



T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA  
ÜNİVERSİTESİ



T.C.  
MUSTAFA KEMAL  
ÜNİVERSİTESİ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORTAK YÜKSEK LİSANS**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKRAJ PLAKALARININ FARKLI ZEMİN  
KOŞULLARINDAKİ ÇEKME KAPASİTELERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Bahadır OK**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**OSMANIYE  
TEMMUZ-2014**

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü “İnşaat Mühendisliği”  
Ana Bilim Dalı “12INS010” no’lu öğrencisi “Bahadır OK” tarafından “Yrd. Doç. Dr.  
Ahmet DEMİR” danışmanlığında hazırlanan “ANKRAJ PLAKALARININ FARKLI  
ZEMİN KOŞULLARINDAKİ ÇEKME KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ”  
başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu  
ile Yüksek Lisans/Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİR

.....

Doç. Dr. Mustafa MAMAK

.....

Yrd. Doç. Dr. Murat ÖRNEK

.....

Yukarıdaki Jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yönetim Kurulu’nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile  
onaylanmıştır.

Doç. Dr. Ali GÜRTEN

Enstitü Müdürü

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak  
göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine  
tabidir*

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)

Bahadır OK

**Üniversitesi** : **Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi**  
**Enstitüsü** : **Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Anabilim Dalı** : **İnşaat Mühendisliği**  
**Tez Danışmanı** : **Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİR**  
**Tez Türü** : **Yüksek Lisans**  
**Tarihi** : **Temmuz - 2014**

**Bahadır OK**

## **ANKRAJ PLAKALARININ FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDAKİ ÇEKME KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Bu çalışmada, kil, kum ve tabakalı zeminlere inşa edilen helisel ankraj plakalarının çekme kapasitesi laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde 50mm çapında dairesel ve helisel iki farklı model ankraj plakası kullanılmıştır. Model deneylerde, gömülme oranı, kum sıklığı ankraj plakasının şekli ve farklı zemin türlerinin çekme kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Model deneylerde tabakalı zeminlerde ara yüzeye yerleştirilen geosentetiğin çekme kapasitesine etkisi de araştırılmıştır. Gömülme oranı, ankraj şekli, kum sıklığı, zemin türü ve geosentetik güçlendirme ile ankraj plakasının çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS 2D bilgisayar programı ile modellenip analiz edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve gerekli öneriler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Helisel ankraj, tabakalı zemin, çekme kapasitesi, zemin sıklığı, geosentetik güçlendirme

**University** : **Osmaniye Korkut Ata University**  
**Institute** : **Institute of Natural and Applied Sciences**  
**Science Programme** : **Civil Engineering**  
**Supervisor** : **Assist. Prof. Dr. Ahmet DEMİR**  
**Degree Awarded** : **M.Sc.**  
**Date** : **July - 2014**

**Bahadır OK**

**AN INVESTIGATION OF UPLIFT CAPACITY OF ANCHOR PLATES IN  
DIFFERENT SOIL CONDITIONS**

**ABSTRACT**

In this study, uplift capacity of anchor plate embedded in sand, clay and layered soil was investigated by conducting laboratory model tests. Model anchor plate with 50mm diameters of helix and circular were used in the tests. The parameters investigated for the uplift capacity of anchor plate include the shape, embedment ratio, different soil types and density of sand. In the model tests, it was also investigated the effect of geosynthetic where was placed on the interface of layered soil. It was observed that uplift capacity of anchor plate increased with increasing the embedment ratio, shape of anchor, density of sand, soil type and geosynthetic reinforcement. In addition, the tests were modelled by using the finite element program called PLAXIS 2D. The experimental results were compared with the numerical results and finally, some necessary suggestions for continuation of this work were put forward.

**Key Words:** Helical anchor, layered soil, uplift capacity, density of soil, geosynthetic reinforcement.

*Güzel kalpli güler yüzlü aileme...*

## TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarım da beni yönlendiren ve benden yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni yüksek lisansa yönlendiren ve bu süreçte yalnız bırakmayan Sayın Prof. Dr. Mustafa LAMAN'a hocama ve ayrıca Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat ÖRNEK hocama teşekkür ederim.

Başta Arş. Gör. Talha SARICI, Arş. Gör. Baki BAĞRIAÇIK, Arş. Gör. Gökhan ALTAY ve Öğr. Gör. Hakan ERKEK olmak üzere tüm meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım da beni teknik yönden yalnız bırakmayan, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı personeli ve Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Çalışmalarım da bana maddi manevi destek olmuş kıymetli arkadaşlarıma ve değerli akrabalarıma teşekkür ederim

Son olarak, her zaman bana destek olan, yardımlarını esirgemeyen ve bu zorlu maratonda beni hiç yalnız bırakmayan ailem; annem, babam, ağabeyim ve sevgili Ferdane KILIÇEL'e çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. Sığ Temellerin Çekme Kapasitesi.....	7
2.2.1. Giriş.....	7
2.2.2. Kum Zeminlerde İnşa Edilen Temeller.....	8
2.2.2.1. Balla (1961) Teorisi.....	8
2.2.2.2. Meyerhof ve Adams (1968) Teorisi.....	11
2.2.2.3. Vesic (1965) ve Vesic (1971) Teorileri.....	13
2.2.2.4. Saeedy (1965) Teorisi.....	16
2.2.3. Suya Doymun Kil Zeminlerde İnşa Edilen Temeller.....	18
2.2.3.1. Vesic (1971) Teorisi.....	19
2.2.3.2. Meyerhof (1973) Teorisi.....	20
2.2.3.3. Das (1978) Teorisi.....	21
2.3. Çekme Kapasitesi Üzerinde Dolgunun Etkisi.....	21
2.4. Kum Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi.....	23
2.5. Kil Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi.....	36
2.6. Tabakalı Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi.....	39
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	42
3.1. Giriş.....	42
3.2. Zemin Özellikleri.....	42



3.2.1. Kil Zeminin Özellikleri .....	42
3.2.2. Kum Zeminin Özellikleri .....	52
3.3. Geosentetik Özellikleri.....	54
3.4. Deney Düzenegi .....	55
3.4.1. Deney Tankı .....	58
3.4.2. Ankraj Plakaları ve Bağlantı Elemanları .....	58
3.4.3. Yükleme Sistemi .....	59
3.4.4. Yük Hücresi .....	60
3.4.5. Düşey Deplasman Transduceri (LVDT) .....	61
3.4.6. Data Logger (Data Kaydetme Ünitesi).....	61
3.4.7. Titreşim Cihazı.....	62
3.5. Deney Yöntemi .....	63
3.5.1. Aletlerin Kalibrasyonu .....	63
3.5.2. Deneyin Yapılışı.....	65
3.6. Deney Programı .....	68
3.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi .....	70
3.7.1. Giriş.....	70
3.7.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi .....	70
3.7.3. PLAXIS Bilgisayar Programı.....	71
3.7.4. PLAXIS Zemin Modelleri.....	71
3.7.4.1. Lineer Elastik (LE) Zemin Modeli .....	71
3.7.4.2. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli .....	72
3.7.4.3. Hardening-Zemin (HZ) Modeli.....	72
3.7.4.4. Soft-Soil-Crep (SSC) Modeli .....	72
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>73</b>
4.1. Giriş .....	73
4.2. Deney Sonuçları .....	73
4.2.1. Seri 1: Kil Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	73
4.2.2. Seri 2: Kil Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Dairesel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi ..	77
4.2.3. Seri 3: Tabakalı Zeminde Kum Tabaka Kalınlığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	80
4.2.4. Seri 4: Tabakalı Zeminde Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi .....	83
4.2.5. Seri 5: Ara Yüze Geotekstil Yerleştirilmesi Durumunda Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi .....	87

4.2.6. Seri 6: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıklılığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	91
4.2.7. Seri 7: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıklılığının Dairesel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi	94
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	96
4.3.1. Seri 1 ve Seri 2 Deneylerinin Karşılaştırılması .....	96
4.3.2. Seri 4 ve Seri 5 Deneylerinin Karşılaştırılması .....	97
4.3.3. Seri 6 ve Seri 7 Deneylerinin Karşılaştırılması .....	101
4.4. Sayısal Analiz Sonuçları .....	102
4.4.1. Seri 1 – Seri 2: Kil Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Ankraj Çekme Kapasitesine Etkisi.....	104
4.4.2. Seri 3: Tabakalı Zeminde Kum Tabaka Kalınlılığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	107
4.4.3. Seri 4: Tabakalı Zeminde Kum Zemin Sıklılığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	110
4.4.4. Seri 5: Ara Yzeyeye Geotekstil Yerleştirilmesi Durumunda Kum Zemin Sıklılığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi.....	114
4.4.5. Seri 6 – Seri 7: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıklılığının Ankraj Çekme Kapasitesine Etkisi.....	119
4.5. Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	122
4.6. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	126
4.6.1. Seri 1 – Seri 2 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması .....	126
4.6.2. Seri 3 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması.....	129
4.6.3. Seri 4 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması.....	132
4.6.4. Seri 5 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması.....	135
4.6.1. Seri 6 – Seri 7 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması .....	137
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>140</b>
5.1. Sonuçlar .....	140
5.2. neriler .....	143
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>144</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>150</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kilin Özellikleri (Sarıcı, vd., 2013).....	52
Çizelge 3.2.	Elek Analizi Sonuçları.....	53
Çizelge 3.3.	Geotekstilin Malzemenin Teknik Özellikleri .....	55
Çizelge 3.4.	Yük Hücresi Kalibrasyon Tablosu .....	63
Çizelge 3.5.	Transducerlerin Kalibrasyon Tablosu .....	64
Çizelge 3.6.	Deney Program .....	69
Çizelge 4.1.	Seri 1 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	76
Çizelge 4.2.	Seri 2 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	79
Çizelge 4.3.	Seri 3 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	82
Çizelge 4.4.	Seri 4 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	86
Çizelge 4.5.	Seri 5 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	90
Çizelge 4.6.	Seri 6 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	92
Çizelge 4.7.	Seri 7 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	95
Çizelge 4.8.	Kum Zemin İçin Model Parametreler.....	103
Çizelge 4.9.	Kil Zemin İçin Model Parametreler .....	103
Çizelge 4.10.	Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	106
Çizelge 4.11.	Seri 3 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri.....	109
Çizelge 4.12.	Seri 4 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri.....	113
Çizelge 4.13.	Seri 5 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri.....	118
Çizelge 4.14.	Seri 6 ve Seri 7 İçin Yapılan Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri .....	120

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yüksek Gerilim Hattı (Demir 2006) .....	1
Şekil 1.2. Helisel Ankrajın Uygulama Alanları (Merifield 2011).....	4
Şekil 2.1. Çekmeye Maruz Sığ Temel (Das, 1999).....	8
Şekil 2.2. Sığ Dairesel Temeller İçin Balla (1961) Teori (Das, 1999).....	9
Şekil 2.3. $F_1+F_3$ Fonksiyonunun $\phi$ ve $D_f/B'$ 'ye Bağlı Olarak Değişimi (Das, 1999).....	10
Şekil 2.4. $D_f/B$ ile $F_q$ 'nun Doğal Değişimi (Das, 1999) .....	11
Şekil 2.5. Çekmeye Maruz Sürekli Temel (Das, 1999).....	12
Şekil 2.6. Vesic (1965)'in Genişleyen Boşluk Teorisi (Das, 1999) .....	14
Şekil 2.7. Dairesel Temelde Vesic (1971)'in Genişleyen Boşluk Teorisi (Das,1999).....	15
Şekil 2.8. Saeedy'nin Dairesel Temeller İçin Önermiş Olduğu Kopma Faktörü, $F_q$ (Das, 1999).....	17
Şekil 2.9. Çekmeye Maruz Suyu Doygun Kil İçerisindeki Sığ Temel (Das, 1999)	19
Şekil 2.10. Vesic (1971)'in Önerdiği Kopma Faktörü, $F_c$ (Das, 1999).....	20
Şekil 2.11. Kum Dolgu İçerisinde Çekmeye Maruz Sığ Temeldeki Yüzeysel Yenilme Mekanizması (Das, 1999).....	22
Şekil 2.12. Kum Dolgu İçerisinde Çekmeye Maruz Sığ Temeldeki Kama veya Birleşik Kayma Yenilme Mekanizması (Das, 1999) .....	23
Şekil 2.13. a) Kum Zemine Sığ Gömülü Helisel Ankrajın Yenilme Yüzeyi b) Kuma Derin Gömülü Helisel Ankrajın Yenilme Yüzeyi (Mitsch ve Clemence, 1985) .....	24
Şekil 2.14. Koni Şekilli Yenilme Yüzeyi (Ghaly, vd., 1991).....	27
Şekil 2.15. Yenilme Yüzeyleri A) Sığ Gömülü Helisel Ankraj B) Derin Gömülü Helisel C) Sığdan Derine Geçiş Bölgesine Gömülü Helisel Ankraj (Ghaly, vd., 1991) .....	29
Şekil 2.16. Deneysel Düzenek (Ilamparuthi ve Dickin, 2001).....	32
Şekil 2.17. Değişik Güçlendirme Düzenlemeleri ile Çekme Davranışındaki Değişim (Ilamparuthi ve Dickin, 2001) .....	33
Şekil 3.1. Muayene Çukuru Açılması (YMÇ).....	43

Şekil 3.2. Muayene Çukuru ve Sondaj Kuyularının Yerleri (Ölçeksiz).....	44
Şekil 3.3. Muayene Çukurlarından Elde Edilen Zemin Profilleri (Demir, 2011) ...	44
Şekil 3.4. Sondaj Kuyularından Elde Edilen Zemin Profilleri (Demir, 2011) .....	45
Şekil 3.5. Su Muhtevasının Derinlikle Değişimi (Demir, 2011).....	47
Şekil 3.6. Dane Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin Derinlikle Değişimi (Demir,2011) .....	48
Şekil 3.7. Kıvam Limitleri Değerlerinin Derinlikle Değişimi (Demir, 2011).....	49
Şekil 3.8. Gerilme-Boşluk Oranı Eğrileri (Demir, 2011).....	50
Şekil 3.9. Arazi Gerilme Durumunun Derinlikle Değişimi (Demir, 2011).....	51
Şekil 3.10. Kilin Su İçeriği Drenajsız Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişki ( $w-c_u$ ) (Sarıcı, vd., 2013).....	52
Şekil 3.11. Granülometre Eğrisi .....	54
Şekil 3.12. Geotekstil Malzeme.....	55
Şekil 3.13. Deney Düzeneği .....	56
Şekil 3.14. Deney Düzeneği Şeması.....	57
Şekil 3.15. Deney Tankı .....	58
Şekil 3.16. Helisel Ankraj Plakası ve Bağlantı Elemanı .....	59
Şekil 3.17. Dairesel Ankraj Plakası ve Bağlantı Elemanı .....	59
Şekil 3.18. Yük Hücresi.....	60
Şekil 3.19. Düşey Deplasman Transducerleri .....	61
Şekil 3.20. Bilgisayar ve Data Logger Sistemi.....	62
Şekil 3.21. Titreşim Cihazı.....	63
Şekil 3.22. Yük Hücresi Kalibrasyon Eğrisi .....	64
Şekil 3.23. Transducerlerin Kalibrasyon Grafikler .....	65
Şekil 3.24. Kil Zeminin Sıkıştırılması.....	67
Şekil 3.25. Kil Zeminin Parçalanması.....	67
Şekil 3.26. Geotekstilli Deney .....	68
Şekil 3.27. Deneylerin Şematik Çizimi .....	68
Şekil 4.1. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=3D$ ) .....	75

Şekil 4.2. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=5D$ ) .....	76
Şekil 4.3. Kil Zeminlerde Helisel Ankrajın Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi .....	77
Şekil 4.4. Kil Zemine Gömülü Dairesel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=2D$ ) .....	78
Şekil 4.5. Kil Zemine Gömülü Dairesel Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=6D$ ) .....	79
Şekil 4.6. Kil Zeminde Dairesel Ankrajın Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi .....	80
Şekil 4.7. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_s=1D$ ).....	81
Şekil 4.8. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_s=4D$ ).....	82
Şekil 4.9. Tabakalı Zeminlerde Kum Tabakası Kalınlığına Göre Kopma Faktörü Değişimi .....	83
Şekil 4.10. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%40$ ) .....	84
Şekil 4.11. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%60$ ) .....	85
Şekil 4.12. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%80$ ) .....	86
Şekil 4.13. Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıkılığına Göre Kopma Faktörü Değişimi .....	87
Şekil 4.14. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%40$ ) .....	88
Şekil 4.15. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%60$ ) .....	89
Şekil 4.16. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%80$ ) .....	90

Şekil 4.17. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıkılığına Göre Kopma Faktörü Değişimi .....	91
Şekil 4.18. Kum Zeminlere Gömülü Helisel Ankraj İçin %40 ve %60 Sıkılıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	93
Şekil 4.19. Kum Zeminde Gömülü Helisel Ankraj İçin %80 Sıkılıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	93
Şekil 4.20. Kum Zeminde Gömülü Helisel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi.....	94
Şekil 4.21. Kum Zeminlere Gömülü Dairesel Ankraj İçin %40 ve %80 Sıkılıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	95
Şekil 4.22. Kum Zeminde Gömülü Dairesel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	96
Şekil 4.23. Kil Zeminde Gömülü Helisel ve Dairesel Ankraj İçin Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	97
Şekil 4.24. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması ( $D_r = 40$ ).....	98
Şekil 4.25. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması ( $D_r = 60$ ).....	99
Şekil 4.26. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması ( $D_r = 80$ ).....	100
Şekil 4.27. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Sıkılığa Karşılık Kopma Faktörü Değişimi.....	101
Şekil 4.28. Kum Zeminlere Gömülü Helisel ve Dairesel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi.....	102
Şekil 4.29. Analizlerde Kullanılan Tipik Sonlu Elemanlar Ağı.....	104
Şekil 4.30. Sayısal Analiz ile Kil Zeminde Gömülü Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c = 2D$ ) .....	105
Şekil 4.31. Sayısal Analiz ile Kil Zeminde Gömülü Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c = 6D$ ) .....	106
Şekil 4.32. Kil Zeminde Ankraj Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi	107

Şekil 4.33. Seri 3 Deneylerinin Sayısal Analizlerinde Kullanılan Modelleme ( $H_c=1D$ , $H_s=3D(D_r=\%80)$ ).....	108
Şekil 4.34. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_s=1D$ ).....	109
Şekil 4.35. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zeminlerde Kum Tabakası Kalınlığına Göre Kopma Faktörü Değişimi.....	110
Şekil 4.36. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%40$ ).....	111
Şekil 4.37. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%60$ ).....	112
Şekil 4.38. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%80$ ).....	113
Şekil 4.39. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi.....	114
Şekil 4.40. Seri 5 Deneylerinin Sayısal Analizlerinde Kullanılan Modelleme ( $H_c=1D$ , Geotekstil, $H_s=3D(D_r=\%80)$ ).....	115
Şekil 4.41. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%40$ ).....	116
Şekil 4.42. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%60$ ).....	117
Şekil 4.43. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r=\%80$ ).....	118
Şekil 4.44. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi.....	119
Şekil 4.45. Sayısal Analizlerden Kum Zeminlere Gömülü Ankraj İçin %40 ve %60 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi.....	121
Şekil 4.46. Sayısal Analizlerden Kum Zeminlere Gömülü Ankraj İçin %80 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi.....	121
Şekil 4.47. Sayısal Analiz ile Kum Zemine Gömülü Ankraj İçin Farklı Sıklıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi.....	122



Şekil 4.48. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%40) .....	123
Şekil 4.49. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%60) .....	124
Şekil 4.50. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%80) .....	125
Şekil 4.51. Sayısal Analizlerden Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Sıkılığa Karşılık Kopma Faktörü Değişimi .	126
Şekil 4.52. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması (Hc=3D) .....	127
Şekil 4.53. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması (Hc=5D) .....	128
Şekil 4.54. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	129
Şekil 4.55. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Hs=1D) .....	130
Şekil 4.56. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Hs=3D) .....	131
Şekil 4.57. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Tabakalı Zeminlerde Kum Zemin Derinliğine Bağlı Kopma Faktörü Değişimi.....	132
Şekil 4.58. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Dr=%40).....	133
Şekil 4.59. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Dr=%60).....	134
Şekil 4.60. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Tabakalı Zeminlerde Kumun Sıkılığına Bağlı Kopma Faktörü Değişimi.....	135
Şekil 4.61. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması (Dr=%60).....	136

Şekil 4.62. Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlerde Kumun Sıklığına Bağlı Kopma Faktörü Değişimi .....	137
Şekil 4.63. Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %40 ve %80 Sıklıklardaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	138
Şekil 4.64. Helisel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %60 Sıklıklardaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	138
Şekil 4.65. Helisel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %80 Sıklıktaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi .....	139
Şekil 5.1. Tipik Gerilme Çatlağı.....	141

## SİMGELER ve KISALTMALAR

A	Ankraj alanı	(m <sup>2</sup> )
a	Temel genişliği	(m)
b	Ankraj yarıçapı	(m)
c	Kohezyon	(kN/m <sup>2</sup> )
c <sub>u</sub>	Zemin drenajsız kayma mukavemeti	(kN/m <sup>2</sup> )
D	Ankraj çapı	(m)
D <sub>a</sub>	Helisel ankrajın ortalama çapı	(m)
D <sub>f</sub>	Gömülme derinliği	(m)
D <sub>r</sub>	Kumun rölatif sıklığı	(%)
D <sub>f</sub> /B	Gömülme oranı	(-)
(D <sub>f</sub> /B) <sub>cr</sub>	Kritik gömülme oranı	(-)
D <sub>10</sub>	Efektif çap	(mm)
e	Boşluk oranı	(-)
EA	Eksenel rijitlik	(kN/m)
EI	Eğilme rijitliği	(kNm <sup>2</sup> /m)
E <sub>oed</sub>	Odometre yükleme rijitliği	(kN/m <sup>3</sup> )
E <sub>ur</sub>	Üç eksenli boşaltma-yükleme rijitliği	(kN/m <sup>3</sup> )
E <sub>50</sub>	Üç eksenli yükleme rijitliği	(kN/m <sup>3</sup> )
F <sub>c</sub>	Kil zeminlerin kopma faktörü	(-)
F <sub>q</sub>	Kum zeminlerin kopma faktörü	(-)
H <sub>1</sub>	En üsteki helisel ankrajın gömülme derinliği	(m)
H <sub>3</sub>	En alttaki helisel ankrajın gömülme derinliği	(m)
H(L)	Zemin yüzeyinden ölçülen gömülme derinliği	(m)
h <sub>0</sub>	Varsayılan yenilme bölgesi yüksekliği	(m)
H <sub>c</sub>	Kil zemine gömülme derinliği	(m)
H <sub>s</sub>	Kum zemine gömülme derinliği	(m)
H <sub>c</sub> /D	Kil zemine gömülme oranı	(-)
H <sub>s</sub> /D	Kum zemine gömülme oranı	(-)
K <sub>u</sub>	Nominal çekme katsayısı	(-)
K <sub>a</sub>	Aktif zemin basınç katsayısı	(-)
K <sub>p</sub>	Pasif zemin basınç katsayısı	(-)
K <sub>p</sub>	Modifiye pasif zemin basınç katsayısı	(-)
K <sub>o</sub>	Zemin basınç katsayısı	(-)
P <sub>o</sub>	Vesic (1965) önerdiği temel çekme kapasitesi	(kN/m <sup>2</sup> )
P <sub>1</sub>	İlave zemin basıncı	(kN/m <sup>2</sup> )
P <sub>p</sub>	Yenilme yüzeyi boyunca oluşan sürtünme	(N)
P <sup>ref</sup>	Referans basınç değeri	(kN/m <sup>3</sup> )
Q <sub>0</sub>	Ankrajın net çekme kapasitesi	(N)
Q <sub>u</sub>	Ankrajın toplam çekme kapasitesi	(N)
Q <sub>p</sub>	Üsteki ankrajın taşıma kapasitesi	(N)
Q <sub>f</sub>	Sürtünme silindiri direnci	(N)
Q <sub>sh</sub>	Ankraj mili sürtünmesi	(N)
R <sub>f</sub>	Göçme oranı	(-)
R <sub>inter</sub>	Rijitlik	(-)

$r$	Yenilme yayının yarıçapı	(m)
$r$	Dönüştürülmüş koni çapı	(m)
$s$	Düşey deplasman	(mm)
$s/D$	Çekme oranı	(-)
$w$	Zemin su muhtevası	(%)
$w_n$	Zeminin doğal su muhtevası	(%)
$w_L(LL)$	Likit limit	(%)
$w_P(PL)$	Plastik limit	(%)
$W$	Yenilme yüzeyi içinde kalan zemin ağırlığı	(N)
$W_f$	Temel ağırlığı	(N)
$W_3$	Küresel boşluktaki zemin ağırlığı	(N)
$\alpha$	Yenilme eğrisinin zemin yüzeyi ile yapmış olduğu açı	(°)
$\delta$	Varsayılan yenilme bölgesindeki kesme direncinin ortalama açısı	(°)
$\phi$	Zemin içsel sürtünme açısı	(°)
$\theta$	Varsayılan yenilme yüzeyinin düşey eksenle yaptığı açı	(°)
$\gamma$	Zemin birim hacim ağırlığı	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma$	Zemin etken birim hacim ağırlığı	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_k$	Zemin kuru birim hacim ağırlığı	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_s$	Zemin dane birim hacim ağırlığı	(kN/m <sup>3</sup> )
$\mu$	Sıkışma faktörü	(-)
$\sigma_v$	Ortalama efektif gerilme	(kN/m <sup>2</sup> )
$\psi$	Dilatasyon açısı	(°)
$\nu$	Zeminin poisson oranı	(-)
$\lambda^*$	Lambda*	(-)
$\kappa^*$	Kappa*	(-)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmeye paralel olarak, büyük ölçekli yapıların inşa edilebilecek duruma gelmesiyle temel sistemlerinin yeniden değerlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu tip yapılarda, yapıdan zemine aktarılacak yüklerin çok büyük değerlere ulaşması nedeniyle çoğu zaman, yüzeysel temeller ile temel sisteminin çözümü mümkün olmamakta ve böyle durumlarda daha komplike temel sisteminin seçilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Temeller genellikle basınç yükleri altında çalışırlar. Fakat bazı durumlarda çekme kuvvetine maruz kalmaktadırlar. Bu durum özellikle yüksek gerilim hatları (Şekil 1.1), haberleşme kuleleri (radyo ve televizyon kuleleri vb.), uzun fabrika bacaları, deniz platformları (deniz yüzeyinde yapılmış rıhtım yapıları, su altındaki platformlar ve dalgakıran yapıları gibi yapılar), otoban ve demiryollarındaki işaret levhaları ve reklam panolarını taşıyan direkler ve boru hatları gibi özel yapıların tasarımını yakından ilgilendirmektedir.



Şekil 1.1 Yüksek Gerilim Hattı (Demir 2006)

Söz konusu yapıların temelleri, suyun kaldırma kuvveti, kablo yükleri ya da rüzgar kuvveti gibi dış etkilerden dolayı çekme kuvvetlerine maruz kaldığından, bu tür yapıların temelleri çekme kapasitesi yönünden de irdelenmelidir.

Temel Mühendisliği, zemin mekaniği ve zemin dinamiği bölümlerine ayrılan geoteknik mühendisliğinde, son 45 yıldır temellerin çekme (uplift) kuvvetleri ile ilgili çalışmalar yer almakta olup, konu ile ilgili tasarım kriterleri geliştirilmektedir. Çekme kuvveti alan temel sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, basınç kuvveti alan temel sistemleri üzerine yapılan çalışmalara kıyasla oldukça azdır.

Bir gömülü ankrajın çekme kapasitesi, genellikle temelin kendi ağırlığı, serbest yüzey boyunca sürtünme direnci ve yenilme bölgesi içerisinde kalan zeminin ağırlığından oluşmaktadır. Gerekli olan çekme kapasitesi ancak temel boyutu, gömülme derinliği ve dolgu sıklığı artırılarak elde edilebilir.

Bir ankraj davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla bu parametrelerin, kum içerisindeki temellerin çekme kapasitesi üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Giffels vd. (1960), Ireland (1963) ve Adams ve Hayes (1967) yayın hattı kuleleri inşaatı için, ankrajlar üzerinde geniş ölçekli arazi deneyleri yapmışlardır. Ankrajların davranışlarını daha iyi anlamak amacıyla Majer (1955), Balla (1961), Downs ve Chieurzzi (1966), Baker ve Kondner (1966), Meyerhof ve Adams (1968), Hanna ve Carr (1971), Hanna ve Sparks (1973), Das ve Seeley (1975a, b), Clemence ve Veesaert (1977), Andreadis vd. (1981), Sutherland vd. (1982), Murray ve Geddes (1987) ve Ghaly vd. (1991a, b) geleneksel olarak laboratuvarında küçük ölçekli model çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca diğer araştırmacılardan Ovesen (1981), Tagaya vd. (1983, 1988), Dickin (1988) ve Dickin ve Leung (1990, 1992) santrifüj modelleme tekniğini geliştirerek tam ölçekli prototipler üzerinde istenilen gerilme durumları için gerekli verileri elde etmişlerdir.

Teorik analizler ise, Vesic (1971)'in boşluk genişleme teorisini, Chattopadhyay ve Pise (1986), Saran vd. (1986)'in sınır denge analizini ve Rowe ve Davis (1982)'in elastoplastik sonlu eleman analizlerini içermektedir. Bu geniş araştırma kaçınılmaz olarak farklı dizayn metotlarını ortaya çıkarmıştır. Dickin (1988) ve Dickin ve Leung (1990) kum içerisindeki ankraj plakalarının çekme kapasitesini veren mevcut dizayn metotlarının büyük bir kısmını özetlemişlerdir.

Literatürde, homojen zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme davranışları üzerine nümerik ve deneysel çalışmaların oldukça fazla olduğu, buna karşın tabakalı zeminlere gömülü temellerin çekme davranışlarının yeterince incelenmediği görülmektedir. Stewart (1985), tabakalı zeminde (kil-kum) dairesel ankraj plakalarının çekme kapasitelerini farklı koşullarda model deneylerle araştırmıştır. Patra vd. (2004), iki farklı sıklıktaki tabakalı kum zeminde model deneyler yaparak sıklığın etkisini araştırmışlardır. Niroumand vd. (2011), tabakalı kum zeminlerde ve tabakalı kil kum zeminlerde düzensiz şekilli ankraj plakaları üzerinde model deneyler yaparak çekme kapasitesini incelemişlerdir. Üzerinde yeterince çalışma olmamasına rağmen, mühendisler şantiyede sık sık tabakalı zeminlerle karşılaşmaktadır. Bu tür zeminlerde çekme kuvveti alan temellerin tasarım parametreleri tam belirlenmiş olmamasından dolayı tasarım safhasında belirsizliklerle karşılaşmakta inşa sonrasında ise güvenliğinden tam emin olunmamaktadır.

Ankraj sistemli temeller genellikle yapının çekme kuvveti ve devrilme momentine karşı koyması için tasarlanırlar. Günümüzde kullanılan ankraj sistemleri temel olarak altı gruba ayrılabilir. Bunlar plaka ankrajlar, grout ankrajlar, direk gömme ankrajlar, helisel ankrajlar, zemin kanca sistemi ankrajlar ve delikli şaft ankrajlardır. En yaygın olarak da plaka ankrajlar kullanılmaktadır. (Niroumand 2010)

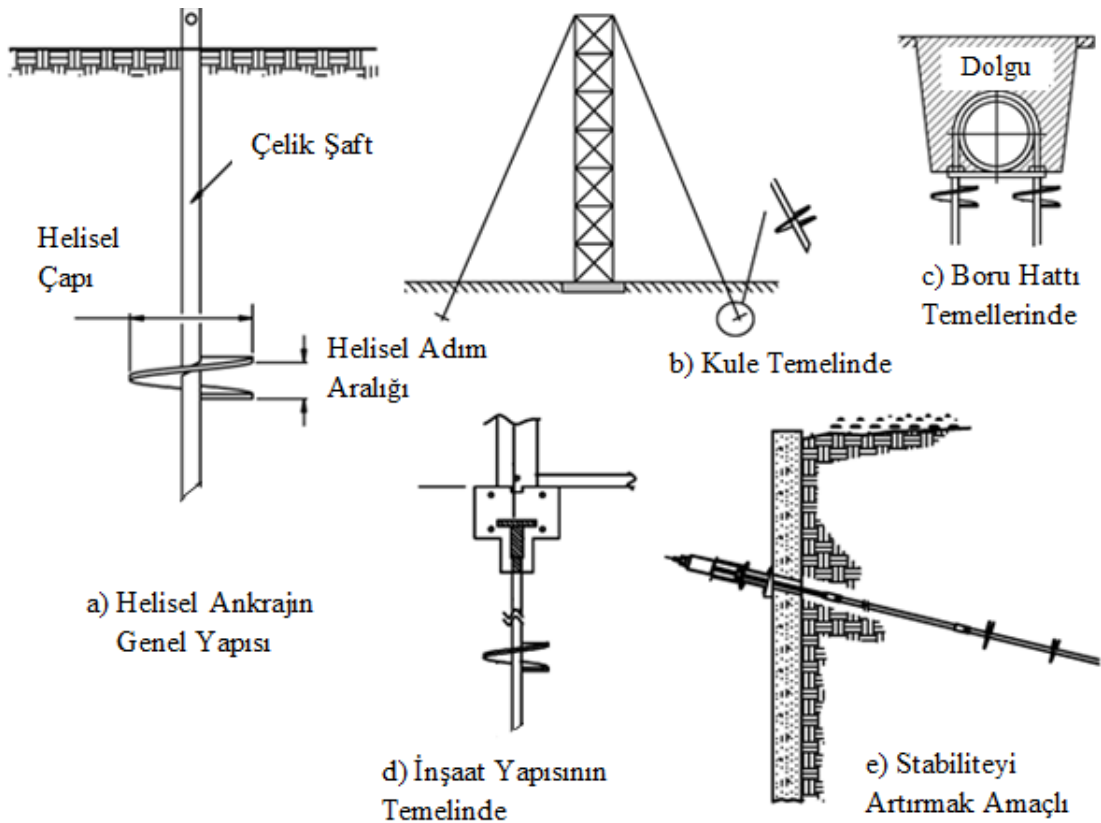
Helisel ankrajlar (Şekil 1.2. (a) );

- Hızla inşa edilebilme
- Ani olarak yük taşıyabilme

- Hem çekme hem de basınç yüklerini karşılayabilme gibi avantajları sebebiyle geleneksel geoteknik mühendisliği uygulamalarında sıkça kullanılabilir.

Helisel ankrajlar günümüzde;

- Çekmeye maruz kalan yapıları bağlamak amacıyla, Şekil 1.2. (b)
  - Boru hattı temellerinde, Şekil 1.2. (c)
  - Yeni yapıların, destek yapılarının ve oturmaya maruz kalan seviye kontrol yapılarının temel sistemlerinde, Şekil 1.2. (d)
  - Şevler ve istinat duvarlarının stabilitesini sağlamak için perde sistemlerinde, Şekil 1.2. (e)
- gibi yerlerde sık sık kullanılmaktadır.



Şekil 1.2 Helisel Ankrajın Uygulama Alanları (Merifield 2011)



Helisel ankrajların en önemli avantajları, auger ekipmanına sahip herhangi bir kamyon ya da taşıyıcı aracılığıyla, araziye en az düzeyde rahatsız ederek zemin içerisine çok hızlı bir şekilde inşa edilebilmeleridir. Diğer ankraj sistemleri kullanıldığında zemin önce istenilen derinliğe kadar kazılır. Ankraj plakası yerleştirilir. Plakanın üzeri kontrollü dolgu yapılarak kapatılır. Kazma ve dolgu işlemleri zaman alıcıdır ve kazma sırasında zemin daha çok örselendiğinden taşıma gücü kayıpları daha fazladır. Ancak helisel ankraj sistemleri kullanıldığında kazma işlemi olmadan auger elemanı ile ankraj plakası istenilen derinliğe yerleştirilir. Böylece hem zemin daha az örselenerek inşaat tamamlanmış olur hem de zamandan kazanç elde edilmiş olur. Zamandan elde edilen kazançla temel inşaat maliyeti daha makul düzeylere inebilir.

Literatürde helisel ankraj sistemlerinin çekme davranışları üzerine çalışmalar oldukça azdır. Mitsch ve Clemence (1985)'te kum zeminlere gömülü çoklu helisel ankraj plakalarının nihai çekme kapasitesinin tahmini için yarı ampirik çözümler önermişlerdir. Ghaly vd. (1991)'de kum zeminlere gömülü tekli helisel ankraj plakalarının çekme davranışlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Merifield (2011)'de killi zeminlerde çoklu helisel ankraj plakalarının çekme davranışını daha iyi anlamak için sayısal modelleme teknikleri geliştirmiştir.

Helisel ankraj sistemleri şantiyede gerilme yüklerine karşı sıkça kullanılmaktadır. Ancak helisel ankraj sistemlerinin farklı zemin türlerindeki iyileştirme kapasitesinin tahminindeki belirsizliklerden ötürü kullanım sıklığı azalmaya başlamıştır. Bu belirsizlikler helisel ankraj plakalarının çekme kapasitesinin tayininde kullanılan bazı parametrelerin etkilerinin kesin olarak belirlenmemesinden ve şantiyede sık sık farklı tür zeminlerle karşılaşılmasına rağmen yapılan çalışmaların genelde sadece bir tür homojen zemini kapsamından dolayıdır.

Bu çalışmadaki model deneylerle amaçlanan arazide kolay inşa edilebilen helisel ankraj plakalarının farklı zeminlerde ve diğer ankraj plakalarına göre çekme kapasitesinin hakkında bir bilgi vererek arazideki denemelere ışık tutmaktır.

Bu çalışmada yapılan model deneylerle helisel ankraj plakalarının kil, kum ve tabakalı olmak üzere üç farklı zemin türündeki çekme kapasiteleri belirlenerek zeminin türünün çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Kum zeminde sıkılık ve gömülme derinliği parametreleri, kil zeminde gömülme derinliği parametresi ve kil kum tabakalı zemindeki kumun sıkılığı parametresinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca tabakalı zemin durumu için kil kum ara yüzeyinde geosentetik kullanarak bunun çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Helisel ankrajın homojen kum ve kil zeminlerdeki iyileştirme düzeyinin tahmini için ise dairesel ankraj deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, model deney düzeneği, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS bilgisayar programı ile modellenip analiz edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve gerekli öneriler yapılmıştır.

Bu çalışmayla helisel ankraj plakalarının homojen kil ve kum zeminlerdeki çekme kapasiteleri ve bu zeminlerde dairesel ankraja göre çekme kapasiteleri farkı ortaya konarak ileride yapılacak tasarımlar için bir temel oluşturmaya çalışılmıştır. Ayrıca tabakalı zeminlerde helisel ankrajın çekme performansı belirlenmiş ve tabakalar arasındaki ara yüzeye de geosentetik yerleştirilmesi ile elde edilen zemin iyileştirmesinin çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu bölümde, temellerin çekme (uplift) kapasitesi ile ilgili önceki çalışmalar yer almaktadır. Öncelikle sığ temellerin çekme kapasitesi üzerinde yapılmış olan çalışmalara yer verilip, daha sonra, mevcut çalışmanın konusunu da içerisine alan, yalnız kile veya tabakalı zemine gömülü temellerin çekme kapasitesinin belirlenmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar sunulmuştur.

### 2.2. Sığ Temellerin Çekme Kapasitesi

#### 2.2.1. Giriş

Temeller ve diğer yapılar özel koşullar altında çekme kuvvetlerine maruz kalabilirler. Temellerin tasarımında, çekmeye karşı da yeterince güvenli tarafta kalacak, güvenlik faktörlerinin seçilmesi gerekmektedir.

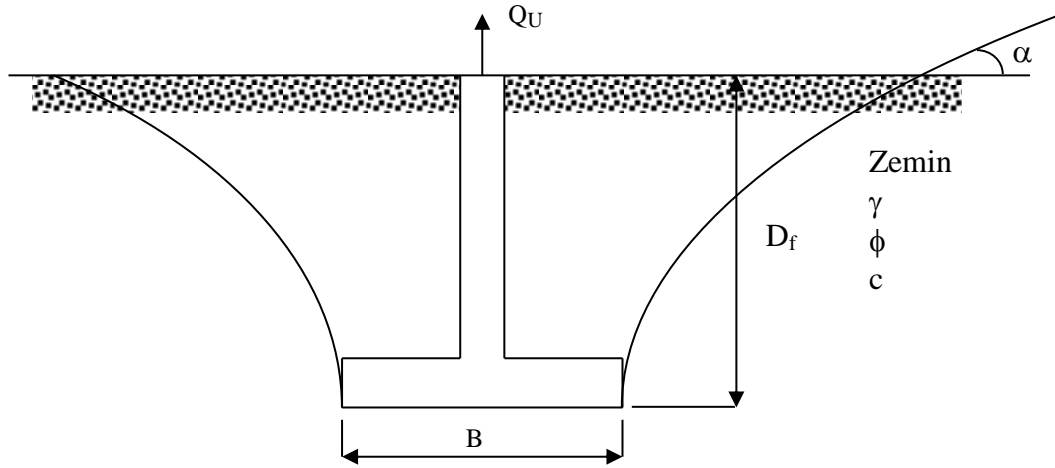
Günümüze kadar, kum ve kil zeminlere gömülü temellerin nihai çekme kapasitesini tahmin etmek için, birçok teori geliştirilmiş olup bu teorilerden başlıcaları bu bölümde incelenmiştir. Çalışmalar iki ana başlık altında toplanacaktır.

1. Granüler zeminlerdeki temeller
2. Doymuş kil ( $\phi=0$ ) zeminlerdeki temeller

Genişliği  $B$ , gömülme derinliği  $D_f$  olan bir sığ temelin nihai çekme kapasitesi  $Q_u$ , yenilme yüzeyi boyunca zeminin sürtünme dayanımı ile yenilme bölgesindeki zeminin ve temelin ağırlığının toplamından oluşmaktadır.

Eğer temel, çekme yüküne ( $Q_u$ ) maruz kalırsa, küçük  $D_f/B$  değerlerinde, zemindeki yenilme yüzeyinin tipik şekli Şekil 2.1'de gösterildiği gibi kabul edilir.

Burada, zemin seviyesiyle yenilme yüzeyinin kesişimi yatayla bir  $\alpha$  açısı yapmaktadır.  $\alpha$ 'nın büyüklüğü kumlu zeminlerde sıklığa, killi zeminlerde ise kıvama bağlı olarak değişmektedir.



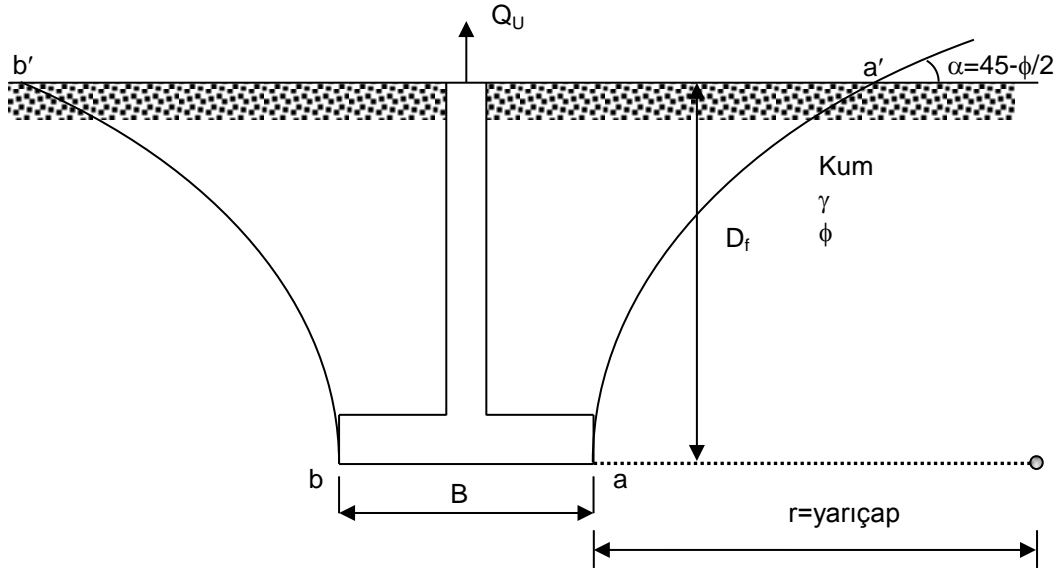
Şekil 2.1. Çekmeye Maruz Sığ Temel (Das, 1999)

Eğer zemindeki yenilme eğrisi, çekme yükü altında zemin yüzeyine kadar uzuyorsa, bu tür temeller, çekme altındaki bir “sığ temel” olarak tanımlanır.  $D_f/B$ 'nin daha büyük değerleri için, yenilme temel etrafında oluşur ve yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzamaz. Bu temeller ise, çekme altındaki “derin temeller” olarak adlandırılırlar. Bir temelin sığ durumdan derin duruma geçtiği andaki gömülme oranı ( $D_f/B$ ), kritik gömülme oranı  $(D_f/B)_{cr}$  olarak ifade edilir. Kritik gömülme oranının büyüklüğü; kumlarda 3-11 arasında, suya doymun kilde ise 3-7 arasında değişebilir (Das, 1999).

## 2.2.2. Kum Zeminlerde İnşa Edilen Temeller

### 2.2.2.1. Balla (1961) Teorisi

Sıkı kum zemin içerisinde yapılan çok sayıdaki model ve arazi deney sonuçlarına dayanarak, Balla (1961) dairesel temeller için, zemindeki yenilme yüzeyini Şekil 2.2'deki gibi önermektedir.



Şekil 2.2. Sığ Dairesel Temeller İçin Balla (1961) Teori (Das, 1999)

Balla (1961)'nin yaklaşımına göre, yenilme yüzeyleri daire yayları şeklinde olduğu, yenilme yüzeyinin ise, zemin yüzeyi ile,  $\alpha=45-\phi/2$ 'lik bir açı yaptığı ve bu dairenin

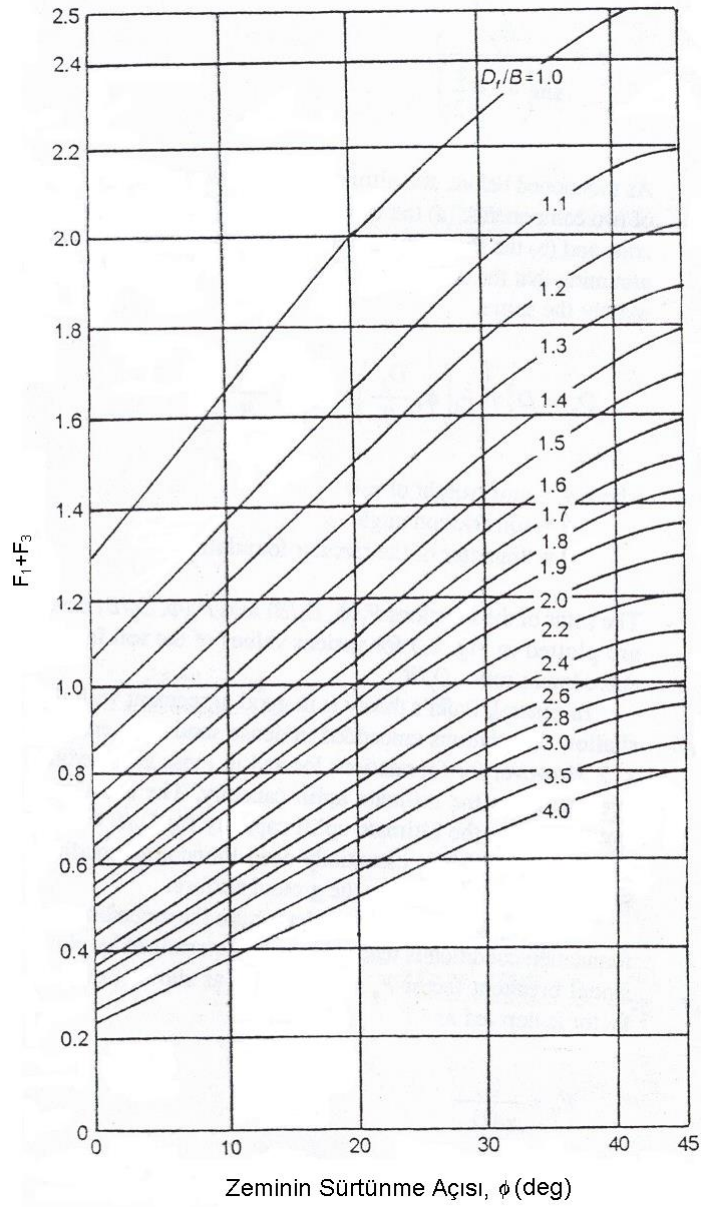
yarıçapının,  $r = \frac{D_f}{\sin\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$  'e eşit olduğu kabul edilmektedir. Temelin nihai çekme

kapasitesinin, yenilme bölgesindeki temel ve zemin ağırlığı ile yenilme yüzeyi boyunca oluşan kayma dayanımının toplamından oluştuğu varsayılmaktadır. Temel malzemesinin birim hacim ağırlığı ile zemin birim hacim ağırlıklarının yaklaşık aynı olduğu varsayılarak, dairesel bir temelin nihai çekme kapasitesi aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

$$Q_u = D_f^3 * \gamma \left[ F_1\left(\phi, \frac{D_f}{B}\right) + F_3\left(\phi, \frac{D_f}{B}\right) \right] \quad (2.1)$$

Burada,  $\gamma$ , zemin birim hacim ağırlığını,  $\phi$ , zemin içsel sürtünme açısını,  $D_f$ , temel gömülme derinliğini ve  $B$ , dairesel temelin çapını ifade etmektedir.

Balla (1961) tarafından önerilen  $F_1$  ve  $F_3$  fonksiyonları,  $\phi$ 'nin ve  $D_f/B$ 'nin çeşitli değerleri için Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

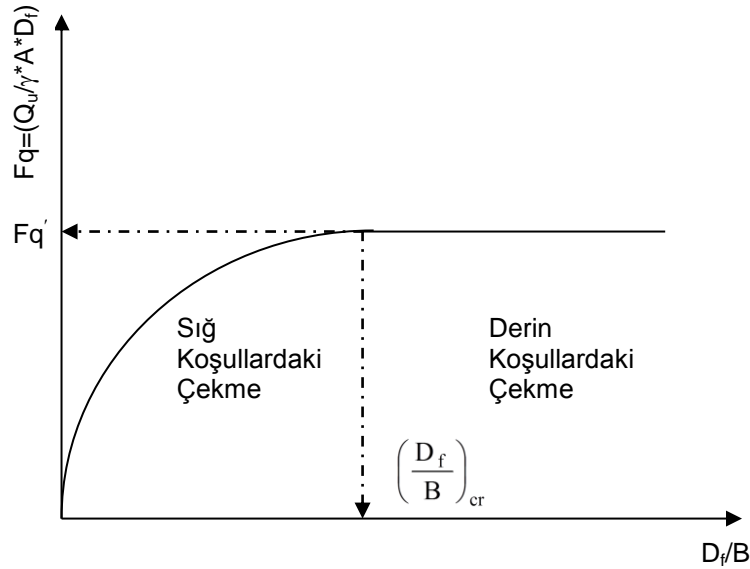


Şekil 2.3.  $F_1 + F_3$  Fonksiyonunun  $\phi$  ve  $D_f/B$ 'ye Bağlı Olarak Değişimi (Das, 1999)

Ayrıca, dairesel bir temelin nihai çekme kapasitesi için boyutsuz formdaki kopma faktörü olarak aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma * A * D_f} \quad (2.2)$$

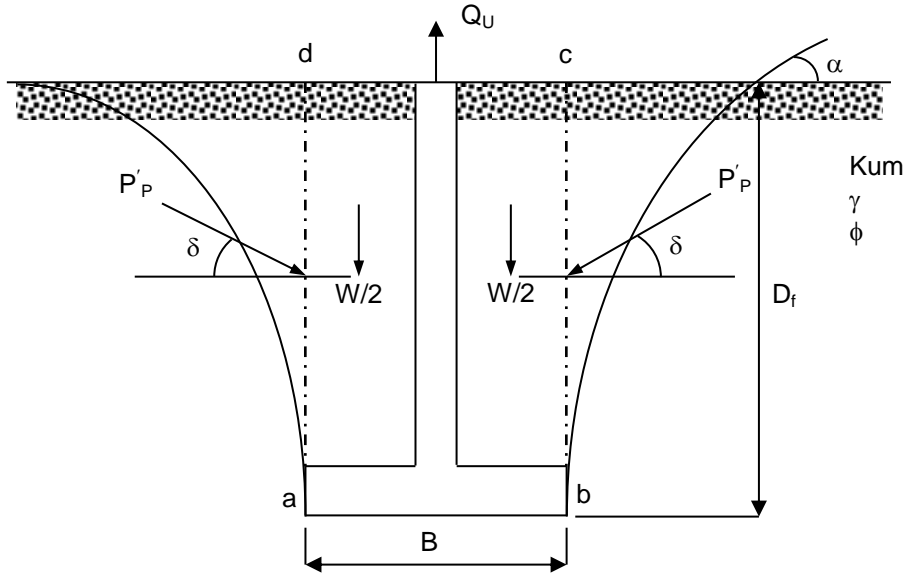
Bu denklemdeki A temel alanı,  $F_q$  kopma faktörü,  $Q_u$  çekme yükü ve  $\gamma$  zemin birim hacim ağırlığı olarak ifade edilmektedir.  $F_q$ 'nun  $D_f/B$ 'ye bağlı olarak değişimi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4.  $D_f/B$  ile  $F_q$ 'nun Doğal Değişimi (Das, 1999)

### 2.2.2.2. Meyerhof ve Adams (1968) Teorisi

Bir sığ temelin nihai çekme kapasitesinin tahmini için en rasyonel metotlardan biri, Meyerhof ve Adams (1968) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, öncelikle çekme kuvvetine maruz B genişlikte sürekli bir temel tanımlanmaktadır (Şekil 2.5).  $\alpha$  açısının  $90^\circ - (2/3)\phi$  ile  $90^\circ - (1/3)\phi$  aralığında değiştiği önerilmiştir.



Şekil 2.5. Çekmeye Maruz Sürekli Temel (Das, 1999)

Şekil 2.5.'teki bütün kuvvetlerin düşey bileşenlerinin dengede olması gerektiği koşuluna göre, B genişliğindeki sürekli temelin nihai çekme kapasitesi için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$Q_u = W + K_u * \gamma * D_f^2 * \tan \phi \quad (2.3)$$

Burada  $K_u$  nominal (itibari) çekme katsayısı olup,  $\phi$ 'nin  $30^\circ$  ile  $48^\circ$  arasındaki tüm değerleri için 0,95'e eşit olarak alınabileceği ifade edilmektedir. Denklem (2.2), sürekli bir temel için yeniden ifade edilecek olursa, kopma faktörü;

$$F_q = 1 + K_u \left( \frac{D_f}{B} \right) * \tan \phi \quad (2.4)$$



dairesel temellerin nihai çekme kapasitesi,

$$Q_u = \frac{\pi}{4} * \gamma * B^2 * D_f + \frac{\pi}{2} \left[ 1 + m \left( \frac{D_f}{B} \right) \right] * \gamma * B * D_f^2 * K_u * \tan \phi \quad (2.5)$$

olup kopma faktörü  $F_q$  ise,

$$F_q = 1 + 2 \left[ 1 + m \left( \frac{D_f}{B} \right) \right] \left( \frac{D_f}{B} \right) K_u * \tan \phi \quad (2.6)$$

Benzer şekilde, BxL ölçülerindeki dikdörtgen temellerin nihai çekme kapasitesi,

$$Q_u = \gamma * B * L * D_f + \gamma * D_f^2 \left\{ 2 \left[ 1 + m \left( \frac{D_f}{B} \right) \right] * B + L - B \right\} * K_u * \tan \phi \quad (2.7)$$

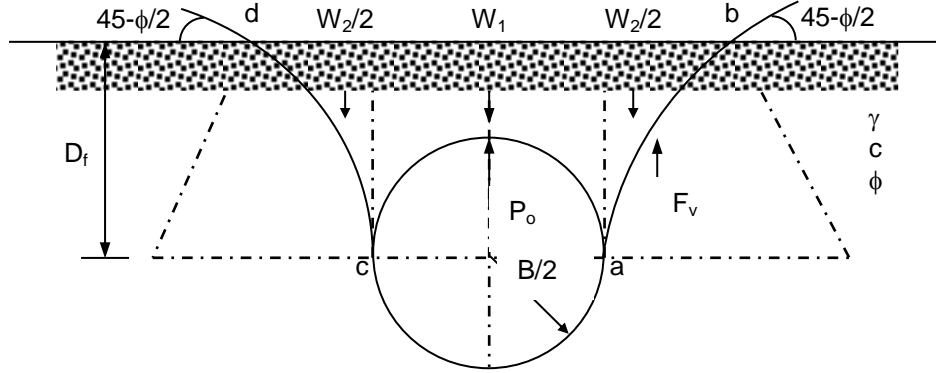
olup kopma faktörü  $F_q$  ise,

$$F_q = 1 + \left( \left[ 1 + 2m \left( \frac{D_f}{B} \right) \right] \frac{B}{L} + 1 \right) \left( \frac{D_f}{B} \right) K_u * \tan \phi \quad (2.8)$$

Meyerhof ve Adams (1968) m katsayısını,  $\phi$ 'ye bağlı parabolik olarak değiştiğini ifade etmiştir.

### 2.2.2.3. Vesic (1965) ve Vesic (1971) Teorileri

Vesic (1965) yarı sonsuz, homojen izotropik bir katı cismin (zemin) yüzeyine yakın, küresel bir boşluğun genişlemesi-göçme yükü problemi üzerine çalışmıştır. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere, eğer  $D_f$  ölçüsü yeterince küçükse boşluk üzerinde bulunan zemini kesecek nihai bir  $P_o$  basıncı olacaktır.



Şekil 2.6. Vesic (1965)'in Genişleyen Boşluk Teorisi (Das, 1999)

Vesic (1965) bir  $c-\phi$  zemini için;  $P_o$  basıncının aşağıdaki gibi hesaplanabileceğini önermiştir.

$$P_o = c * \bar{F}_c + \gamma * D_f * \bar{F}_q \quad (2.9)$$

Buradaki,

$$\bar{F}_q = 1.0 - \frac{2}{3} \left[ \frac{\left(\frac{B}{2}\right)}{D_f} \right] + A_1 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right] + A_2 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right]^2 \quad (2.10)$$

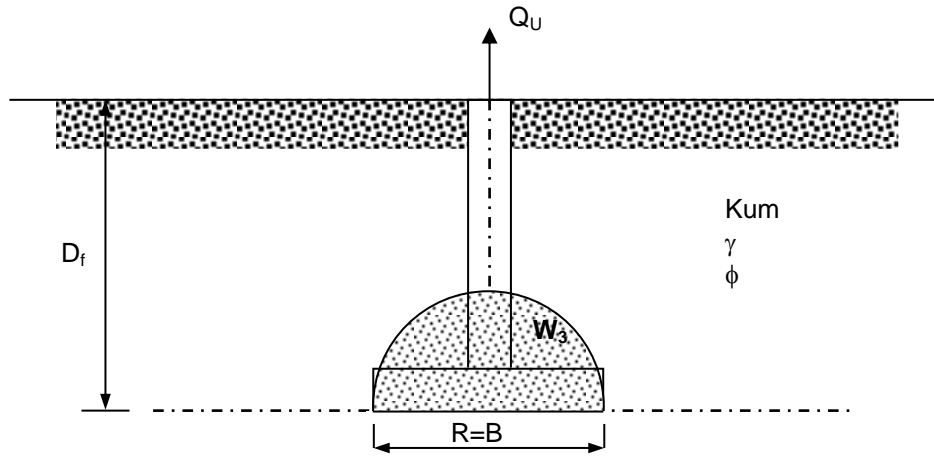
$$\bar{F}_c = A_3 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right] + A_4 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right] \quad (2.11)$$

$A_1, A_2, A_3, A_4$  zeminin içsel sürtünme açısı  $\phi$ 'nin fonksiyonlarıdır. Granüler zeminler için  $c=0$  olduğundan  $P_o$  aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$P_o = \gamma * D_f * \bar{F}_q \quad (2.12)$$

Vesic (1971) sığ dairesel temellerin nihai çekme kapasitesini hesaplamak için 1965'teki çalışmasını temel alarak, Şekil 2.7'de zemin yüzeyi altında,  $D_f$  derinliğinde yer alan  $B$  çapındaki dairesel bir temeli ele alarak, zeminin birim ağırlığı ile temelin birim ağırlığının yaklaşık aynı olduğunu kabul etmiştir. Eğer, temelin üzerindeki yarı-küresel boşluk zeminle doldurulursa,  $W_3$  gibi ağırlığa sahip olacaktır.

$$W_3 = \frac{1}{2} \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right) \gamma = \frac{2}{3} \pi \left( \frac{B}{2} \right)^3 \gamma \quad (2.13)$$



Şekil 2.7. Dairesel Temelde Vesic (1971)'in Genişleyen Boşluk Teorisi (Das,1999)

Bu zeminin ağırlığı  $P_1$  gibi bir basınç artışına sebep olacaktır.

$$P_1 = \frac{W_3}{\pi \left( \frac{B}{2} \right)^2} = \frac{\frac{2}{3} \pi \left( \frac{B}{2} \right)^3 \gamma}{\pi \left( \frac{B}{2} \right)^2} = \frac{2}{3} \left( \frac{B}{2} \right) \gamma \quad (2.14)$$

Eğer, temel kohezyonsuz ( $c=0$ ) bir zemine gömülü ise, Vesic (1971) tüm çekme durumlarını göz önüne alarak her bir birim ankraj alanına karşılık gelen ( $q_u$ ) kuvvetini elde etmek için  $P_1$  basıncının, Denklem (2.12)'ye eklenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Böylece  $q_u$  ifadesi,

$$q_u = \frac{Q_U}{A} = \frac{Q_U}{\frac{\pi}{2} * B^2} = P_0 + P_1 = \gamma * D_f * \bar{F}_q + \frac{2}{3} * \left(\frac{B}{2}\right) * \gamma \quad (2.15)$$

$$q_u = \frac{Q_U}{A} = \gamma * D_f \left[ 1 + A_1 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right] + A_2 \left[ \frac{D_f}{\left(\frac{B}{2}\right)} \right]^2 \right] = \gamma * D_f * Fq \quad (2.16)$$

olarak elde edilmiştir.

Dairesel ve sürekli sığ temeller için kopma faktörü  $F_q$ 'nin değişimi Vesic (1971) tarafından verilmiştir.

#### 2.2.2.4. Saeedy (1965) Teorisi

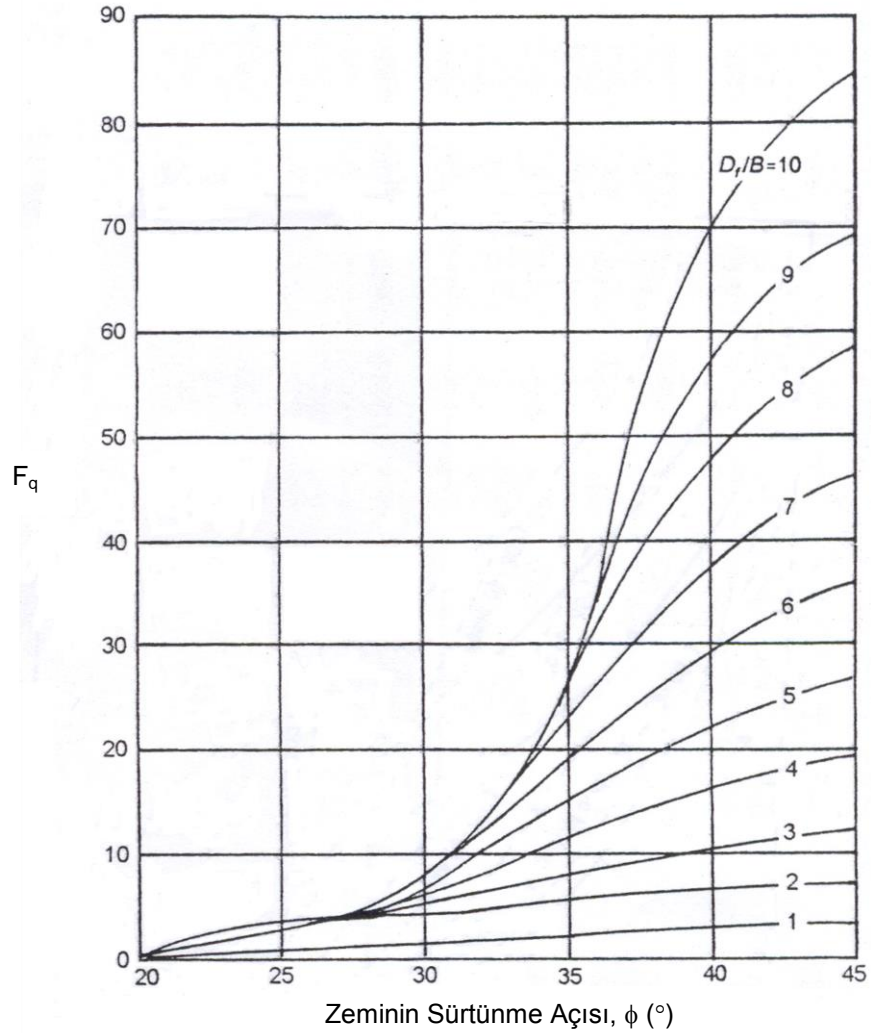
Kum içerisine gömülmüş olan dairesel temellerin nihai çekme kapasitesini belirlemek için Saeedy (1987) bir teori ortaya koymuştur. Bu teoride, yenilme yüzeyi logaritmik bir eğri yayı olarak kabul edilmektedir. Bu teoriye göre, sığ temeller için yenilme yüzeyi zemin yüzeyine kadar uzamakta iken, derin temeller için ( $D_f > D_{f(cr)}$ ) yenilme yüzeyi yalnızca temel üzerindeki  $D_{f(cr)}$  mesafesine kadar uzar. Saeedy (1987) temel olarak bu analizde,  $D_f/B$  oranı ve  $Q_u$ 'nun değişik değerleri için nihai çekme kapasitesini, kopma faktörü ile ifade etmiştir. Sonuç olarak dairesel temel için elde edilen kopma faktörünün zeminin sürtünme açısı ve gömülme oranıyla artmakta olduğu görülmüştür.

Saeedy'e göre, temelin çekilmesi sırasında ankraj (tutunma) bölgesi üstünde yer alan zemin yavaş yavaş sıkışmaya başlar. Bu arada zeminin kayma dayanımı artarak nihai çekme kapasitesine ulaşır. Sonuç olarak Saeedy (1987), aşağıdaki formda bir ampirik sıkışma faktörü ( $\mu$ ) ortaya koymuştur.

$$\mu = 1.044 * D_r + 0.44 \quad (2.17)$$

$D_r$ , kumun rölatif sıklılığı olmak üzere, dairesel temelin gerçek nihai çekme kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{u(actual)} = (F_q * \gamma * A * D_f) * \mu \quad (2.18)$$



Şekil 2.8. Saeedy'nin Dairesel Temeller İçin Önermiş Olduğu Kopma Faktörü,  $F_q$  (Das, 1999)

Yukarıda bahsedilen teorilerden genel bir gözlem yapılacak olursa;

1. Dikdörtgen temellerin problemi hakkında sadece Meyerhof ve Adams (1968) çözüm teorisi ortaya koymuşlardır.
2. Birçok teori; sığ temel durumunu  $D_f/B \leq 5$  olarak kabul etmektedir. Meyerhof ve Adams (1968)'in ileri sürdüğü teoride ise, kare ve dairesel temeller için kritik gömülme oranını  $(D_f/B)_{cr}$  zeminin içsel sürtünme açısı  $\phi$ 'nin bir fonksiyonu olarak tanımlamaktadırlar.
3. Genellikle deneysel gözlemler gösteriyor ki, Balla (1961)'in ortaya koyduğu teori, sığ temellerin nihai çekme kapasitesini gevşek kumda olduğundan çok daha büyük gösterirken, sıkı kumda iyi sonuçlar elde edilmiştir.
4. Vesic'in teorisi (1971) ise, genelde gevşek kumdaki sığ temellerin nihai çekme kapasitesinin tahmininde daha kesin sonuç vermektedir. Ancak laboratuarda deneysel gözlemler göstermiştir ki, sıkı kumdaki sığ temeller için bu teori, gerçek çekme kapasitesi değerinden çok düşük değerler verebilmektedir.
5. Gevşek kum ( $\phi=30^\circ$ ) ve sıkı kum ( $\phi=45^\circ$ ) içerisine gömülmüş olan sığ dairesel temellerin nihai çekme kapasiteleri için Balla (1961), Vesic (1971) ve Meyerhof ve Adams (1968)'in önermiş olduğu teoriler ile bulunan sonuçlar, bazı laboratuvar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, Meyerhof ve Adams (1968)'in teorisi geniş ölçekli temeller için hem daha uygulanabilir, hem de çekme kapasitesi için daha iyi sonuçlar vermektedir.

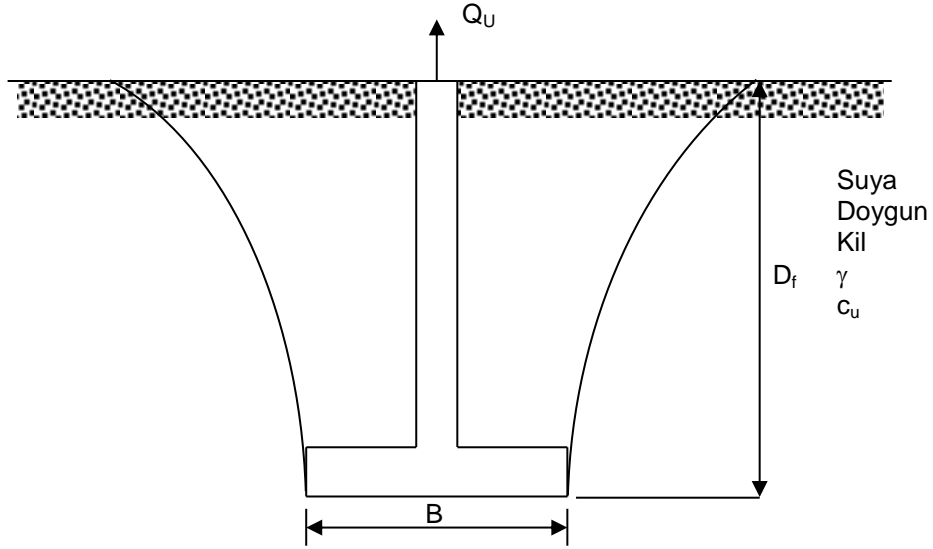
### 2.2.3. Suya Doygun Kil Zeminlerde İnşa Edilen Temeller

Suya doymuş kil zeminler içerisine gömülü temellerin, nihai çekme kapasitesinin tasarımı için, mevcut teorik ve deneysel araştırmalar oldukça sınırlıdır.

Drenajsız kayma mukavemeti  $c_u$  ve dane birim hacim ağırlığı  $\gamma$  olan, suya doymuş bir kil içerisindeki temel derinliği,  $D_f$  ve temel genişliği,  $B$  olan bir sığ temel, Şekil 2.9'da görülmektedir. Burada temel malzemesinin birim ağırlığı ile kil zeminin birim ağırlığı yaklaşık olarak aynı kabul edilirse, kil zemindeki temelin nihai çekme kapasitesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q_u = A * (\gamma * D_f + c_u * F_c) \quad (2.19)$$

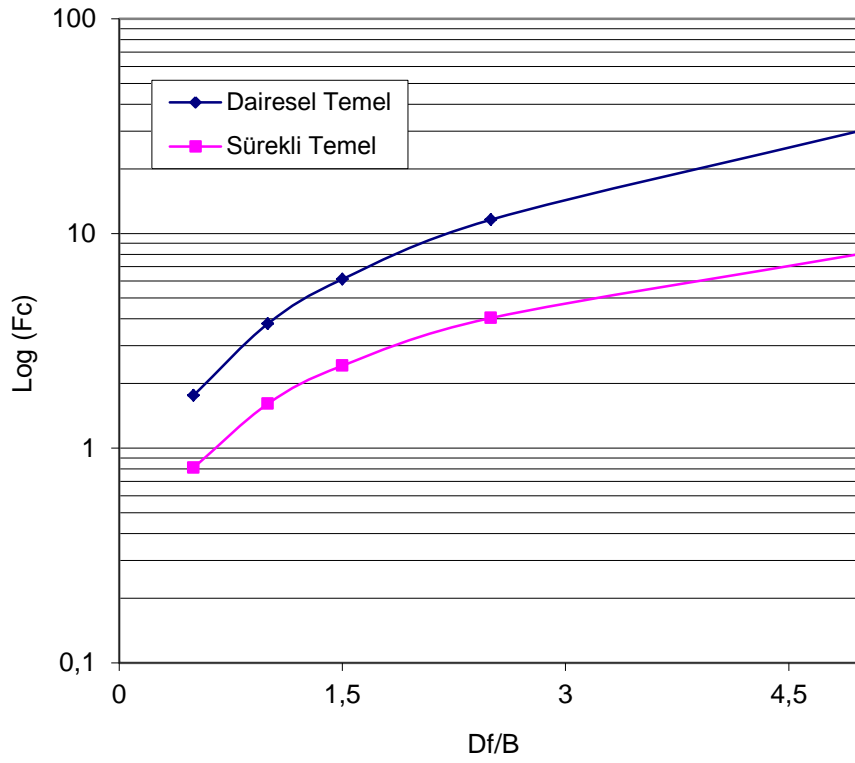
Bu ifadede A, temel alanı  $F_c$ , kopma faktörü  $c_u$ , zemin drenajsız kayma mukavemeti ve  $\gamma$  zemin suya doymun birim hacim ağırlığı'dır.



Şekil 2.9. Çekmeye Maruz Suya Doymun Kil İçerisindeki Sığ Temel (Das, 1999)

### 2.2.3.1. Vesic (1971) Teorisi

Vesic (1971) yapmış olduğu çalışmalarda, genişleyen boşluklar analojisini kullanarak gömülme oranı ( $D_f/B$ ) ile teorik olarak kopma faktörünün değişimini  $\phi=0$  koşulu için ifade etmiştir. Bu değerler daha açık bir ifade ile Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Vesic (1971)'in Önerdiği Kopma Faktörü,  $F_c$  (Das, 1999)

### 2.2.3.2. Meyerhof (1973) Teorisi

Meyerhof (1973) yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda, bir sığ temelin nihai çekme kapasitesi için aşağıdaki ifadeyi önermiştir.

$$Q_u = A * (\gamma * D_f + F_c * c_u) \quad (2.20)$$

bu ifadede yer alan kopma faktörünü kare ve dairesel temeller için,

$$F_c = 1.2 * \left( \frac{D_f}{B} \right) \leq 9 \quad (2.21)$$



şerit temeller için ise,

$$F_c = 0.6 * \left( \frac{D_f}{B} \right) \leq 8 \quad (2.22)$$

şeklinde ifade etmiştir. (2.21) ve (2.22) eşitliği, kritik gömülme oranının  $(D_f/B)_{cr}$  yaklaşık olarak; kare ve dairesel temeller için 7.5 ve şerit temeller için ise, 13.5 olduğunu göstermektedir.

### 2.2.3.3. Das (1978) Teorisi

Das (1978) yapmış olduğu benzer bir çalışma ile önerilen ampirik ifadeleri daha da geliştirerek, serbest basınç mukavemeti,  $c_u=5.18-172.50 \text{ kN/m}^2$  arasında değişen, doymuş kil içerisindeki dairesel temeller üzerinde, çok sayıda laboratuvar model deneyler yapmıştır. Bu deney sonuçlarına göre, kritik gömülme oranları boyunca bu çalışmalardan elde edilen  $D_f/B$ 'ye karşı, ortalama  $F_c$  eğrileri elde edilmiştir. Sığ temeller için elde edilen  $F_c$  değerleri aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir.

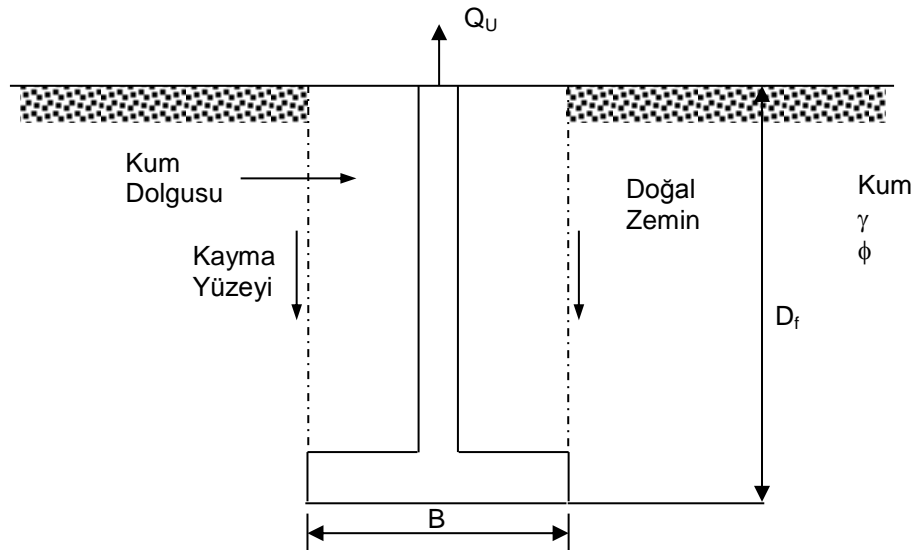
$$F_c \cong n \left( \frac{D_f}{B} \right) \leq 8 - 9 \quad (2.23)$$

Bu ifadedeki n sabit olup, büyüklüğü 2.0-5.9 arasında değişmektedir ve drenajsız kohezyonun ( $c_u$ ) bir fonksiyonudur. Das (1978) ayrıca kare ve dikdörtgen temeller için bazı model deneyler yapmıştır. Bu deney sonuçlarına dayanarak, kare (veya dairesel) ve dikdörtgen temeller için kritik gömülme oranlarının ifadelerini de elde etmiştir.

### 2.3. Çekme Kapasitesi Üzerinde Dolgunun Etkisi

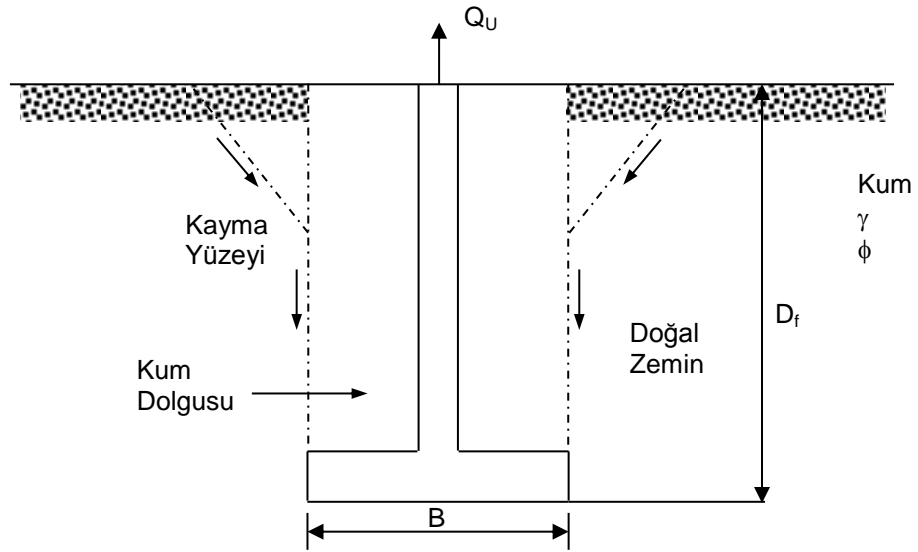
Elektrik iletim kulelerinin inşaatı için kullanılan ayırık temeller genellikle çekme kuvvetlerine maruz kalırlar. İşte bu tür temellerin çekme kapasitesi, önceki

bölümlerde ifade edilen, benzer denklemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu tür temellerin inşası sırasında, gömülme oranı ( $D_f/B$ ) genellikle 3 veya daha küçük seçilmektedir. Temel inşaatı için, öncelikle doğal zemin kazılır ve daha sonra temel inşaatı yapılarak tekrar uygun bir malzeme ile kontrollü bir şekilde doldurulup sıkıştırılır. Kulhawy, vd. (1987), doğal zemin ile dolgunun sıkışma derecesinin etkisini gözlemlemek amacıyla çok sayıda laboratuvar model deneyler yapmışlardır. Bu gözlemlere göre, çoğu durumda zemindeki yenilme, Şekil 2.11’de gösterilen yüzey kayması şeklinde olmaktadır. Ancak, orta sıkı ile sıkı arasındaki doğal zeminlerde, gömülme oranı yaklaşık  $D_f/B < 2$  olan temellerde ise zemin kaması veya birleşik kayma yenilmesi oluşmaktadır (Şekil 2.12.).



Şekil 2.11. Kum Dolgu İçerisinde Çekmeye Maruz Sığ Temeldeki Yüzeysel Yenilme Mekanizması (Das, 1999)

Kulhawy, vd. (1987) dolgu malzemesine ait sıkışma yüzdesinin kopma faktörü  $F_q$ 'nun üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışma dolgunun sıkışma yüzdesinin temelin kopma faktörü,  $F_q$ 'nun üzerinde çok önemli bir etkisinin olduğunu ve temelin nihai çekme kapasitesinin, dolgunun sıkışma yüzdesiyle önemli derecede arttığını göstermektedir.



Şekil 2.12. Kum Dolgu İçerisinde Çekmeye Maruz Sığ Temeldeki Kama veya Birleşik Kayma Yenilme Mekanizması (Das, 1999)

#### 2.4. Kum Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi

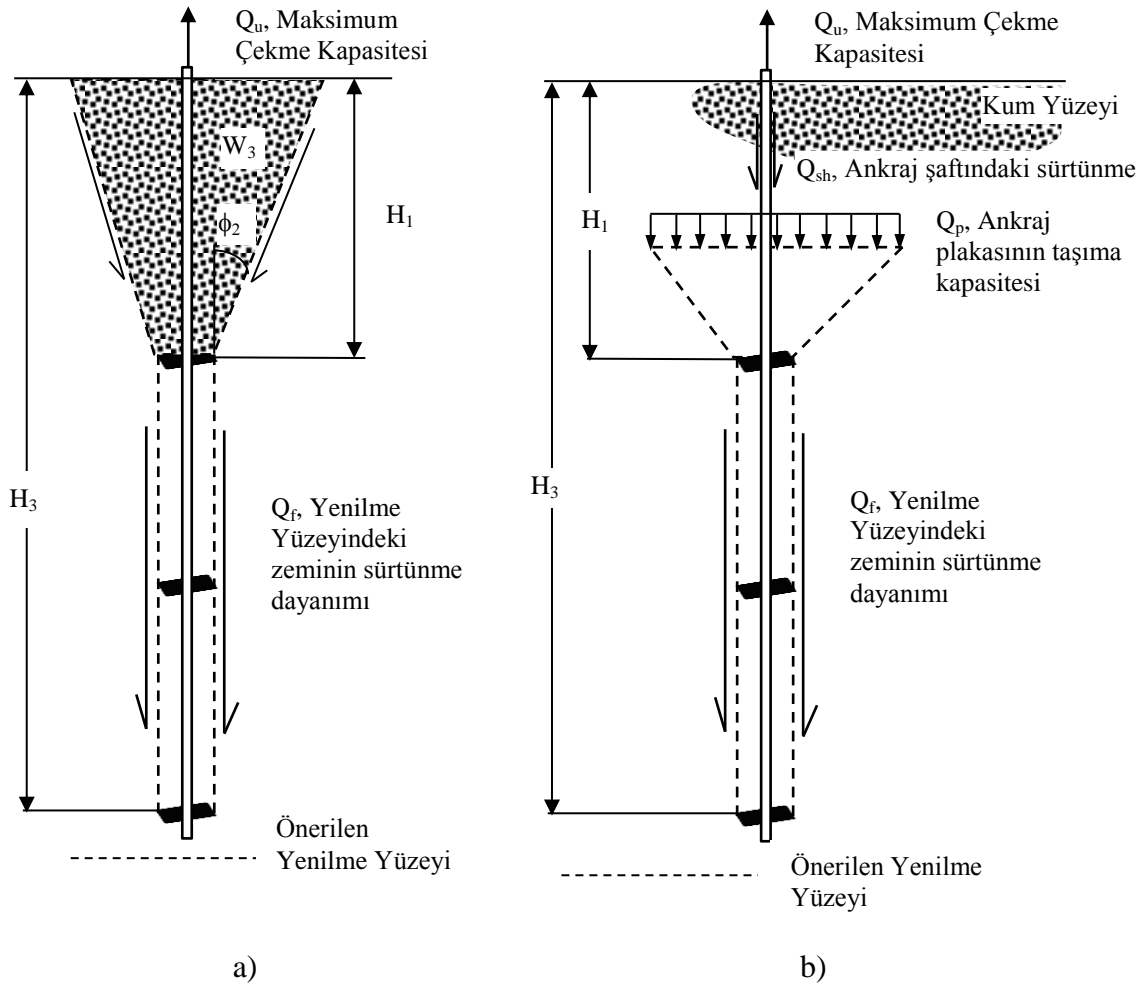
Mitsch ve Clemence (1985)'te kum zeminlere gömülü çoklu helisel ankraj plakalarının nihai çekme kapasitesinin tahmini için yarı ampirik çözümler önermişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalara göre en üstteki helisel ankrajın üstündeki zemin koni şekilde, aşağıdaki helisel ankrajların ise çevresinin sürtünme silindiri şeklinde yenildiğini varsayımında bulunmuşlardır. Çalışmalarında çoklu helisel ankrajların kum zemindeki çekme kapasitelerinin üstteki helisel taşıma kapasitesi, sürtünme silindiri direnci ve ankraj milinin sürtünmesinin toplamı olduğunu belirlemişlerdir.

$$Q_u = Q_p + Q_f + Q_{sh} \quad (2.24)$$

$Q_p$  = Üstteki ankrajın taşıma kapasitesi

$Q_f$  = Sürtünme silindiri direnci

$Q_{sh}$  = Ankraj mili sürtünmesi



Şekil 2.13. a) Kum Zemine Sığ Gömülü Helisel Ankrajın Yenilme Yüzeyi b) Kuma Derin Gömülü Helisel Ankrajın Yenilme Yüzeyi (Mitsch ve Clemence, 1985)

Mitsch ve Clemence (1985) sığ gömülü çoklu helisel ankrajların nihai çekme kapasitesini hesaplamak için; üsteki ankrajın taşıma kapasitesinin, yenilme yüzeli boyunca ki sürtünme direncine ve yenilme yüzeyi içinde kalan zeminin ağırlığının toplamına eşit olduğunu belirtmişlerdir. En üstteki ankrajın üzerindeki zeminde oluşan kesik koni şeklindeki yenilme yüzeyinin yatay eksenle yaptığı açı için ise  $\phi/2$  önermişlerdir. Buradan üsteki ankraj için taşıma kapasitesini basitleştirerek aşağıdaki denklem ile hesaplamışlardır.

$$Q_p = \gamma' H_1 A_1 N_q \quad (2.25)$$

$Q_p$  = En üstteki ankrajın çekme kapasitesi

$\gamma'$  = Zeminin etkin birim hacim ağırlığı

$H_1$  = Helisel ankrajın gömülme derinliği

$A_1$  = Helisel ankrajın alanı

$N_q$  = Koparma faktörü

Sürtünme silindiri direncini için ise aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$Q_f = \left( \frac{\pi}{2} \right) D_a \gamma' (H_3^2 - H_1^2) K_u \tan \phi \quad (2.26)$$

$D_a$  = Helisel ankrajın ortalama çapı

$\gamma'$  = Zeminin etkin birim hacim ağırlığı

$H_3$  = En alttaki helisel ankrajın gömülme derinliği

$H_1$  = En üstteki helisel ankrajın gömülme derinliği

$K_u$  = Çekmede yanal toprak basıncı katsayısı

$\phi$  = İçsel sürtünme açısı

Mitsch ve Clemence (1985)'te ankraj mili sürtünmesinin sığ gömülü ankrajlarda ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu derin gömülü ankrajlarda ise ankraj milinin çapına bağlı olduğunu ankraj mili çapı arttıkça mil boyunca sürtünmenin artacağını belirtmişlerdir.

Johnston (1986), TENSAR geogridlerinin çekme dayanımı üzerinde çalışırken Subbarao ve arkadaşları (1988) ise, kuma gömülmüş ankraj kazıklarını sabitlemek için geotekstil kullanarak, kazıkların çekme kapasitesindeki iyileşme üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada deneyler, 55mm genişliğinde ve 0.72mm kalınlığındaki Polipropilen güçlendirme elemanları ile güçlendirilmiş, silindirik ve çan şeklindeki model beton ankraj kazıkları üzerinde yapılmıştır. Silindirik ve çan kazıklar için

güçlendirme elemanlarından biri 650mm, diğeri ise, 350mm uzunluğunda olup birkaç tabaka için, çelik mengene kullanılarak tutturulmuştur. Ayrıca her bir tabakadaki altı şerit, aralarında 60°'lik bir açıyla uzatılıp modelle birleştirilmiştir. Bu çalışmada, geotekstil ile güçlendirilmiş model ankraj kazıkların, güçlendirilmemiş olanlara göre çok daha yüksek çekme dayanımı verdiği gözlenmiş olup ayrıca, kazığa yakın olan tek tabakalı güçlendirme kullanımının, çok tabakalılara göre daha etkili olacağı ifade edilmektedir.

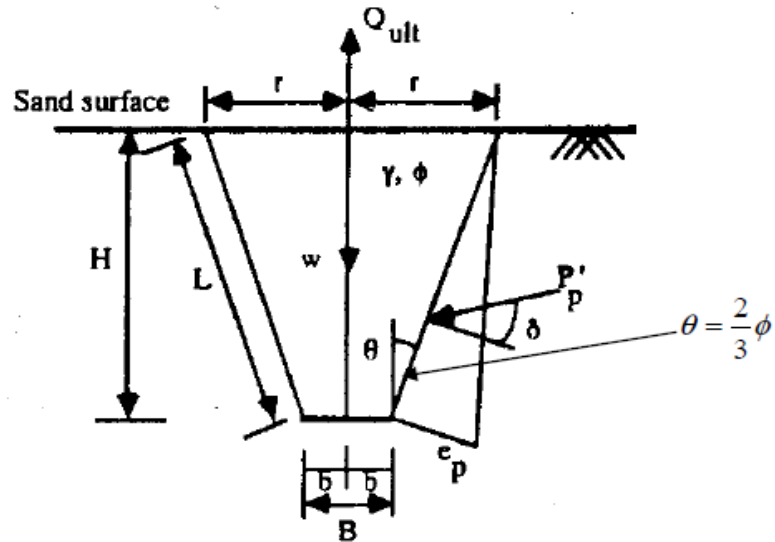
Dickin ve Leung (1990) laboratuarda yapmış oldukları santrifüj deneylerde, kum içerisindeki geniş tabanlı kazıkların çekme davranışını gömülme oranı, kazık taban çapı ve kum sıklığı etkilerini göz önünde bulundurarak araştırmışlardır. Ayrıca düz kazıklarla karşılaştırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, çan kazıkların çekme kapasitesinin, kazığın gömülme oranı ve kum sıklığından önemli derecede etkilendiği gözlenmiştir. Sıkı kumdaki kazıkların çekme kapasitesinin, ankraj plakaları üzerinde yapılmış önceki çalışmalarla ve diğer deneysel uygulamalarla uyum içerisinde olduğu, fakat gevşek kumda ise bu uygulama sonuçlarına göre önemli derecede düşük değerler verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sıkı kumdaki deneyler, ankraj plakaları üzerinde santrifüj deneyleri sonucunda elde edilen amprik ifadelerle ve sonlu elemanlar yöntemine dayanan bir programla karşılaştırıldığında, sonuçlar arasında makul bir ilişki olduğu gözlenmesine rağmen, ankraj plakaları için yapılmış olan çok sayıda teorik yaklaşımlarla karşılaştırıldığında hem gevşek hem de sıkı kum için, teorik yaklaşımların aşırı büyük değerler verdiği ifade edilmektedir.

Krishnaswamy ve Parashar (1991)'de su altında geosentetikle güçlendirilmiş bir kum yatağına gömülü ankraj plakalarının çekme davranışı üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca Krishnaswamy ve Parashar (1994)'te güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere gömülü 60mm çapındaki dairesel plakalar ile genişliği 53mm uzunluğu ise, 23.8-53.0mm arasında değişen dikdörtgen plakaların çekme davranışı üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Sonuçta geokompozitle güçlendirme, geogrid ve geotekstil ile güçlendirmeden daha yüksek çekme dayanımı vermiştir.

Ayrıca ankraj plakasının çekme kapasitesi, güçlendirme elemanının ankraj plakasının tam üzerinde olması durumu ile, diğer seviyelerdeki ve herhangi bir seviyeye ilave bir güçlendirme elemanının konması durumu açısından karşılaştırıldığında, güçlendirme elemanının ankraj plakasının hemen üzerinde olduğu durumda elde edilen çekme kapasitesi diğer koşullardakinden çok daha büyük bulunmuştur.

Ghaly, vd. (1991)'de kum zeminlere gömülü tekli helisel ankraj plakalarının çekme davranışlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında sıkı, orta sıkı ve gevşek olmak üzere üç farklı sıklılıkta, beş farklı model ankraj plakası için laboratuvar deneyleri yaparak kumun içsel sürtünme açısı ve gömülme derinliği ile yenilme modeli arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Deneyselde elde edilen yenilme durumları ve limit denge yöntemleri kullanılarak matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Çekme kapasitesi için yapılan teorik analizlerde yüzeye kadar uzanan yenilme bölgesi için düşeyle açısı  $\theta$  olan kesik başlı koni yaklaşımı yapılmıştır.



Şekil 2.14. Koni Şekli Yenilme Yüzeyi (Ghaly, vd., 1991)

Ghaly, vd. (1991), yaptıkları deneylere göre sığ gömülü helisel ankrajlar için  $\theta$  açısının  $2\phi/3$  olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları deneylerde derin ankrajlar için yenilme mekanizmasının yerel olduğunu görmüşlerdir. Bu yerel yenilmenin yüksekliği  $h_0$ 'ın sıkı kumlarda  $6D$  orta sıkı kumlarda  $5D$  gevşek kumlarda ise  $4D$  olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca derin ankrajların yenilmesi sığ ankrajların yenilmesine benzediği için önerilen kesik başlı koninin yatay eksenle yaptığı açı  $\theta$  sığ gömülü ankrajlardaki gibi  $2\phi/3$  alınmıştır. Sıgıdan derin duruma geçiş bölgesine gömülü ankrajların yenilme yüzeyleri içinde kesik başlı koni yaklaşımı yapılmıştır ama bu koninin yatayla yaptığı açı  $\theta$  aşağıdaki denklemle belirlenmiştir.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{r-b}{H} \right) \quad (2.27)$$

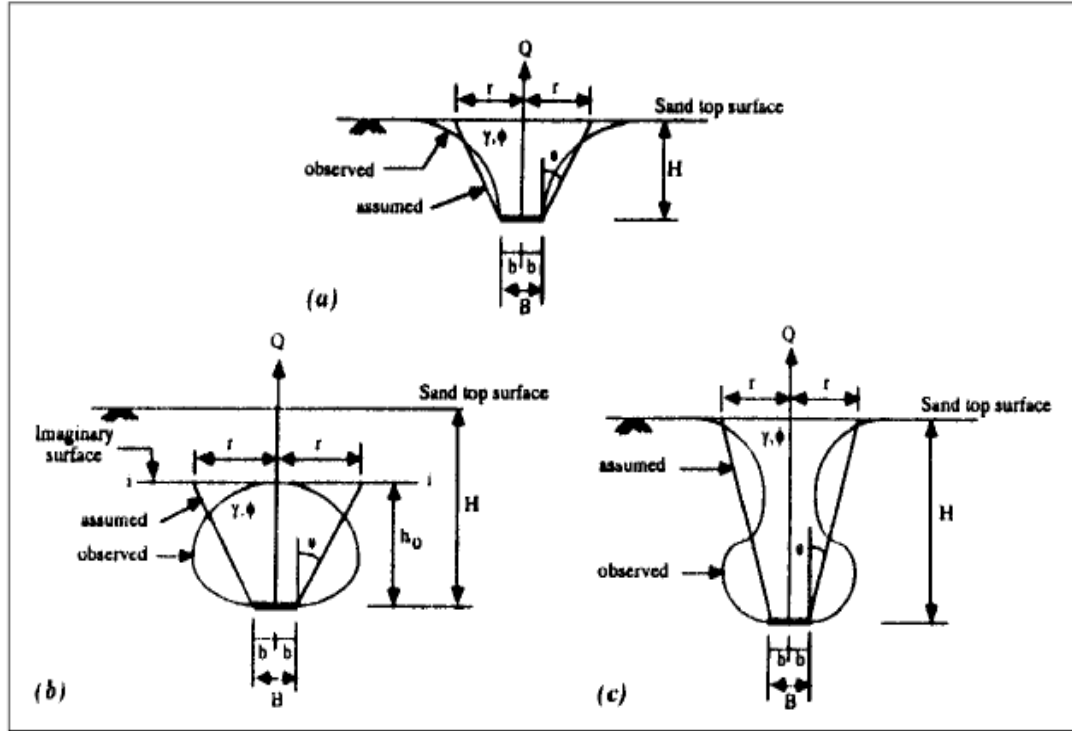
$r$  =Dönüştürülmüş koni çapı

$b$  = Helisel ankrajın yarı çapı

$H$  = Helisel ankrajın gömülme derinliği

$\theta$  = Varsayılan yenilme yüzeyinin düşey eksenle yaptığı açı





Şekil 2.15. Yenilme Yüzeyleri A) Sığ Gömülü Helisel Ankrāj B) Derin Gömülü Helisel C) Sığdan Derine Geçiş Bölgesine Gömülü Helisel Ankrāj (Ghaly, vd., 1991)

Ghaly, vd. (1991), Sığ gömülü ankrājların çekme kapasitesinin yenilme yüzeyi boyunca oluşan sürtünme ve yenilme yüzeyi içindeki zeminin ağırlığının toplamı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplamışlardır.

$$Q_u = P_p + W \quad (2.28)$$

$Q_u$  = Nihai çekme kapasitesi

$P_p$  = Yenilme yüzeyi boyunca oluşan sürtünme

$W$  = Yenilme yüzeyi içinde kalan zeminin ağırlığı

$$P_p = \left( \frac{\pi}{2} \right) \gamma H^2 K'_p \left( \frac{B + H \tan \theta}{\cos \theta} \right) \tan \delta \quad (2.29)$$

$$W = \left( \frac{\pi}{2} \right) \gamma H (b^2 + r^2 + br) \quad (2.30)$$

Derin gömülü ankrajların çekme kapasitesini ise yenilme yüzeyi boyunca oluşan sürtünme, yenilme yüzeyi içindeki zeminin ağırlığının ve aşağı doğru düşey toprak basıncının toplamı olarak aşağıdaki gibi hesaplamışlardır.

$$Q_u = P_p + W + N \quad (2.31)$$

$Q_u$  = Nihai çekme kapasitesi

$P_p$  = Yenilme yüzeyi boyunca oluşan sürtünme

$W$  = Yenilme yüzeyi içinde kalan zeminin ağırlığı

$N$  = Aşağı doğru düşey toprak basıncı

$$P_p = \left( \frac{\pi}{2} \right) \gamma K'_p h_0 (2H - h_0) \left( \frac{B + h_0 \tan \theta}{\cos \theta} \right) \tan \delta \quad (2.32)$$

$$W = \left( \frac{\pi}{2} \right) \gamma h_0 (b^2 + r^2 + br) \quad (2.33)$$

$$N = \gamma \pi r^2 (H - h_0) \quad (2.34)$$

$\phi$  = İçsel sürtünme açısı

$\theta$  = Varsayılan yenilme yüzeyinin düşey eksenle yaptığı açı

$B$  = Helisel ankrajın çapı

$b$  = Helisel ankrajın yarıçapı

$h_0$  = Varsayılan yenilme bölgesinin yüksekliği

$\delta$  = Varsayılan yenilme bölgesindeki kesme direncinin ortalama açısı (0 ile  $\phi$  arası)

$K'_p$  = Modifiye pasif toprak basınç katsayısı ( $\delta / \phi$ )

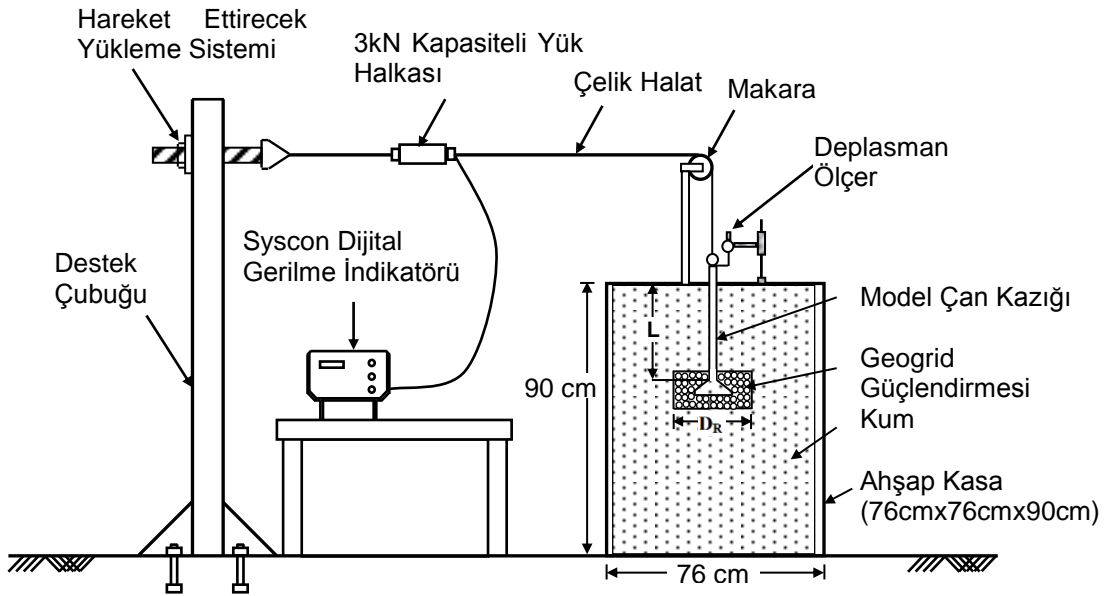
Dickin ve Leung (1992) laboratuvar santrifüj model deneylerde, kum içerisindeki geniş tabanlı kazıkların çekme kapasitesi üzerinde, kazık gövde çapının taban çapına oranı ve kazık taban açısının etkilerini araştırmışlardır. Çap oranındaki artış ve kazık taban açısındaki artış, kazığın net çekme kapasitesinde ve yenilme anındaki yer değiştirmesinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durumun, ankraj plakaları ile çan kazıkların çekme kapasitesi arasındaki farklılığı gösterdiği iddia edilmektedir. Ayrıca, model çan kazıklar ile ankraj plakalarının yenilme mekanizmaları için yapılan çalışmalar, temel tipleri arasında önemli ölçüde farklı davranış karakteristiklerinin olduğunu göstermiştir. Çan kazıkların ankraj plakalarına göre daha düşük çekme kapasitelerinin olması, daha düşük zemin yer değiştirmelerinin olmasıyla açıklanmıştır. Son olarak çan kazıkların amprik dizayn yöntemi için, temel geometrisini de içeren, uygun parametreleri kullanan bir basit ve sürekli ankraj formülünün kullanılmasını önermişlerdir.

Ilamparuthi ve Dickin (2000) değişik model geometrileri ve kum sıklıklarına bağlı olarak, geogrid hücresiyle güçlendirilmiş model çan kazıklar (veya geniş tabanlı kazıklar) üzerinde laboratuvarında çekme deneyleri yapmışlar ve çan kazıkların kopma faktörlerini araştırmışlardır. Sonuçta her hangi bir kum sıklığı için, efektif kopma faktörü ile efektif gömülme oranı arasında çok ender bir ilişki elde edilmiştir. Deneysel kopma faktörleri ankraj temeller için önerilen mevcut bazı teorilerle karşılaştırıldığında, sonuçların uyum içerisinde olduğu ifade edilmektedir. Son olarak model çan kazığın çekme yükü ile yer değiştirmesi arasında hiperbolik bir ilişki kurulmuştur. Bu ilişkinin, nonlinear analizlerde zemin rijitliğini hesaplamak için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Ilamparuthi ve Dickin (2001) kenetlenmeyi artırma yolunun, güçlendirme ile kazığın hemen çevresine önemli derecede büyük boyuttaki granüler malzemenin kullanılmasıyla sağlanacağını düşünmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kum zemine gömülü kazık temeller üzerinde geniş kapsamlı deneyler yapmışlardır. Kazık temel olarak değişik geometrilerdeki silindirik çan kazıklar kullanılmıştır. Yürütülen deneylerde silindirik çan kazıkların

çekme davranışı üzerinde, temel çapının, gömülme derinliği ve zemin yoğunluğunun etkileri ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır.

Yapılan bu araştırmalarda kullanılan deney düzeneği, 30 kN'luk düşey çekme yüküne güvenli şekilde karşı koyacak şekilde tasarlanmış bir yükleme çubuğu ile, fabrikada üretilmiş iki çelik kolonla zemine tutturulmuştur. Deney düzeneğinin şematik diyagramı Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Deneyler, 2.54cm kalınlıklı, 76cm×76cm×90cm ölçülerindeki ahşap bir kare tankta yapılmıştır.



Şekil 2.16. Deneysel Düzenek (Ilamparuthi ve Dickin, 2001)

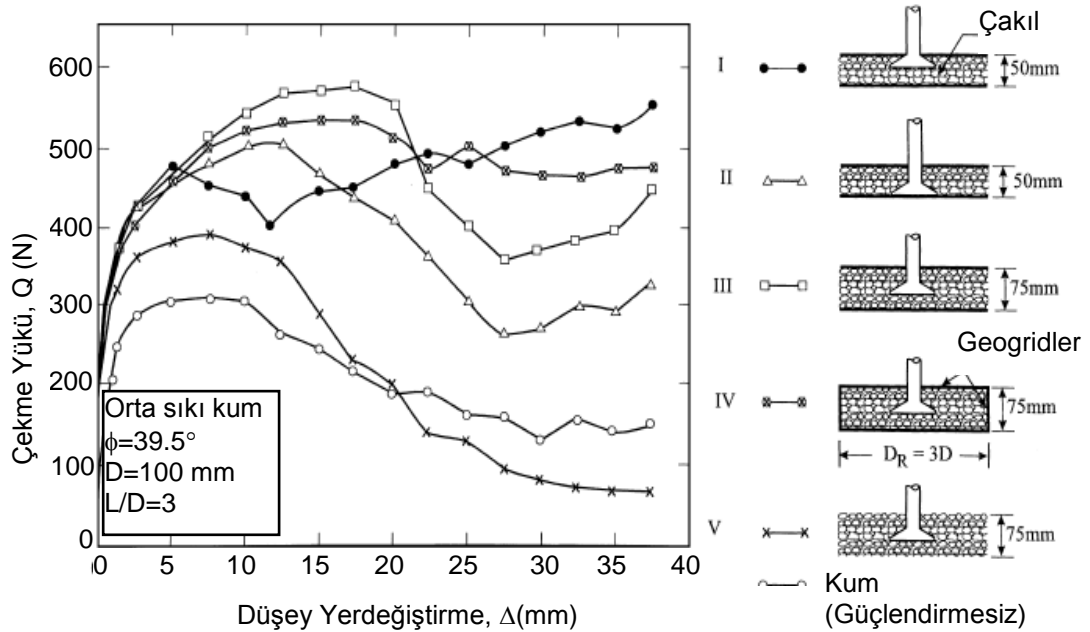
Bu çalışmada, ayrıntılı araştırma yapılarak en uygun bir güçlendirme düzenlemesini seçmek için, değişik güçlendirme düzenlemesiyle taban çapı (D) 100 mm ve gömülme derinliği (L) 300 mm olan, orta sıkı kum içerisine gömülü bir model ankraj kazığı üzerinde beş pilot deney yapılmıştır. Bu deneylerle ilgili düzenlemeler Şekil 2.17'te gösterilmektedir.

Hem geogrid hücresiyle güçlendirilmiş hem de güçlendirilmemiş 3 farklı kum sıklığında, farklı gömülme oranlarında hazırlanan 3 farklı taban çaplı, model çan

kazıkları üzerinde yapılmış olan laboratuvar araştırmalarına dayanarak aşağıdaki bazı önemli sonuçlar çıkarılmıştır;

1. Geogrid hücresiyle güçlendirme düzenlemesinin, özellikle sığ derinliklerde gömülü olan çan tipi kısa kazıkların, çekme davranışını iyileştirmede çok etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, güçlendirme elemanında, önemli ölçüde kenetlenmeyi sağlayacak şekilde, geogrid hücresini uygun bir malzeme sınıfından seçmenin çok önemli olduğu anlaşılmıştır.

2. Çan kazıkların çekme kapasitesi, kazık tabanının çevresi geogrid hücresi ile güçlendirilerek önemli ölçüde artırılmıştır. Kapasitedeki bu artışlar, gevşek kum ve en sığ derinlikteki kazık için, güçlendirilmemiş koşula göre 7 kat daha fazladır ki bu durum geogrid hücresiyle güçlendirmenin ne kadar etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sıkı kumda daha derin gömülmüş kazıkların çekme kapasitesinde ise, %25'ten daha fazla bir artış gözlenmiştir.



Şekil 2.17. Değişik Güçlendirme Düzenlemeleri ile Çekme Davranışındaki Değişim (Ilamparuthi ve Dickin, 2001)

Patra ve Pise (2004), tekil kazık ve kazık guruplarının (2×1, 3×1, 2×2 ve 3×2) sıkı kum içerisinde iki farklı gömülme oranında, iki farklı yüzey karakteristiği (pürüzlü-pürüzsüz kazık) için ve kazık gurupları içindeki kazıklar arası mesafenin farklı olmaları hali için, laboratuarda çekme deneyleri yapmışlardır. Araştırmanın temel amacı, kazık guruplarının yük-deplasman davranışını; maksimum çekme kapasitesi için, gurup içerisindeki kazık sayısını ve kazıklar arası mesafenin belirlenmesine yönelik olmuştur. Sonuçta;

- Kazık guruplarının nihai çekme kapasitelerinin, kazığın gömülme oranına, kazık gurup konfigürasyonuna, zemin-kazık arasındaki sürtünme açısına, guruptaki kazıklar arasındaki mesafeye ve zeminin kayma dayanım açısına bağlı olduğu,
- Genellikle yük-deplasman eğrilerinin nonlineer bir davranış gösterdiği, ve özellikle belirli deplasman değerinde, pürüzlü kazık guruplarının pürüzsüz olana göre daha büyük çekme kapasitesi verdiği,
- Her bir kazığın nihai çekme kapasitesinin, guruptaki kazıklar arası boşluğun artmasıyla lineer olarak değiştiği,
- Ayrıca pürüzsüz kazık guruplarının, kazık nihai çekme kapasitesine yaklaşık olarak kazık çapının %0.5-2.5 katı bir deplasmanda, pürüzlü durumda ise kazık çapının %1-5 katı bir deplasmanda ulaştığı,
- Gömülme oranı  $L/D=12$  için, pürüzsüz kazık guruplarındaki her bir kazığın nihai çekme kapasitesi, tekil kazığın nihai çekme kapasitesinden daha düşük olurken, bu durumun pürüzlü kazık gurubunda tam zıt bir davranış gösterdiği,
- Gömülme oranı  $L/D=38$  için, pürüzlü kazık guruplarında her bir kazığın nihai çekme kapasitesinin, gurup içerisindeki kazık sayısının artmasıyla ve ayrıca gurup kazık içerisinde tek bir sıra kazık konfigürasyonundan kare veya dikdörtgen şekle geçilmesiyle bir azalma gösterdiği,
- Kazık gurup etkisinin  $\eta$ , guruptaki kazıklar arası mesafenin artmasıyla yaklaşık olarak lineer bir şekilde artış gösterdiği,
- Ayrıca deney sonuçlarının, Das, vd. (1976), Siddamal (1989) ve Chattopadhyay (1994) gibi araştırmacıların ileri sürdükleri yaklaşımlarla, yakın bir ilişki içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Maharaj, vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada, çeşitli kesitlerdeki tekil kazık ve kazık guruplarının çekme kapasitelerini, düzlem şekil değiştirme koşulu ile nonlinear sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Bu çalışmada, enine doğrultudaki her bir kazık gurubu, toplam kazık sayısına göre eşdeğer şeritlere dönüştürülmüştür. Kazık başlıklarının, her bir kazığın çekme yükü altında aynı düşey deplasman yaptığı düşünülmüştür. Sistemdeki kazık başlığı, kazık ve zemin dört düğümlü izoparametrik eleman olarak tanımlanıp, zemin ortamı, Drucker-Prager metoduna göre elastoplastik ortam olarak modellenmiştir. Sonuçta kazık gurupları ve tekil kazıkların yük-deplasman eğrileri elde edilerek,

- Çekme yükü altındaki değişken kesitli kazığın yük taşıma kapasitesi, aynı beton hacmine sahip düz kazığın yük taşıma kapasitesinden daha büyük bulunmuştur.
- Gurup içerisinde kazıklar arasındaki etkileşimin, kazıklar birbirine yakinken daha fazla, uzak olduğunda ise daha az olduğu bulunmuştur.
- Tekil kazığın çekme kapasitesinin, değişken kesitli kazık gurupları içerisindeki her bir kazığın çekme kapasitesinden daha büyük olduğu ifade edilmiştir.

Dickin ve Laman (2007) kum zeminde 1 m genişlikteki şerit ankrajın çekme dayanımını belirlemek için santrifüj deneyleri ve Plaxis'de modellemeler yapmışlardır. Kum zeminin sıkılığının ve ankraj gömülme oranının çekme kapasitesini etkilediğini görmüşlerdir. Deney sonuçları, teorik çalışmalar ve Plaxis analizlerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında, değerlerin uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ravichandran, vd. (2008)'de yapmış oldukları çalışmada 50mm x 350mm boyutundaki dikdörtgen ankraj plakasını kum zemine gömüp çekme kapasitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında güçlendirmeli ve güçlendirmesiz gevşek, orta sıkı ve sıkı kum zeminlerde gömülme oranı  $H/B=2,3$  ve 4 olmak üzere deneyler yapmışlardır. Kum zemini güçlendirmek için ankrajın hemen üzerine tek tabak geogrid  $Br/B=2,3$  ve 4 olmak üzere üç farklı genişlikte yerleştirilmiş ve geogrid

genişliğinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Ayrıca çalışmalarında sabit ve tekrarlı yükler altında çekme kapasitesi davranışı da incelenmiştir.

Sonuçta;

- Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş her iki durum içinde gömülme oranı ve kumun sıklığı arttığında, pik çekme kuvvetinin arttığı ancak diğer parametreler sabit tutulduğunda güçlendirmeli durumdaki pik çekme kuvvetinin güçlendirmesiz durumdakine göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır.
- Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumlarda yük deplasman eğrileri benzer olduğu ancak güçlendirmeli durumda pik çekme direnci öncesinde ki çekme direnci artışının daha büyük olduğunu bulmuşlardır.
- Güçlendirme elemanının boy oranı artarsa çekme mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan deneylere göre gömülme oranı ve kumun sıklığı azalrsa güçlendirme elemanının etkisinin azaldığını ifade etmişlerdir.
- Tekrarlı yük durumunda her yük döngüsü başına ankrajın yukarı doğru hareketinin yük devir sayısının artışı ile azaldığını 350 devirden sonra da sabit kaldığını bulmuşlardır.
- Tekrarlı yükleme durumundaki pik çekme kuvvetinin monoton durumdakine göre %10 daha fazla olduğu bulunmuştur.

## 2.5. Kil Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi

Literatürde homojen kohezyonsuz zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi üzerine nümerik ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Ancak kohezyonlu zeminlere gömülü temellerin çekme davranışları deneysel olarak çok az incelenmiştir.

Das (1978)'de kil zeminde kare ve dikdörtgen temellerin çekme kapasitelerinin belirlenmesi için model deneyler yapmıştır. Çalışmasında 3.18 mm kalınlığında alüminyum plakalardan oluşan model temeller kullanmıştır. Deneylerde kullandığı plakaların uzunluk-genişlik oranı 1 ve 5 arasında değişmektedir. Deneysel olarak belirlenen net çekme yüklerini koparma faktörleri cinsinden tanımlamıştır.



Çalışmasının sonucunda nispeten sığ derinlikteki temellerin koparma faktörünün yaklaşık 6 değerine kadar gömme oranının artması ile doğrusal olarak arttığını, yaklaşık 6 değerinden sonra, artış hızının kademeli olarak azaldığını, kritik gömme oranında kopma faktörünün maksimum değere ulaştığını bulmuştur. Dikdörtgen temellerin kritik gömülme oranının kare temellerin kritik gömülme oranının yaklaşık 1.6 katı olduğunu ifade etmiştir. Kare ve dairesel temellerde kritik gömülme oranının ise yumuşak killerde 3 orta katı ve sert killerde 7 civarında değiştiğini bulmuştur. Ayrıca derine gömülü kare ve dairesel temellerin kopma faktörünü 9 civarında bulmuştur.

Singh, vd. (2007)'de yumuşak doygun kil zemine gömülü ankraj plakalarının (70mm çapında) 21.0mm/dk dan 1.4mm/dk ya kadar değişen çekilme hızında çekme davranışını model deneylerle incelemiştir. Model deneylerde ankraj plakasının gömülme derinliği ve çekme hızı parametrelerinin koparma kuvveti ve emme kuvvetine etkisini belirlemiştir. Çalışma sonucunda gerilme oranı ile ankraj kapasitesine göre drenajsız kayma mukavemeti artışı arasında bir kolerasyon kurmuşlardır. Ayrıca çalışmalarında çekme hızına göre koparma kapasitesi tahmini için ampirik bir eşitlik önermişlerdir.

Singh ve Ramaswamy (2008)'de ankraj plakalarının şeklinin koparma kapasitesi üzerindeki etkisini model deneyler kurarak incelemiştir. Çalışmalarında kil zemine sığ ve derin gömülü ankraj plakalarının çekme davranışlarını emme kuvveti varken ve emme kuvveti ortadan kaldırılmışken ki durumuna göre incelemiştir. Çalışmaları sonucunda;

- Gömme oranı ile emme kuvvetinin değişimi grafiği verilmiştir.
- Ankrajın kritik gömülme derinliği belirlenmiştir.
- Gömülme derinliği ile koparma faktörünün değişimi grafiği yük-deplasman davranış açısından verilmiştir.
- Gömülme oranı ve en boy oranına karşılık koparma faktörünün değişimi grafiği çizilmiştir.

- Model deney sonuçlarına göre şekil faktörü ve doymuş kohezyonlu zeminlere gömülü ankraj plakası tutma kapasitesi arasında ampirik bir ilişki kurulmuştur.

Bhattacharya, vd. (2008)'de Geotekstil ile güçlendirilmiş kil zemininde kare ankraj plakalarının çekme davranışını deplasman modeli kullanarak üç boyutlu sonlu elemanlar paket programı ANSYS yazılımı ile incelemiştir. Modellemede zemin için sekiz düğümlü izoparametrik tuğla eleman ve plaka için dört düğümlü izoparametrik kabuk eleman seçilmiştir. Güçlendirme materyeli olarak kullanılan geogridler sadece gerilme alan iki düğümlü spar eleman olarak seçilmiştir. Doğrusal olmayan zemin davranışı için Drucker Prager modeli kullanılmıştır. Dört farklı gömme oranı olan sığ gömülü ankrajlar ve bu ankrajların üstünde değişik seviyelerde yerleştirilmiş geotekstil güçlendirme malzemesi bulunduğu durumlar analiz edilmiştir. Bhattacharya ve arkadaşları analizleri doğrulamak için 50mm x 50mm ve 70mm x 70mm kare ankraj plakaları üzerinde model deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak; Güçlendirilmiş kil zemin güçlendirilmemiş kil zemine göre nihai çekme kapasitesi daha fazla olduğunu maksimum deplasmanların ise daha az olduğunu bulmuşlardır. Gömülme oranının 2 olduğu durumda ve gömülme derinliğinin 0.25 katı derinliğe geotekstilin yerleştirilmesi durumunda maksimum çekme kapasitesini elde etmişlerdir. Ayrıca deplasman vektörünün gömülme oranına göre değiştiğini ve gömülme oranı 4'e kadar gömülme oranı arttıkça kopma faktörünün arttığını bulmuşlardır.

R. S. Merifield (2011)'de killi zeminlerde çoklu helisel ankraj plakalarının çekme davranışını daha iyi anlamak için sayısal modelleme teknikleri geliştirmiştir. Çoklu ankraj plakaları için mevcut ampirik çözümler yerini geliştirilen bu sayısal modellemelerin kullanılmasını önermiştir. Geliştirilen bu sayısal modellemelerin ampirik modellemelere göre daha pratik ve daha güvenli olduğunu belirtmiştir.

Niroumand, vd. (2012)'de kohezyonlu zeminlere gömülü dairesel ankraj plakalarının çekme performansını araştırmışlar ve çekme kapasitesini tahmin edebilmek için

analitik ifadeler geliştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda nihai çekme kapasitesinin kohezyonlu zemin tabakalarının birbirine göre görece mukavemetine, kohezyonlu zeminin dirençli olup olmamasına ve ankrajın gömülme oranına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Chan, vd. (2013)'te hem varsayımsal olarak ağırlıksız zemin hem de kendi ağırlığına sahip zemine yatay gömülü kare ankraj plakalarının üç boyutlu Euler büyük deformasyon sonlu elemanlar analizi yardımıyla performansını incelemiş, farklı durumlar altında oluşan yenilme mekanizmalarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada üç tip yenilme mekanizması gözlemişlerdir. Bu yenilme mekanizmalarının ikisi literatürde mevcuttur. Chan ve arkadaşları üçüncü mekanizmayı kısmen yerel akış mekanizması olarak belirlemişlerdir. Bu mekanizmanın ankraj plakası üzerindeki zemin oranının tam akış mekanizmasını harekete geçirecek kadar yüksek olmadığı durumlarda görüldüğünü bulmuşlardır. Bu durumda zemin temelin çevresinden aktığını ama temelin üzerindeki zemin örtüsü tam akış mekanizması çalıştıracak kadar yeterli olmadığını, bu durumda da ankraj plakasının altında boşluklar oluşabildiğini ifade etmişlerdir. Zemin rijitliğinin diğer iki mekanizmada ihmal edilebildiğini ancak yerel akış mekanizmasında mekanizmayı etkilediği bulunmuştur. Chan ve arkadaşları  $\gamma H/c \geq 8$  ve  $H/B \geq 2$  koşulunda tam akış mekanizmasının çalıştığını,  $\gamma H/c < 8$  veya  $H/B < 2$  iken ise yerel akış mekanizmasının çalıştığını belirtmişlerdir.

## 2.6. Tabakalı Zemine Gömülü Temellerin Çekme Kapasitesi

Birçok araştırmacı homojen zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi üzerine nümerik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Ancak zemin yapısı bazı durumlarda homojen olmamakta ve farklı tabakalardan oluşabilmektedir. Bu tabakalı zemin durumu mühendisler tarafından arazide sık sık karşılaşılan bir durumdur. Literatüre bakıldığında ise çok tabakalı zeminlere gömülü ankraj plakası çekme performansı üzerine çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür.

Stewart (1985)'de sığ kile ( $D/B < 2$ ) gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesini arttırmak için kil tabakası üzerine yerleştirilecek kohezyonsuz zemin tabakasının çekme kapasitesine etkisi model deneylerle incelemiştir. Bu kohezyonsuz zemin tabakası çekme kapasitesini arttırmıştır fakat daha kayda değer bir artış için ankraj plakasının çok büyük deplasmanlar yapması gerekmektedir. Kohezyonsuz zeminin sürtünme direncini harekete geçirmek için neredeyse tüm kil tabakasının yer değiştirmesi gerektiği bulunmuştur.

Patra, vd. (2004) homojen ve tabakalı kum içerisine gömülü geniş tabanlı model kazıkların aksel ve eğik çekme yükleri altındaki davranışlarını araştırmak amacıyla,  $914\text{mm} \times 914\text{mm} \times 62\text{mm}$  boyutlarındaki bir kasa içerisinde, çekme deneyleri yapmışlardır. Deneylerde, model kazık olarak 12mm ve 16mm çaplı yumuşak çelik kullanılmıştır. Deneyler, gömülme oranı  $L/D=20, 25$  ve  $30$  olacak şekilde, model kazık iki farklı sıklıktaki kum tabakası içerisine yerleştirilerek yapılmıştır. Burada model kazık, tamamen sıkı ya da tamamen orta sıkı kum içerisine yerleştirilmeyip, gömülme oranının yarısına kadar orta sıkı, diğer yarısı ise sıkı kum içerisinde kalmıştır. Çalışmada, farklı sıklıktaki zemin tabakalarının, kazık tabanının genişlemesinin ve yük eğim açılarının aksel ve eğik çekme yüklerine maruz, geniş tabanlı kazıkların nihai çekme kapasitesi ve yük-deplasman davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçta:

- Kazıkların aksel ve eğik çekme yükleri altındaki yük-deplasman eğrileri genellikle nonlineer bir davranış göstermiştir. Deneyde kullanılan tüm model kazıklar, aksel ve eğik çekme yükleri altında 2-8mm aralığında bir yer değiştirme yaparak, nihai çekme kapasitelerine ulaşmışlardır.

- Model kazığın çekme kapasitesinin, gömülme oranı  $L/D$  ile ve kazık taban genişlemesi ile arttığı ve kazığın alt tarafı orta sıkı, üst tarafı ise sıkı kum tabakası içerisinde bulunduğu halde, model kazığın nihai çekme kapasitesinin, kazığın alt kısmı sıkı ve üst kısmı orta sıkı kum içerisinde iken elde edilen nihai çekme kapasitesinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

Eğik çekme durumunda kazığın maksimum çekme kapasitesinin, kazığın gömülme oranına (L/D), taban genişleme oranına (B/D), çekme yükünün eğimine ve kum sıklığına bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Niroumand, vd. (2010)'da iki tabakalı kohezyonsuz zemine gömülü düzensiz ankraj plakalarının davranışını nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında gömme oranının ve sıklığın çekme kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Niroumand ve ark çalışmalarının sonucunda nihai çekme kapasitesinin iki tabakanın birbirine göre gücüne, ankrajın gömülme derinliğine ve üsteki tabakanın kalınlık oranına bağlı olduğu bulmuşlardır.

Niroumand, vd. (2011)'de tabakalı zemine gömülü ankraj plakalarının davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca şerit ve dairesel ankraj plakalarının çekme kapasitesinin tahmini için analitik ifade geliştirilmiştir. Çalışmada tabakalı kohezyonlu zeminlere gömülü düzensiz şekilli ankraj plakalarının çekme kapasitesinin belirlenmesi için bir ifade önerilmiştir. Bu çalışmada tabakalı kohezyonlu-sürtünmeli zeminlere gömülü düzensiz şekilli ankraj plakalarının çekme kapasitesini tahmin etmek için deneysel ifadeler geliştirilmiştir. Çalışmada nihai çekme kapasitesinin gömme derinliğini oranına ve üst tabaka kalınlığı oranına bağlı olduğu görülmüştür.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Giriş

Bu bölümde, öncelikle deneylerde kullanılan zeminin özellikleri, kullanılan geosentetiğin özellikleri ve deney düzeneği açıklanmıştır. Sonra helisel ve dairesel ankraj plakalarının farklı zeminlerdeki çekme davranışının incelendiği model deneylerin çalışma programı ve gerçekleştirilen deneylerin sayısal analizini yapmak için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS paket programı anlatılmıştır.

#### 3.2. Zemin Özellikleri

##### 3.2.1. Kil Zeminin Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılacak kil zemin numuneleri Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisleri içerisinde bulunan, kullanılmayan ve üzerinde herhangi bir yapının teşkil edilmediği bir araziden alınmıştır. Arazi, Adana ili, Seyhan ilçesi, Yenidam Köyü Mevkiinde yer almaktadır. Daha önceki akademik çalışmalarda bu araziden alınan kil numuneler üzerinde laboratuvar deneyler yapılmış, kil numunelerin fiziksel ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir (Laman vd.,2009; Demir, 2011). Bu arazideki kil zeminin yumuşak zemin özelliklerini göstermesi nedeniyle tez çalışmalarında kullanılacak kilin buradan temin edilmesinin uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Kil bu araziden muayene çukuru açılmak suretiyle elde edilmiştir.

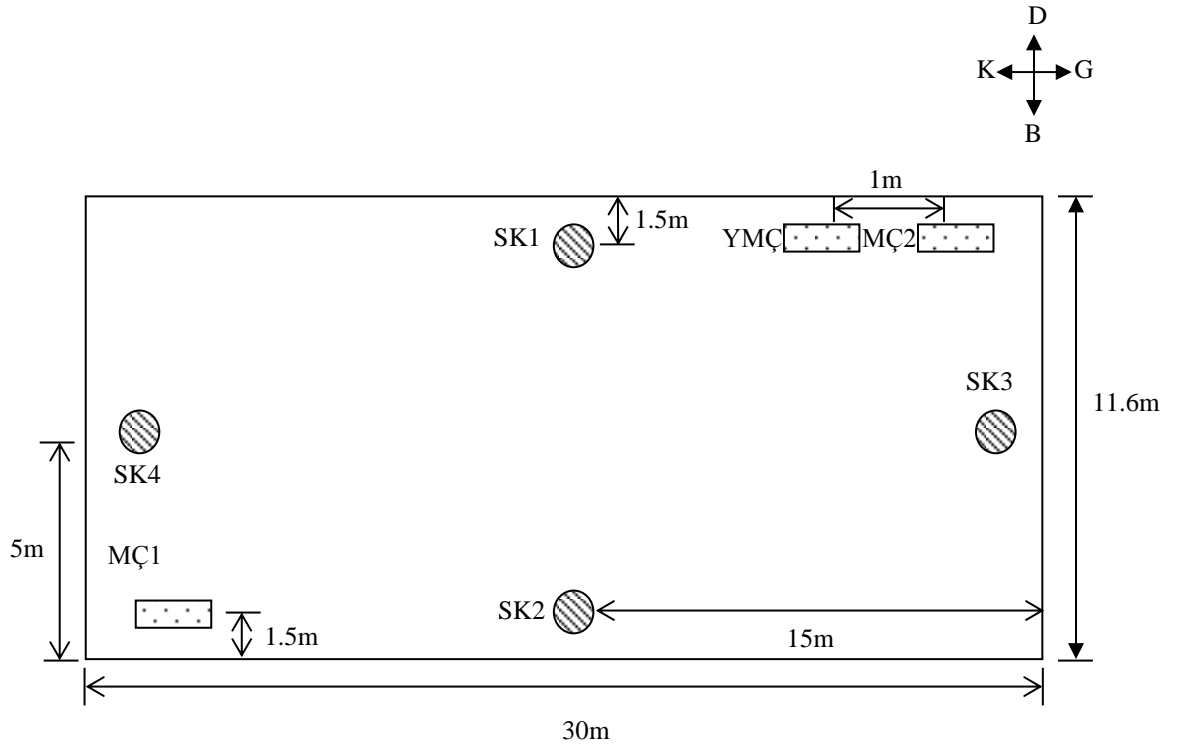
Daha önceki yapılan çalışmalarda açılan 2.0–2.5m derinlikler arasında 2 adet muayene çukuru (MÇ1 ve MÇ2) ve 4 adet sondaj kuyusu (SK1, SK2, SK3 ve SK4) ile arazinin zemin profili belirlenmiştir (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.). Arazide açılan muayene çukurları ve sondaj kuyularının yerlerini gösteren plan Şekil 3.2’de yer almaktadır. Muayene çukurlarından ve sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri

sonuçlarından zemin özellikleri ve sayısal analizlerde kullanılacak zemin parametreleri belirlenmiştir (Demir, 2011).

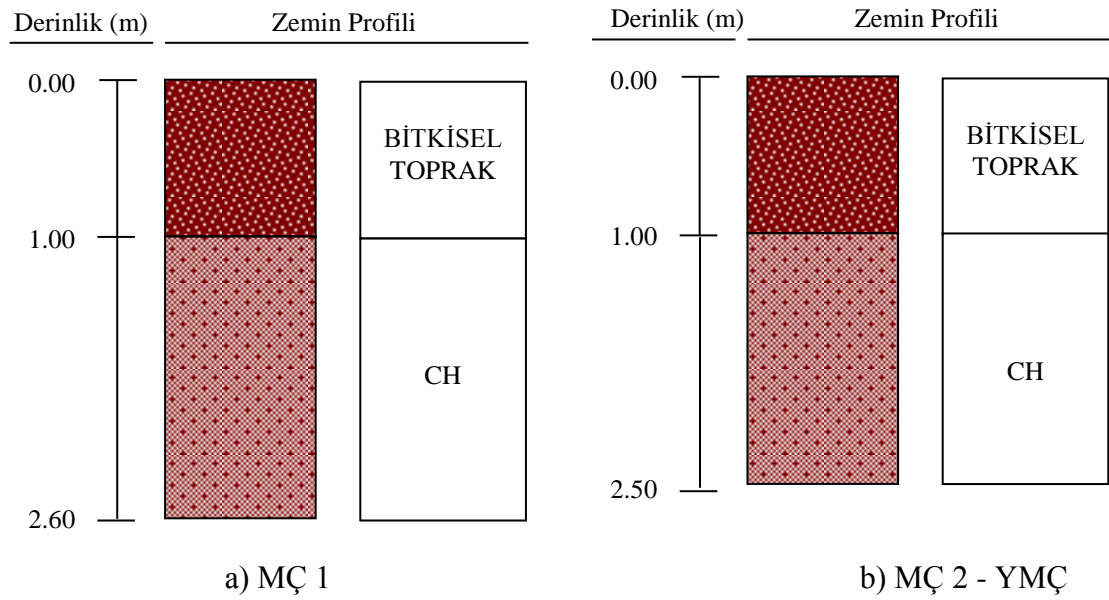
Tez çalışması kapsamında daha önce açılıp incelenmiş olan MÇ2 muayene çukurunun yaklaşık bir metre kuzeyinde 2.50 metre derinliğinde bir muayene çukuru (YMÇ) kazılmış ve deneylerde kullanılacak kil numunesi yaklaşık 1.5-2.0m derinlikten alınmıştır. Açılan yeni muayene çukurunun (YMÇ) zemin profili 2 numaralı muayene (MÇ2) çukuru ile aynı olduğu görülmüştür. Arazide açılan muayene çukurunun görüntüleri Şekil 3.1. 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Muayene Çukuru Açılması (YMÇ)

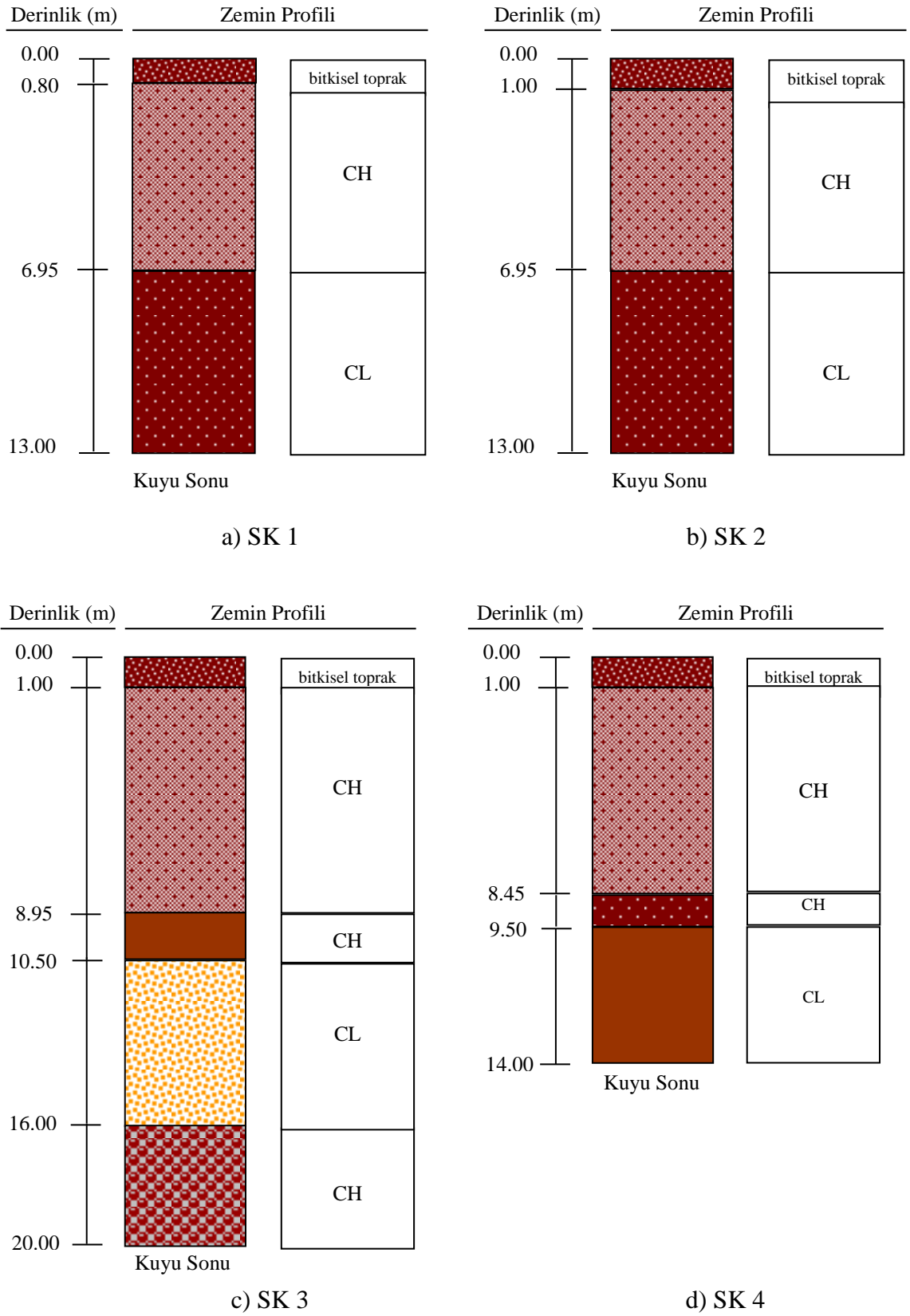


Şekil 3.2. Muayene Çukuru ve Sondaj Kuyularının Yerleri (Ölçeksiz)



Şekil 3.3. Muayene Çukurlarından Elde Edilen Zemin Profilleri (Demir, 2011)

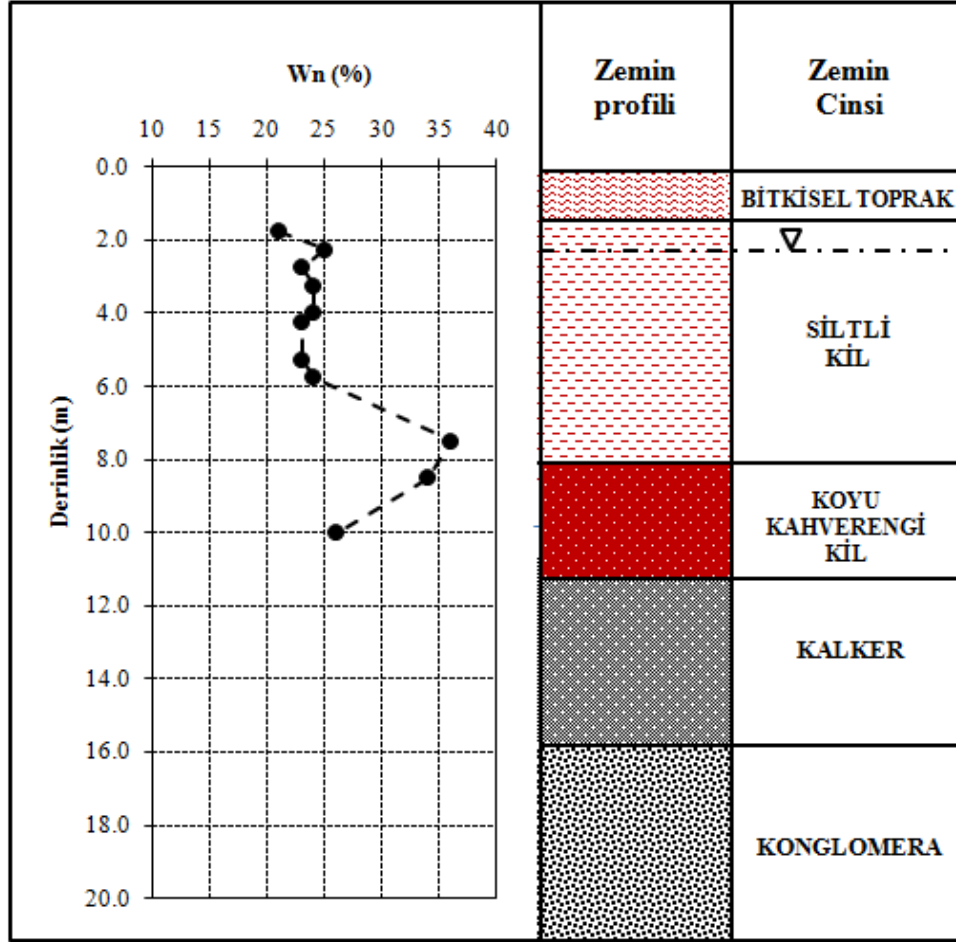




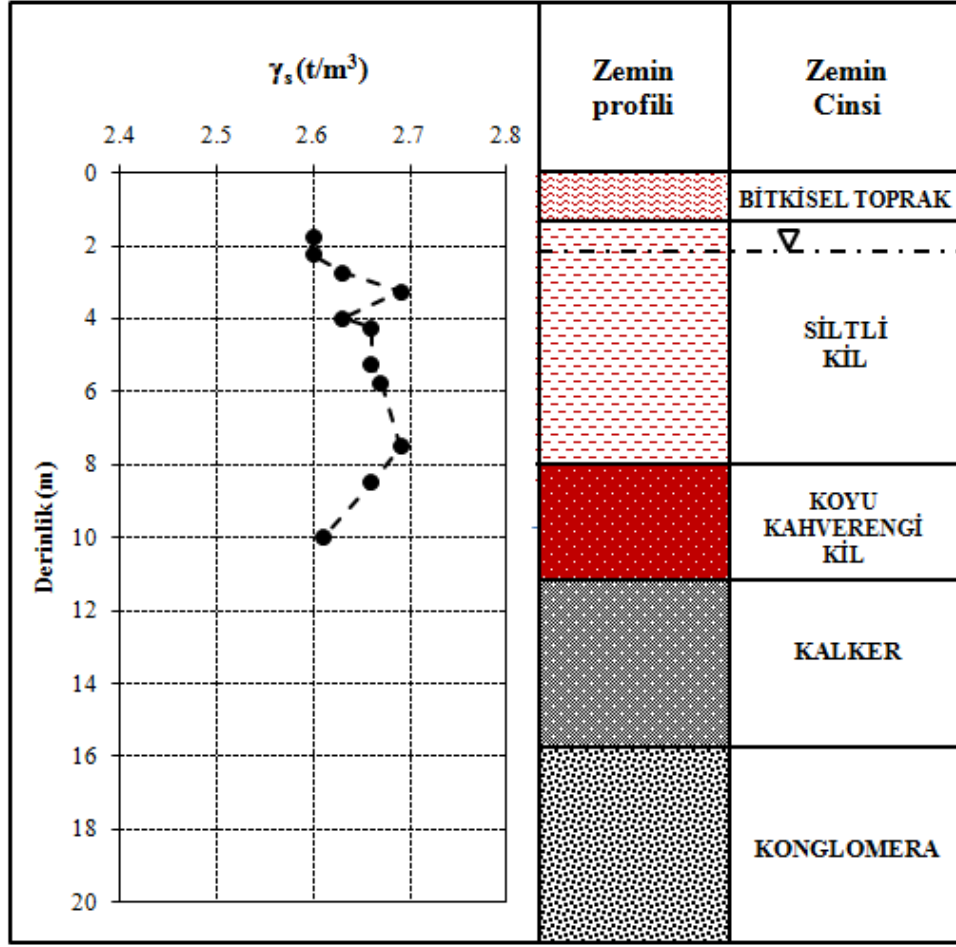
Şekil 3.4. Sondaj Kuyularından Elde Edilen Zemin Profilleri (Demir, 2011)

Arazinin topoğrafyası açısından genel duruma bakıldığında, genelde düz bir topoğrafya arz etmektedir. Muayene çukurlarında ve sondaj kuyularında yapılan incelemeler sonucunda zemin su seviyesinin arazi yüzeyine yakın olduğu (yaklaşık 2.40-2.50m) gözlenmiştir.

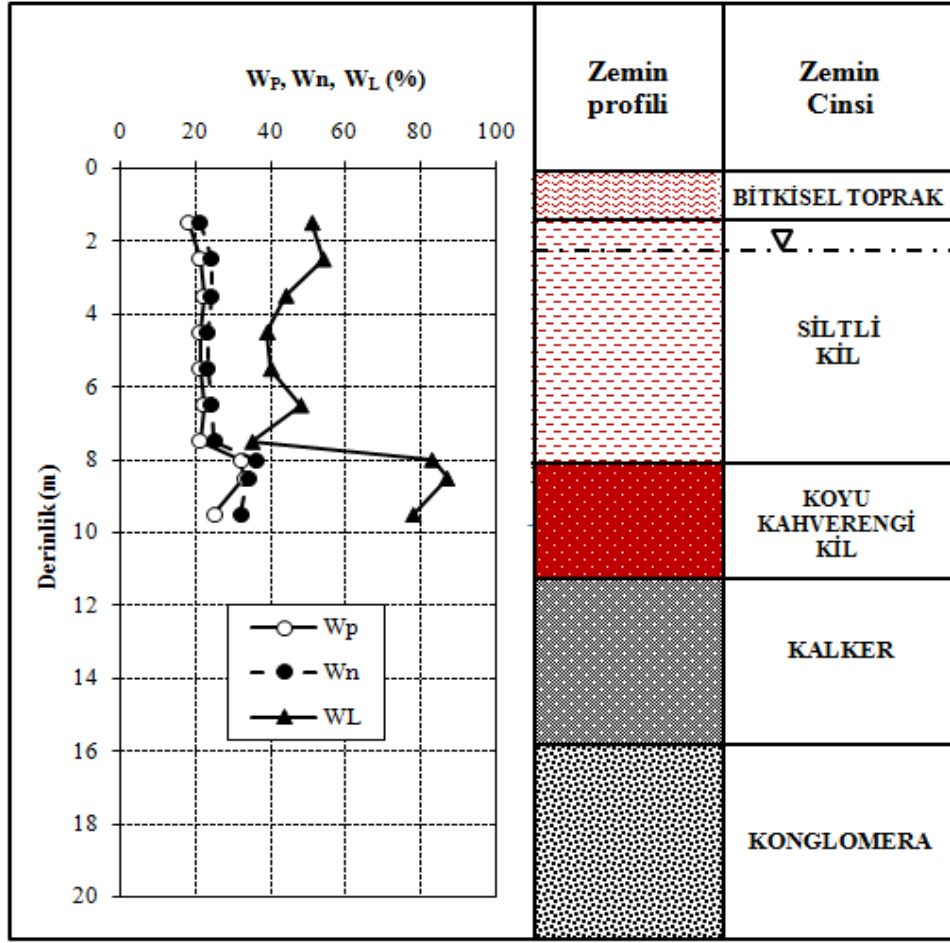
Zemin numuneleri üzerinde yapılan piknometre ve su muhtevası deneylerinden, zemin dane birim hacim ağırlıkları ve doğal su muhtevaları belirlenmiştir. Kıvam limitlerini belirlemek üzere zemin numuneleri üzerinde Atterberg limitleri deneyleri, zemin sınıflandırması için de elek analizi deneyleri yapılmıştır. Kil zeminlerin konsolidasyon parametrelerini belirlemek amacı ile sondaj kuyularından alınan karot numunelerden ve muayene çukurlarından alınan blok kütlelerden elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde ödometre deneyleri yapılmıştır. Kil zeminlerin aşırı ya da normal konsolide olup olmadığını anlamak amacıyla zeminlerin ön konsolidasyon basınçları hesaplanmıştır. Ön konsolidasyon basıncı değerlerinden, arazideki kil zeminlerin genelde normal konsolide (yer yer az aşırı konsolide kil) olduğu anlaşılmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu elde edilen su muhtevası ve dane birim hacim ağırlık değerlerinin derinlikle değişimi sırasıyla Şekil 3.5 ve 3.6'da, kıvam limitleri değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 3.7'de, boşluk oranı-gerilme ilişkilerinin derinliğe bağlı olarak değişimleri Şekil 3.8'de ve arazi gerilme durumunun derinlikle değişimleri ise, Şekil 3.9'da verilmektedir (Demir, 2011).



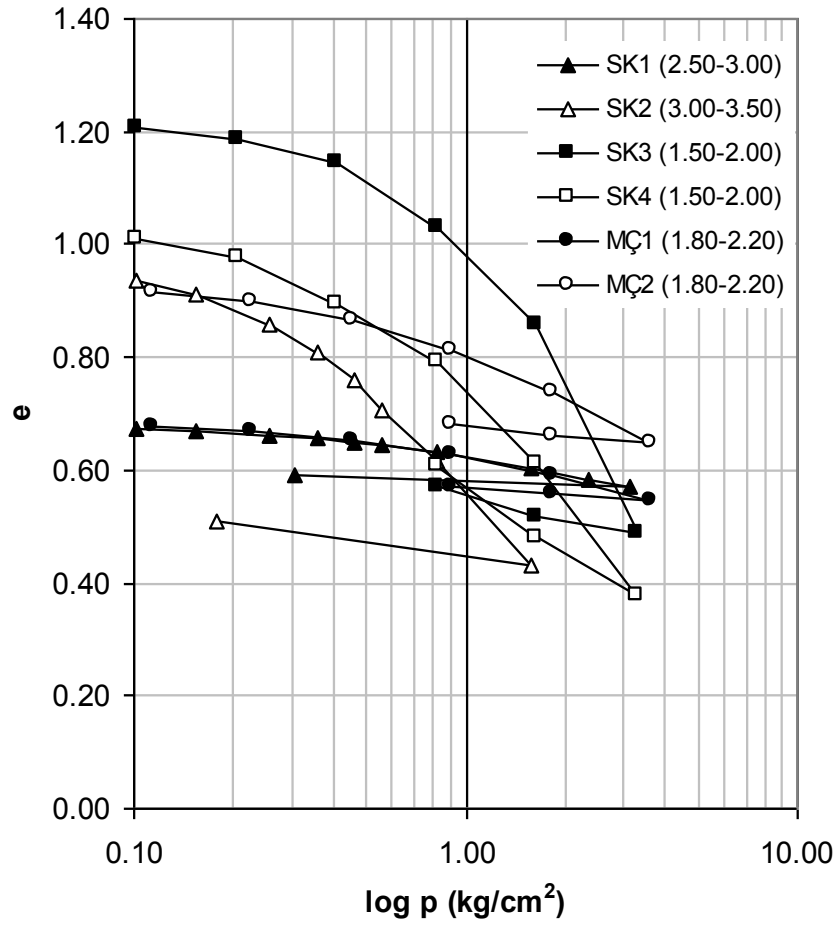
Şekil 3.5. Su Muhtevasının Derinlikle Değişimi (Demir, 2011)



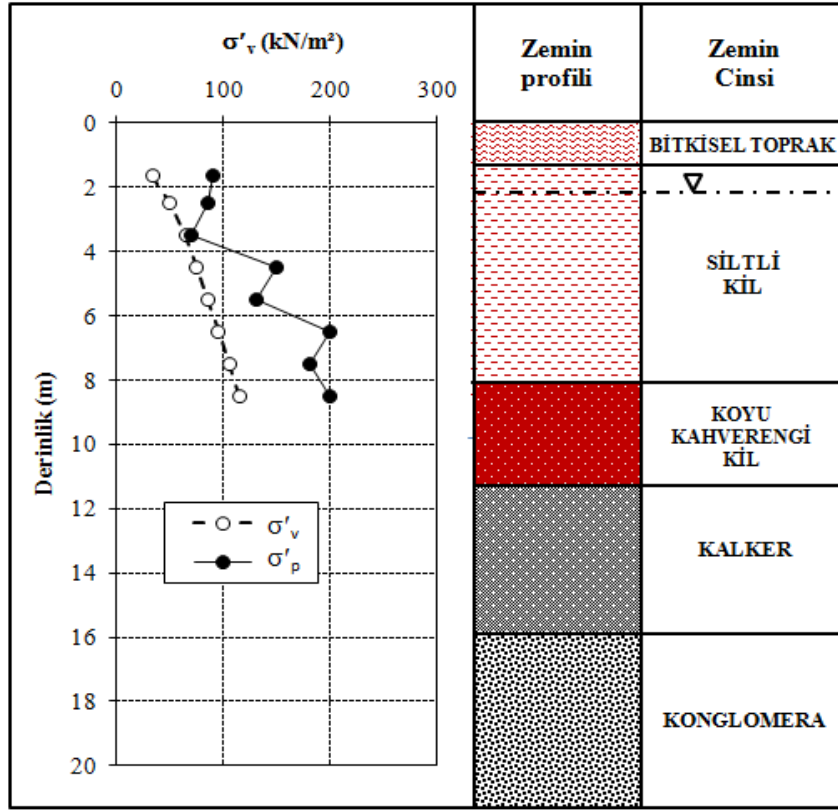
Şekil 3.6. Dane Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin Derinlikle Değişimi (Demir,2011)



Şekil 3.7. Kıvam Limitleri Değerlerinin Derinlikle Değişimi (Demir, 2011)

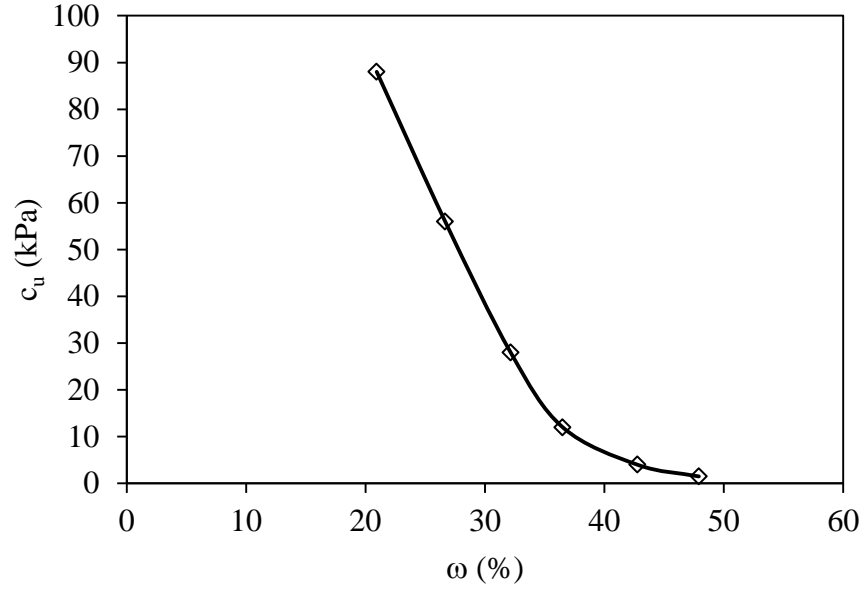


Şekil 3.8. Gerilme-Boşluk Oranı Eğrileri (Demir, 2011)



Şekil 3.9. Arazi Gerilme Durumunun Derinlikle Değişimi (Demir, 2011)

Deneylerde kullanmak amacıyla yeni açılan muayene çukurunun (YMÇ) 1.5-2.0 metreleri arasındaki derinlikten alınan kil zemin öncelikle laboratuvara getirilip kurutularak öğütülmüştür. Sonra su içeriği drenajsız kayma mukavemeti ( $w-c_u$ ) ilişkisini belirlemek amacı istenen su içeriklerine göre gerekli su miktarlarıyla homojen karıştırılarak serbest basınç deneyine hazır hale getirilmiştir. Deneyler ASTM (American Standards of Testing Materials) D2166'ya göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen su içeriği drenajsız kayma mukavemeti ilişkisi Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Kilin Su İçeriği Drenajsız Kayma Mukavemeti Arasındaki İlişki ( $w-c_u$ ) (Sarıcı, vd., 2013)

Deneyleerde kullanılan kil zeminin özellikleri toplu olarak Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kilin Özellikleri (Sarıcı, vd., 2013)

Parametre	Değer
Dane Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26
Likit limit, LL (%)	55
Plastik limit, PL (%)	22
Sınıflandırma	CH
Su Muhtevası, $\omega$ (%)	35
Yoğunluk, $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.2
Drenajsız kayma mukavemeti $c_u$ (kPa)	12

### 3.2.2. Kum Zeminin Özellikleri

Deneysel çalışmalarda, Çukurova bölgesi, Ceyhan nehir yatağından getirilen kum numuneler kullanılmıştır. Kum numuneler üzerinde, zemini sınıflamaya yönelik ve mukavemet özelliklerini tespit etmek için ASTM standartlarına uygun (ASTM D854, ASTM D3080-90) bir grup deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda,

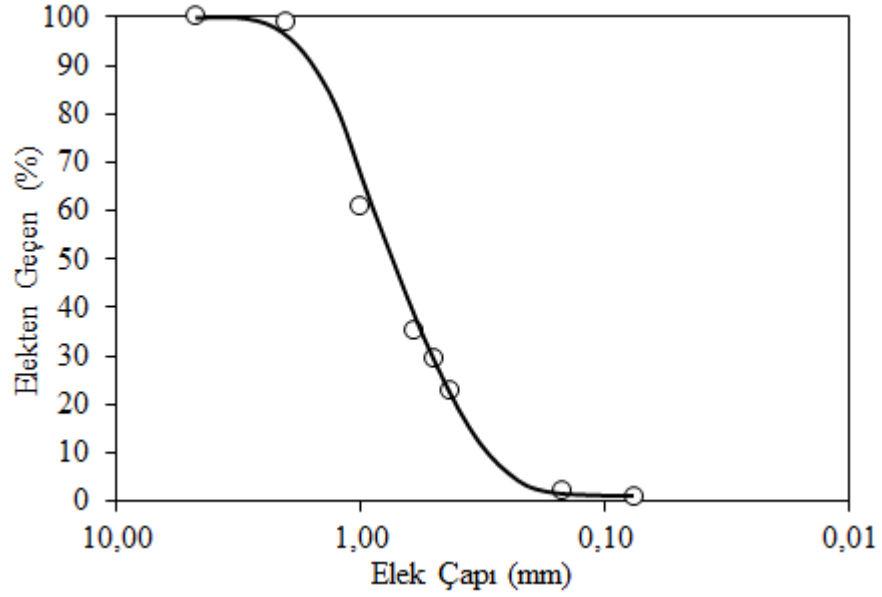


Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kullanılan kumun zemin sınıfı, kötü derecelenmiş iri (kaba) ve temiz kum (SP) ve dane birim hacim ağırlığı  $\gamma_s=27.3 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur.

Deney kumunun, minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve belirli sıklık değerlerine denk gelen birim hacim ağırlıkları ASTM D4253 ve D4254'e standartlarına göre belirlenmiştir. Kum zemin deney tankı içerisine  $Dr=\%80$ ,  $Dr=\%60$  ve  $Dr=\%40$  olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiştir. Bu üç sıklıktaki kumun kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla  $\gamma_k=17.1 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_k=16.7 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_k=16.4 \text{ kN/m}^3$ 'dir. Kum zeminin kayma mukavemeti parametrelerini tespit etmek için ASTM D3080-90 standardına göre kesme kutusu deneyleri yapılmış ve kayma mukavemet açısı, üç farklı sıklık için ( $Dr=\%80$ ,  $Dr=\%60$ ,  $Dr=\%40$ ) sırasıyla  $\phi=41,5^\circ$ ,  $\phi=38,5^\circ$  ve  $\phi=35,5^\circ$  olarak bulunmuştur. Zeminin granülometrik dağılımıyla ilgili özellikler Çizelge 3.2.'de, granülometre eğrisi Şekil 3.11.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Elek Analizi Sonuçları

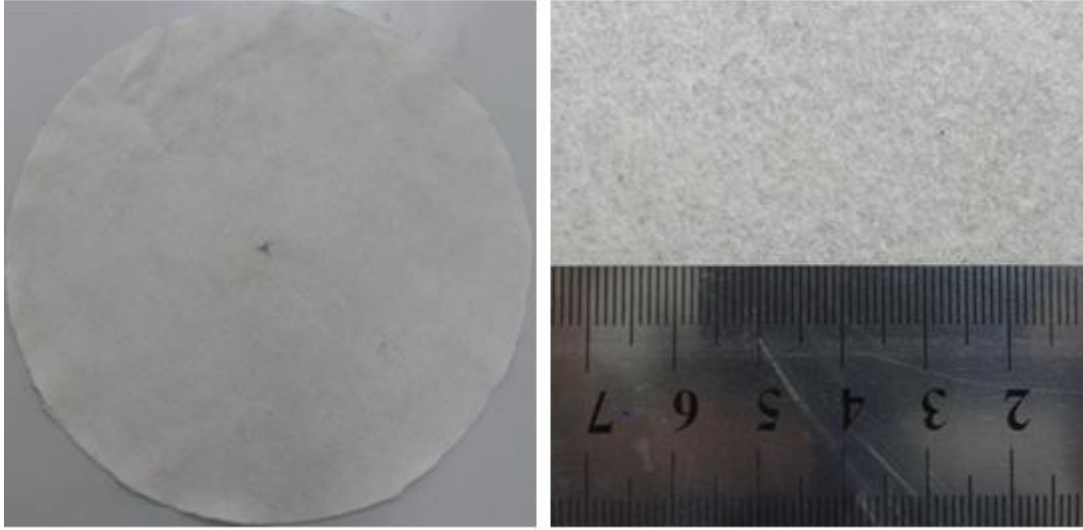
Granülometrik Parametreler	Birim	Değer
Kaba Daneli Kum Yüzdesi	%	64
Orta Daneli Kum Yüzdesi	%	33
İnce Daneli Kum Yüzdesi	%	2
Efektif Dane Çapı, $D_{10}$	mm	0.3
$D_{30}$	mm	0.5
$D_{60}$	mm	0.9
Zemin Sınıfı	-	SP



Şekil 3.11. Granülometre Eğrisi

### 3.3. Geosentetik Özellikleri

Deneylerde geosentetik olarak GEOPLAS firmasından tedarik edilen geotekstil malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.12.). Tabakalı zeminde (kil zemin üzerine kum zemin) yapılan deneylerde kille kum zemin tabakasının ara yüzeyine geotekstil yerleştirilerek çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Kullanılan geotekstil malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Geotekstil Malzeme

Çizelge 3.3. Geotekstilin Malzemenin Teknik Özellikleri

Özellikler	Değerler
Hammadde	Polipropilen, UV katkı
Birim Ağırlık (Minimum)	0.002 (kN/m <sup>3</sup> )
Kalınlık (2 KPa Basınç Altında)	1.5 mm
Çekme Dayanımı (MD/CD)	11-13 kN/m
Kopma Uzaması (MD/CD)	50-80
Delinmeye Karşı Dayanım (CBR Testi)	2500 N
Eşdeğer Göz Açıklığı	0.13 mm
Permabilite (Düzlemde)	0.070 m/s
Dinamik Delme	24 mm

### 3.4. Deney Düzenegi

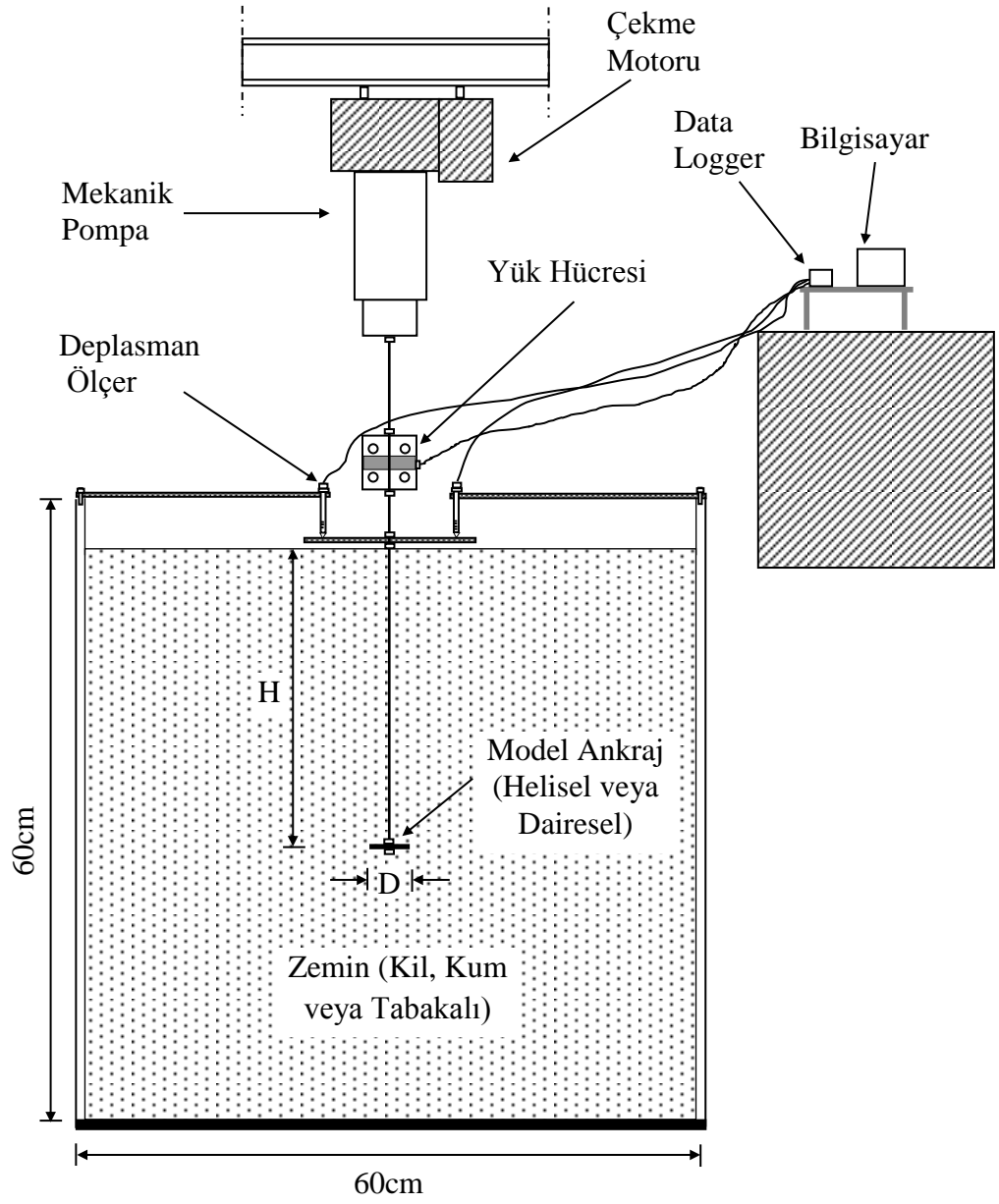
Tez kapsamında ankraj plakalarının farklı zeminlerdeki çekme kapasiteleri, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesinin İnşaat Mühendisliği Geoteknik laboratuvarında mevcut deney düzeneğinde deneysel çalışmalar yapılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada homojen kil ve kum zeminlerde farklı ankraj plakalarının (helisel ve dairesel) çekme kapasiteleri araştırılmıştır. Ayrıca yapılan

deneylerde tabakalı zeminlerde helisel ankrajın çekme performansı incelenmiş ve tabakalar arasındaki ara yüzeye de geosentetik yerleştirilmesi ile elde edilen zemin iyileştirmesinin çekme kapasitesine etkisi irdelenmiştir.

Deney düzeneğinde ankraj plakalarının çekme kapasitesini ölçmek için STCS–S tipi yük hücresi, düşey deplasmanı ölçmek için deplasman transducerleri elde edilen verileri kayıt etmek içinse Data Logger kullanılmıştır (Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.).



Şekil 3.13. Deney Düzeneği



Şekil 3.14. Deney Düzeneği Şeması

### 3.4.1. Deney Tankı

Deneyleer Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Geoteknik laboratuvarında et kalınlığı 1cm, çapı ve yüksekliği 60cm olan çelik malzemededen yapılmış dairesel bir tankta gerçekleştirilmiştir. Deney tankının çapı sınır etkisi oluşmaması için ankraj plakası çapının 12 katı olarak seçilmiştir. Deney tankı 60cm yüksekliğindeki silindir ve bu silindirin oturduğu alt taban plakasından oluşmaktadır. Silindir alt taban plakasına 4 adet vida ile sabitlenmiştir. Zemin numunesini deney tankına 5cm'lik tabakalar halinde kontrollü bir şekilde yerleştirmek için deney tankı tabanından en üst seviyesine kadar 5cm aralıklarla ölçeklendirilmiştir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Deney Tankı

### 3.4.2. Ankraj Plakaları ve Bağlantı Elemanları

Deneyleerde 5cm çapında helisel ve dairesel biçimli çelikten yapılmış rijit ankraj plakaları kullanılmıştır. Deneyleer sırasında, çekme nedeniyle herhangi bir sınır etkisinin oluşmaması için ankraj plakalarının merkezde olmasına dikkat edilmiştir. Bağlantı elemanı olarak yivli rijit çelik çubuklar kullanılmıştır. Ankraj plakaları bağlantı elemanına bulonlarla sabitlenmiştir. Bağlantı elemanı ile birlikte helisel ve dairesel ankraj plakaları sırasıyla Şekil 3.16.'da ve Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Helisel Ankraj Plakası ve Bağlantı Elemanı



Şekil 3.17. Dairesel Ankraj Plakası ve Bağlantı Elemanı

### 3.4.3. Yükleme Sistemi

Deneilerde kullanılan yükleme çerçevesi ve yükleme motoru Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Geoteknik laboratuvarında kullanılmak üzere, 15 ton kapasiteli olarak DOTEK firması tarafından tasarlanmıştır. Yükleme çerçevesi rijit I profillerden imal edilmiştir. Yükleme motoru ise kontrol paneli yardımı ile dakikada 2.33mm'ye kadar

çekme veya basma yapabilmektedir. Deneyle 2.33 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

#### 3.4.4. Yük Hücresi

Deneylede ankraj plakalarına gelen çekme yük değerlerini okumak için ESİT firması tarafından üretilen 200 kg kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.18.). Yük hücresinde bulunan yük transduceri yardımı ile tüm okumalar data logger cihazına aktarılmıştır. Bu yük hücresinin en önemli özelliği, hem basma hem de çekme durumunda kullanılabilir olmasıdır.



Şekil 3.18. Yük Hücresi



### 3.4.5. Düşey Deplasman Transduceri (LVDT)

Çekme nedeniyle model ankraj plakalarında meydana gelen düşey deplasmanları ölçmek için AHLBORN marka 25mm okuma alabilen düşey deplasman transducerleri kullanılmıştır (Şekil 3.19.). Deplasman ölçerler deney tankına mıknatıslı ayaklarla sabitlenmiştir. Her bir deney için, bağlantı elemanına bulonlarla sabitlenmiş rijit plaka üzerinden 2 farklı noktada düşey deplasman ölçümleri alınarak model ankraj plakasının yük deplasman eğrisi için, bu iki okumanın ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.19. Düşey Deplasman Transducerleri

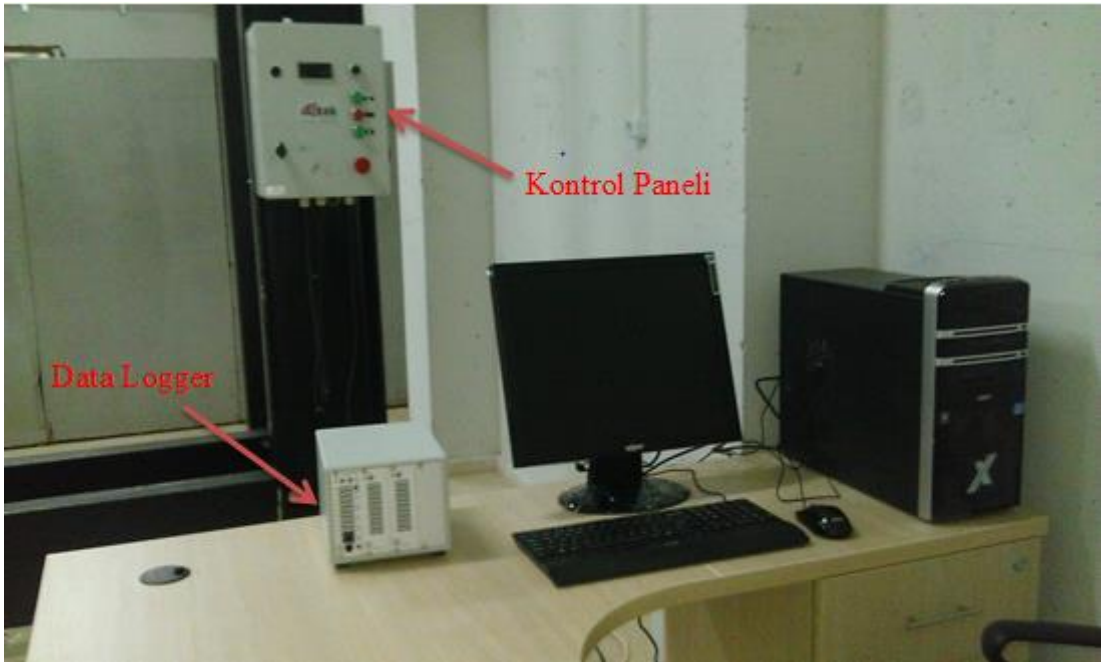
### 3.4.6. Data Logger (Data Kaydetme Ünitesi)

Deney sırasında çekme yükleri yük hücresi, düşey yer değiştirmeleri transducerler yardımıyla, sıcaklık, nem, hava ve su debisi, basınç, volt, amper gibi ölçümleri alabilen 29 kanal girişli AHLBORN ALMEMO 5690-1M data logger cihazına

aktarılmıştır (Şekil 3.20.). Bu datalar daha sonra ALMEMO AMR WinControl 6 yazılımı ile bilgisayar ortamında sayısal değerlere dönüştürülmüştür.

### 3.4.7. Titreşim Cihazı

Deneyde kullanılan kum numuneleri, deney tankı içerisine tabakalar halinde ve belli bir sıklık oranında yerleştirilmiştir. Bu amaçla deney tankının duvarları ölçeklendirilmiştir. Her bir tabakanın istenilen sıklık oranında sıkıştırılması için, elektrikle çalışan BOSH GBH 4-32 DFR titreşim cihazı (hilti) kullanılmıştır (Şekil 3.21.). Sıkıştırma sırasında üniform sıklık elde etmek ve kum danelerinin ezilmesini önlemek amacıyla titreşim cihazının uç kısmına 12cm çapında ve 2cm kalınlığında derlin malzemedan yapılmış bir plaka monte edilmiştir.



Şekil 3.20. Bilgisayar ve Data Logger Sistemi



Şekil 3.21. Titreşim Cihazı

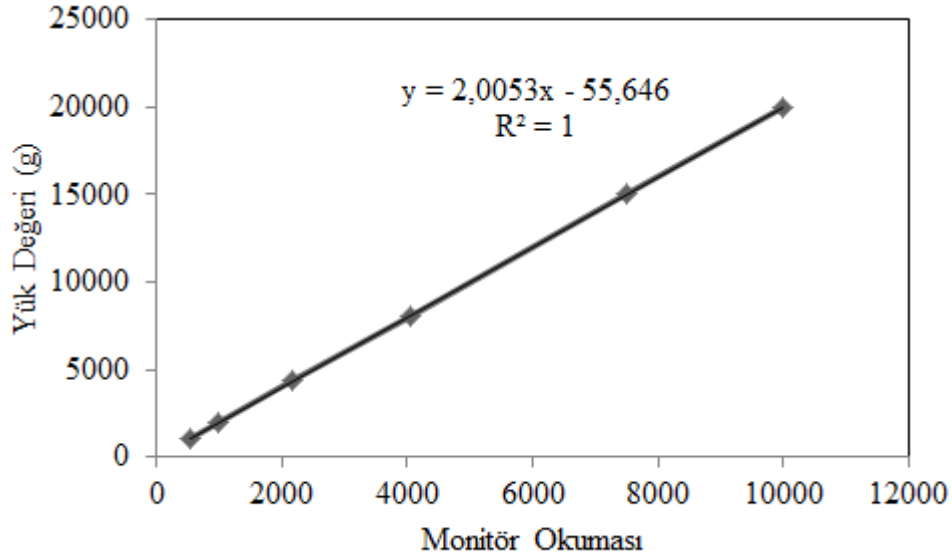
### 3.5. Deney Yöntemi

#### 3.5.1. Aletlerin Kalibrasyonu

Deneyle sırasında, yük ve deplasman ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için yük hücresi ve deplasman transducerlerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Yük hücresi kalibrasyon tablosu ve grafiği Çizelge 3.4 ve Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Transducerlerin kalibrasyon tablosu ve grafiği ise, Çizelge 3.5 ve Şekil 3.23’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Yük Hücresi Kalibrasyon Tablosu

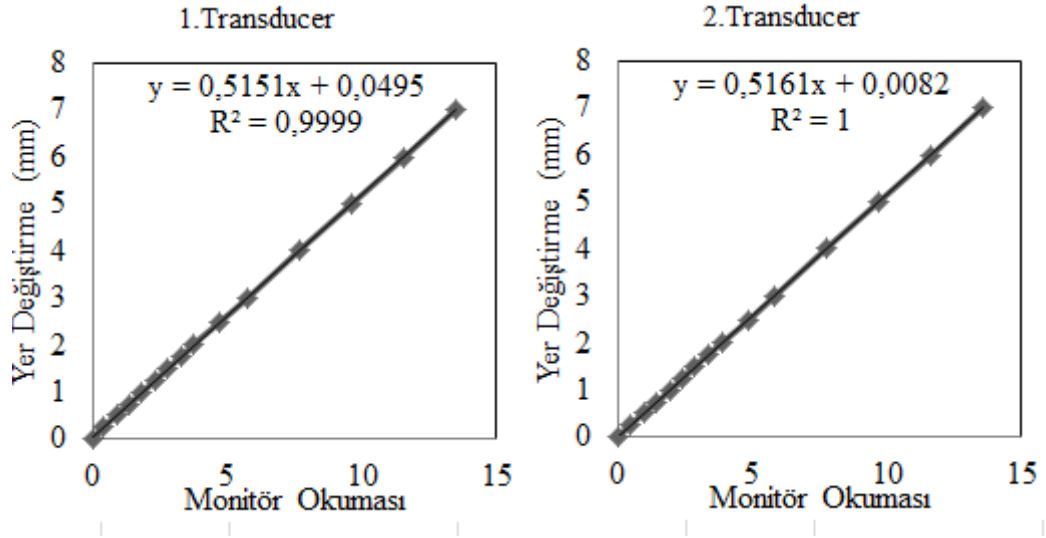
Yük Değeri (g)	Monitör Okuması
1000	550
2000	1000
4350	2175
8000	4050
15000	15000
20000	10000



Şekil 3.22. Yük Hücresi Kalibrasyon Eğrisi

Çizelge 3.5. Transducerlerin Kalibrasyon Tablosu

1. Transducer		2. Transducer	
Yer Değiştirme (mm)	Monitör Okuması	Yer Değiştirme (mm)	Monitör Okuması
0.00	0	0.00	0
0.25	0.398	0.25	0.456
0.50	0.873	0.50	0.946
0.75	1.35	0.75	1.453
1.00	1.832	1.00	1.914
1.25	2.31	1.25	2.409
1.50	2.799	1.50	2.872
1.75	3.283	1.75	3.387
2.00	3.761	2.00	3.851
2.50	4.733	2.50	4.824
3.00	5.721	3.00	5.807
4.00	7.671	4.00	7.738
5.00	9.617	5.00	9.677
6.00	11.553	6.00	11.611
7.00	13.524	7.00	13.544



Şekil 3.23. Transducerlerin Kalibrasyon Grafikler

### 3.5.2. Deneyin Yapılışı

1. Model ankraj plakası deney tankının ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır.
2. Tez kapsamında yalnız kil zeminli deneyler, yalnız kum zeminli deneyler ve kil kum tabakalı zeminli deneyler olarak üç farklı zeminde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin hepsinde deney tankına bir tabaka zemin yerleştirilmiş (5cm) onun yüzeyine ankraj plakası oturtulmuş sonra ikinci tabaka zemin yerleştirilmiştir.
3. Yalnız kil zeminin olduğu deneylerde, daha önceden %35 su içeriğine getirilen kil numuneleri birim hacim ağırlığı  $1,82 \text{ g/cm}^3$  olacak şekilde 5cm tabakalar halinde el yardımı ile deney tankına yerleştirilmiştir. Deney tankının kenarı ölçeklendirilmiştir. Her tabaka için gerekli kil ağırlığı önceden hesaplanmıştır. Hesaplanan kadar kil sabit yükseklikten düşürülen ağırlıkla düzgün bir şekilde deney tankına yerleştirilmiştir (Şekil 3.24.). İstenilen su içeriğinin sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için, yerleştirilen tabakadan rasgele su içeriği örnekleri alınmıştır (alınan su içeriklerinin ortalaması 35,01 standart sapması 0,39 çıkmıştır). Her tabakanın yüzeyi elle düzeltilmiş ve düzgünlük su terazisi ile kontrol edilmiştir. Bu şekilde kil istenilen derinliğe kadar tabaka tabaka yerleştirilmiştir. Deney sonrasında kil zemin, özel yaptırılan hilti ucunun takıldığı BOSH GBH 4-32 DFR marka karıştırıcı ile

parçalanmış ve su içeriği kontrol edilerek sonraki deneyler için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.25.). Yalnız kum zeminin olduğu deneylerde, kum zemin  $D_r=80$ ,  $D_r=60$  ve  $D_r=40$  olmak üzere üç farklı sıklıkta hazırlanmıştır. Bu üç sıklıktaki kumun kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla  $\gamma_k=1.71 \text{ g/cm}^3$ ,  $\gamma_k=1.67 \text{ g/cm}^3$ ,  $\gamma_k=1.64 \text{ g/cm}^3$  dır. Kum zemin 5 cm tabakalar halinde dinamik yöntem kullanılarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.21.). İstenilen sıklığı deney koşullarında sağlamak amacıyla, her bir tabaka için gerekli olan kum ağırlığı önceden hesaplanarak, kontrollü bir şekilde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca her bir tabaka dolgu yüzeyinin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Kil kum tabakalı zeminli olan deneylerde ise istenilen derinliğe kadar tabaka tabaka kil yerleştirilmiş, üzerine istenilen sıklıkta ve istenilen derinlikte kum tabaka tabaka yerleştirilmiştir. Tabakalı zeminlerde kil ve kum zemin ara yüzeyine geotekstil malzeme yerleştirilerek çekme kapasitesine etkisi de incelenmiştir (Şekil 3.26.). Bunun için istenilen derinliğe kadar kil tabakaları yerleştirilmiş üzerine geotekstil malzeme serilmiş üzerine istenilen sıklıkta ve derinliğe kadar kum tabakaları yerleştirilmiştir. Kum ve kil tabakalarının yerleştirilmesinde yalnız kum ve yalnız kil zeminli deneylerdeki yerleştirme yöntemi kullanılmıştır.

**4.** Çekme yükü, yük hücresi ve model ankraj plakasının bağlandığı rijit bir çubukla sağlanmış olup, uygulanan yükün eksantrik olmamasına dikkat edilmiştir. Deneyler elektrikli bir motor yardımıyla 2.33 mm/dk.'lık sabit bir hızda yapılmıştır.

**5.** Her bir deneyde deplasman değerleri ve buna karşılık gelen yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

**6.** Yukardaki işlemler iki farklı ankraj plakası (helisel ve dairesel) ve farklı gömülme derinliklerindeki deneyler için tekrarlanmıştır.



Şekil 3.24. Kil Zeminin Sıkıştırılması



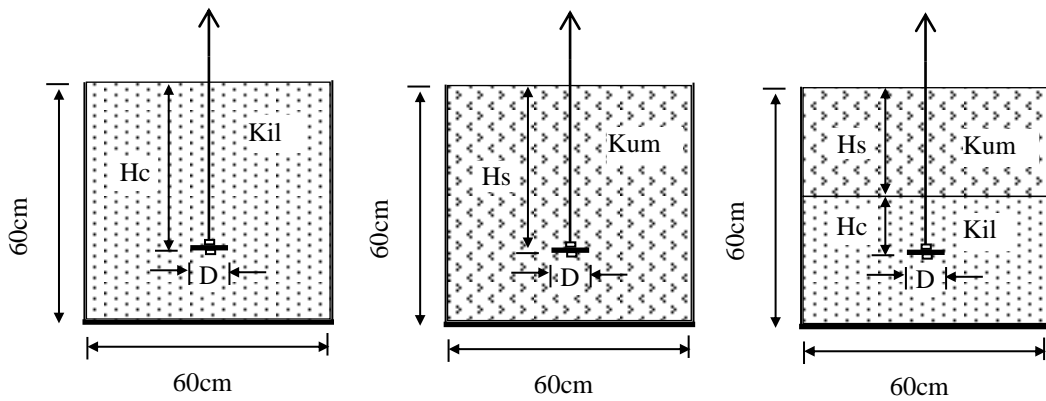
Şekil 3.25. Kil Zeminin Parçalanması



Şekil 3.26. Geotekstilli Deney

### 3.6. Deney Programı

Tez kapsamında kil kum ve tabakalı zemine gömülü helisel veya dairesel ankraj plakaları ile 7 seride 39 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerin şematik çizimi Şekil 3.27.'de deney programı ise Çizelge 3.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Deneylerin Şematik Çizimi



Çizelge 3.6. Deney Programı

Deney Serisi	Deney No	Deney Koşulu	Zemin Özellikleri		Ankraj Plakası	Hc*/D	Hs*/D			
			Kil Cu(kPa)	Kum $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )						
1	1	Güçlendirilmemiş	12 ( $\omega$ =%35)	-	Helisel D=5cm	-	1			
	2						2			
	3						3			
	4						4			
	5						5			
	6						6			
2	7	Güçlendirilmemiş	12 ( $\omega$ =%35)	-	Dairesel D=5cm	-	1			
	8						2			
	9						3			
	10						4			
	11						5			
	12						6			
3	13	Güçlendirilmemiş	12 ( $\omega$ =%35)	$\gamma$ =1.71 (Dr=%80)	Helisel D=5cm	1	1			
	14						2			
	15						3			
	16						4			
4	17	Güçlendirilmemiş	12 ( $\omega$ =%35)	$\gamma$ =1.64 (Dr=%40)	Helisel D=5cm	1	3			
	18			$\gamma$ =1.67 (Dr=%60)						
	-			$\gamma$ =1.71 (Dr=%80)						
5	19	Geotekstil ile güçlendirilmiş	12 ( $\omega$ =%35)	$\gamma$ =1.64 (Dr=%40)	Helisel D=5cm	1	3			
	20			$\gamma$ =1.67 (Dr=%60)						
	21			$\gamma$ =1.71 (Dr=%80)						
6	22	Güçlendirilmemiş	-	$\gamma$ =1.71 (Dr=%80)	Helisel D=5cm	-	1			
	23						2			
	24						3			
	25						4			
	26						5			
	27						6			
	28			$\gamma$ =1.67 (Dr=%60)	Helisel D=5cm	-	1			
	29						3			
	30						5			
	31						$\gamma$ =1.64 (Dr=%40)	Helisel D=5cm	-	1
	32									3
33	5									
7	34	Güçlendirilmemiş	-	$\gamma$ =1.71 (Dr=%80)	Dairesel D=5cm	-	1			
	35						3			
	36						5			
	37			$\gamma$ =1.64 (Dr=%40)	Dairesel D=5cm	-	1			
	38						3			
	39						5			

\*Hc=Kil Zemin Yüksekliği, Hs=Kum Zemin Yüksekliği, D=Ankraj Çapı

### **3.7. Sonlu Elemanlar Yöntemi**

#### **3.7.1. Giriş**

Deneylelerin sayısal analizini yapmak için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, deneysel çalışmadaki deney düzeneği, yükleme koşulları ve malzeme özellikleri sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS bilgisayar programında modellenerek sayısal çözümler elde edilmiştir. Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemi, PLAXIS paket programı ve zemin modelleri tanıtılmıştır.

#### **3.7.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi**

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak teorik analizlerde sayısal çözümlerin önemi artmıştır. En yaygın olarak kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinden birisi sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemde, sürekli ortamlardan oluşan sistemler üzerinde, sonlu eleman ağı ile hayali düğümler oluşturulur. Kodlama tekniği ile sistem kütle ve rijitlik matrisleri oluşturularak sisteme ait hareket denklemi elde edilir. Sistem hareket denklemi de uygun bir yöntem ile çözülerek, deplasmanlar ve gerilmeler hesaplanır. (Demir, 2006)

Sonlu elemanlar yönteminde, ağ modelindeki her eleman komşusu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlı olmasına rağmen, bu yöntemde sadece düğüm noktaları vasıtasıyla bağlanır. Böylece, deplasmanların uygunluğunun sadece bu noktalarda sağlanması yeterli olacaktır. Yöntemin sistematik olması ve her türlü yapıya aynı işlemlerle uygulanabilir olması en önemli özelliğidir. İşlem hacminin büyümesi, dezavantaj olarak görünse de bu olumsuzluk, bilgisayar yardımıyla aşılmaktadır. Son yıllarda, yeterince hassas sonuçlar veren ve bu tez kapsamında da kullanılan, PLAXIS gibi sonlu elemanlar yöntemine dayalı birçok paket programlar mevcuttur.

### 3.7.3. PLAXIS Bilgisayar Programı

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar programıdır. Bu çalışmada, PLAXIS 8.2 versiyonu kullanılmıştır. Program, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Analizlerde, problemler iki boyutlu olarak aksel simetrik veya düzlem deformasyon geometri koşullarında analiz edilmektedir. PLAXIS, çok yönlü ve karmaşık bir yapı arz eden geoteknik uygulamaların analizi için aşağıda verilmiş olan bazı önemli özelliklere sahiptir:

1. Problemin çözüm aşamasında geometrik model oluşturulurken, ortamın zemin yapısı, mevcut yük durumu ve sınır şartları kolayca tanımlanmaktadır.
2. Zemin ortamı 2 boyutlu üçgen elemanlar yardımıyla tanımlanmaktadır.
3. Programda, duvar, plak ve temel gibi yapı elemanlarını kolayca tanımlayabilecek kiriş elemanları mevcuttur.
4. Program, zemin davranışlarını modellemek için birden fazla zemin modeline sahiptir. (Demir, 2006)

### 3.7.4. PLAXIS Zemin Modelleri

PLAXIS Programında, yukarıda sözü edildiği gibi, zemin davranışını modellemek amacıyla kullanılan dört farklı zemin modeli aşağıda kısaca özetlenmiştir.

#### 3.7.4.1. Lineer Elastik (LE) Zemin Modeli

Bu modelde, zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve zeminin izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilir. Zemini tanımlamak için elastisite modülü, E ve poisson oranı,  $\mu$  değerleri kullanılır. Bu model, kaya gibi rijit ve büyük zemin kütlelerini modellemek için daha elverişlidir (Demir, 2006).

#### 3.7.4.2. Mohr-Coulomb (MC) Zemin Modeli

Bu model, Elastoplastik bir zemin modelidir. Bu modelde, zeminin, Elastisite modülü,  $E$ , poisson oranı,  $\nu$ , kohezyonu,  $c$ , sürtünme açısı,  $\phi$ , ve dilatasyon açısı,  $\psi$  gibi 5 ayrı parametre kullanılmaktadır. Zemin rijitliği için kullanılan  $E$  parametresi, tüm zemin tabakaları için sabittir (Demir, 2006).

#### 3.7.4.3. Hardening-Zemin (HZ) Modeli

Farklı tipteki zemin davranışını modellemekte kullanılan bir zemin modelidir. Mohr-Coulomb modeline göre çok daha gelişmiş bir modeldir. MC modelde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon ( $c$ ), sürtünme açısı ( $\phi$ ) ve dilatasyon açısı ( $\psi$ ) ile sınırlandırılmıştır. HZ model, gerilme bağımlı rijitlik modülünü dikkate almaktadır. Yani, zemin rijitliği basınçla birlikte artmaktadır (Demir, 2006).

#### 3.7.4.4. Soft-Soil-Crep (SSC) Modeli

Zemin mekaniğinde normal konsolide killer, killi siltler ve turba zeminler yumuşak zemin olarak kabul edilmektedir. Bu tür zeminler, yüksek mertebedeki sıkışma birlik özelliğine bağlı olarak, farklı özellikler göstermektedirler. HZ model, tüm zeminler için uygun bir model olmasına rağmen yumuşak zeminlerdeki büzülme ve gerilme gevşemesi gibi viskoz etkiler ile normal konsolide killerde gözlenen zamana bağlı sıkışma davranışını dikkate almamaktadır. Bu nedenle, bu tür zeminlerde SSC modeli kullanılır. Özellikle, temel ve dolgulardaki zamana bağlı oturma problemleri ile tüneller ve derin kazı gibi zemindeki yük boşalması problemlerinde bu model kullanılmaktadır (Demir, 2006).

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Giriş

Bu bölümde, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında gerçekleştirilen, helisel ve dairesel ankraj plakalarının farklı zeminlerdeki çekme davranışının incelendiği model deneylerin sonuçları verilmiştir. Ayrıca bu ankraj plakalarının farklı zeminlerdeki çekme davranışını sayısal olarak incelemek için, PLAXIS bilgisayar programı yardımıyla yapılan sayısal analizlerin sonuçları da bu bölümde sunulmuştur. Sonrasında deney ve sayısal analiz sonuçlarının bir karşılaştırılması yapılmıştır.

### 4.2. Deney Sonuçları

Bu bölümde laboratuvar ortamında helisel ve dairesel ankraj plakalarının farklı zeminlerdeki çekme davranışının incelendiği deneylerin sonuçları Çizelge 3.6.'da verilen seriler şeklinde sunulmuştur. Deney sonuçlarında ankraj plakasının yaptığı deplasman boyutsuz bir parametre olan çekme oranı (%) ile ifade edilmiştir. Çekme oranı (s/D) ankrajın yaptığı deplasmanın temel çapına göre yüzdesidir. Deney sonuçları yüke karşılık çekme oranı eğrileri şeklinde verilmiştir.

#### 4.2.1. Seri 1: Kil Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seride yapılan deneylerle helisel ankraj %35 su içeriğindeki kil zemine farklı derinliklerde gömülmüş ve gömülme derinliğinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Seri 1 deneylerinde altı farklı derinlikte altı deney yapılmıştır.

Bazı durumlarda yük–oturma eğrisinden belirgin bir göçme yükü elde edilememekte ve temelin göçme yükünü tanımlayan doğru bir nihai taşıma kapasitesi,  $q_u$ , değeri belirlemek oldukça güç olmaktadır. Konu ile ilgili literatür incelendiğinde  $q_u$

değerinin belirlenmesi için 4 yöntemin kullanıldığı görülmektedir (Lutenegger ve Adams, 1998).

Bu yöntemler aşağıda tanımlanmıştır.

1. 0.1B Yöntemi: Sınırlandırılmış bir oturma değerine karşılık gelen yük değeri, nihai taşıma kapasitesi değeri olarak alınır (Briaud ve Jeanjean, 1994) (B=temel genişliği).
2. Teğet Kesiştirme Yöntemi: Oturma değerlerinde belirgin bir değişimin meydana geldiği noktaya karşılık gelen yük değeri, nihai taşıma kapasitesi değeri olarak alınır (Trautmann ve Kulhawy, 1988).
3. Log-Log Yöntemi: Yük–oturma değerlerinde düzeltme yapılarak kesişim noktasına karşılık gelen yük değeri, nihai taşıma kapasitesi değeri olarak alınır (DeBeer, 1970).
4. Hiperbolik Yöntem: Yük–oturma eğrisine uygun bir model seçilerek tahmini bir asimptot değere karşılık gelen yük değeri, nihai taşıma kapasitesi değeri olarak alınır.

Seri 1 deney sonuçlarından göçme yükünü belirlemek için teğet kesiştirme yöntemi kullanılmıştır (Demir, 2011). Ayrıca deney sonuçlarını daha genel ifade edebilmek için boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü ( $F_c$ ) kullanılmıştır. Kopma faktörü aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır (Das, 1978).

$$Q_0 = Q_u - W_f \quad (4.1)$$

Bu ifadede  $Q_0$ , net nihai çekme yükü  $Q_u$ , toplam nihai çekme yükü  $W_f$ , temel ağırlığıdır.

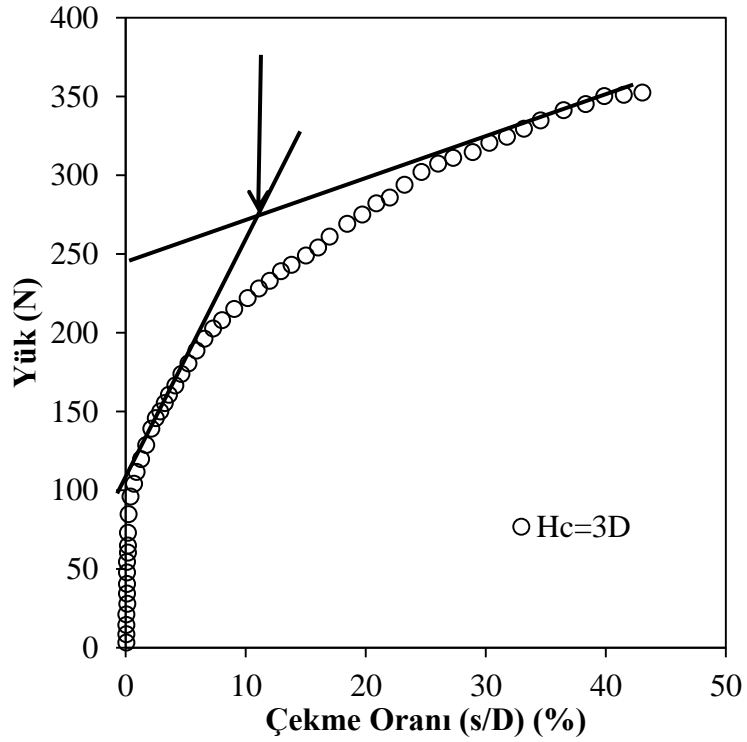
$$q_0 = \frac{Q_0}{A} = c_u F_c + \gamma H \quad (4.2)$$

Bu ifadede  $Q_0$ , net nihai çekme yükü  $A$ , ankraj plakasının alanı  $c_u$ , zeminin drenajsız kayma mukavemeti  $\gamma$ , zeminin birim hacim ağırlığı  $H$ , zeminin yüzeyden ölçülen gömme derinliği  $F_c$ , boyutsuz kopma faktörüdür.

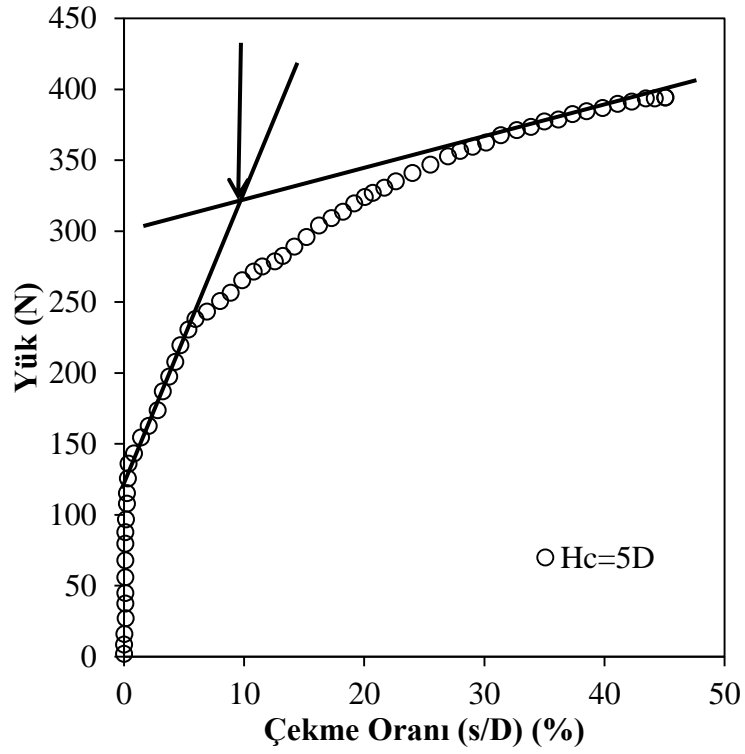
Denklem (4.2)'den kopma faktörü denklemi aşağıdaki gibi elde edilir (Das, 1978).

$$F_c = \frac{q_0 - \gamma H}{c_u} \quad (4.3)$$

Seri 1 deneylerinden kile gömülme derinliği 3D ( $H_c/D=3$ ) ve 5D ( $H_c/D=5$ ) olan deneylerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.1.'de Seri 1 deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir..



Şekil 4.1. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=3D$ )



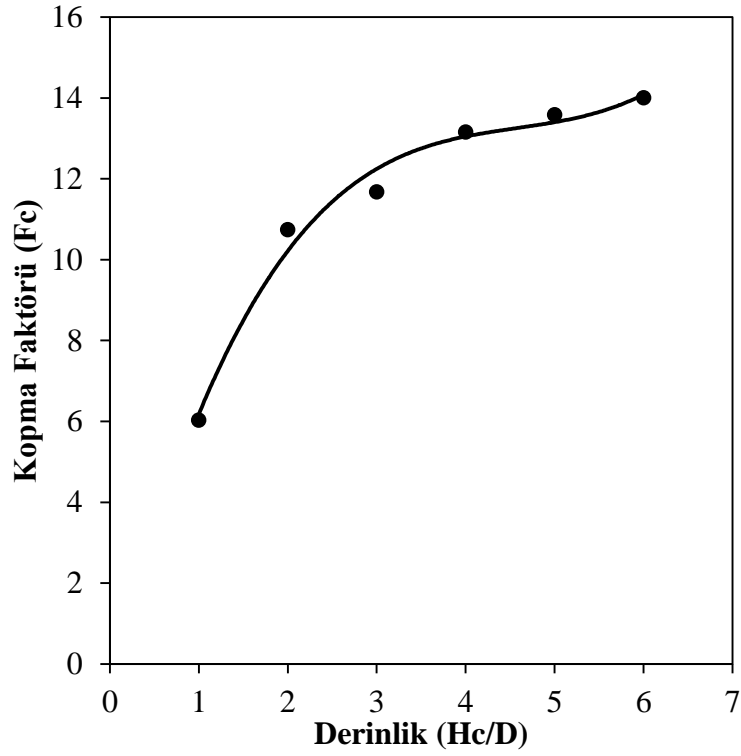
Sekil 4.2. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=5D$ )

Çizelge 4.1. Seri 1 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

$H_c/D$	$Q_0$ (N)
1	142
2	253
3	275
4	310
5	320
6	330

Seri 1 deney sonuçlarından helisel ankrajın gömülme derinliği arttıkça göçme yükünde arttığı görülmüştür. Elde edilen göçme yüklerinden Denklem (4.3)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_c$ ) hesaplanmıştır (Şekil 4.3.). Kopma faktörünün başlangıçta gömülme derinliği arttıkça hızla arttığı, gömülme derinliği  $3D$ 'yi geçtikten sonra artma hızının azaldığı görülmüştür.



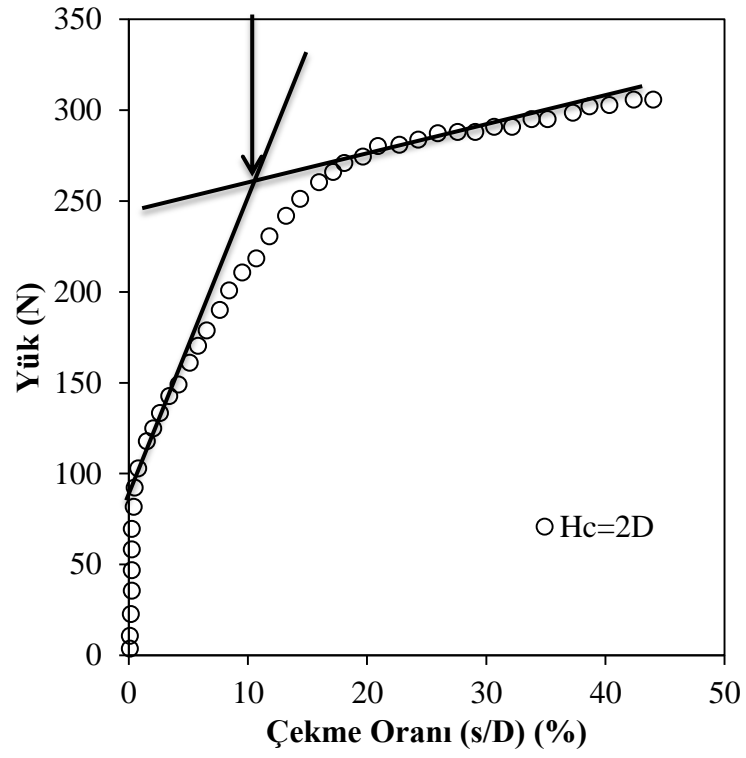


Şekil 4.3. Kıl Zeminlerde Helisel Ankrajın Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi

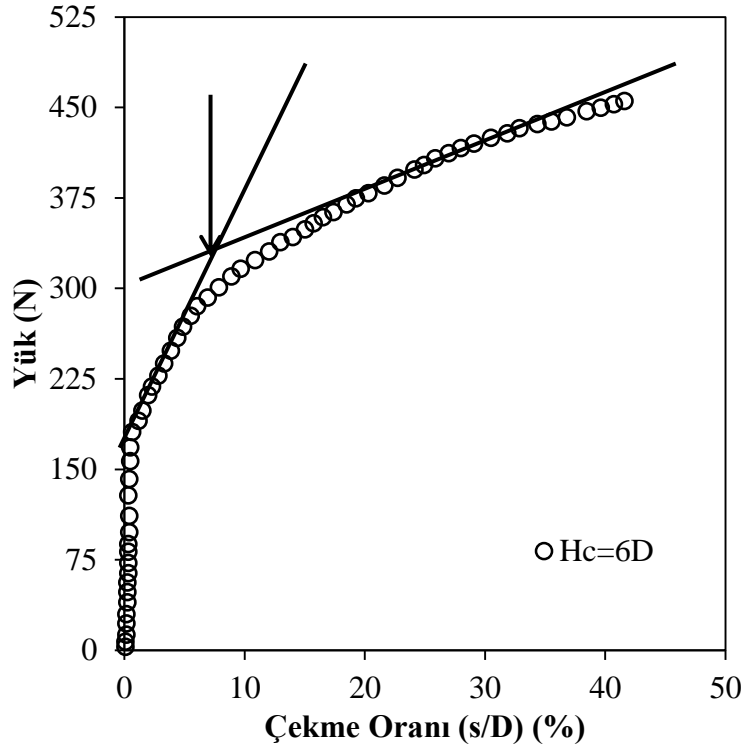
#### 4.2.2. Seri 2: Kıl Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Dairesel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seride yapılan deneylerle dairesel ankraj %35 su içeriğindeki kıl zemine farklı derinliklerde gömülmüş ve gömülme derinliğinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Seri 2 deneylerinde altı farklı derinlikte altı deney yapılmıştır. Deney sonuçlarından göçme yükünü belirlemek için teğet kesiştirme yöntemi kullanılmıştır (Demir, 2011).

Seri 2 deneylerinden kile gömülme derinliği 2D ( $H_c/D=2$ ) ve 6D ( $H_c/D=6$ ) olan deneylerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir. Çizelge 4.2.'de Seri 2 deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir



Sekil 4.4. Kil Zemine Gömülü Dairesel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=2D$ )

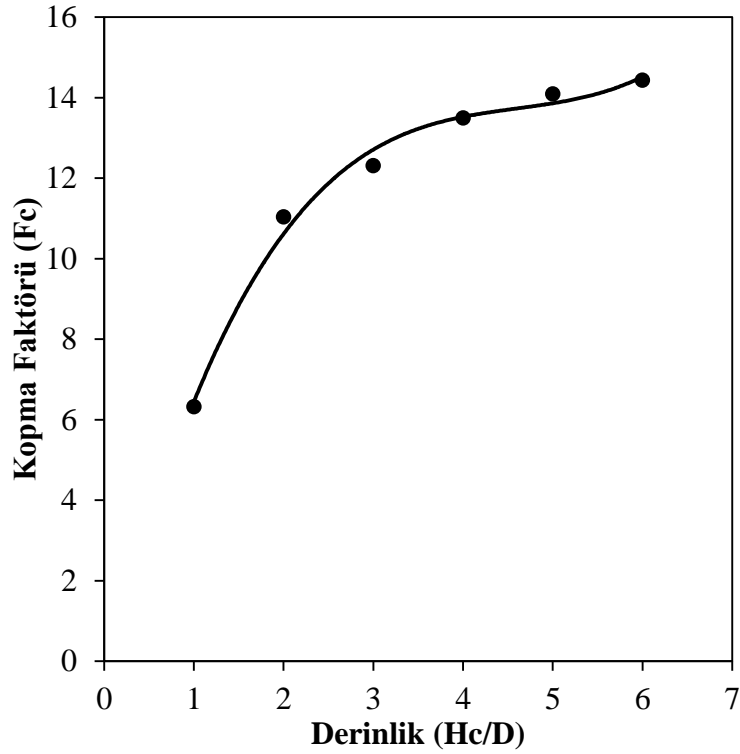


Sekil 4.5. Kil Zemine Gömülü Dairesel Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=6D$ )

Çizelge 4.2. Seri 2 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

$H_c/D$	$Q_0$ (N)
1	149
2	260
3	290
4	318
5	332
6	340

Seri 2 deney sonuçlarından dairesel ankrajın gömülme derinliği arttıkça göçme yükünde arttığı görülmüştür. Elde edilen göçme yüklerinden Denklem (4.3)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_c$ ) hesaplanmıştır (Şekil 4.6.). Kopma faktörünün başlangıçta gömülme derinliği arttıkça hızla arttığı, gömülme derinliği  $3D$ 'yi geçtikten sonra artma hızının azaldığı görülmüştür.



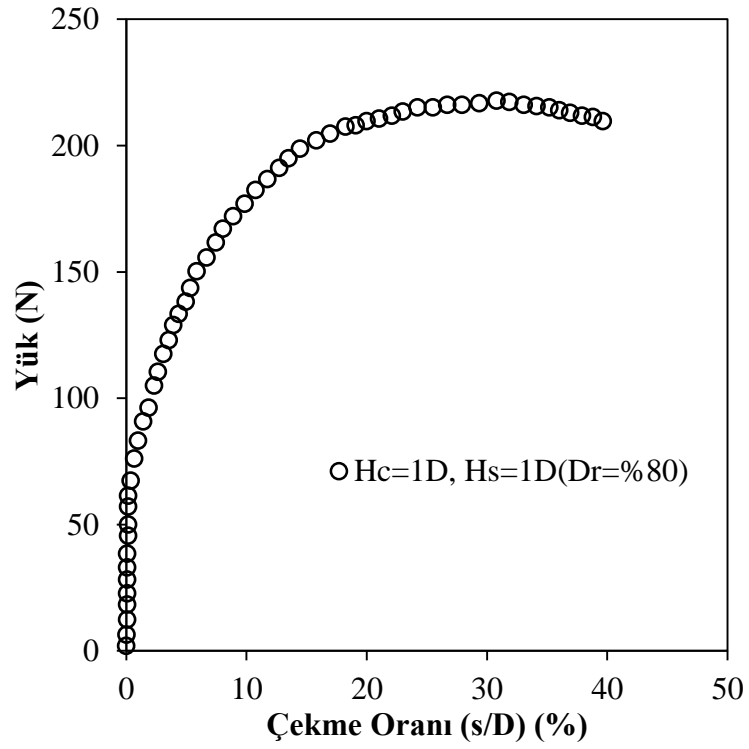
Şekil 4.6. Kil Zeminde Dairesel Ankrajın Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.2.3. Seri 3: Tabakalı Zeminde Kum Tabaka Kalınlığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

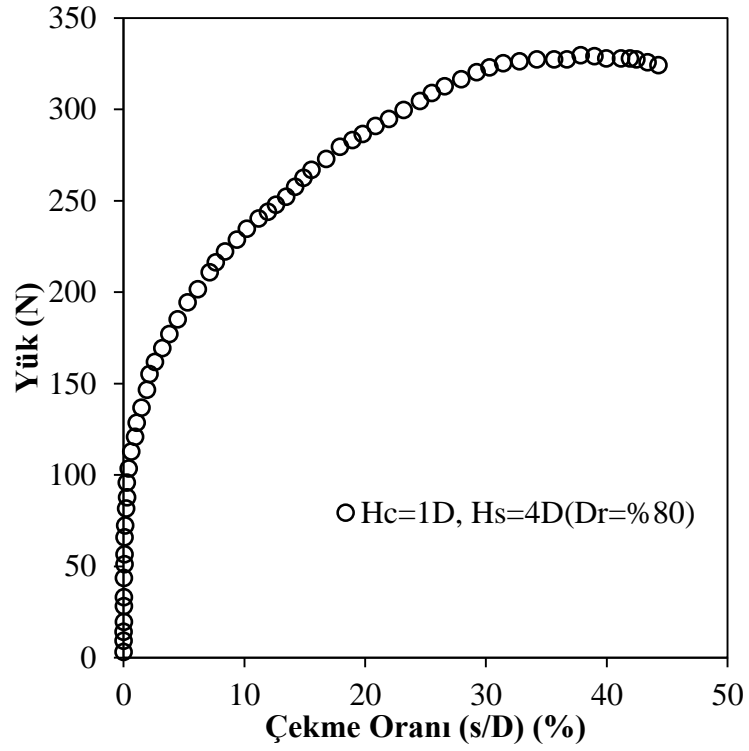
Bu seride helisel ankraj plakası %35 su içeriğindeki kil üzerine 1D sabit derinlikte gömülmüş üzerine %80 sıklıktaki kum zemin yerleştirilerek tabakalı bir zemin oluşturulmuştur. Bu tabakalı zeminde, üst kısımdaki kum zemin tabakasının kalınlığı değiştirilerek, kum zemin tabaka kalınlığının çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Kil zemin derinliği sabit olmak üzere kum zemin derinliğinin değiştiği dört farklı deney yapılmıştır. Seri 3 deneylerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.

Seri 3 deneylerinden kile gömülme derinliği 1D ( $H_c/D=1$ ) olan, kuma gömülme derinliği sırasıyla 1D ( $H_s/D=1D$ ) ve 4D ( $H_s/D=4D$ ) olan deneylerin yüke karşılık

çekme oranı eğrileri Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmiştir. Çizelge 4.3.'de Seri 3 deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (H<sub>s</sub>=1D)

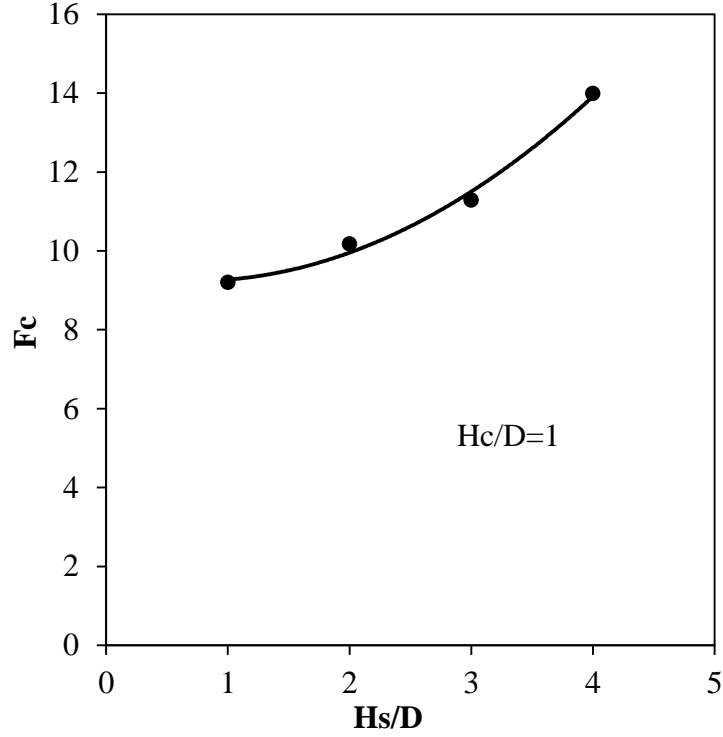


Şekil 4.8. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Hs=4D)

Çizelge 4.3. Seri 3 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Q <sub>0</sub> (N)
1	1	216.76
1	2	239.65
1	3	265.99
1	4	329.56

Seri 3 deney sonuçlarından tabakalı zemine gömülü helisel ankrajın için üstteki kum tabaka kalınlığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'dan hesaplanmıştır (Şekil 4.9.). Kopma faktörünün üstteki kum tabaka kalınlığının artması ile parabolik bir şekilde arttığı görülmüştür.

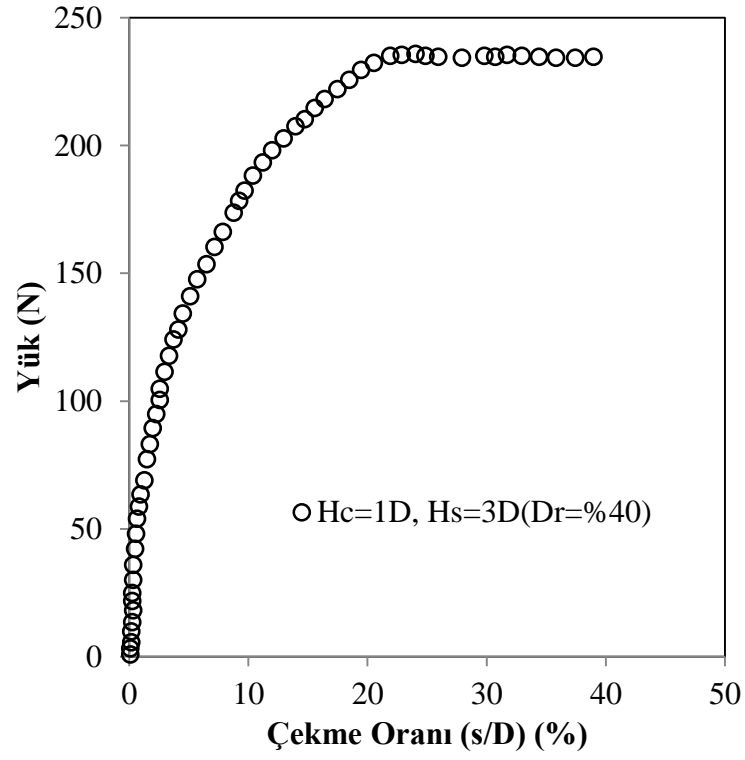


Şekil 4.9. Tabakalı Zeminlerde Kum Tabakası Kalınlığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.2.4. Seri 4: Tabakalı Zeminde Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

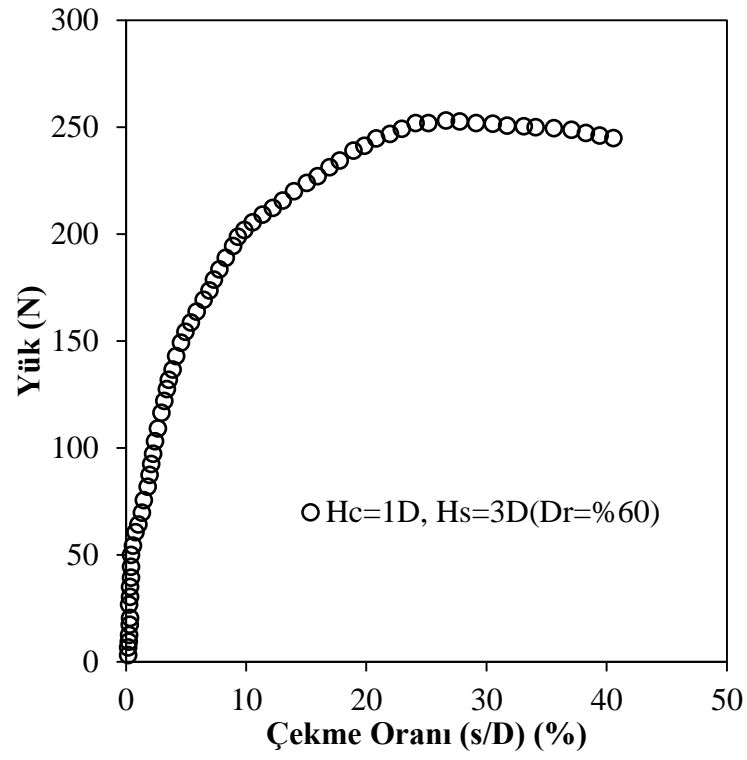
Bu seride helisel ankraj plakası %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş üzerine 3D sabit derinlikte farklı sıklıklarda kum zemin yerleştirilerek tabaklı bir zemin oluşturulmuştur. Kum zemin tabakası %40, %60 ve %80 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş, tabakalı zeminde kum örtüsünün sıklığının çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Kum zeminin sıklığının değiştiği üç deney yapılmıştır. Deneylerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.

Seri 4 deneyleri için üstteki kum tabakası sıklığı %40, %60 ve %80 olan deneylerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri sırası ile Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de verilmiştir. Çizelge 4.4.'de Seri 4 deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

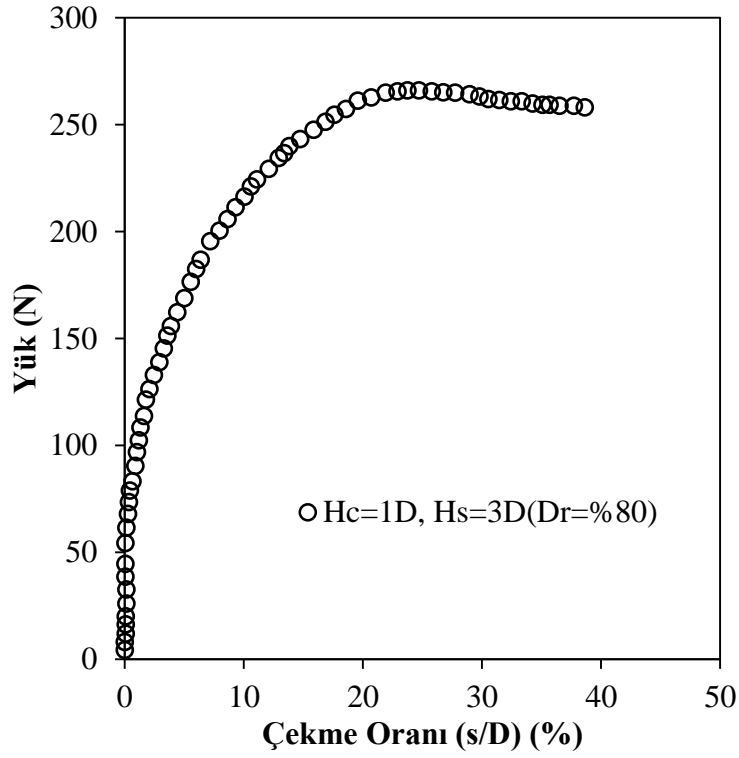


Şekil 4.10. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%40)





Şekil 4.11. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%60)

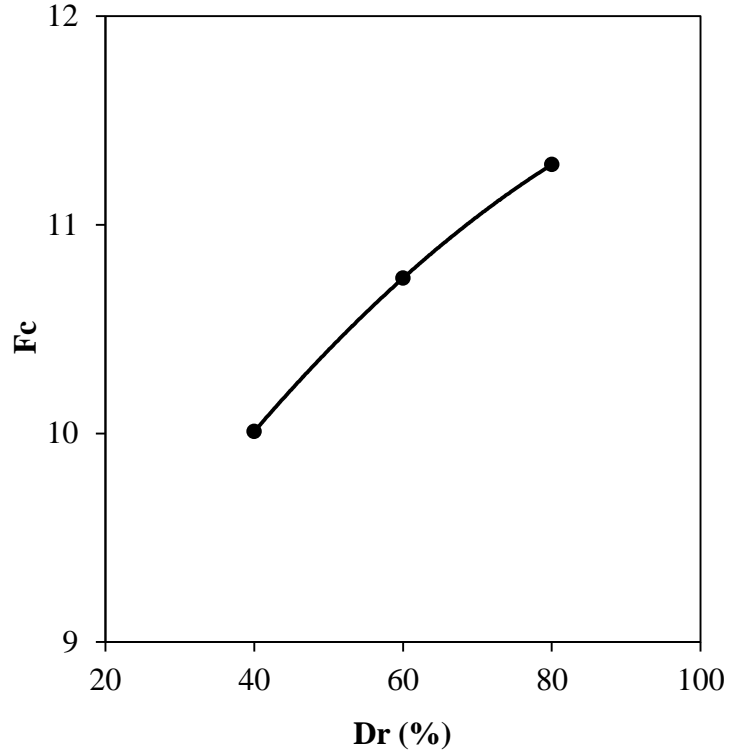


Şekil 4.12. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%80)

Çizelge 4.4. Seri 4 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Dr (%)	Q <sub>0</sub> (N)
1	3	40	235.83
1	3	60	253.15
1	3	80	265.99

Seri 4 deney sonuçlarından tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üstteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'den hesaplanmıştır (Şekil 4.13.). Kopma faktörünün üstteki kum tabakası sıklığının artması ile arttığı görülmüştür.

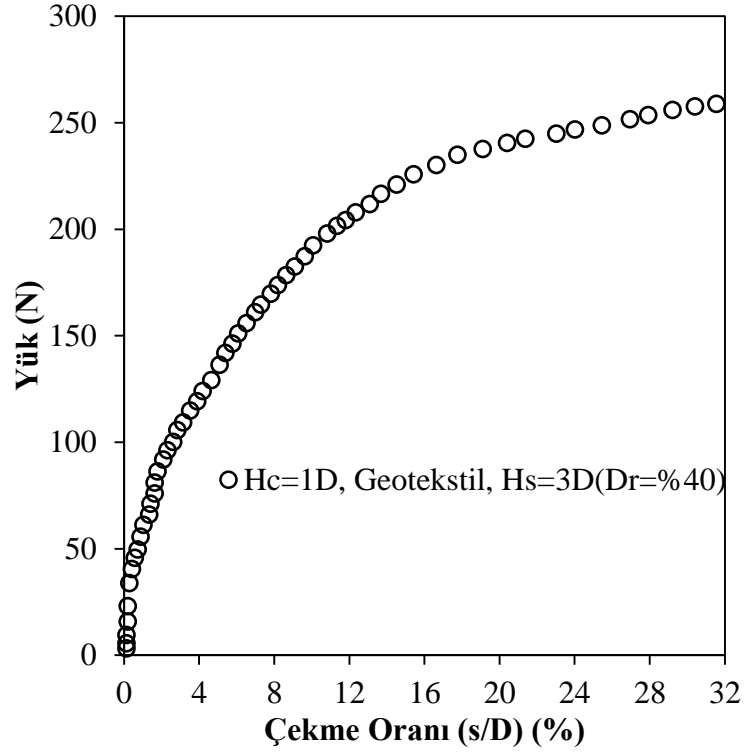


Şekil 4.13. Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

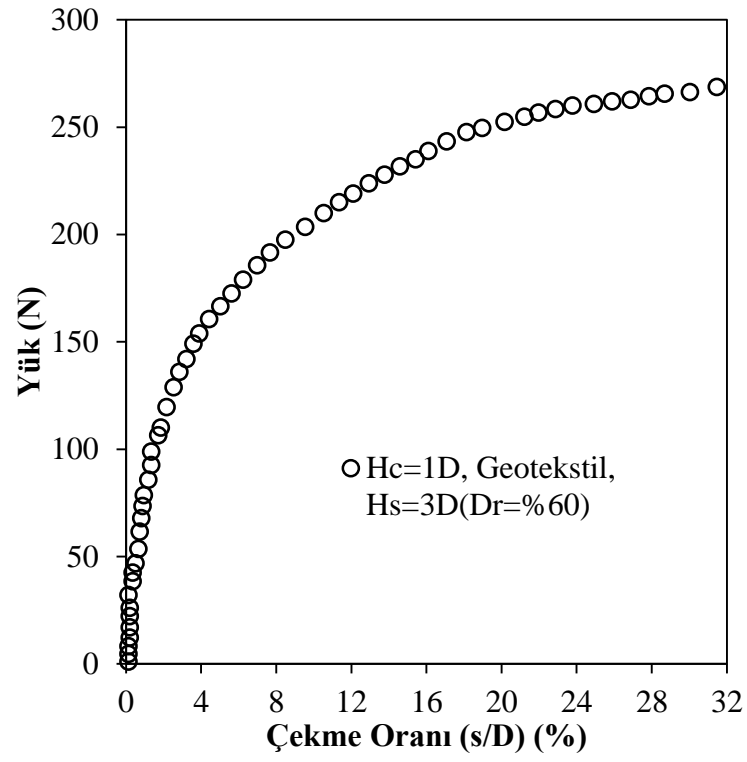
#### 4.2.5. Seri 5: Ara Yüzeye Geotekstil Yerleştirilmesi Durumunda Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seride, helisel ankraj plakası öncelikle %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş, ara yüzeye geotekstil yerleştirilmiş ve üzerine de 3D sabit derinlikte farklı sıklıklarda kum zemin yerleştirilerek tabakalı bir zemin oluşturulmuştur. Kum zemin tabakası %40,%60 ve %80 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş, tabakalı zeminde ara yüzeye geotekstil yerleştirilmesi durumunda kum zeminin sıklığının helisel ankrajın çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Kum zeminin sıklığının değiştiği üç deney yapılmıştır. Deneylerde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.

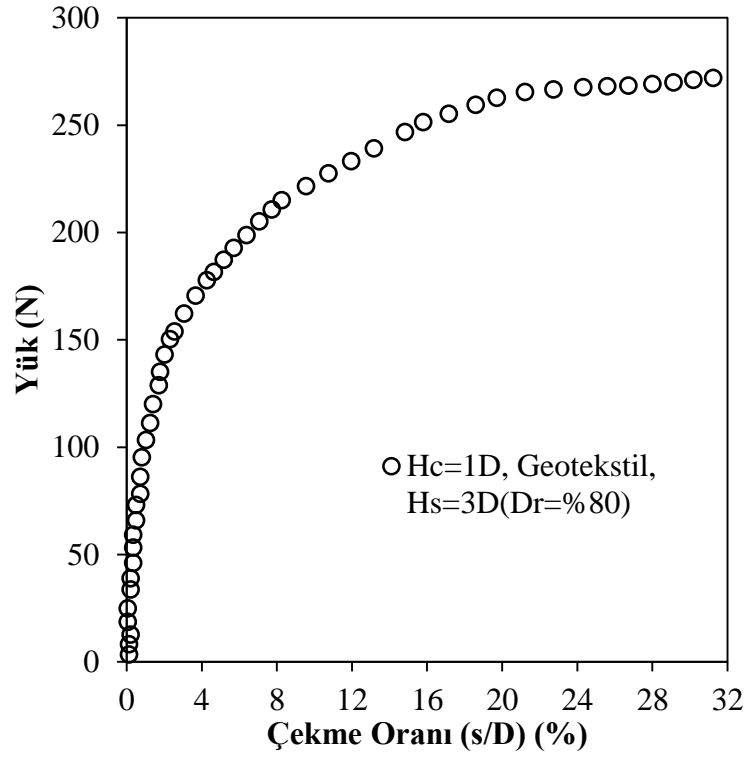
Seri 5 deneyleri için üsteki kum tabakası sıklığı %40, %60 ve %80 olan deneylerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri sırası ile Şekil 4.14., Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da verilmiştir. Çizelge 4.4.'de Seri 4 deneylerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%40)



Şekil 4.15. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%60)

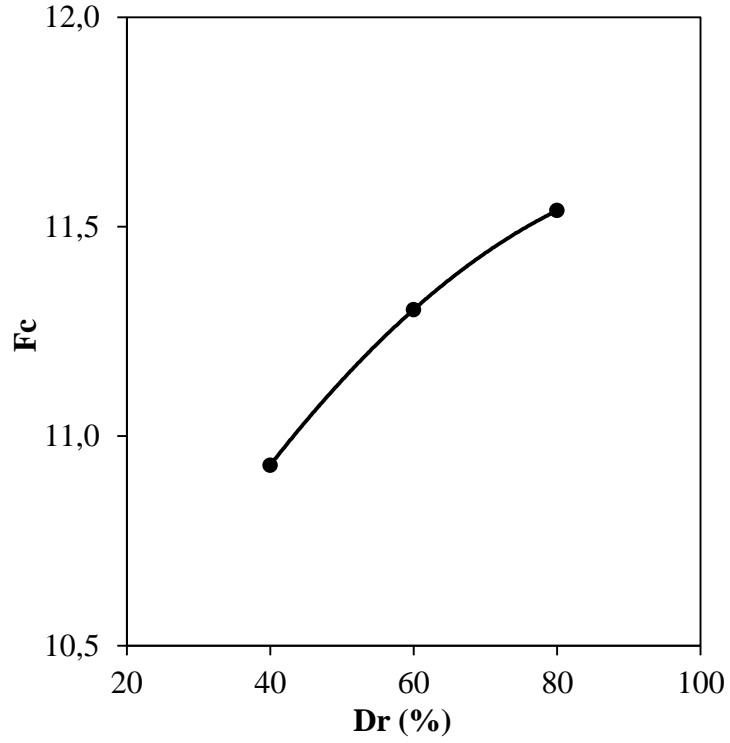


Şekil 4.16. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi ( $D_r = \%80$ )

Çizelge 4.5. Seri 5 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Dr (%)	$Q_0$ (N)
1	3	40	257.55
1	3	60	266.30
1	3	80	271.87

Seri 5 deney sonuçlarından ara yüzeyi geotekstilli tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'dan hesaplanmıştır (Şekil 4.17.). Kopma faktörünün üsteki kum tabakası sıklığının artması ile arttığı görülmüştür.



Şekil 4.17. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.2.6. Seri 6: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seride yapılan deneylerde kum zeminlere gömülü helisel ankraj plakaları için kumun sıklığı ve kuma gömülme derinliği parametrelerinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Farklı derinliklerde, %40 sıklıkta 3 deney, %60 sıklıkta 3 deney ve %80 sıklıkta 6 deney olmak üzere üç farklı sıklıkta 12 adet deney yapılmıştır. Deneylerde göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır. Ayrıca deney sonuçlarını daha genel ifade edebilmek için boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü ( $F_q$ ) kullanılmıştır. Kopma faktörü Denklem (4.4)'de tanımlanmıştır (Das, 1999).

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma A D_f} \quad (4.4)$$

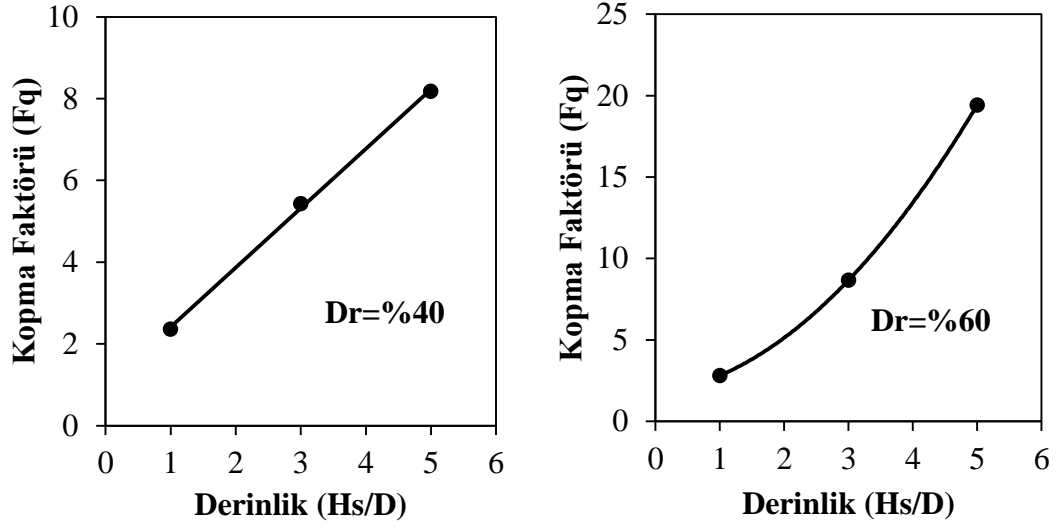
Çizelge 4.6.'da %40 sıklıktaki 3, %60 sıklıktaki 3 ve %80 sıklıktaki 6 deneyin sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Seri 6 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

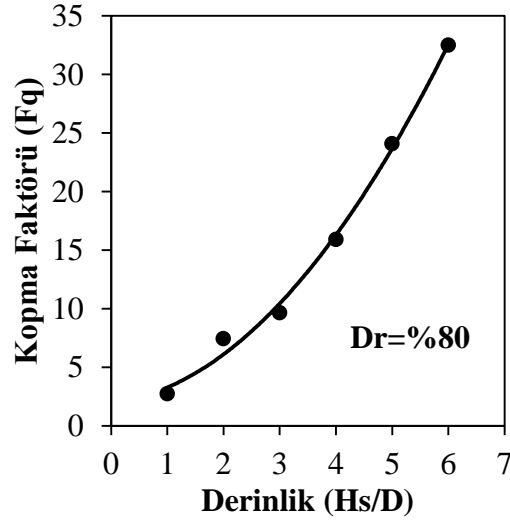
Hs/D	Dr (%)	Q <sub>u</sub> (N)
1	40	3.8
3	40	26.2
5	40	65.8
1	60	4.6
3	60	42.6
5	60	159.2
1	80	4.6
2	80	25
3	80	48.6
4	80	106.8
5	80	202.2
6	80	327.4

Seri 6 deney sonuçlarından gömülme derinliği ve sıklık parametrelerinin artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. %40, %60 ve %80 sıklıktaki kum zeminde yapılan deneyler için Denklem (4.4)' de gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplanan kopma faktörleri (F<sub>q</sub>) %40 ve %60 için Şekil 4.18.'de, %80 için Şekil 4.19.'da gösterilmiştir. Şekil 4.20.'de ise farklı sıklıkta elde edilen kopma faktörleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kopma faktörünün %40 sıklıkta doğrusal olarak arttığı %60 ve %80 sıklıkta parabolik olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca sıklığın artması ile kopma faktörü artmıştır.

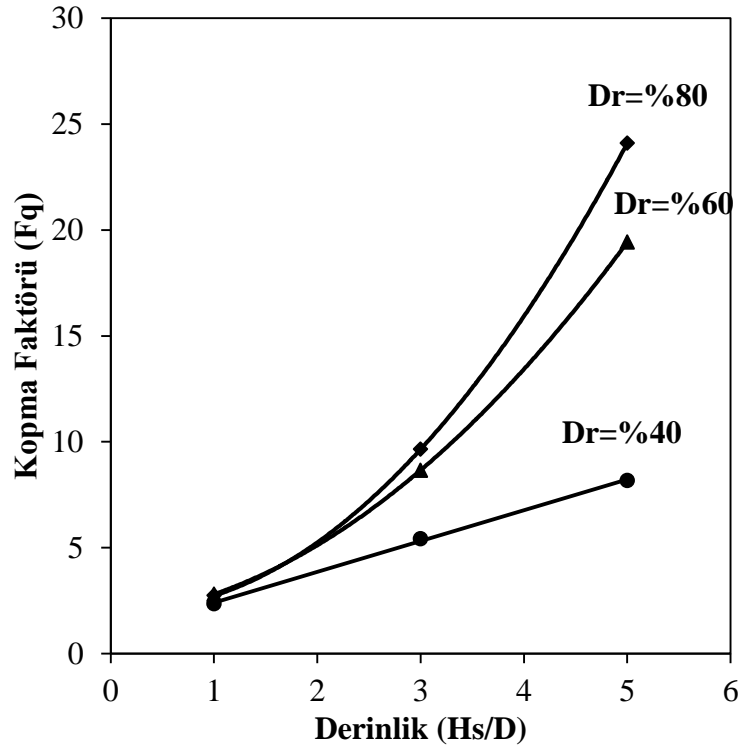




Şekil 4.18. Kum Zeminlere Gömülü Helisel Ankraj İçin %40 ve %60 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi



Şekil 4.19. Kum Zemine Gömülü Helisel Ankraj İçin %80 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi



Şekil 4.20. Kum Zemine Gömülü Helisel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.2.7. Seri 7: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıkılığının Dairesel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

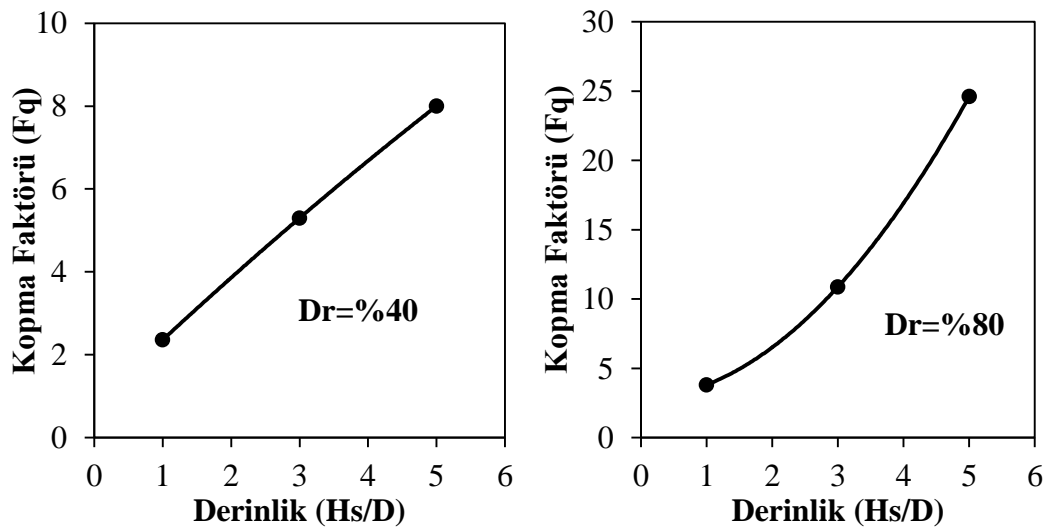
Bu seride yapılan deneylerle kum zeminlere gömülü dairesel ankraj plakaları için kumun sıkılığı ve kuma gömülme derinliği parametrelerinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Farklı derinliklerde, %40 sıkılıkta 3 deney ve %80 sıkılıkta 3 deney olmak üzere iki farklı sıkılıkta 6 adet deney yapılmıştır. Deneylerinde göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır. Ayrıca Denklem (4.4.)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_q$ ) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7.'da %40 sıkılıktaki 3 ve %80 sıkılıktaki 3 deneyin sonuçları gösterilmiştir.

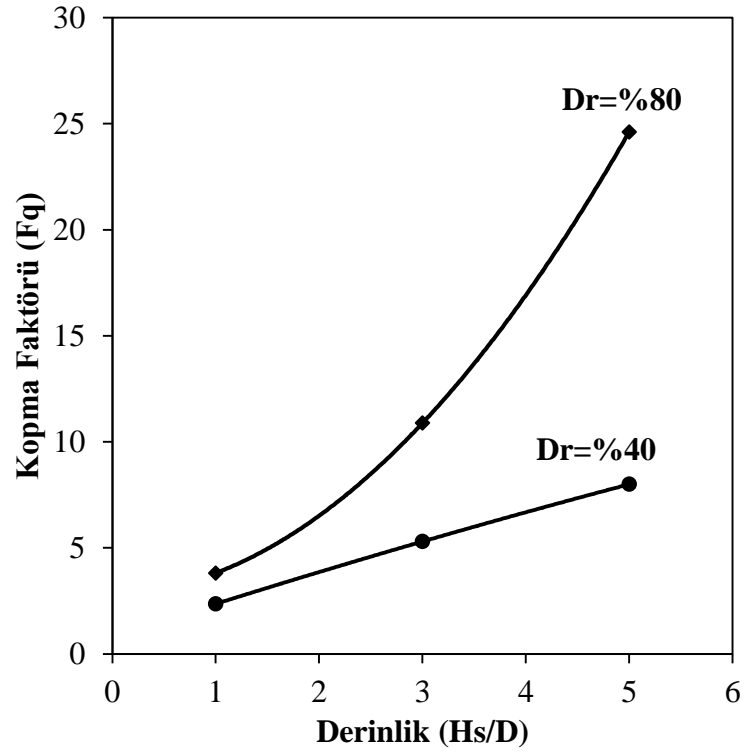
Çizelge 4.7. Seri 7 Deneylerinin Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hs/D	Dr (%)	Q <sub>u</sub> (N)
1	40	3.8
3	40	25.6
5	40	64.4
1	80	6.4
3	80	54.8
5	80	206.6

Seri 7 deney sonuçlarından gömülme derinliği ve sıklık parametrelerinin artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. %40 ve %80 sıklıktaki kum zeminde yapılan deneyler için Denklem (4.4)' de gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplanan kopma faktörleri ( $F_q$ ) Şekil 4.21.'de gösterilmiştir. Şekil 4.22.'de ise farklı sıklıkta elde edilen kopma faktörleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kopma faktörünün %40 sıklıkta doğrusal olarak arttığı %80 sıklıkta parabolik olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca sıklığın artması ile kopma faktörü artmıştır.



Şekil 4.21. Kum Zeminlere Gömülü Dairesel Ankraj İçin %40 ve %80 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

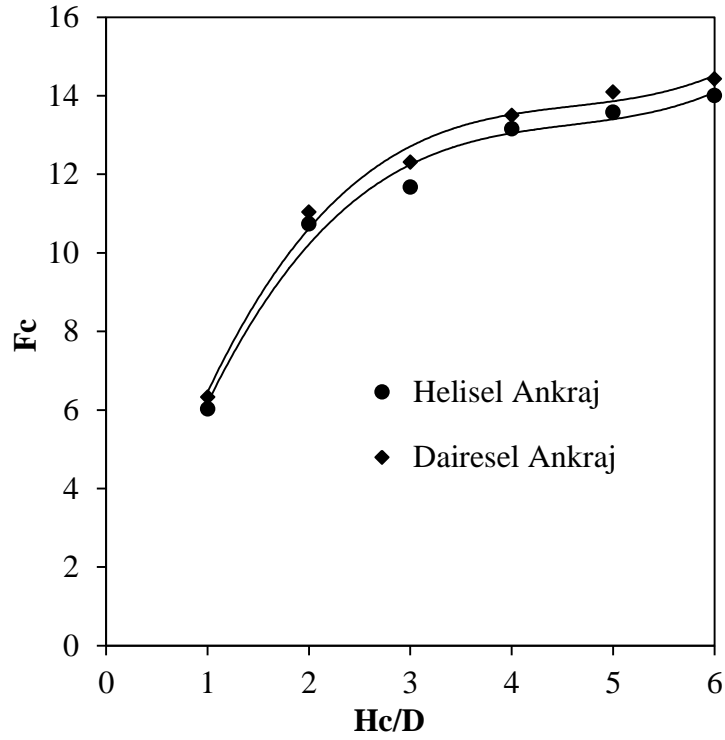


Şekil 4.20. Kum Zemine Gömülü Dairesel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

### 4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

#### 4.3.1. Seri 1 ve Seri 2 Deneylerinin Karşılaştırılması

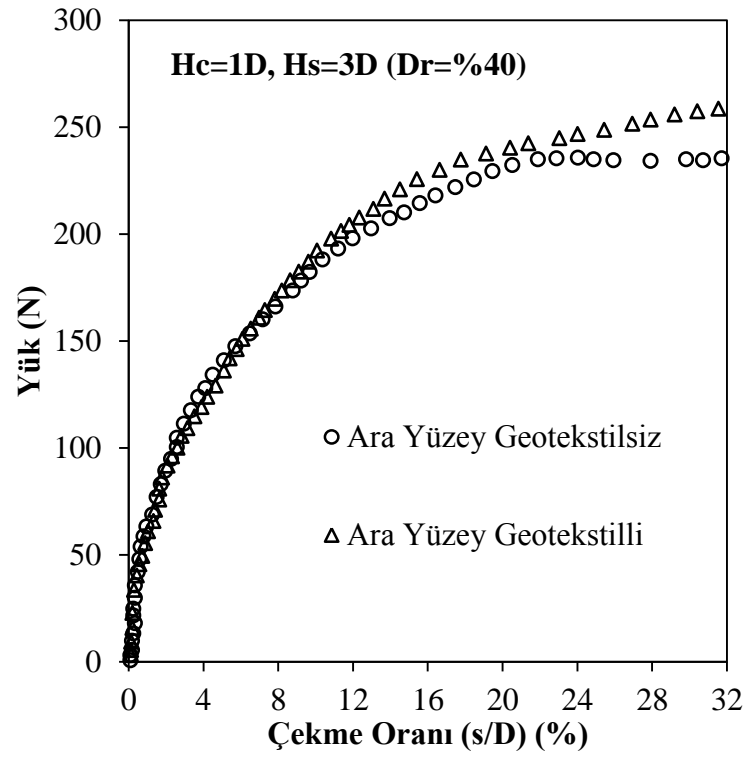
Helisel ve dairesel ankraj plakalarının kil zemindeki derinliğe bağlı kopma faktörü değişimi Şekil 4.23.'de gösterilmiştir. Dairesel ve helisel ankrajların kil zeminlerde derinlikle değişen kopma faktörlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.



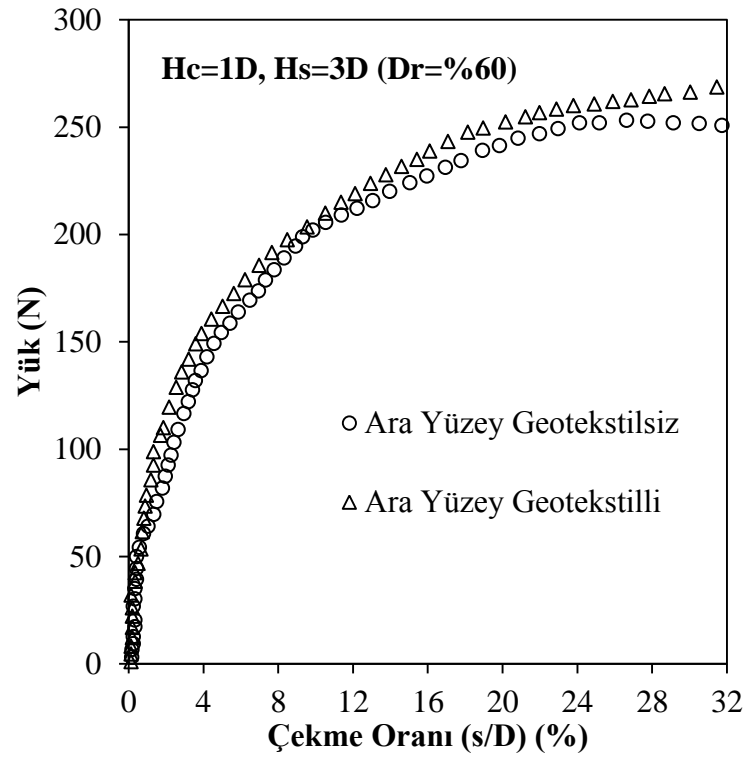
Şekil 4.23. Kil Zemine Gömülü Helisel ve Dairesel Ankraj İçin Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.3.2. Seri 4 ve Seri 5 Deneylerinin Karşılaştırılması

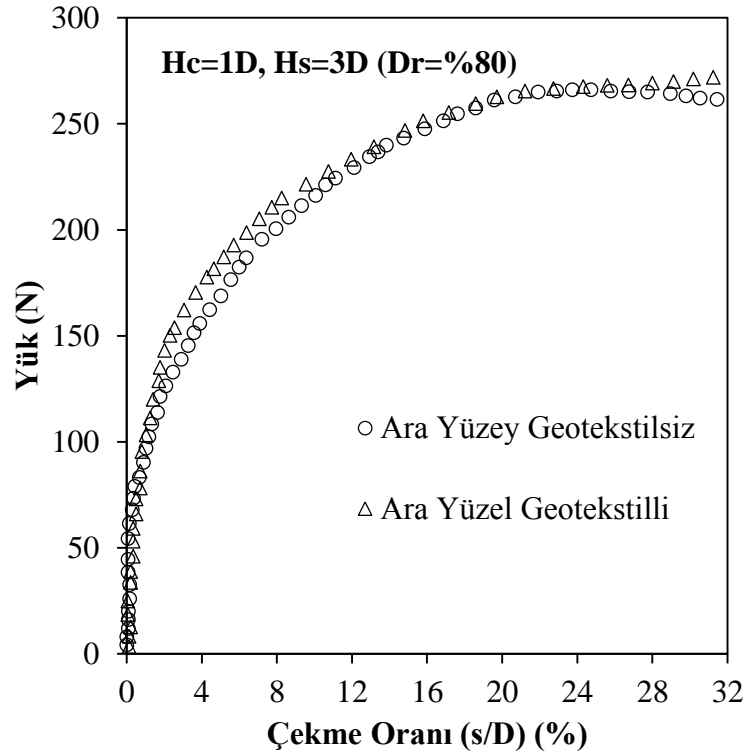
Seri 4 ve Seri 5 deneylerinde kil kum tabakalı zeminde, farklı sıklıktaki kum tabakaları altında geotekstilli ve geotekstilsiz durum için helisel ankrajların çekme kapasitesi incelenmiştir. Şekil 4.24., Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.'da geotekstil donatının helisel ankraj plakalarının çekme davranışına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%40)



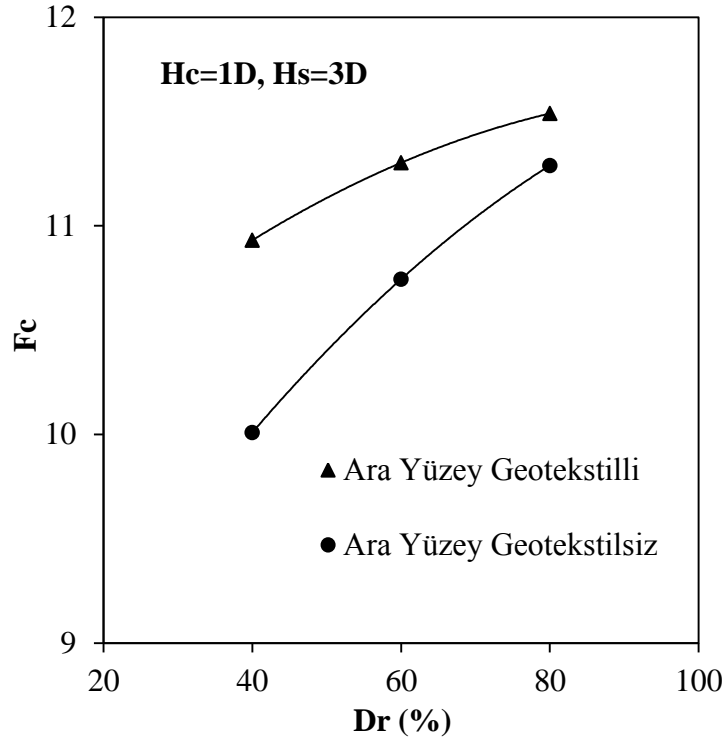
Şekil 4.25. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (D<sub>r</sub>=%60)



Şekil 4.26. Tabakalı Zeminde Ara Yüze Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%80)

Karşılaştırmadan geotekstilli ve geotekstilsiz tabakalı zeminin yük çekme oranı davranışının benzer olduğu ancak çekme oranının yaklaşık %26 geçmesi ile geotekstilsiz olan deneylerin çekme kapasitesinin bir miktar düştüğü geotekstilli olanlarınsa bir miktar arttığı görülmüştür. Geotekstilli ve geotekstilsiz durumda kum zeminin sıkılığına bağlı kopma faktörü değişimi Şekil 4.27.'de gösterilmiştir. Farklı kum tabakası sıkılıklarında kopma faktörünün geotekstilli durumda biraz daha fazla olduğu ve kum tabakasının sıkılığının artması ile kopma faktörlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür.

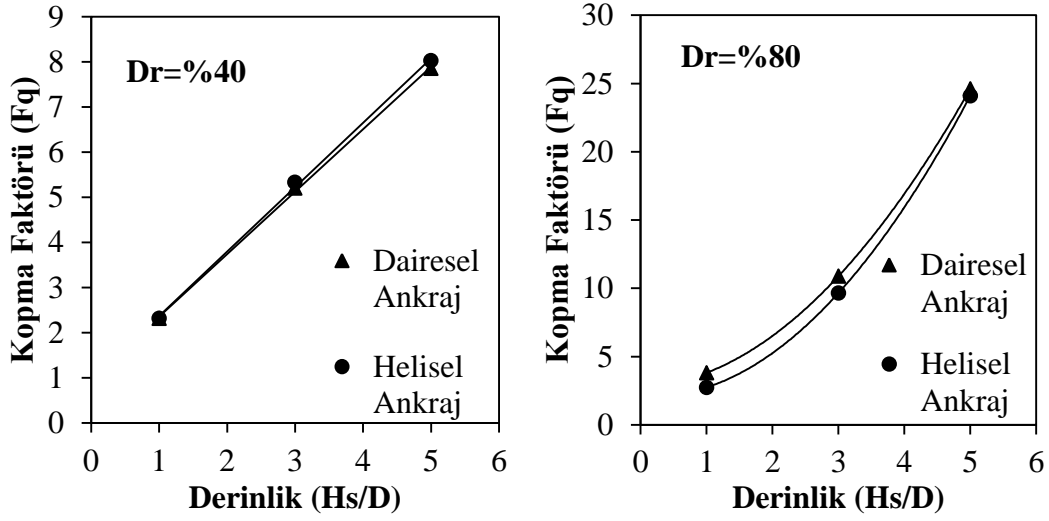




Şekil 4.27. Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geoteksilsiz Durum İçin Sıkılığa Karşılık Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.3.3. Seri 6 ve Seri 7 Deneylerinin Karşılaştırılması

Helisel ve dairesel ankraj plakalarının kum zemindeki derinliğe bağlı kopma faktörü değişimi Şekil 4.28.'de gösterilmiştir. Dairesel ve helisel ankrajların kum zeminlerde derinlikle ve sıklıkla değişen kopma faktörlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Kum Zeminlere Gömülü Helisel ve Dairesel Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.4. Sayısal Analiz Sonuçları

Sayısal analizde, Bölüm 3'te ifade edilen deneysel çalışma programına benzer olarak, killi, kumlu, tabakalı ve ara yüzeyi geotekstil ile güçlendirilmiş tabakalı zeminlerde ankraj plakalarına gelen çekme kuvvetleri altındaki yük-deplasman ilişkileri, PLAXIS bilgisayar paket programı kullanılarak araştırılmıştır. Analizlerde zemin, çevre, sınır ve yükleme koşulları deneysel çalışmadakiler ile aynı tutulmaya çalışılmıştır.

Deney kasasının geometrik modeli, iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak oluşturulmuştur (Şekil 4.29.). Geometrik modelin genişliği eksenel simetrik koşullarda 30 cm ve toplam zemin yüksekliği 60 cm'dir. Zemin ortamı 15 düğümlü üçgen elemanlarla modellenmiştir. Model ankraj, Lineer Elastik malzeme modeli kullanılarak modellenmiş olup, malzeme özellikleri ise,  $EA=5.00 \times 10^6$  kN/m,  $EI=8500$  kNm<sup>2</sup>/m'dir.

Analizlerde kum zeminin davranışı Hardening Soil (Pekleşen Zemin), kil zeminin davranışı ise Soft Soil (Yumuşak Zemin) modelleri ile modellenmiştir. Kum zeminin

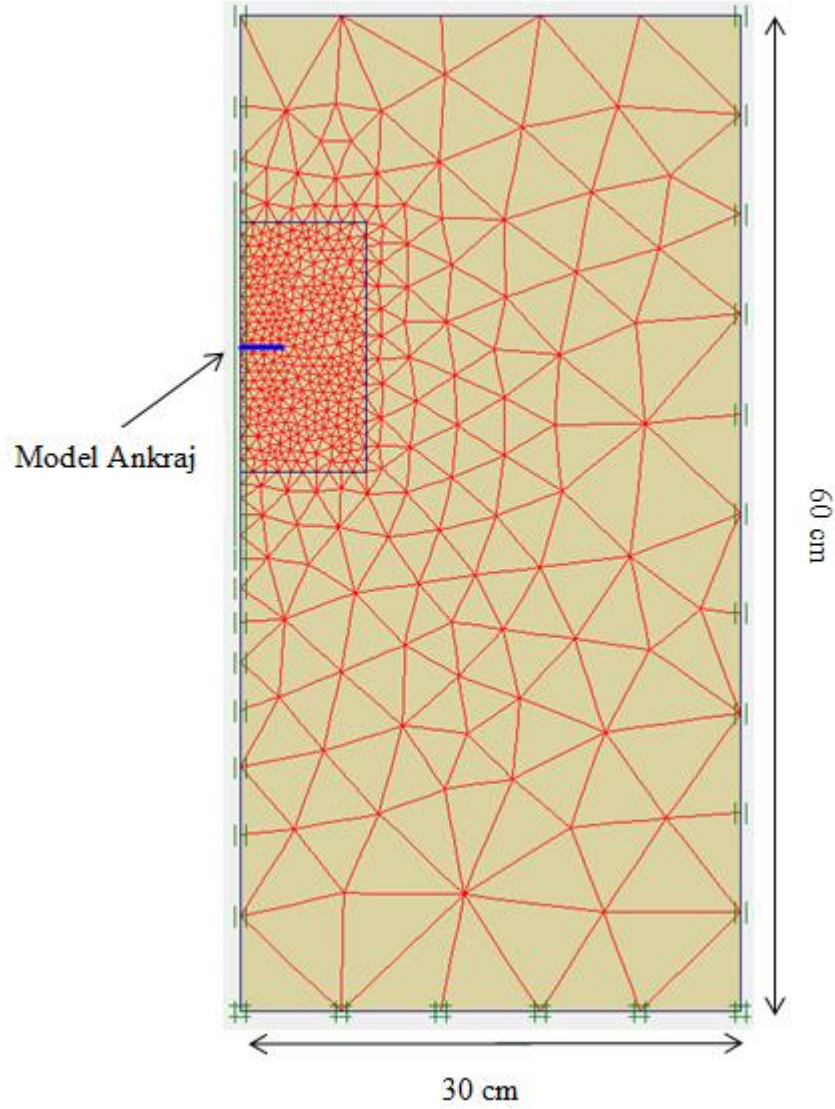
model parametreleri Çizelge 4.8.'de, kil zeminin model parametreleri Çizelge 4.9.'da verilmektedir. Deney ortamı sonlu elemanlara ayrılırken, tabakalı ve homojen kum zeminde ankraj etrafında ağ sıklaştırması yapılmıştır. Model ortamında kullanılan eleman sayısı genel olarak homojen kum zeminde 200-250 arası, homojen kil ve tabakalı zeminde 150-200 arası tutulmuştur.

Çizelge 4.8. Kum Zemin İçin Model Parametreler

Parametre Adı	Simge	Birim	$\gamma_k=16,4$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_k=16,7$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_k=17,1$ kN/m <sup>3</sup>
Referans basınç değeri	$p^{ref}$	kN/m <sup>3</sup>	100	100	100
Üç eksenli yükleme rijitliği	$E_{50}$	kN/m <sup>3</sup>	10000	20000	30000
Üç eksenli yükleme-boşaltma rijitliği	$E_{ur}$	kN/m <sup>3</sup>	10000	20000	30000
Ödometre yükleme rijitliği	$E_{oed}$	kN/m <sup>3</sup>	24000	48000	72000
Kohezyon	$c$	kN/m <sup>3</sup>	0.00001	0.00001	0.00001
Kayma mukavemet açısı	$\phi$	(°)	35	37.5	40
Dilatasyon açısı	$\psi$	(°)	5	7.5	10
Poisson oranı	$\nu$	-	0.2	0.2	0.2
Zemin basınç katsayısı	$K_o$	-	0.426	0.391	0.357
Göçme oranı	$R_f$	-	0.9	0.9	0.9
Rijitlik	$R_{inter}$	-	0.67	0.67	0.67

Çizelge 4.9. Kil Zemin İçin Model Parametreler

Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Birim hacim ağırlık	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18.2
Kohezyon	$c$	kN/m <sup>3</sup>	12
Kayma mukavemet açısı	$\phi$	(°)	25
Dilatasyon açısı	$\psi$	(°)	0
Poisson oranı	$\nu$	-	0.15
Lambda*	$\lambda^*$	-	0.085
Kappa*	$\kappa^*$	-	0.035
Rijitlik	$R_{inter}$	-	1.00



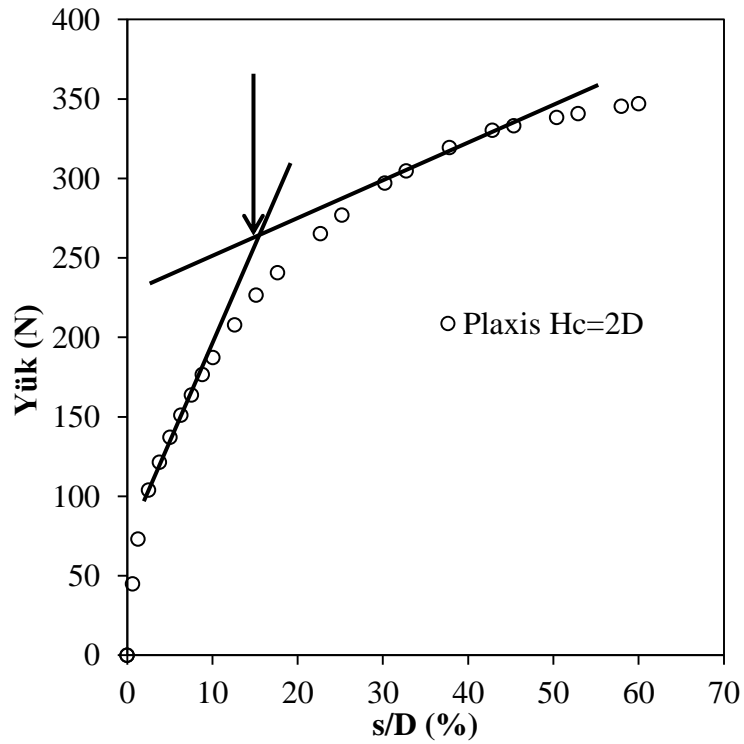
Şekil 4.29. Analizlerde Kullanılan Tipik Sonlu Elemanlar Ağı

#### 4.4.1.Seri 1 – Seri 2: Kil Zeminlerde Gömülme Derinliğinin Ankraj Çekme Kapasitesine Etkisi

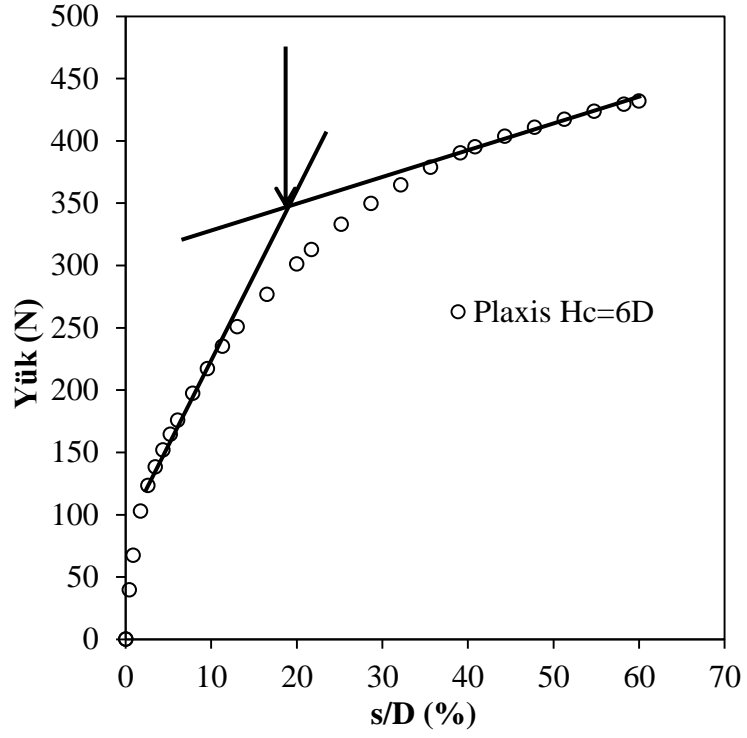
Merifield (2011)'de helisel ankraj plakasının adımlarını modellemedeki zorlukları ortadan kaldırmak için helisel ankraj plakaları dairesel ankraj plakaları olarak modellemiştir. Deneylerde kullanılan helisel ankraj plakası, heliselin çapına eşit çaplı dairesel ankraj plakası ile modellenmiştir. Çalışmada kullanılan dairesel ankraj plakasının çapı helisel ankraj plakasının çapına eşit olduğundan Seri 1 ve Seri 2

deneyleri için PLAXIS paket programında tek modelleme yapılmıştır. Bu bölümde yapılan sayısal analizlerde ankraj %35 su içeriğindeki kil zemine farklı derinliklerde gömülmüş ve gömülme derinliğinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Deneyle benzer olarak altı farklı derinlikte altı sayısal analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarından göçme yükünü belirlemek için teğet kesiştirme yöntemi kullanılmıştır (Demir, 2011).

Sayısal analizlerden kile gömülme derinliği 2D ( $H_c/D=2$ ) ve 6D ( $H_c/D=6$ ) olan analizlerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.'de verilmiştir. Çizelge 4.10.'da sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir



Şekil 4.30 Sayısal Analiz ile Kil Zemine Gömülü Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi ( $H_c=2D$ )



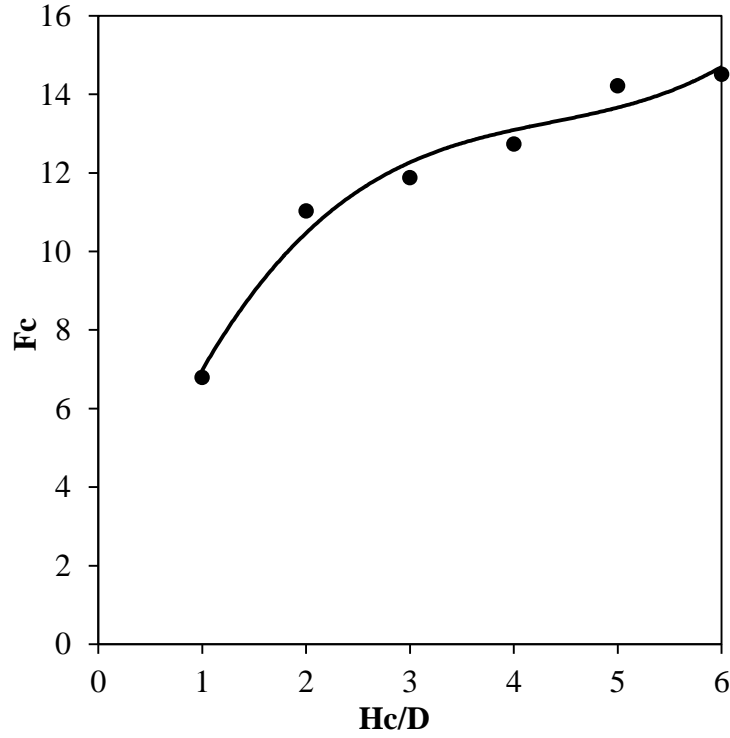
Şekil 4.31. Sayısal Analiz ile Kil Zemine Gömülü Ankrajın Yük-Çekme Oranı Eğrisi (Hc=6D)

Çizelge 4.10. Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Q <sub>0</sub> (N)
1	160
2	260
3	280
4	300
5	335
6	342

Sayısal analiz sonuçlarından ankrajın gömülme derinliği arttıkça göçme yükünde arttığı görülmüştür. Elde edilen göçme yüklerinden Denklem (4.3)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_c$ ) hesaplanmıştır (Şekil 4.32.). Kopma

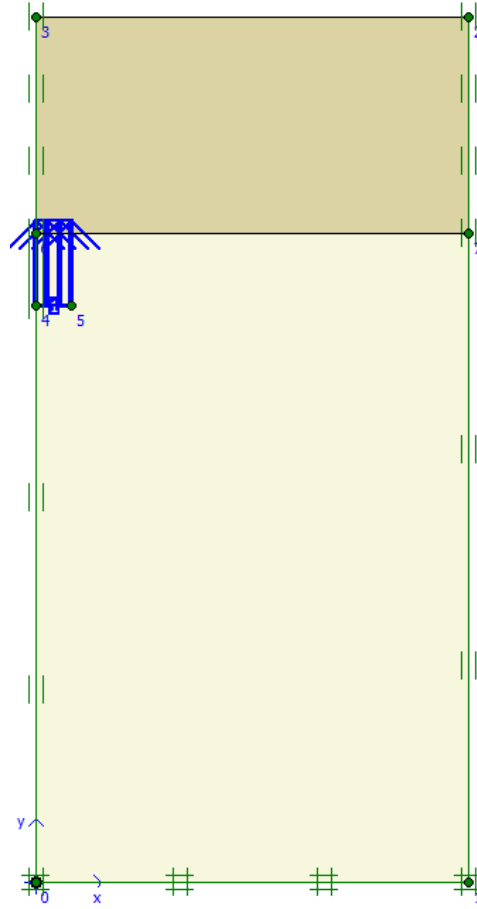
faktörünün başlangıçta gömülme derinliği arttıkça hızla arttığı, gömülme derinliği 3D'yi geçtikten sonra artma hızının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.32. Kil Zeminde Ankraj Gömülme Derinliği ile Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.4.2.Seri 3: Tabakalı Zeminde Kum Tabaka Kalınlığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

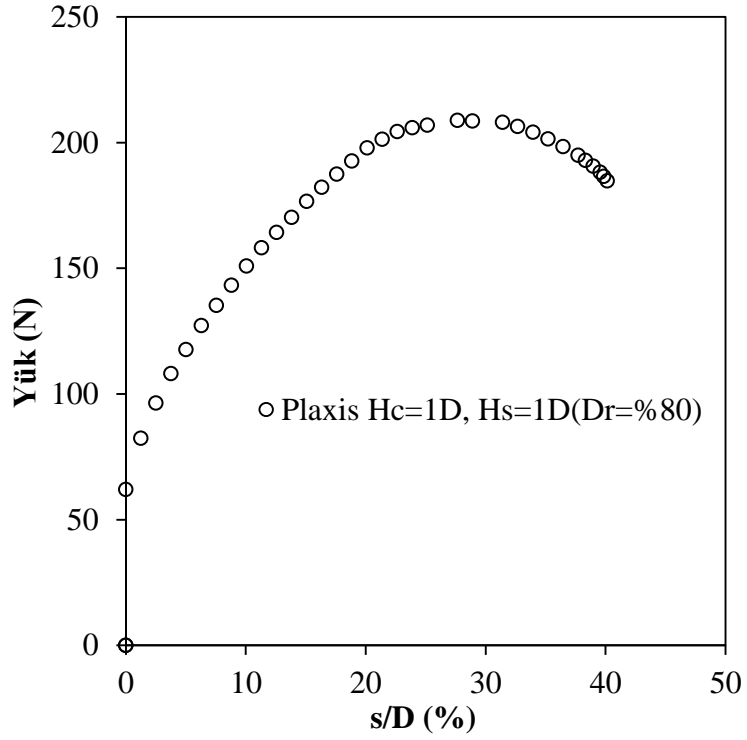
Bu seri için yapılan sayısal analizlerde helisel ankraj plakası %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş üzerine %80 sıklıktaki kum zemin yerleştirilerek tabaklı bir zemin oluşturulmuştur. Bu tabakalı zeminde, üst kısımdaki kum zemin tabakasının kalınlığı değiştirilerek, kum zemin tabaka kalınlığının çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Seri 3 deneylerinin sayısal analizi için oluşturulan modelleme kesiti Şekil 4.33.'de gösterilmiştir. Seri 3 deneylerine paralel olarak kil zemin derinliği sabit olmak üzere kum zemin derinliğinin değiştiği dört farklı sayısal analiz yapılmıştır. Seri 3 deneylerinin sayısal analizlerinde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.



Şekil 4.33. Seri 3 Deneylerinin Sayısal Analizlerinde Kullanılan Modelleme ( $H_c=1D$ ,  $H_s=3D$  ( $D_r=\%80$ ))

Seri 3 deneyleri için yapılan sayısal analizlerde kile gömülme derinliği  $1D$  ( $H_c/D=1$ ) ve kuma gömüle derinliği  $1D$  ( $H_s/D=1D$ ) olan sayısal analizlerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri Şekil 4.34’de verilmiştir. Çizelge 4.11.’de Seri 3 deneylerinin sayısal analizlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



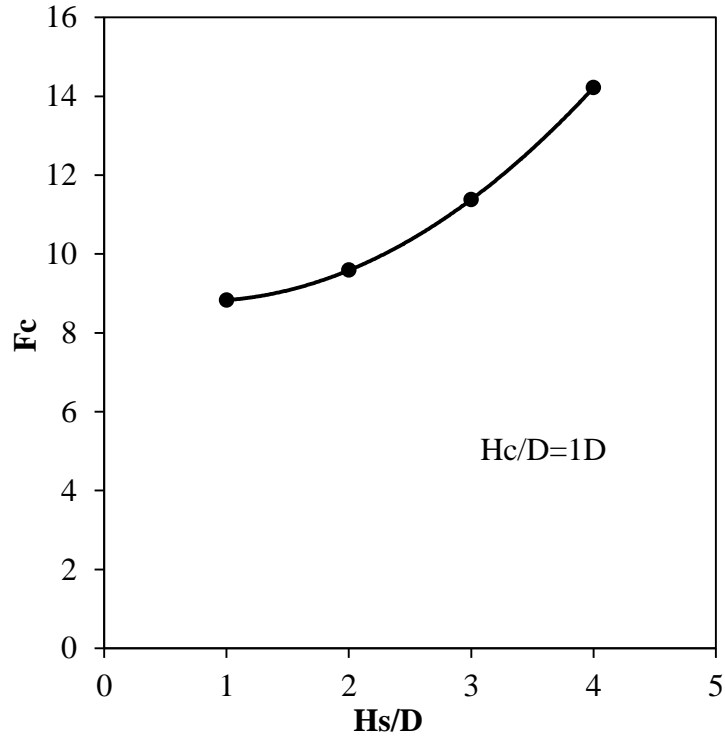


Şekil 4.34. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Hs=1D)

Çizelge 4.11. Seri 3 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Q <sub>0</sub> (N)
1	1	208
1	2	226
1	3	268
1	4	335

Seri 3 deneylerinin sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zemine gömülü helisel ankrajın için üsteki kum tabaka kalınlığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'dan hesaplanmıştır (Şekil 4.35). Kopma faktörünün üsteki kum tabaka kalınlığının artması ile parabolik bir şekilde arttığı görülmüştür.

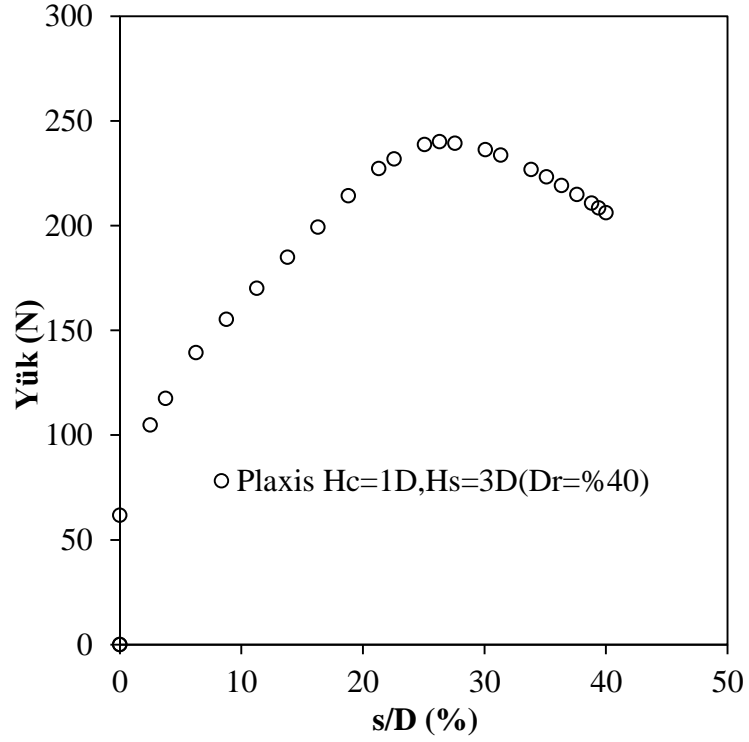


Şekil 4.35. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zeminlerde Kum Tabakası Kalınlığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

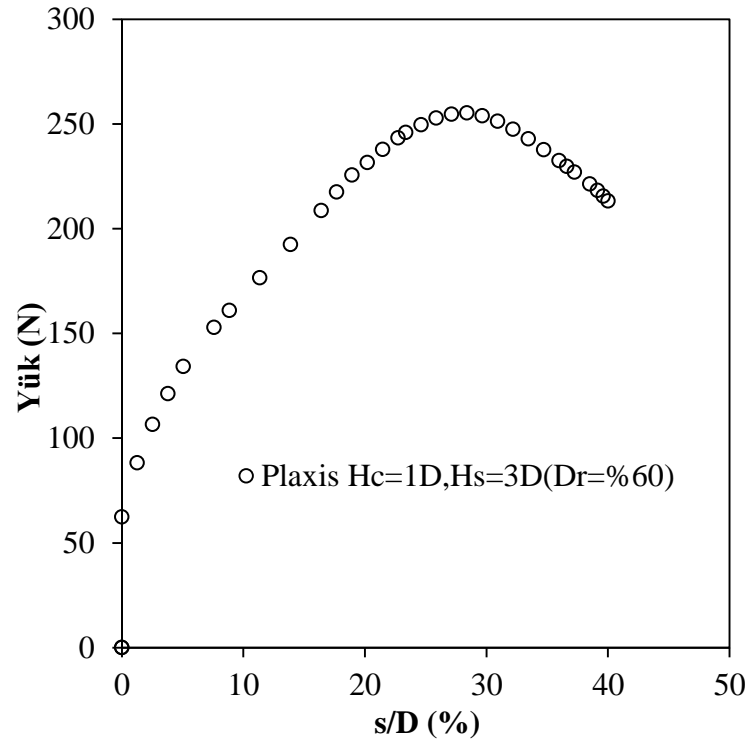
#### 4.4.3. Seri 4: Tabakalı Zeminde Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seri için yapılan sayısal analizlerde helisel ankraj plakası %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş üzerine 3D sabit derinlikte farklı sıklıklarda kum zemin yerleştirilerek tabaklı bir zemin oluşturulmuştur. Kum zemin tabakası %40,%60 ve %80 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş, tabakalı zeminde kum örtüsünün sıklığının çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Seri 4 deneylerinin sayısal analizi için oluşturulan modelleme kesiti Şekil 4.33.'de gösterilen Seri 3 deneylerinin analizinde kullanılan modelleme ile aynıdır. Sadece üsteki kum tabakasının sıklığı ve dolayısı ile parametreleri farklıdır. Seri 4 deneylerine paralel olarak kum zeminin sıklığının değiştiği üç sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analizlerde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.

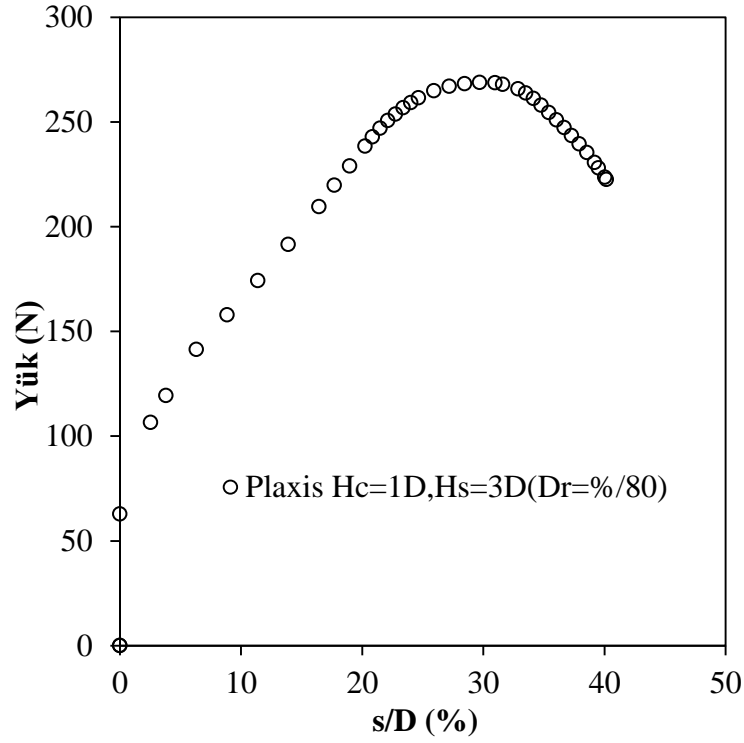
Seri 4 deneylerine paralel yapılan sayısal analizler için üsteki kum tabakası sıklığı %40, %60 ve %80 olan sayısal analizlerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri sırası ile Şekil 4.36., Şekil 4.37. ve Şekil 4.38.'de verilmiştir. Çizelge 4.12.'de Seri 4 deneylerinin sayısal analizlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%40)



Şekil 4.37. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%60)

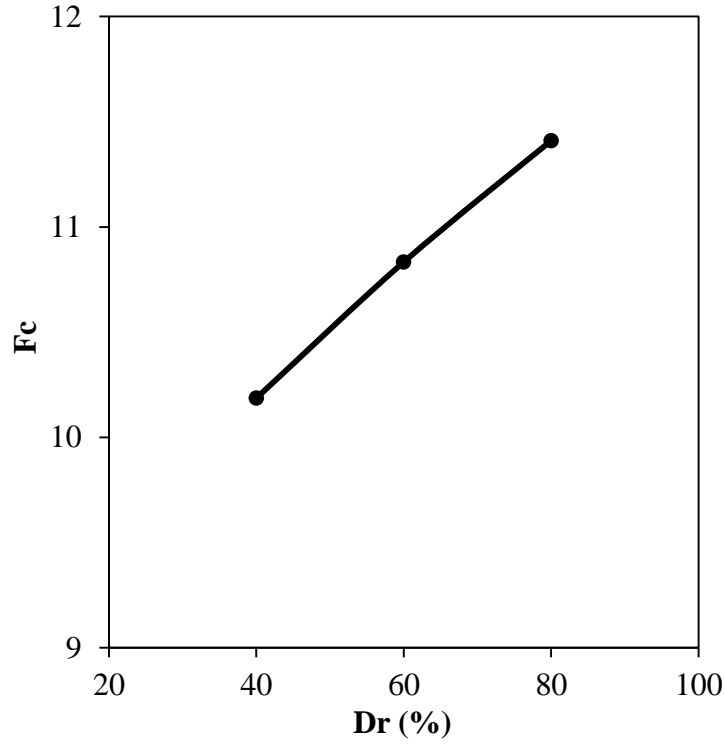


Şekil 4.38. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%80)

Çizelge 4.12. Seri 4 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Dr (%)	Q <sub>0</sub> (N)
1	3	40	240
1	3	60	255
1	3	80	268

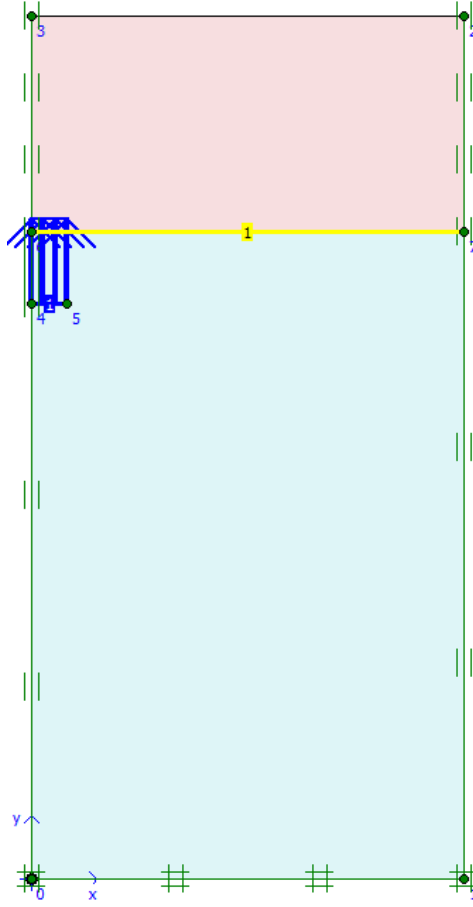
Seri 4 deneyleri için yapılan sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'dan hesaplanmıştır (Şekil 4.39.). Kopma faktörünün üsteki kum tabakası sıklığının artması ile arttığı görülmüştür.



Şekil 4.39. Sayısal Analiz ile Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

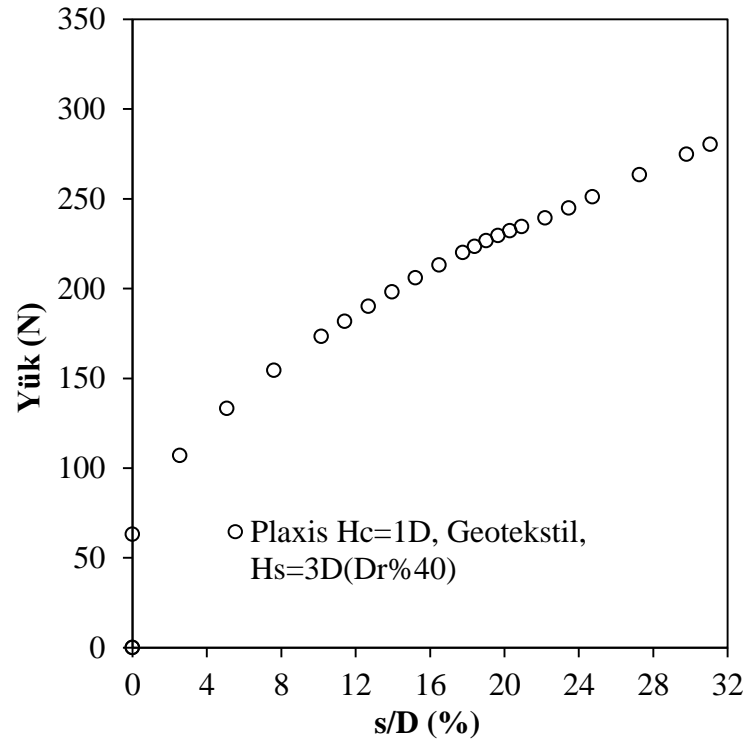
#### 4.4.4. Seri 5: Ara Yüzeye Geotekstil Yerleştirilmesi Durumunda Kum Zemin Sıklığının Helisel Ankrajın Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu seri için yapılan sayısal analizlerde helisel ankraj plakası öncelikle %35 su içeriğindeki kile 1D sabit derinlikte gömülmüş, ara yüzeye geotekstil yerleştirilmiş ve üzerine de 3D sabit derinlikte farklı sıklıklarda kum zemin yerleştirilerek tabakalı bir zemin oluşturulmuştur. Kum zemin tabakası %40,%60 ve %80 olmak üzere üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş tabakalı zeminde ara yüzeye geotekstil yerleştirilmesi durumunda kum zeminin sıklığının helisel ankrajın çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Seri 5 deneylerinin sayısal analizi için oluşturulan modelleme kesiti Şekil 4.40.'da gösterilmiştir. Seri 5 deneylerine paralel olarak kum zeminin sıklığının değiştiği üç sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analizlerde ankrajın göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır.



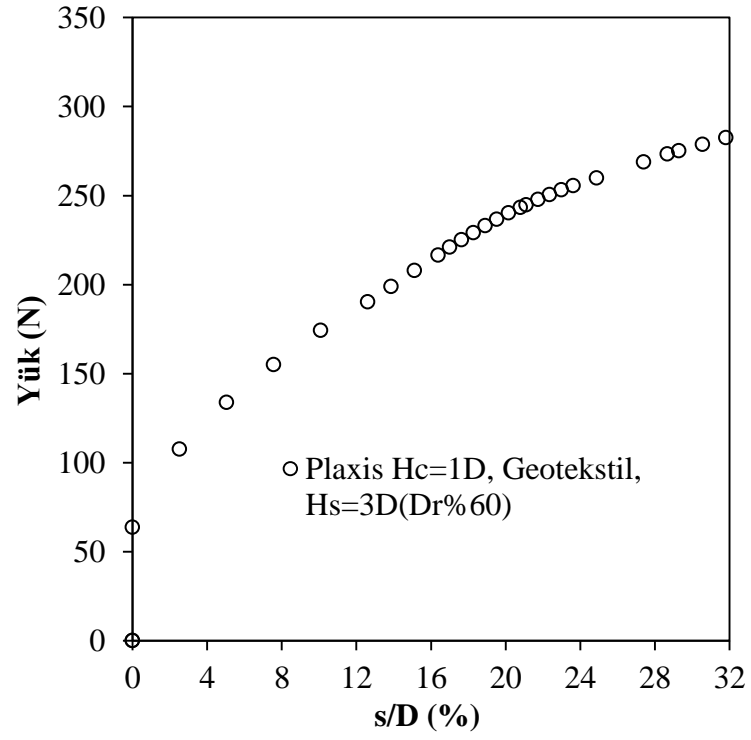
Şekil 4.40. Seri 5 Deneilerinin Sayısal Analizlerinde Kullanılan Modelleme (Hc=1D, Geotekstil, Hs=3D(Dr=%80))

Seri 5 deneylerine paralel yapılan sayısal analizler için üsteki kum tabakası sıkılığı %40, %60 ve %80 olan sayısal analizlerin yüke karşılık çekme oranı eğrileri sırası ile Şekil 4.41., Şekil 4.42. ve Şekil 4.43.'de verilmiştir. Çizelge 4.13.'de Seri 5 deneylerinin sayısal analizlerinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

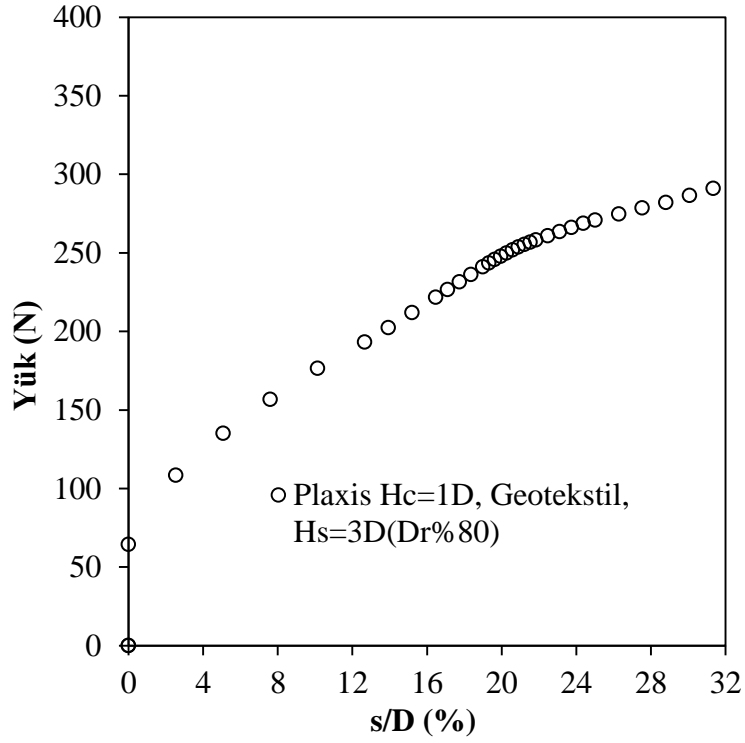


Şekil 4.41. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%40)





Şekil 4.42. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%60)

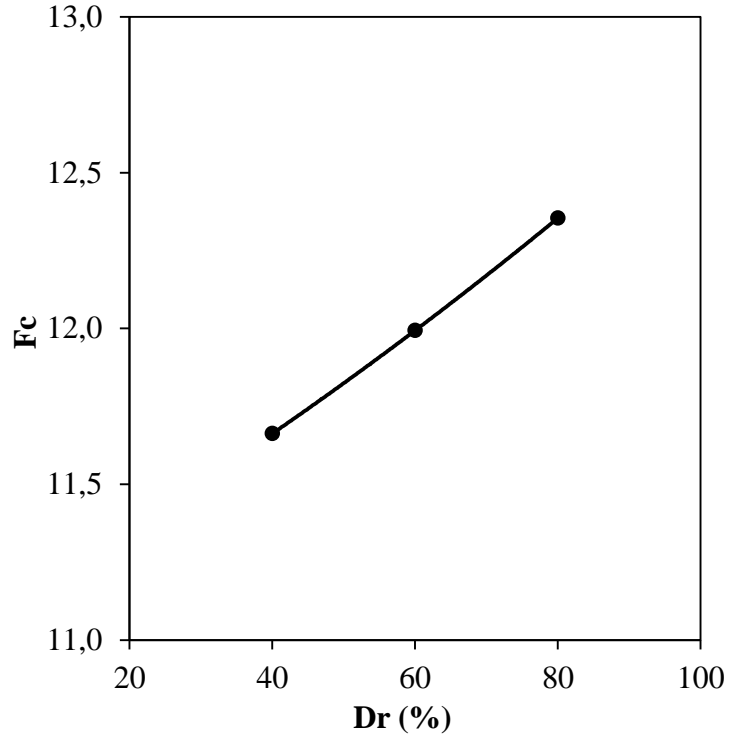


Şekil 4.43. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Yük Çekme Oranı Eğrisi (Dr=%80)

Çizelge 4.13. Seri 5 Deneylerinin Sayısal Analizlerinden Elde Edilen Göçme Yükleri

Hc/D	Hs/D	Dr (%)	Q <sub>0</sub> (N)
1	3	40	274.79
1	3	60	282.59
1	3	80	291.09

Seri 5 deneyleri için yapılan sayısal analiz sonuçlarından ara yüzeyi geotekstilli tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üstteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ankraj plakası kil zemine gömülü olduğu için kopma faktörü ( $F_c$ ) kil zemine göre Denklem (4.3)'den hesaplanmıştır (Şekil 4.44.). Kopma faktörünün üstteki kum tabakası sıklığının artması ile arttığı görülmüştür.



Şekil 4.44. Sayısal Analiz ile Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminde Kum Tabakası Sıklığına Göre Kopma Faktörü Değişimi

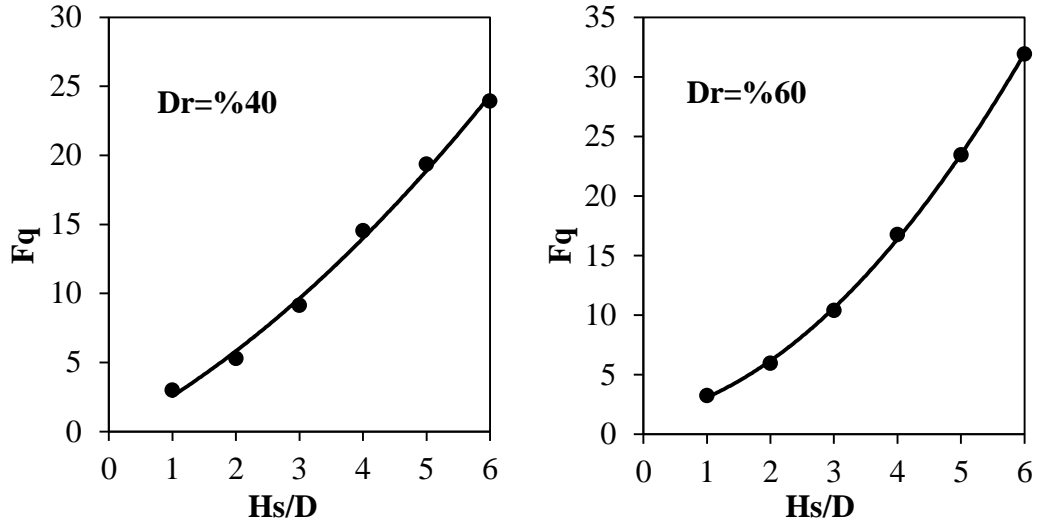
#### 4.4.5. Seri 6 – Seri 7: Kum Zemine Gömülme Derinliğinin ve Kum Sıklığının Ankraj Çekme Kapasitesine Etkisi

Analizlerde homojen kum zeminlere gömülü dairesel ankraj plakaları için kumun sıklığı ve kuma gömülme derinliği parametrelerinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan helisel ankraj plakası için ek analiz yapılmamış, helisel ankraj plakası helisel çapına eşit çaplı dairesel ankraj plakası ile modellenmiştir (Merifield, 2011). Farklı derinliklerde, %40, %60 ve %80 sıklıkta ki kumda 18 analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde göçme yükü nihai yük olarak alınmıştır. Ayrıca Denklem (4.4)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_q$ ) hesaplanmıştır. Çizelge 4.14.'de %40, %60 ve %80 sıklıktaki kumda yapılan analiz sonuçları gösterilmiştir.

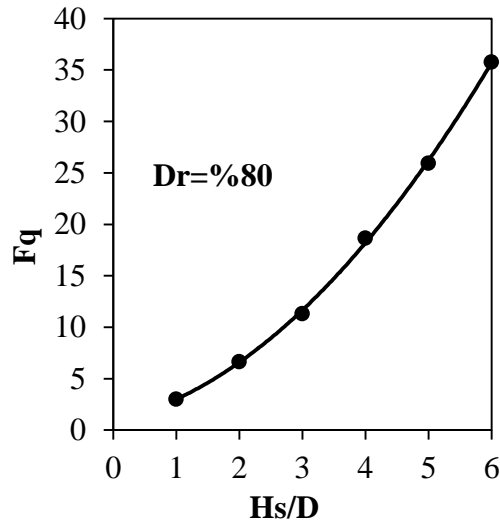
Çizelge 4.14. Seri 6 ve Seri 7 İçin Yapılan Sayısal Analizler Sonucunda Elde Edilen Göçme Yükleri

Hs/D	Dr (%)	Q <sub>u</sub> (N)
1	40	4.82
2	40	17.02
3	40	44.15
4	40	93.71
5	40	155.81
6	40	231.27
1	60	5.23
2	60	19.20
3	60	50.15
4	60	107.91
5	60	188.78
6	60	308.18
1	80	5.05
2	80	22.38
3	80	57.05
4	80	125.32
5	80	217.79
6	80	360.18

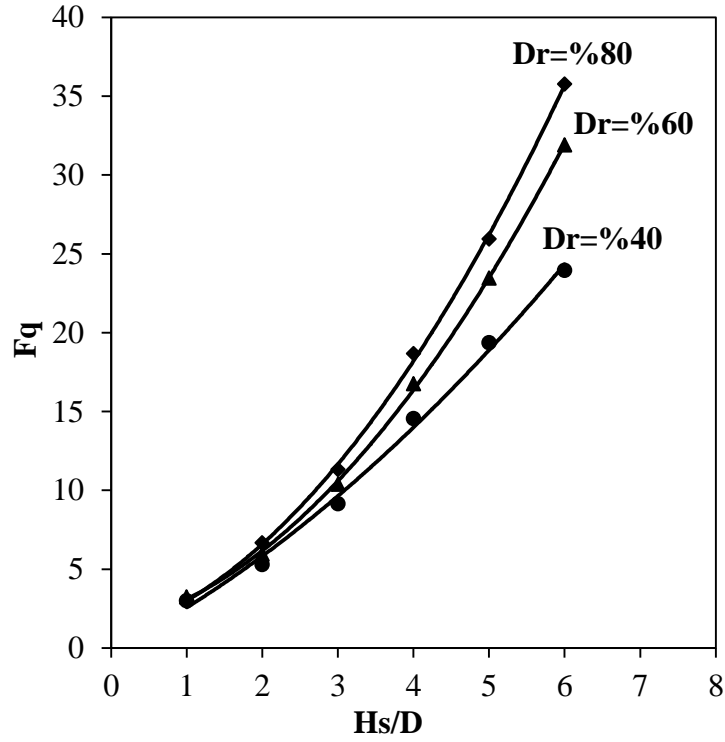
Sayısal analiz sonuçlarından gömülme derinliği ve sıkılık parametrelerinin artması ile çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. %40, %60 ve %80 sıklıktaki kum zeminde yapılan deneyler için Denklem (4.4)' de gösterilen eşitlik kullanılarak hesaplanan kopma faktörleri ( $F_q$ ) %40 ve %60 için Şekil 4.45.'de, %80 için Şekil 4.46.'da gösterilmiştir. Şekil 4.47.'de ise farklı sıklıkta elde edilen kopma faktörleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kopma faktörünün %40 sıklıkta doğrusala çok yakın bir eğri ile arttığı %60 ve %80 sıklıkta parabolik olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca sıklığın artması ile kopma faktörü artmıştır.



Şekil 4.45. Sayısal Analizlerden Kum Zeminlere Gömülü Ankraj İçin %40 ve %60 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi



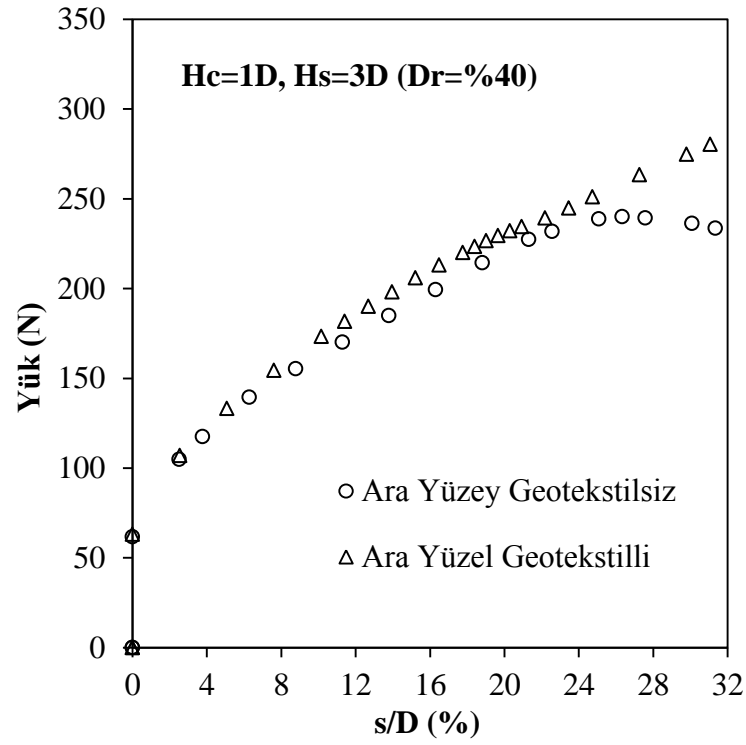
Şekil 4.46. Sayısal Analizlerden Kum Zeminlere Gömülü Ankraj İçin %80 Sıklıkta Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi



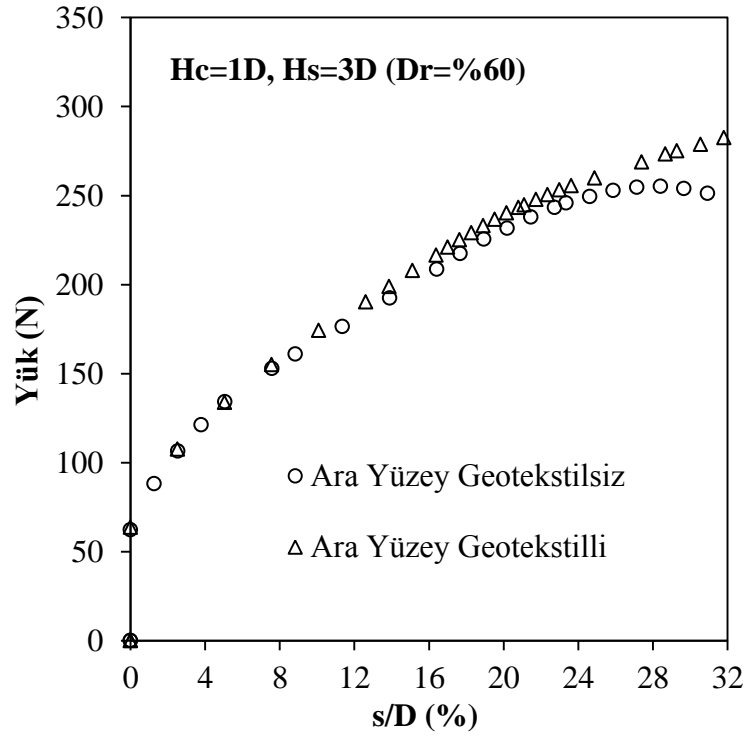
Şekil 4.47. Sayısal Analiz ile Kum Zemine Gömülü Ankraj İçin Farklı Sıkılıklarda Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.5. Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Seri 4 ve Seri 5 sayısal analizlerinde deneylere paralel olarak kil kum tabakalı zeminde, farklı sıkılıktaki kum tabakaları altında geotekstilli ve geotekstilsiz durum için çekme kapasitesi incelenmiştir. Şekil 4.48., Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.'de geotekstil donatının ankraj plakalarının çekme davranışına etkisi gösterilmiştir.

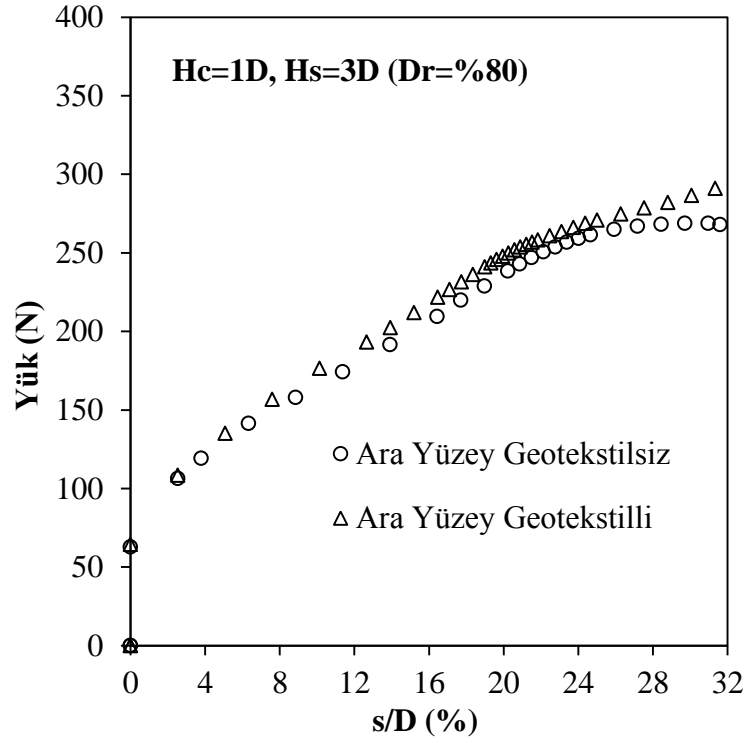


Şekil 4.48. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%40)



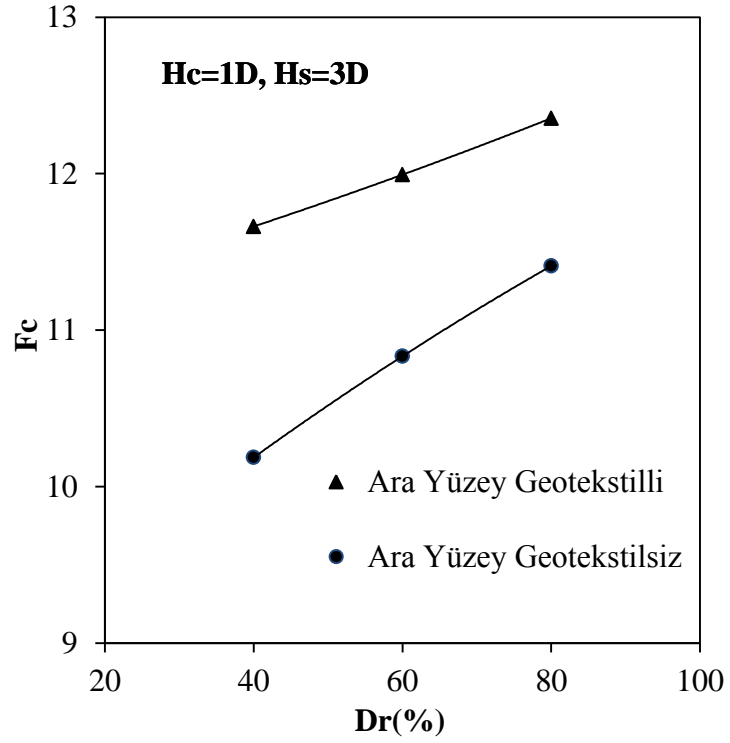
Şekil 4.49. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%60)





Şekil 4.50. Sayısal Analizler ile Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geotekstilsiz Durum İçin Yük Çekme Oranı Eğrileri Karşılaştırması (Dr=%80)

Karşılaştırmadan geotekstilli ve geotekstilsiz tabakalı zeminin yük çekme oranı davranışının benzer olduğu ancak çekme oranının yaklaşık %26 geçmesi ile geotekstilsiz olan sayısal analizlerin çekme kapasitesinin bir miktar düştüğü geotekstilli olanlarınsa bir miktar arttığı görülmüştür. Geotekstilli ve geotekstilsiz durumda kum zeminin sıkılığına bağlı kopma faktörü değişimi Şekil 4.51.'de gösterilmiştir. Farklı kum tabakası sıkılıklarında kopma faktörünün geotekstilli durumda biraz daha fazla olduğu ve kum tabakasının sıkılığının artması ile kopma faktörlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür.

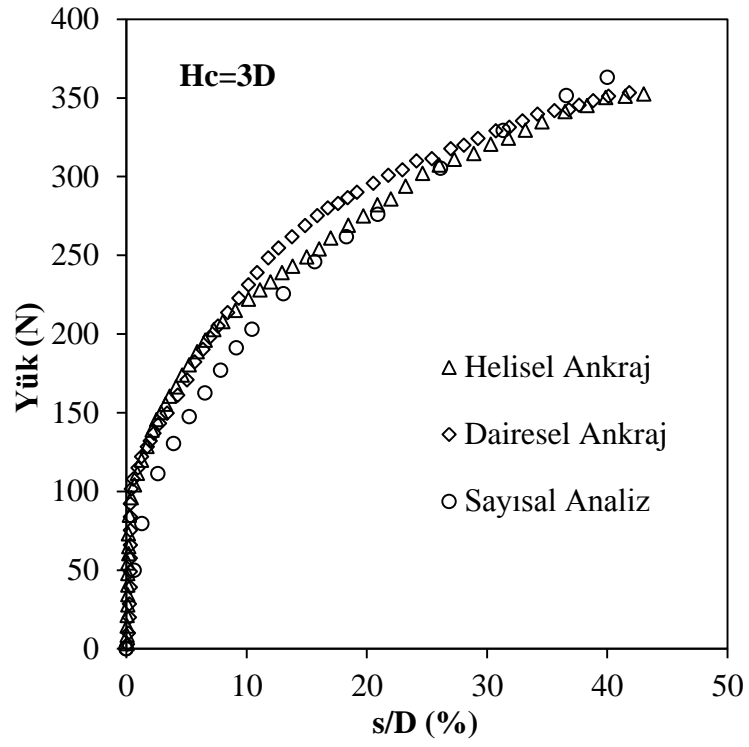


Şekil 4.51. Sayısal Analizlerden Tabakalı Zeminde Ara Yüzey Geotekstilli ve Geoteksilsiz Durum İçin Sıklılığa Karşılık Kopma Faktörü Değişimi

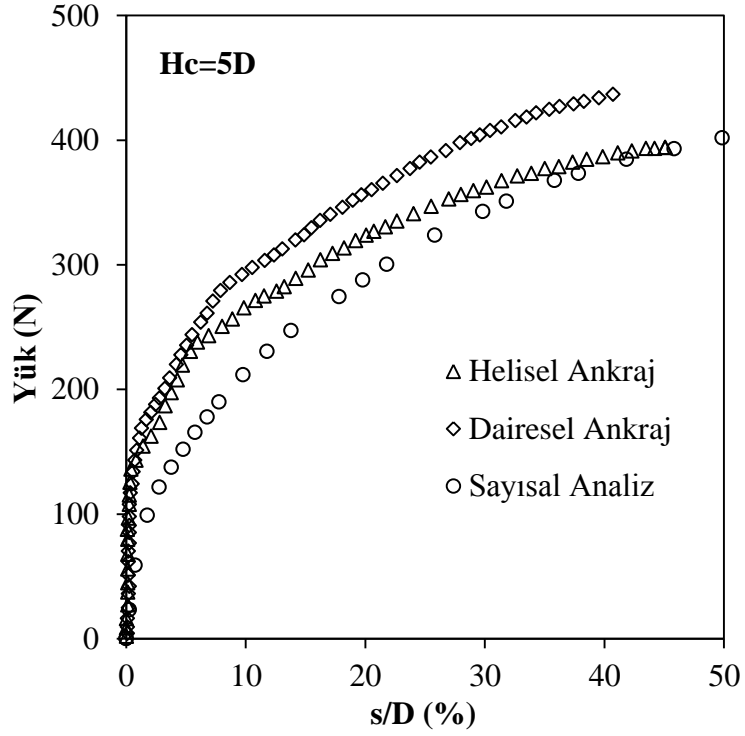
#### 4.6. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

##### 4.6.1. Seri 1 – Seri 2 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması

Seri 1 ve Seri 2 deneyleri için ortak sayısal analiz yapıldığından, bu bölümde yapılan ortak analiz ile iki seri birlikte karşılaştırılmıştır. Şekil 4.52. ve Şekil 4.53.'de Hc=3D ve Hc=5D deneyleri ve sayısal analizlerini karşılaştırmak için yüke karşılık çekme oranı eğrileri gösterilmiştir.

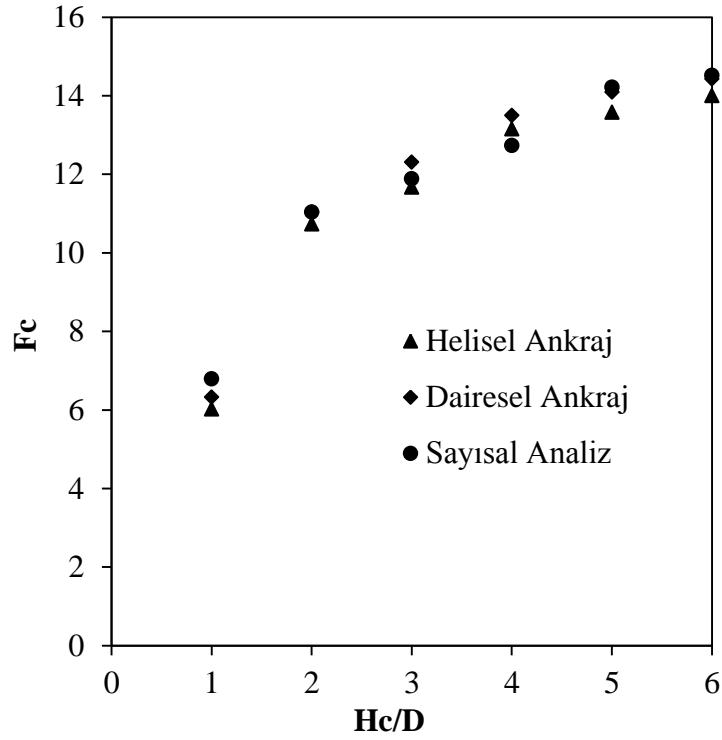


Şekil 4.52. Kil Zeminde Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ( $H_c=3D$ )



Şekil 4.53. Kil Zeminde Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması (Hc=5D)

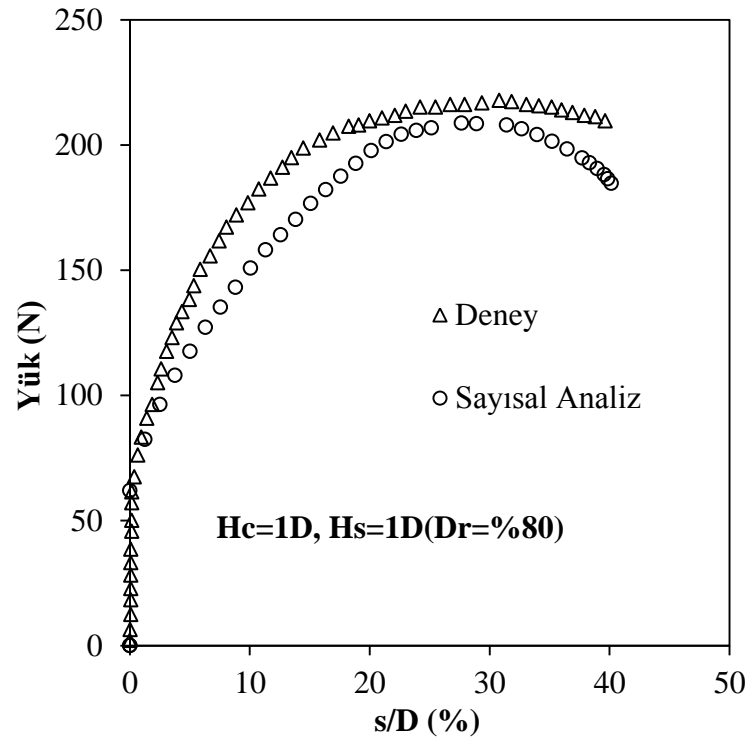
Seri 1, Seri 2 deneyleri ve bu deneyler için ortak yapılan sayısal analiz sonuçlarından yük çekme oranı davranışlarının birbirlerine benzer olduğu görülmüştür. Bu üç durum için kil zemindeki derinliğe bağlı kopma faktörü değişimi karşılaştırması Şekil 4.54.'de gösterilmiştir. Kil zeminde gömülü helisel ankrajlı deneyler, dairesel ankrajlı deneyler ve sayısal analiz sonuçlarından elde edilen kopma faktörlerinin derinlikle değişimi davranışının birbirine benzer olduğu görülmüştür.



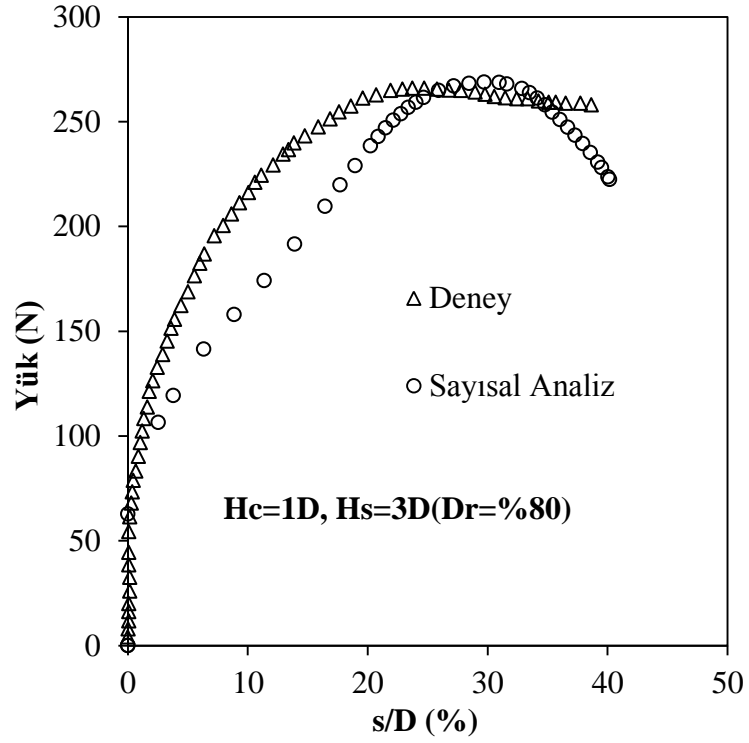
Şekil 4.54. Kil Zemine Gömülü Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.6.2. Seri 3 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması

Bu bölümde Seri 3 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analizlerin karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 4.55. ve Şekil 4.56.'da  $H_c=1D$ ,  $H_s=1D$  ( $D_r=80\%$ ) ve  $H_c=1D$ ,  $H_s=3D$  ( $D_r=80\%$ ) deneyleri ve sayısal analizlerini karşılaştırmak için yüke karşılık çekme oranı eğrileri gösterilmiştir.

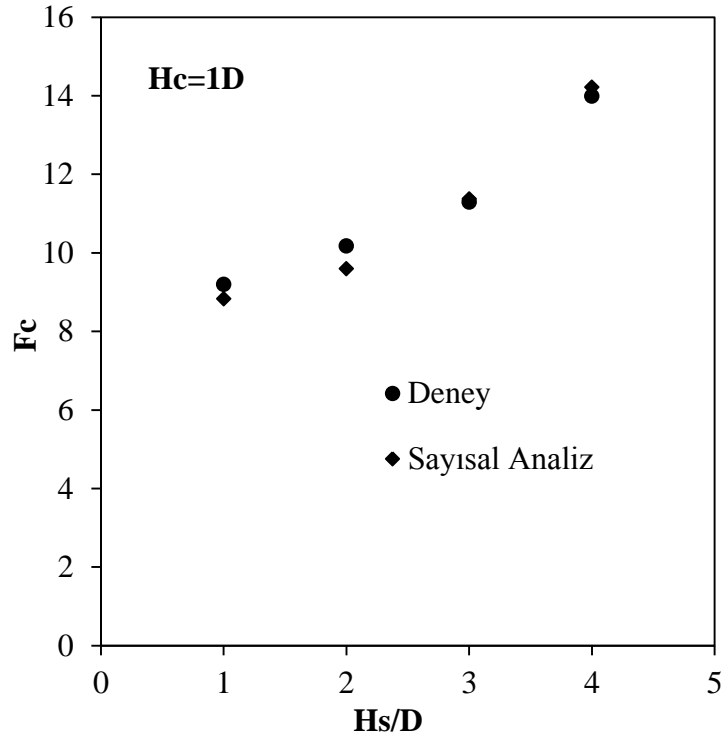


Şekil 4.55. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması ( $H_s=1D$ )



Şekil 4.56. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Hs=3D)

Seri 3 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analiz sonuçlarından yük çekme oranı davranışlarının birbirlerine benzer olduğu görülmüştür. Seri 3 deneyleri ve sayısal analizlerinden Denklem (4.3) yardımıyla elde edilen kopma faktörü ( $F_c$ ) değişimi Şekil 4.57.'de gösterilmiştir. Deney ve sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zeminlerde kum zemin derinliği ile kopma faktörü değişimini davranışı benzerdir.

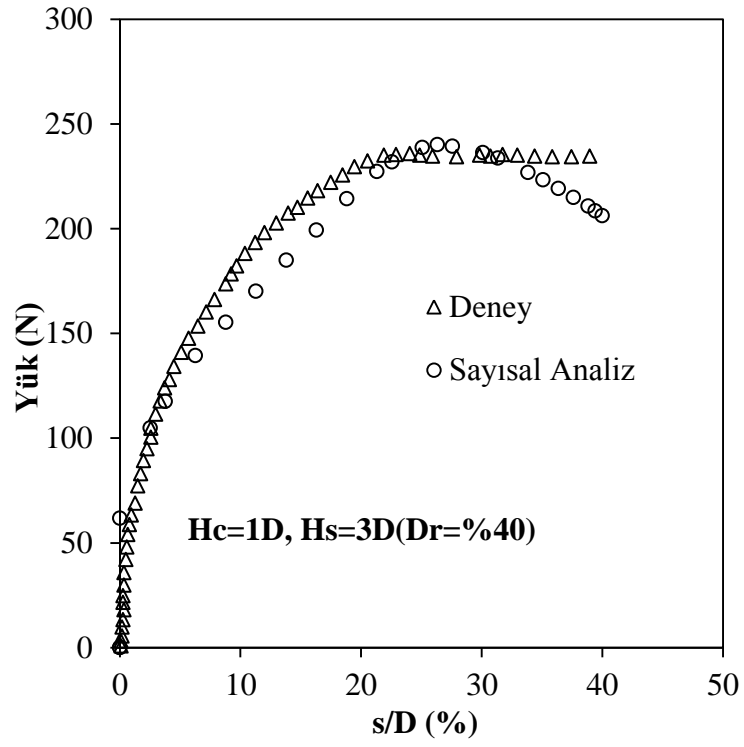


Şekil 4.57. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Tabakalı Zeminlerde Kum Zemin Derinliğine Bağlı Kopma Faktörü Değişimi

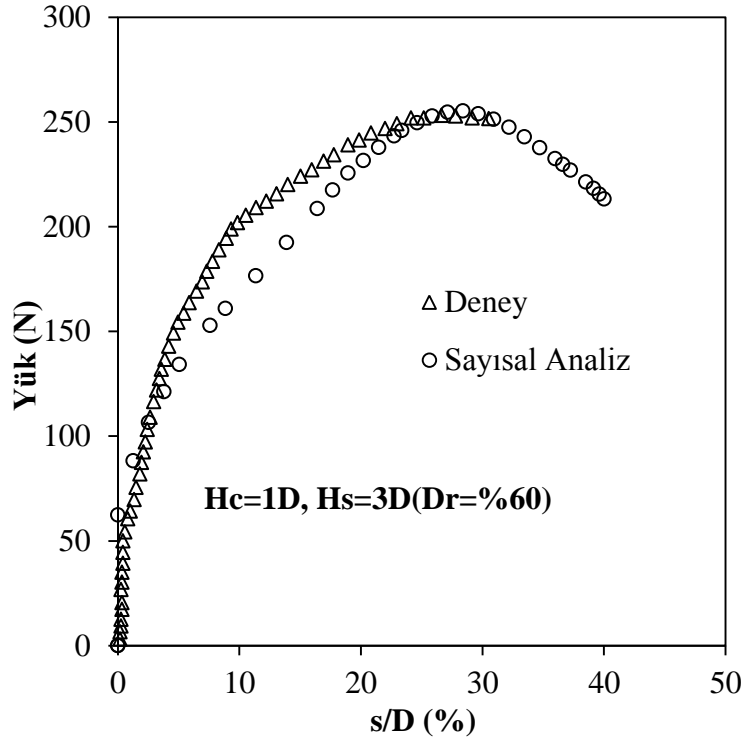
#### 4.6.3. Seri 4 DeneYleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması

Bu bölümde Seri 4 deneYleri ve bu deneYler için yapılan sayısal analizlerin karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 4.58. ve Şekil 4.59.'da  $H_c=1D$ ,  $H_s=3D(D_r=\%40)$  ve  $H_c=1D$ ,  $H_s=3D(D_r=\%60)$  deneYleri ve sayısal analizlerini karşılaştırmak için yüke karşılık çekme oranı eğrileri gösterilmiştir



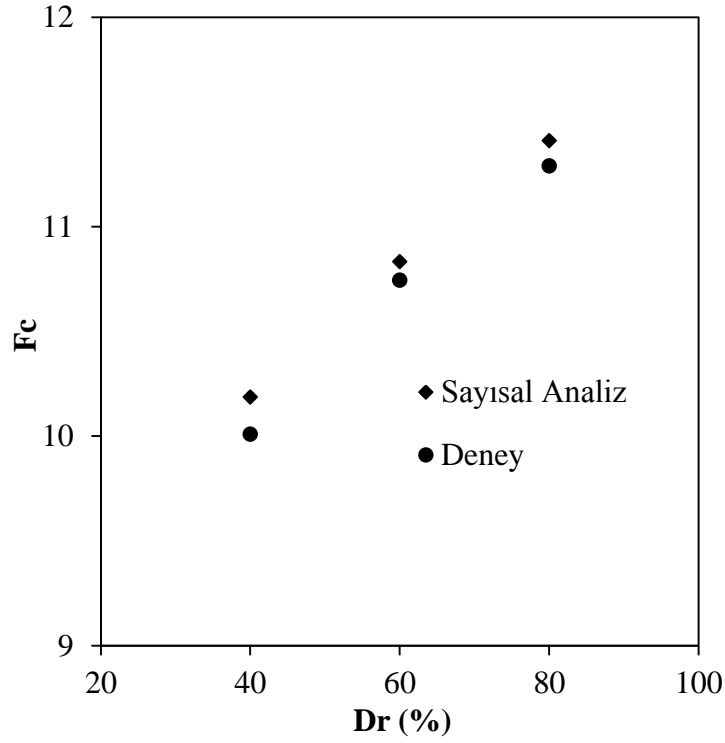


Şekil 4.58. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması ( $D_r=40\%$ )



Şekil 4.59. Tabakalı Zemine Gömülü Helisel Ankrajın Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması (Dr=%60)

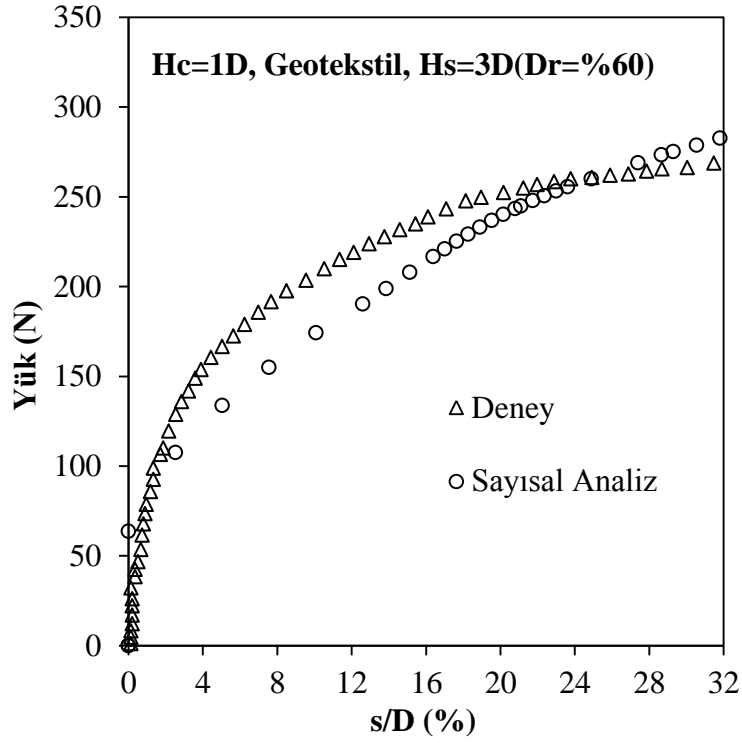
Hc=1D, Hs=3D(Dr=%80) deney sonucunun sayısal analiz sonucu ile karşılaştırılması Şekil 4.56.'da verilmiştir. Seri 4 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analiz sonuçlarından yük çekme oranı davranışlarının birbirlerine benzer olduğu görülmüştür. Seri 4 deneyleri ve sayısal analizlerinden Denklem (4.3) yardımıyla elde edilen kopma faktörü (Fc) değişimi Şekil 4.60.'da gösterilmiştir. Deney ve sayısal analiz sonuçlarından tabakalı zeminlerde kum zeminin sıklığı ile kopma faktörü değişimini davranışı benzerdir.



Şekil 4.60. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Tabakalı Zeminlerde Kumun Sıklığına Bağlı Kopma Faktörü Değişimi

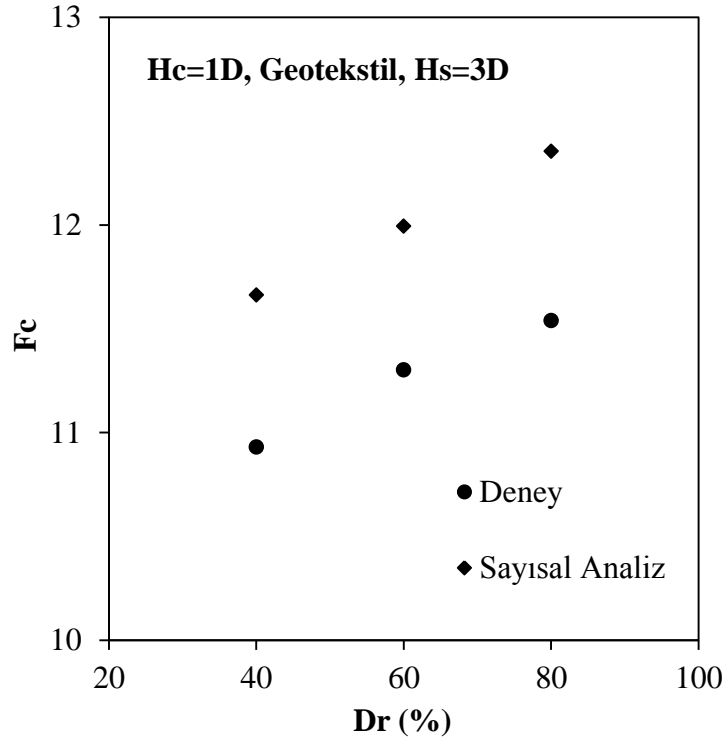
#### 4.6.4. Seri 5 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması

Bu bölümde Seri 5 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analizlerin karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 4.61.'de  $H_c=1D$ , Geotekstil,  $H_s=3D$  ( $Dr=\%60$ ) deneyleri ve sayısal analizlerini karşılaştırmak için yüke karşılık çekme oranı eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.61. Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlere Gömülü Helisel Ankrajın Deneysel ve Sayısal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ( $D_r = \%60$ )

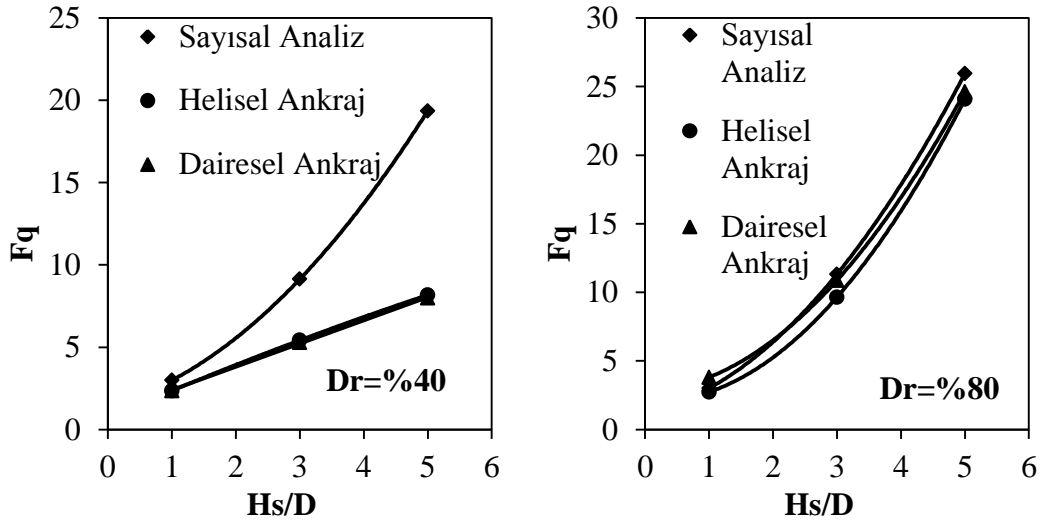
Seri 5 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analiz sonuçlarından yük çekme oranı davranışlarının birbirlerine kısmen benzer olduğu görülmüştür. Seri 5 deneyleri ve sayısal analizlerinden Denklem (4.3) yardımıyla elde edilen kopma faktörü ( $F_c$ ) değişimi Şekil 4.62.'de gösterilmiştir. Deneysel ve sayısal analiz sonuçlarından ara yüzey geotekstilli tabakalı zeminlerde kum zeminin sıkılığı ile kopma faktörü değişimini davranışı benzer olduğu ancak analiz sonuçlarının deneysel sonuçlardan bir miktar fazla olduğu görülmüştür.



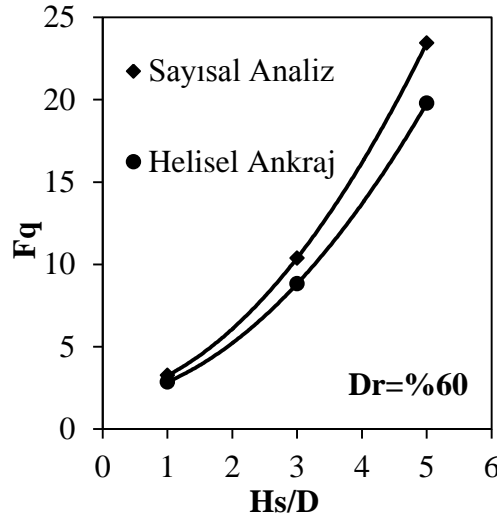
Şekil 4.62. Deney ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre Ara Yüzeyi Geotekstilli Tabakalı Zeminlerde Kumun Sıklığına Bağlı Kopma Faktörü Değişimi

#### 4.6.5. Seri 6 – Seri 7 Deneyleri ve Sayısal Analiz Sonuçları Karşılaştırması

Seri 6 ve Seri 7 deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal analizlerde kum zeminlere gömülü ankraj plakaları için kumun sıklığı ve kuma gömülme derinliği parametrelerinin çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan helisel ankraj plakası için ek analiz yapılmamış, helisel ankraj plakası helisel çapına eşit çaplı dairesel ankraj plakası ile modellenmiştir (Merifield, 2011). Seri 6 ve Seri 7 deneyleri için ortak sayısal analiz yapıldığından, bu bölümde yapılan ortak analiz ile iki seri birlikte karşılaştırılmıştır. Denklem (4.4)' de gösterilen eşitlik kullanılarak kopma faktörleri ( $F_q$ ) hesaplanmıştır. Helisel Ankraj, dairesel ankraj ve sayısal analizlerden elde edilen kopma faktörleri, %40 ve %80 sıklıktaki kum zemin için Şekil 4.63.'de, %80 sıklıktaki kum zemin için Şekil 4.64.'de kıyaslanmıştır.



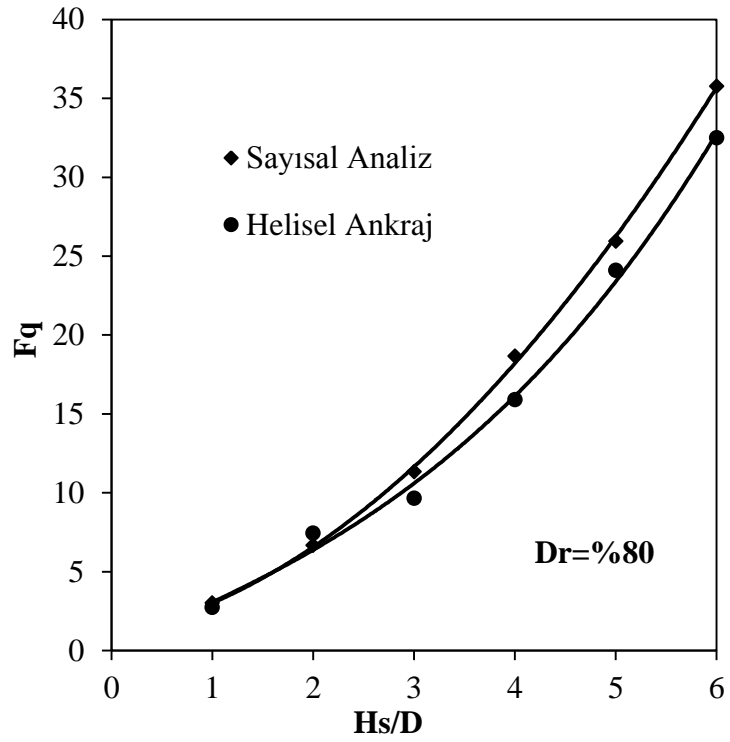
Şekil 4.63. Helisel Ankraj, Dairesel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %40 ve %80 Sıklıklardaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi



Şekil 4.64. Helisel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %60 Sıklıklardaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

Seri 6, Seri 7 ait deneysel ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırıldığında sıklığın artması ile beraber sonuçların birbirine yaklaştığı ancak %40 sıklıkta analiz değerlerinin bir miktar yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 4.65.'de %80 sıklıktaki kum zemine gömülü helisel ankraj deneyleri ve bu deneyler için yapılan sayısal

analiz sonuçlarına göre derinlikle kopma faktörleri değişimi karşılaştırması sunulmuştur.



Şekil 4.65. Helisel Ankraj ve Sayısal Analiz Sonuçlarına Göre %80 Sıklıktaki Kum Zeminde Derinlik İle Kopma Faktörü Değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, öncelikle kil kum ve tabakalı zeminlere gömülü, ankraj plakalarının çekme kapasitesi laboratuvar ortamında deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneylerde metalden imal edilen çapları  $D=50$  mm olan helisel ve dairesel şekilli iki farklı ankraj plakası kullanılmıştır. Çalışma farklı zemin türlerinde gerçekleştirilmiştir. Kil zeminlerde ankraj plakasının şekli (dairese ve helisel) ve gömülme oranı ( $H_c/D$ ), kum zeminlerde ankraj plakasının şekli, gömülme oranı ( $H_s/D$ ) ve kumun sıklığı, tabakalı zeminlerde kum zeminin sıklığı, kum zemine gömülme derinliği ve kil kum tabakaları arasına geosentetik yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, kil, kum ve tabakalı zeminlere gömülü ankraj plakalarının çekme kapasitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanan PLAXIS bilgisayar programı yardımı ile 2 boyutlu aksel simetrik koşullarda modellenip sayısal çözümler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Aşağıda mevcut çalışmadan çıkarılan sonuçlar sunulmaktadır.

1. Kil zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankraj için gömülme derinliği arttıkça göçme yükünde arttığı görülmüştür. Ayrıca kopma faktörünün başlangıçta gömülme derinliği arttıkça hızla arttığı, gömülme derinliği 3D'yi geçtikten sonra artma hızının azaldığı görülmüştür.

2. Kil zemine gömülü helisel ankrajlı deneyler, dairesel ankrajlı deneyler ve sayısal analiz sonuçlarından elde edilen kopma faktörlerinin derinlikle değişiminin birbirleri ile uyumlu ve yük-çekme oranı davranışlarının da benzer olduğu görülmüştür.

3. Kil zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankraj için 3D gömülme derinliğine kadar zemin yüzeyinde gerilme çatlakları görülmüş, gömülme derinliği 3D'yi geçtikten sonra gerilme çatlakları kaybolmuştur. Bu sonuç, Sing, vd. 2007 tarafından yapılan çalışmayla uyumludur. Yani ankrajın gömülme derinliği 3D'ye kadar sığ



gömülü davranışı gösterdiği bu derinlikten sonra derin etkiye geçtiği düşünülmektedir (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Tipik Gerilme Çatlağı

4. Tabakalı zemine gömülü helisel ankrajın, üsteki kum tabaka kalınlığının ( $H_s$ ) artması ile çekme kapasitesinin de arttığı görülmüştür. Hesaplanan kopma faktörü  $H_s$ 'nin artması ile parabolik bir şekilde artmıştır. Ayrıca tabakalı zeminler gömülü helisel ankrajlar için yapılan sayısal analizler ve deney sonuçlarından yük-çekme oranı ve kopma faktörleri davranışlarının benzer olduğu görülmüştür.

5. Tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıkılığının artması ile çekme kapasitesi ve kopma faktörünün arttığı görülmüştür. Kopma faktörü kum zeminin sıkılığı,  $D_r$ =%40'tan %60'a çıkarıldığında %7,29'a kadar, %80'e çıkarıldığında ise, %12,78'e kadar bir artış olmuştur. Ayrıca yapılan sayısal analizler ve deney sonuçlarından yük-çekme oranı ve kopma faktörü davranışlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

6. Ara yüzeyi geotekstilli tabakalı zemine gömülü helisel ankraj için üsteki kum tabakası sıklığının artması ile çekme kapasitesinin ve kopma faktörünün arttığı görülmüştür. Kopma faktörün kum zeminin sıklığı  $Dr=40$ 'tan  $60$ 'a çıkarıldığında  $3,39$ 'a kadar,  $80$ 'e çıkarıldığında ise,  $5,58$ 'e kadar bir artış olmuştur. Ayrıca yapılan sayısal analizler ve deney sonuçlarından yük-çekme oranı davranışlarının benzer olduğu ve sayısal analizlerde de kopma faktörü üsteki kum tabaka kalınlığının artması ile arttığı görülmüştür. Ancak analiz sonuçlarının deneysel sonuçlardan bir miktar fazla çıkmıştır.

7. Tabakalı zeminde tabakaların arası geotekstilli ve geotekstilsiz durumda çekme oranı yaklaşık  $26$ 'ya kadar hemen hemen aynı çekme davranışını gösterdiği  $26$ 'dan sonra geotekstilsiz tabakalı zeminin çekme kapasitesinin bir miktar düştüğü ama geotekstilli tabakalı zeminin çekme kapasitesinin bir miktar arttığı hem deney hem de sayısal analizlerde görülmüştür. Yani tabakalı zeminde ara yüzeye yerleştirilen geotekstil donatının, ankraj plakası çapının  $26$ 'sı kadar deplasman yapması durumunda çalıştığı bu deplasman düzeyinin altında bir etkisi olmadığı tahmin edilmektedir.

8. Tabakalı zeminde tabakaların arasına geotekstil yerleştirilmesi durumunda geotekstilsiz duruma göre üsteki kum zemin sıklığının  $40$  olması durumunda kopma faktörü  $9,19$ , sıklığın  $60$  olması durumunda  $5,21$ , sıklığın  $80$  olması durumunda  $2,21$  artış olmuştur.

9. Kum zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankrajlar için gömülme derinliği ve kum sıklığı arttıkça çekme kapasitesi artmıştır.

10. Kum zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankrajlar için değişen sıklık ve gömülme derinliği parametrelerinde çekme kapasiteleri birbirine çok benzerdir. Her iki ankraj türü içinde sıklık  $40$  iken kopma faktörü derinlik ile yaklaşık doğrusal değişirken sıklığın artması ile kopma faktörü derinlik ile parabolik değişme gösterir.

11. Kum zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankrajlar için göçme yüklerine karşılık gelen düşey yer değiştirmeler göz önüne alındığında, sıkı kum için, göçme yer değiştirmesinin gevşek kuma nazaran daha büyük olduğu görülmüştür.

12. Özellikle gevşek kum zeminli deneylerde; ankrajın yük-çekme oranı davranışında büyük yer değiştirmelerdeki çekme dayanımında dalgalanmalar olduğu görülmüştür (bu davranış, göçmenin oluşmasına ve büyük deplasmanlarda model ankrajın altında oluşan boşluğa doğru bir kum akımının olduğu yaklaşımıyla açıklanmıştır (Rowe ve Davis, 1982; Trautmann vd., 1985; Murray ve Geddes, 1987; Dickin, 1988).

13. Kum zeminlere gömülü helisel ve dairesel ankrajlı deneyler ile yapılan sayısal analizler karşılaştırıldığında, sıkı kumdaki sonuçların, birbirleri ile uyum içerisinde olduğu, gevşek kumda ise sayısal analiz sonuçlarının deney sonuçlarından daha büyük değerler verdiği görülmüştür.

14. Kil zeminlere gömülü dairesel ankrajlı deneyler literatürdeki çalışmalara benzer olmak üzere literatürün çok az üzerindedir.

15. Kum zeminlere gömülü dairesel ankrajlı deneyler literatürdeki çalışmalara yakın olmakla beraber sıkı kum zeminde yapılan deneyler Balla'nın 1961'de yaptığı çalışmaya çok yakındır.

16. Helisel ankraj plakasının kum, kil ve tabakalı ( $H_c=1D$ ,  $H_s=1D$ ) zemine 2D derinlikte gömüldüğü durumlarda elde edilen çekme kapasitesi sırası ile yaklaşık 25 N, 253 N ve 216 N bulunmuştur. Bu sonuçlara bakıldığında, kil zeminin daha efektif çalıştığı görülmüştür (bu sonuçlar tez kapsamında çalışılan zemin koşullarında geçerlidir).

## 5.2. Öneriler

1. Deneyler kum zeminlerin sıkıştırılması işleminde, farklı bir yöntem olan yağmurlama tekniği de kullanılabilir.

2. Sayısal analizlerde 3 boyutlu bilgisayar programları kullanılarak, daha kapsamlı araştırmalar yapılabilir.

3. Kil zeminin üzerine geogridle güçlendirilmiş stabilize malzeme yerleştirilerek çekme kapasitesi incelenebilir.

4. Uygulaması zor olmakla beraber, bu tür deneyler arazi ortamında yapılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

## **KAYNAKLAR**

- Adams, J.I., Hayes, D.C., The uplift capacity of shallow foundations, Ontario Hydro Research Quarterly, 19(1), 1–13, 1967.
- Andreadis A., Harvey R., Burley E., Embedded Anchor Response to Uplift Loading, J. Geotech. Eng., 107(1) 59-78, 1981.
- ASTM D 2166: Standard Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- ASTM D 854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Soils by Water Pycnometer.
- ASTM D 3080-98: Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- ASTM D 4253-00: Standart Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.
- ASTM D 4254-00: Standart Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.
- Balla, A., The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundations for Pylons in Proc., V Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Paris, France, 1, 569, 1961.
- Baker, W. H., Kondner, R. L., Pullout Load Capacity of a Circular Earth Anchor Buried in Sand, Highway Res. Rec. 108, National Research Council, Washington, DC, 1, 1966.
- Bhattacharya P., Bhowmik D., Mukherjee S. P., Chattopadhyay B. C., Pullout Behaviour of Square Anchors in Reinforced Clay, International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Goa, India, 1-6 October, 2008.
- Briaud, J.L., Jeanjean, P., Load settlement curve method for spread footings on sand, Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, ASCE 40(2), 1774-1804, 1994.
- Clemence S.P., Veesaert C.J., Dynamic pullout resistance of anchors in sand, Proceedings International Symposium on Soil Structure Interaction, Roorkee, India, 389-397, 1997.

- Chattopadhyay, B. C., Pise, P. J., Uplift Capacity of Piles in Sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(9), 888-904, 1986.
- Chen Z., Tho K. K., Leung C. F., Chow Y. K., Influence of overburden pressure and soil rigidity on uplift behavior of square plate anchor in uniform clay, *Computers and Geotechnics*, 52, 71-81, 2013.
- Das, B. M., Model tests for uplift capacity of foundations in clay, *Soils and Foundations, Japan*, 18(2), 17, 1978.
- Das, B. M., *Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement*, Chapter 8, U.S.A., 1999.
- Das, B.M., Seeley, G. R., Breakout Resistance of Horizontal Anchors, *Journal of Geotechnical Engineering Div., ASCE*, 101(9) 999, 1975.
- Das, B.M., Seeley, G.R., Pullout resistance of horizontal anchors, *Proceedings of Civil Engineering in the Oceans III*, ASCE, New York, 434-449, 1975.
- DeBeer, E.E., Experimental Determination of the Shape Factors and the Bearing Capacity Factors of Sand, *Geotechnique*, 20(4), 387-411, 1970.
- Demir, A., *Temel Mühendisliğinde Çekme Dayanımının İrdelenmesi ve Kazıklı Temellerin Çekme Dayanımının Analizi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 96, 2006.
- Demir, A., *Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 443, 2011.
- Dickin, E. A., Uplift Behaviour of Horizontal Anchor Plates in Sand, *J Geotech Eng Div, ASCE*, 114(11), 1300–1317, 1988.
- Dickin, E. A., Leung, C. F., Performance of Piles With Enlarged Bases Subject to Uplift Forces. *Canadian Geotech. J.*, 27, 546-556, 1990.
- Dickin, E. A., Leung, C. F., The Influence of Foundation Geometry on The Uplift Behaviour of Piles With Enlarged Bases. *Canadian Geotech. J.*, 29, 798-505, 1992.
- Dickin, E. A., Laman, M., Uplift Response of Strip Anchors in Cohesionless Soil, *Advances in Engineering Software*, 38(8-9), 618-625, 2007.

- Downs, D.I., Chieurzzi, R., Transmission Tower Foundations, Journal of the Power Division, ASCE, 92(2) 91-114, 1966.
- Ghaly, A. M., Hanna, A. M., Hanna, M., Uplift Behaviour of Screw Anchors in Sand, II: Hydrostatic and Flow Conditions, Journal of Geotechnical Engineering., ASCE, 117(5) 794-808, 1991.
- Giffels, W.C., Graham, R.E., Mook, J.F., Concrete cylinder anchors proved for 345-KV tower line, Electrical World, 154, 46-49, 1960.
- Hanna, T.H., Carr, R.W., The Loading Behaviour of Plate Anchors in Normally and Over Consolidated Sands, Proc, 4th Int Conf on Soil Mech & Found Eng, Budapest, 589-600, 1971.
- Hanna T.H., Sparks R., The behaviour of preloaded anchors in normally consolidated sands, In: Proceedings of the 8th international conference on soil mechanics and foundation engineering, Moscow, 2, 137-142, 1973.
- Ilamparuthi, K., Dickin, E. A., Predictions of The Uplift Response of Model Belled Piles in Geogrid-Cell-Reinforced Sand, Geotextiles and Geomembranes, 19(2), 89-109, 2000.
- Ilamparuthi, K., Dickin, E. A., The Influence of Soil Reinforcement on The Uplift Behaviour of Belled Piles Embedded in Sand, Geotextiles and Geomembranes 19(1), 1-22, 2001.
- Ireland, H.O., Discussion on uplift resistance of transmission tower footings by E.A. Turner, Journal of the Power Division, ASCE, 89(1) 115-118, 1963.
- Kulhawy, F. H., Trautman, C. H., Nicolaidis, C. N., Spread Foundations in Uplift: Experimental Study, Foundation for Transmission Towers, Geotech. Spec. Pub. 8, ASCE, 186, New Jersey, 1987.
- Krishnaswamy, N.R., Parashar, S.P., Effect of Submergence on the Uplift Resistance of Footings with Geosynthetic Inclusions, Proceedings of Indian Geotech. Conference, Surat, India, 333-336, 1991.
- Laman, M., Yıldız, A., Örnek, M. ve Demir, A., Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi, TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Projesi, No:106M496, Ankara, Türkiye, 2009.

- Lutenegger, A. J., Adams, M.T., Bearing Capacity of Footings on Compacted Sand, Proceedings of the 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 1216-1224, 1988.
- Merifield, R. S., Sloan, S. W., The Ultimate Pullout Capacity of Anchors in Frictional Soils, Canadian Geotechnical Journal, 43 (8), 852-868, 2006.
- Merifield, R. S., Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, 137(7), 704-716, 2011.
- Meyerhof, G. G., Adams, J. I., The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, Canadian Geotech. J., 5(4), 225, 1968.
- Meyerhof, G. G., Uplift Resistance of Inclined Anchors and Piles, in Proc., VIII Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Moscow, USSR, 2(1), 167, 1973.
- Mitsch, M. P., Clemence, S. P., Uplift capacity of helix anchors in sand, Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil, ASCE, 26-47, New York, 1985.
- Murray, E.J., Geddes, J.D., Uplift Behaviour of Plates in Sand, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 113 (3), 202-215, 1987.
- Niroumand H., Kassim K.A., Ghafooripour A., Nazir R., Chuan H.S., Performance of Helical Anchors in Sand, Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), 17, 2683-2702, 2012.
- Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., Faizi K., Experimental Behavior of Circular Anchor Plates under Uplift Test in Cohesive Soils, Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), 17, 1-8, 2012.
- Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., Uplift Response of Horizontal Strip Anchor Plates in Cohesionless Soil, Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), 15, 1967-1974, 2010.
- Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., Anchor Plates in Two-Layered Cohesion Less Soils, American Journal of Applied Sciences, 7(10), 1396-1399, 2010
- Niroumand H., Kassim K. A., Nazir R., Uplift Capacity of Anchor Plates in Two-Layered Cohesive-Frictional Soils, Journal of Applied Science, 11(3) 589-591, 2011.

- Ovesen, N.K., Centrifuge tests on the uplift capacity of anchors, In Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 1, 717–722, 1981.
- Patra, N. R., Deograthias, M., James, M., Pullout Capacity of Anchor Piles, Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), 2004-0340, 2004.
- Patra, N. R., Pise, P. J., Uplift Capacity of Pile Groups in Sand, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, (EJGE), 2004.
- Ravichandran P. T., Ilamparuthi K., Toufeeq M. M., Investigations on Uplift Behaviour of Plate Anchor in Reinforced Sand Bed, Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE), 13, 1-8, 2008.
- Rowe, R. K., Davis., E. H., The Behaviour of Anchor Plates in sand. Geotechnique, 32 (1), 25-41, 1982.
- Saeedy, H. S., Stability of Circular Vertical Earth Anchors, Canadian Geotech. J., 24(3), 452, 1965.
- Saran, S., Ranjan G., Nene A. S., Soil anchors and constitutive laws, Journal of Geotechnical Engineering, 112(12), 1084-1100, 1986.
- Sarıcı T., Demir A., Altay G., Laman M., Ok B., Bağrıaçık B., Yumuşak Kil İçindeki Taş Kolonun Küçük Ölçekli Model Deneyle İle Değerlendirilmesi, 5.Geoteknik Sempozyumu, Adana Türkiye 2013.
- Singh S. P., Tripathy D. P., Ramaswamy S. V., Estimation of Uplift Capacity of Rapidly Loaded Plate Anchors in Soft Clay, Marine Georesources and Geotechnology, 25, 237–249, 2007.
- Singh S. P., Ramaswamy S. V., Contribution of Suction Force to Undrained Breakout Capacity of Plate Anchors, International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 3166-3173, Goa, India, 1-6 October, 2008
- Singh S. P., Ramaswamy S. V., Effect of shape on holding capacity of plate anchors buried in soft soil, Geomechanics and Geoengineering, 3(2), 145-154, 2007.
- Sutherland, H.B., Finlay, T.W., Fadl, M.O., Uplift capacity of embedded anchors in sand, In Proceedings of the 3rd International Conference on the Behaviour of Offshore Structures, Cambridge, Mass., 2, 451–463, 1982.



- Stewart W., Uplift Capacity of Circular Plate Anchors in Layered Soil, *Can. Geotech. J.* 22, 589-592, 1985.
- Tagaya, K., Tanaka, A., Aboshi, H., Application of finite element method to pullout resistance of buried anchor, *Soils and Foundations*, 23(3) 91-104, 1983.
- Tagaya, K., Scott, R. F., Aboshi, H., Pullout Resistance of Buried Anchor in Sand, *Soils and Foundations* 28 (3), 114-130, 1988.
- Trautmann C.H., Kulhawy F.H. Uplift load-displacement behaviour of spread foundations, *J. Geotech. Engrg. ASCE* 114(2), 168-184, 1988.
- Vesic, A. S., Cratering by explosives as an earth pressure problem, in *Proc., VI Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Montreal, Canada, 2*, 427,1965.
- Vesic, A. S., Breakout Resistance of Objects Embedded in Ocean Bottom, *Journal of Soil Mech. Found. Div., ASCE*, 97(9), 1183, 1971.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Bahadır OK  
**Doğum Tarihi** : 10/03/1988  
**E-Posta Adresi** : bahadirok@adanabtu.edu.tr

### Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lise	Lise		2005
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Çukurova Üniversitesi	2011
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi Ortak Tezli Yüksek Lisans Programı	-

### İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi	2013

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Demir A., Sarıcı T., Laman M., Bağrıaçık B., **Ok B.**, (2013), An Experimental Study on Behaviour of Geosynthetic Reinforced Stone Columns, 2<sup>nd</sup> International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering (pp. 832-841)
2. Bağrıaçık B., Demir A., Laman M., **Ok B.**, Sarıcı T., (2013), An Investigation of Uplift Behavior of Vertical Piles Embedded in Reinforced Sand Under Inclined Loads, 2<sup>nd</sup> International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering (pp. 825-831)
3. Demir A., **Ok B.**, Laman M., Bağrıaçık B., Sarıcı T., Altay G., Çoklu Ankraj Plakalarının Kum Zeminlerdeki Çekme Kapasitesinin İncelenmesi, 5.Geoteknik Sempozyumu Adana/Türkiye

4. Sarıcı T., Demir A., Altay G., Laman M., **Ok B.**, Bağrıaçık B., Yumuşak Kil İçindeki Taş Kolonun Küçük Ölçekli Model Deneyler İle Değerlendirilmesi, 5.Geoteknik Sempozyumu Adana/Türkiye
5. Bağrıaçık B., Laman M., **Ok B.**, Demir A., Sarıcı T., Altay G., Kum Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Deneysel ve Teorik olarak Belirlenmesi, 5.Geoteknik Sempozyumu Adana/Türkiye
6. Bağrıaçık B., **Ok B.**, Sarıcı T., Altay G., Demir A., Laman M., Geogridle Güçlendirilmiş Kum İçerisine Gömülü Model Kazıkların Çekme Kapasitelerinin Deneysel İncelenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Özel Konulu Sempozyumu Antalya/Türkiye
7. Demir A., Sarıcı T., Bağrıaçık B., Laman M., Altay G., **Ok B.**, Experimental and Numerical Studies on Behavior of Stone Columns with Geogrid Encasement, ICESA 2014 Antalya/Turkey
8. Altay G., Demir A., Bağrıaçık B., Laman M., **Ok B.**, Sarıcı T., Geogridle Güçlendirilmiş Esnek Yol Kaplamaların Nümerik Olarak Değerlendirilmesi, Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı İstanbul/Türkiye