

T.C
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ZAYIF KİLLERDE GEOSENTETİK TAKVİYELİ KUM
KAZIKLARININ PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serpil ERDEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Mayıs / 2022

T.C
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ZAYIF KİLLERDE GEOSENTETİK TAKVİYELİ KUM
KAZIKLARININ PERFORMANSI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serpil ERDEN

Y2013.090008

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEGHANIAN

Mayıs / 2022

ONAY FORMU



ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Zayıf Killerde Geosentetik Takviyeli Kum Kazıklarının Performansı**” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.././2022)

Serpil ERDEN



ÖNSÖZ

Tez hazırlama süreci boyunca kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Kaveh DEHGHANIAN'a teşekkürlerimi borç bilirim. Çalışmalarım boyunca hep yanımda olan arkadaşım Mimar Deniz Ege MUMCUOĞLU' na, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşim ve kızım Ezel ERDEN'e teşekkür ederim.



ZAYIF KİLLERDE GEOSENTETİK TAKVİYELİ KUM KAZIKLARININ PERFORMANSI

ÖZET

Geoteknik mühendislerinin en fazla zorluk yaşadıkları kısımlardan biri zayıf killi zeminler üzerine yapı inşaa etmektir. Bu gibi sorunların çözümü için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Zemine uygulanacak iyileştirme tekniklerine karar vermek, saha içerisindeki zeminin türüne bağlıdır. Zemin iyileştirme yöntemleri arasında zayıf killi zemin içerisine kum kazık yerleştirilmesi projelerde başarılı şekilde kullanılan en faydalı yöntemlerden biridir. Kum kazıkları zeminin sıkıştırılabilirliğini iyileştirirler, aynı zamanda ise drenaj görevi üstlenirler.

Bu tez çalışmasında, yumuşak kil zemin, düşük plastisiteli kil zemin (CL) ve yüksek plastisiteli kil zemin (CH) içerisine yerleştirilen farklı kum kazık uzunluğu / kazık çapı (L/D:10; 8,57; 5,71) olan ve geotekstil donatı takviyeli, farklı kazıklar arası mesafede (S:2m ve S:4m) kazık yerleşimine sahip, iki farklı yayılı yük (162 kN/m² ve 578 kN/m²) uygulanarak, ve iki farklı zemin durumu (kuru zemin ve suya doymuş zemin) olmak üzere, farklı konfüğürasyonda PLAXIS 8V-2D sonlu elemanlar programı ile modellenerek, tek kazık etkisi ve grup kazık (üç elemanlı kazık) etkisi araştırılmıştır. Geotekstil donatı takviyesi ile modellenen yumuşak killi zeminin düşey yer değiştirme (oturma) performansı değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre düşük plastisiteli kil zemine (CL) ve yüksek plastisiteli kil zemine (CH), geotekstil donatı kaplı kum kazıklarının takviyesinin yumuşak zeminler için çok önemli olduğunu ve oturmayı azalttığını göstermiştir. Geosentetikler; düşey deformasyonu, çekme dayanımını yükselttiği için azaltmaktadır. Bu özelliği nedeni ile zeminin taşıma gücünü arttırmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler: Killi zemin, PLAXIS, Kum kazık, Geotekstil, Oturma, Zemin İyileştirme.

PERFORMANCE OF GEOSYNTHETIC REINFORCED SAND PILES IN SOFT CLAYS

ABSTRACT

One of the most difficult tasks of geotechnical engineers is construction of structures on weak clayey soils. There are various soil improvement methods available to solve such problems. Decision of applicable improvement techniques depends on the type of ground in the field. Among these methods, placing sand piles in weak clay soil is one of the most beneficial methods used successfully in projects. Sand piles improve the compressibility of the soil and also act as drainage.

In this thesis, sand piles with different length/diameter (L/D:10; 8.57; 5.71) by geotextiles have been applied into soft clay soil. Piles are placed at different spacing (S: 2m and S: 4m) by applying two different loads (162 kN/m² and 578 kN/m²), in two different soil types, high-plastic clays (CH) and low-plastic clays (CL) and two different soil conditions (dry soil and saturated soil) were modeled with the PLAXIS 8V-2D finite element program, the effect of single pile and group pile (three-element pile) were investigated. The vertical displacement (settlement) performance of the soft clay soil modeled with geotextile reinforcement was evaluated. The results of the study showed that the reinforcement of geotextile-reinforced sand piles to low plasticity clay soil and high plasticity clay soil is very important for soft soils and reduces settlement. Geosynthetics decrease the vertical deformation as they increase the tensile strength. Therefore, they increase the bearing capacity of soils.

Keywords: Clay soil, PLAXIS, Sand pile, Geotextile, Settlement, Soil Improvement.

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
I. GİRİŞ.....	1
A. Tezin Amacı	4
B. Tezin Yöntemi	5
C. Literatür Çalışmaları	6
1. Killi Zeminlerde Granül Kazıklar ile Yapılan Küçük Ölçekli Deneysel Çalışmalar ve Sayısal Analizler.....	6
II. GEOSENTETİKLER.....	14
A. Geosentetik Çeşitleri	14
1. Malzeme Özelliklerine Göre Geosentetikler	14
2. Kullanım Amaçlarına Göre Geosentetik Çeşitleri.....	14
a. Güçlendirme Amacı ile Kullanılan Geotekstil.....	14
b. Geotekstillerde Tasarım Kriterleri	16
c. Geotekstillerin Kullanım Alanları	16
III. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	19
A. PLAXIS Versiyon 8.5	19
1. Zemin Modelleme Yöntemleri	20
a. Mohr-Coulomb Modeli (MC).....	20
b. Pekleşen Zemin Modeli (HS)	20
c. Yumuşak Zemin Modeli (SS).....	21
2. PLAXIS' te Elemanlar	21
a. Geogridler	21
b. Elemanlar	22

c. Dügümler	22
d. Stres Noktaları	22
3. Programın Kullanımı	23
IV. MATERYAL VE YÖNTEM	26
A. Geoteknik Model.....	26
B. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	28
1. Zemin Modeli	28
2. Dolgu Modeli.....	31
3. Kum Kazıkların Modellenmesi	32
4. Geosentetik Donatı Modellemesi	33
C. PLAXIS-2D ile Analizler	33
1. Analiz Sonuçları	34
V. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	52
A. Değerlendirme Sonuçları	52
B. Sonuçlar.....	54
TEŞEKKÜR	55
VI. KAYNAKLAR	56
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

L	: Uzunluk
D	: Çap
S	: Kazıklar arası mesafe
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
E	: Elastisite Modülü
EA	: Elastik Rijitlik
UCS	: Üç Eksenli Basınç Deneyi
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
E₅₀	: Standart drenajlı üç eksenli testte sekant rijitliği
E_{ur}	: Mühendislik şekil değiştirmelerinde boşaltma yeniden yükleme rijitliği
E_{oed}	: Birincil Ödometre Yüklemesi için teğet rijitliği
Cc	: Sıkışma İndisi
Cr	: Yeniden Sıkışma İndisi
e	: Boşluk Oranı
v	: Poisson Oranı
$\tilde{\lambda}$: Değiştirilmiş Sıkıştırılma İndeksi
$\tilde{\kappa}$: Değiştirilmiş Şişme İndeksi
ψ	: Genleşme Açısı
kN	: KiloNewton
L/D	: Kazık uzunluğu/Kazık çapı
S/D	: Kazıklar Arası Mesafe/ Kazık Çapı
kN/m²	: Kilo Newton/metrekare
kPa	: kiloPascal
MC	: Mohr Coulomb Zemin Model
HS	: Pekleşen Zemin Model
SS	: Yumuşak Zemin Model
LL	: Likit Limit

- PL** : Plastik Limit
PI : Plastisite İndisi
 γ_{su} : Suyun Birim Hacim Ağırlığı
Cv : Konsolidasyon Katsayısı
mv : Hacimsel Sıkışma Katsayısı
k : Permabilite Katsayısı
2D : İki Boyutlu
3D : Üç Boyutlu
USCS : Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
OCR : Aşırı konsilide kil
 ε : Gerinim

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Dane Çapına Göre Zemin İyileştirme Yöntemleri (Mungan, 2016).....	1
Şekil 2. Zemin İçerisine Sıkıştırılmış Granül Kazık Yerleştirilmesi (Raju ve Sondermann, 2005)	2
Şekil 3. Granül Kazık İnşa Aşaması (Raju ve Sondermann, 2005)	2
Şekil 4. Kum Kolonlarda Değiştirme Yöntemi (Alkhorshid, 2017).....	3
Şekil 5. Kum Kolonlarda Yer Değiştirme Yöntemi (Alkhorshid, 2017).....	3
Şekil 6. Zemindeki Kazıklarda Geosentetik Kaplama (Alkhorshid, 2017).	4
Şekil 7. Tezin Yöntemi	6
Şekil 8. Örgülü Geotekstil (Bayram, 2006)	15
Şekil 9. Örgüsüz Geotekstil (Bayram, 2006)	15
Şekil 10. Destek ve Ayırıcı Olarak Kullanılan Geotekstil (Töremiş, 2003)	17
Şekil 11. Filtre amaçlı kullanılan geotekstil (Töremiş, 2003).....	17
Şekil 12. Drenaj Amacı ile Kullanılan Geotekstil (Töremiş, 2003).....	18
Şekil 13. Geogrid Düğümler (Çalık, 2018).....	22
Şekil 14. Stres Noktaları ve Düğümler (PLAXIS, 2021).....	23
Şekil 15. Programın Kullanım İçin Geometri Oluşturma Aşaması (Başlangıç Aşaması).....	23
Şekil 16. PLAXIS Materyal Tanımlama, Geotekstil Girdi Kısmı	24
Şekil 17. PLAXIS Programında Kullanılan Zemin Modelleri.....	24
Şekil 18. Hesaplama Paneli.....	25
Şekil 19. Analiz Sonuçlarının Grafikselleştirilmesi.....	25
Şekil 20. Zemin Profilleri.....	26
Şekil 21. İnce Daneli Zeminlerde Plastisite Kartı (Çakılcıoğlu, 2007).....	28
Şekil 22. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi.	35
Şekil 23. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminin Oturma Verileri Grafiği	35
Şekil 24. Düşük Plastisiteli Suya Doygun Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi	36
Şekil 25. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Oturma Verileri	36
Şekil 26. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zemin için, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi.....	37
Şekil 27. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri	37
Şekil 28. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi.....	38
Şekil 29. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri.....	38
Şekil 30. Düşük Plastisiteli Suya Doygun Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi	39
Şekil 31. Düşük Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminde Oturma Verileri	39
Şekil 32. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminde (a) Deformasyon Analizi (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi	40
Şekil 33. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminde Oturma Verileri.....	40
Şekil 34. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme.....	41
Şekil 35. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri	41

Şekil 36. Yüksek Plastisiteli Kuru Zeminde En İyi Düşük Oturma Değeri İçin (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi.....	42
Şekil 37. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin Oturma Verileri.....	42
Şekil 38. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminler İçin En Düşük Yer Değiştirme Analizi (a)Düşük Plastisiteli Kil Zemin İçin En İyi Düşey Yer Değiştirme Analizi Yük (162kN/m ²) (b) Düşük Plastisiteli Kil Zemin İçin En İyi Düşey Yer Değiştirme Analizi Yük (578kN/m ²)	43
Şekil 39. Tek kazık için karşılaştırmalı oturma değerleri	44
Şekil 40. Yüksek Plastisiteli Kuru Zeminde Oturmanın En Az Olduğu Durum İçin Karşılaştırmalı Oturma Değerleri (yük etkisi).....	44
Şekil 41. Düşük Plastisiteli Kuru Zeminde Oturmanın En Az Olduğu Durum İçin Karşılaştırmalı Oturma Değerleri (Yük Etkisi).....	45
Şekil 42.Düşük Plastisiteli Suya Doymun Killerde Farklı Yüklerde Düşey Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması	45
Şekil 43. Suya Doymun Yüksek Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde Düşey Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması	46
Şekil 44. Suya Doymun Düşük Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde, Grup Kazıkların Oturma Değerlerinin Karşılaştırılması.....	46
Şekil 45. Suya Doymun Yüksek Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde, Grup Kazıkların Oturma Değerlerinin Karşılaştırılması.....	47
Şekil 46. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Tek Kazıklarda Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	48
Şekil 47. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	49
Şekil 48. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	49
Şekil 49. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Tek Kazıklarda Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	50
Şekil 50. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	50
Şekil 51. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:4m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri.....	51

Şekil B 1. Düşük Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin, PLAXIS Oturma Analizleri.....	66
---	----

Şekil B 2. Yüksek Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin, PLAXIS Oturma Analizleri.....	67
--	----

Şekil B 3. Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin Oturma Analizleri, (a) Düşük Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminde PLAXIS Oturma Analizi, (b) Yüksek Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminde PLAXIS Oturma Analizi Sonuçları	68
---	----

Şekil B 4. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık	69
---	----

Şekil B 5. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık	69
Şekil B 6. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık	70

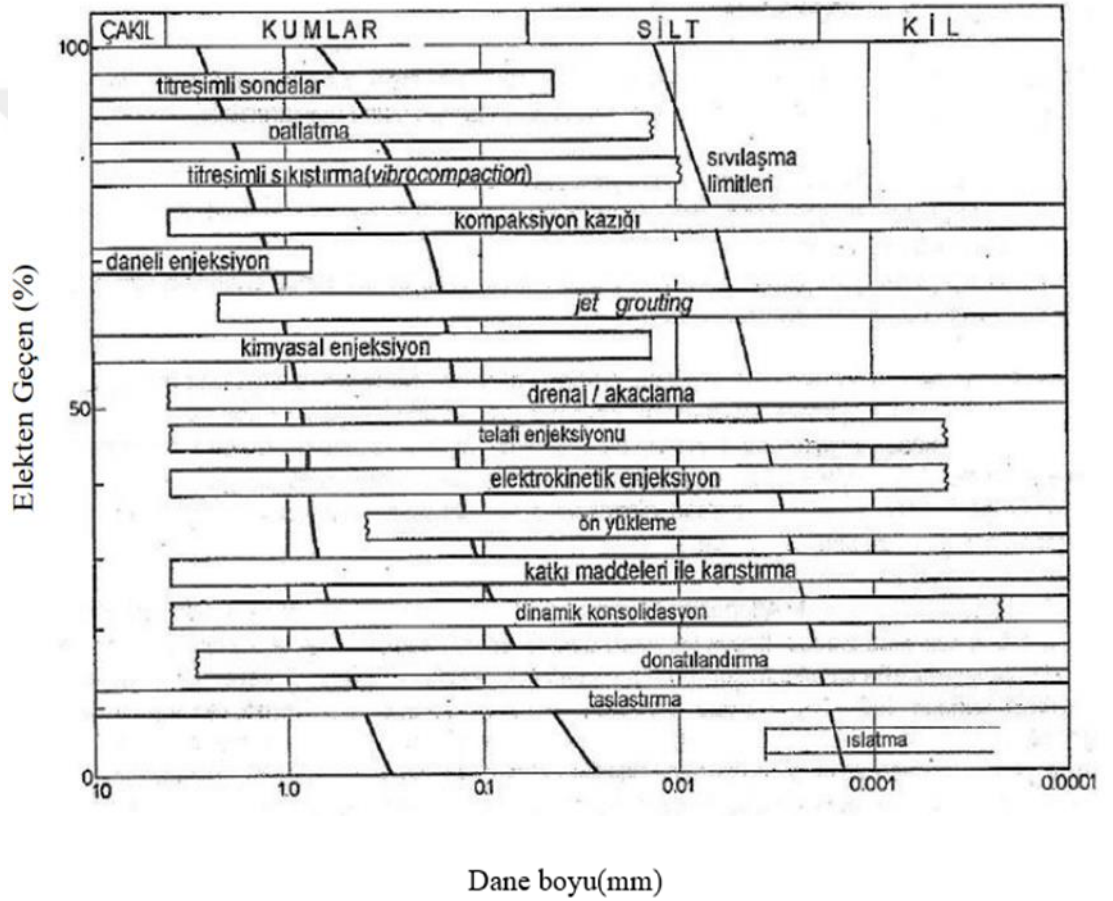


ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1. Literatürdeki Çalışmalardaki Sayısal Analiz Verileri.....	13
Çizelge 2. PLAXIS-2D'de Kullanılan Kazık Modelleri.....	27
Çizelge 3. Killi Zeminler İçin Kıvım Limitleri	29
Çizelge 4. PLAXIS-2D' de Kullanılan Zemin Modelleri Parametreleri.....	31
Çizelge 5. PLAXIS-2D' de Kullanılan Dolgu Modeli Parametreleri.....	32
Çizelge 6. PLAXIS-2D' de Kullanılan Kum Kazık Parametreleri.....	33
Çizelge 7. PLAXIS-2D' de Kullanılan Geosentetik Özellikleri	33
Çizelge 8. Geosentetik Takviyeli ve Takviyesiz Kum Kazıkların Oturma Analiz Sonuçları	48
Çizelge A 1. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS-2D Analiz Sonuçları	62
Çizelge A 2. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS-2D Analiz Sonuçları	62
Çizelge A 3. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları	63
Çizelge A 4. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları	63
Çizelge A 5. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları.....	64
Çizelge A 6. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları.....	64
Çizelge A 7. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları.....	65
Çizelge A 8. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları.....	65
Çizelge A 9. Güçlendirilmemiş Zemin İçin Düşey Yerdeğiştirme Analiz Sonuçları	65

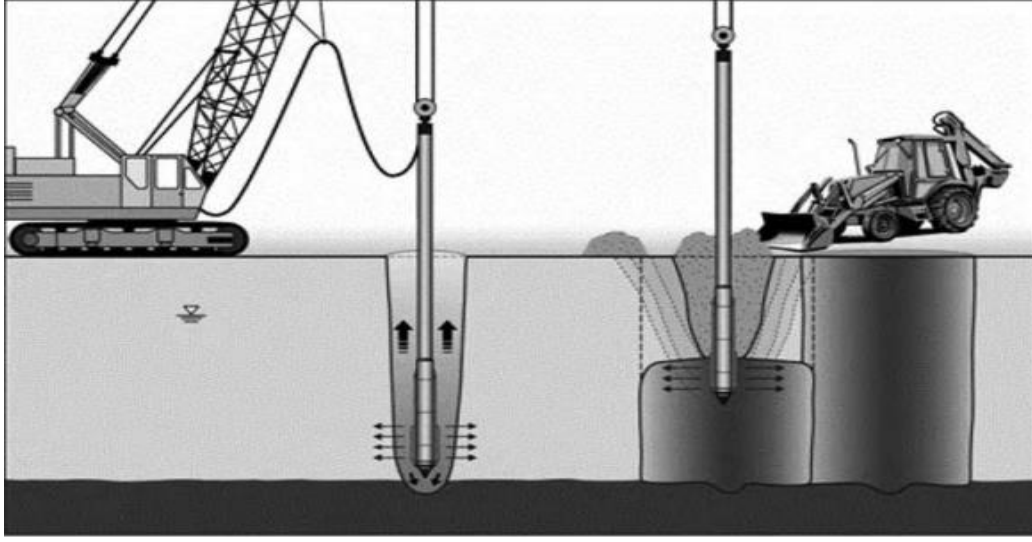
I. GİRİŞ

Kil içerikli zeminler mukavemetinin düşük olması ve sıkışabilirliğinin yüksek olması sebebiyle ile aşırı oturma eğilimindedir. Genellikle bu tip killi zeminler üzerine yapı inşa edilecek ise genellikle oturma ve zeminde şişme sorunları ile karşı karşıya kalınır. Bu nedenle stabilite sorunlarına yol açar. Yumuşak killi zeminlerde, farklı iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Zeminin tipine göre zemin iyileştirme yöntemi seçmek önemli bir faktördür. Şekil 1'de zeminin dane boyu dağılımına göre bazı iyileştirme yöntemleri gösterilmiştir.



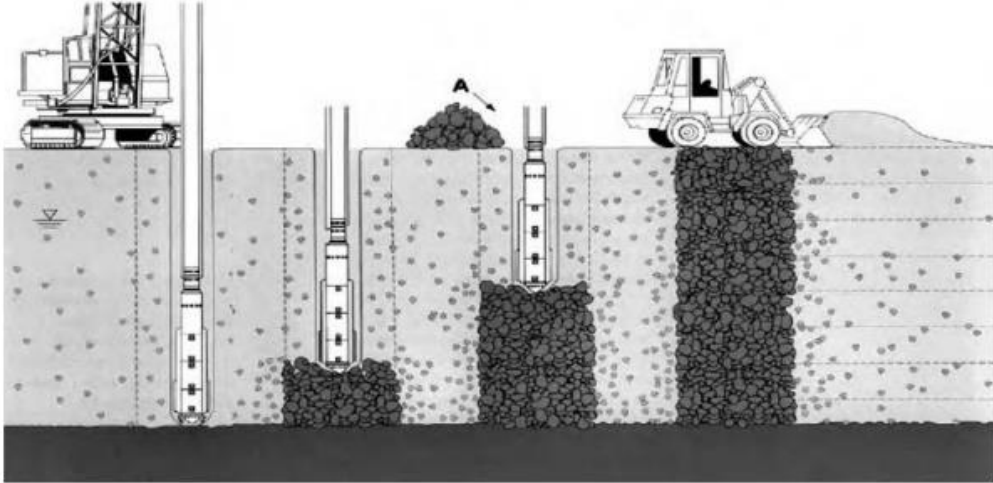
Şekil 1. Dane Çapına Göre Zemin İyileştirme Yöntemleri (Mungan, 2016)

Kum kazıklar yumuşak killi zeminlerde oturmayı azaltmak, taşıma kapasitesini arttırmak ve killi zeminin konsolidasyon sürecini hızlandırmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Aynı zamanda kum kazıklar yumuşak killi zeminin sıkıştırılabilirliğini azaltır ve drenaj görevi üstlenirler. Şekil 2'de granül kazık yapımı şematik olarak gösterilmiştir.

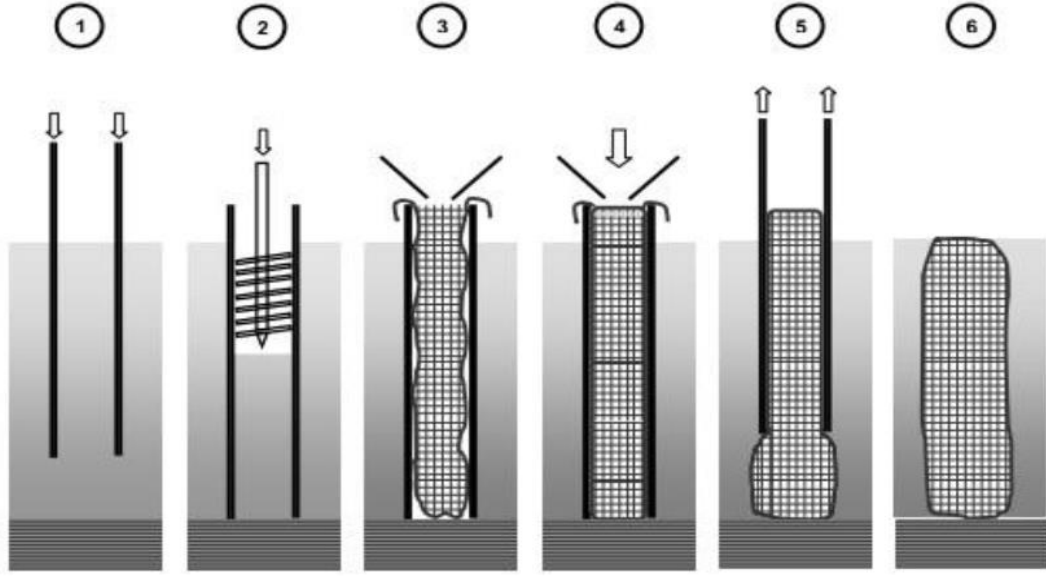


Şekil 2. Zemin İçerisine Sıkıştırılmış Granül Kazık Yerleştirilmesi (Raju ve Sondermann, 2005)

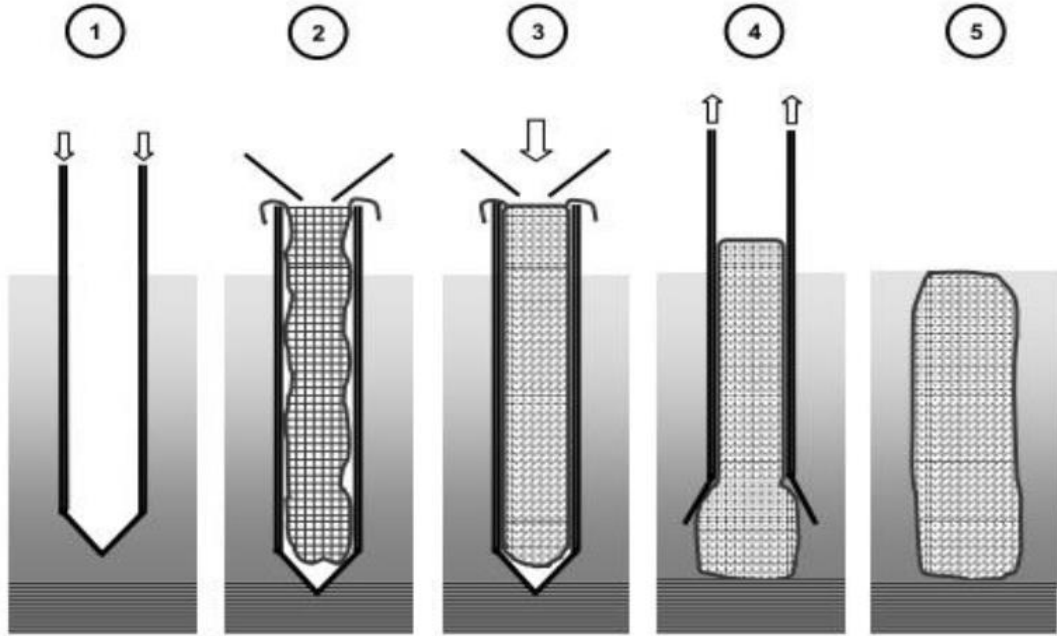
Şekil 3 'de ise granül kazık inşa şekli gösterilmektedir.



Şekil 3. Granül Kazık İnşa Aşaması (Raju ve Sondermann, 2005)



Şekil 4. Kum Kolonlarda Değişirme Yöntemi (Alkhorshid, 2017).



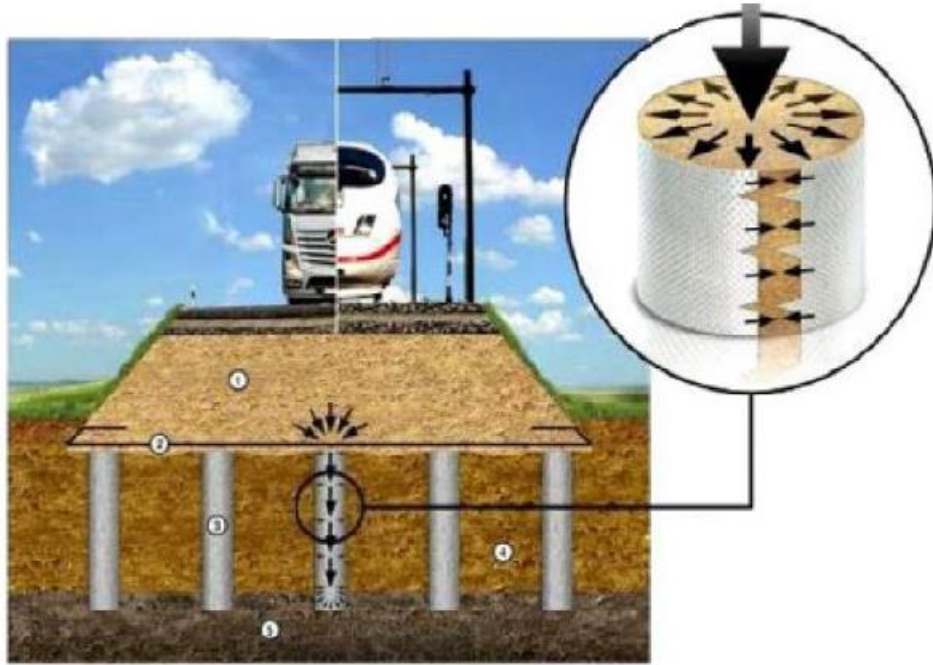
Şekil 5. Kum Kolonlarda Yer Değişirme Yöntemi (Alkhorshid, 2017).

Montajı sırasında kum kolonlar iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlar değişirme ve yer değişirme yöntemleridir (Alkhorshid, 2017).

Sırası ile birinci yöntemde gövdede çelik boru kullanılır ve istenilen derinliğe kadar çelik boru (gövde) indirilir. Boru içerisindeki toprak daha sonra çekilir. Sonraki aşamada geosentetik boru içine yerleştirilerek boşlukta kalan kısımlar kum malzeme

ile doldurulur. Doldurma işlemi bittiğinde ise boru geri çekilerek titreşim ile gerekli yoğunluğa kadar sıkıştırılabilir. Bu kurulum modeli Şekil 4’te gösterilmiştir.

İkinci yöntemde ise çelik boru (gövde) sert tabakaya kadar aşağıya doğru indirilir. Toprağın yer değiştirmesine sebep olan kapanları vardır. Sonra boru içerisine geosentetik yerleştirilerek borunun içerisinde boşluk kısım kum malzeme ile doldurulur. Boşluk kısmı kum kazık ile doldurulduktan sonra çelik boru geri çekilir. Yer değiştirme yöntemi ise Şekil 5’te gösterilmiştir (Alkhorshid, 2017).



Şekil 6. Zemindeki Kazıklarda Geosentetik Kaplama (Alkhorshid, 2017).

Geosentetikler, yumuşak killi zeminlere döşenen kum kazıklarda dikey kaplama şeklinde veya yatay katmanlar halinde belirli aralıklar ile başarılı bir şekilde kullanılabilir. Kum kazıkların geotekstil donatı ile kaplanmış haldeki görünümü ise Şekil 6 ‘da gösterilmiştir.

A. Tezin Amacı

Zayıf kil içerikli zeminlerde yapı inşa edilirken mühendislerin en sık gördüğü problemlerden biri zeminin taşıma gücü ve zemindeki oturma ile ilgili sorunlardır. Bu gibi zayıf zeminlerde oluşabilecek problemlerin çözümü için birçok zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Çeşitli olan zemin iyileştirme yöntemleri arasında kum kazıkları ile zeminlerin iyileştirilmesi killi zeminlerde uygulanan yöntemler arasındadır. Özellikle zeminlerde oluşabilecek sorunların çözülmesi adına

geotekstiller de son yıllarda sıkça kullanılan inşaat mühendislerinin kullandığı uygulamalardandır. Geotekstiller deformasyona maruz kaldıklarında, çekmeye dayanımları yüksek ve esnek malzeme olduklarından dolayı rahatlıkla kullanılabilirler.

Bu tezin amacı, düşük mukavemete sahip, yüksek sıkışabilirlik özelliği olan ve şişme sorunları görülen yumuşak killi zeminlerde oturmayı azaltmak ve zemini iyileştirmek (güçlendirmek) adına uygulanan geosentetik takviyeli kum kazıklarının (kolon) performansının değerlendirilmesidir. Bu çalışmanın sürdürülebilirliği açısından zemin içerisine çeşitli L/D oranlarına sahip geosentetik donatı ile güçlendirilen kum kazıkları takviye edilmiş, farklı yükler altındaki, oturma (düşey yer değiştirme) performansları incelenmiştir. Burada “L” kazık boyu, “D” kazık çapıdır. Modellemelerde farklı kazık boyu/kazık çapı (L/D) oranına sahip kum kolonlar, kolonlar arası ara mesafenin (S), S: 2 m ve S: 4 m olduğu durumlar için araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kum kazıklar, geosentetik malzeme olan geotekstil ile kaplanmıştır. Geotekstil donatı ile kaplanan kum kazıkların, yumuşak killi zemin açısından performansı değerlendirilmiştir. Analizler PLAXIS-2D sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek yapılmıştır. Kum kazıklarının yumuşak kil zemin içerisine takviye edilmesindeki amaç ise, yumuşak zeminin taşıma kapasitesini arttırmak ve oturmayı azaltmaktır.

B. Tezin Yöntemi

Bu tez çalışması beş bölüm şeklinde hazırlanmıştır. Birinci bölümde tez konusuna genel bir yaklaşım yapılmış, tez araştırmasının amaçları açıklanarak, konu ile ilgili literatür taraması yapıp diğer çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde, çalışma içerisindeki modellenmelerde güçlendirme amacı ile kullanılan geosentetikler anlatılmıştır. Tez kapsamında bu çalışmada geosentetik çeşidi olan geotekstil donatı kullanılmıştır ve geotekstil hakkında bilgi sağlanmıştır. Üçüncü bölümde, Sonlu Elemanlar Metodu ve PLAXIS programı hakkında bilgi verilmiş, analiz yapmak için program tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde bu araştırma içerisinde kullanılan materyaller ve çalışmanın metodoloji açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise; analiz kısmında, çalışma içerisinde yapılan sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiş, analizler değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Aynı zamanda sonuçlar kısmında, çalışmadan elde edilen veriler değerlendirilerek daha sonraki araştırmalar için öneriler sunulmuştur.



Şekil 7. Tezin Yöntemi

Şekil 7’de tezin yöntemi kapsamında öneri analiz tablosu oluşturulmuştur.

C. Literatür Çalışmaları

1. Killi Zeminlerde Granül Kazıklar ile Yapılan Küçük Ölçekli Deneysel Çalışmalar ve Sayısal Analizler

Bu bölümde kum kazıklar ile güçlendirilmiş killi zeminler için literatür de yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Samadhiya vd., (2009) yaptığı çalışmada, killi zemin içinde yatay geogrid tabakaları ile güçlendirilmiş tek bir kazık davranışını incelemiştir. Testler kil zeminin tek başına yük oturma davranışını, donatılı ve donatısız kazıkların davranışını araştırmak için yapılmıştır. Deneysel çalışma için seçilen kil zemin CL sınıfıdır. Kuru birim hacim ağırlığı $14,8 \text{ kN/m}^3$ ve su içeriği %30 dur. Deney için $52,5 \text{ cm}$ boyutlarında, 45 cm yükseklikte ve 6 mm kalınlıkta hazne kullanılmış, sondaj ile açılan delik içerisine birim ağırlığı 18 kN/m^3 olan, düşük dereceli SP sınıfı ($2 \text{ mm}-75 \text{ mm}$) arasında değişen dane boyutunda kum katmanlar halinde doldurulmuştur. Kum kazıkların güçlendirilmesi için 2 mm ve 4 mm aralıklı geogrid kullanılmış, geogrid

etkisinin araştırılması için kazık çapının 0,5 ve 1 katı aralıklarla ve kazık çapının 2, 3, 4, 5 katı derinliğe kadar geogrid yerleştirilip yük testleri uygulanmıştır. Ayrıca kazık çapı 50cm dir. Deney ve sayısal analiz sonuçlarına göre kazık çapının 0,5 katı aralıklarla dizildiği geogrid tabakalı kazık için taşıma kapasitesi, kazık çapının 1 katı aralıklı olan kazığa göre taşıma kapasitesi %7 fazla bulunmuştur. Geogrid takviyeli kazık için şişkinlik çapının azaldığı buna karşılık kazık uzunluğu boyunca ise takviyesiz kazık ile karşılaştırılması halinde arttığı bulunmuştur. Sayısal analiz sonuçlarına göre geogrid aralığı 0,5 olan güçlendirilmiş kazıklarda taşıma kapasitesi %28 artış olduğu gözlemlenmiştir.

Rajput vd., (2016) mevcut çalışmasında, S/D (kazıkarası mesafe/ kazık çapı) oranları (2-2,5-3) ve L/D oranları (3-5-7) olarak belirlenip, seçilen 7 kazık grubundan biri merkezi kazık ve değişen kazıklar için yumuşak killi zeminlerin yük ve oturma davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada laboratuvar model testleri uygulanmıştır. Kum kazığın çapı 25,4 mm seçilmiştir. Test tankı 255x255x300 mm olarak seçilmiştir. Kurulan düzenek sonrası killi zemin üzerinde serbest basınç dayanımı testi yapılmıştır. %30 su içeriği seçilmiştir. Zemin için birim hacim ağırlık 18,95 kN/m³ tür. Test sonuçlarında L/D oranı 5 olan kazık uzunluğu en iyi kazık uzunluğu olarak, optimum S/D oranı olarak da 2,5 belirlenmiştir. L/D oranı tüm kazıklar için aradaki mesafe azaldıkça taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Hasan ve Samadhiya, (2016) bu çalışmasında, yumuşak killi zeminlerde yük taşıma kapasitesini arttırmak ve oturmaları azaltmak için geosentetik ile güçlendirilmiş kazıkların kısa süreli yükleme altındaki davranışını araştırmak amacıyla yapılmıştır. Laboratuvar model testleri donatısız, düşey örtülü geotekstil ile güçlendirilmiş, yatay olarak geogrid eklenmiş ve kombine dikey-yatay takviyeli kazıklar üzerinde yapılmıştır. Deneysel programda yatayda geogrid şeritler 10mm çapında dairesel ve 25mm, 50mm, 70mm lik farklı aralıklar ile yerleştirilmiştir. Killi zeminin donatı, kaplama rijitliği, kilin kesme mukavemeti, kazık uzunluk ve çaplarının etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçları killi zeminin yük yoğunluğunun kazık montajı sebebi ile arttığını ve geosentetik takviyesi ile de daha fazla iyileştirdiğini göstermektedir. Takviyesiz veya geosentetik takviyeli kazıkların nihai yük yoğunluğu kazık uzunluğunun artması ile arttığı görülmüştür. Geogrid şeritlerin aralıkları azaldıkça taneli yığının yoğunluğu da artışa geçmiştir. Tüm alanın yüklenmesi halinde ise her durum için taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Hasan ve Samadhiya, (2018) yaptıkları bu çalışmada, yatay şeritler halinde geogrid ile güçlendirilmiş kum kazıkların yük yoğunluğu altında şişmesi üzerine, kazıkların şişme etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Geogrid yatay şeritler halinde kum kazıklara 25 mm,50mm,70mm aralıklar ile yerleştirmiştir. Laboratuvar deneyleri sonucunda kum kazıkları için yük oturma davranışı elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar kum kazıklarına geogrid şeritlerin yatay olarak eklenmesinin yük altındaki kum kazıkların şişmesinde azalma meydana getirdiğini göstermiştir. Ayrıca geogrid şeritlerin yatay olarak kum kazıklarına eklenmesi kazığın nihai yük yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. Kazığın uzunluğunun artması halinde çok daha fazla ilerleme göstereceği görülmüştür. Güçlendirilmemiş kum kazıklarla işlenmiş zemin için nihai yük yoğunluğu, işlenmemiş zemine göre %185 ve %238 artmıştır. Yatay şeritlerle işlenmiş zemin ile güçlendirilmiş kum kazıklar için nihai yük yoğunluğu ise işlenmemiş zemine kıyasla %442, %396 ve %316 artmıştır.

Galil vd., (2019) yaptığı çalışmasındaki amacı, uzun süreli yükleme altında kum kazıkları ile güçlendirilmiş killi zemin üzerine oturan radye temelin davranışını araştırmaktır. Analizler radye temelin taşıma kapasitesi, oturma ve eğilme momenti üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Parametreler kum kazıkların uzunluğu, alan değiştirme oranını, kum katmanının kalınlığını içerir. Ayrıca kum kazık malzemesi olarak kullanılan geri dönüştürülmüş agreganın verimliliğide araştırılmıştır. Radye temel 10mx10m kare şeklinde ve 1m kalınlıktadır. Kum kazıklar radye temelin altında eşit olarak dağılır. Zemin profili 15m kalınlığında yumuşak kil, ardından 20 m kalınlığında kum tabakasından oluşur ve yeraltı su seviyesi kum tabakasının altında kabul edilir. Sayısal modellemeler PLAXIS 3D programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu sonlu eleman analizi sonuçlarına göre radye temel altındaki killi zemini güçlendirmek için kullanılan kum kazıkların radye temelin taşıma kapasitesini, oturma ve eğilme momentini iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca kum kazıkların uzunluğunun arttırılmasında radye temelin taşıma kapasitesini, oturma ve eğilme momentini arttırır. Kum kazıklar için kullanılan geri dönüştürülmüş agrega kullanımı bakımından kırılmış seramik, kırmızı tuğla ve kırmızı betondan sonra en verimli olanıdır.

Naseer vd., (2019) bu çalışmasında, küçük ölçekli modellenen killi zemine yerleştirilen kum kazıklarının etkilerini deneysel çalışmalarla incelemeyi

amaçlamıştır. Araştırmada birbirinden farklı L/D oranına sahip kum kazıklarının zemin üzerindeki etkileri ve kazıkların kayma dayanımları araştırılmıştır. Aynı zamanda kazıklar arasındaki mesafe değiştirilerek grup etkisi incelenmiştir. Çalışmalar L/D oranı (4-5,5-7) olan kum kazıklar üzerinde 54 kPa, 32 kPa, 14 kPa, yük için yük testleri uygulanarak yapılmıştır. Laboratuvar sonuçları, sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak sayısal modelleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar maksimum dayanımın L/D=4'te olduğunu ve L/D oranı yükseldikçe zemindeki şişmeden dolayı yüklenme kapasitesinin düştüğünü göstermektedir. Şişme kum kazıklar tek başına yüklendiğinde gözlemlenip, zeminin tamamının yüklenmesi halinde kazıkta şişme gözlemlenmemiştir. Ayrıca grup etkisine bakıldığında kazıklar arasındaki mesafe arttıkça grup etkisinin azaldığı görülmüştür.

Safin, (2020)'nin yaptığı çalışmanın amacı, geosentetik takviyeli bir grup kum kazığının suya doygun killi zemin içerisinde yük altında oluşturduğu deformasyonu değerlendirmektir. Bu çalışma bir grup kum kazığının, birlikte çalıştıkları hesaplanmadan serbest halde iken killi zemin ile arasındaki etkileşimlerini incelemek için hesaplama yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Kum kazıkları geosentetik malzeme ile güçlendirilmiştir. Araştırma laboratuvarında küçük ölçekli zemin modelleri üzerinde yapılmıştır. Çalışmalar takviyesiz, 25mm çapında, 200mm uzunluğunda geosentetik malzeme takviyeli kum kazık, 25mm çapında, 300mm uzunluğunda geosentetik ile güçlendirilmiş kum kazık şeklindeki 3 seri numune alınarak yapılmıştır. Kazıkların zemine montajı için belirlenen derinlik içine ucunda sivri uçlu zımba bulunan boru zemine batırılıp geosentetik ve kum tabaka boru boşluğuna yerleştirilmiştir. Boru içerisine yerleştirilen kumun nem içeriği %3 ve yoğunluğu ise 1,9 g/cm³ dir. Deney verileri kum kazığın killi zeminde geosentetik takviyesi sonrasında nihai yükün 2,1 kat arttığını göstermiştir. Ayrıca yükü kazıklara aktarırken kazıkların gövde kısmında ek yanal sıkışma meydana geldiğinden taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Hasan, (2019) bu çalışmasında, yük taşıma kapasitesini arttırmak, dolgularda şev stabilitesini iyileştirmek, oturmaları ve yanal yayılmanın azaltılması için zor sahalarda kurulan granüler kazıklar ile ilgili yapılan çalışmaları incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmacı çalışmasında sıradan taneli kazıkların yük taşıma kapasitesine odaklanan çeşitli araştırma makalelerinde yayınlanan analitik ve tasarım yaklaşımları hakkında bir inceleme sunmaktadır.

Taha, (2014) yaptığı tez çalışmasında, geosentetik takviyeli kazık temel sistemlerinin statik ve sismik olarak yapı-zemin davranışlarını model testi kullanılarak değerlendirmiştir. Deney için zemin modeli sırasıyla üstten geosentetik ile güçlendirilmiş dolgu tabakası (8 cm), daha sonra yumuşak kil tabakası (23 cm) ve altta kum tabakasından (36cm) oluşmaktadır. Ayrıca model kazık başlığı sistemi, mikro şebeke ağı ve alttaki güçlendirilen agrega tabakası, kil tabakası, kum tabakası olarak kurulmuştur. Yanal statik yük testleri laminer üzerine sabitlenmiş tek taraflı bir yük sistemi ile yapılmıştır. Geogrid takviyeli kazıklı sistemin dinamik davranışını araştırmak için 1-G sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Deneysel ve sayısal çalışmalar kazık başlığına rijit bir şekilde bağlanmış 4 kazıktan oluşan model kazık grubu kohezyonlu ve katmanlı toprağa yerleştirilerek yapılır. Dane boyu 5 mm olan dolgu model zemin yatağının üst kısmına yerleştirilir. Polimer şerit takviyeli kazık temel sisteminin yanal davranışını araştırmak için statik model testleri ve sayısal analiz sonuçlarına göre polimer şeritlerin eklenmesinin yanal performans sağlarken, yumuşak zemin değişimini %50 oranında azalttığını, geosentetik donatının eklenmesinin eğilme momentini %8 ve kesme kuvvetini %2 oranında azalttığı görülmüştür. Ayrıca sayısal sonuçlar kazık temel eğilmesi, eğilme momentini yaklaşık %5 azaltmış ve geosentetik donatının temel sisteminin yanal rijitliğini arttırdığı, yerdeğiştirmeyi ise %12 oranında azalttığını göstermiştir.

Nakano vd., (2008) bu çalışmada, iyileştirilen zemin profilinin, sonlu eleman analiz yöntemi olan Cam-Clay model ile laboratuvar test sonuçlarının karşılaştırılması üzerine çalışmıştır. PLAXIS analizi sonuçlarında kumun, sıkışabilirliğinin düşük olduğu fakat kilin, büyük yüklerde sıkıştırma indeksi ile orantılı olarak sıkışabilirliğinin yüksek olduğunu sonucuna varılmıştır. Ayrıca güçlendirilmiş zemin, iyileştirilmemiş zeminden yaklaşık iki kat daha fazla düşey yükü destekleyebileceği görülmüştür.

Sohaib vd., (2020) yaptığı çalışmada, yumuşak zeminleri güçlendirme amacı ile kullanılan kum kazıklarının, zemin içerisindeki etkilerine araştırmak için küçük ölçekli laboratuvar testleri gerçekleştirmiştir. Laboratuvar testleri D: 37mm çaplı kazıklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. İşlenmiş zemin, işlenmemiş zemin ve kazıklar arasındaki mesafe değiştirilerek grup etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak kum kolonlarının killi zeminde zemini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kazıklar

arası ara mesafenin artması halinde grup verimliliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. S/D oranı 2'nin, S/D oranı 3'e göre yük taşıma kapasitesinin yüksek olduğu görülmüştür.

Phanikumar ve Etukuri (2021) bu çalışmada, geotekstil kaplamalı ve kaplamasız granüler yığınları, killi zemin içerisine yerleştirmiş ve killi zeminin basınç dayanımı (UCS) deney sonuçlarını sunmaktadır. Yapılan testler sonrasında sonuçlar granüler yığınların uzunluk ve çapları arttıkça test değerlerinde arttığını göstermektedir. Ayrıca bu değerlerin geotekstil kaplama sonrasında dahada arttığı gözlemlenmiştir.

Sharma vd., (2004) çalışmasında, yatay olarak geogrid takviyesi yapılan granül kazıkların killi zemin içerisine yerleştirildiğinde taşıma kapasitesi ve ayrıca kolonlardaki şişmenin azaltılması üzerindeki etkisinin araştırılması bakımından bir dizi deney sonuçları sunmaktadır. Çıkan sonuçlara göre yatay şekilde kum kolonlar içerisine yerleştirilen geogridlerin ara mesafelerinin daraltılması ve bununla birlikte geogrid sayısının artması mühendislik davranışının iyileşmesine neden olmuştur. Ayrıca geogrid eklenmesiyle kolonda oluşan şişkinlik mesafese de daralmıştır.

Tandel vd., (2017) bu çalışmada, yumuşak killi topraklarda yük taşıma kapasitesini arttırmak ve şişkinliği azaltmak için geosentetik ile güçlendirilen granül kazıkların performansı incelenmiştir. Grup halindeki geosentetik takviyeli granül kazıkların değerlendirilmesi laboratuvar model testleri ile gerçekleştirilmiş, yük taşıma kapasitesi ve oturma açısından sonuçlar değerlendirilmiştir. Kum kazıklar için kullanılan kum 4,75 mm' den küçük nehir kumudur. 0,212 mm elek üstü kum kullanılmıştır. Kum USCS sınıflandırmaya göre SP sınıfıdır. Çalışmada kum kazıkları güçlendirmek için kullanılan geosentetik üç farklı çeşit geotekstildir. Yapılan çalışma sonucunda kum kazık grubunun geosentetik ile güçlendirilmesinin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Xu vd., (2018)'in yaptığı çalışmada, killi zemin içerisine yerleştirilen kum kolonlarının tepkisi, kesme deneyi ve ödometre deneyi yapılarak incelenmiştir. Kum kolonları ile güçlendirilmiş killi zeminlerde genellikle düşey yükleme yapılmaktadır. Fakat bu çalışmada hem yanal hem de dikey yükleme yapılmaktadır. Geotekstil kaplı kum kolonları ile güçlendirilen killi zeminin mukavemet ve konsolidasyon özellikleri araştırılmıştır. Uygulanan deneyler sonucunda kum kolonu yerleştirilen kil ve geotekstil ile kaplı olan kum kolonu yerleştirilen kil zeminin kesme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yeniden yükleme aşamasında elde edilen ikinci

sıkıştırma indislerinin, ilk yükleme aşamasından elde edilenden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Buda aşırı konsilide kilin normal konsilide kile (OCR) göre daha düşük ikincil sıkıştırma indisine karşılık geldiğini göstermektedir.

Jain ve Kumar (2014) bu çalışmada, kum kolonlarının kil zemin içerisindeki şişmesi üzerindeki etkisinin araştırılması için yapmışlardır. Çalışma küçük ölçekli test üzerinde gerçekleştirilmiştir. Testler kum kolon çapları değiştirilerek tekrarlanmıştır. Test sonuçlarına göre kum kolonlarının zemindeki şişmeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Zemindeki şişmenin azalmasının zemin içerisine yerleştirilen kum kolonlarının boyutuna ve topraktaki nem içeriğine bağlı olduğu görülmektedir. Kum kolonları takviyesi yapılan toprak, düşük nem içeriğine sahip olan topraktan şişme oranı olarak daha düşüktür. Kolon çapları 25 mm, 37,5 mm, 50 mm olarak seçilmiş ve zemin içerisine kum kolon takviyesinden sonra şişmede sırası ile %11, %5, %23, %42 azalma görülmüştür.

Wu ve Hong (2014) çalışmasını, geosentetik ile kaplı kum kolonlarının taşıma performansını tahmin etmek için gerçekleştirmiştir. Sayısal analizlerde kazık davranışını tanımlayabilmek için ayrıntılı tündengelemler ve malzemenin mekanik özelliklerini tanımlamak gerekir. Fakat bu çalışmada basitleştirilmiş bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı deneysel sonuçlara yakın sonuçlar veren, fakat ayrıntılı matematiksel çabalara gerek duymayan bir yaklaşım geliştirmektir. Bunun için ise geotekstil manşon ile kapalı kum kolonları oluşturmuştur ve deneysel çalışmada yarı köşeli kum ile yuvarlak kum kolonlar geotekstil kılıflara yerleştirilmiştir. Üç eksenli sıkıştırma test uygulanarak sonuçları kullanılmıştır. Geosentetik ile kaplı olan kum kolonlarının performansın değerlendirilmesi için basit adımlar önerilmiştir. Sınırlayıcı basınç altında yapılan çalışma sonucunda deney sonuçları ile sayısal analiz sonuçları uyum içerisindeydi. Yapılan çalışmalarda kullanılan sayısal analiz verileri Çizelge 1’de açıklanmıştır.

Çizelge 1. Literatürdeki Çalışmalardaki Sayısal Analiz Verileri

	Kum Kazıklarda Kum dane çapı	Zemin Sınıfı	Kum Kazık Uzunluk/Çap (L/D Oranı)	Kazıklar Arası Mesafe S/D oran	Yük (kN/m ²)
Naseer vd., (2019)	SC sınıfı	CH	L/D 4-5,5-7	S/D:2 S/D:3	54 kPa 32 kPa 14 kPa
Hasan ve Samadhiya, (2018)	-	-	-	-	-
Hasan ve Samadhiya (2016)		CI	D: 75mm D: 90mm	Tek kazık	
Safin, (2020)			D:25mm L:200mm L:300mm		73kPa 145kPa 156kPa
Rajput vd., (2016)	SP 4,75mm elek altı	CH	L/D:3 L/D:5 L/D:7	S/D:2 S/D:2,5 S/L:3	
Galil vd., (2019)					100kN/m ²
Hasan, (2019)	-	-	-	-	-
Samadhiya vd., (2009)	2-75mm arası	CL	D:50mm L:400mm	Tek kazık	2kN test
Sohaib vd., (2020)		CH	L/D 4-5,5-7	S/D:2 S/D:3	54 kPa 32 kPa 14 kPa
Sharma vd., (2004)	4,75- 2,36mm arası	CL CH	L:300mm	Tek kazık	275 N kadar 45N artışlarla
Tandel vd., (2017)	SP sınıfı 0,212 mm	CL	D:25mm D:40mm L:400mm		
Jain ve Kumar (2014)	SP sınıfı	CH	D:25mm D:37,5mm D:50mm	Tek kazık	
Wu ve Hong (2014)	SP sınıfı		D:70 mm L:140mm L/D:2	Tek kazık	20kPa,50kPa, 100kPa,200kPa 500 kPa
Nakano vd., (2008)		CH	D:35 cm	S:1,52; 2 ;2,4; 2,8 m	196 kPa
Xu vd., (2018)	SP sınıfı	CH	D:22mm L:20mm	Tek kazık	25 kPa- 800 kPa kadar artan yük

II. GEOSENTETİKLER

Genel anlamı ile geosentetikler, polimerik malzemelerden meydana gelir. Bugün çok sayıda çeşidi mevcuttur. Ticari maliyetinin düşük olması sebebi ile inşaat alt yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bayram, 2006).

A. Geosentetik Çeşitleri

Geosentetik çeşitleri birbirinden farklı özelliklere sahip olmasından dolayı kullanım şekilleri de birbirinden farklıdır. Geosentetikler beş çeşit olarak sınıflandırılabilir. Bunlar; Geotekstil, Geogrid, Geomembran, Geokompozit, Geonet'tir. Bu geosentetikler malzeme özelliklerine ve kullanım amaçlarına göre iki başlıkta incelenebilir.

1. Malzeme Özelliklerine Göre Geosentetikler

- Poliester
- Poliyamid
- Polietilen
- Polivinilklorid
- Polipropilen

2. Kullanım Amaçlarına Göre Geosentetik Çeşitleri

- Drenaj (Geonet- Geokompozit)
- Güçlendirme (Geogrid- Geotekstil)
- Ayırma (Geotekstil)
- Yalıtım (Geomembran)
- Koruma (Geotekstil)
- Filtrasyon (Geotekstil) (Bayram, 2006)

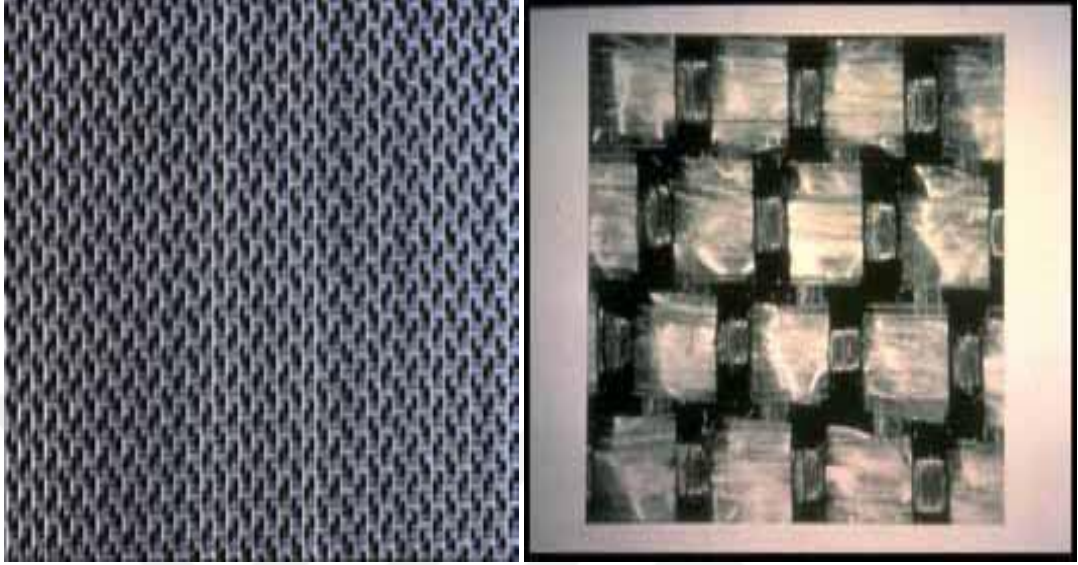
Bu çalışma kapsamında güçlendirme amaçlı olarak geotekstillere incelenecektir.

a. Güçlendirme Amacı ile Kullanılan Geotekstil

Geoteksiller toprağı geçirebilen bir tekstil ürünüdür. Güçlendirme amacı ile kullandığında geotekstillere çekme dayanımı oluştururlar. Geotekstillere özellikleri;

- UV ışınlarına karşı dayanıklıdırlar.
- Kimyasallara karşı dayanıklıdırlar (Töremiş, 2003).

- Aşınma, yıpranma ve kopmaya karşı dayanıklıdırlar.
- Sıcaklığa karşı dayanıklıdırlar (Töremiş, 2003).



Şekil 8. Örgülü Geotekstil (Bayram, 2006)



Şekil 9. Örgüsüz Geotekstil (Bayram, 2006)

Geotekstiller, polyester ya da polipropilen liflerden oluşur. Üretim durumlarına göre geotekstiller iki türdür.

- **Örgülü Geotekstiller:** Alt tabaka ile zemini biribirinden ayırmak amacı ile kullanılan örgülü geotekstiller, yük taşıma kapasitesinide arttıırırlar (Töremiş,

2003) Örgülü geotekstiller birbirine paralel liflere, dik bir şekilde (veya çapraz) gelen liflerin örülmesi ile meydana gelir. Aynı zamanda çekme mukavemetleri yüksektir. Bunun sebebi her iki yönden de ipliklerden oluştuğu için çapraz mukavemete sahiptirler (Bayram, 2006). Şekil 8’ de örgülü geotekstil modelleri gösterilmektedir.

- **Örgüsüz Geotekstiller:** Her yönde karmaşık olarak lifler dağılır. Her yönde eşit direnç sağladığı için örgüsüz geotekstiller hada fazla tercih edilir (İMMOB,1985). Örgüsüz geotekstillerde mekanik veya kimyasal işlemler uygulanarak çekme dayanımları arttırılmaya çalışılır (Bayram, 2006). Şekil 9’da örgüsüz geotekstil örneği gösterilmiştir.

b. Geotekstillerde Tasarım Kriterleri

Uygulanacağı zeminin tane boyutuna göre geotekstil ürün seçilmelidir. Aksi takdirde geotekstilin delik boyunun zeminin tane çapından büyük olması halinde zemin tanecikleri delik içerisinden geçerek istenmeyen durumlar meydana gelir. Ters durumda geotekstilin delik boyutu zeminin tane boyutundan küçük olduğu durumlarda ise geotekstilin deliklerinde tıkanmalar meydana gelir ve işlevini yerine getiremez (İMMOB,1985).

c. Geotekstillerin Kullanım Alanları

Geotekstillerin başlıca kullanım alanları

- Donatı olarak kullanım
- Erozyon kontrolü olarak kullanım
- Destek ve ayırıcı olarak kullanım
- Drenaj için kullanımdır (İMMOB,1985).
- Geotekstillerin kullanım amaçlarına göre gösterimleri, Şekil 10’da geotekstillerin destek ve ayırıcı olarak kullanımı gösterilmiştir.
- Geotekstillerin kullanım amaçlarına göre gösterimleri, Şekil 10’da geotekstillerin destek ve ayırıcı olarak kullanımı gösterilmiştir.
- Geotekstillerin kullanım amaçlarına göre gösterimleri, Şekil 10’da geotekstillerin destek ve ayırıcı olarak kullanımı gösterilmiştir.

Geotekstillerin kullanım amaçlarına göre gösterimleri, Şekil 10’da geotekstillerin destek ve ayırıcı olarak kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 10. Destek ve Ayırıcı Olarak Kullanılan Geotekstil (Töremiş, 2003)

Şekil 11’de ise geotekstilin filtrasyon amaçlı kullanılan geotekstilin inşa aşaması gösterilmektedir.



Şekil 11. Filtre amaçlı kullanılan geotekstil (Töremiş, 2003)

Drenaj amacı ile kullanılan geotekstilin uygulama aşaması Şekil 12’de görüldüğü gibidir.

Drenaj amacı ile kullanılan geotekstilin uygulama aşaması Şekil 12’de görüldüğü gibidir.



Şekil 12. Drenaj Amacı ile Kullanılan Geotekstil (Töremiş, 2003)

III. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yöntem 1950'lerde kullanılmaya başlamasının yanı sıra mühendislik alanları dışında çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. Gerilme analizi bu yöntemin uygulama alanı en geniş ve ilk olanıdır. Gerilme analizi sonlu elemanlar yönteminde geometrik cisimlerin formüle edilmesinden kaynaklanan zorluk nedeni ile bilgisayar ortamında hesaplaması kolay elemanlardan meydana gelmektedir. Cisimin elemanlara ayrılabilmesi için bir ağa ihtiyaç vardır. Geometrik şekli meydana getiren bütün elemanların malzeme özellikleri programa tanıtılmaktadır. Bunun yanında başlangıç noktasına göre düğümlerin eksenleri üzerindeki koordinatlar belirlenerek bilgisayar ortamında gösterilmelidir. Meydana gelen matematiksel modelde, sınır şartlarının ve oluşan farklı durumlar için matrisler oluşturulmakta, bu matrisler ise bilgisayar ile çözümlenmektedir. Bu yöntem ile cismin bütününde oluşan gerilme ve yer değiştirmeler bilinmektedir. İki veya üç boyutlu olarak bilgisayar ortamında modellenebilir (Güler ve Sadri, 2015). Sonlu elemanlar analizi, diferansiyel denklem problemlerini çözme yöntemidir. Sürekliliği sonlu sayıda parçalara bölerek denklemler sınırlı sayıda parametreler şeklinde belirlenir (Kahlström, 2013). Bu tez çalışmasında PLAXIS (Versiyon 8.5) sonlu elemanlar analiz programı kullanılmıştır.

A. PLAXIS Versiyon 8.5

Günümüzde PLAXIS yapı- zemin etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanılan bir simülasyon aracı olarak düşünülüp geoteknik problemlerin hesaplamalarını yapmak için geliştirilmiştir (PLAXIS, 2021). PLAXIS, daha inşa edilmemiş yapıların simülasyonlarını tasarlayıp, davranışını ortaya çıkararak gelişmiş ve etkileşimli tasarıma ulaşır (Nordal, 2019). Burada zemin modelleri, zemin davranışını temsili olarak kabul ederken, seçilen parametreler ise zemindeki davranışı ölçmek için kullanılır. Lineer, izotropik elastiklik kabulü ile zeminlerin mekanik davranışları farklı doğruluk derecelerine göre modellenebilir. PLAXIS sayısal anlamda uzman olmayan geoteknik mühendisler tarafından pratik bir şekilde analiz yapmak amacı ile geliştirilmiştir. Günümüzde birçok geoteknik mühendisi programı, mühendislik sorunlarının çözümü adına kullanmaktadır. PLAXIS, statik elastoplastik deformasyon, gelişmiş zemin modelleri, konsolidasyon ve sabit haldeki yeraltı su akışını içeren bir programdır (PLAXIS, 2021). PLAXIS Programı bilgi

girişine fırsat sağlayan giriş (input) programı, yapılan analizlerin hesaplanması için (calculation) programı, çıkan analiz sonuçlarının grafiksel gösterimi için kullanılan (output) programı ve elde edilen veriler sonucunda eğriler oluşturmaya yarayan (curve) programından oluşmaktadır (Töremiş, 2003).

1. Zemin Modelleme Yöntemleri

Bu çalışmada PLAXIS'te zemin davranışını modelleyebilmek için kullanılan parametreler ve yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

a. Mohr-Coulomb Modeli (MC)

Elastik-plastik Mohr-Coulomb Modeli, zemin veya kaya davranışını birinci dereceden bir yaklaşım olarak temsil eder ve beş girdi parametresi içerir. Bunlar, zemin elastikiyeti için E ve ν , zemin plastisitesi için ϕ , c ve ψ genişleme açısıdır. Mohr-Coulomb Modeli rijitliğin zemindeki derinlik ile değişmediğini varsayıp ortalama bir rijitlik aldığı için analiz sonunda meydana gelen deformasyon değerleri gerçeğe uygun değildir. Genellikle kazı durumları için de uygun değildir. Çünkü yükleme ve boşaltma durumları aynıdır (Bahadır ve Onur, 2017). Bu model plastik bölgeleri belirlemede faydalı olabilir (Alkhorshid, 2017). Genellikle bir problemin ilk analizi için kullanılması tavsiye edilir. Kişi burda deformasyonların ilk izlenimini görür. Bunun nedeni her katman için ortalama bir sertlik tahmin edilir ve bu sertlik sebebi ile hesaplamalar hızlı olma durumundadır. Bahsedilen bu zemin parametrelerinin yanında, başlangıç zemin koşullarında zeminin deformasyon problemlerinin çözümünde etkin rol oynar. Yatay zemin gerilmeleri için K_0 belirlenerek yapılmalıdır (PLAXIS, 2021).

b. Pekleşen Zemin Modeli (HS)

Sertleşme-Zemin modeli, zemin davranışının sümülasyonu için geliştirilmiştir. Mohr-Coulomb modeli gerilimin sınırlayıcı durumları olan sürtünme açısı ϕ , kohezyon c ve genişleme açısı ψ ile tanımlanırken, Pekleşen Zemin Modeli bununla birlikte rijitlik modülünü de hesaba katar. Mohr-Coulomb'da olduğu gibi ideal bir plastisite ile lineer elastikiyeti olan tek bir rijitlik parametresi kullanmak yerine, izotropik sertleştirmeyle beraber elastisite için farklı rijitlik modeli kullanılır (Schanz vd., 2019). Bunun sebebi sertliğin arttığı anlamına gelip, üç giriş sertliğinin hepsini hesaba katar. Genellikle 100 kPa olarak alınan bir referans stres ile ilgilidir. Böylece zemin rijitliği üç farklı şekilde tanımlanır. Üç eksenli yükleme rijitliği, E_{50} , üç

eksenli yük boşaltma rijitliği, E_{ur} ve ödometre yükleme rijitliği E_{oed} şeklinde tanımlanır. Çeşitli zeminler için ortalama değer olarak $E_{ur} \approx 3E_{50}$ ve $E_{oed} \approx E_{50}$ durumdade edilir. Toprak sertleşmesinden kaynaklanan yumuşamayı hesaba katmayan izotropik bir modeldir. Bu sebeple döngüsel bir yükleme durumunu modelleyebilmesi karmaşık bir modele bağlıdır. Sertleşen Zemin Modelinin kullanımı matris hesaplamalar sonucu oluştuğu için uzun hesaplama süreçleri ile sonuçlanır (PLAXIS, 2021).

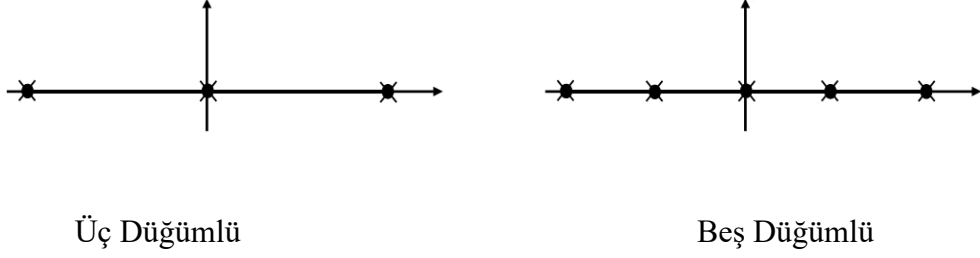
c. Yumuşak Zemin Modeli (SS)

Yumuşak zeminlerin davranışının, dayanım ve hacim değişimi gibi yönlerini modellemek için oluşturulan bir yöntemdir. Yumuşak Zemin Modeli izotropik gerilme halinde ve drene edilmiş durumda yavaş yavaş sıkıştırıldığı haldeki, belirli hacim arasındaki ilişkinin sıkıştırma çizgisinden ve setten oluştuğunu varsayar (Fall vd., 2011). Yumuşak Zemin Modeli birinci kullanım için tasarlanan Cam Clay tipi bir modeldir. Normal konsolide kil tipi zeminlerin sıkıştırılmasında kullanılan zemin modelidir, ayrıca Yumuşak Zemin Model, sıkışmanın etkili olduğu durumlarla sınırlı kalmalıdır. Model elastik zemin davranışını tahmin eder (PLAXIS, 2021). Yumuşak kil içeren zeminlerde Mohr-Coulomb malzeme modeli ile tasarım gerçekleştirmenin yumuşak kilin birincil konsolidasyon davranışını tahmin etmede yetersiz kaldığı durum için PLAXIS 2D’de Yumuşak Zemin Modeli ile malzeme modeli hasaplama ile en iyi değerler elde edilir (Kahlström, 2013).

2. PLAXIS’ te Elemanlar

a. Geogridler

Genellikle dolguları güçlendirmek veya istinat yapılarının inşasında kullanılır. Geogridler gerdirme elemanları ile beraber PLAXIS’ de simüle edilip modellenebilir. Çevresindeki toprak ile etkileşimini gösterebilmek için elementleri arayüz ile birlikte uygulamak daha uygundur (PLAXIS, 2021). Geogridler, eğilme rijitliği (EI) düşük, aksenal rijitliği (EA) yüksek malzemeler olup bu nedenle çekme dayanımları düşüktür. Modellenirken (EA) değeri parametre olarak girilir.



Şekil 13. Geogrid Düğümler (Çalık, 2018)

Şekil 13’ de gösterildiği gibi analizlerde altı düğümlü seçilen elemanlar için üç düğümlü, on beş düğümlü seçilen elemanlar için ise beş düğümlü şekilde tanımlanır (Çalık, 2018).

b. Elemanlar

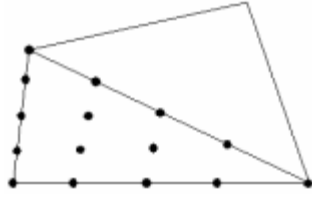
Ağların oluşturulması aşamasında kümeler üçgen elemanlara bölünerek, istenildiği gibi altı düğümlü veya on beş düğümlü elemanlardan herhangi biri seçilebilir. On beş düğümlü elemanların oluşturduğu ağlar, altı düğümlü elemanların oluşturduğu ağlardan daha esnek ve daha incedir. Hesaplama aşamasında ise daha fazla zamana ihtiyaç duyar. Fakat hızlı hesaplama için altı düğümlü üçgenler kullanılabilir (PLAXIS, 2021).

c. Düğümler

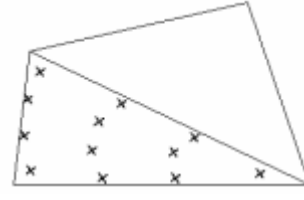
PLAXIS programında düğümler elemanlar üzerinde dağılımlı olarak gösterilirken on beş düğümlü eleman on beş düğümlü, altı düğümlü eleman ise altı düğüm ile adlandırılır. On beş düğümlü elemanlar hassas analiz yaparken, altı düğümlü elemanlar ise daha az hassasiyet ile analizler gerçekleştirir. Hesaplanması aşamasında sonlu bir elemanda yerdeğiştirmeler de hesaplanır (PLAXIS, 2021).

d. Stres Noktaları

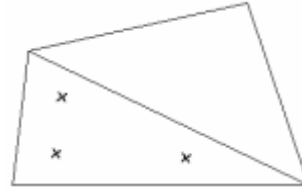
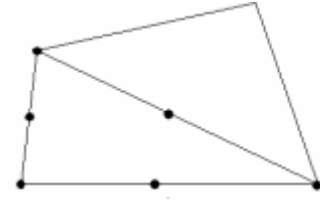
PLAXIS programında aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere on beş düğümlü üçgen bir eleman on iki stres noktası içerir. Aynı şekilde altı düğümlü üçgen elemanda ise üç stres noktası içerir. Gerilimler ve gerinimler yer değiştirmelerin tersine stres noktalarında hesaplanır (PLAXIS, 2021).



Düğümler



Stres noktaları

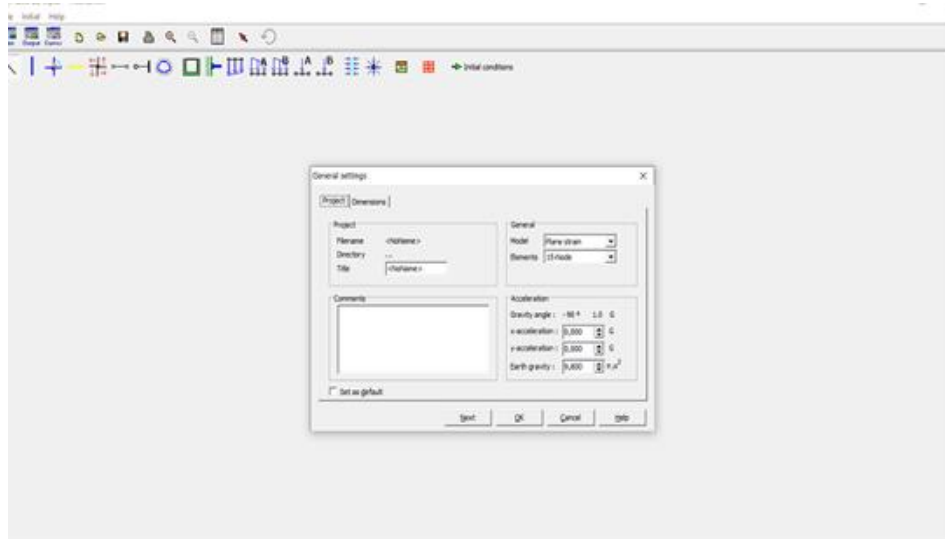


Şekil 14. Stres Noktaları ve Düğümler (PLAXIS, 2021)

Şekil 14’te PLAXIS programında altı ve on beş düğümlü elemanlarda düğüm ve stres noktaları gösterilmiştir.

3. Programın Kullanımı

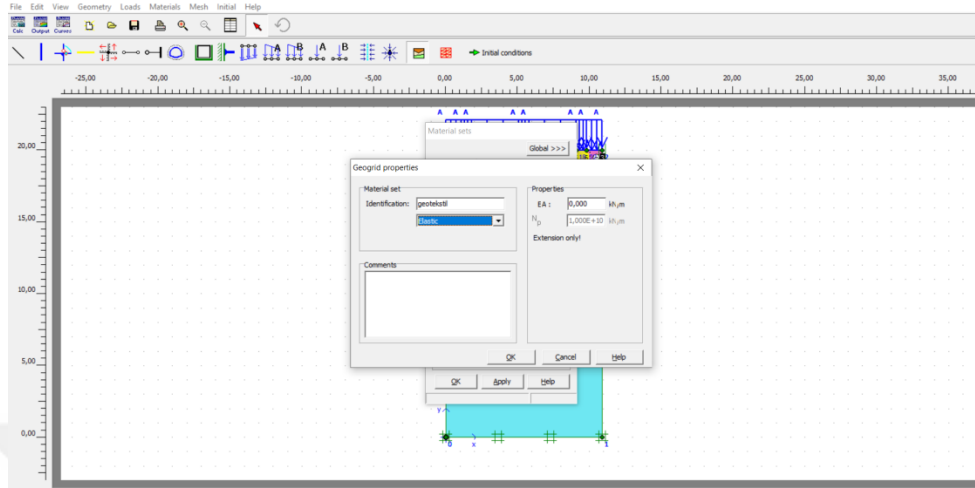
Programı kullanma aşamasında en başta geometrinin oluşturulması gerekir. Lines, komutu ile geometri oluşturulabilir. Şekil 15’te çalışılacak alan için sınırlandırma yapılır.



Şekil 15. Programın Kullanım İçin Geometri Oluşturma Aşaması (Başlangıç Aşaması)

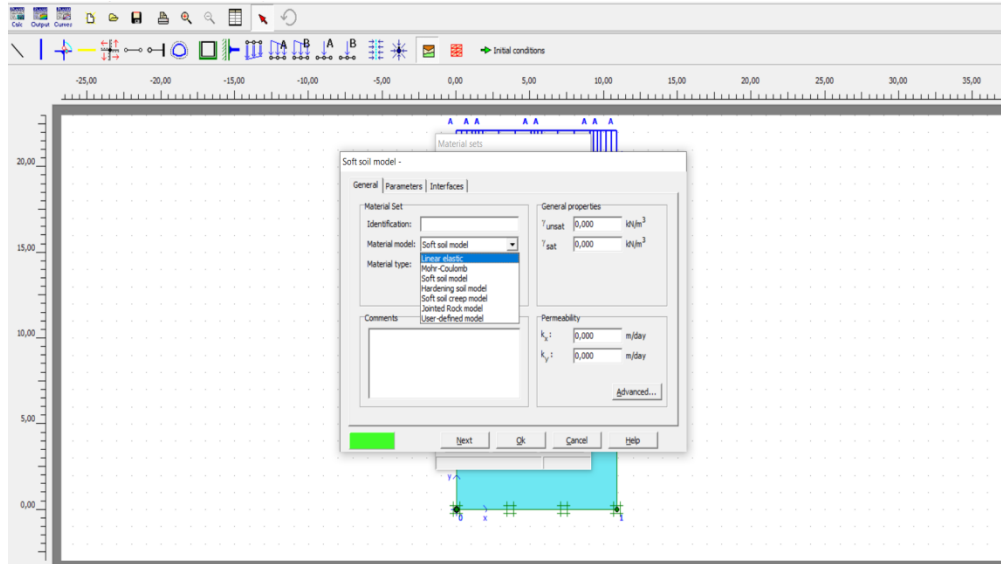
Standart Fixities, komutu ile malzemelerin ataması yapılmadan sınır şartlarının belirlenmesi gerekir. Bu komut kullanıldığında program yatay yönde hareketi sınırlandırır. Ancak düşey yönde hareket serbesttir.

Material Properties, konutu ile malzeme özellikleri (Beam, Soil&Interface, Geotekstile, Anchor) tanımlanır. Şekil 16’ da Geotekstile, kısmında EA (Normal rijitlik) değeri girdiler kısmında yazılmalıdır.



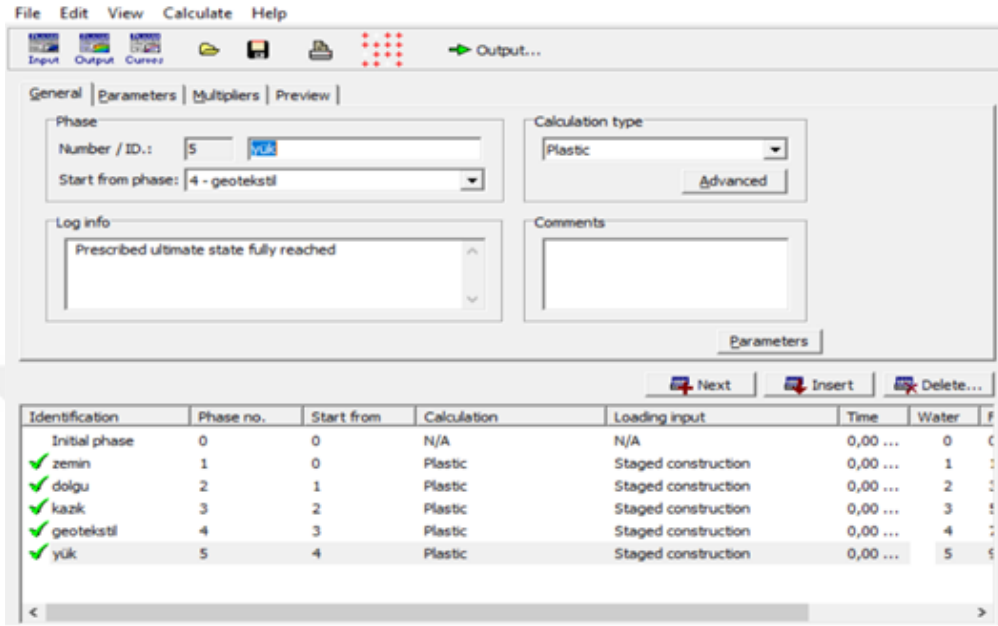
Şekil 16. PLAXIS Materyal Tanımlama, Geotekstil Girdi Kısmı

Şekil 17’de görüldüğü üzere PLAXIS programında, zemin özellikleri için genellikle kullanılan Mohr-Coulomb, özellikle kohezyonsuz zeminlerde kullanılan Hardening Soil Model, yumuşak zeminlerin modellenmesinde daha iyi sonuçlar veren Soft Soil Model ve Linear Elastic Model uygulanabilmektedir.



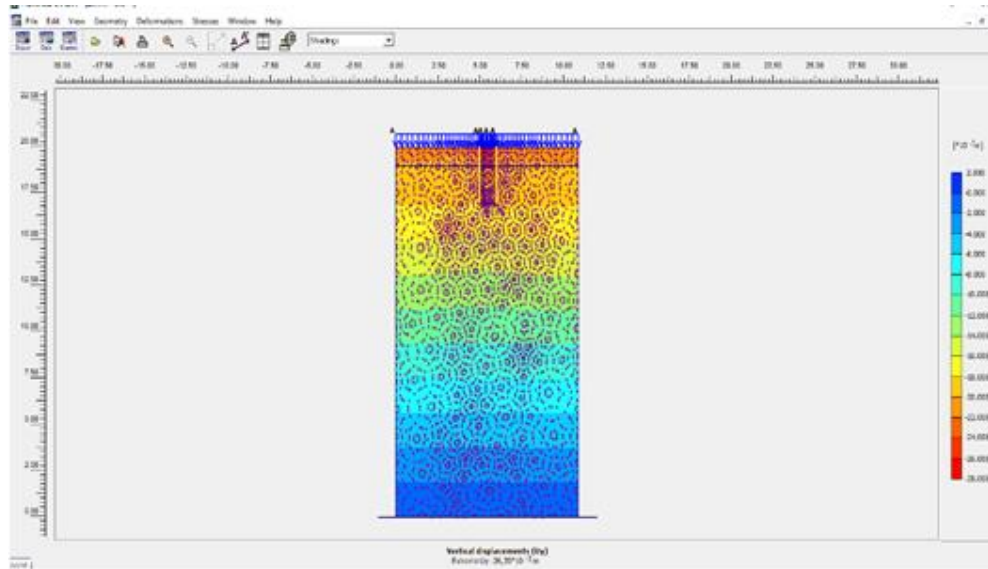
Şekil 17. PLAXIS Programında Kullanılan Zemin Modelleri

PLAXIS programında ağ Mesh ile yapılmaktadır. Daha sonra Initial Conditions ile mevcut ise yeraltı su seviyesi çizilip efektif gerilmeler hesaplanır. Şekil 18’de görüldüğü üzere son olarak Calculate komutu ile zeminin ve elemanların davranışları görülebilir (Töremiş, 2003).



Şekil 18. Hesaplama Paneli

Şekil 19’da ki gibi Output komutu ile analiz sonuçları grafiksel olarak görüntülenir.



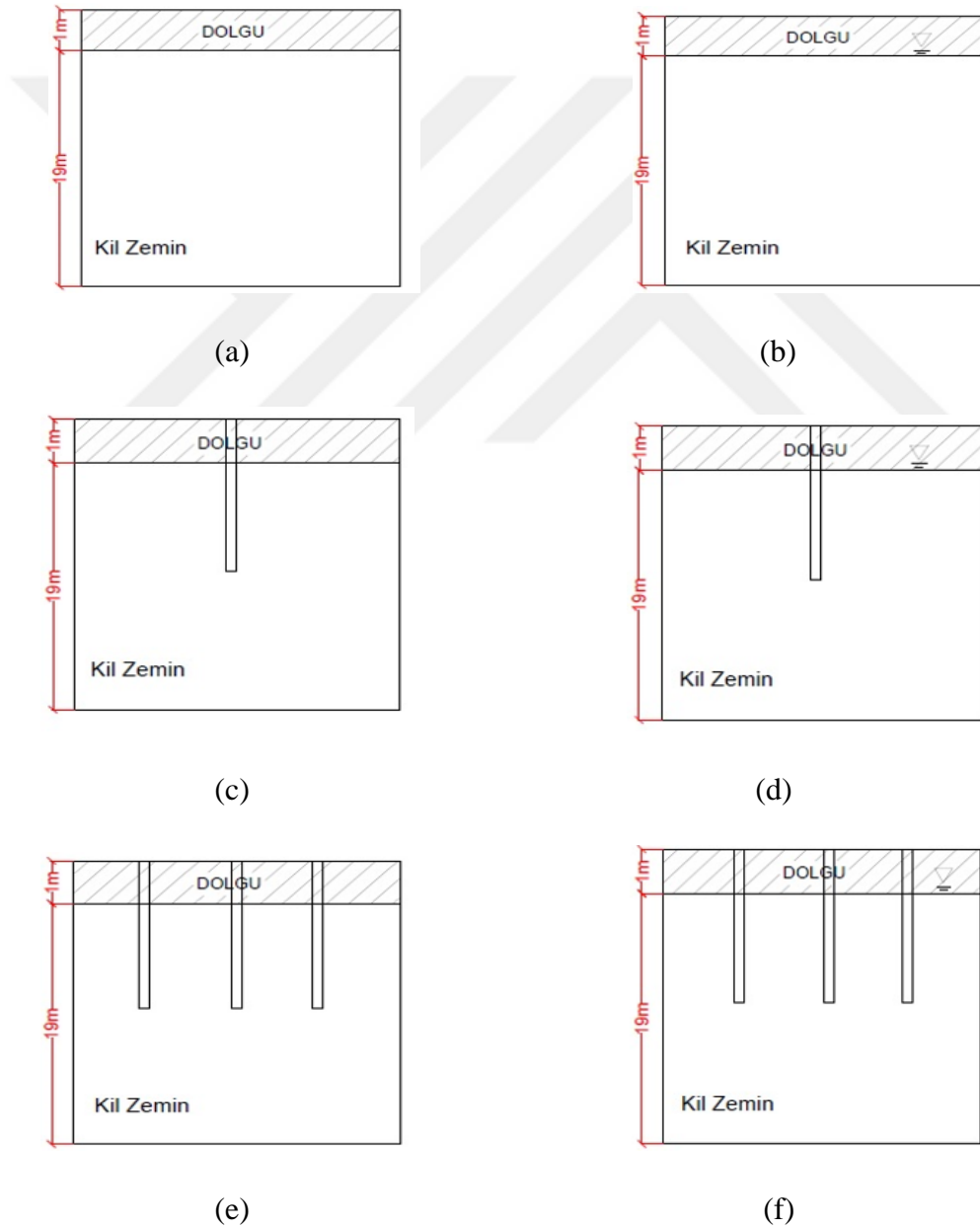
Şekil 19. Analiz Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

IV. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu aşamasında geosentetik kaplı kum kazıkların performansı incelenmiştir.

A. Geoteknik Model

Bu çalışmada analizleri yapılan zemin özellikleri İstanbul İli, Bağcılar, Zeytinburnu ve Avcılar İlçelerinden, zemin etüt raporları sonucu elde edilen geoteknik raporlardan temin edilmiştir. Zemin iki katmandan oluşur. 1m dolgu tabakası ve dolgu tabakasının alt kısmı ise 19 m killi zemindir. Analizlerdeki zemin modelleri Şekil 20’de gösterildiği gibi suya doygun ve kuru zemin için oluşturulmuştur.



Şekil 20. Zemin Profilleri

Bu araştırma çalışmasında üç farklı L/D oranlarına sahip kolon, iki farklı S (kolonlar arası mesafe) ile kolon yerleştirme, iki farklı yük, CH (yüksek plastisiteli kil zemin) ve CL (düşük plastisiteli kil zemin) sınıfı zemin, suya doymuş ve suyun olmadığı zemin durumu ve bunlara bağlı farklı plan konfigürasyonları incelenmiştir.

Zemin grupları her biri ayrı değerlendirilmek üzere yüksek plastisiteli kil (CH) ve Düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yumuşak killi zeminlerde oturmayı azaltmak amacı ile killi zemin içerisine kum kazık (kazıklar) uygulaması yapılması planlanmıştır. Kum kazıkların modellenmesinde kazık uzunlukları “L”, kazık çapları ise “D” ile gösterilmiştir. L/D oranı 10 (800cm/80cm) için, L/D oranı 8,57 (300cm/35cm) için, L/D oranı 5,71 (400cm/70cm) için analizler yapılmıştır. “S” kazık gruplarında kazıklar arasındaki mesafedir. S:2m ve S:4m seçilmiştir. Kum kazıklar için PLAXIS 2D programı ile tahmini performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Zemin üzerine 162 kN/m² ve 578 kN/ m² üniform yayılı yükler yerleştirilmiştir. Ayrıca her bir durum için yeraltı su seviyesinin olmadığı ve yeraltı su seviyesinin 1m’ de olduğu durumlar için analizler tekrarlanmıştır. (Xu vd., 2018) çalışmasında, kum kazık üzerine 25kPa’dan 800kPa’a kadar artan yük uygulayarak oturma analizi yapmıştır. (Wu ve Hong, 2014) ise çalışmasında, 20kPa, 50kPa, 100kPa, 200kPa ve 500kPa olmak üzere farklı yükler uygulayarak oturma analizi gerçekleştirmiştir. Bu tez çalışmasında ise, kazıksız zemin için ve geotekstil ile güçlendirilen kum kazıkları yerleştirilen zemin için, 162 kN/m² ve 578 kN/m² yayılı yükler altındaki performansları değerlendirilmiştir. Killi zemin içine yerleştirilen kum kazıklar Çizelge 2’de gösterildiği gibi modellenmiştir. Çizelge 1’de gösterilen L/D oranları (uzunluk/çap) ve S (kazıklar arası ara mesafe)’yi dikkate alarak ve bu parametrelerin etkisini daha yakından incelemek için Çizelge 2’de gösterilen oranlar mesafe olarak alınmıştır.

Çizelge 2. PLAXIS-2D’de Kullanılan Kazık Modelleri

Model	Yükseklik (cm)	Çap (cm)	L/D (Uzunluk/Çap)	Ara Mesafe S (m)
Model 1	800	80	10	S ₁ =2 ; S ₂ =4
Model 2	300	35	8,57	S ₁ =2 ; S ₂ =4
Model 3	400	70	5,71	S ₁ =2 ; S ₂ =4

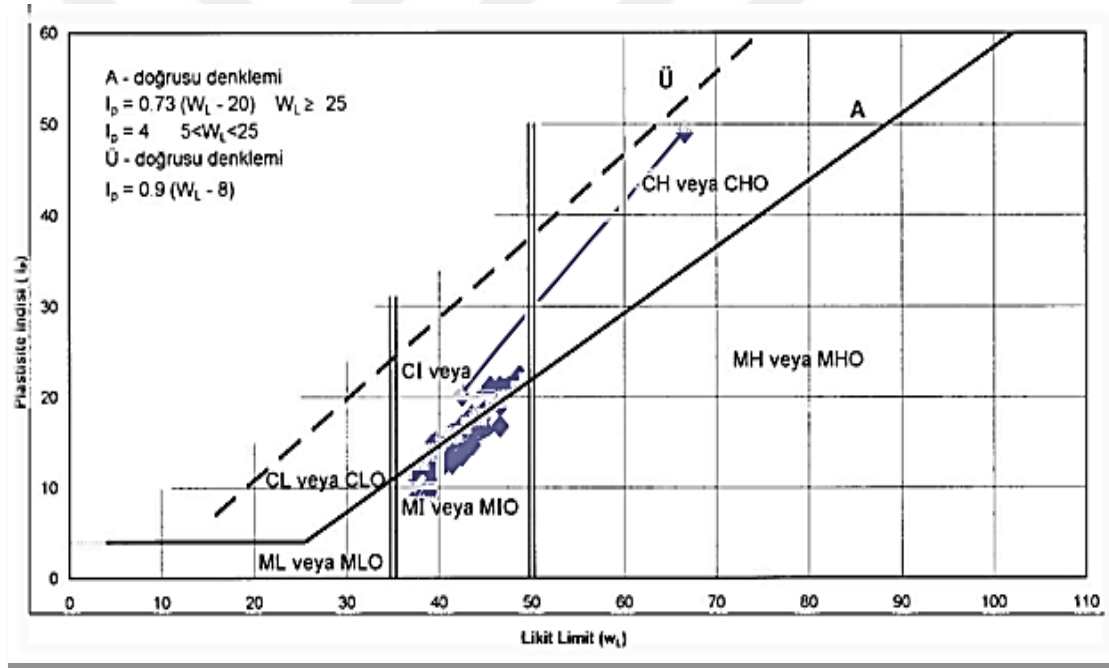
B. Çalışmada Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda başlıklarla açıklanmıştır.

1. Zemin Modeli

İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması için TS 1500/2000’de verilen birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre, 200 nolu elekten geçen yüzde %50 ‘den büyük olduğu durumdur. LL değerinin %50’ den büyük olduğu durumda zemin yüksek plastisiteli zemindir. Aynı şekilde zeminin LL değerinin %50’den küçük olduğu durumda ise zemin düşük plastisiteli zemindir (Bozbey, 2016). Çizelge 3’ de bu çalışmada kullanılan killi zeminlerin kıvam limitleri gösterilmiştir.

Şekil 21’de gösterilen plastisite kartına bağlı olarak sınıflandırma yapılır. Sınıflandırma LL ve PI değerlerine bağlı olarak yapılır.



Şekil 21. İnce Daneli Zeminlerde Plastisite Kartı (Çakılıoğlu, 2007)

PI değeri aşağıda verilen Denklem (1) göre hesaplanır.

Plastisite kartında ilk harf olan C killeri, M siltleri, O ise organik zeminleri temsil etmektedir. Likit limit %50 altında ise L, likit limit %50 üstünde ise H ile ifade edilir. Likit limitin %50 olduğu kısımda düşey bir doğru ile plastisite kartı dört kısma ayrılır. Sağ kısımda kalan bölüm yüksek plastisiteyi gösterirken, sol kısımda kalan bölüm ise düşük plastisiteyi gösterir. Plastisite kartındaki A hattı çıkarımsal bir sınırı ifade eder (Toksöz ve Yılmaz, 2019).

$$\text{Plastisite İndisi (PI)} = \text{LL} - \text{PL} \text{ denkleminde hesaplanır.} \quad (1)$$

Burada;

LL : Likit Limit

PL : Plastik Limit

PI : Plastisite İndisi

Çizelge 3. Killi Zeminler İçin Kıvam Limitleri

Kıvam Limitleri	Yüzde	Düşük Plastisiteli Kil (CL)	Yüksek Plastisiteli Kil (CH)
Likit Limit (LL)	%	39,9	62,7
Plastik Limit (PL)	%	19,6	28,3
Plastisite İndisi (PI)	%	20,3	34,4

Bu çalışma için seçilen zemin düşük plastisiteli killi zemin ve yüksek plastisiteli killi zemindir. Düşük plastisiteli kil ve yüksek plastisiteli kil zemin için kullanılan parametreler İstanbul İli, Zeytinburnu İlçesi'nden temin edilen geoteknik raporları sonucu elde edilmiştir. Girdi parametresi olarak (ν_{ur}) drenajsız poisson oranıdır ve 0,20 alınmıştır (Çelik, 2018). Yumuşak zemin modelleme hesaplamasında kullanılan sıkışma indisi ve şişme indisi parametreleri zemin modelinin girdi parametreleridir ve denklem (2) ve (3)'de belirtilen denklemlere göre hesaplanabilir. Aynı zamanda zemin modelinde girdi parametresi olan permabilite katsayıları da denklemlere göre hesaplanmıştır. Diğer parametreler geoteknik raporlardan ve çalışmalardan elde edilmiştir. Sıkışma indeksi, şişme indeksi zemin modellerinin girdi parametreleridir ve hesaplama denklemleri aşağıda verilmiştir (PLAXIS, 2021).

$$\tilde{\mathbf{k}} = \frac{2Cr}{2,3(1+e)} \quad (2)$$

$$\tilde{\lambda} = \frac{Cc}{2,3(1+e)} \quad (3)$$

Sıkışma indisi ve şişme indisi hesaplamalarında kullanılan kullanılan sıkışma indisi (C_c) ve yeniden sıkışma indisi (C_r) değerleri denklem (4) ve (5) göre hesaplanmıştır.

Burada;

e : Boşluk oranıdır.

$\tilde{\lambda}$: Değiştirilmiş sıkıştırma İndeksi,

$\tilde{\kappa}$: Değiştirilmiş şişme indeksi dir.

$$C_c = 0,007(LL - 10) \quad (4)$$

$$C_r = \frac{1}{10}C_c \quad (5)$$

Burada;

C_c : Sıkışma indisi,

C_r : Yeniden sıkışma indisi,

LL : Likit Limit dir.

Yumuşak killi zeminde yüksek plastisiteli kil (CH) ve düşük plastisiteli kil (CL) zeminler için modellemede kullanılan permabilite katsayısı ($k_x=k_y$) denklem (6)' da gösterilen denkleme göre hesaplanmıştır. Bu denklemde hesaplamalarda kullanılan veriler geoteknik raporlardaki ödometre deney sonuçlarından elde edilmiştir.

$$k = C_v \times m_v \times \gamma_{su} \quad (6)$$

Yukarıdaki denkleme göre düşük plastisitede permabilite,

$$k = 6,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sn} \times 0,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kN} \times 10 \text{ kN/m}^3$$

Yüksek plastisitede permabilite,

$$k = 1,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sn} \times 0,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kN} \times 10 \text{ kN/m}^3 \text{ e göre hesaplanmıştır.}$$

Bu denklemdeki;

C_v : Konsolidasyon Katsayısı

m_v : Hacimsel Sıkışma Katsayısı

γ_{su} : Suyun Birim Hacim Ağırlığı

Bu çalışmada kullanılan toprak düşük plastisiteli kil (CL) ve yüksek plastisiteli kil (CH) dir. PLAXIS programında kullanılan zemin parametreleri aşağıda Çizelge 4' te belirtilmiştir.

Çizelge 4. PLAXIS-2D' de Kullanılan Zemin Modelleri Parametreleri

Malzeme	Düşük Plastisiteli Kil (CL)	Yüksek Plastisiteli Kil (CH)
Zemin Modeli	Cam-Clay Model	Cam -Clay Model
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık(kN/m ³)	15,99	14,65
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m ³)	18,39	18,55
Permabilite k _x (m/gün)	3,919104x10 ⁻⁵	1,944x10 ⁻⁵
Permabilite k _y (m/gün)	3,919104x10 ⁻⁵	1,944x10 ⁻⁵
Elastisite Modülü E (kN/m ²)	16960	20800
Poisson Oranı	0,30	0,30
Efektif İçsel Sürtünme Açısı (°)	8,43	11,95
Kohezyon (kN/m ²) C	51	45
Genleşme Açısı ψ (°)	0	0
Sıkışma İndisi ($\tilde{\kappa}$)	0,066385869	0,080809
Şişme İndisi ($\tilde{\lambda}$)	0,013277173	0,01616

2. Dolgu Modeli

Dolgu modeli için girdi parametresi olan permabilite değeri 10⁻¹cm/sn olarak seçilmiştir (Evirgen vd., 2015). Daha sonra PLAXIS'de parametre girişi için birim çevirme yapılmıştır. Giriş parametresi olarak 86,4 m/gün olarak belirlenmiştir. Dolgu modeli için seçilen girdi parametrelerin geri kalan kısmı İstanbul İli, Bağcılar İlçesi'nden geoteknik rapor sonucu elde edilmiştir. PLAXIS'te modellemede kullanılan dolgu parametreleri Çizelge 5'te belirtilmiştir.

Çizelge 5. PLAXIS-2D' de Kullanılan Dolgu Modeli Parametreleri

Tanım	Dolgu
Zemin Modeli	Pekleşen Zemin Modeli
Drenaj Durumu	Drenajsız
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	15,00
Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	15,00
Permabilite k _x (m/gün)	86,4
k _y (m/gün)	86,4
E ₅₀ (kN/m ²)	9806,65
E _{oed} (kN/m ²)	9806,65
E _{ur} (kN/m ²)	29419,95
Poisson Oranı (ν)	0,41
Efektif içsel sürtünme açısı (°)	20
Kohezyon (kN/m ²) C	4,9
Genleşme açısı ψ (°)	0

3. Kum Kazıkların Modellenmesi

Kum kazık için belirlenen permabilite değeri 10⁻²cm/sn olarak belirlenmiştir (Evirgen vd., 2015). Modellemelerde girdi parametresi için birim çevirme yapılmıştır. Kum kazıklar için kohezyon değeri sıfıra yakın değer 0,02 kg/cm² = 1,96kN/m² alınmıştır (Günaydın vd.,2014). Elastisite modülü 80000 kN/m² (Çalık, 2018) ve kuru birim hacim ağırlık 15,5 kN/m³, içsel sürtünme açısı 30, Poisson oranı 0,3 seçilmiştir (Naseer vd., 2019). PLAXIS'te kum kazık modellenirken kullanılan parametreler Çizelge 6'da belirtilmiştir. Kum kazıklar modellenirken Mohr-Coulomb Zemin Modeli ve drenajlı olarak seçilmiştir.

Çizelge 6. PLAXIS-2D' de Kullanılan Kum Kazık Parametreleri

Özellikler	Kum Kazık
Zemin Modeli	Mohr- Cloumb Zemin Modeli
Drenaj Durumu	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	15,5
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m ³)	18,0
Kohezyon C(kN/m ²)	1,96
Elastisite Modülü(kN/m ²)	80000
Poisson oranı (ν)	0,3
İçsel sürtünme açısı (°)	30
Genleşme açısı ψ (°)	1
Permabilite kx (m/gün)	8,64
Permabilite ky (m/gün)	8,64

4. Geosentetik Donatı Modellemesi

Geosentetiklerin, zemin iyileştirme adı altında kullanım alanları geniş olmakla birlikte aynı zamanda hafif malzeme oldukları için zeminde oturmayıda arttırmazlar (Akyıldız, 2019). Bu çalışmada kullanılan geosentetik donatı özellikleri Çizelge 7 'de belirtilmiştir. Elastik rijitliği (EA) 1200 kN/m (PLAXIS, 2021) olan geotekstil donatı kum kolonlar çevresine tek sıra halinde sarılarak PLAXIS-2D ile modellenmiştir.

Çizelge 7. PLAXIS-2D' de Kullanılan Geosentetik Özellikleri

Geosentetik Malzeme	Elastik Rijitlik	Model
Geotekstil	1200 kN/m	Elastik

C. PLAXIS-2D ile Analizler

PLAXIS-2D'de modellemeler, altı düğümlü veya on beş düğümlü olarak simüle edilebilmektedir. Fazla düğüm daha fazla doğruluk sağlayabilir. Sonlu eleman analizi yöntemi, işlenmemiş zemin modeli ve kum kazık ile güçlendirilmiş zemin modellerin geotekstil donatı ile kaplanması sonucu uygulanmıştır. Zemin, yüksek

plastisiteli kil içerikli zemin ve düşük plastisiteli killi zemin seçilmiş olup, drenajsız durum kabul edilmiştir. Yumuşak zemin modeli ile modellenmiştir. Dolgu tabakası için drenajsız durum kabul edilmiştir. Bütün dolgu parametreleri zemin etüt raporlarından ve referans çalışmalardan temin edilmiştir. Sertleşme-zemin modeli tanımlanmıştır. Kum kazıklar için ise drenajlı durum kabul edilmiştir. Mohr-Cloumb kriteri kullanılmıştır.

Biribirinden farklı koşullar PLAXIS’de modellemek için seçilmiştir.

- İşlenmemiş zemin
- L/D oranı 5,71 olan tek kum kazık
- L/D oranı 8,57 olan tek kum kazık
- L/D oranı 10 olan tek kum kazık
- L/D oranı 5,71 olan üç elemanlı (grup) kum kazık
- L/D oranı 8,57 olan üç elemanlı (grup) kum kazık
- L/D oranı 10 olan üç elemanlı (grup) kum kazık

1. Analiz Sonuçları

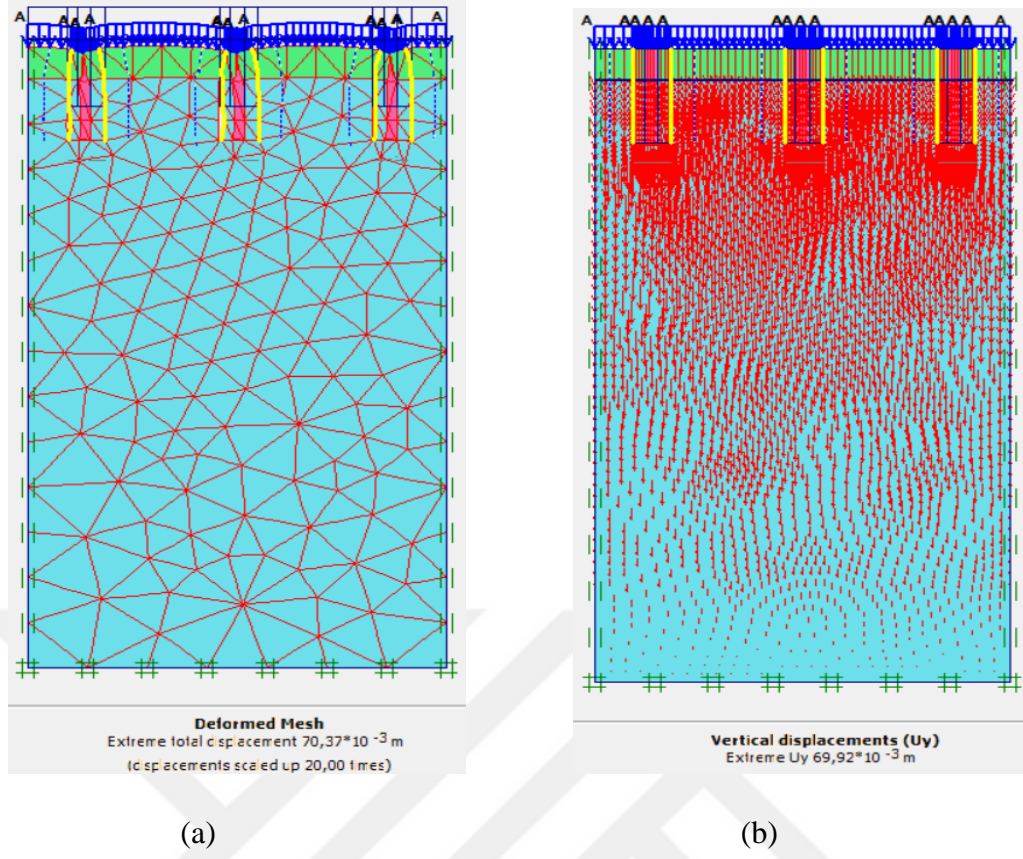
Zayıf düşük plastisiteli killi zemin ve yüksek plastisiteli killi zemin içerisine güçlendirme amacı ile yerleştirilen geotekstil takviyeli tek kum kazık ve grup kum kazıklar (üç elemanlı grup kazık), farklı konfigrasyonlarda sonlu elemanlar analiz yöntemi olan PLAXIS-2D programı ile modellenmiştir. Modellemeler sonucunda elde edilen değerlendirmeler ve veriler aşağıda sıralanmıştır.

Yüksek plastisiteli killi zemin içerisine geotekstil donatı sarılarak modellenen, yükün 578 kN/m², yeraltı su seviyesinin 1m’de olduğu durum için en iyi oturma, L/D oranının 8,57 olduğu ve kolonlar arası mesafenin ise 4m seçildiği modeldir. Modelde oturma ve deformasyon analizleri Şekil 22’de, Şekil 23’te ise yüksek plastisiteli killi zemin için oturma verileri gösterilmiştir.

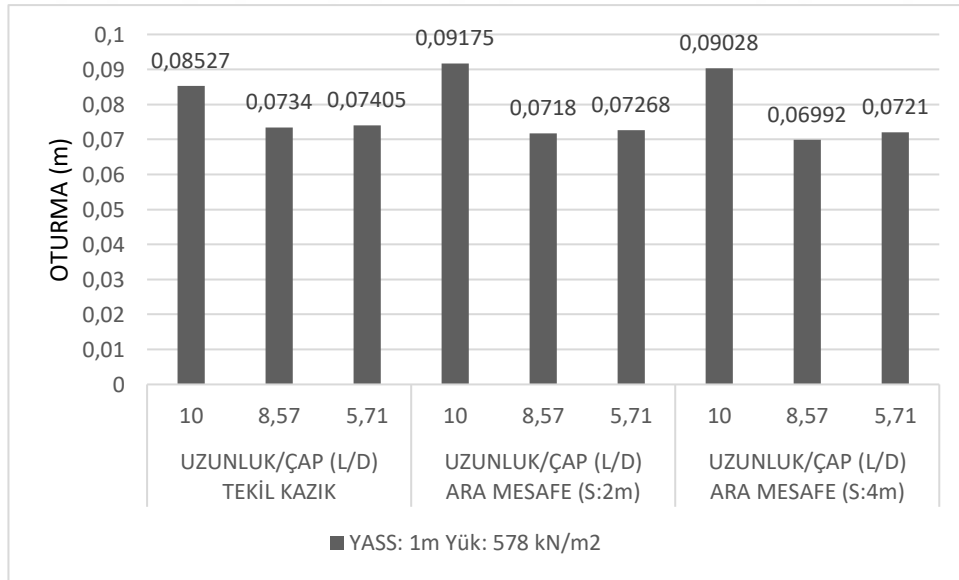
Bu tez çalışmasında yapılan hesaplamalar, yüzde hata hesaplamasına göre yapılmıştır. Yüzde hata hesaplaması, mutlak hata, kesin değer ile yaklaşık değer arasındaki farkın mutlak değerine eşittir.

Hata yüzdesi,

$$\delta = \% 100 \times \left| \frac{V_{\text{tam}} - V_{\text{yaklaşık}}}{V_{\text{kesin}}} \right| \text{ olarak hesaplanır.} \quad (7)$$

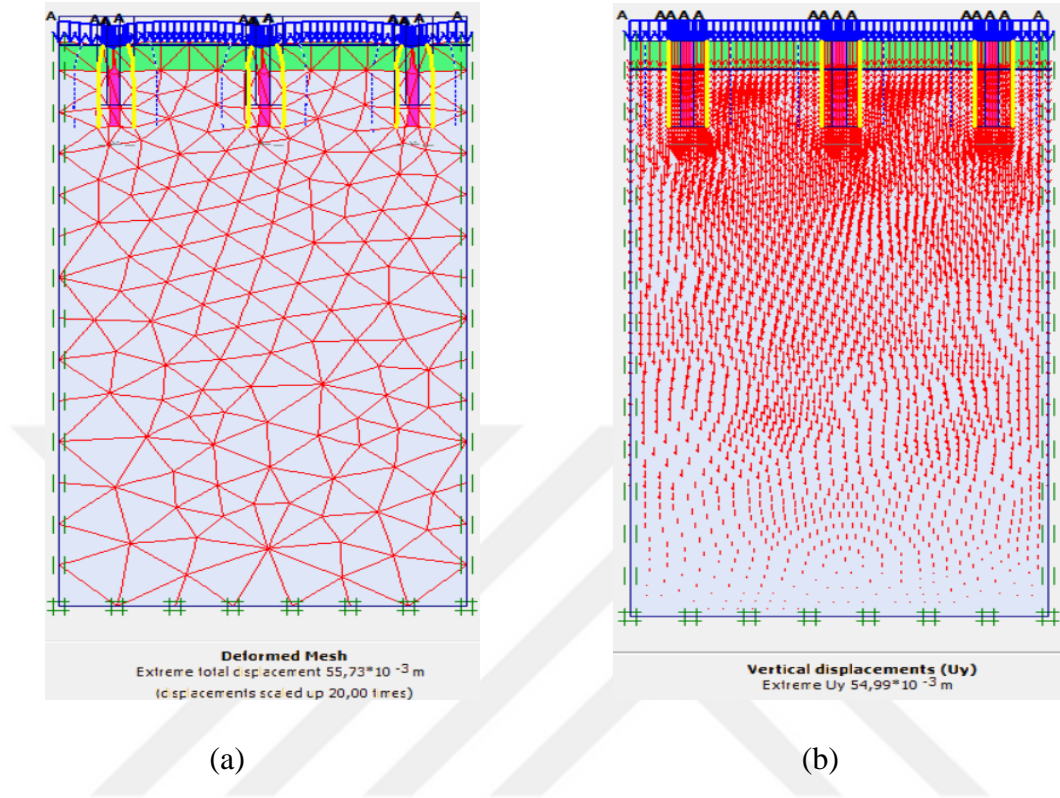


Şekil 22. Yüksek Plastisiteli Suya Doymuş Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi.

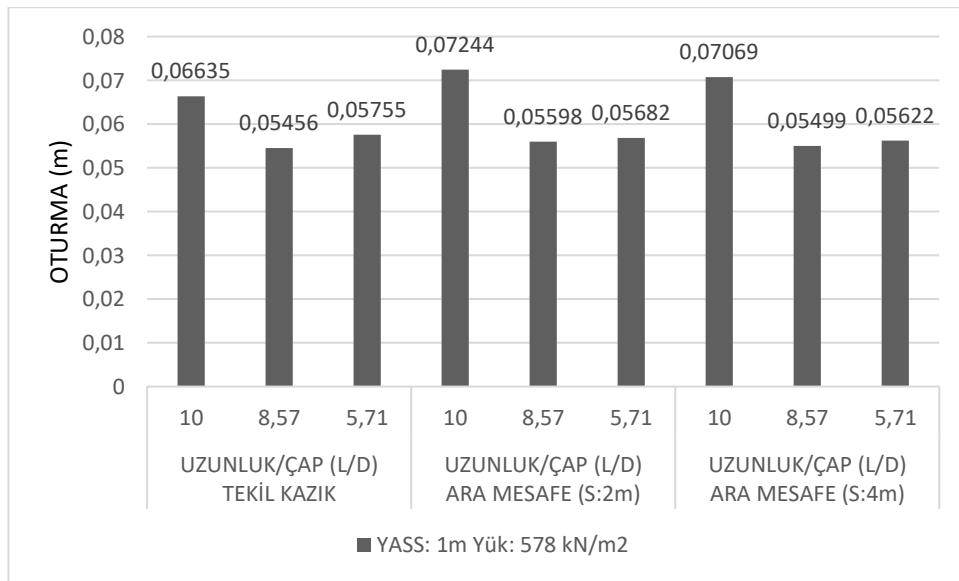


Şekil 23. Yüksek Plastisiteli Suya Doymuş Killi Zemininin Oturma Verileri Grafiği
Düşük plastisiteli killi zemin içerisine geotekstil donatı takviyesi ile modellenen grup kazıklar da (üç elemanlı kazık), yükün 578 kN/m^2 , yeraltı su seviyesinin 1m'de (doymuş) olduğu durum için en iyi oturma, L/D oranının 8,57 olduğu ve kolonlar

arası mesafenin ise 4m olduğu durumdur. Oturma ve deformasyon analizleri Şekil 24'te gösterilmiştir. Şekil 25'te ise düşük plastisiteli kil zeminde oturma analizi verileri gösterilmiştir.

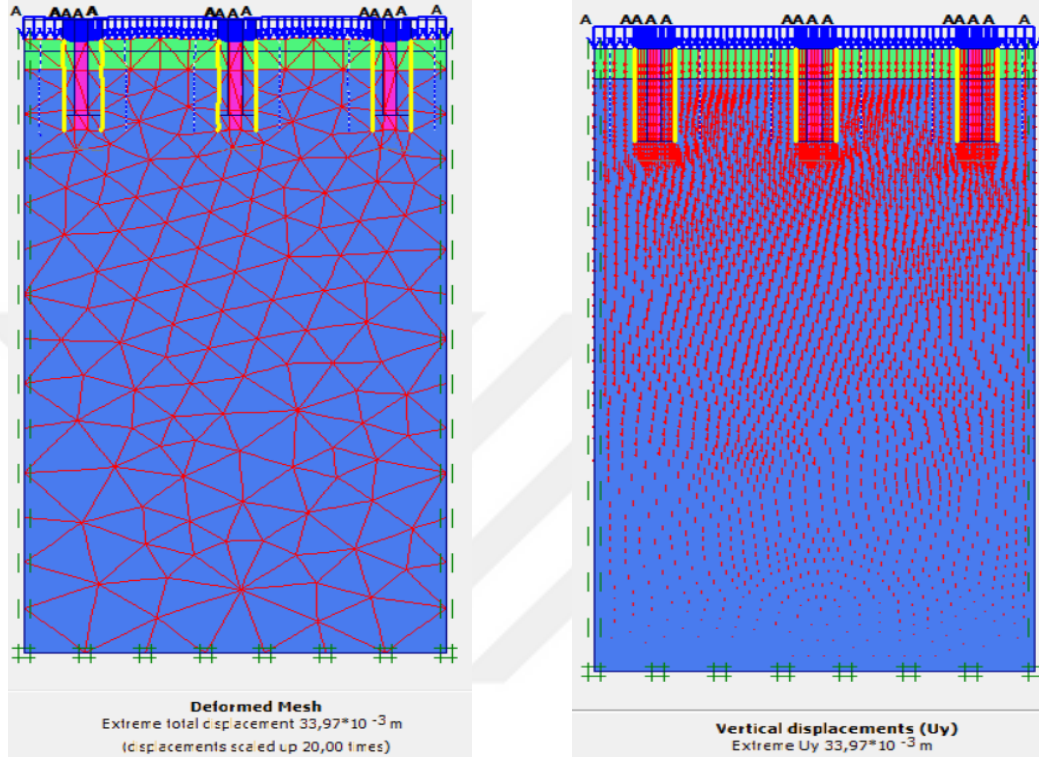


Şekil 24. Düşük Plastisiteli Suya Doymun Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi



Şekil 25. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Oturma Verileri

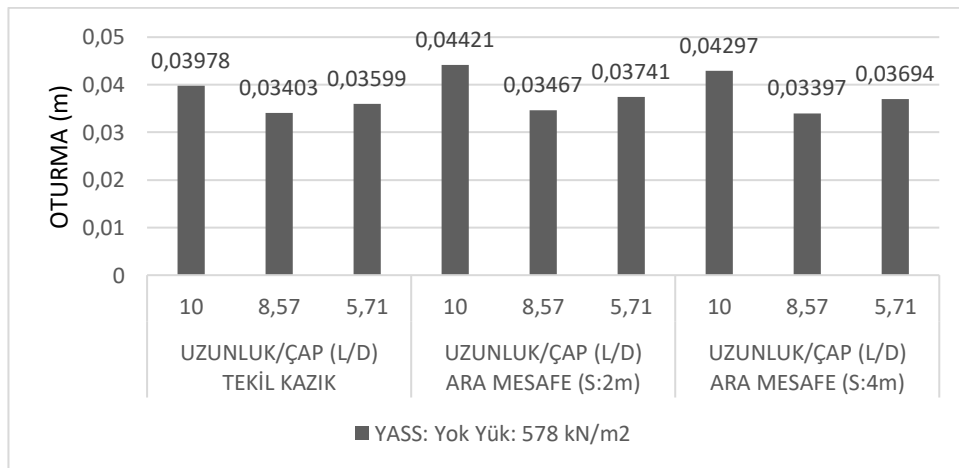
Yüksek plastisiteli killi zemin içerisinde geotekstil donatı sarılarak modellenen, yükün 578 kN/m^2 , zeminin kuru olduğu durumda en iyi oturma, L/D oranının 8,57 olduğu ve kolonlar arası mesafenin ise 4m olduğu modellemedir. Bu modelleme durumu için oturma ve deformasyon analizleri Şekil 26’da gösterilmiştir. Şekil 27’de ki grafikte yüksek plastisiteli kuru killi zemindeki oturma verileri gösterilmiştir.



(a)

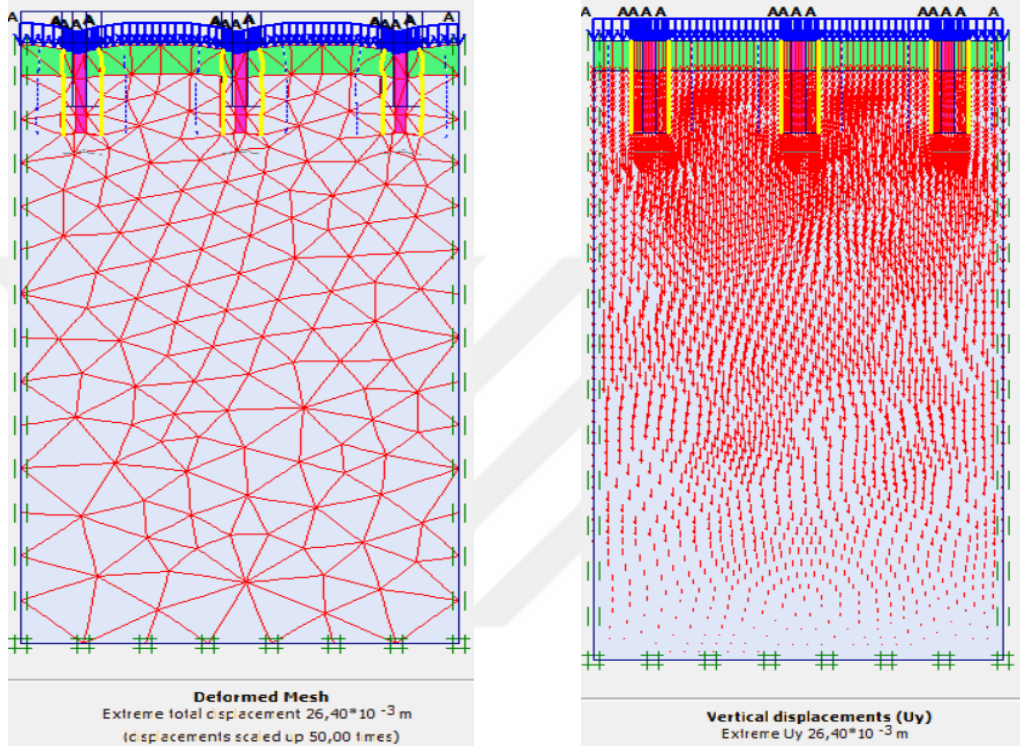
(b)

Şekil 26. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zemin için, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi



Şekil 27. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri

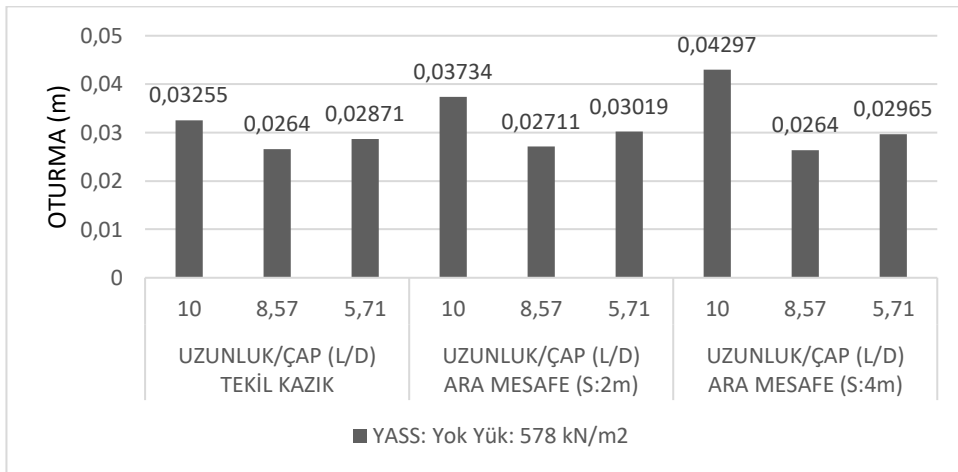
Düşük plastisiteli kil içerikli kuru zeminde, 578 kN/m^2 yükte en iyi zemin oturması için deformasyon ve oturma analizleri gösterilmiştir. Otumanın en az olduğu model L/D oranının 8,57 olduğu, kazıklar arası mesafenin (S) ise 4m olduğu durumdur. Şekil 28’de bu modelleme halinde en düşük oturma grafiği ve Şekil 29’da ise düşük plastisiteli killi kuru zemin üzerine 578 kN/m^2 uygulanan yükte zemindeki oturma değerleri gösterilmiştir.



(a)

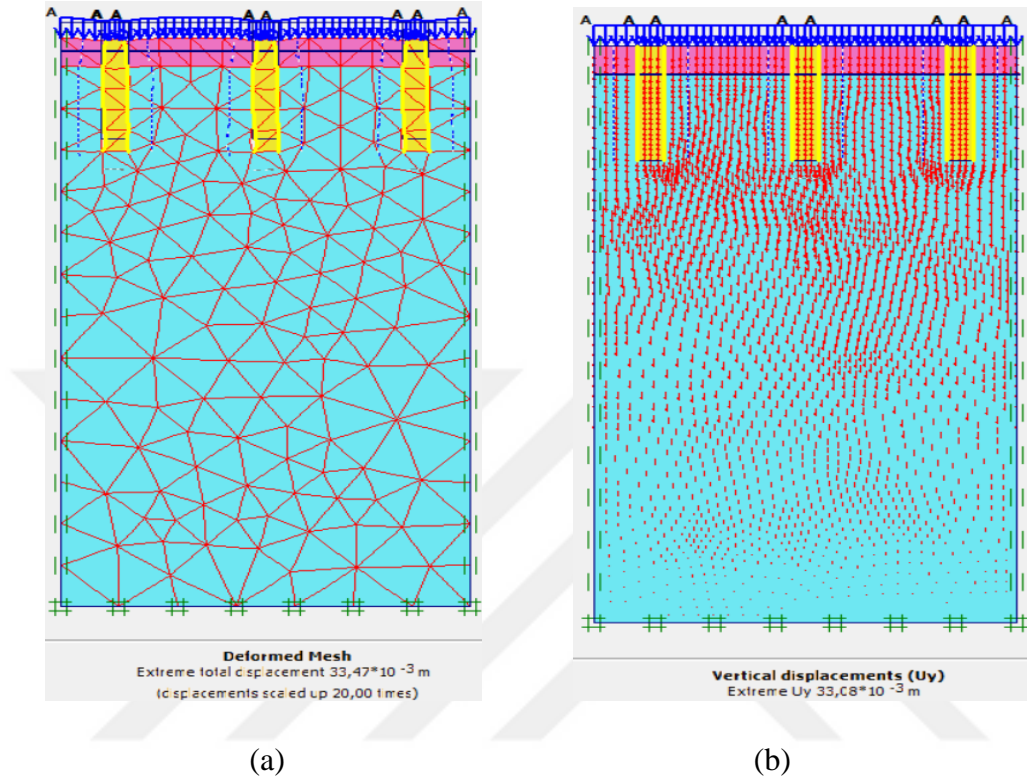
(b)

Şekil 28. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yerdeğiştirme Analizi

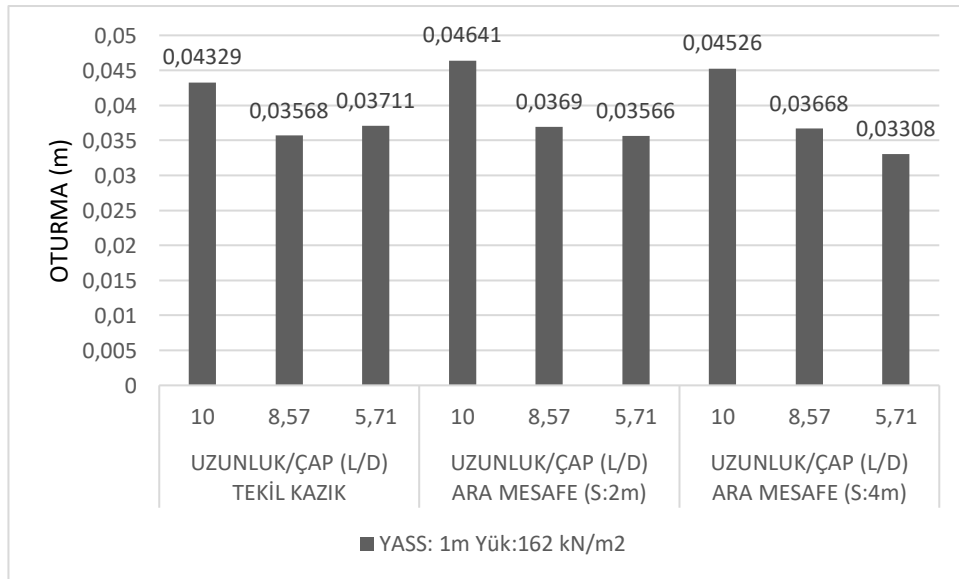


Şekil 29. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri

Suya doymun düşük plastisiteli kil zemin üzerine 162 kN/m² uygulanan yük, kazıklar arası mesafenin (S) 4m olduğu ve L/D değerinin 5,71 olduğu oturma grafiği Şekil 30'da gösterilmiştir. Şekil 31'de ise düşük plastisiteli killi zemin için oturma verileri gösterilmiştir.

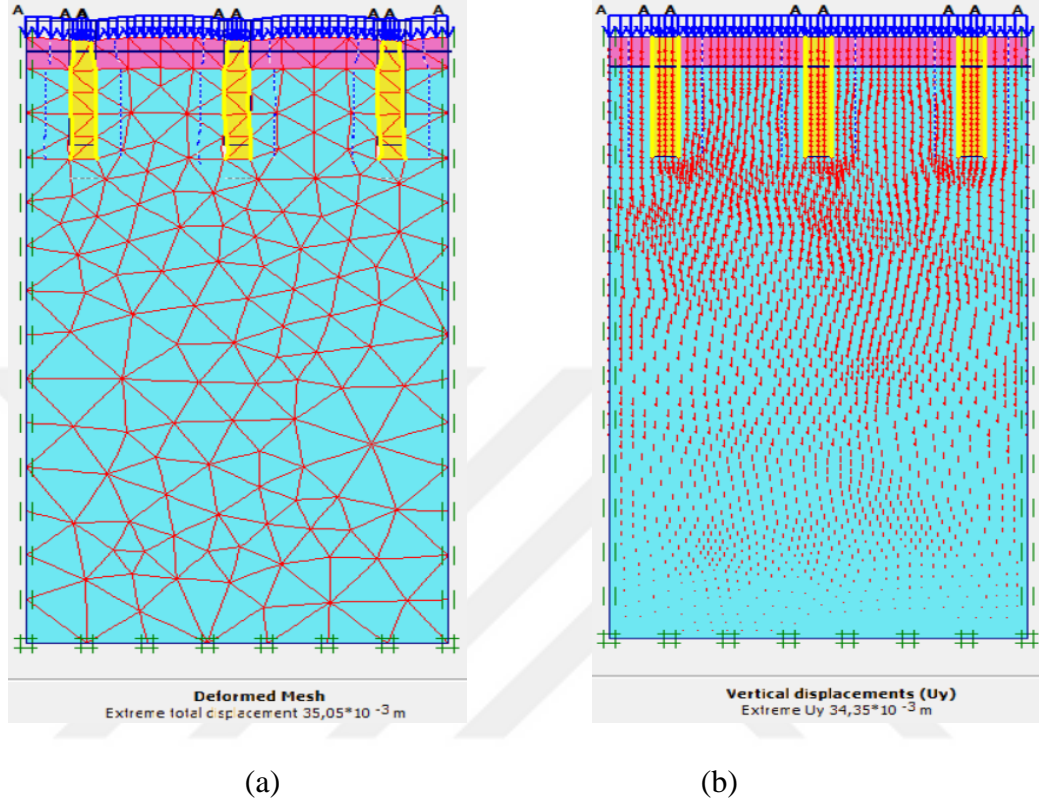


Şekil 30. Düşük Plastisiteli Suya Doymun Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi
(b) Düşey Yer Değişirme Analizi

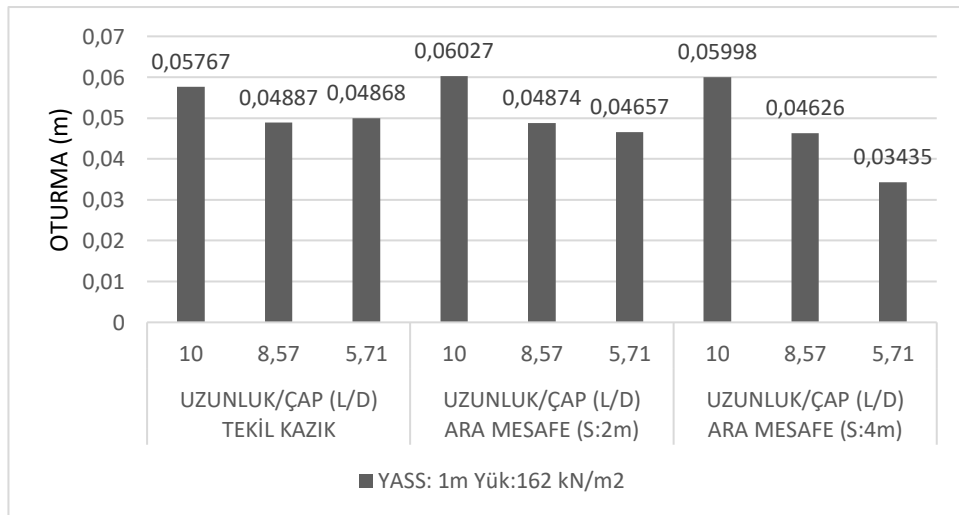


Şekil 31. Düşük Plastisiteli Suya Doymun Killi Zeminde Oturma Verileri

Suya doygun yüksek plastisiteli kil zemin üzerine 162 kN/m^2 uygulanan yük, kazıklar arası mesafenin (S) 4m olduğu ve L/D değerinin 5,71 olduğu analiz sonuçları Şekil 32’de gösterilmiştir. Zemindeki oturma verileri Şekil 33’te gösterilmiştir.

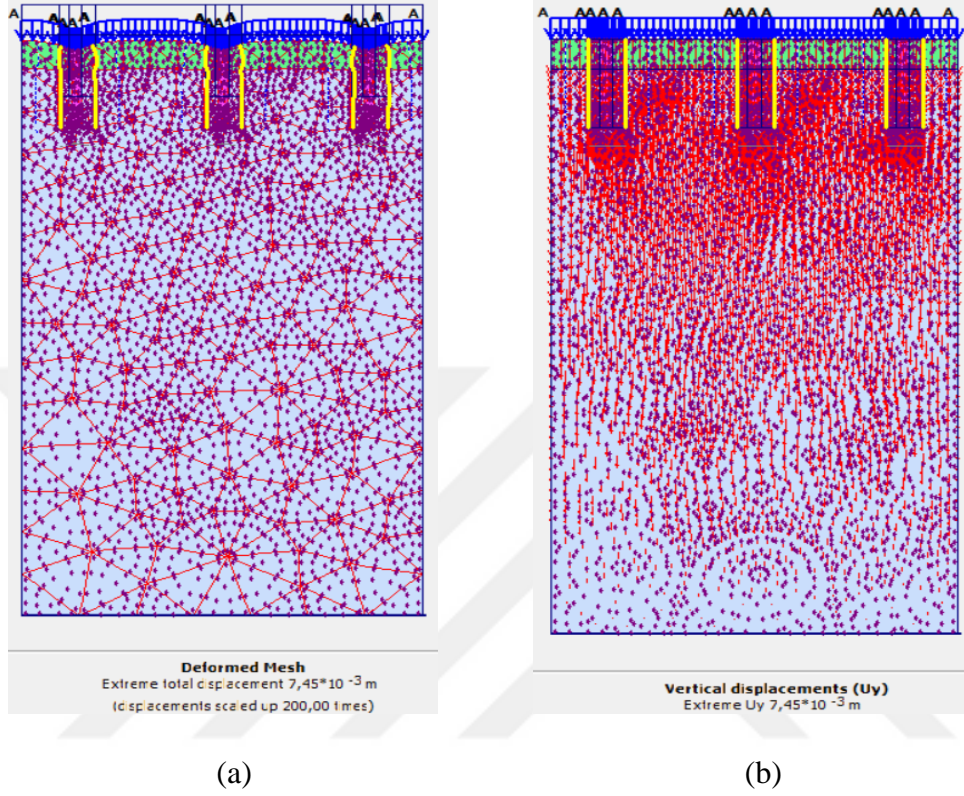


Şekil 32. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminde (a) Deformasyon Analizi
(b) Düşey Yer Değiştirme Analizi

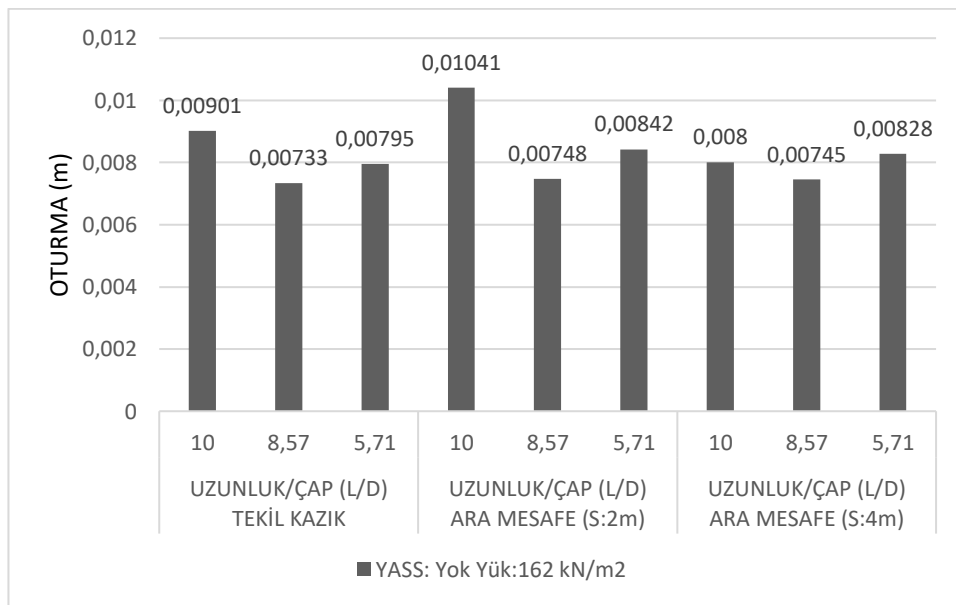


Şekil 33. Yüksek Plastisiteli Suya Doygun Killi Zeminde Oturma Verileri

Düşük plastisiteli kuru zemin için, uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu durumda en düşük düşey yer değiştirme grafiği aşağıda Şekil 34'te gösterilmiştir. Şekil 35'te ise zeminde oturma verileri grafiği verilmiştir. Karşılaştırma sonucunda en düşük oturma değeri L/D oranının 8,57 olduğu kazık modelidir.

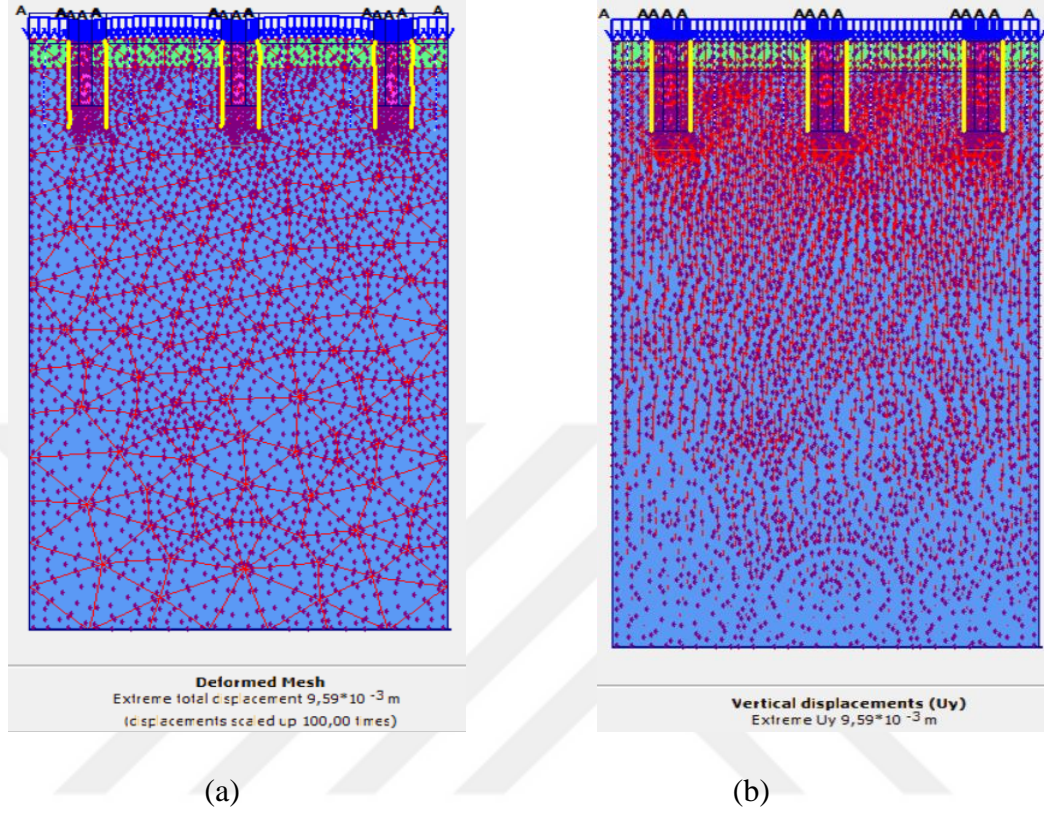


Şekil 34. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin, (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme

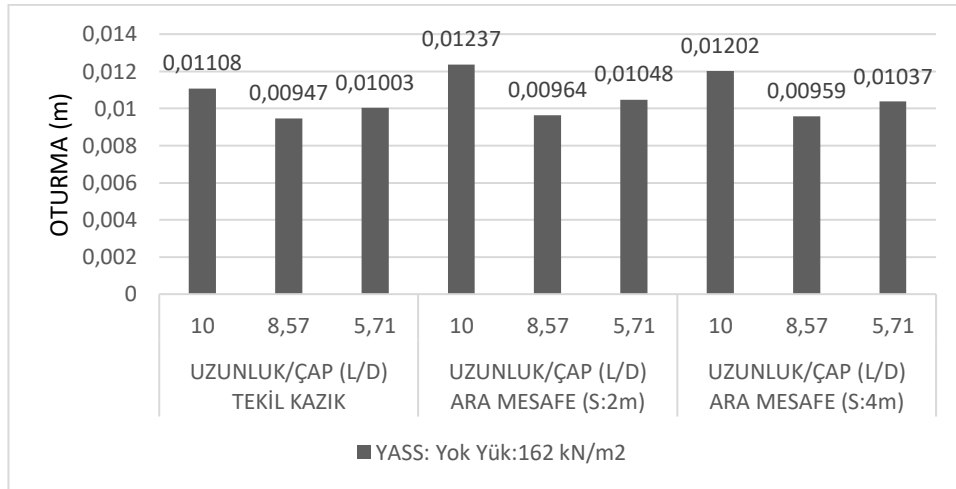


Şekil 35. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminde Oturma Verileri

Yüksek plastisiteli kuru zemin için, uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu durumda deformasyon ve düşey yer değiştirme grafiği Şekil 36'da gösterilmiştir. Bu zemin için oturma verileri Şekil 37'de grafik şeklindedir.

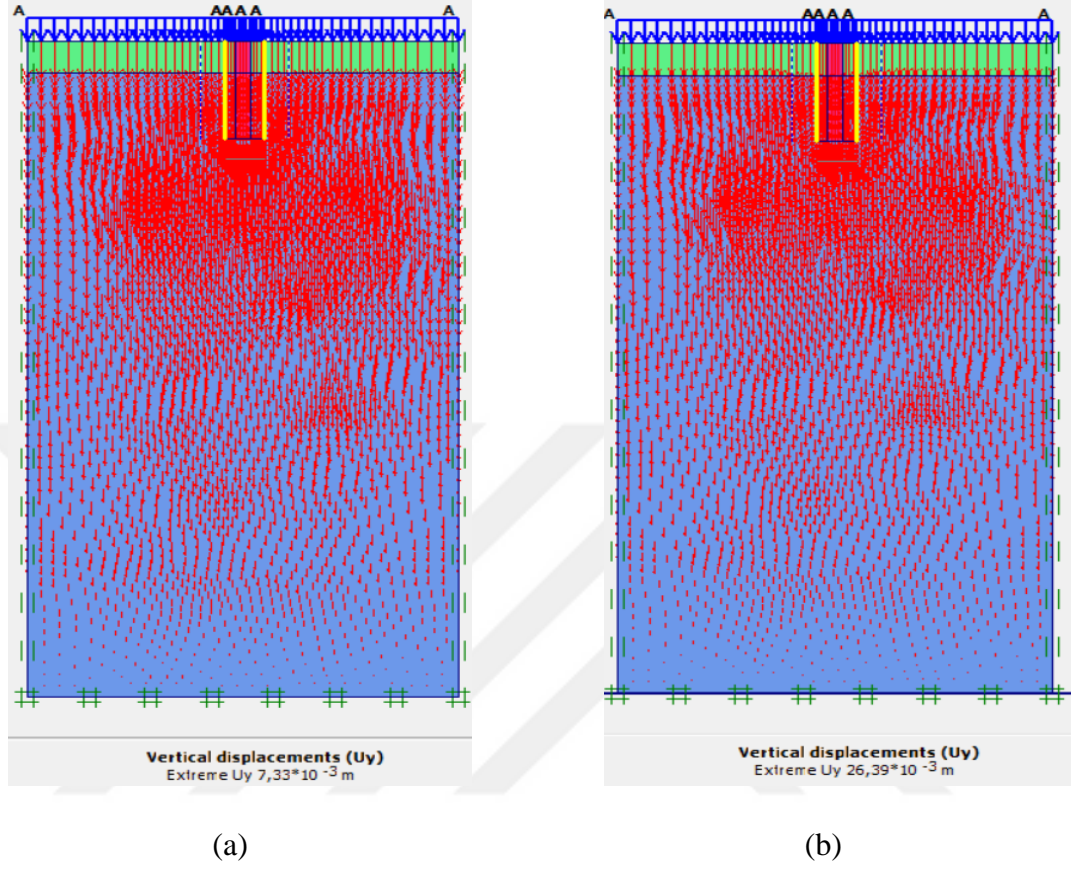


Şekil 36. Yüksek Plastisiteli Kuru Zeminde En İyi Düşük Oturma Değeri İçin (a) Deformasyon Analizi, (b) Düşey Yer Değiştirme Analizi



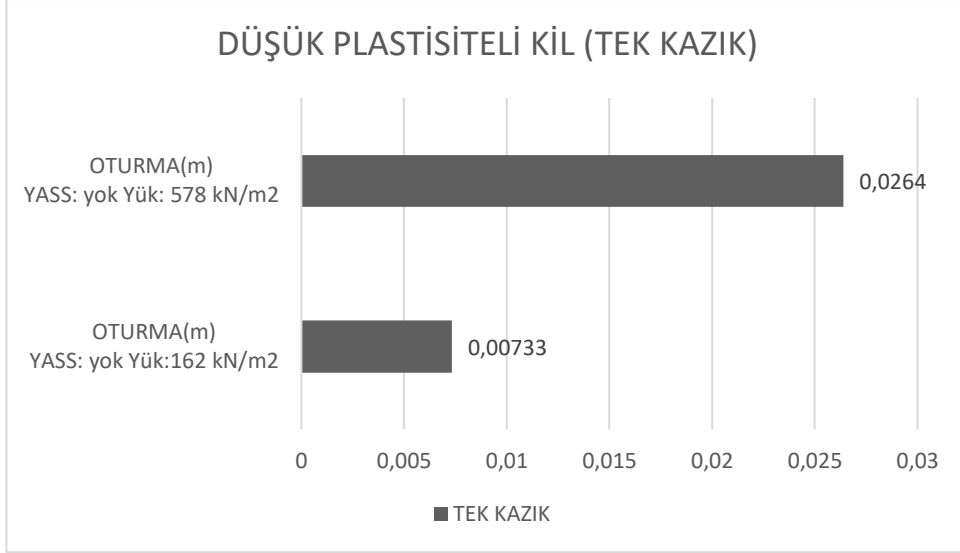
Şekil 37. Yüksek Plastisiteli Kuru Killi Zemin İçin Oturma Verileri

Şekil 38’de 162kN/m^2 ve 578kN/m^2 yük altında kuru düşük plastisiteli zeminin tek kolon takviyesi ile en iyi durumu için PLAXIS’de modellenen oturma analizleri verilmiştir.



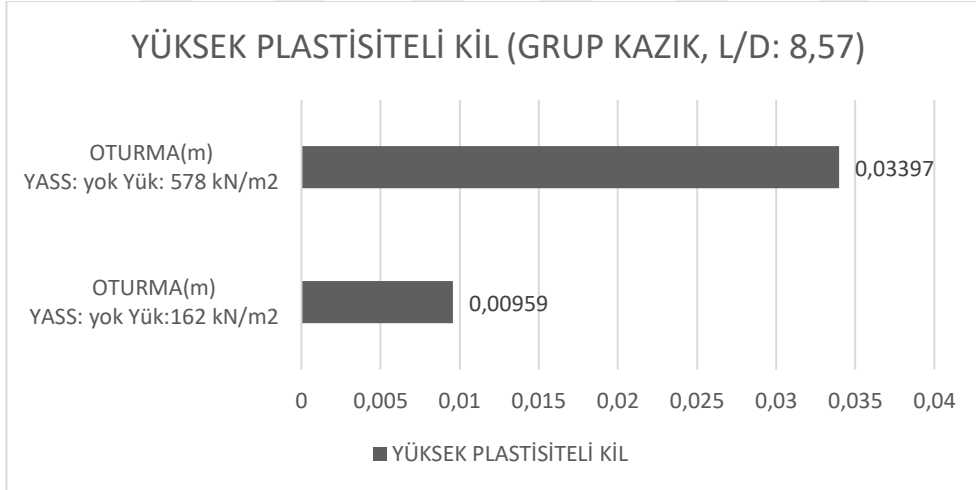
Şekil 38. Düşük Plastisiteli Kuru Killi Zeminler İçin En Düşük Yer Değiştirme Analizi (a) Düşük Plastisiteli Kil Zemin İçin En İyi Düşey Yer Değiştirme Analizi Yük (162kN/m^2) (b) Düşük Plastisiteli Kil Zemin İçin En İyi Düşey Yer Değiştirme Analizi Yük (578kN/m^2)

Şekil 39’ daki veriler düşük plastisiteli killi zeminin kuru (yeraltı suyunun olmadığı) ve tek kum kazık olduğu durumdaki yükün oturma üstündeki etkisini gösterir. Zemin üzerine uygulanan yükler 162 kN/m^2 ve 578 kN/m^2 dir. Zemin üzerine uygulanan farklı iki yükün karşılaştırma sonuçları ve yük etkisi gösterilmiştir. Düşük plastisiteli killi zeminde oturmanın en az olduğu durum L/D oranının 8,57 olduğu durumdur.



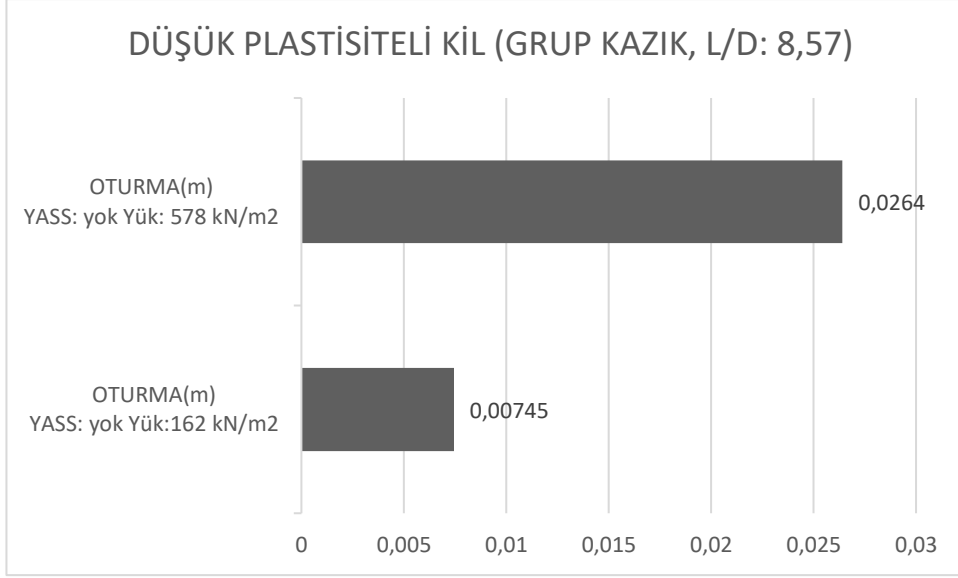
Şekil 39. Tek kazık için karşılaştırmalı oturma değerleri

Şekil 40'taki veriler 578 kN/m^2 ve 162 kN/m^2 yükün uygulandığı yüksek plastisiteli killi zemin için suyun olmadığı durumda uygulanan yükün etkisini gösterir. Zemindeki en düşük oturma değeri kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranının 8,57 olduğu durumdur.



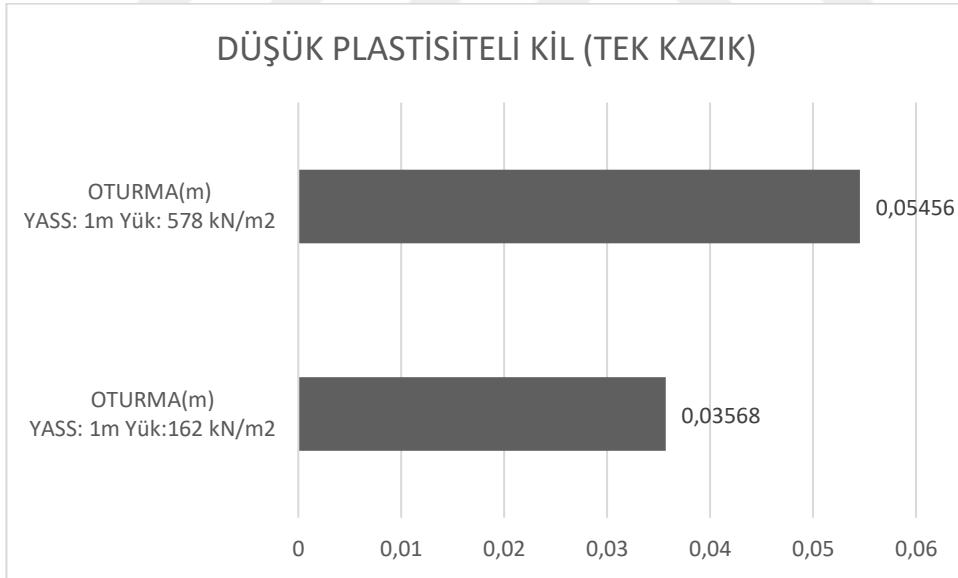
Şekil 40. Yüksek Plastisiteli Kuru Zeminde Oturmanın En Az Olduğu Durum İçin Karşılaştırmalı Oturma Değerleri (yük etkisi)

Şekil 41'de düşük plastisiteli kuru zeminde oturmanın en düşük olduğu durumda, zemine uygulanan yükün 162 kN/m^2 ve 578 kN/m^2 olduğu durum için yükün oturmaya etkisini göstermektedir. Düşey yer değiştirmenin en az olduğu durum L/D oranının 8,57 olduğu ve kazıklar arası mesafenin 4m olduğu durumdur.



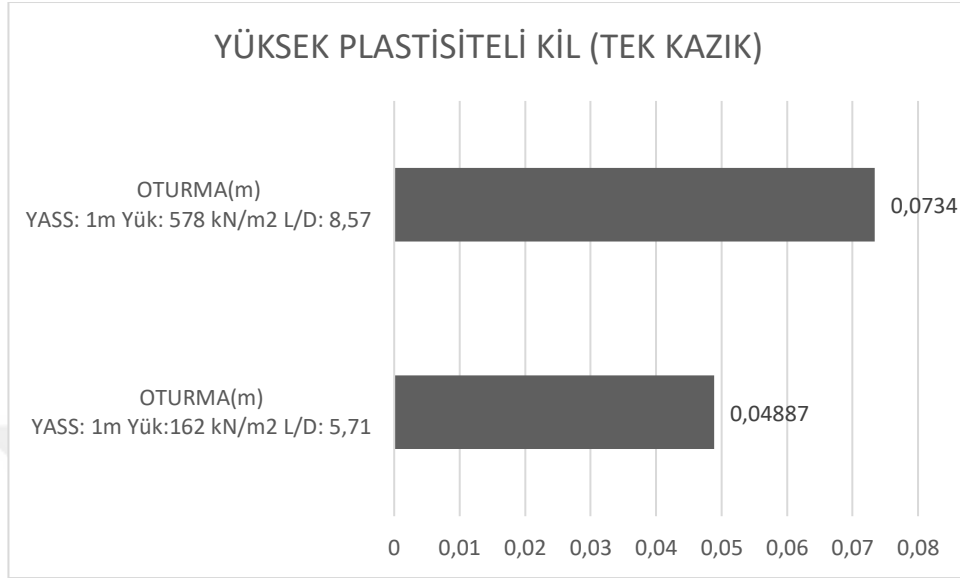
Şekil 41. Düşük Plastisiteli Kuru Zeminde Oturmanın En Az Olduğu Durum İçin Karşılaştırmalı Oturma Değerleri (Yük Etkisi)

Şekil 42’de suya doymun düşük plastisiteli killerde, geotekstil takviyeli tek kazık uygulaması sonucu en düşük oturma farklı yükler için karşılaştırılmıştır. Her iki yük için en iyi oturma L/D oranının 8,57 olduğu kazık çeşididir.



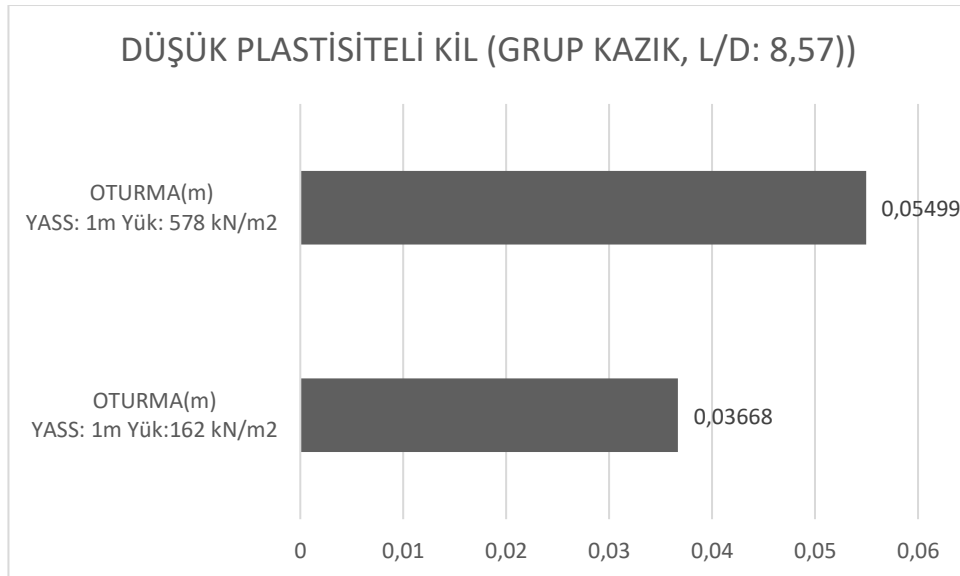
Şekil 42. Düşük Plastisiteli Suya Doymun Killerde Farklı Yüklerde Düşey Yer Değişirmelerin Karşılaştırılması

Aşağıdaki Şekil 43'te ki grafikte suya doymun yüksek plastisiteli killerde farklı yükler altında geotekstil takviyeli kum kazıklarının en düşük oturma değeri için karşılaştırmaları yapılmıştır.



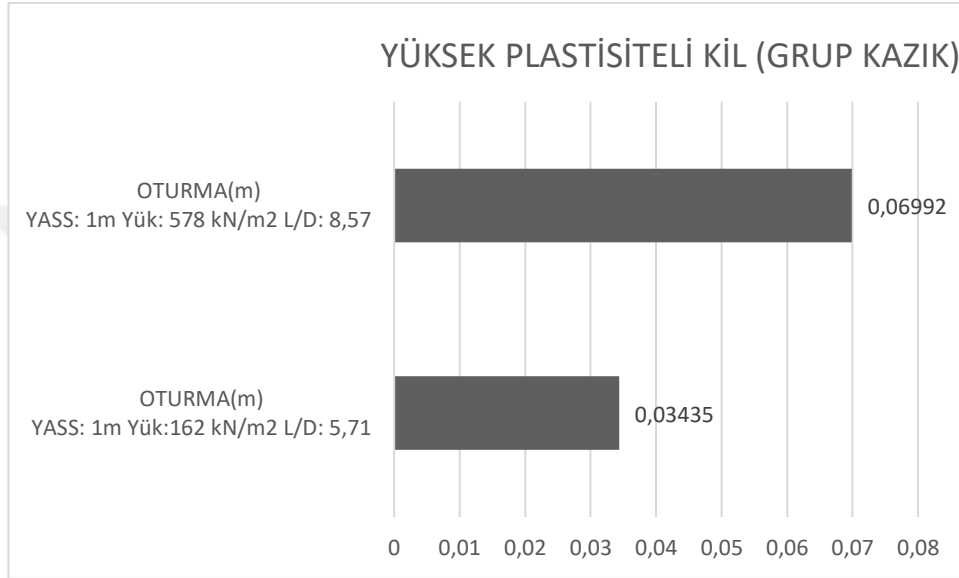
Şekil 43. Suya Doymun Yüksek Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde Düşey Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması

Şekil 44'teki grafikte suya doymun düşük plastisiteli killerde geotekstil takviyeli (üç elemanlı) grup kum kazıklarında farklı yükler altında (162 kN/m^2 ve 578 kN/m^2) en düşük düşey yer değiştirme verileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 44. Suya Doymun Düşük Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde, Grup Kazıklarının Oturma Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 45' teki grafikte suya doymun yüksek plastisiteli killerde geotekstil takviyeli (üç elemanlı) grup kum kazıklarında farklı yükler altında (162 kN/m^2 ve 578 kN/m^2) en düşük düşey yer değiştirme verileri karşılaştırılmıştır. Yükün 162 kN/m^2 uygulandığı yüksek plastisiteli killerde en düşük düşey yer değiştirme L/D oranının 5,71 kazıklar arası mesafenin ise (S:4m) olduğu kazık grubudur. Yük 578 kN/m^2 uygulandığı zemin için en düşük düşey yer değiştirme ise L/ D oranının 8,57 kazıklar arası mesafenin ise (S: 4m) olduğu kazık grubudur.



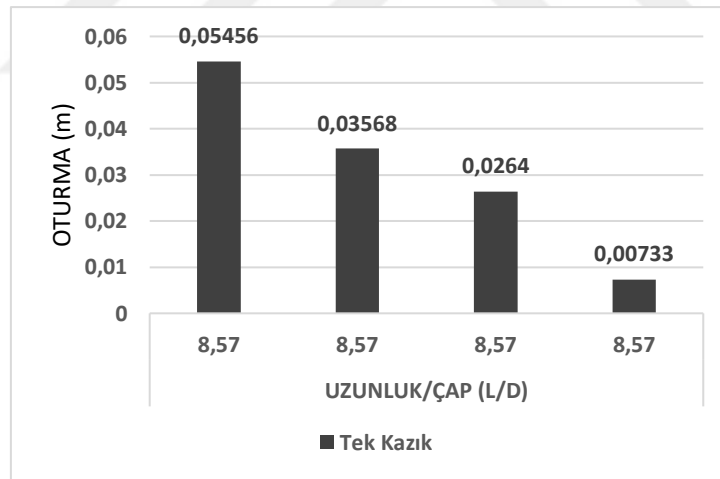
Şekil 45. Suya Doymun Yüksek Plastisiteli Killerde Farklı Yüklerde, Grup Kazıkların Oturma Değerlerinin Karşılaştırılması

Aşağıda Çizelge 8'de bazı modellemeler için geotekstil ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum kazıklarının karşılaştırma amaçlı düşey yer değiştirme (oturma) sonuçları gösterilmiştir. Kum kazıkların geotekstil ile güçlendirilmiş ve geotekstil ile güçlendirilmemiş PLAXIS analiz grafikleri EK B: Şekil 4B, Şekil 5B ve Şekil 6B'de gösterilmiştir. Birinci durum için geotekstil donatı takviyesinin, geotekstil ile güçlendirilmemiş kum kazıklı zemin ile karşılaştırıldığında oturmayı yaklaşık %18, ikinci durumda geotekstil donatı takviyesinin oturmayı yaklaşık %6,4 oranında, üçüncü durum için ise kum kazıklara geotekstil donatı takviyesinin, takviyesiz durum ile karşılaştırıldığında oturmayı yaklaşık %2,3 azalttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 8. Geosentetik Takviyeli ve Takviyesiz Kum Kazıkların Oturma Analiz Sonuçları

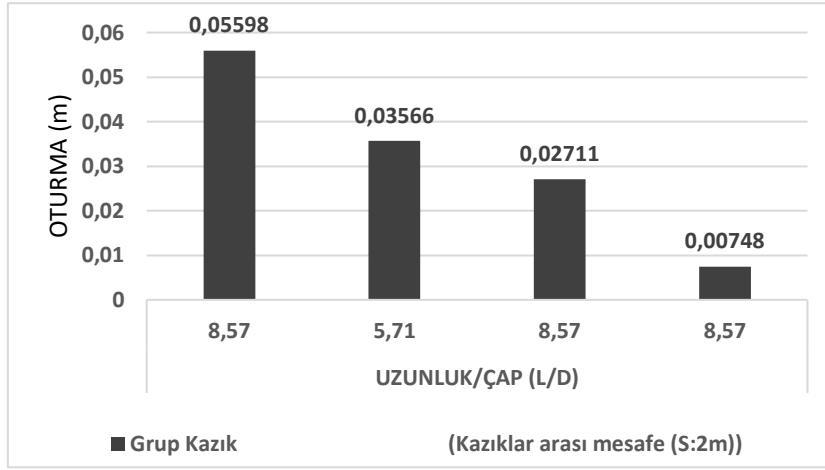
Analiz Modeli	Yük : 162 kN/m ² L/D : 5,71 S : 4 m, (CH) (1. Durum)	Yük : 162 kN/m ² L/D : 5,71 S : 4 m, (CL) (2. Durum)	Yük : 578 kN/m ² L/D : 8,57 S : 4 m, (CL) (3. Durum)
Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık Etkisi	34,35x10 ⁻³ m	33,08x10 ⁻³ m	54,99x10 ⁻³ m
Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık Etkisi	41,87x10 ⁻³ m	35,31x10 ⁻³ m	56,26x10 ⁻³ m

Sonuç olarak, tüm analizleri kıyasladığımızda en düşük ve optimum sonuç veren kazık çeşitleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 46’da düşük plastisiteli killi zeminde tek kazıklarda her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir.



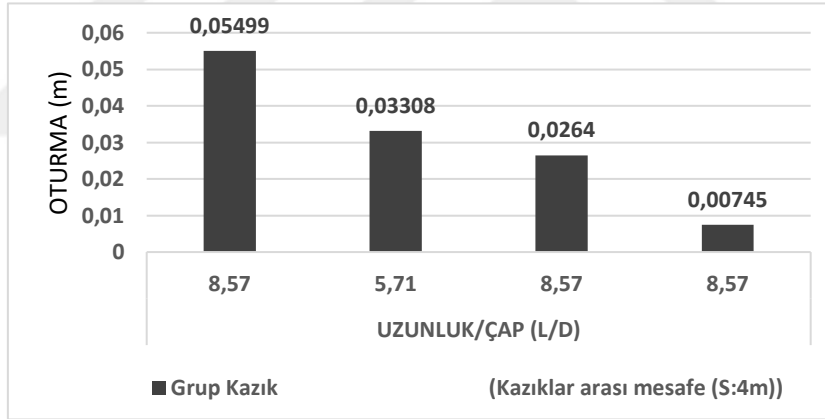
Şekil 46. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Tek Kazıklarda Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

Şekil 47’de düşük plastisiteli killi zeminde grup kazıklarda (S:2m) her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir.



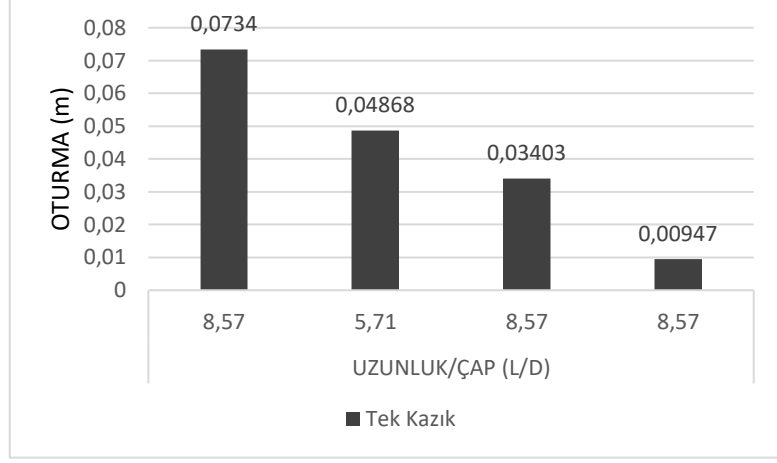
Şekil 47. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

Şekil 48’de düşük plastisiteli killi zeminde grup kazıklarda (S:4m) her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir.



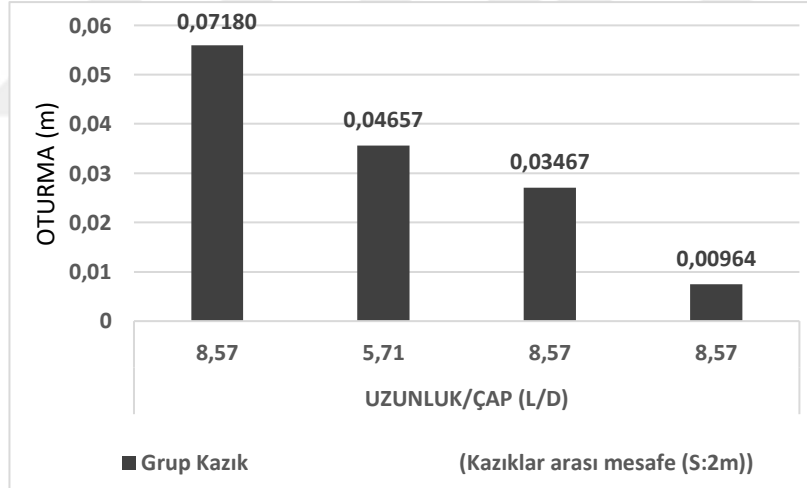
Şekil 48. Düşük Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

Şekil 49’da yüksek plastisiteli killi zeminde tek kazıklarda her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir.



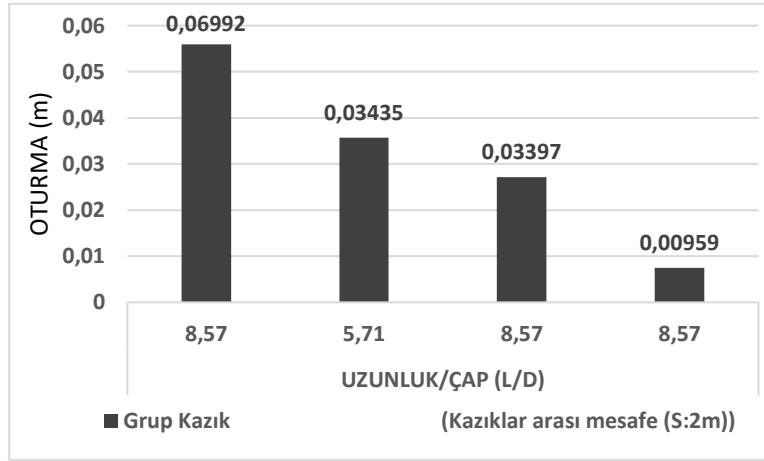
Şekil 49. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Tek Kazıklarda Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

Şekil 50’de yüksek plastisiteli killi zeminde grup kazıklarda (S:2m) her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir.



Şekil 50. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:2m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

Şekil 51’de yüksek plastisiteli killi zeminde grup kazıklarda (S:4m) her durum için en düşük oturma verileri gösterilmiştir



Şekil 51. Yüksek Plastisiteli Killi Zeminde Grup Kazıklarda (S:4m) Tüm Durumlar İçin En Düşük Oturma Verileri

V. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

A. Değerlendirme Sonuçları

- Geotekstil ile kaplanmış kum kolonlar oturmanın azalmasında kayda değer bir etkiye sahiptir.
- Düşük plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu kuru zeminler için en düşük oturma miktarı, kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $7,45 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Yüksek plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 162kN/m^2 olduğu kuru zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $9,59 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Düşük plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 162kN/m^2 olduğu suya doymuş zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $5,71$ olan $33,08 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Yüksek plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 162kN/m^2 olduğu suya doymuş zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $5,71$ olan $34,35 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Düşük plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu kuru zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $26,4 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Yüksek plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu kuru zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $33,97 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Düşük plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu suya doymuş zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $54,99 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Yüksek plastisiteli killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu suya doymuş zeminler için en düşük oturma miktarı kazıklar arası mesafenin 4m olduğu ve L/D oranı $8,57$ olan $69,92 \times 10^{-3}\text{m}$ 'dir.
- Düşük plastisiteli suya doymuş killi zeminlerde, uygulanan yükün 162kN/m^2 olduğu, en düşük oturmaya sahip grup kazık modelleme sonucunun, güçlendirme yapılmadan önceki durum ile karşılaştırıldığında geotekstil takviyeli kum kazık grubunun oturma miktarını $\%56,29$ azalttığı görülmüştür.

- Yüksek plastisiteli suya doymuş killi zeminlerde, uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu, en düşük oturmaya sahip grup kazık modelleme sonucunun, güçlendirme yapılmadan önceki durum ile karşılaştırıldığında geotekstil takviyeli kum kazık grubunun oturma miktarını %61,65 azalttığı görülmüştür.
- Düşük plastisiteli suya doymuş killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu, en düşük oturmaya sahip grup kazık modelleme analiz sonucunun, güçlendirme yapılmadan önceki durum ile karşılaştırıldığında geotekstil takviyeli kum kazık grubunun oturma miktarını yaklaşık %38 azalttığı görülmüştür.
- Yüksek plastisiteli suya doymuş killi zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu, en düşük oturmaya sahip grup kazık modelleme analiz sonucunun, güçlendirme yapılmadan önceki durum ile karşılaştırıldığında geotekstil takviyeli kum kazık grubunun oturma miktarını yaklaşık %33,78 azalttığı görülmüştür.
- Zemin kuru iken, düşük plastisiteli killer ile yüksek plastisiteli killer kıyaslandığında, tek kazık ile güçlendirilmiş zeminlerde, en az oturmanın yükün 162 kN/m^2 olduğu, L/D oranının 8,57, oturma miktarının $7,33 \times 10^{-3} \text{ m}$ olduğu düşük plastisiteli kil zemindir. Yüksek plastisiteli kil zemine göre, düşük plastisiteli killerde oturma %22,59 daha azdır. Tek kazık ile güçlendirilmiş zeminlerde, yükün 578 kN/m^2 ye artırılması halinde düşük plastisiteli killerde oturma, yüksek plastisiteli killere kıyasla %22,42 daha azdır.
- Suya doymuş düşük plastisiteli kil zeminlerde, uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu durumda, zemin tek kazık ile güçlendirildiğinde en az oturma, güçlendirilmemiş zemin ile kıyaslandığında, tek kazık etkisi ile zeminde oturma %38,48 azalmıştır. Oturmanın en az olduğu durum L/D oranının 8,57 olduğu durumdur.
- Analizler sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde L/D oranı 8,57 ve L/D oranı 5,71 olan kazıklardan elde edilen sonuçların birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

B. Sonuçlar

Bu b6l6mde yumuşak killi zeminler için, işlenmemiş zeminin farklı yayılı y6kler altındaki (162 kN/m² ve 578 kN/m²) d6şey yer değiştirme davranışı, geotekstil takviyeli tek kum kazık ile g6lendirme sonrası d6şey yer değiştirme miktarı, zemin içerisine g6lendirme amaçlı uygulanan geotekstil takviyeli grup kazık (6 elemanlı kazık) montajı sonrası d6şey yer değiştirme miktarı modellemeler ile incelenmiştir. Sonlu elemanlar programı PLAXIS-2D ile yapılan analizlerden elde edilen veriler kapsamında, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 6 farklı L/D oranlarında modellenen kum kazıklardan elde edilen veriler incelendiğinde en iyi d6şey yer değiştirme miktarı L/D oranı 8,57 olan kazıklardan elde edilir.
- Grup kazık (6 elemanlı kazık) etkisine bakıldığında, en iyi kazık diziminin kazıklar arası mesafenin 4m olduğu durumdur.
- Killi zemin 6zerine uygulanan yayılı y6k miktarı artınca, oturma değerinde arttığı g6r6lm6řt6r. Y6ke bağlı olarak y6ksek plastisiteli killerde oturma, d6ř6k plastisiteli killer ile karşılaştırıldığında daha fazladır.
- Killi zeminlerde yeraltı suyunun olmadığı (kuru olduğu) durumda oturma miktarı, suya doygun zemindeki oturma miktarı ile kıyaslandığında daha azdır. Aynı şartlar altında yapılan karşılaştırma sonucunda d6ř6k plastisiteli killerde zeminin suya doygun olması durumunda, kuru zemine g6re oturma yaklaşık %79 daha fazladır. Y6ksek plastisiteli killerde ise bu oran değişmez.

6neriler

Bu tez çalışması kapsamında sonlu elemanlar analizi programı PLAXIS-2D ile elde edilen veriler, PLAXIS-3D ile tekrarlanabilir. Aynı alışma laboratuvarında uygulanan deneylerden elde edilen sonularlada karşılaştırılabilir. Burada PLAXIS diğer sayısal analiz programları ile karşılaştırılabilir. Ayrıca bu çalışma farklı kazıklar arası mesafede (S) ve kazıklar için farklı (L/D) uzunluk/çap oranları ile tekrarlanabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan bir kısım parametreler, Tünces Mühendislik firması tarafından temin edilmiş ve zemin etütleri sonucu oluşan geoteknik raporlardan alınmıştır. Yardımlarından ötürü ilgili firmaya teşekkür ederiz.



VI. KAYNAKLAR

MAKALELER

ÇELİK, F. (2018). “Statik Kazık Yükleme Deneyinin Farklı Zemin Modellerinde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi ve Arazi Bulgularıyla Karşılaştırılması”, **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 8(1), ss. 184

EVİRGEN, B., ONUR, M. I., TUNCAN, M., ve TUNCAN, A. (2015). “Determination of the Freezing Effect on Unconfined Compression Strength and Permeability of Saturated Granular Soils”, **Int. J. Geomate**, 8, ss. 1283-1287

FALL, M., SAMB, S. S., NDİAYE, M., SALL, O. A., and SAMB, F. (2011). “Cam-Clay Models Using Castem 2000? and PLAXIS for the Study of the Slope Stability of the" Corniche Ouest" of the Dakar Peninsula (Senegal, West Africa)”, **Geomaterials**, 1(2), s.51.

GALİL, A. M. A., YOUSSEF, T. A., ELSALHY, M. I., (2019). “Performance Of Rıgıd Raft Foundation Restıng On Soft Clay Improved By GranularPiles”, **International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 10**, ss. 992-998

GÜLER, M.ve SADRI, Ş. E. N., (2015). “Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler”, **Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 5(1), ss. 56-66.

GÜNAYDIN, O., ALPYILDIZ, S. ve AKKUŞ, Ç. (2014). “SP (Kötü Derecelenmiş Orta-İnce Kum) Zeminlerde Kesme Hızının Kesme Direnci Parametreleri Üzerine Etkisi”, **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 2(1), s.7.

HASAN, M., SAMADHIYA, N. K. (2016). “Experimental and Numerical Analysis of Geosynthetic-Reinforced Floating Granular Piles in Soft Clays.” **International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering**, 2.3, ss.1-13.

- HASAN, M veSAMADHIYA, N. K. (2018). “Soft Soils Improvement by Granular Piles Reinforced With Horizontal Geogrid Strips”. **International Journal of Geotechnical Engineering**, 12(1), ss. 101-108.
- JAIN, P. K. ve KUMAR, R. (2014). “Study of Swelling Behaviour of Black Cotton Soil Improved With Sand Column”. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**, 7(3), 905.
- NAKANO, M., YAMADA, E., ve NODA, T. (2008). “Ground Improvement of Intermediate Reclaimed Land by Compaction Through Cavity Expansion of Sand Piles”, **Soils and Foundations**, 48(5), ss. 653-671.
- NASEER, S., FAIZ, M. S., IQBAL, S., JAMIL, S. M., (2019). “Laboratory and Numerical Based Analysis of Floating Sand Columns in Clayey Soil.” **International Journal of Geo-Engineering**, 10(1), ss. 1-16.
- SAFIN, D. R. (2020). “Experimental Studies of a Weak Clay Base Reinforced with Sand Piles.” **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Vol. 962. No. 3. IOP Publishing
- SAMADHIYA, N., MAHESHWARI, P., ZSAKI, A., BASU, P., KUNDU, A. (2009). “Trenghening of ClaybyGeogridReinforcedGranular Pile”. **International Journal of Geotechnical Engineering**, 3(3), ss. 377-386.
- SCHANZ, T., VERMEER, P. A., ve BONNIER, P. G. (2019). “The Hardening Soil Model: Formulation and Verification”, *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, 281.
- SHARMA, R. S., KUMAR, B. P., ve NAGENDRA, G. (2004). “Compressive Load Response of Granular Piles Reinforced with Geogrids”, **Canadian Geotechnical Journal**, 41(1), ss. 187-192.
- SOHAIB, N., SARFRAZ FAIZ, M. ve SAMI, M. F. (2020). “Experimental Study on Improvement of Soft Clay Using Sand Columns.”, **Journal of Civil Engineering and Architecture**, 14, ss. 391-401.
- RAJPUT, D., KUMAR, R., JAIN, P. K., CHANDRAWANSHI, S., (2016). “Load-Settlement Behaviour of Soft Soil Reinforced with Sand Piles.”

International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 3, ss. 1303-1307.

RAJU, V.R. ve SONDERMANN, W. (2005). “Application of the Vacuum Preloading Method in Land Reclamation and Soil Improvement Projects”. Chapter 21, Ground Improvement- Case Histories. B. Indraratna & J. Chu (Eds.), Elsevier, ss. 606- 614.

PHANIKUMAR, B. R., ve ETUKURI, R. R. (2021). “Effect of Granular Piles with Geotextile Encasement on Strength Tests of Expansive Clays”. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement**, 174(2), ss. 70-78.

TANDEL, Y., JAMAL, M., SOLANKI, C., DESAI, A., ve PATEL, J. (2017). “Performance of Small Group of Geosynthetic-Reinforced Granular Piles”. **Marine Georesources & Geotechnology**, 35(4), ss. 504-511.

TOKSÖZ, D., ve YILMAZ, I. (2019). “İnce Taneli Zeminler İçin Önerilen Bulanık Sınıflama Sürecinin Bir Uygulaması”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 26(3), ss. 535-544.

WU, C. S., ve HONG, Y. S. (2014). “A Simplified Approach for Evaluating the Bearing Performance of Encased Granular Columns”, **Geotextiles and Geomembranes**, 42(4), ss. 339-347.

XU, Y., METHIWALA, J., WILLIAMS, D. J., ve SERATI, M. (2018). “Strength and Consolidation Characteristics of Clay with Geotextile-Encased Sand Column”, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement**, 171(3), ss. 125-134.

TEZLER

ALKHORSHID, N.R, (2017). “Analysis of Geosynthetic Encased Columns in Very Soft Soil”. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-133/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, ss. 1-10.

- BAYRAM, A. (2006). “Hava Alanları Pist Dolgularının Geosentetik Malzemeler Kullanılarak Güçlendirilmesi”, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss. 20-30.
- ÇAKILCIOĞLU, İ. (2007) “Yüksek Plastisiteli Killerin Stabilizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 32.
- ÇALIK, Ö. (2018). “Donatılı Duvarların (Zeminlerin) Sayısal Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 46.
- KAHLSTROM, M. (2013). “PLAXIS 2D Comparison of Mohr-Coulomb and Soft Soil Material Models”, Master of Science Program Luleå University of Technology, ss. 18-23.
- MUNGAN, H. (2016). “Zeminin Kırmataş Kolonları ile İyileştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.2.
- TAHA, A. M. (2014). “Static and Seismic Performance of Geosynthetics-Strengthened Pile Foundations.”, The University of Western Ontario, Graduate Program in Civil and Environmental Engineering, ss. 17-65.
- TÖREMİŞ, E. İ. (2003). “Geotekstiller ve PLAXIS Sonlu Elemanlar Programı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss. 10-47.

DİĞER KAYNAKLAR

- AKYILDIZ, Ö. Ü. M. H. (2019). “Zemin İyileştirme Yöntemleri.”, Mühendislik ve Multidisipliner Yaklaşımlar, ss. 147-163.
- BAHADIR, A. A. ve ONUR, M. İ. (2017). “Derin Kazı Destek Sistemi Tasarımında Zemin Modeli Seçimi: Bir Vaka Analizi”, 7. Geoteknik Sempozyumu, s. 585
- BOZBEY, İ., Geoteknik, A. B. D. (2016). “Zemin Sınıflandırması ve Zemin Özellikleri-Laboratuvar Deneyleri”. İnşaat Mühendisleri Odası Geoteknik Kursu, ss. 39.

HASAN, M. (2019). “Analytical Methods For Predicting Load Carrying Capacity of Granular Piles–A Review”, Indian Young Geotechnical Engineers Conference.

NORDAL, S. (2019). “Present of PLAXIS”, In Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Routledge, ss. 45-54.

PLAXIS-2D USER MANUAL, (2021). “PLAXIS 2D Version 8,5 Material Models Manual”

TMMOB (1985) “Zemin Mekaniği Uygulamalarında Geotekstillerin Kullanılması”, Türkiye İnşaat Mühendisliği 8.Teknik Kongresi, ss. 173-185.



EKLER

EK A: PLAXIS-2D Analiz Sonuçları

EK B: PLAXIS-2D Düşey Yer Değiştirme Analiz Grafikleri



EK A: PLAXIS -2D Analiz Sonuçları

Çizelge A 1. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS-2D Analiz Sonuçları

YASS:YOK		DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL (CL)								
YÜK: 162 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
					UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-147,97	-145,89	-146,96	-144,69	-145,6	-144,47	-144,6	-142,25	-145,38
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	9,01x10 ⁻³	7,33X10 ⁻³	7,95X10 ⁻³	10,41x10 ⁻³	7,48X10 ⁻³	8,42X10 ⁻³	8x10 ⁻³	7,45X10 ⁻³	8,28X10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	202,35x10 ⁻³	189,88X10 ⁻³	155,67X10 ⁻³	184,13x10 ⁻³	159,22X10 ⁻³	150,98X10 ⁻³	190,69x10 ⁻³	207,44X10 ⁻³	142,88X10 ⁻³
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-179,71	-171,66	-197,88	-192,45	-173,51	-192,95	-189,22	-185,14	-192,95
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	9,01x10 ⁻³	7,33X10 ⁻³	7,95X10 ⁻³	10,41x10 ⁻³	7,48X10 ⁻³	8,42X10 ⁻³	8x10 ⁻³	7,45X10 ⁻³	8,28X10 ⁻³

Çizelge A 2. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS-2D Analiz Sonuçları

YASS:1m		DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL (CL)								
YÜK:162 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
					UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-149,04	-146,83	-148,4	-153,31	-146,05	-147,58	-148,97	-158,39	-147,67
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	43,29x10 ⁻³	35,68X10 ⁻³	37,11x10 ⁻³	46,41x10 ⁻³	36,90X10 ⁻³	35,66x10 ⁻³	45,26x10 ⁻³	36,68X10 ⁻³	33,08X10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	2,48	2,93	2,21	2,34	4,21	2,06	1,71	5,66	1,86
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-525,08	-525,35	-525,4	-525,01	-525,36	-525,29	-524,95	-525,39	-525,21
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	43,73x10 ⁻³	36,17X10 ⁻³	37,78x10 ⁻³	47,04x10 ⁻³	38,25X10 ⁻³	36,42x10 ⁻³	45,73x10 ⁻³	64,99X10 ⁻³	33,47X10 ⁻³

Çizelge A 3. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları

YASS :YOK		DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL (CL)								
YÜK: 578 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE(S:2m)			ARA MESAFE(S:4m)		
					UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-511,44	-509,2	-509,54	-509,62	-509,52	-506,98	-507	-508,86	-508,33
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	32,55x10 ⁻³	26,4X10 ⁻³	28,71X10 ⁻³	37,34x10 ⁻³	27,11X10 ⁻³	30,19X10 ⁻³	42,97X10 ⁻³	26,4X10 ⁻³	29,65X10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	1,17	800,71X10 ⁻³	853,37X10 ⁻³	876,63x10 ⁻³	702,70X10 ⁻³	722,11X10 ⁻³	635,89X10 ⁻³	752,87X10 ⁻³	701,22X10 ⁻³
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-674,12	-626,21	-708,65	-693,27	-638,28	-694,4	-662,71	-624,81	-639,01
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	32,55x10 ⁻³	26,4X10 ⁻³	28,71X10 ⁻³	37,34x10 ⁻³	27,11X10 ⁻³	30,19X10 ⁻³	42,97X10 ⁻³	26,4X10 ⁻³	29,65X10 ⁻³

Çizelge A 4. Düşük Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları

YASS:1m		DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL (CL)								
YÜK:578 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE(S:2m)			ARA MESAFE(S:4m)		
					UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-522,35	-509,7	-515,76	-524,15	-509,44	-516,11	-519,07	-509,09	-516,81
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	66,35x10 ⁻³	54,56X10 ⁻³	57,55x10 ⁻³	72,44x10 ⁻³	55,98X10 ⁻³	56,82x10 ⁻³	70,69x10 ⁻³	54,99X10 ⁻³	56,22x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	2,59	2,58	2,28	2,41	4,27	2,14	1,82	4,81	1,94
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-941,05	-941,54	-941,39	-941,04	-941,36	-941,29	-940,95	-941,37	-941,21
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	66,72x10 ⁻³	54,56X10 ⁻³	58,12x10 ⁻³	73,24x10 ⁻³	57,03X10 ⁻³	57,63x10 ⁻³	71,02x10 ⁻³	55,73X10 ⁻³	56,60x10 ⁻³

Çizelge A 5. Yüksek Plastisiteli Kilerde PLAXIS Analiz Sonuçları

YASS:1m		YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL (CH)								
YÜK:162 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
					ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-149,41	-147,23	-148,34	-154,12	-146,13	-147,22	-150,12	-158,38	-187,32
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	57,67x10 ⁻³	48,87x10 ⁻³	48,68x10 ⁻³	60,27x10 ⁻³	48,74x10 ⁻³	46,57x10 ⁻³	59,98x10 ⁻³	46,26x10 ⁻³	34,35x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	3,82	4,41	2,56	3,5	4,35	2,21	2,5	6,21	6,3
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-528,04	-528,57	-528,4	-527,8	-528,36	-528,23	-527,73	-528,39	-528,19
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	58,19x10 ⁻³	49,72x10 ⁻³	49,32x10 ⁻³	60,72x10 ⁻³	48,74x10 ⁻³	47,19x10 ⁻³	60,46x10 ⁻³	47,2x10 ⁻³	35,05x10 ⁻³

Çizelge A 6. Yüksek Plastisiteli Kilerde PLAXIS Analiz Sonuçları

YASS :YOK		YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL (CH)								
YÜK: 578 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
					ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)			UZUNLUK/ÇAP (L/D)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-510,86	-508,99	-509,26	-507,27	-509,07	-506,8	-507	-508,65	-507,83
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	39,78x10 ⁻³	34,03x10 ⁻³	35,99x10 ⁻³	44,21x10 ⁻³	34,67x10 ⁻³	37,41x10 ⁻³	42,97x10 ⁻³	33,97x10 ⁻³	36,94x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	1,04	749,93x10 ⁻³	720,77x10 ⁻³	707,03x10 ⁻³	663,30x10 ⁻³	597,78x10 ⁻³	635,89x10 ⁻³	698,98x10 ⁻³	594,74x10 ⁻³
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-640,33	-603,14	-681,16	-677,94	-630,25	-675,7	-662,71	-610,56	-674,05
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	39,78x10 ⁻³	34,03x10 ⁻³	35,99x10 ⁻³	44,21x10 ⁻³	34,67x10 ⁻³	37,41x10 ⁻³	42,97x10 ⁻³	33,97x10 ⁻³	36,94x10 ⁻³

Çizelge A 7. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları

YASS:YOK		YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL (CH)								
YÜK: 162 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
		1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-147,53	-145,52	-146,42	-144,02	-145,24	-143,86	-144,3
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	11,08x10 ⁻³	9,47x10 ⁻³	10,03x10 ⁻³	12,37x10 ⁻³	9,64x10 ⁻³	10,48x10 ⁻³	12,02x10 ⁻³	9,59x10 ⁻³	10,37x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	175,71x10 ⁻³	179,53x10 ⁻³	145,05x10 ⁻³	154,41x10 ⁻³	152,46x10 ⁻³	138,69x10 ⁻³	151,02x10 ⁻³	186,02x10 ⁻³	142,18x10 ⁻³
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-174,54	-170,43	-189,3	-186,79	-171,72	-185,22	-183,34	-177,42	-185,31
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	11,08x10 ⁻³	9,47x10 ⁻³	10,03x10 ⁻³	12,37x10 ⁻³	9,64x10 ⁻³	10,48x10 ⁻³	12,02x10 ⁻³	9,59x10 ⁻³	10,37x10 ⁻³

Çizelge A 8. Yüksek Plastisiteli Killerde PLAXIS Analiz Sonuçları

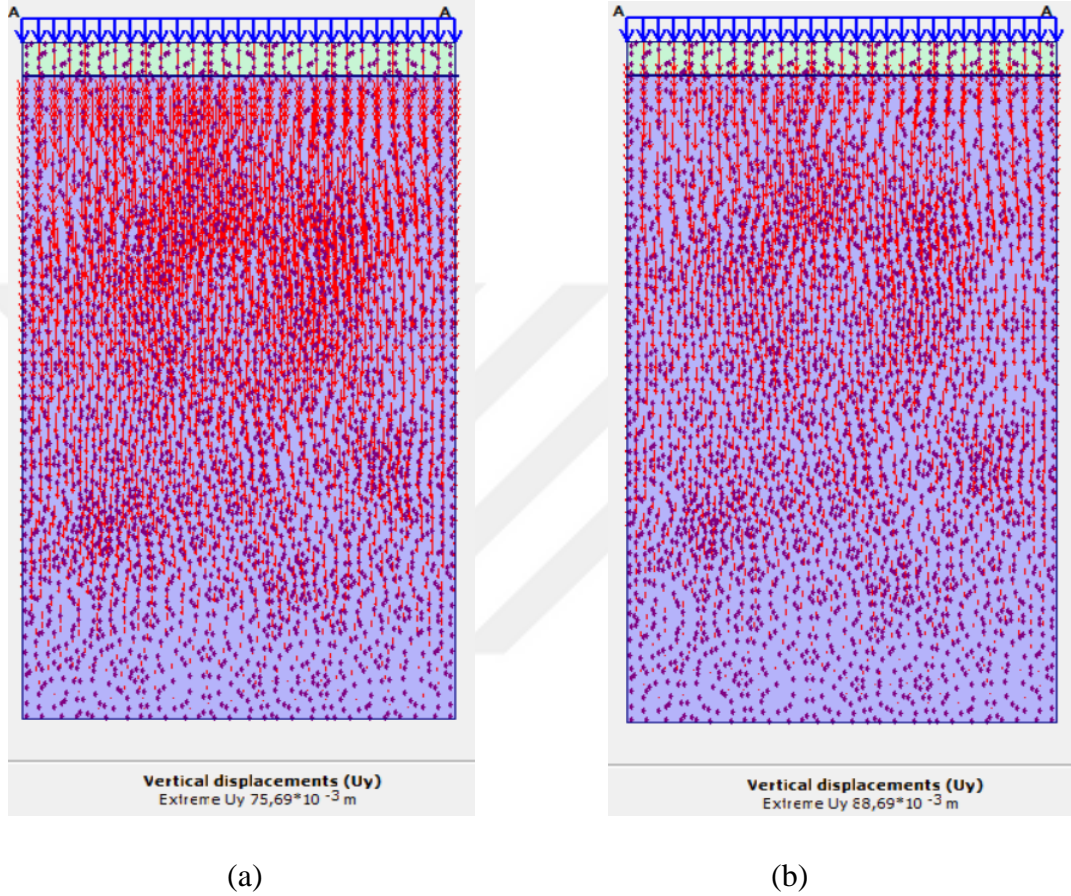
YASS:1m		YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL (CH)								
YÜK:578 kN/m ²										
DURUM		TEKİL KAZIK			ÜÇLÜ KAZIK					
		UZUNLUK/ÇAP (L/D)			ARA MESAFE (S:2m)			ARA MESAFE (S:4m)		
		10	8,57	5,71	10	8,57	5,71	10	8,57	5,71
		1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-515,81	-510,02	-512,52	-519,42	-509,46	-513,11	-515,04
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	85,27x10 ⁻³	73,40x10 ⁻³	74,05x10 ⁻³	91,75x10 ⁻³	71,80x10 ⁻³	72,68x10 ⁻³	90,28x10 ⁻³	69,92x10 ⁻³	72,10x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	3,92	4,46	2,63	3,65	4,41	2,28	2,65	4,34	1,9
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-944,01	-944,56	-944,39	-943,83	-944,37	-944,23	-943,72	-944,37	-944,15
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	85,64x10 ⁻³	73,40x10 ⁻³	74,57x10 ⁻³	91,16x10 ⁻³	72,64x10 ⁻³	73,35x10 ⁻³	90,70x10 ⁻³	70,37x10 ⁻³	71,81x10 ⁻³

Çizelge A 9. Güçlendirilmemiş Zemin İçin Düşey Yerdeğiştirme Analiz Sonuçları

DURUM		DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL(CL)		YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL(CH)	
		YÜK:162kN/m2	YÜK: 578kN/m2	YÜK:162kN/m2	YÜK: 578kN/m2
		YASS:1m	YASS:1m	YASS:1m	YASS:1m
1.	EFEKTİF GERİLME (kN/m ²)	-158,88	-159,22	-158,7	-158,94
2.	DÜŞEY YERDEĞİŞTİRME(OTURMA) (m)	75,69x10 ⁻³	88,99x10 ⁻³	89,57x10 ⁻³	105,60x10 ⁻³
3.	KESME GERİLMESİ (%)	385,17x10 ⁻³	436,17x10 ⁻³	535,80x10 ⁻³	605,15x10 ⁻³
4.	TOPLAM GERİLME (kN/m ²)	-525,29	-941,29	-528,32	-944,32
5.	DEFORMASYON AĞI (m)	75,69x10 ⁻³	88,99x10 ⁻³	89,57x10 ⁻³	105,60x10 ⁻³

EK B: PLAXIS-2D Düşey Yer Değişirme Analiz Grafikleri

Düşük plastisiteli suya doymun killerde ve uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu durum için güçlendirilmemiş zemindeki oturma değerleri Şekil B1 (a)'da verilmiştir. Düşük plastisiteli suya doymun killi zeminde uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu zemindeki oturma miktarı Şekil B1 (b)'de gösterilmiştir.

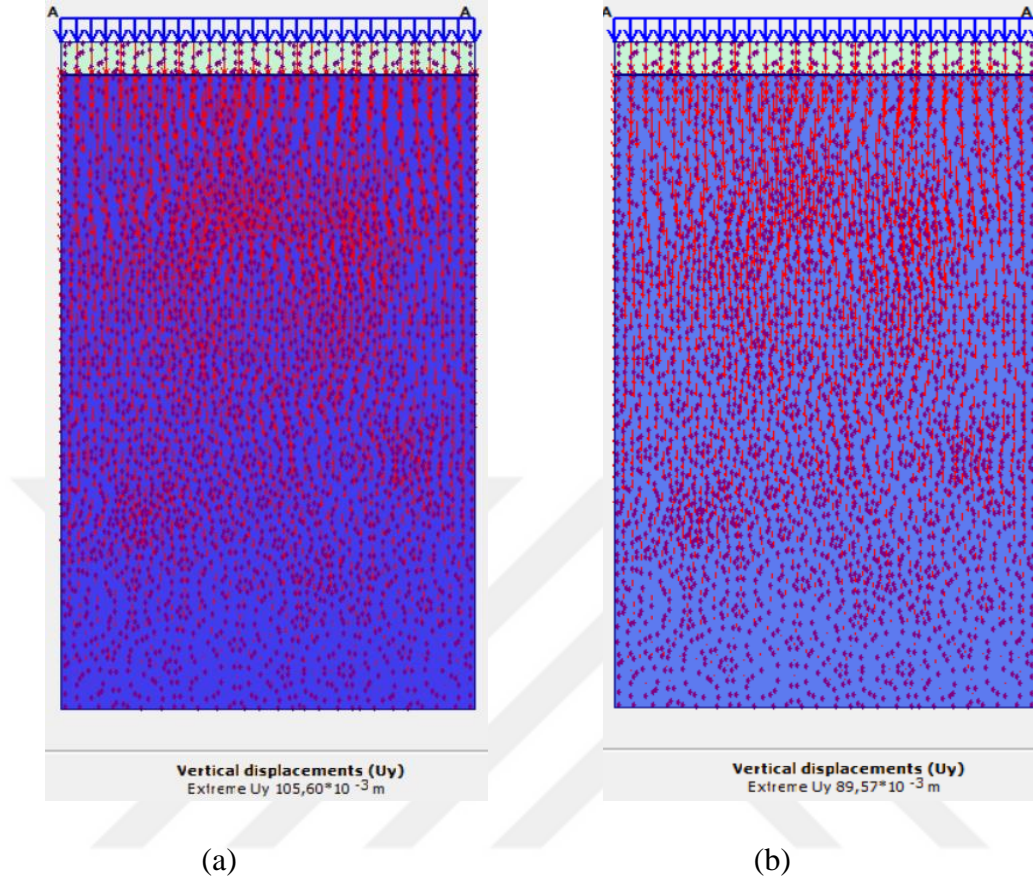


Şekil B 1. Düşük Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin, PLAXIS Oturma Analizleri

Yüksek plastisiteli suya doymun killi zeminde güçlendirilmemiş durum için 162 kN/m^2 uygulandığı zamanki düşey yer değiştirme (oturma) analizi sonunucu Şekil B2(a)'da verilmiştir. Yüksek plastisiteli kil içerikli güçlendirilmemiş zeminlerde suya doymun olduğu ve uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu durumdaki düşey yer değiştirme (oturma) analiz sonucunu Şekil 2B (b)'de verilmiştir.

Yüksek plastisiteli suya doymun killi zeminde güçlendirilmemiş durum için 162 kN/m^2 uygulandığı zamanki düşey yer değiştirme (oturma) analizi sonunucu Şekil B2(a)'da verilmiştir. Yüksek plastisiteli kil içerikli güçlendirilmemiş zeminlerde

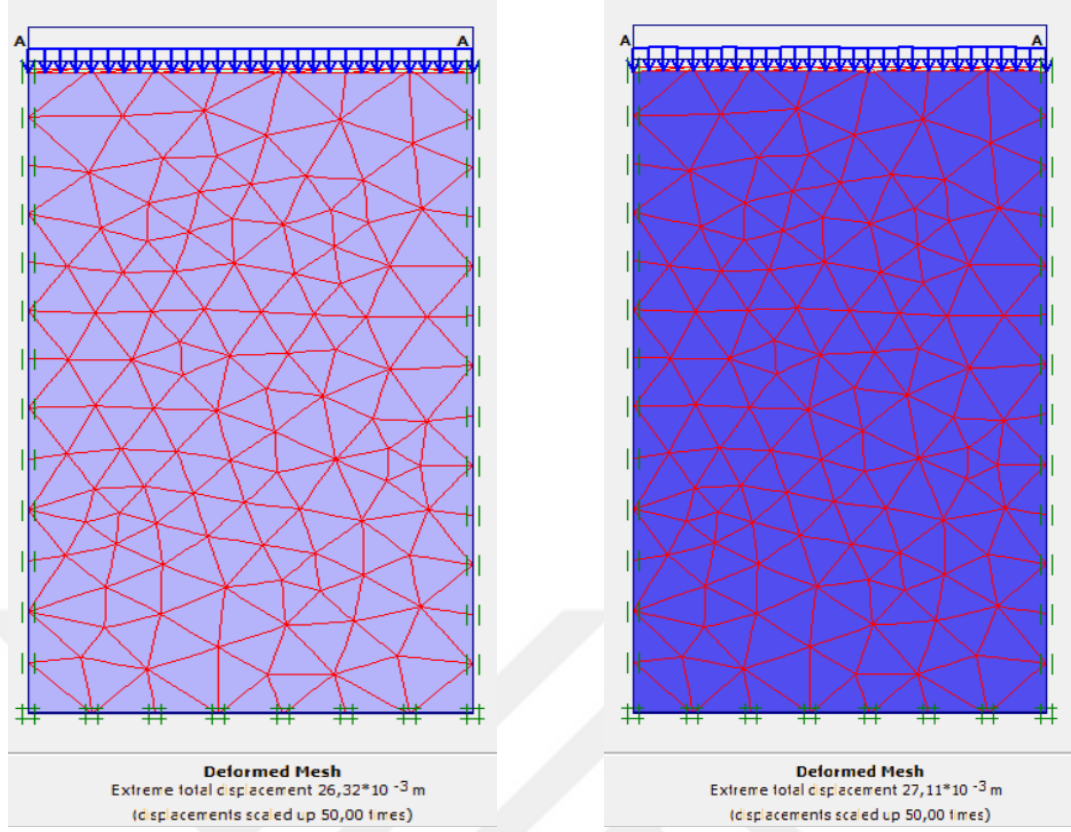
suya doygun olduğu ve uygulanan yükün 578 kN/m^2 olduğu durumdaki düşey yer değiştirme (oturma) analiz sonucu şekil 2B (b)'de verilmiştir.



şekil B 2. Yüksek Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin, PLAXIS Oturma Analizleri

şekil B3'te analiz sonuçları düşük plastisiteli güçlendirilmemiş kuru killi zemin ve yüksek plastisiteli güçlendirilmemiş kuru killi zeminlerde uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu durum için düşey yer değiştirme (oturma) analiz sonuçlarını göstermiştir.

şekil B3'te analiz sonuçları düşük plastisiteli güçlendirilmemiş kuru killi zemin ve yüksek plastisiteli güçlendirilmemiş kuru killi zeminlerde uygulanan yükün 162 kN/m^2 olduğu durum için düşey yer değiştirme (oturma) analiz sonuçlarını göstermiştir.

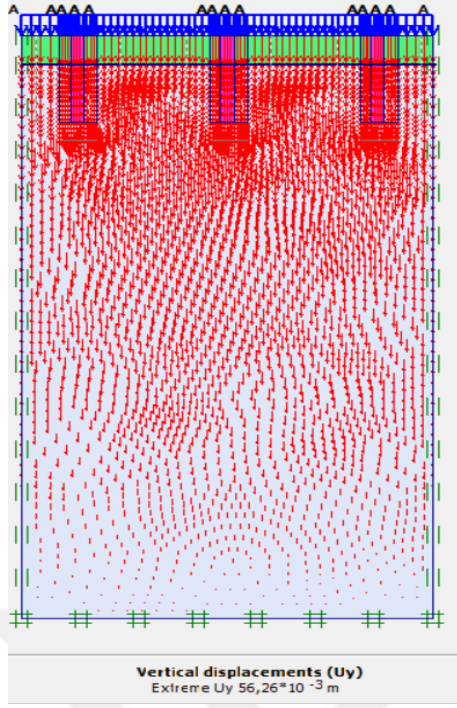


(a)

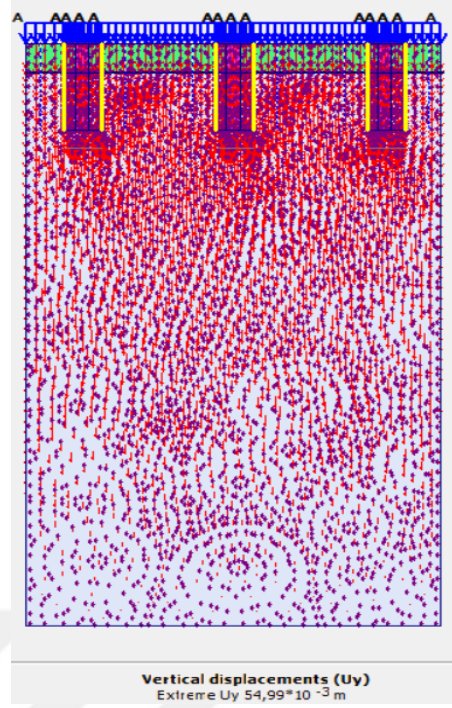
(b)

Şekil B 3. Güçlendirilmemiş Killi Zeminler İçin Oturma Analizleri, (a) Düşük Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminde PLAXIS Oturma Analizi, (b) Yüksek Plastisiteli Güçlendirilmemiş Killi Zeminde PLAXIS Oturma Analizi Sonuçları

Geotekstil ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum kazıkları için karşılaştırmalı analiz sonuçları gösterilmiştir. Şekil B4'te düşük plastisiteli kil zeminin üzerine 578 kN/m^2 yayılı yük uygulanmıştır. L/D oranı ise 8,57' dir. Kazıklar arası mesafe 4m'dir. Şekil B5'te yüksek plastisiteli kil zeminin üzerine 162 kN/m^2 yayılı yük uygulanmıştır. Kazıklar arası mesafe 4m'dir. L/D oranı ise 5,71'dir. Şekil B6'da düşük plastisiteli kil zeminin üzerine 162 kN/m^2 yayılı yük uygulanmıştır. Kazıklar arası mesafe ise 4m'dir. Kazıklar için L/D oranı ise 5,71'dir.

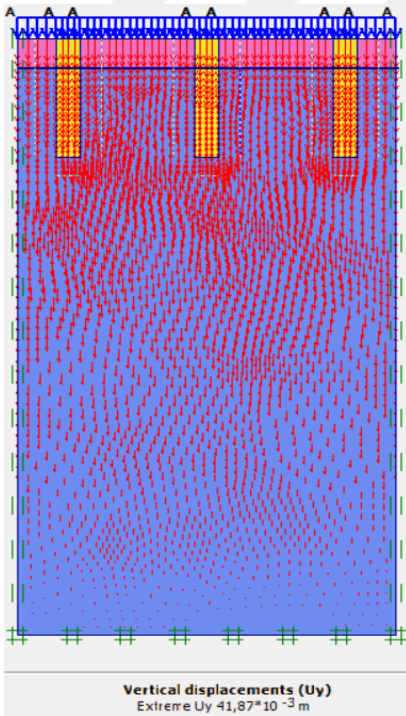


(a)

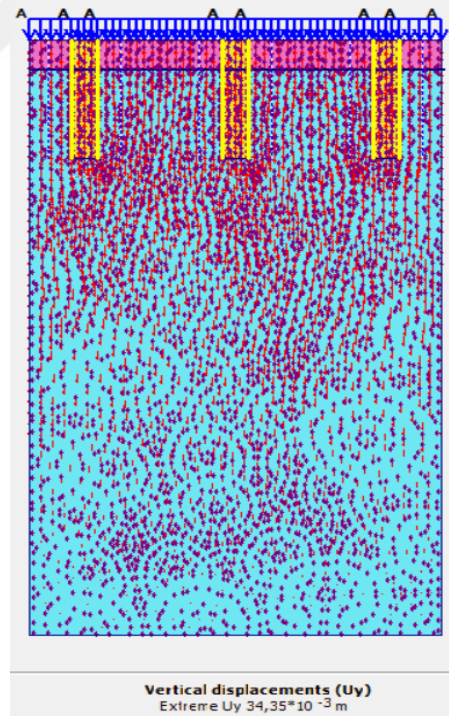


(b)

Şekil B 4. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık

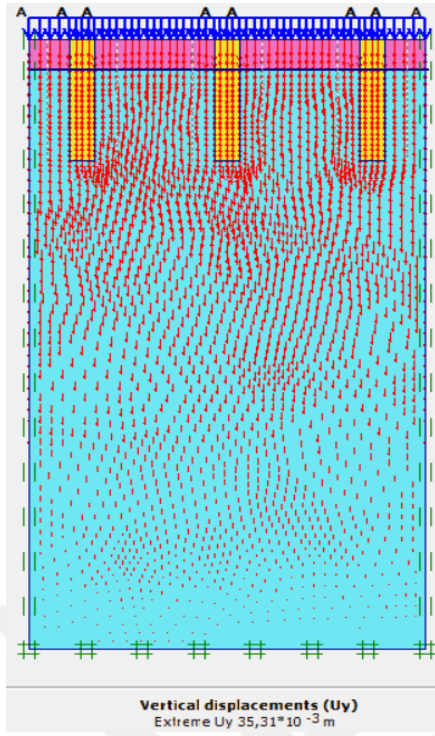


(a)

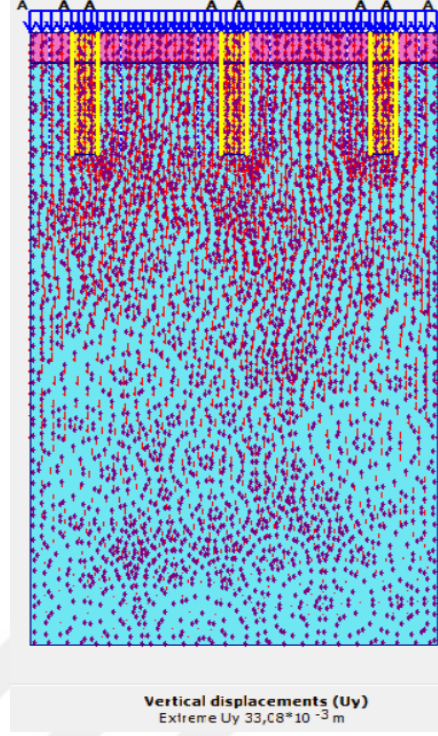


(b)

Şekil B 5. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık



(a)



(b)

Şekil B 6. (a) Geotekstil ile Güçlendirilmemiş Kum Kazık, (b) Geotekstil ile Güçlendirilmiş Kum Kazık

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Serpil Erden

Öğrenim Durumu

Yüksek Lisans : İstanbul Aydın Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Lisans : İstanbul Gelişim Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği

Ön Lisans : İstanbul Aydın Üniversitesi
Yapı Denetim

Lise : İzzet Ünver Lisesi