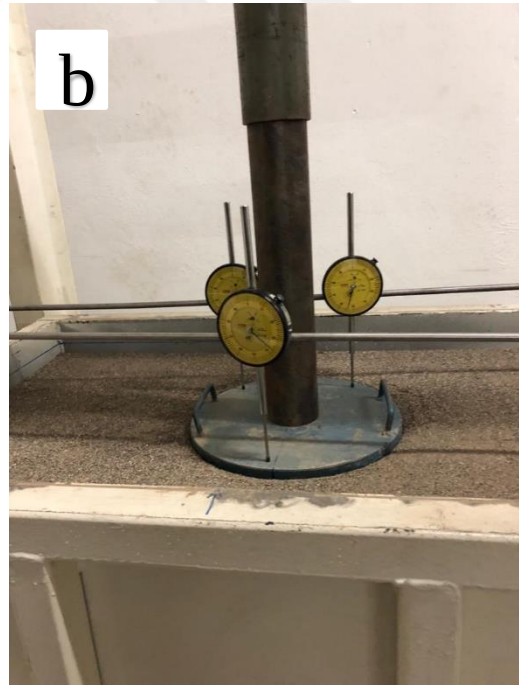


Resim 2.4. RD=%37 Geocell-60-1,0 kum (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-2. (devam) Kum deneylerine ait yükleme resimleri

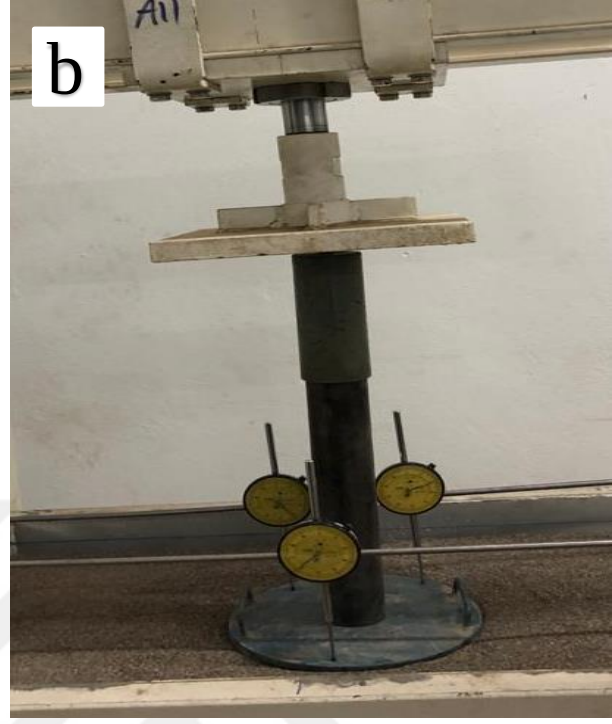


Resim 2.5. RD=%71 Geocell-60-1,0 kum (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

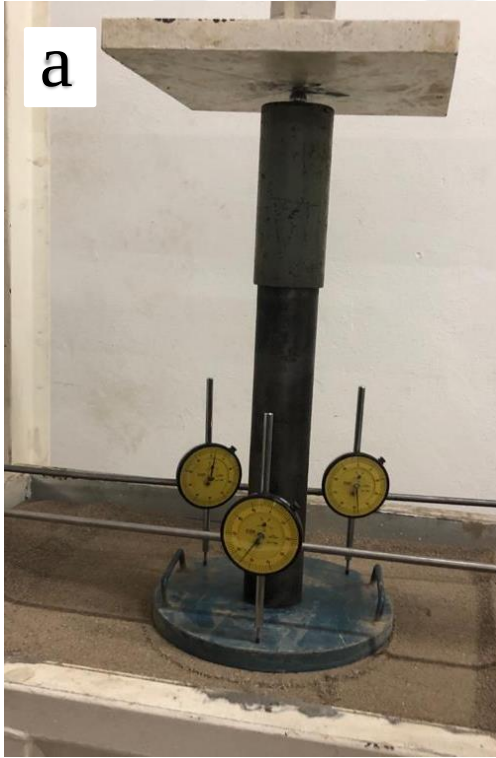


Resim 2.6. RD=%76 Geocell-60-1,0 kum (2.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-2. (devam) Kum deneylerine ait yükleme resimleri

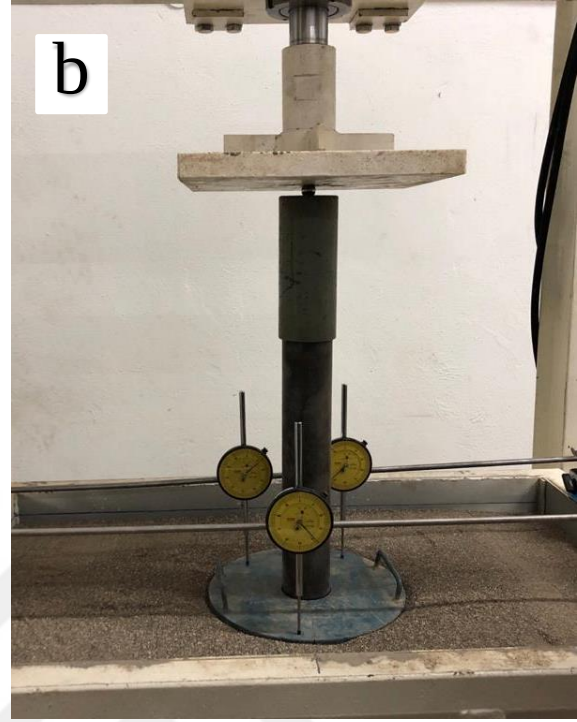


Resim 2.7. RD=%77 Geocell-60-2,0 kum (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

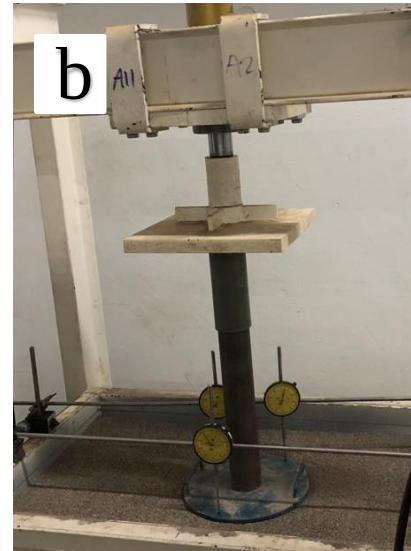
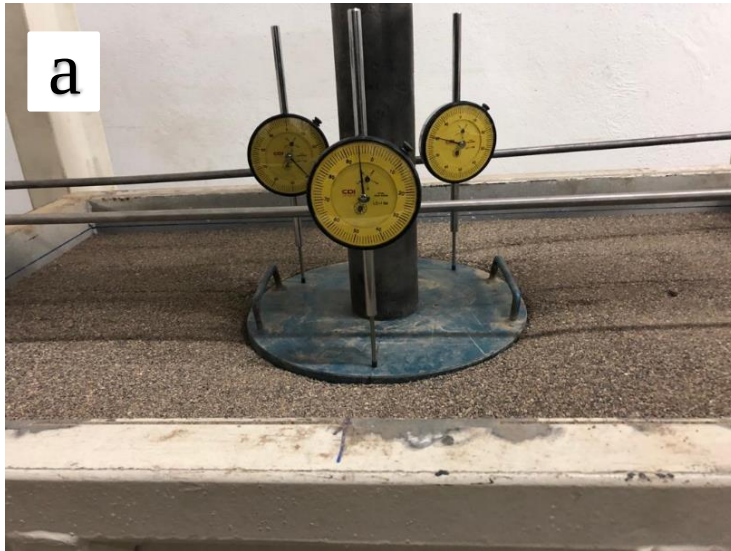


Resim 2.8. RD=%73 Geocell-60-2,0 kum (2.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-2. (devam) Kum deneylerine ait yükleme resimleri

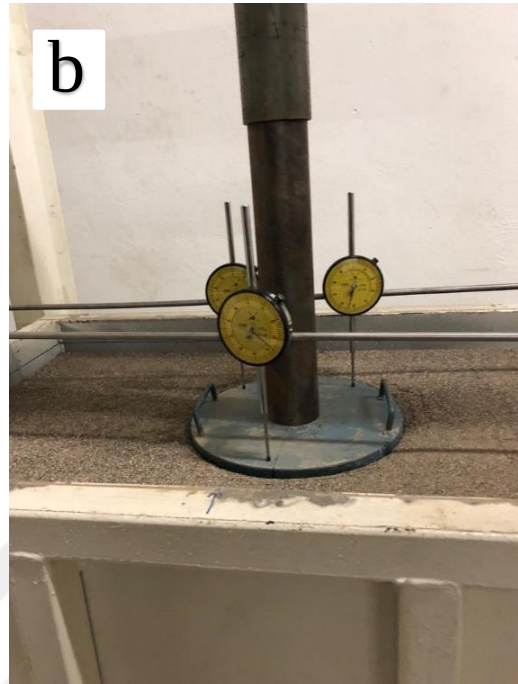
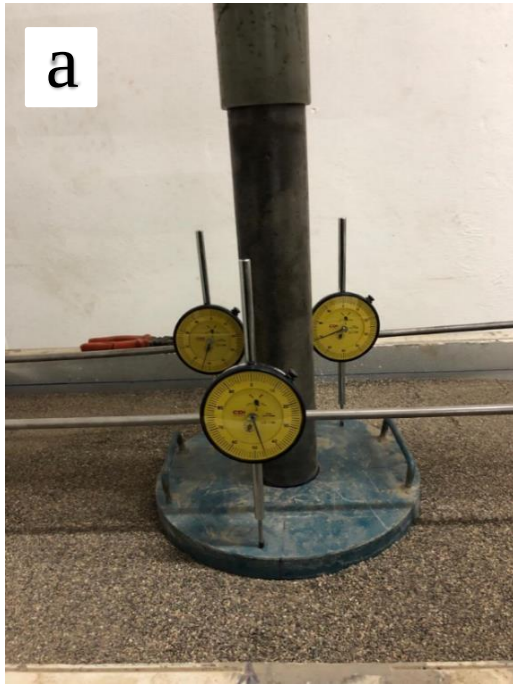


Resim 2.9. RD=%72 Geocell-40-1,5 kum (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

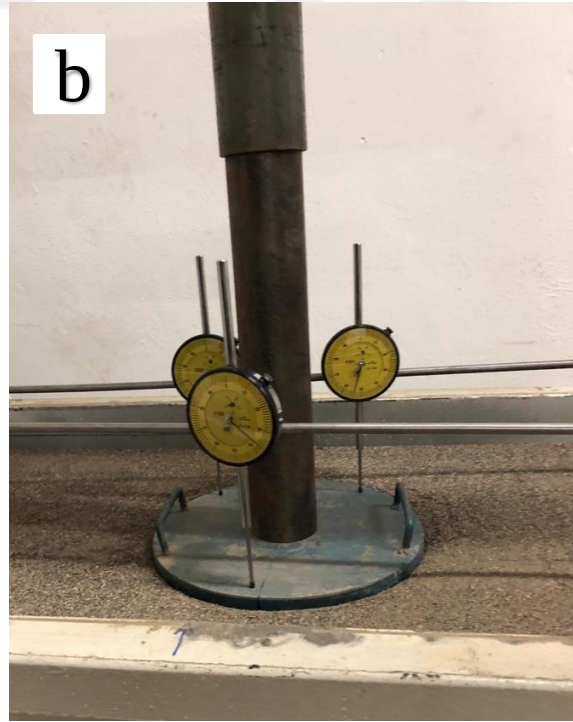


Resim 2.10. RD=%73 Geocell-40-1,5 kum (2.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-2. (devam) Kum deneylerine ait yükleme resimleri

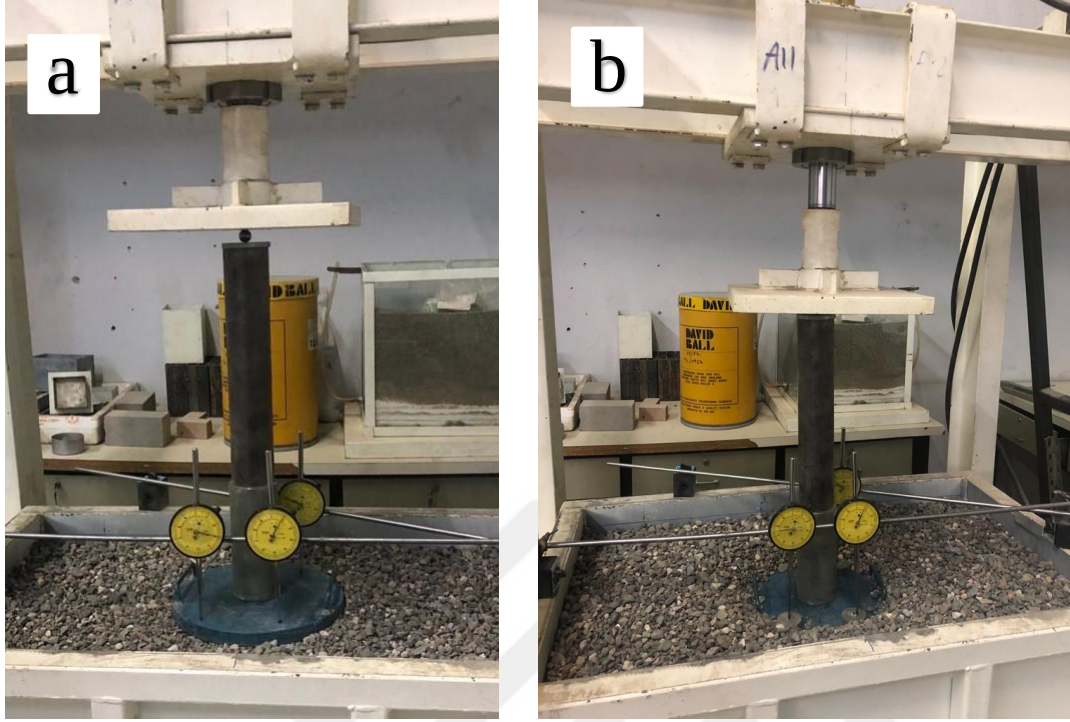


Resim 2.11. RD=%76 Geocell-33-1,5 kum (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

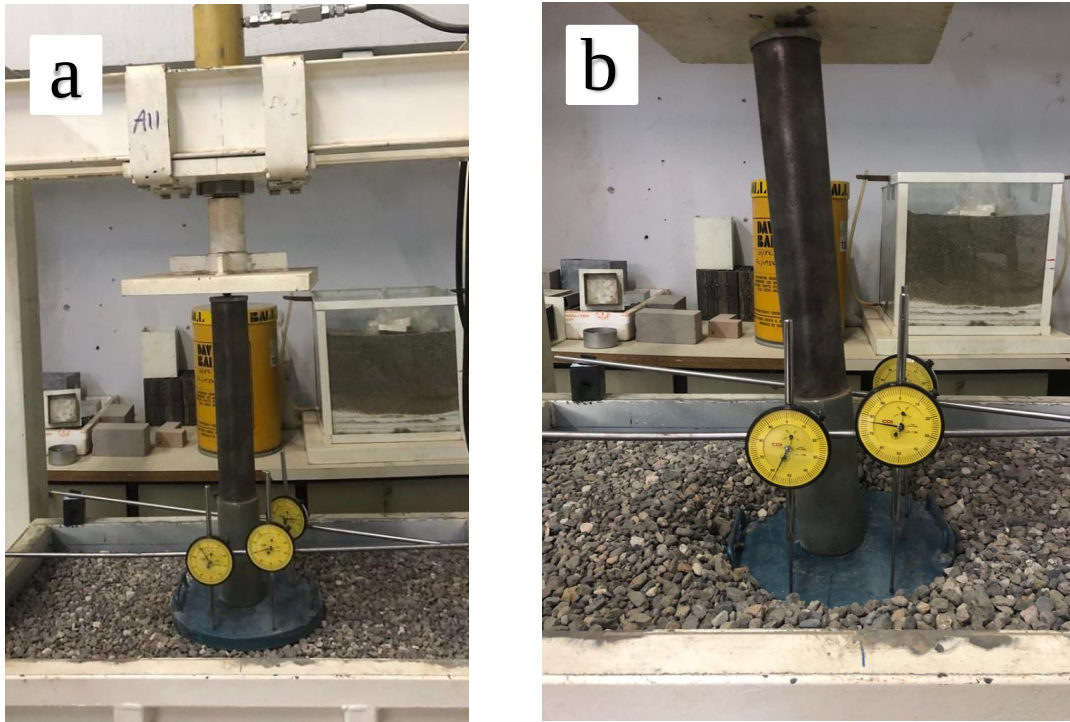


Resim 2.12. RD=%74 Geocell-33-1,5 kum (2.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-3. Çakıl deneylerine ait yükleme resimleri

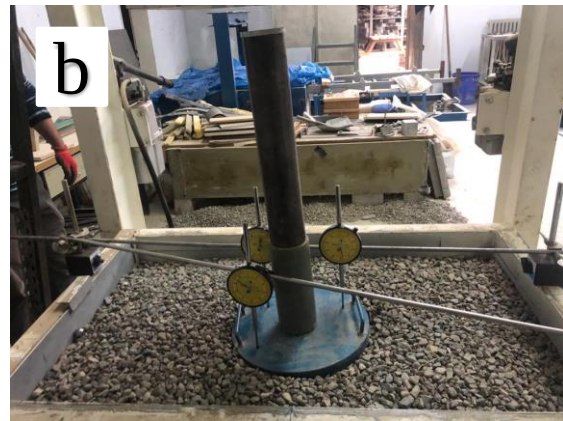


Resim 3.1. RD=%21 Geocellsiz çakıl: a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası



Resim 3.2. RD=%44 Geocellsiz çakıl: a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-3. (devam) Çakıl deneylerine ait yükleme resimleri

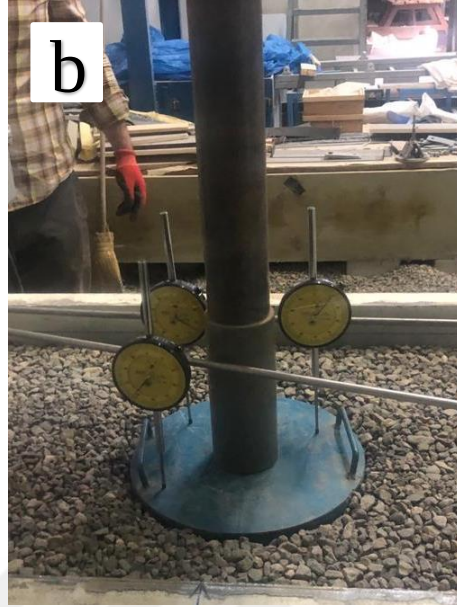


Resim 3.3. RD=%42 Geocell-60-2,0 çakıl (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

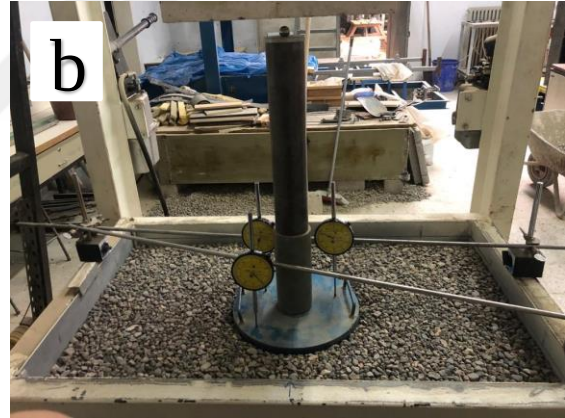


Resim 3.4. RD=%45 Geocell-60-2,0 çakıl (2.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

EK-3. (devam) Çakıl deneylerine ait yükleme resimleri



Resim 3.5. RD=%44 Geocell-33-1,5 çakıl (1.tabaka): a) yükleme öncesi, b) yükleme sonrası

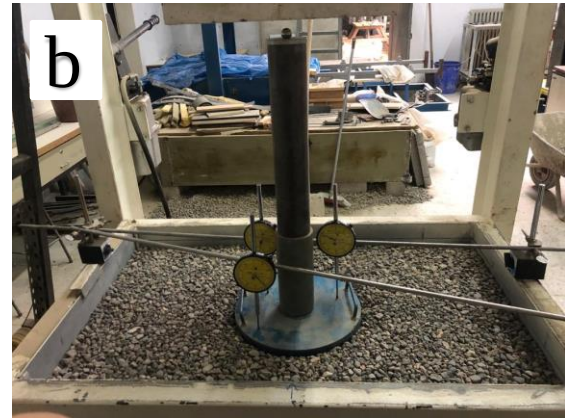


Resim 3.6. RD=%46 Geocell-33-1,5 çakıl (2.tabaka): a) yükleme öncesi,
b) yükleme sonrası

EK-3. (devam) akıl deneylerine ait yükleme resimleri



Resim 3.7. RD=%66 Geocell-33-1,5 akıl (1.tabaka): a) yükleme öncesi,
b) yükleme sonrası



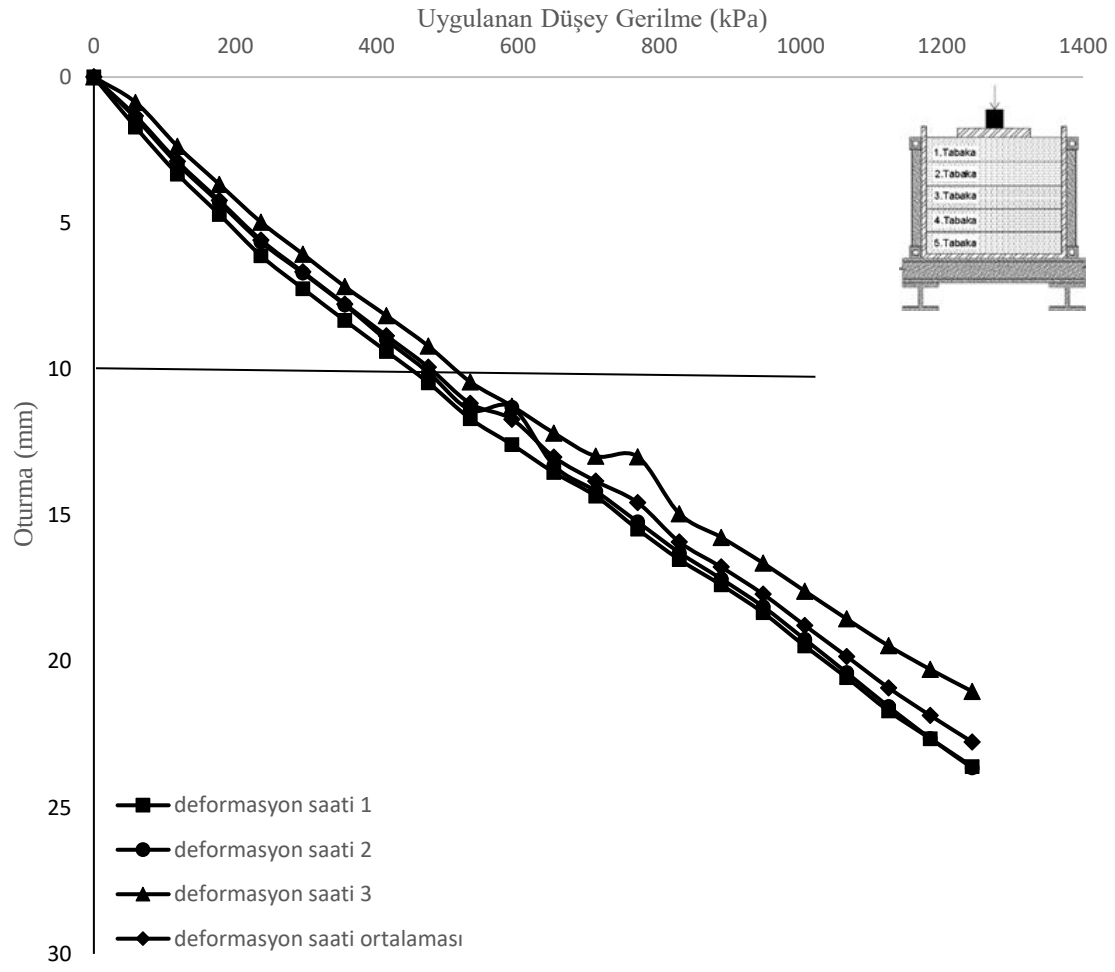
Resim 3.8. RD=%66 Geocell-33-1,5 akıl (2.tabaka): a) yükleme öncesi,
b) yükleme sonrası

EK-4. Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



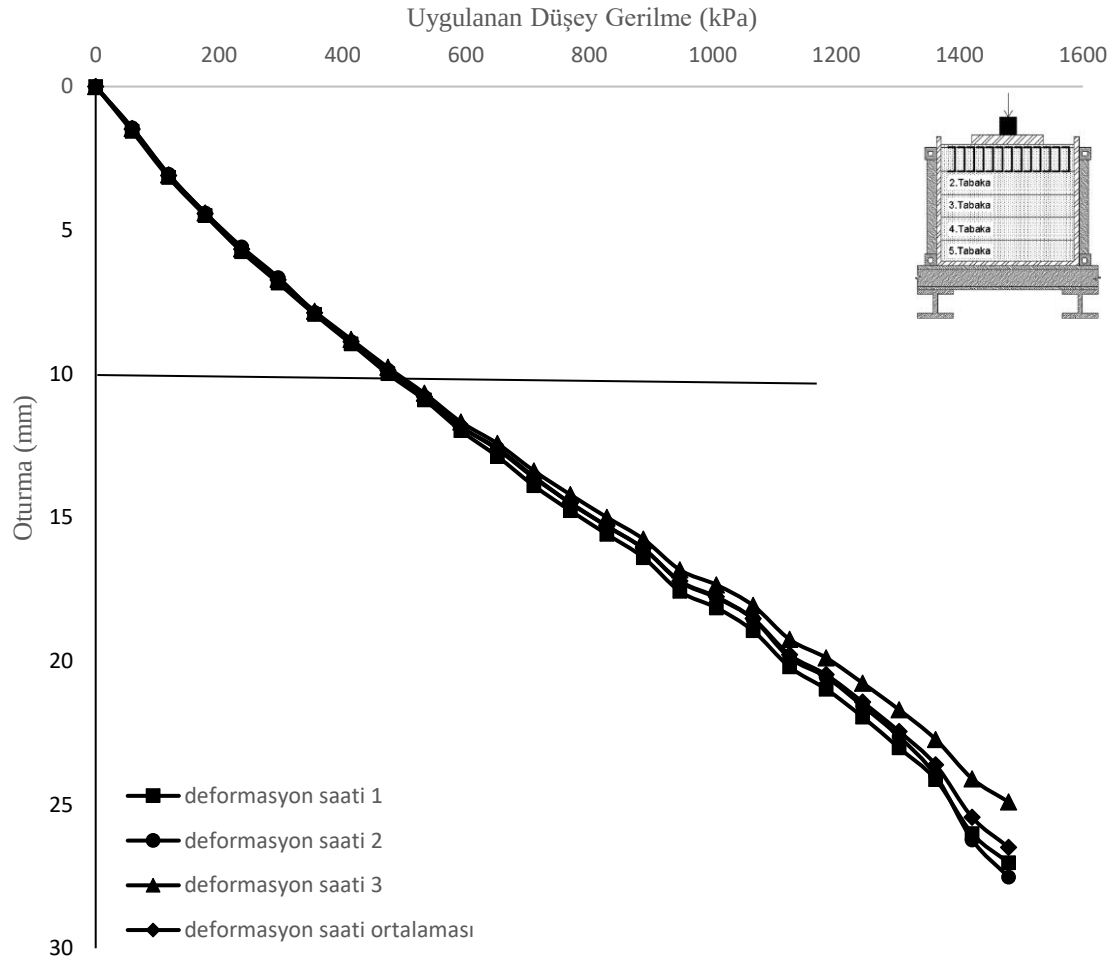
Şekil 4.1. RD=%34 Geocellsiz deney

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



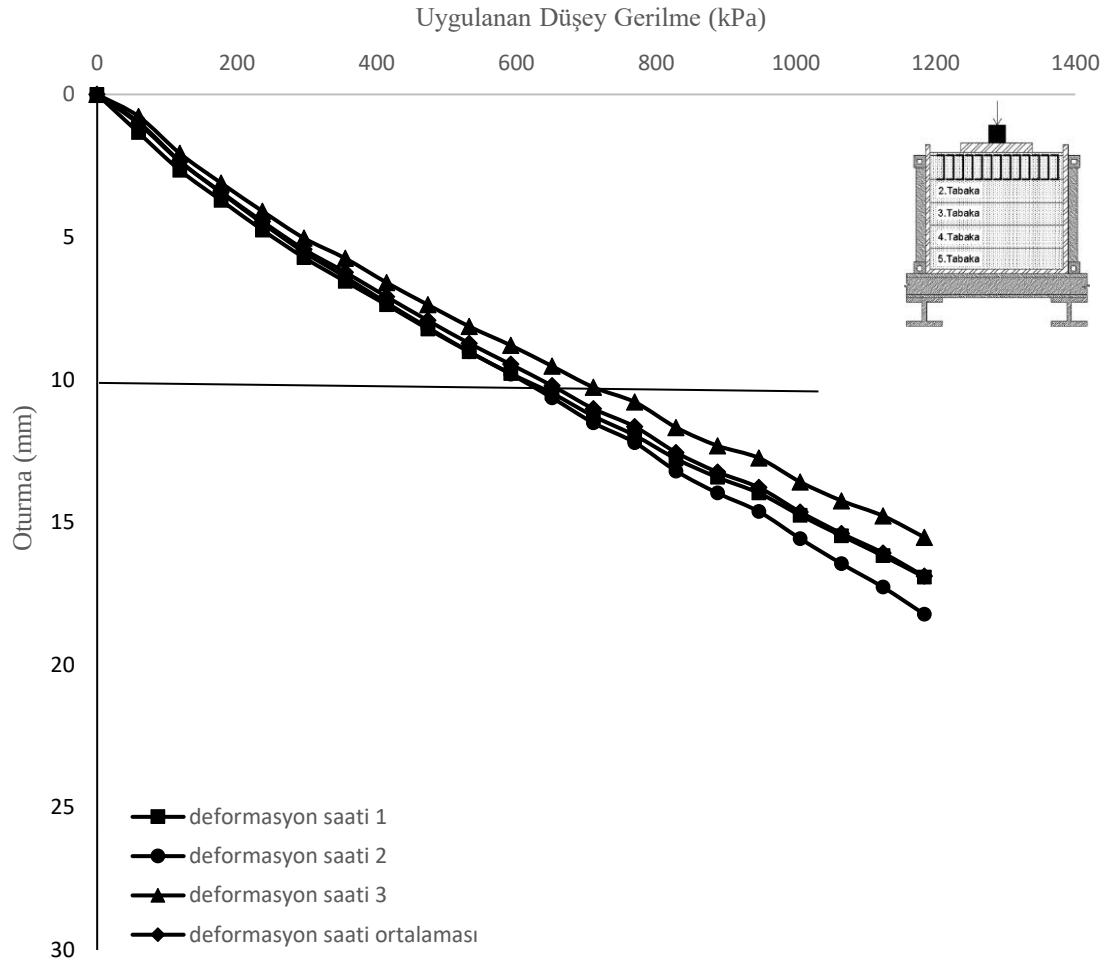
Şekil 4.2. RD=%74 Geocellsiz deney

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



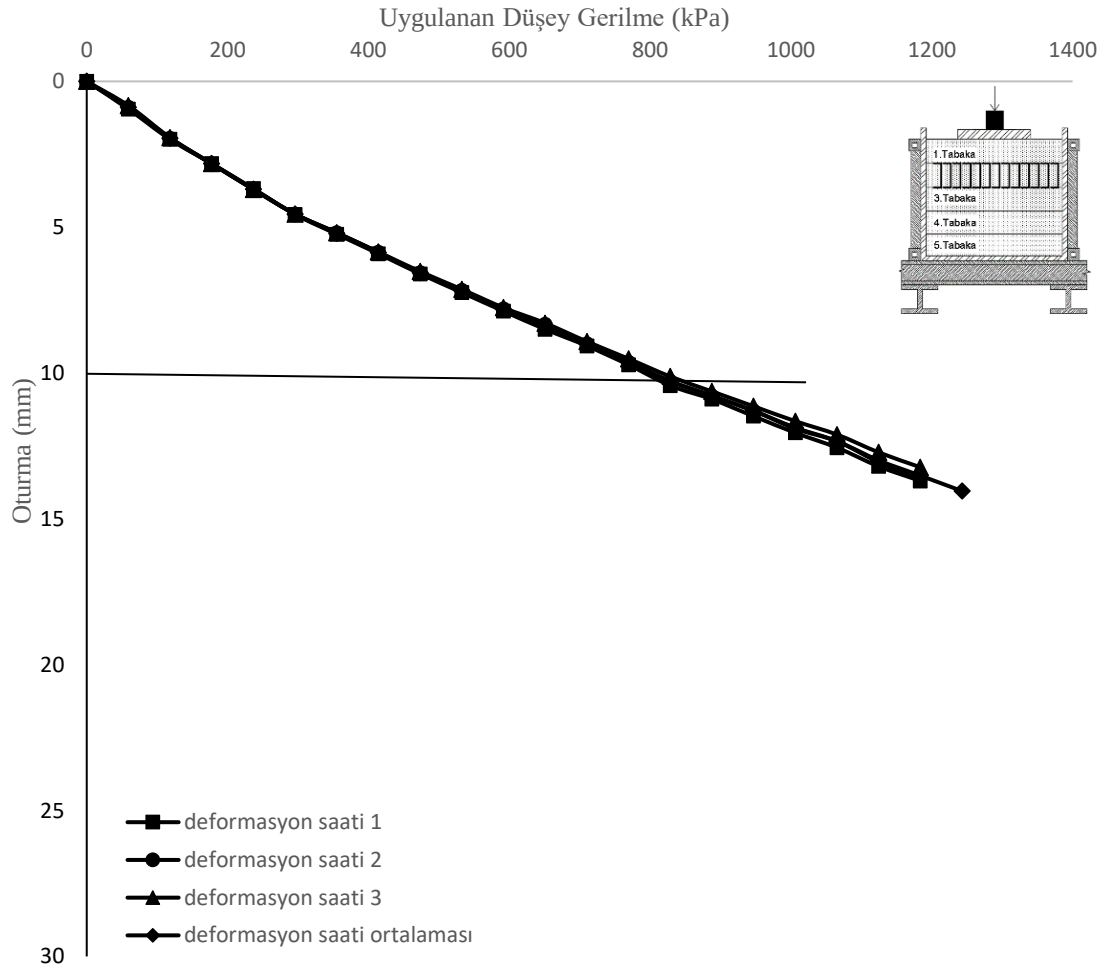
Şekil 4.3. RD=%37 Geocell-60-1,0 (1.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



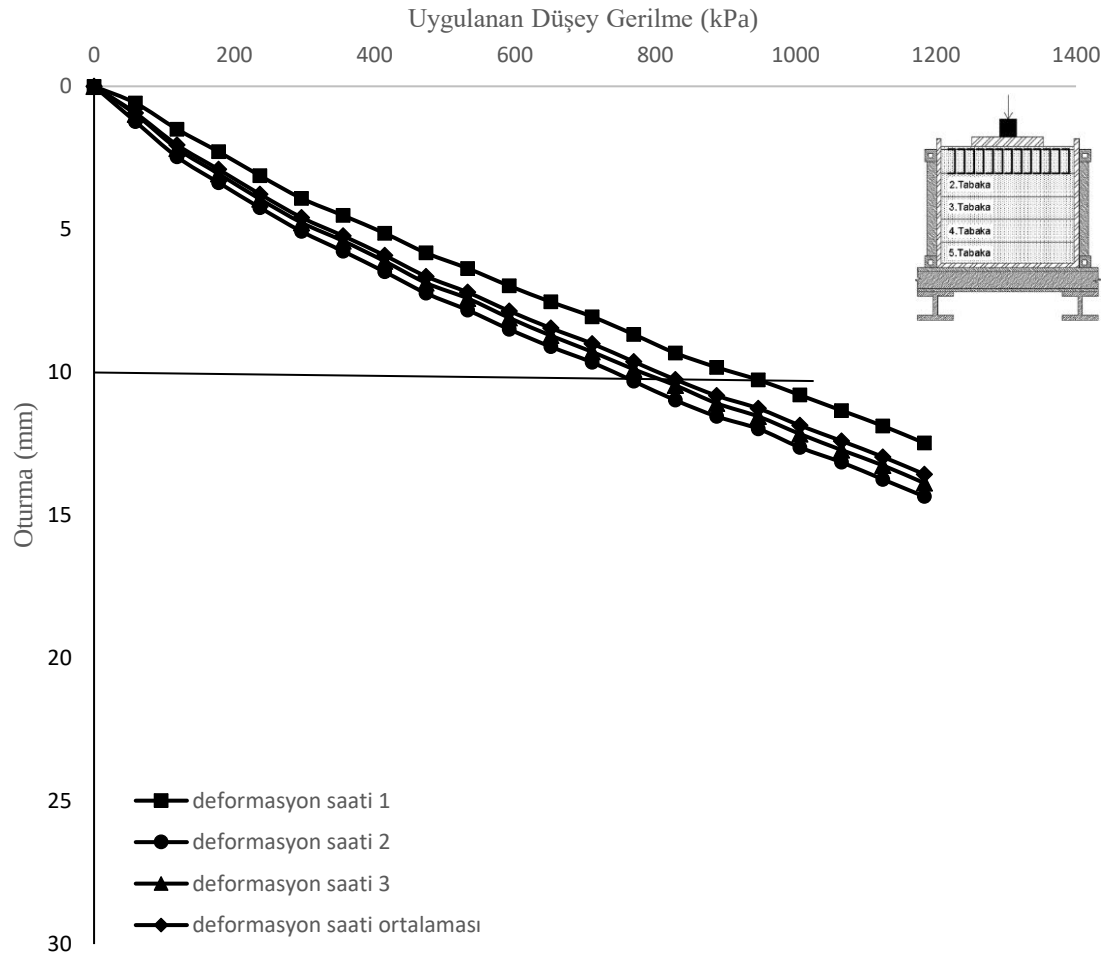
Şekil 4.4. RD=%71 Geocell-60-1,0 (1.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



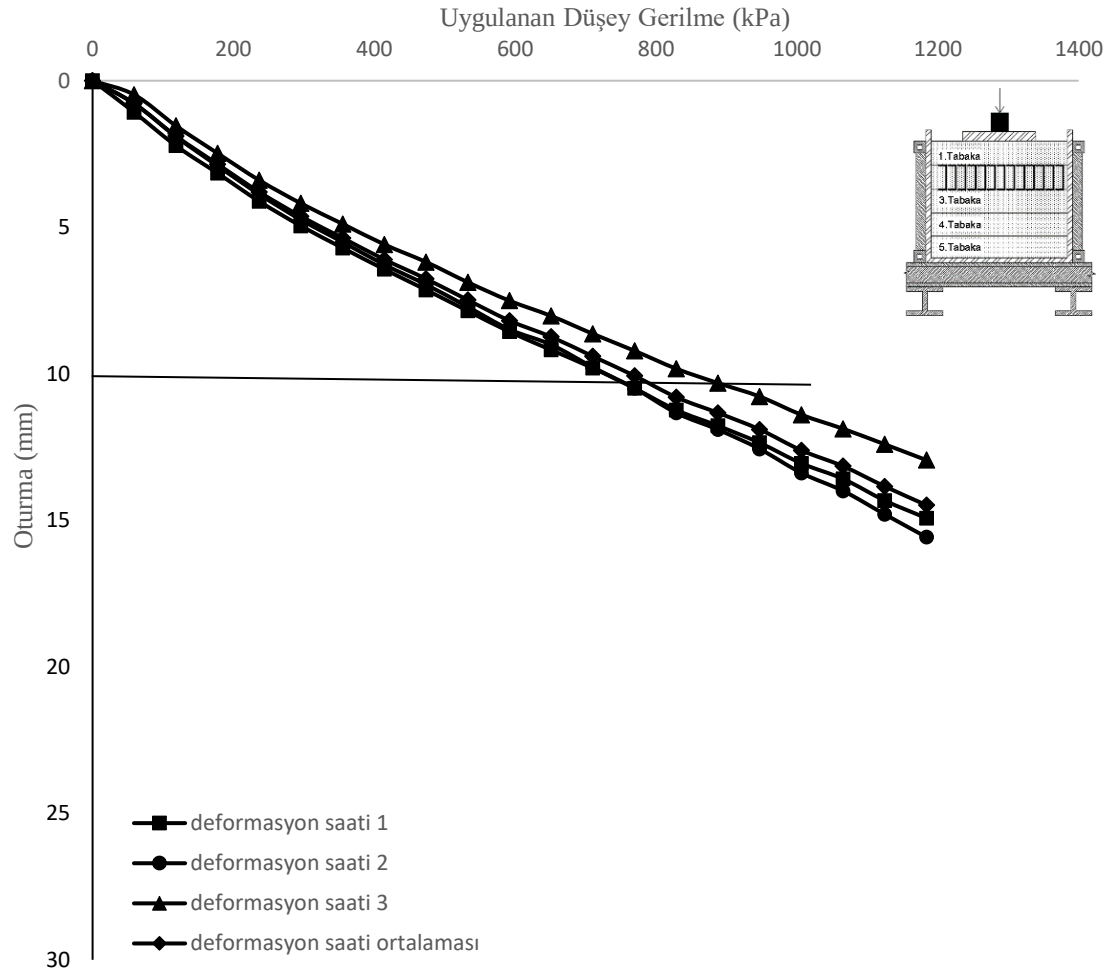
Şekil 4.5. RD=%76,4 Geocell-60-1,0 (2.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



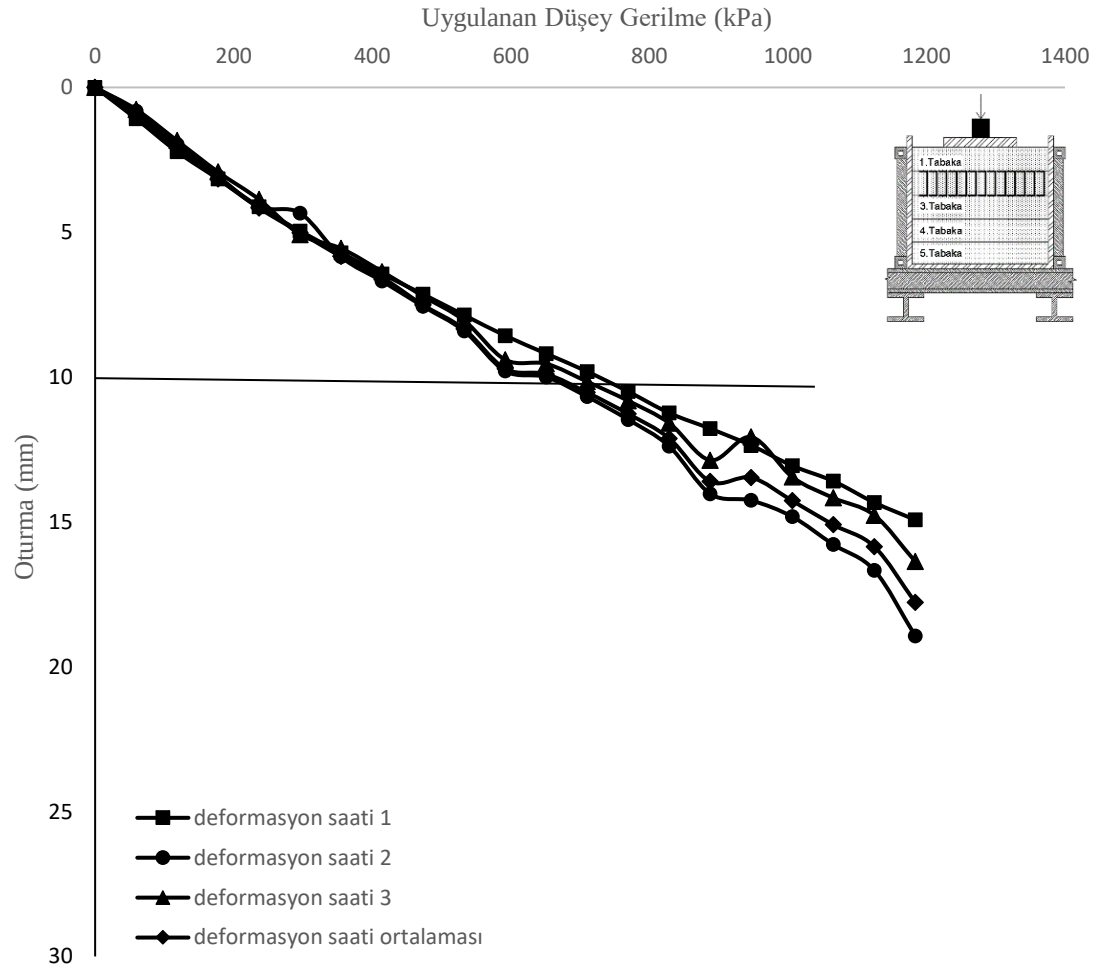
Şekil 4.6. RD=%77,2 Geocell-60-2,0 (1.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



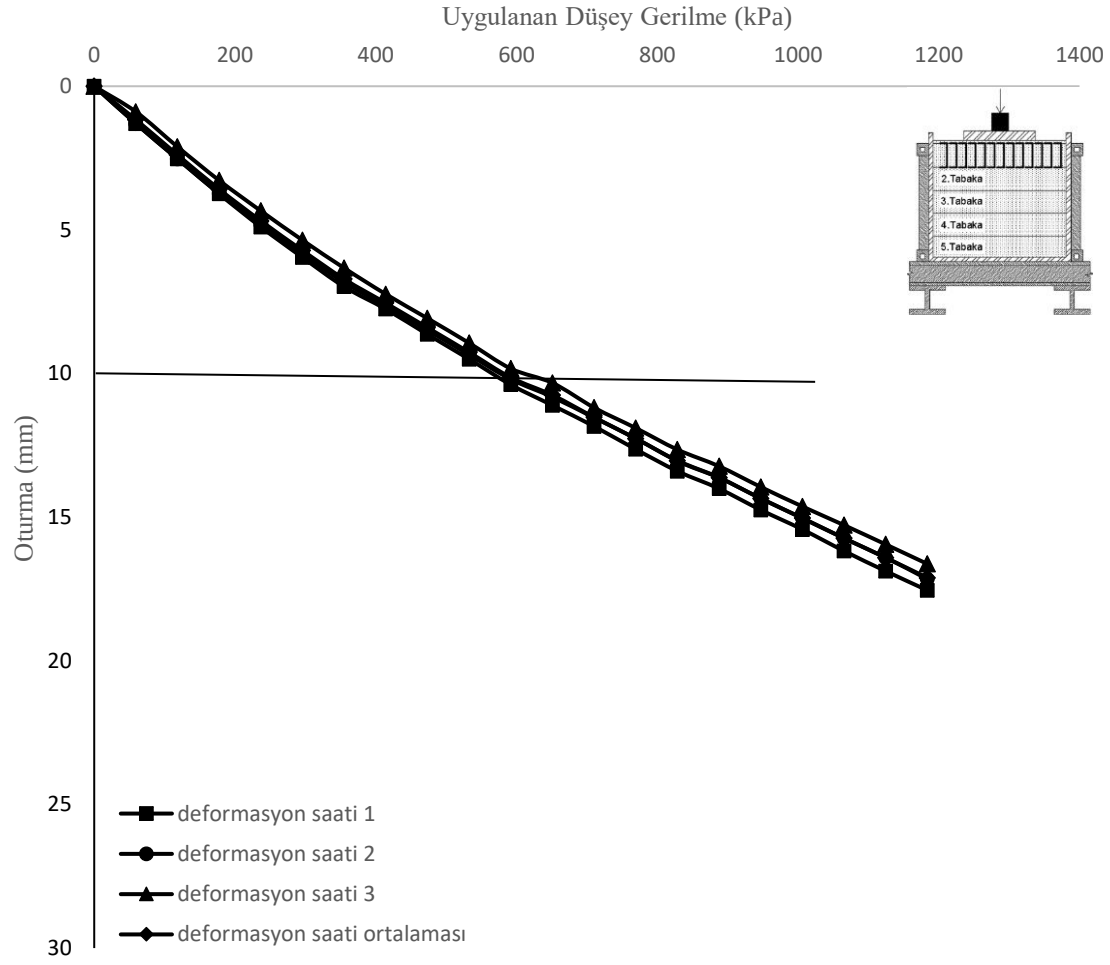
Şekil 4.7. RD=%72,9 Geocell-60-2,0 (2.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



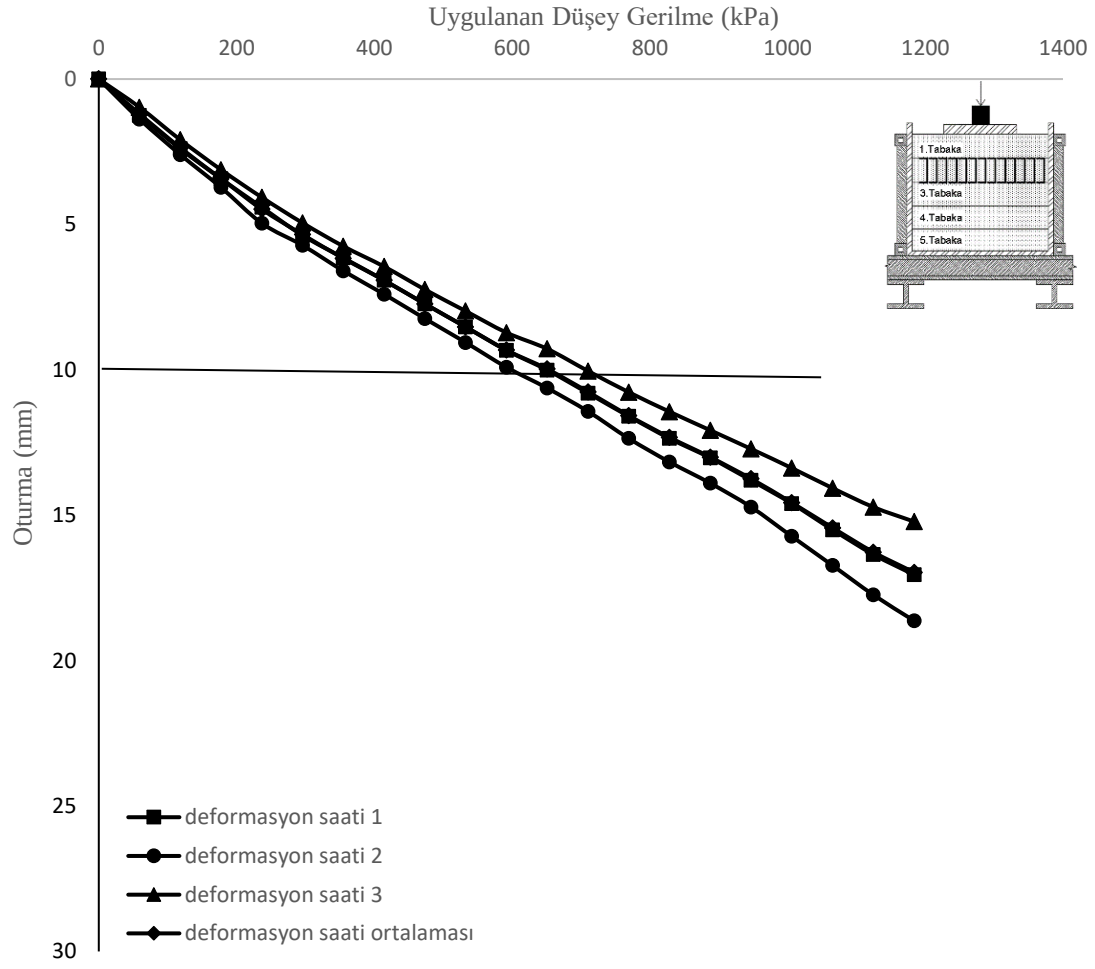
Şekil 4.8. RD=%77 Geocell-60-2,0 (2.tabaka) deneyi- yavaş

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



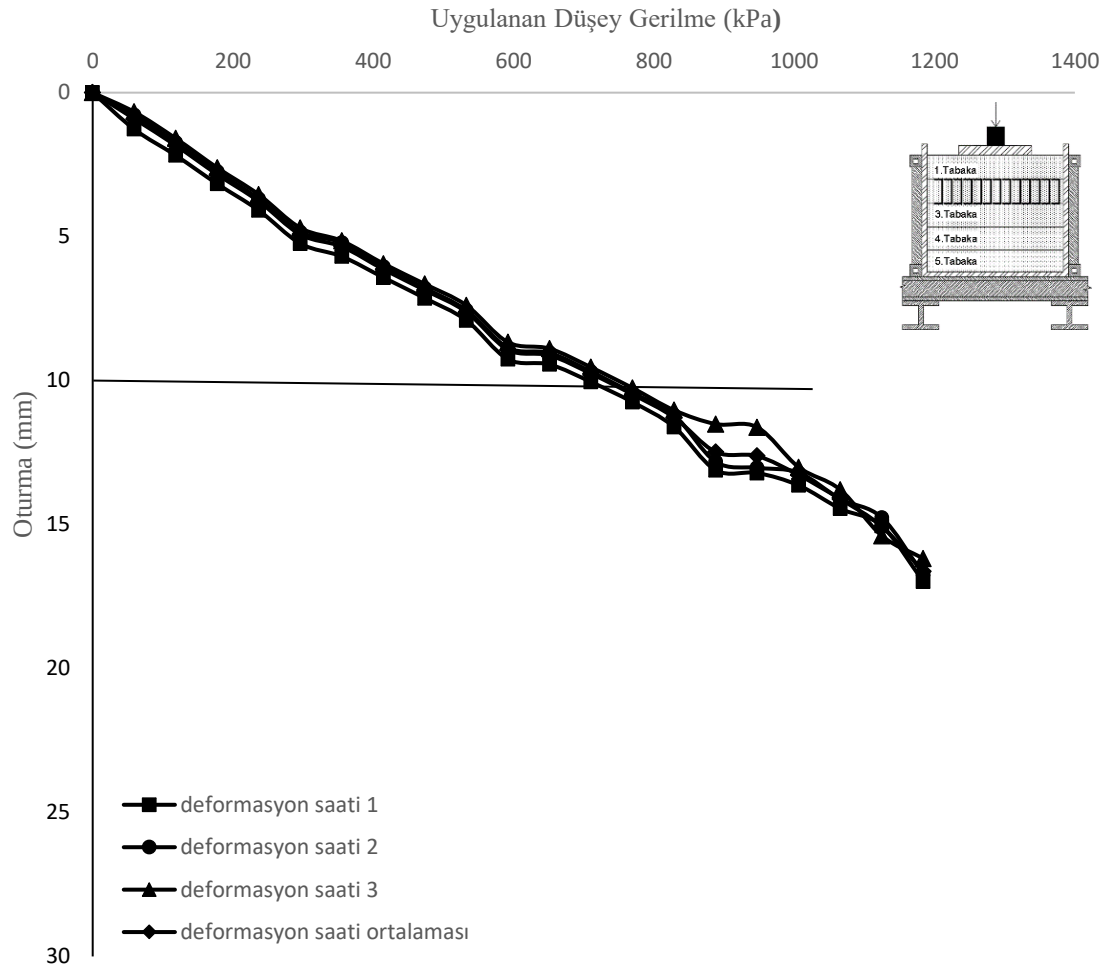
Şekil 4.9. RD=%71,5 Geocell-40-1,5 (1.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



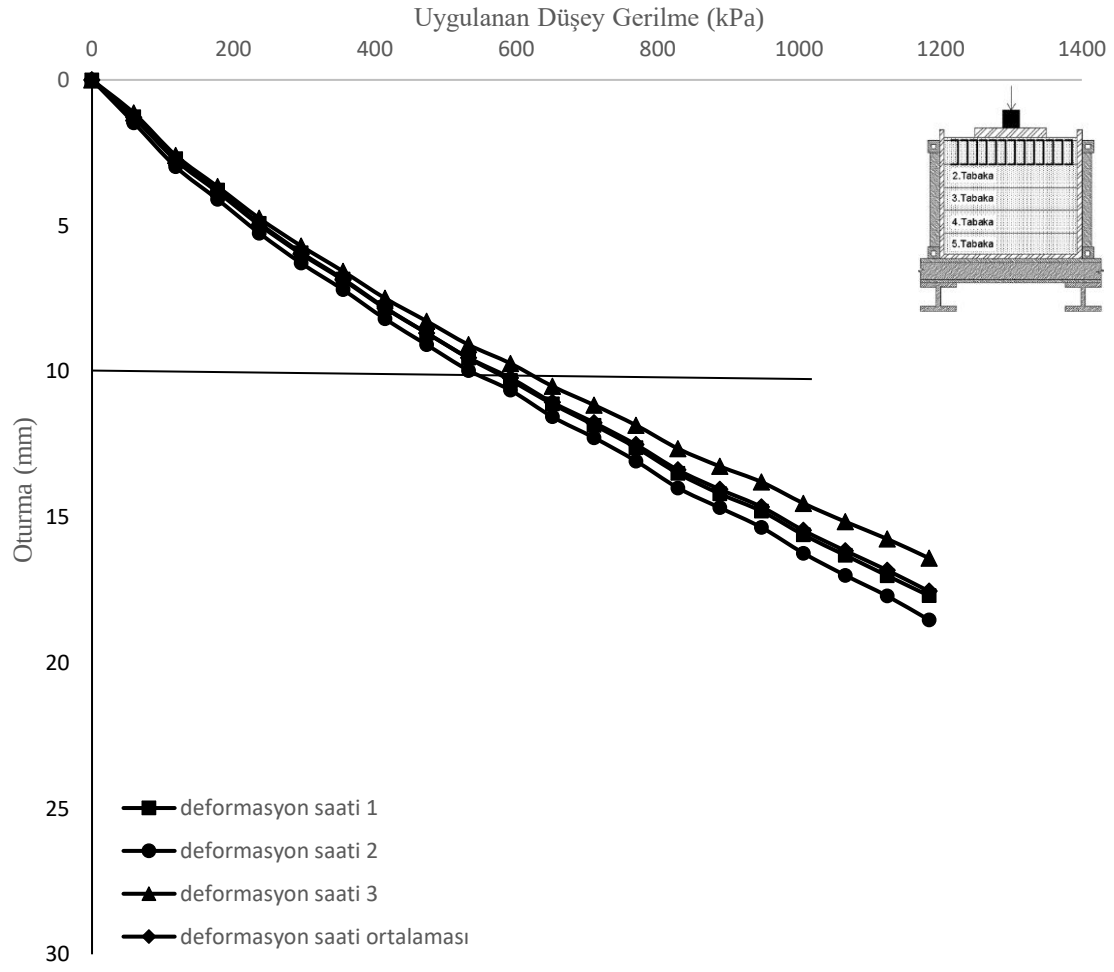
Şekil 4.10. RD=%73,2 Geocell-40-1,5 (2.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



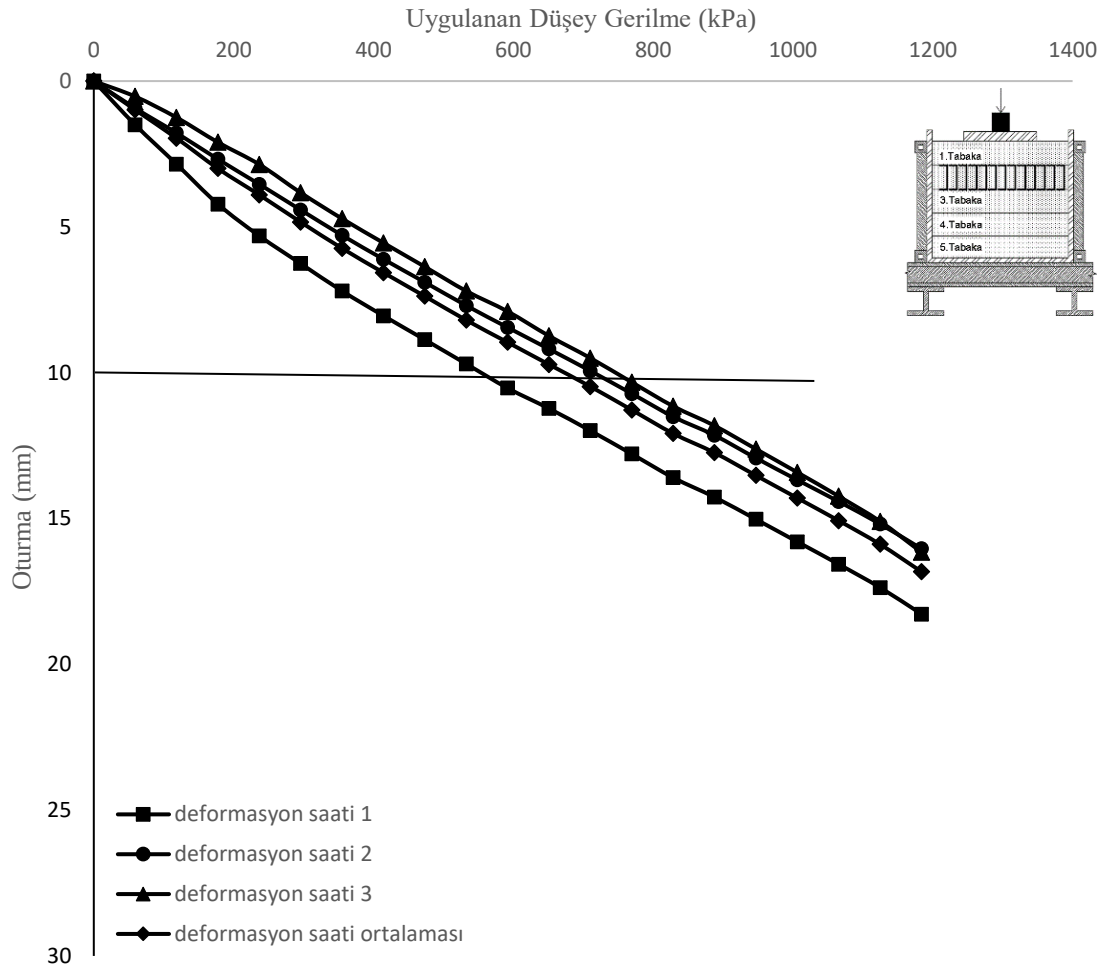
Şekil 4.11. RD=%74,5 Geocell-40-1,5 (2.tabaka) deneyi- yavaş

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



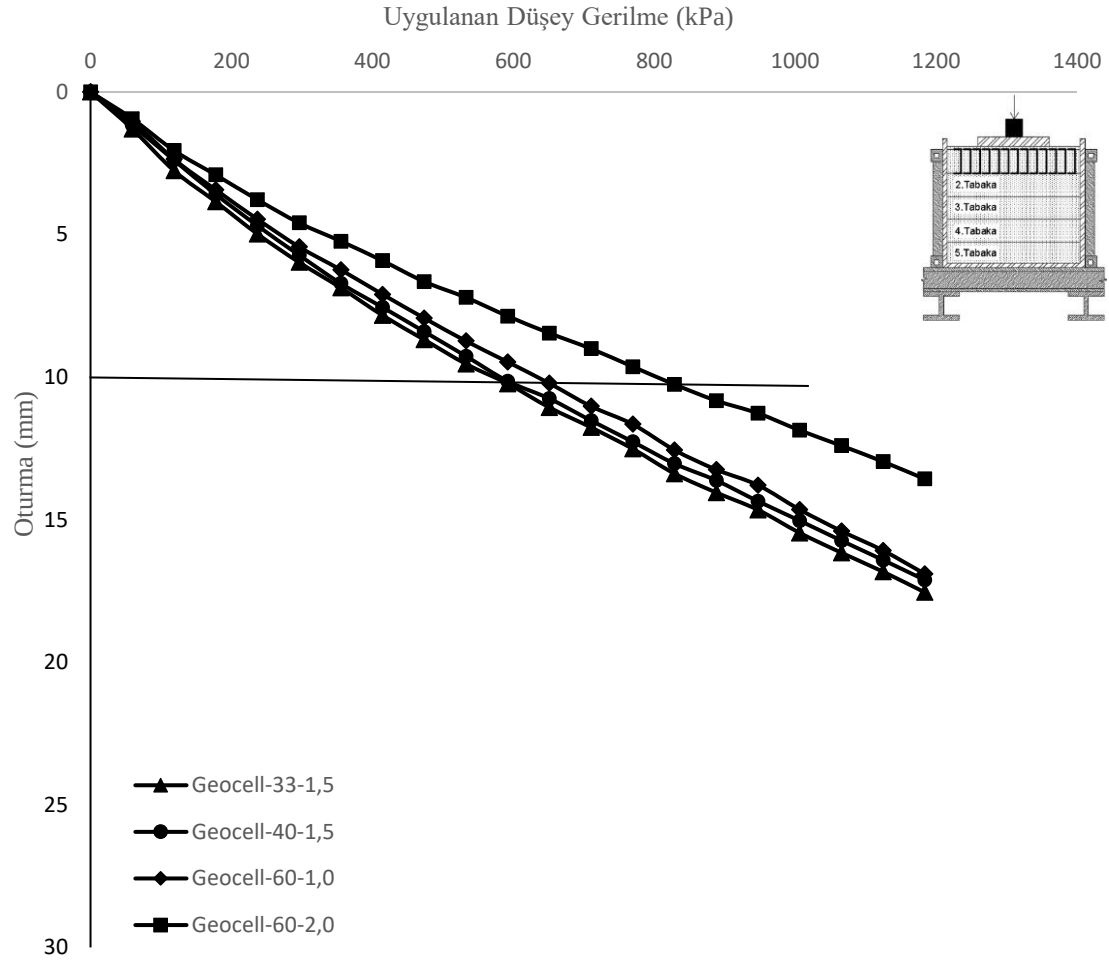
Şekil 4.12. RD=%76,1 Geocell-33-1,5 (1.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



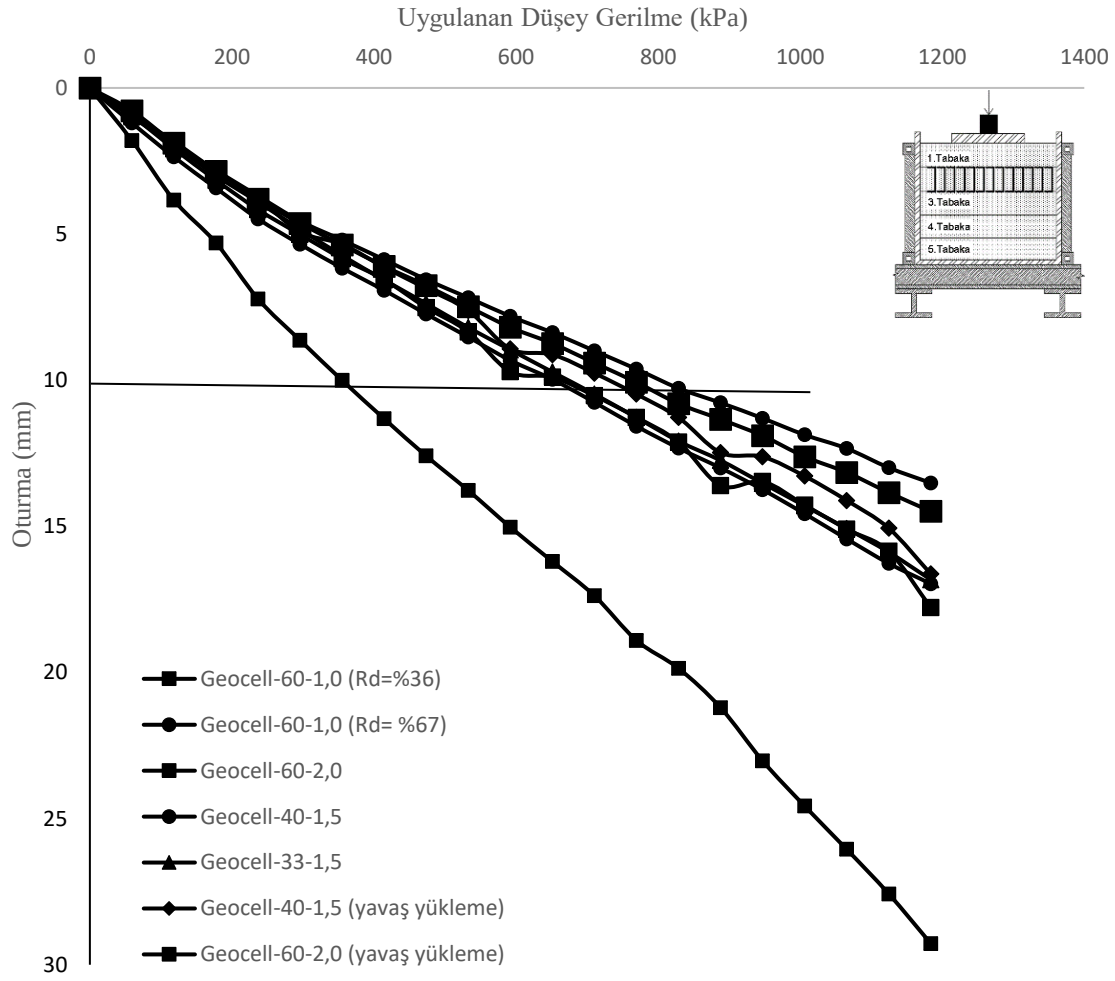
Şekil 4.13. RD=%74,3 Geocell-33-1,5 (2.tabaka) deneyi

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



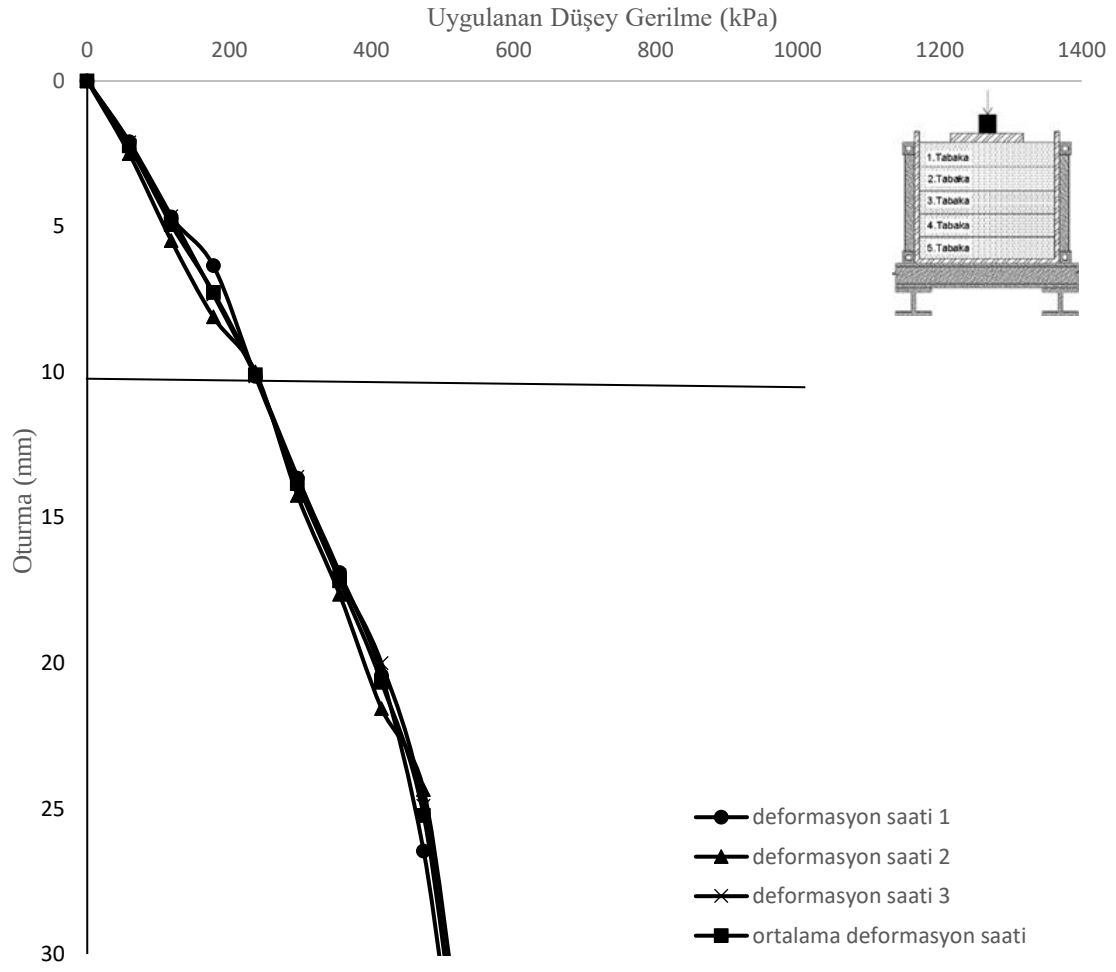
Şekil 4.14. 1. tabakaya yerleştirilen farklı boyutlarda geocelllerin karşılaştırılmalı uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

EK-4. (devam) Kum deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



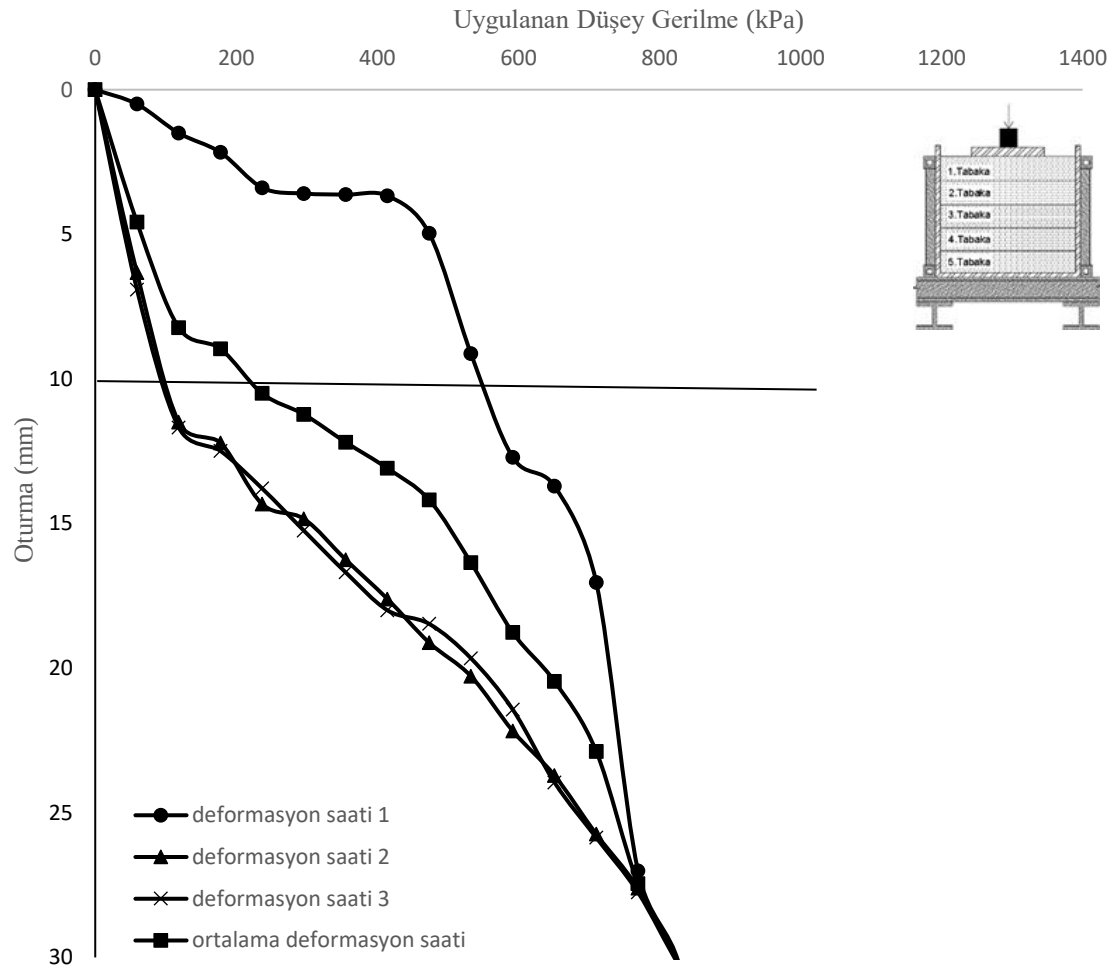
Şekil 4.15. 2. tabakaya yerleştirilen farklı boyutlarda geocelllerin karşılaştırılmalı uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

EK-5. Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



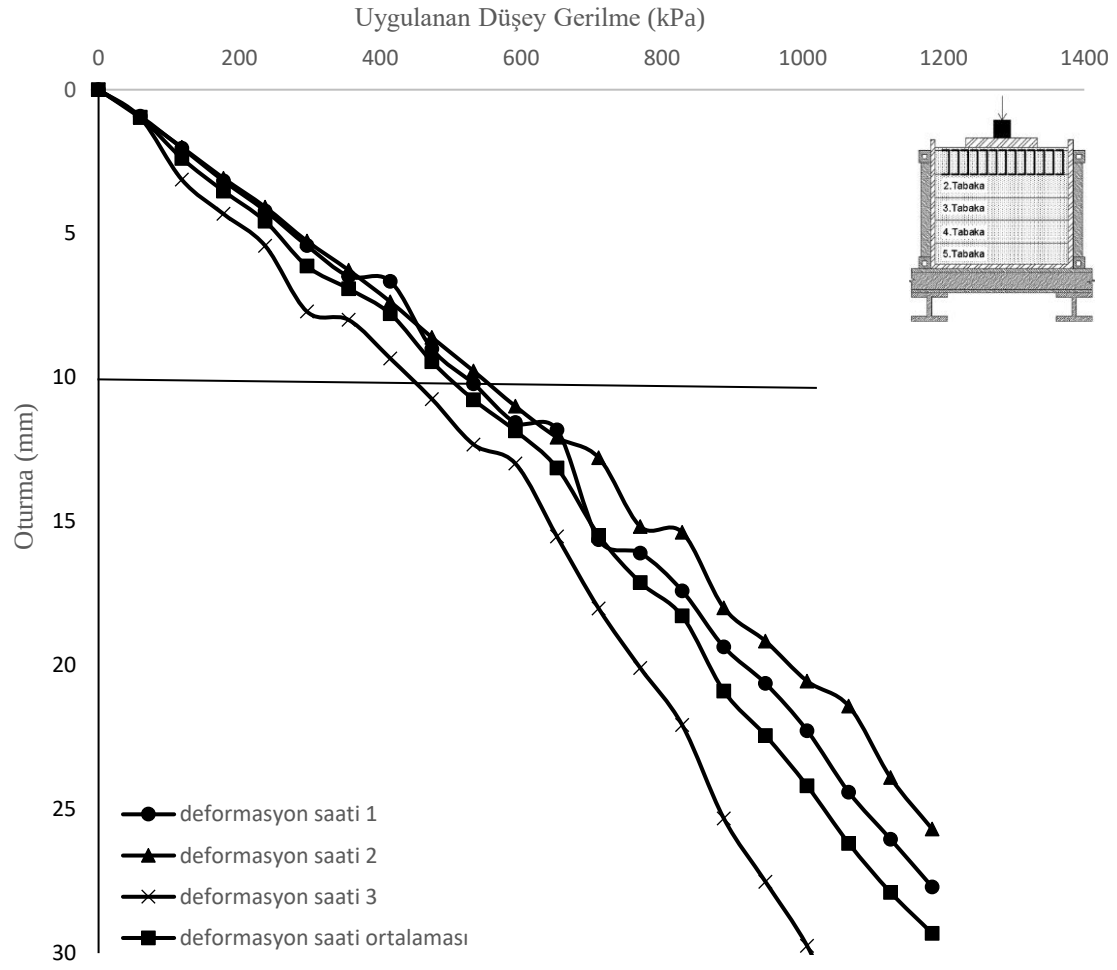
Şekil 5.1. RD=%21 Geocellsiz deney

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



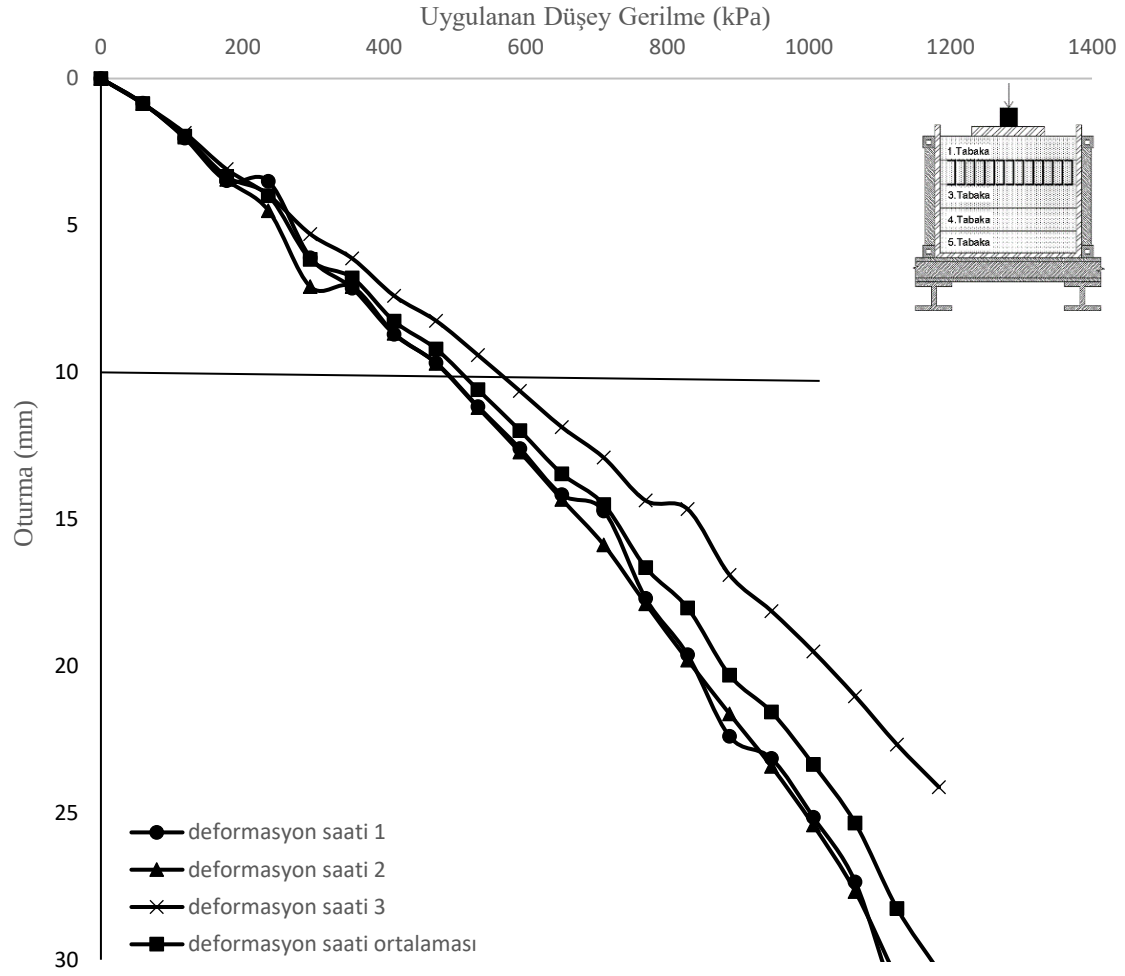
Şekil 5.2. RD=%44 Geocellsiz deney

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



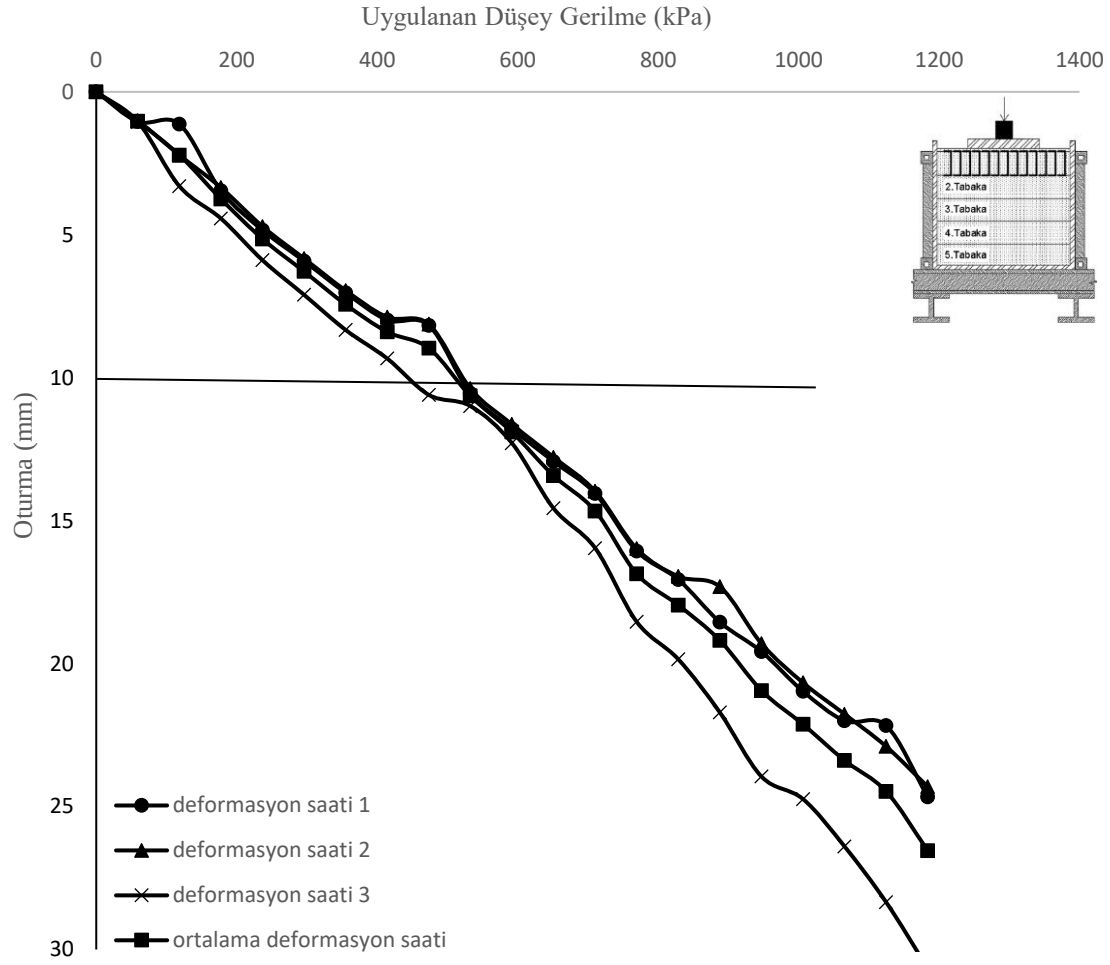
Şekil 5.3. RD=%42 Geocell-60-2,0 (1.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



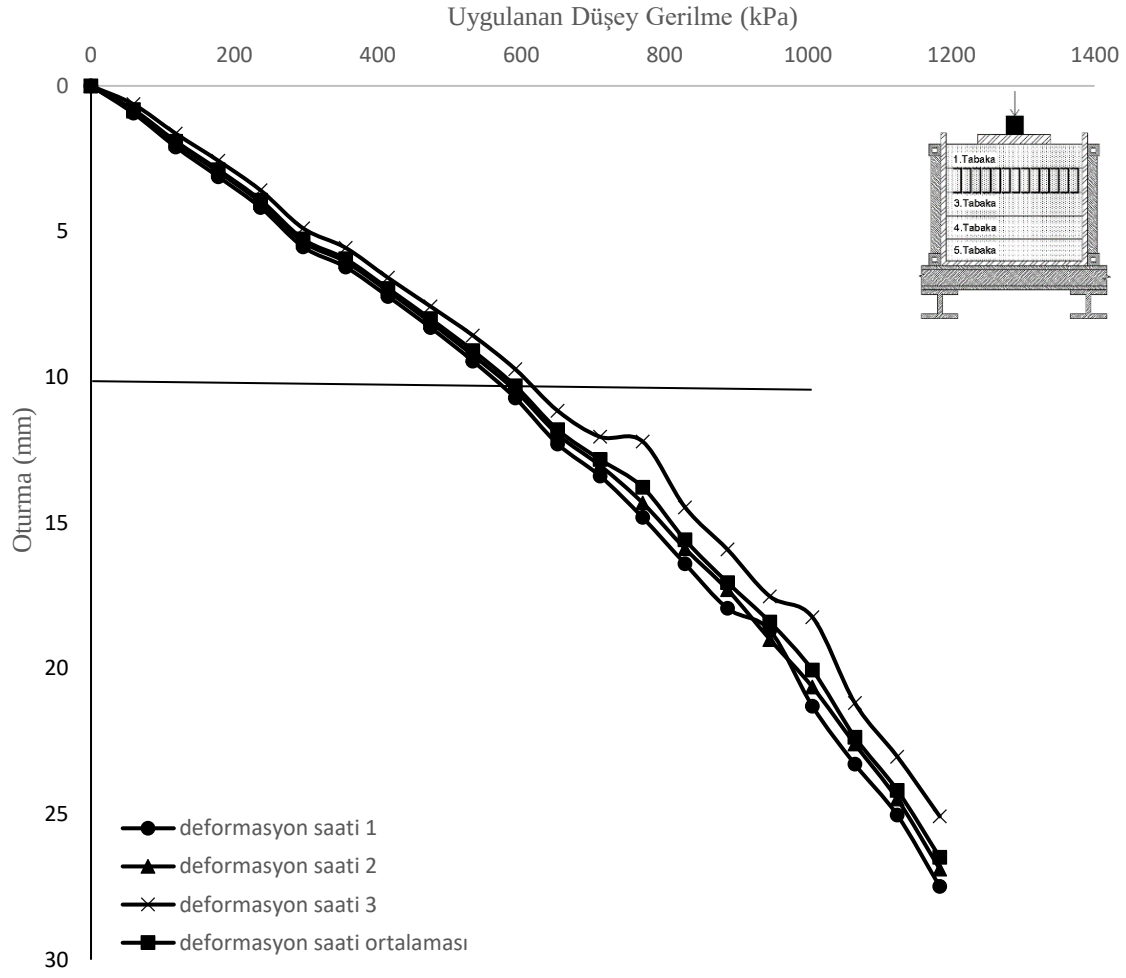
Şekil 5.4. RD=%45 Geocell-60-2,0 (2.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



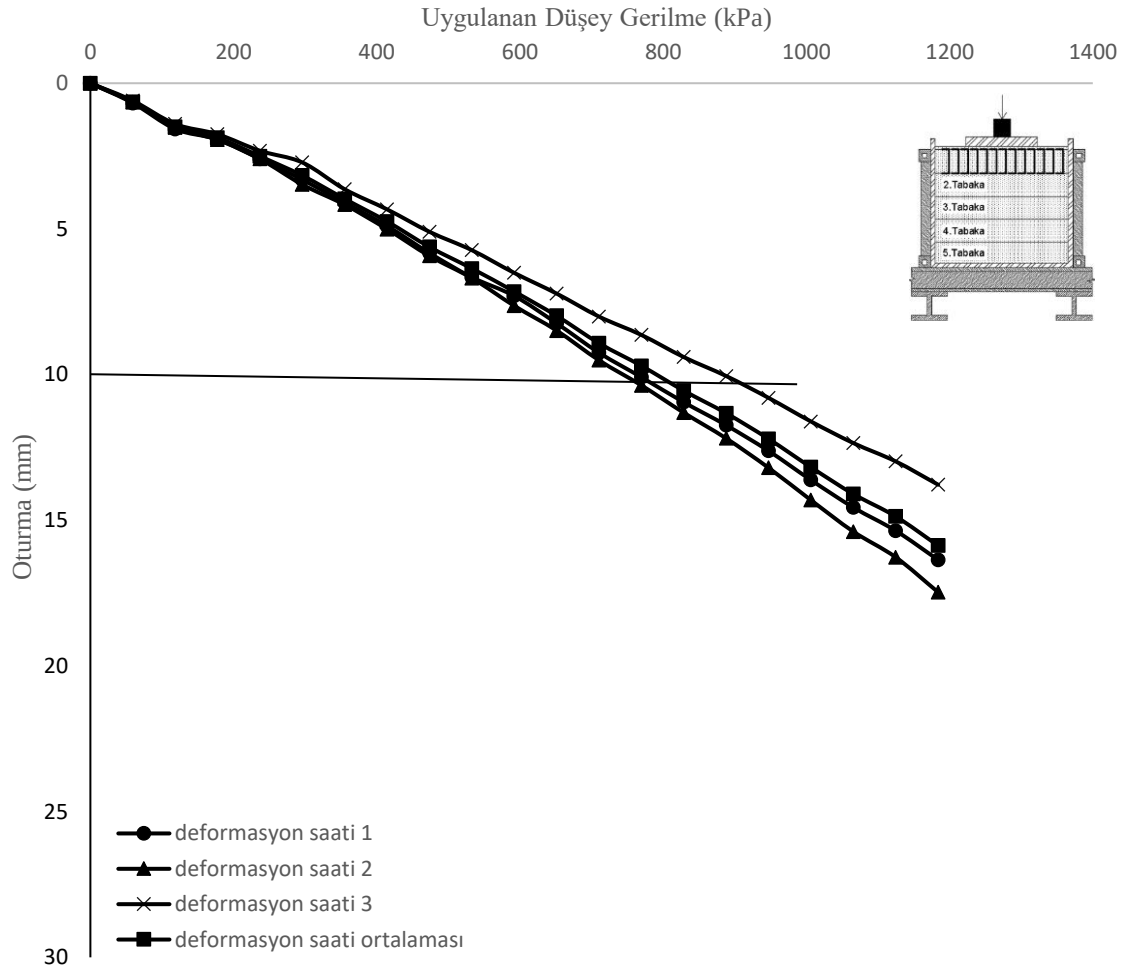
Şekil 5.5. RD=%43 Geocell-33-1,5 (1.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



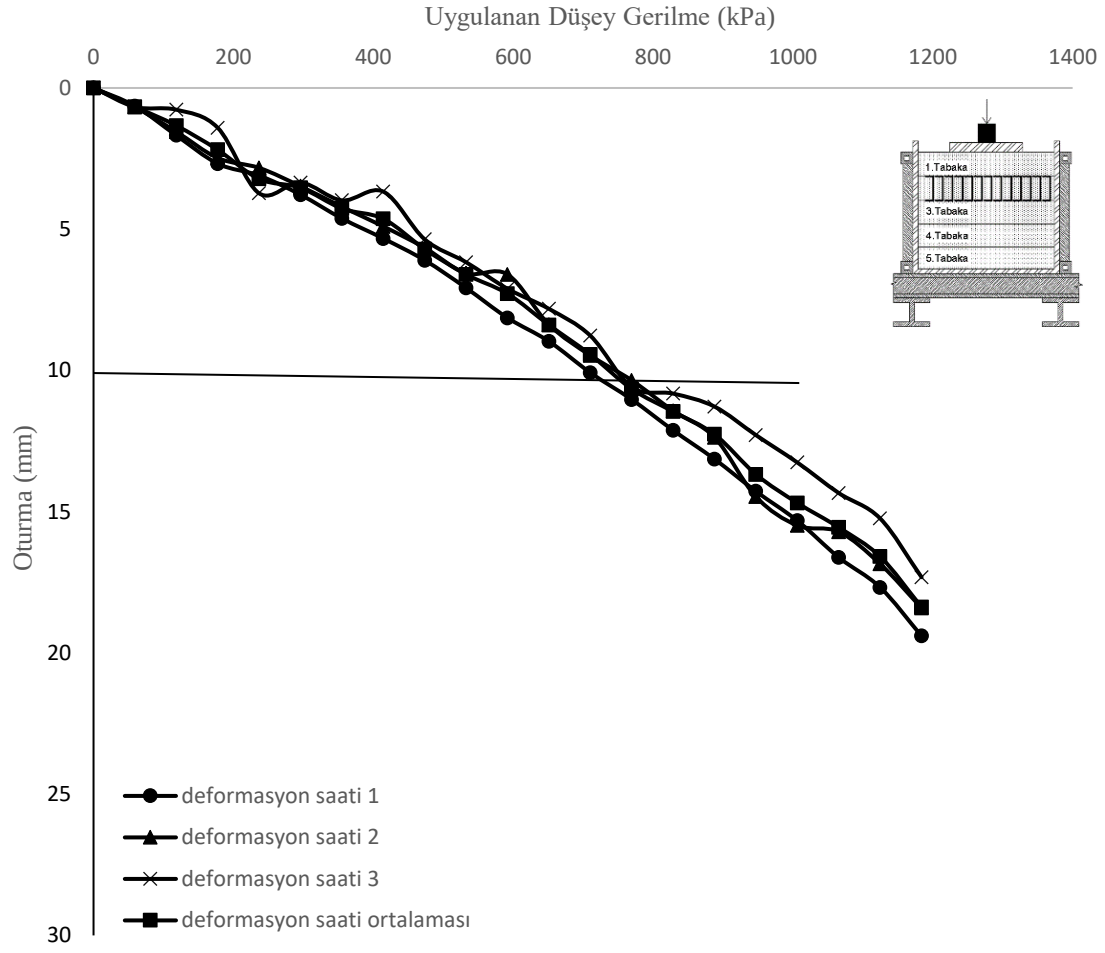
Şekil 5.6. RD=%45 Geocell-33-1,5 (2.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



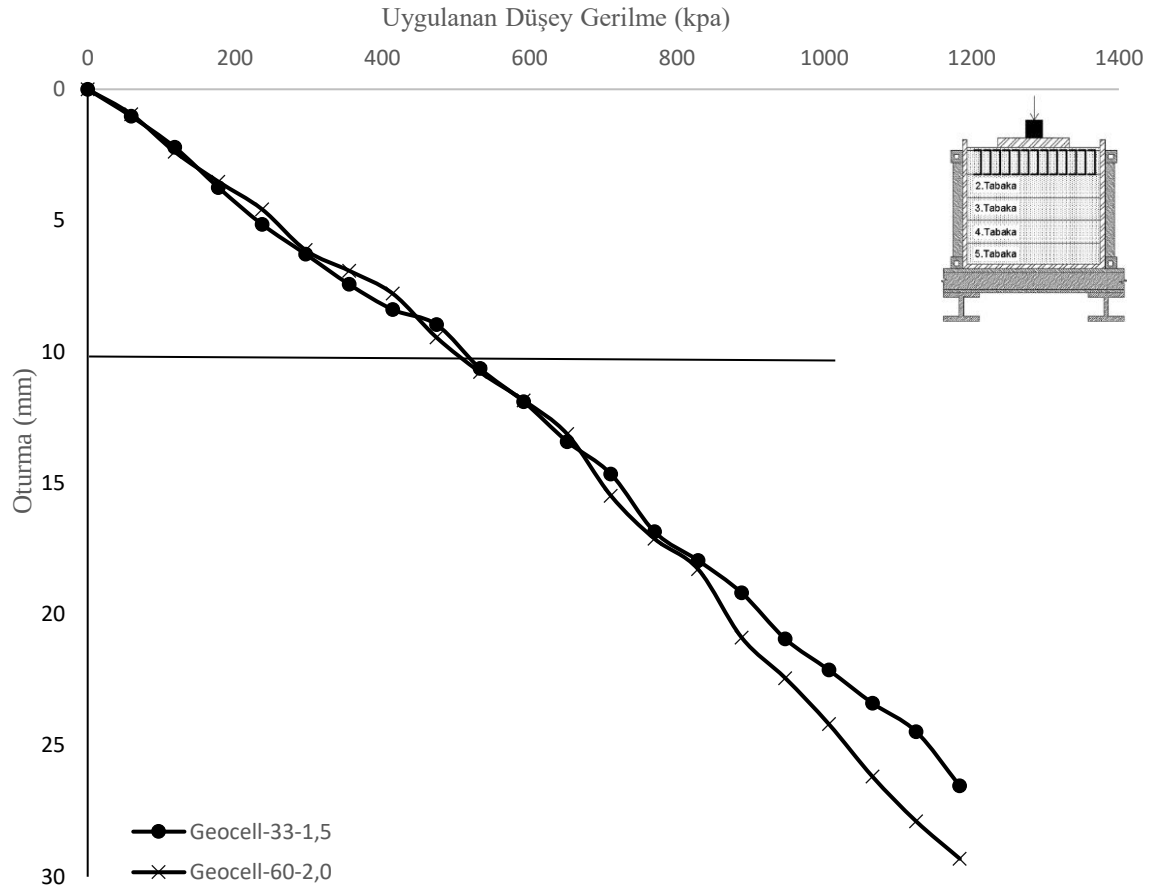
Şekil 5.7. RD=%63 Geocell-33-1,5 (1.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



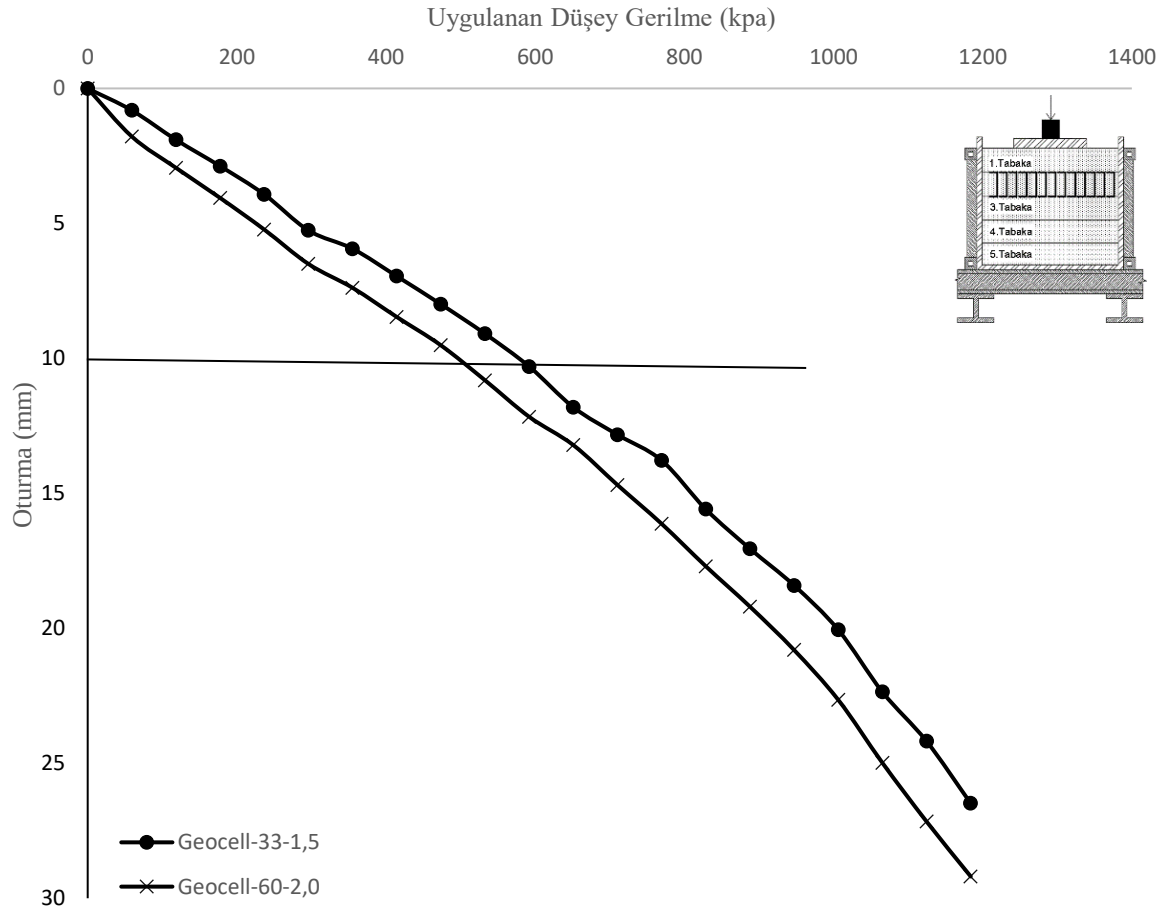
Şekil 5.8. RD=%64 Geocell-33-1,5 (2.tabaka) deneyi

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



Şekil 5.9. 1.tabaka yerleştirilen farklı boyutlarda geocelllerin karşılaştırılmalı uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri

EK-5. (devam) Çakıl deneylerine ait uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



Şekil 5.10. 2.tabaka yerleştirilen farklı boyutlarda geocelllerin karşılaştırılmalı uygulanan düşey gerilme-oturma ilişkileri



GAZİ GELECEKTİR..