



**YANAL YÜKLÜ HELİSEL KAZIK DAVRANIŞININ LABORATUVAR
DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI**

Salih KUNDUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2020

Salih KUNDUZ tarafından hazırlanan “YANAL YÜKLÜ HELİSEL KAZIK DAVRANIŞININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

Başkan: Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇALIŞICI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 17 / 09 / 2020

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

.....

Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Salih KUNDUZ

17 / 09 / 2020

YANAL YÜKLÜ HELİSEL KAZIK DAVRANIŞININ
LABORATUVAR DENEYLERİYLE ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Salih KUNDUZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2020

ÖZET

Helisel kazıklar; yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmek için zeminlere dönme hareketiyle yerleştirilerek uygulanan bir çelik temel sistemidir. Helisel kazıklara, doğrudan bir yanal yük uygulandığında ya da herhangi bir dış yük etkisinde kalmadan yanal zemin hareketleri etki ettiğinde; helisel kazıkların davranışı, kazıktaki bu yer değiştirmelerden doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışmada, boyutları belirli olan helisel kazıklar; gevşek zeminlerde, laboratuvar ortamında yanal yükleme yapılarak kazıklardaki yanal yer değiştirme değerleri ve yanal yük taşıma kapasiteleri tespit edilmiştir. Laboratuvar koşullarında, helis sayısı (N), helis çapı (D), yük uygulama yüksekliği (e), kazık gömülü uzunluğu (L) ve helis aralığı (s) parametreleri üzerinden, helisel kazıklara yanal yük uygulanarak yük-deplasman değerleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, helisel kazıklarda; helis sayısı ve helis çapı arttıkça yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. İkili ve çoklu helislerde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre optimum helis aralığı/helis çapı (s/D) oranı yaklaşık 2 olarak belirlenmiş ve en yüksek yanal yük taşıma kapasitesine ulaşıldığı saptanmıştır. Tekli helislerden elde edilen deney sonuçlarına göre kazık gömülü uzunluğu/şaft çapı (L/d) oranı arttıkça yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Yanal yük uygulama yüksekliğinin (e) artış gösterdiği durumda ise yanal yük taşıma kapasitesinde azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: helisel kazık, yanal yük, gevşek zemin, laboratuvar modeli
Sayfa Adedi: 77
Danışman: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

INVESTIGATION OF LATERALLY LOADED HELICAL PILE
BEHAVIOUR WITH LABORATORY MODEL TESTS
(M. Sc. Thesis)

Salih KUNDUZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

September 2020

ABSTRACT

Helical piles are a steel foundation system that is applied by placing the piles on the soil with a rotational movement in order to safely carry the loads from the structure. When a lateral load is applied directly to the helical piles or when lateral soil movements are affected without any external load; the behavior of helical piles is directly affected by these displacements. In this study, the lateral displacements and load-bearing capacity of the piles were determined by lateral loading in the laboratory model tests on loose soils, using helical piles with specific dimensions. Under laboratory conditions, the load-displacement values were obtained by applying lateral load to the helical piles by using parameters such as the helical number (N), helix diameter (D), load application height (e), pile embedded length (L) and helix spacing (s). As a result of the experimental studies, it has been determined that the lateral load-bearing capacity of the helical piles' increases as the number of helix and diameter of the helix increases. According to the results of the tests performed on double and multiple helixes, the optimum helix spacing / helix diameter (s / D) ratio was determined as approximately 2 and it was determined that the highest lateral load bearing capacity was reached. According to the test results obtained from single helix, it was determined that the lateral load bearing capacity increased as the pile embedded length / shaft diameter (L / d) ratio increased. It is concluded that when the lateral load application height (e) increases, the lateral load carrying capacity decreases.

Keywords: helical pile, lateral load, loose soil, laboratory model
Page Number: 77
Supervisor: Prof. Dr. Murat ÖRNEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen, ilminden, tecrübelerinden faydalandığım, disiplin ve ahlaki değerler gibi her yönüyle örnek aldığım ve bu tezdeki çalışmalarım desteklendiği TÜBİTAK Araştırma Projesi yürütücüsü kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat ÖRNEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Öğrencilik yıllarımdan beri tanıdığım bana her yönüyle desteğini sağlayan, bir asistandan çok aileden biri olarak gördüğüm, bana Geoteknik Anabilim Dalını tanıtıp sevdiren, ilim tecrübe ve daha birçok değer katan kıymetli hocam Sayın Arş. Gör. Yakup TÜREDİ ve eşi Esra TÜREDİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını destekleyen TÜBİTAK kurumuna ve tezin yürütüldüğü projenin değerli araştırmacıları Sayın Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ ve Sayın Arş. Gör. Dr. Buse EMİRLER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yoğun laboratuvar çalışmasında desteklerini esirgemeyen sevgili kardeşim Mehmet KARTAL'a ve tez çalışmalarım sırasında bilgisi, tecrübesi ve desteğini aldığım sevgili kardeşim Muhammet DİNGİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince beni motive eden, maddi manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli öğretmenlerim Öznur AK, Barış KIRCALI, Kadir GÜL; değerli dostlarım Kevser ERGÜL, Çiğdem SÜMBÜL, Osman AKI, Kardelen DUMAN, M. Murat ERDEM, Mehmet TIRPAN, Hüseyin TACAR, Mehmet DEMİROK, İbrahim KARAKAYA, Mustafa Reşat ARSLAN, Zehra ARSLAN'a ayrıca Irmak Doğa Mühendislik bünyesindeki çalışma arkadaşlarıma ve şirket müdürümüz Zeki SAĞIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmeme vesile olan evlatları olmaktan gurur duyduğum; güvenleri, sabırları ve hoşgörülü tutumları ile haklarını ödeyemeyeceğim annem Emine KUNDUZ, babam Mustafa KUNDUZ, abim Serdar KUNDUZ ve kardeşim Kevser KUNDUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Salih KUNDUZ

Hatay, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. HELİSEL KAZIKLAR.....	8
3.1. Temel Tanımı.....	8
3.2. Temellerin Sınıflandırılması.....	8
3.3. Derin Temeller ve Helisel Kazıklar.....	9
3.4. Helisel Kazıkların Temel Özellikleri.....	11
3.5. Helisel Kazıkların Tarihçesi.....	13
3.6. Helisel Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları.....	15
3.7. Helisel Kazıkların Kullanım Alanları.....	16
3.8. Kazığı Etkileyen Yükler.....	22
4. TEORİ.....	23
4.1. Brinch Hansen Yöntemi.....	23
4.2. P-Y Eğrileri Yöntemi.....	26
4.2.1. Kohezyonsuz zeminlerde p-y eğrileri.....	27
4.3. Broms Yöntemi.....	32
4.3.1. Kohezyonsuz zeminlerde yanal yüklü kısa kazıklar.....	33

	Sayfa
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
5.1. Deney Düzenegi	36
5.1.1. Deney kasası	36
5.1.2. Zemin aktarma düzenegi.....	38
5.1.3. Elek	38
5.1.4. Model kazıklar	39
5.1.5. Yükleme düzenegi	40
5.1.6. Çekme kolu	41
5.1.7. Yük hücresi	42
5.1.8. Deplasman ölçer	43
5.1.9. Veri kaydetme ünitesi (ADU).....	44
5.1.10. Helisel kazık montaj düzenegi	44
5.2. Zemin Türü ve Özellikleri.....	45
5.2.1. Elek analizi	45
5.2.2. Kesme kutusu deneyi	47
5.2.3. Piknometre deneyi	48
5.2.4. Doğal birim hacim ağırlık deneyi	49
5.3. Deney Programı	49
5.3.1. Deplasman ölçer ve yük hücresi kalibrasyonu	49
5.3.2. Deneyin yapılışı	53
5.3.3. Deney planı	55
6. DENEYSEL BULGULAR	58
6.1. Seri 1: Kazık Çapı Etkisi.....	59
6.2. Seri 2: s/D Etkisi	60
6.3. Seri 3: Helisel Plaka Sayısının Etkisi.....	67
6.4. Seri 4: L/d Etkisi	68

	Sayfa
6.5. Seri 5: Yük Uygulama Yükseklęi (e) Etkisi	69
7. SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	76
DİZİN	77



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Çeşitli zeminler için z_f değerleri (Dilaver, 2007)	26
Çizelge 4.2. Kohezyonsuz zeminlerde statik ve dinamik yükleme durumları için A ve B düzeltme katsayıları (Reese vd, 1974).....	30
Çizelge 5.1. Yük hücreğine ait teknik özellikler	43
Çizelge 5.2. Yük hücreğine ait kalibrasyon değerleri	50
Çizelge 5.3. 1 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri.....	51
Çizelge 5.4. 2 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri.....	52
Çizelge 5.5. Laboratuvar model deney serileri	57
Çizelge 6.1. Seri 1'e ait model helisel kazık parametreleri	59
Çizelge 6.2. Seri 2'ye ait model helisel kazık parametreleri (D = 8 cm).....	61
Çizelge 6.3. Seri 2'ye ait model helisel kazık parametreleri (D = 10 cm).....	63
Çizelge 6.4. Seri 2'ye ait model helisel kazık parametreleri (D = 12 cm).....	64
Çizelge 6.5. Seri 3'e ait model helisel kazık parametreleri	67
Çizelge 6.6. Seri 4'e ait model helisel kazık parametreleri	68
Çizelge 6.7. Seri 5'e ait model helisel kazık parametreleri	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Temellerin sınıflandırılması (Uzuner, 1996).....	9
Şekil 3.2. Derin temel sistemlerinde kullanılan bazı temel çeşitleri (Coduto, 2001)	9
Şekil 3.3. Helisel kazık plakası (helis yaprağı) görünümü (Perko, 2009)	11
Şekil 3.4. Tipik bir helisel kazık detayı (Yılmaz, 2016).....	12
Şekil 3.5. Helisel kazıkların çıkrık sistemle imalatı	13
Şekil 3.6. Helisel kazıktan oluşan bir temel sistemiyle imal edilmiş deniz feneri (Sirsikar, 2018).....	14
Şekil 3.7. Helisel kazıklara dair ilk çalışmalar (Feyzi, 1903).....	15
Şekil 3.8. Helisel kazık (Perko, 2009)	17
Şekil 3.9. Helisel kazık sisteminin arazide uygulanması (Niroumand ve Saaly, 2019) .	17
Şekil 3.10. Yürüyüş yolu ayaklarında helisel kazıklar (Perko, 2009)	18
Şekil 3.11. Temelleri ıslak zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması (Yılmaz, 2016).....	18
Şekil 3.12. Şevli zeminlerde helisel kazık uygulaması (Perko, 2009).....	19
Şekil 3.13. Boru hatlarında helisel ankrajla yüzmeye karşı önlem alınması (Yılmaz, 2016).....	20
Şekil 3.14. Ankrajlı iksa (Perko, 2009).....	21
Şekil 3.15. Helisel kazıklı rüzgâr türbini temeli (Bump ve Laney, 2012; Yılmaz, 2016)	21
Şekil 4.1. Serbest başlı yatay yüklü rijit kazıkta yatay direncin mobilize olma biçimi..	23
Şekil 4.2. Kq ve Kc katsayıları (Brinch Hansen, 1961).....	24
Şekil 4.3. Basit konsol olarak yanal yük etkisi altındaki kazıklar	25
Şekil 4.4. Yatay yüklü kazıklar için p - y eğrileri, a) zemin yüzeyinin altında farklı derinliklerde eğrilerin durumu, b) p - y eğrilerinin eksen takımında gösterimi, c) deformasyona uğramış kazığın durumu (Matlock, 1970; Özçelik, 2007)	29
Şekil 4.5. a) x'in bulunması, b) p-y eğrilerinin belirlenmesi	31
Şekil 4.6. Yatak katsayısının derinlikle değişimi a) aşırı konsolide zemin, b) kohezyonsuz ve normal konsolide zemin, c) kurumuş aşırı konsolide zemin, d) yumuşak yüzey tabakaları (Davisson ve Gill, 1963; Özçelik, 2007)	33
Şekil 4.7. Sabit başlı kısa kazıkta zemin gerilmeleri ve eğilme momenti	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Serbest başlı rijit kısa kazık-kazık ötelenmesi-zemin reaksiyonu ve kazık eğilmesi	35
Şekil 5.1. Kum zemine ait granülometri eğrisi	47
Şekil 5.2. Yük hücresi için kalibrasyon grafiği.....	50
Şekil 5.3. 1 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi	51
Şekil 5.4. 2 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi	52
Şekil 5.5. Helisel kazık kesiti.....	56
Şekil 6.1. Yanal yük etkisi altındaki kazığın davranışı.....	58
Şekil 6.2. Helis çapı etkisi.....	60
Şekil 6.3. Seri 2 için s/D etkisi (D = 8 cm)	61
Şekil 6.4. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 8 cm).....	62
Şekil 6.5. Seri 2 için s/D etkisi (D = 10 cm)	63
Şekil 6.6. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 10 cm).....	64
Şekil 6.7. Seri 2 için s/D etkisi (D = 12 cm)	65
Şekil 6.8. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 12 cm).....	65
Şekil 6.9. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi	66
Şekil 6.10. Helisel plaka sayısının etkisi	67
Şekil 6.11. Seri 4 için L/d etkisi.....	69
Şekil 6.12. Yük uygulama yüksekliğinin (e) taşıma yüküne etkisi.....	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Deney kasası	37
Resim 5.2. Zemin aktarma düzeneği ve zemin depolama haznesi	38
Resim 5.3. Deney kasasına yerleştirilmiş eleğin a) dıştan görünümü, b) içten görünümü.....	39
Resim 5.4. Helisel kazıklar	40
Resim 5.5. a) Yükleme motoru, b) makaraya sistemindeki çekme halatı, c) çekme koluna bağlı yük hücresi, d) yükleme düzeneği genel görünümü	41
Resim 5.6. a) Çekme kolu, b) helisel kazık üzerine sabitlenmiş çekme kolu.....	42
Resim 5.7. Yük hücresi	42
Resim 5.8. Deplasman ölçer	43
Resim 5.9. Veri kaydetme ünitesi	44
Resim 5.10. Helisel kazık montaj düzeneği	45
Resim 5.11. a) Kum zemin ve elek, b) eleme işlemi.....	46
Resim 5.12. a) Kum zeminin kesme kutusuna yerleştirilmesi, b) kesme kutusu deneyi uygulaması	48
Resim 5.13. a) Vakum ile hava boşaltma işlemi, b) havası alınmış su ve kum zemin ...	48
Resim 5.14. Deney kabına konulmuş zemin numunesi	49
Resim 5.15. a) Hazneden alınan kum zeminin deney kasasına aktarılması, b)zemin düzeltme işlemi.....	53
Resim 5.16. a) Helisel kazık montaj düzeneği ile kazık yerleştirme işlemi, b) yükleme motoru yardımıyla çekme uygulama işlemi.....	54
Resim 5.17. a) Helisel kazık üzerine sabitlenmiş çekme kolu görünümü, b) yük etkisi altında deplasman ölçme işlemi	55
Resim 6.1. Yanal yüklü helisel kazığın a) çekme öncesi, b) çekme sonrası davranışı ..	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
cm	Santimetre
dv	Devir
dak	Dakika
kg	Kilogram
m	Metre
mm	Milimetre
kN	Kilo newton
MPa	Mega pascal
γ	Birim hacim ağırlık
$^{\circ}$	Derece
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
%	Yüzde
φ	Zeminin içsel sürtünme açısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
İSTE	İskenderun Teknik Üniversitesi
SPT	Standart Penetrasyon Testi
TS	Türk Standartları
vd	Ve diğerleri

1. GİRİŞ

Temel sistemleri; üst yapıdan gelen yükleri güvenle taşıyarak sağlam zemin tabakasına aktarmak için kullanılan yapı elemanları olarak tanımlanır. Yapıdan gelen yatay ve düşey yükler, zeminde oturma ve taşıma gücü gibi problemleri de beraberinde getirmektedir. Temel sistemlerinin yük iletim ve taşıma sırasında deplasman ve taşıma gücü kriterlerini sağlaması gerekmektedir. Temeller, nihai yük kapasitesine eriştiğinde kritik sınır değerleri içerisinde deplasman yapmasına izin verilmektedir. Temeller, genel olarak yüzeysel temeller ve derin temeller olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Derin temellerin, yanal yük etkisindeki taşıma gücü hesapları için Broms Yöntemi, Brinch Hansen yöntemi, p-y Eğrileri Yöntemi gibi birçok teori ve hesap yöntemleri geliştirilmiştir.

Derin temel sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kazık tiplerinden biri de helisel kazıklardır. Ülkemizde kullanımı henüz yaygın olmasa da diğer ülkelerde 18.yy başlarından beri kullanılmakta ve kullanımı her geçen gün artmaktadır. Rüzgâr türbinleri temellerinde, güneş enerji santralleri temellerinde, boru hatları, uyarı ve reklam tabelaları temellerinde, yapı temel takviyesi işlemlerinde, ıslak veya bataklık zeminlerde bu tür temel sistemleri kullanılabilir. Zeminde herhangi bir delme veya çakma işlemi uygulamadan tork makinesi yardımıyla döndürülerek zemine uygulanabilmektedir. Korozyon etkisine karşı dayanıklı olduğu için ıslak ve bataklık zeminlerde kolaylıkla uygulanabilir ve işlevseldir. Dona tehlikesine karşı oldukça dayanıklı olduğu için ve çok sayıda makine teçhizatına gerek duymadan düşük maliyetlerle hazırlanabildiği için kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, değişken helis adedi, helis çapı ve helis aralığındaki helisel kazıkların yanal yük etkisiyle gevşek zemin durumundaki davranışları incelenmiştir. Uygulama işlemleri İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Yanal yük etkisindeki helisel kazık temellerin nihai taşıma kapasitesi ve yatay deplasman değerleri hesaplanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde tezin kapsamı genel hatlarıyla verilmiş, tezin genel sunum akışı hakkında bilgilendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, çalışma kapsamına dair literatür çalışması yapılarak helisel kazıklar ve yanal yüklü kazıklarla ilgili önceki yapılan çalışmalar sunulmuştur.

Üçüncü bölümde temel tanımı, temellerin sınıflandırılması, derin temeller ve helisel kazıklar, helisel kazıkların temel özellikleri ve tarihçesinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölüm helisel kazıkların avantajları, dezavantajları, kullanım alanları ve helisel kazıkları etkileyen yükler konularını içermektedir.

Dördüncü bölümde yanal yük etkisindeki kazıklara ait teorik hesap yöntemleri sunulmuştur. Çeşitli yöntemlere göre nihai yük taşıma kapasitesinin nasıl belirleneceği, gömülü kazığın deplasman ve davranışları, tasarım kriterleri, hesap yöntemlerine ait karşılaştırmalardan bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Denejde kullanılan kum zemin ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Kum zeminin özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler açıklanmıştır. Çalışmalarda kullanılan deney aletlerinden ve özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca deney düzeneklerine ait bilgilere değinilmiştir.

Altıncı bölümde, yapılan deneysel çalışmalara ait bulgulardan bahsedilmiştir. Bulgulara ayrı ayrı değinilmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Elde edilen veriler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Sonuç bölümünde ise tez çalışmasında elde edilen verilere ait çıktılar özet halinde verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, önceki çalışmalara ait yapılan yazın taraması sonucunda son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar ve elde edilen bulgulardan bahsedilmiştir.

Prasad ve Rao (1996) literatürde, kil zemine gömülü helisel kazıkların yanal yük taşıma kapasitesini araştıran ilk araştırmacılar arasında yer almıştır. Çalışmalarında teorik bir model sunulmuş ve yanal yük taşıma kapasitesi model deneyler ile belirlenmiştir. Bu modele göre, shaft üzerindeki zeminin yanal yüklenmesi, helisel kazıkların tabanındaki yatak direnci, helisel levhanın üstündeki çekilme tepkisi ve helisel levhanın yüzeyinde sürtünme geri beslemesi dahil edilmiştir. Teorik model olarak düz shaft, iki ve dört plakalı olmak üzere üç farklı kazık çeşidi üzerinde çalışılmıştır. Çalışmalar sonucunda genel olarak helisel kazıkların, yanal yük taşıma kapasiteleri üzerinde helis bulunmayan düz shafta göre 1.2–1.5 kat daha fazla yük taşıdığı belirlenmiştir.

Kantar (2019) tarafından endüstriyel bir kule yapısının temel tasarımı incelenmiş, arazi ve laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda, oturma analizi yapılmış ve taşıma gücü değeri hesaplanmıştır. Mevcut temel tasarımı radye temel olan yapı, yanal ve düşey yüke maruz bırakılarak oturma ve taşıma gücü analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde mevcut radye temel sisteminin gerekli koşulları sağlamadığı görülmüş ve bunun üzerine kazıklı radye temel sistemi tasarlanmıştır. Temel kesiti 16 m x 16 m olan radye temele, gömülü uzunluğu $L=24$ m ve çapı $D=1$ m olan $6 \times 6 = 36$ adet kazık eklenerek kazıklı temel sistemi tasarlanmış ve analizler yeniden yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda kazığa etkiyen yatay yük karşısında yataydaki sapma ve ötelenme miktarının emniyetli sınırlar içinde kaldığı gözlenmiştir.

Zarzour (2019) tarafından yanal yük etkisindeki tekil ve grup kazıkların kumlu zeminlerdeki performansı Taguchi optimizasyon tekniğiyle Plaxis 3D programı kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada 4 seviyeli ve 5 parametrelili Taguchi L16 tasarım tablosu kullanılmış ve Plaxis 3D programında 16 ayrı durum için model oluşturulmuştur. Kazık başlığının 10 mm, 25 mm ve 50 mm yatayda yer değiştirmesine karşı gelen yanal yükler hesaplanmıştır. Taguchi optimizasyon tekniğiyle yatay deplasmanlar için varyans

ve S/N (signal to noise) analizleri yapılarak her parametre ayrı ayrı incelenmiş, etki oranları belirlenerek grafik oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre serbest kısa kazıkların davranışını etkileyen en önemli parametre %78 oranı ile zemine gömülü kazık uzunluğu, ikinci ve üçüncü en önemli parametreler ise %8'lik oranlar ile SPT (Standart Penetrasyon Testi) değeri ve kazık çapı olarak hesaplanmıştır. Kazık boyu, SPT değeri ve kazık çapı parametreleri ile yanal taşıma kapasitesi arasında yaklaşık olarak doğrusal bir artış olduğu belirlenmiştir.

Yine bu çalışmada serbest uzun kazıkların davranışını etkileyen en önemli parametre %71-76 oranı ile kazık çapı olarak belirlenmiştir. Kazık çapı ile yanal taşıma kapasitesi arasında yaklaşık olarak doğrusal bir artış olduğu görülmüştür. İkinci önemli parametreler ise %21-26'lık oranla zemin üzerinde kalan kazık boyu olarak hesaplanmıştır. Kazık boyu arttıkça yanal taşıma kapasitesinin azaldığı gözlenmiştir. Rijit başlı kısa kazıkların davranışını etkileyen %36-50 oranı ile en önemli parametre zemine gömülü kazık uzunluğu, ikinci önemli parametre başlık boyutlarının etki derecesi, %18.8-20.7'lik oran ile üçüncü önemli parametre SPT değeri ve %16'lık oran ile dördüncü önemli parametre kazık çapı olarak tayin edilmiştir. Kazık boyu, başlık boyutlarının etki derecesi, SPT değeri ve kazık çapı parametreleri ile yanal taşıma kapasitesi arasında yaklaşık olarak doğrusal bir artış olduğu belirlenmiştir.

Rijit başlı uzun kazıkların davranışını etkileyen en önemli parametre %46-57 oranı ile kazık çapı, ikinci önemli parametre %11-27'lik oranla başlık boyutlarının etki derecesi, üçüncü önemli parametre ise %20-25'lik oranla SPT değeri olarak kabul edilmiştir. Kazık boyu, başlık boyutlarının etki derecesi ve SPT değeri parametreleri ile yanal taşıma kapasitesi arasında yaklaşık olarak doğrusal bir artış olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada grup kazıkların davranışını etkileyen en önemli parametre, kazık çapı olarak belirlenmiştir. Kazık çapı arttıkça yanal taşıma kapasitesinde yaklaşık olarak doğrusal bir artış gözlenmiştir. Kazıklar arası mesafe, kazık çapının bir fonksiyonu olduğundan, çapın yüksek etki oranına sahip olması da bu parametrenin oldukça önemli olduğu anlamına gelmektedir. Kazık boyunun etki derecesinin ise kazıkların başında olan deformasyona bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Bu parametrenin artmasıyla yatay taşıma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir.

Okar (2018) tarafından yapılan çalışmalarda, yanal yük etkisindeki rijit baret kazıkların kumlu zeminlerdeki davranışını incelemek için küçük ölçekli model deneyler hazırlanmış ve sayısal olarak da Plaxis 3D yazılımı ile analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında rölatif sıklığı %20 ve %70 olan kum zeminlerde farklı kesitli üç adet çelik kazık modeli kullanılarak toplam altı adet deney yapılmıştır. Deneylerde yük-deplasman grafiğini oluşturmak için 28 mm deplasman oluşturacak yük değerleri kullanılmıştır. Çalışmalar Plaxis 3D yazılımı ile analiz edilerek yük-deformasyon davranışı karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Sıkı ve gevşek kum zemin için yanal yük taşıma kapasitesi karşılaştırıldığında sıkı kum zeminde gevşek kum zemine göre yaklaşık 3.5 kat kadar daha fazla yük taşıma kapasitesi elde edildiği belirlenmiştir.

Abdrabbo ve El Wakil (2016) tarafından fiziksel model üzerinde bir laboratuvar çalışması sonucunda yatay olarak yüklenmiş helisel kazıkların davranışı incelenmiştir. Çalışmada yatay yüklemelere maruz kalan farklı çap, adet ve aralıklara sahip helisel kazıklarda yükleme testleri yapılmıştır. Helis çapının, sayısının ve aralığının etkileri izlenmiş; helisel kazıklar ve düz kazıklar arasında karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Helislerin varlığının, helislerin çapına, sayısına ve aralığına bağlı olarak nihai yatay kazık taşıma kapasitesini genel olarak arttırdığı sonucuna varılmıştır. Helislerin varlığından kaynaklanan gelişme oranının, kazık çapının %2.5'ine eşit bir yer değiştirmede 2.83 kata kadar ulaşabildiği belirlenmiştir. Yanal yüklere maruz kalan helisel kazık üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinden; optimum helisel derinlik oranı h/L , 1/3 ile 1/2 arasında, optimum helis sayısı 2, yani çift sıralı helisel kazık olduğu belirlenmiştir. En etkili aralık oranının "S/d" 3.0'e eşit olduğu tespit edilmiştir. Nihai yükte yanal gerilme katsayısı (k) değerinin, zemin özelliklerine, kazık gömülme derinliğine, helisel veya düz kazık tipine ve helis sayısına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Elkasabgy ve El Naggar (2015) tarafından yapılan çalışma kapsamında iki büyük çaplı çift helisel kazıkta yanal yükleme testi gerçekleştirilmiştir. Özellikleri aynı olan 6 m ve 9 m uzunluğunda iki adet helisel kazık kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar, arazi ortamında zemine gömülü helisel kazıklara yanal yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda 6 m ve 9 m olan kazıkların 139 kN ve 150 kN yük etkisinde sırasıyla 44.6 mm ve 36.6 mm deplasman yaptığı belirlenmiştir. Kazık uzunluğundaki değişimin yanal yük taşıma kapasitesini de etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca kazığın maksimum eğilme

momentinin 1.5 m derinlikte (şaft çapının yaklaşık 5 katı kadar) meydana geldiği belirlenmiştir.

Al-Baghdadi vd. (2015) tarafından yapılan bu çalışmada sıkı zemin içerisinde; zemin yüzeyinin 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m ve 2.0 m altına gömülü, 2 m uzunluğunda, 0.61 m çaplı helisel kazığın ve düz şaftın yanal yük kapasitesindeki değişimleri araştırılmıştır. Çalışmalarda kazık gömülü derinliğinin azaldığı durumda, yanal taşıma kapasitesinin de azaldığı belirlenmiştir. Ek olarak, kazıkların yanal kapasiteleri karşılaştırılmış ve helisel kazığın düz şafta göre yanal yük kapasitesi %7 ile %14 arasında artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Mısır (2015) tarafından yanal yük etkisindeki kısa kazıkların homojen ve tabakalı kum zeminlerdeki davranışı küçük ölçekli model deneylerle ve sonlu elemanlar ile sayısal olarak incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Kazıklar düşey ve eğik bir şekilde kum zemine yerleştirilerek pivot nokta uzunluğu ve yanal yük taşıma kapasitesi incelenmiştir. Laboratuvar model deneylerinin yanında iki ve üç boyutlu sayısal analizler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmış ve birbiri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Model deneylerde sıkı kum zemine negatif ve pozitif yönde yerleştirilen kazıkların açı değerleri 10° , 15° ve 20° olarak tasarlanmıştır. Ayrıca referans teşkil etmesi bakımından bir adet de düşey kazığa yükleme uygulanarak yanal yük taşıma kapasitelerine ait veriler elde edilmiştir. Kazıkların -10° , -15° ve -20° 'lik açılarda yerleştirildiği durumlarda düşey duruma göre yanal yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla %36, %56 ve %83 oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Bunun aksine kazıkların 10° 'lik açı yaptığı durumda düşey duruma göre yanal yük taşıma kapasitesinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiş, 15° ve 20° 'lik açı yaptığı hallerde ise sırasıyla %10.6 ve %16.7 oranlarında azaldığı sonucuna varılmıştır. Tabakalı zemin çalışmalarında ise kazık boyunun %30, %60, %90 ve %100'ünün gevşek zeminde, kalan kısımların ise altta sıkı kum olacak şekilde kazık yerleştirilip model deneyler hazırlanmıştır. Yanal yük taşıma kapasitesinde homojen sıkı kumdaki kazığa göre sırasıyla %34, %73.6, %83.9 ve %84.5 oranlarında azalmaların olduğunu belirlenmiştir.

Sanzeni (2015) tarafından yapılan çalışmada sonlu farklar yöntemine göre helisel kazıkların yanal yük taşıma kapasitesi incelenmiştir. Çalışmada doğal zemin ve dolgu alanlarına yerleştirilen prototip kazıklara tam ölçekli yerinde yatay yükleme deneyleri

yapılmış ve sonuçlar, bir kiriş için diferansiyel denklemi çözen bir yazılım programıyla gerçekleştirilen sayısal modelleme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, deneyleri modellemek için kullanılan sayısal analiz programının yerinde yük-sapma eğrisini yeniden üretebileceğini ve bir "itme" analizinin bir sonucu olarak kazıklı zemin sisteminin nihai yanıl kapasitesini tahmin edebileceğini gösterilmiştir.



3. HELİSEL KAZIKLAR

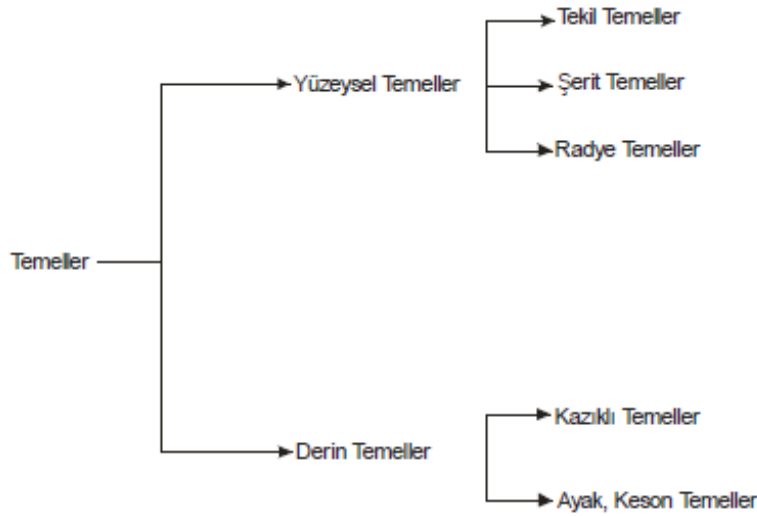
3.1. Temel Tanımı

Temeller, üstyapıdan gelen ölü (zati) ve hareketli yükleri güvenle taşıyıp zemine aktaran yapı elamanlarıdır. Temeller yük aktarımı yaparken, üzerinde bulunduğu zemini de aşırı gerilmelere zorlamamalıdır. Çünkü oluşan bu gerilmeler emniyet sınırını aştığı takdirde zeminde; aşırı oturmalara veya kayma yenilmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda temel tasarımı yapılırken yapı ile yüklerin taşındığı zemin arasındaki etkileşim ve jeolojik gereksinimler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Başka bir tanıma göre temeller, üzerindeki yapıdan gelen yükleri, kendi ağırlığı ile birlikte temel zemine; zeminde kırılma (kayma) olmadan, ayrıca bu olaya karşı belli bir güvenlikle (taşıma gücü koşulu) ve yapıya zarar vermeyecek oturmalarla (oturma koşulu) temel zemine aktaran eleman veya elemanlardır (Uzuner, 1996). Bununla birlikte temellerin tasarımında yapının şekli, yapısal özellikleri, yeraltı suyunun etkisi, deprem etkisi ve çevresel faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

3.2. Temellerin Sınıflandırılması

Temeller; yapının zeminle etkileşimini sağlayan elemanlardır. Bu elemanlar ahşap, beton, çelik, polimer malzeme ya da diğer malzemelerden imal edilmektedir. Yapıyı kendine en yakın sağlam zemine bağlamada kullanılan temeller Şekil 3.1’de de gösterildiği üzere zemindeki gömülme durumuna göre yüzeysel temeller ve derin temeller olarak iki kısımda incelenmektedir.



Şekil 3.1. Temellerin sınıflandırılması (Uzuner, 1996)

3.3. Derin Temeller ve Helisel Kazıklar

Temel etkisi altındaki zemin, üstyapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşınmalıdır. Zeminin yükü taşıyamadığı durumlarda, ya temel etkisindeki zemin ortamı iyileştirilmekte ya da yükü daha derindeki sağlam zemin tabakasına aktarmak için derin temel sistemleri tercih edilmektedir. Derin temel sistemlerinde kullanılan bazı temel çeşitleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Uygulamada sıklıkla kullanılan derin temel çeşitlerinden de aşağıda bahsedilmiştir.



Şekil 3.2. Derin temel sistemlerinde kullanılan bazı temel çeşitleri (Coduto, 2001)

Ayak temeller: Sağlam zemin tabakasının kazık temel sistemi uygulanacak kadar derinde olmadığı ve temellerin etki edeceği zeminin de iyileştirmesinin yetersiz olacağı durumda uygulanan sistemlerden biridir. Sağlam zemin tabakasına kadar kazı yapılmakta ve ayak temeller sağlam zemine oturtulup üst kısımda betonarme kirişler ile birbirine bağlanarak uygulanmaktadır.

Keson temeller: Kazık temellerin yapılmasının uygun olmadığı durumlarda keson temeller kullanılmaktadır. Kesonlar gevşek, zayıf veya balçık zeminlerde oluşturulacak temel imalatlarında tercih edilmektedir. Betonarme, çelik veya ahşap gibi malzemelerden yapılabilen, geniş çaplı dairesel ve içi boş kesonlar çeşitli yöntemlerle sağlam zemine ulaşana kadar batırılmakta ve üst üste konularak yerleştirilmektedir. İçindeki malzeme boşaltıldıktan sonra betonla, taş bloklarla vs. ile doldurulmaktadır. Genelde liman, köprü ve viyadük inşaatlarında kullanılan keson temellerin maliyeti oldukça yüksektir.

Kazık temeller: Taşıma kapasitesi yetersiz zeminlerde, sağlam zeminin yeterince derinde olmasından dolayı, yapı yükünü sağlam zemine aktarmak için çeşitli yöntemler ile kazık temel sistemi uygulanmaktadır. Yapı yükleri uç kazıklarla ve/veya kazığın yan yüzeylerinin sürtünmesiyle zemine iletilmekte ve bu kazıklar üst kısımda betonarme kirişler veya plak ile birbirlerine bağlanmaktadır. Kazıklı temeller, derin temel sistemlerinin yaygın olarak kullanılan bir çeşididir. Kazıklar, üretildikleri malzemeye göre ahşap, beton, betonarme, çelik ve kompozit kazık olarak sınıflandırılmaktadır.

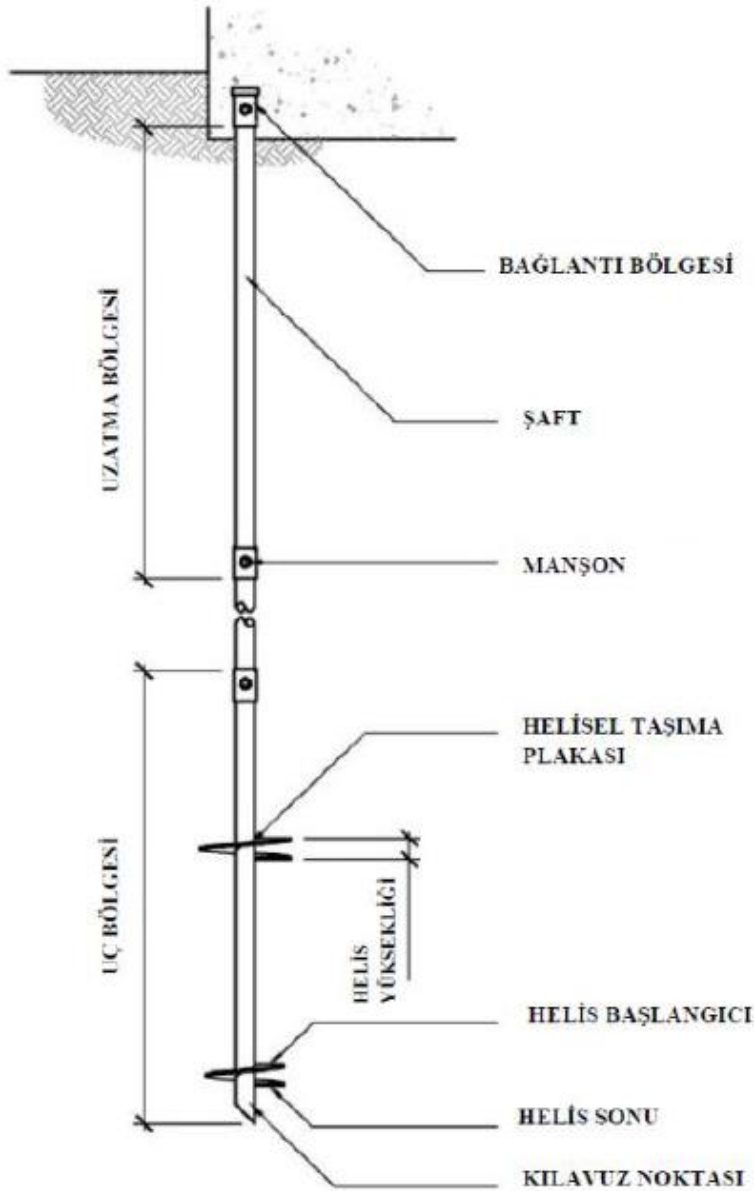
Derin temel sistemlerinde kullanılan kazık çeşitlerinden biri de helisel kazıklardır. Helisel kazıklar yanal, çekme ve basınç kuvvetlerine karşı koyabilen; imalatı kolay, dışarda hazırlanıp proje sahasına getirilen ve hidrolik tork makinesi yardımı ile eğimli veya dik bir şekilde zemine doğru döndürülerek itilen bir kazık çeşididir. Uygulama kolaylığı ve işlevselliğinden dolayı helisel kazıklar geoteknik mühendisliğinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Helisel kazıklar günümüzde bir veya daha fazla helisel taşıma plakası içeren, imalathane üretimi çelik kazıklar olarak bilinmektedir. İmalat yöntemi bakımından çakma kazıklara benzemektedir. Ancak çakma kazıkların zemin içinde ilerletilmesi için sadece normal kuvvete ihtiyaç varken, helisel kazıkların zemin içinde ilerletilebilmesi için hem normal kuvvet hem de dönme hareketi gerekmektedir.

3.4. Helisel Kazıkların Temel Özellikleri

Helisel kazıklar yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşımak için dönme hareketi ile zemine entegre edilen çelik temel sistemleridir. Standart bir helisel kazık, i) bağlantı, ii) uzatma ve iii) uç bölgesi olmak üzere üç kısımdan oluşur. Bağlantı bölgesi kazık ve yapı arasındaki etkileşimi sağlamaktadır. Uzatma bölgesi kazığın şaft kısmını oluşturmaktadır. Uzatma bölgesine eklemeler yapılarak kazığın zemin içerisinde daha derinlere ilerlemesi sağlanmaktadır. Kazığın uç bölgesinde ise helisel plakalar bulunmakta ve plakalar esas taşıma görevini yürütmektedir. Bir helisel kazıkta bir veya birden fazla helisel taşıma plakası yer almaktadır. Standart bir helisel kazıkta maksimum 6 adet taşıma plakası bulunmaktadır. Helisel kazıklarda plaka sayısına göre isimlendirme yapılmaktadır (tekli, ikili, üçlü vs.). Helisel kazığın şaft kısmının dış çapı 76 mm ile 508 mm arasında, et kalınlığı da 32 mm ile 117 mm arasında değişebilmektedir. Helisel taşıma plakasının çapı ise 150 mm ile 1016 mm arasında üretilmektedir. Proje gereksinimlerine göre daha büyük helisel kazıklar da imal edilebilmesi de mümkündür. Helisel plaka yüksekliği genellikle 75 mm'dir (Yılmaz, 2016). Helisel kazıklara ait kazık plakası ve kazık şaftı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Helisel kazık plakası (helis yaprağı) görünümü (Perko, 2009)



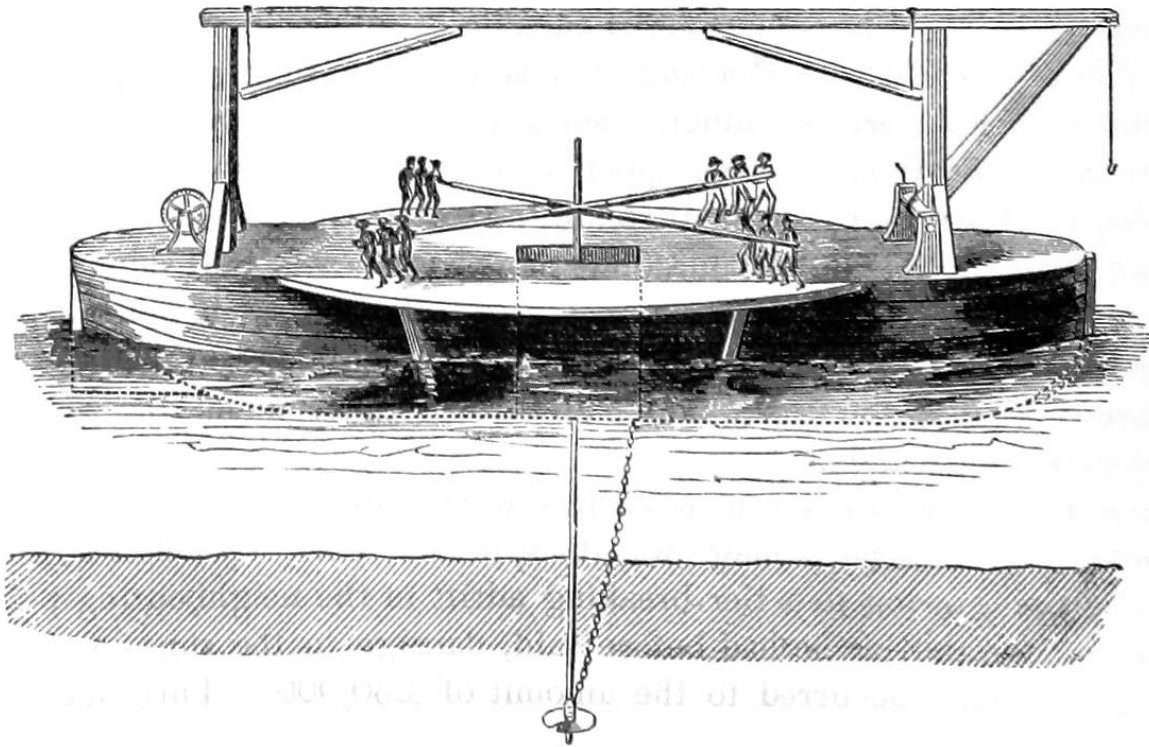
Şekil 3.4. Tipik bir helisel kazık detayı (Yılmaz, 2016)

Helisel kazıklar uygulanabilirlik bakımından da oldukça avantajlıdır. Helisel kazıklar imalat ve uygulama bakımından kolaylık sağlamaktadır. Birçok zemin türüne uygulama yapılabilmektedir. Killi zeminlerde, siltli zeminlerde, kumlu zeminlerde, çakıllı zeminlerde ve şişme özelliği olan zeminlerde helisel kazık imalatı yapılabilmektedir.

Ancak, nihai taşıma gücü 7 MPa değerinden fazla olan kayalarda özellikle magmatik, metamorfik ve sağlam sedimenter kayalarda helisel kazık imalatı yapılamamaktadır (Perko, 2009).

3.5. Helisel Kazıkların Tarihçesi

Helisel kazığın tarihte kaydedilen ilk örneği 1836 yılında İrlandalı bir tuğla üreticisi olan Alexander Mitchell tarafından kullanılmıştır. Genç yaşlarda görme yetisini kaybettikten sonra tuğla imalatına başlamış ve bir yandan da mekanik, matematik ve inşaat bilimiyle ilgilenmiştir. Mitchell tarafından “Zayıf zemine oturan deniz yapıları için daha sağlam bir temel sistemi nasıl olabilir?” sorusuna cevap aranması çalışmaları kapsamında helisel kazık icat edilmiş ve 1833’te Londra’da bu icat patentlemiştir. Deniz yapıları için öncesinde birçok fikir üretilmişse de pratikte çoğu başarısız olmuştur. Helisel kazıklar ilk zamanlarda mekanik güç olmadığı için insan ve hayvan gücü yardımıyla uzunca ahşap sırıkları çıkırık biçiminde kullanılarak zemine uygulanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Helisel kazıkların çıkırık sistemle imalatı

Mitchell tarafından geliştirilen helisel kazık 1838 yılında Thames Nehri kıyısındaki deniz fenerinde kullanılmıştır. Sekizgen şeklinde yerleştirilmiş 9 adet helisel kazık kullanılarak yaklaşık 6.7 m derinlikte uygulama yapılmıştır. Sonrasında kazıklar yanal desteklerle birbirine bağlanmıştır. İlk uygulama olmasına rağmen büyük bir başarı elde edilmiştir ve

İngiltere kıyıları boyunca deniz fenerlerinde ve iskele temellerinde kullanılmaya başlanmıştır. Alexander Mitchell'in icadı olan helisel kazık bugüne kadar birçok farklı tipte ve boyutlarda geliştirilmiştir (Şekil 3.6).



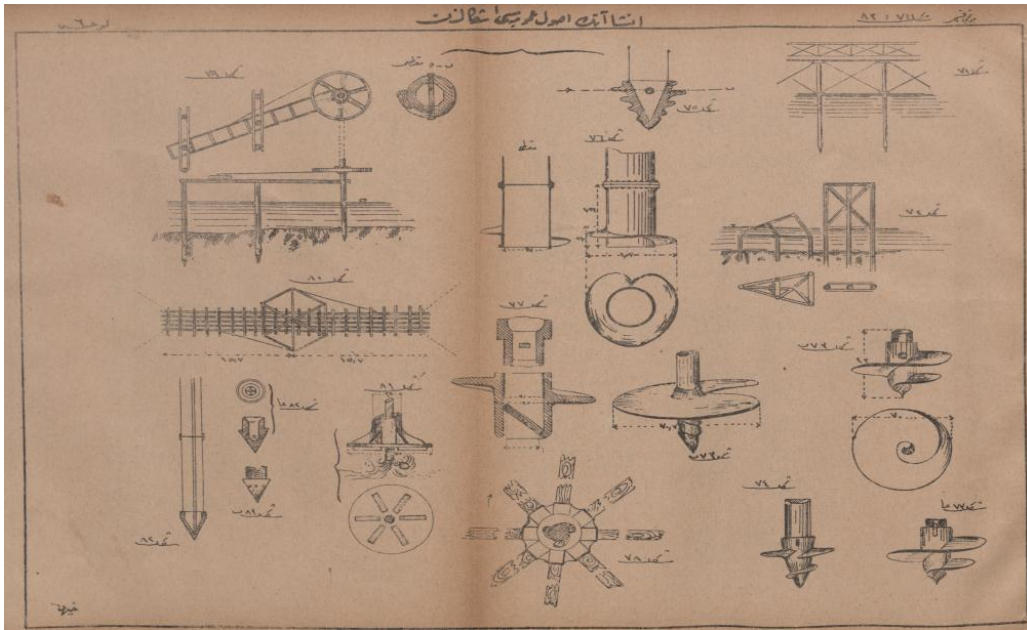
Şekil 3.6. Helisel kazıktan oluşan bir temel sistemiyle imal edilmiş deniz feneri (Sirsikar, 2018)

Helisel kazıklar aynı yüzyılda İngiliz mühendisler Japonya'da da köprü ayaklarında kullanılmıştır. Ardından deniz feneri, iskele gibi yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Thomas Point Shoal Işık İstasyonu günümüzde hala varlığını sürdürmekte olan helisel kazıklı deniz bir feneridir.

20. yy. başlarında teknolojiye gelişmeler neticesinde çakma kazık, foraj gibi yüksek yük kapasiteli kazık işlemleri oldukça kolaylaşmış ve helisel kazıklara olan ilgi zamanla

azalmıştır. Günümüzde ise tork makinelerinin geliştirilmesi ve yaygın bir şekilde kullanılmasıyla helisel kazıkların kullanımı yeniden yaygınlaşmaya başlamıştır. Geçmişte deniz kıyısındaki yapılara uygulansa da günümüzde yapı temellerinden enerji hatlarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde helisel kazıklar ile yapılan ilk çalışmalara Feyzi (1903) tarafından Osmanlıca yazılan İnşaatın Genel Usulleri kitabında rastlanmıştır. Bu çalışmada helisel kazıklarla ilgili teknik çizimler ve çeşitli bilgilere yer verilmiştir. Helisel kazıklara ilişkin çizimler Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Helisel kazıklara dair ilk çalışmalar (Feyzi, 1903)

3.6. Helisel Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları

Helisel kazıkların diğer temel çeşitlerine göre birçok avantajı bulunmaktadır. İmalat ve uygulama bakımından oldukça kolay, ekonomik ve hızlı bir yöntemdir. İmalathanede üretilip proje sahasına taşınabilmekte ve rahatlıkla zemine uygulanabilmektedir. Uygulamanın ardından hemen yükleme işlemi yapılabilmektedir. İstenmeyen durumlarda projede hızlı ve rahat bir şekilde revizyona gidilebilmektedir. Uzunluk ve kapasitede değişiklik istenildiği takdirde uzatmalar eklenerek veya çıkarılarak anında ve kolaylıkla işlem yapılabilmektedir.

Diğer temel türlerine göre kazı foraj gibi işlemler gerektirmemesi ve bu durumun sonucu olarak hafriyat malzemesinin çıkmaması önemli bir avantajdır. Bu nedenle kazı-foraj maliyeti, depo yeri ve hafriyat taşıma gibi masraflı uygulamalar gerektirmemektedir. Zeminden kaynaklı sorunlardan dolayı, projesinde belirtilen yere uygulanamayan kazıklar veya projesinde belirtilen yerden farklı bir noktaya imal edilmiş kazıklar kolaylıkla çıkartılıp istenilen noktaya tekrar imal edilebilmektedir. Aynı şekilde geçici olarak hazırlanan yapılar için kullanılan kazıklar çıkartılıp tekrar tekrar kullanılabilir.

Her türlü hava şartlarında ve birçok zemin türünde imalat yapılabilir. Temel türleri için etkili olan yeraltı suyu ve don gibi sorunlar helisel kazıklara etki etmemektedir. Helisel kazıklar don sınıfı yüksek zeminlerde de rahatlıkla imal edilebilir. Zeminin dondan dolayı kabarmasına karşı koyarak yapıyı güvenli bir şekilde taşıyabilir. Yeraltı suyunun olduğu bölgelerde herhangi bir koruma veya kılıflama gibi işlemler gerektirmeden zemine uygulanabilir. Ayrıca kazıklara galvaniz kaplama yapılarak korozyona karşı önlem alınmaktadır.

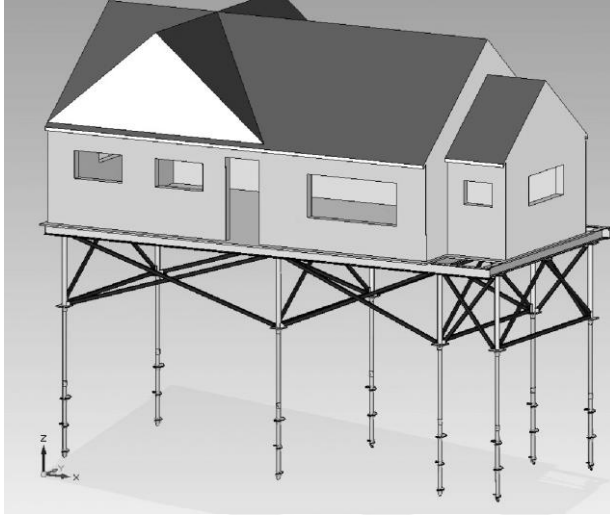
Bütün bu avantajlara karşın helisel kazıkların olumsuz tarafları da vardır. Zemindeki süreksizlik, değişkenlikler ve kaya parçaları gibi nedenler imalat sırasında çeşitli sorunlar çıkarabilir. Bu sorunlar; kazık sayısını, kazık yerini, tork değerini değiştirmek gibi yöntemlerle giderilebilir. Yapım aşamasında iri çakıllı zemin, sert kaya, kaya, bazı yumuşak kaya vb. zemin türleriyle karşılaşıldığında uygulamadan vazgeçilip farklı bir zemin iyileştirme yöntemine gidilebilir. Uygulama esnasında zaman zaman helis plakası zarar görebilir.

3.7. Helisel Kazıkların Kullanım Alanları

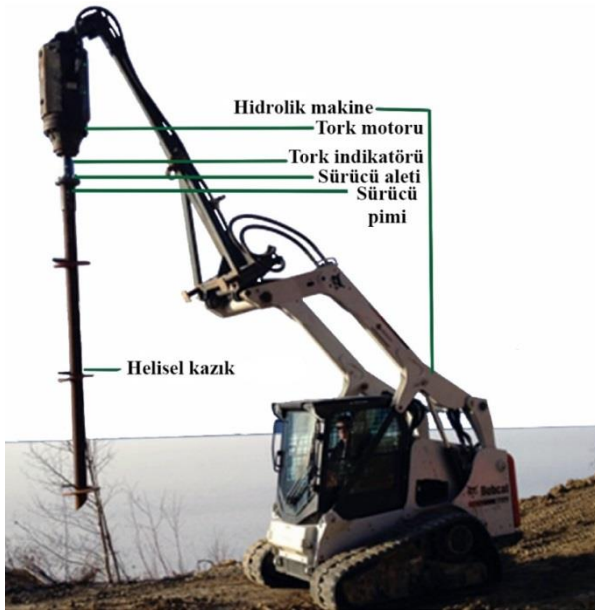
Helisel kazıklar; basınç kuvveti, çekme kuvveti ve yatay kuvvetlere karşı direnç gösterdiği için ve birçok farklı türdeki zeminlerde (bataklık zeminler, dona hassas zeminler, zayıf zeminler vb.) rahatlıkla uygulandığı için günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır.

Helisel kazıkların kullanım alanlarından biri de yapı temellerinin takviyesidir. Zarar görmüş veya görme riski olan yapıların temelleri herhangi bir yıkım işlemi yapmadan helisel kazıklar ile güçlendirilmektedir. Yapının çevresi kazılarak veya oyularak kazık

zemine yerleştirilmekte ve kazık ekipmanları hem yapıya hem de kazığa sabitlenmektedir. Kazık, zemine tork yardımıyla iletilmekte ve yapı temeli bu şekilde sağlamlaştırılmış olmaktadır. Helisel kazık uygulamalarına ilişkin örnekler şekil 3.8 ve şekil 3.9'da gösterilmektedir.



şekil 3.8. Helisel kazık (Perko, 2009)



şekil 3.9. Helisel kazık sisteminin arazide uygulanması (Niroumand ve Saaly, 2019)

Nehir, göl ya da bataklık gibi alanlarda yapılacak olan yapıların temellerinde de helisel kazıklar kullanılabilir. Şekil 3.10'da görüleceği üzere bataklık zeminde yapılan yürüyüş yolu ayaklarında ve Şekil 3.11'de görüleceği üzere nehir üzerine yapılmakta olan köprü'nün ayaklarında helisel kazıklar kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Yürüyüş yolu ayaklarında helisel kazıklar (Perko, 2009)



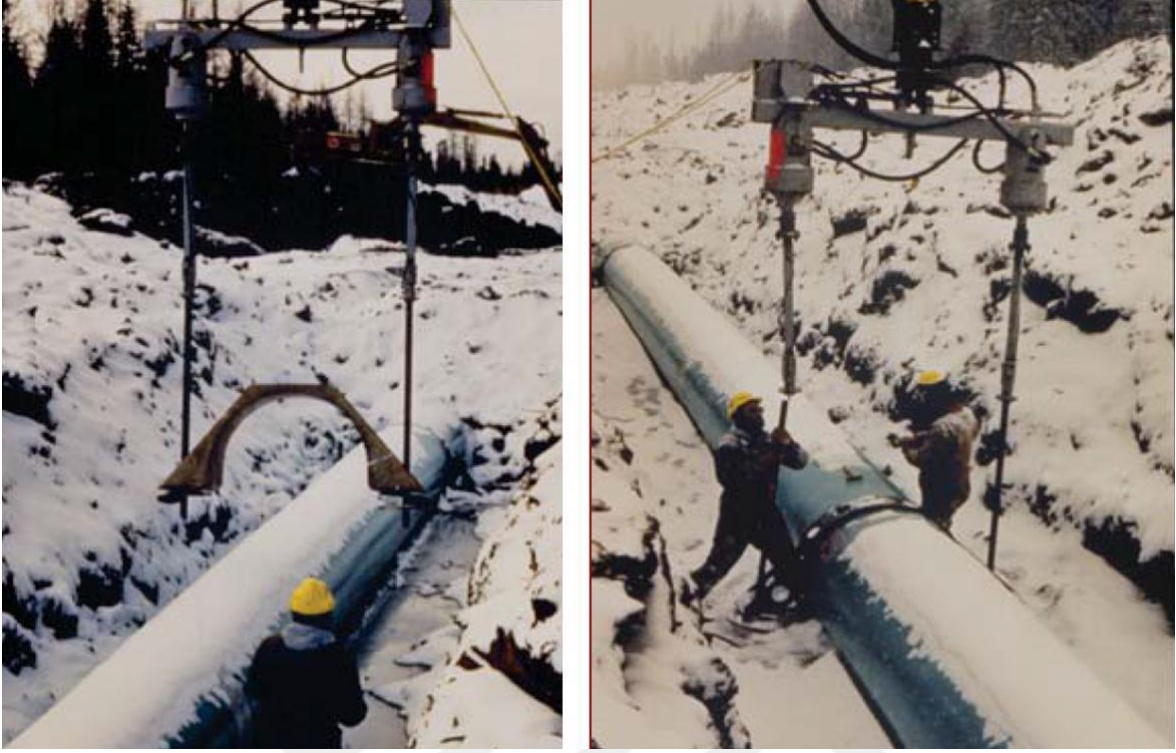
Şekil 3.11. Temelleri ıslak zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması (Yılmaz, 2016)

Şev üzerinde yapılacak yapıların temellerinde şev stabilitesini sağlamak amacıyla da helisel kazıklar kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere şevli arazilerde helisel kazıklar, zemin iyileştirme yöntemi olarak etkili bir şekilde uygulanmaktadır (Şekil 3.12).



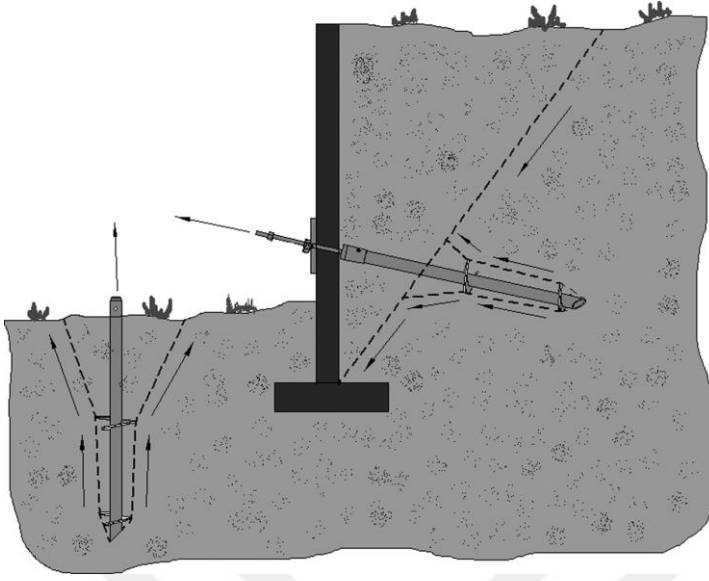
Şekil 3.12. Şevli zeminlerde helisel kazık uygulaması (Perko, 2009)

Zemine gömülü boruların, donma etkisinden dolayı zeminde oluşacak şişme veya yeraltı suyu etkisinden dolayı yüzmeye karşı çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerden biri olan helisel kazık uygulamaları; maliyet, uygulamada karşılaşılan zorluklar veya işlevsellik gibi yönlerden diğer önlemlere göre oldukça avantaj sağlamaktadır. Borulara takılan kelepçeye bağlı olan helisel ankrajlar zemine ankre edilerek boru hatlarındaki tehlikeleri yeterince ortadan kaldırmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Boru hatlarında helisel ankrajla yüzmeye karşı önlem alınması (Yılmaz, 2016)

Helisel kazıkların bir diğer kullanım alanı da destekleme sistemleridir. Kazı destek sistemlerinde helisel kazıklar çekme kuvvetlerine karşı koyduğu için oldukça kullanışlı olmaktadır. Burada helisel kazıklar bir başka ifadeyle de helisel ankrajlar olarak kullanılmaktadır. Helisel ankrajlar fore kazıklı, palplanşlı ya da püskürtme betonlu kazı destek sistemleri ile birlikte karayolu genişletmesi, istinat duvarları ve gecikmeli iksa gibi yapılarda tercih edilebilmektedir. Helisel ankrajlı iksa sistemi Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Ankrajlı İksa (Perko, 2009)

Helisel kazıklar; rüzgâr türbinleri, güneş enerji panelleri, reklam tabelaları ve aydınlatma direkleri gibi daha birçok alanda temel sistemi veya güçlendirme sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu tip yapılar tekrarlı yüklere maruz kaldığı için aksel veya yanal yönlü hareket edebilmektedir. Bu durum ise yapıyı olumsuz yönde etkilemektedir. Yapının temelinde stabiliteyi sağlamak için helisel kazıklar etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.15'te helisel kazık uygulanmış rüzgâr türbini temeli örneği görülmektedir.



Şekil 3.15. Helisel kazıklı rüzgâr türbini temeli (Bump ve Laney, 2012; Yılmaz, 2016)

3.8. Kazığı Etkileyen Y¼kler

Kazıklar, d¼şey y¼k ve momentlerin yanında yatay y¼k ve moment etkisinde kalabilmektedirler. Bu nedenle kazıklara etkiyen d¼şey y¼k ve momentlere ek olarak yatay y¼k ve momentler de hesaba katılarak, etkisinde kaldığı bu y¼kleri kazıkların güvenli bir şekilde zemine aktarması ve taşıması gerekmektedir. Yatay y¼k etkisindeki kazıklar üzerine etki eden y¼kler bakımından kazıklar aktif ve pasif kazıklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif kazıklar üzerine doğrudan yanal y¼k etki ettiğinde kazık davranışı, deplasmanı ve yanal zemin hareketleri bakımından önem kazanmaktadır. Herhangi bir dış y¼k etkisinde kalmayan ancak zemin hareketleri nedeniyle yüke maruz kalan pasif kazıklarda ise kazık şaftında yanal y¼kler önem kazanmaktadır. Kazık temellere etkiyen yatay y¼kler aşağıdaki nedenlerle ortaya çıkmaktadır:

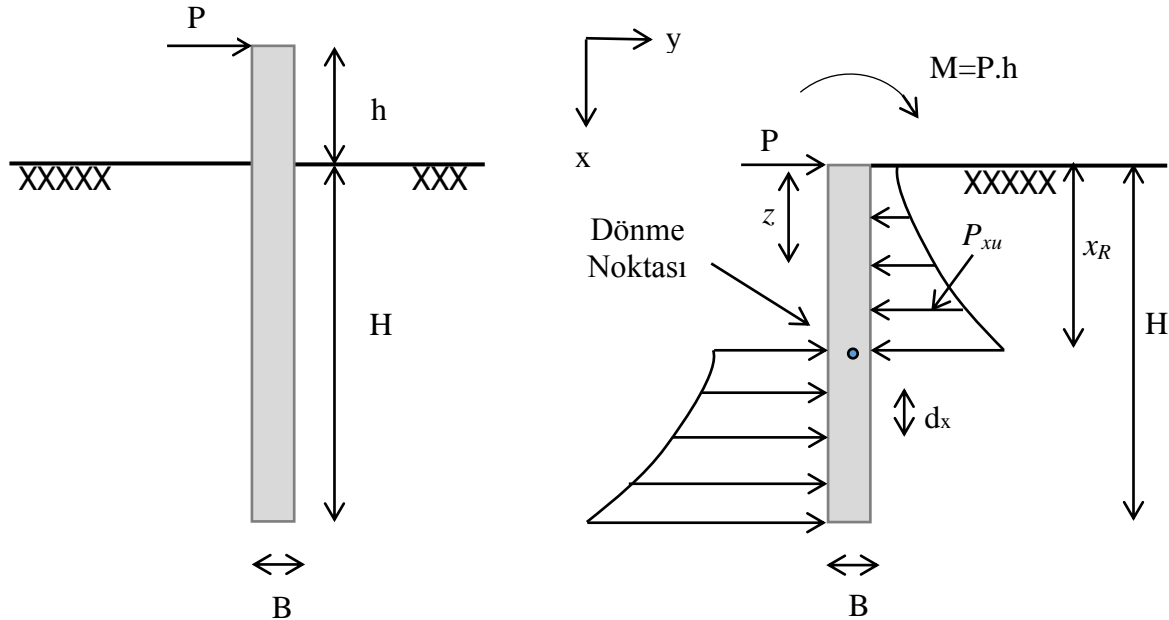
1. R¼zgâr y¼kleri
2. Deprem etkisiyle oluşan y¼kler
3. Yatay zemin basınçları
4. Su etkisiyle oluşan yatay y¼kler
5. Kablo gerilme y¼kleri
6. Dalga kuvvetleri etkisiyle oluşan y¼kler
7. Araçların hareketler ve fren y¼kleri

4. TEORİ

4.1. Brinch Hansen Yöntemi

Brinch Hansen yöntemi temel olarak zemin basıncı kuramına dayalı bir yöntem olup içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon değeri bilinen zeminler için uygulanabilir bir yöntemdir. Tabakalı zeminlerde de uygulanan bir yöntemdir ancak sadece kısa rijit kazıklar için anlamlı sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde kazığın dönme noktasının belirlenebilmesi için deneme yanılma yönteminin kullanılması gerekmektedir.

Serbest başlı bir kazığın maksimum yatay direncinin basit tahmini ve kazığa etkileyen yüklere karşı maksimum zemin direncinin gösterimi Şekil 4.1'de yer almaktadır. Şekilde kazığa etkileyen yatay P yükü, M momenti ve herhangi bir x derinliğindeki maksimum zemin direnci P_{xu} gösterilmektedir. Uygulanabilir maksimum yatay yük P_u ve moment M_u ile sunulmaktadır.



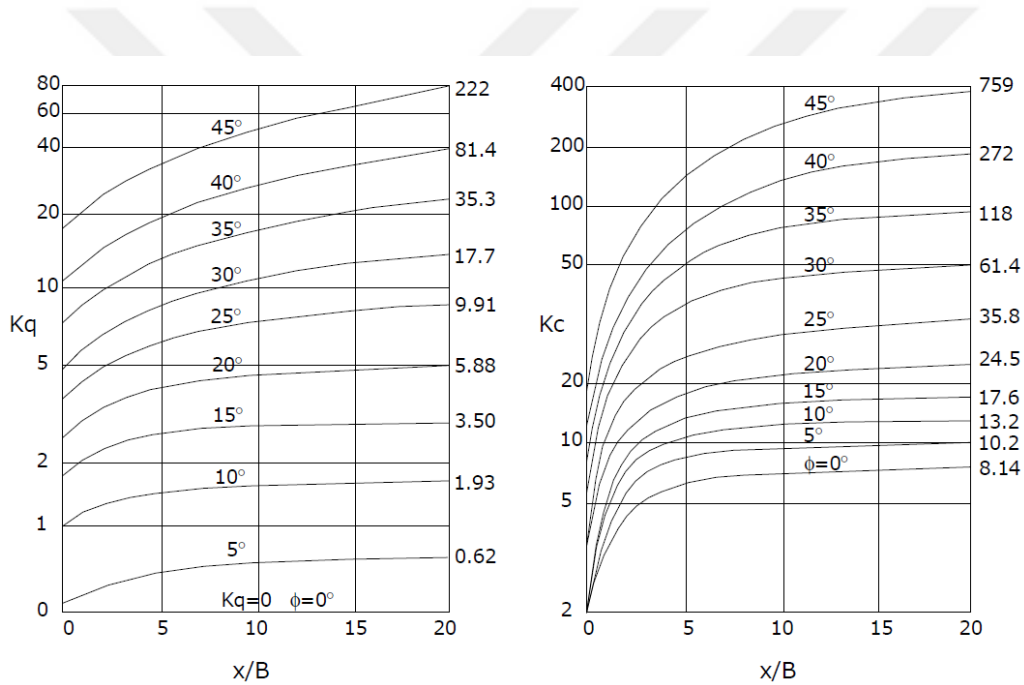
Şekil 4.1. Serbest başlı yatay yüklü rijit kazıkta yatay direncin mobilize olma biçimi

Uygulanabilir maksimum yatay P_u yükü ve M_u momenti maksimum zemin direncinin p_{xu} derinlikle değişimi denge şartlarına bağlı olarak bulunabilmektedir (Eşitlik 4.1).

$$P_{xu} = p_d' \cdot K_q + c \cdot K_c \quad (4.1)$$

Burada; p_d' , belirlenen noktadaki düşey efektif gerilme, c ise kohezyon değeridir.

K_q ve K_c katsayıları x/B oranına ve içsel sürtünme açısına (ϕ) bağlı olarak Şekil 4.2'den belirlenen katsayılardır. Farklı içsel sürtünme açılarına ait K_q ve K_c değerleri aşağıdaki abaklardan temin edilebilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. K_q ve K_c katsayıları (Brinch Hansen, 1961)

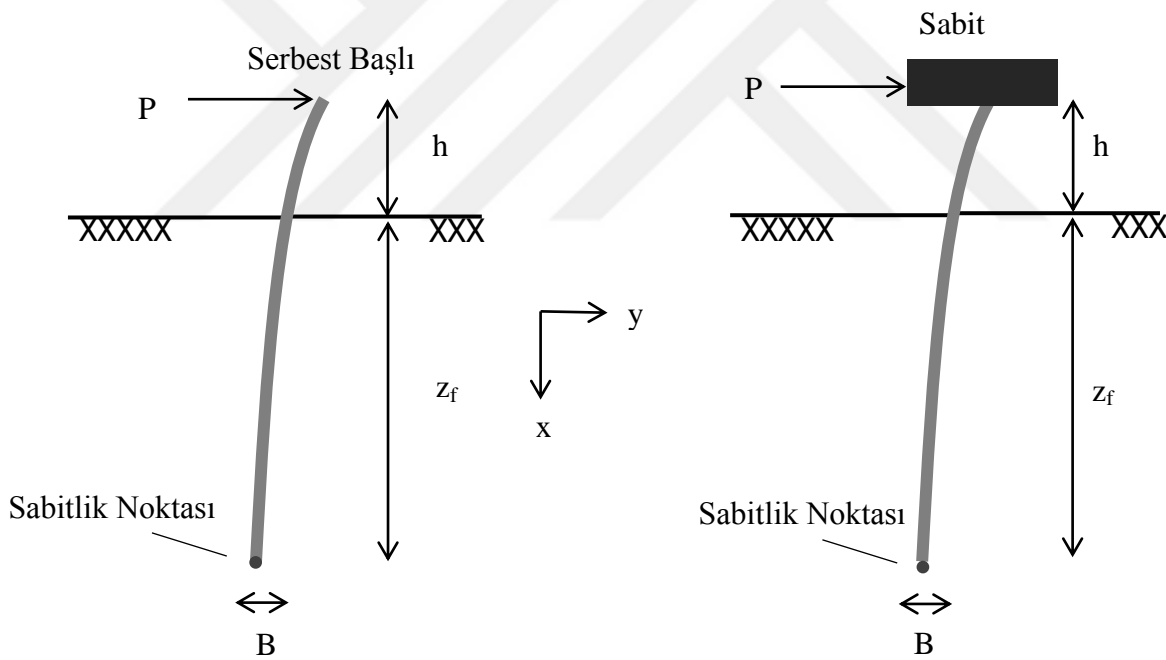
Brinch Hansen yönteminde hesap adımları aşağıdaki gibi sunulmaktadır.

1. Zemin yatay olarak n sayıda ($dx=H/n$) tabakaya bölünür. Her tabaka için Eşitlik 4.1'den P_{xu} değeri hesaplanır.
2. İstenilen bir derinlikten dönme noktası tahmin edilir (x_R).
3. Kazığın en üst noktasında toplam moment $M = 0$ olacak şekilde dönme noktası tahmin edilir. Eğer toplam moment sıfırdan farklı çıkmışsa tahmin edilen dönme noktasının

derinliği değiştirilerek tekrar moment hesabı yapılır. Toplam moment $M = 0$ olduğu takdirde dönme noktası son belirlenen derinlikte olduğu kabul edilir.

4. Belirlenen dönme noktasına göre moment dengesi yazılır. Ardından kazığın taşıyabileceği yük miktarı hesaplanır.
5. Kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları çıkarılır. Momentin maksimum olduğu noktada kesme kuvveti sıfırdır.

Dalga veya gemi çarpma kuvvetleri gibi kısa dönem analizlerde tasarım için drenajsız mukavemet parametreleri kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ), zemin basıncı gibi uzun dönem yükler için yapılan tasarımlarda ise c' ve ϕ' drenajlı mukavemet parametreleri kullanılmalıdır. Sabit ve serbest başlı kazıklarda yaklaşım Şekil 4.3'te gösterildiği üzere birbirinden farklı olmaktadır.



Şekil 4.3. Basit konsol olarak yanal yük etkisi altındaki kazıklar

Çizelge 4.1 ve aşağıdaki eşitlikler kullanılarak nihai yük ayrı ayrı elde edilmektedir. Kazığın sabit başlı olması durumunda Eşitlik 4.2 kullanılarak nihai yük hesabı yapılabilmektedir.

$$P_u = \frac{2M_u}{h+z_f} \quad (4.2)$$

Burada; M_u , eğilme momenti, h , yatay yük etkisinin zemin yüzeyinden yüksekliği, z_f ise zemin türüne göre değişken katsayıyı ifade etmektedir. Kazığın serbest başlı olması durumunda Eşitlik 4.3 kullanılarak nihai yük değeri hesaplanabilmektedir.

$$P_u = \frac{M_u}{h+z_f} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.1. Çeşitli zeminler için z_f değerleri (Dilaver, 2007)

Daneli zeminler ve sert kil	z_f : 1,5 m
Yumuşak kil ve silt	z_f : 3,0 m
Sert aşırı konsolide killer	z_f : 1,4 R
Normal konsolide killer	z_f : 1,8 T
Daneli zeminler, silt ve turba	z_f : 1,8 T

4.2. P-Y Eğrileri Yöntemi

Yanal yük etkisindeki kazıkların deformasyon analizlerinde zeminin elastik davranışının yanında plastik davranışı da dikkate alan yöntemler bulunmaktadır. Yanal yüklü kazıkların yatak katsayısına dayanan analiz yöntemlerinden bir diğeri de P-y eğrileri analiz yöntemidir. Diğer yöntemler zeminin elastik davranışına göre analiz edilmişken P-y eğrileri yöntemi zeminin plastik davranışı esas alınarak geliştirilmiştir.

P-y analiz yönteminde, P-y eğrilerinin derinlikle değişim gösterdiği dikkate alınmalıdır. Bu eğriler aşağıda belirtilen kabuller kullanılarak ve Eşitlik 4.4'deki bağıntı ile tarif edilmektedir.

- 1- Yanal yüklü bir kazığın düşeydeki tüm parçalarının yanal deformasyonu p-y eğrileri ile uyum göstermektedir.
- 2- Eğriler kazığın şeklinden ve rijitliğinden bağımsız olup, her bir eğri, üstündeki veya altındaki yüklemelerden etkilenmemektedir. Bu kabul kesin bir nitelik taşımazken pratik amaçlar için kabul edilebilir niteliktedir.
- 3- Yanal yüklü kazıkların lineer elastik davranan kirişlerden oluştuğu varsayılmaktadır.

$$E_P I_P \frac{d^4 y}{dx^4} + P_x \frac{d^2 y}{dx^2} - p = 0 \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte; $E_p I_p$, kazık rijitliği, y , kazığın yataydaki yer değiştirmesi, x , kazık boy uzunluğu, P_x , kazık üzerindeki eksenel yük, P ise birim kazık boyundaki zemin reaksiyonudur.

Eşitlik 4.4'e sırasıyla integrasyon işlemi yapılarak;

Eşitlik 4.5 ile T kesme kuvveti;

$$E_p I_p \frac{d^3 y}{dx^3} + P \frac{dy}{dx} = T \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.6 ile M kazık eğilme momenti

$$E_p I_p \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.7 ile S elastik eğrinin eğimi elde edilmektedir.

$$\frac{dy}{dx} = S \quad (4.7)$$

4.2.1. Kohezyonsuz zeminlerde p-y eğrileri

Kohezyonsuz zeminlerde p-y eğrilerini oluşturmak için aşağıdaki adımlar takip edilmektedir.

1. Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (γ) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kazık çapı (B) belirlenir.
2. Aşağıda verilen Eşitlik 4.8 ve 4.9 yardımıyla; zemin yüzeyinden kritik derinliğe kadar olan bölge için P_{ct} ve kritik derinliğin altında kalan bölge için P_{cd} değerleri hesaplanır. Hesaplanan P_{ct} ve P_{cd} aynı grafik üzerinde çizilip kesiştirilir ve kritik nokta belirlenir.

$$P_{ct} = \gamma x \left[\frac{K_0 \tan \phi \sin \beta}{\tan(\beta - \phi) \cos \alpha} + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi)} (B + \tan \beta \tan \alpha) \right] \quad (4.8)$$

$$+ \gamma x [K_0 x \tan \beta (\tan \phi \sin \beta - \tan \alpha) - K_0 B]$$

$$P_{cd} = K_a B \gamma x (\tan^8 \beta - 1) + K_0 B \gamma x \tan \varphi \tan^4 \beta \quad (4.9)$$

Burada;

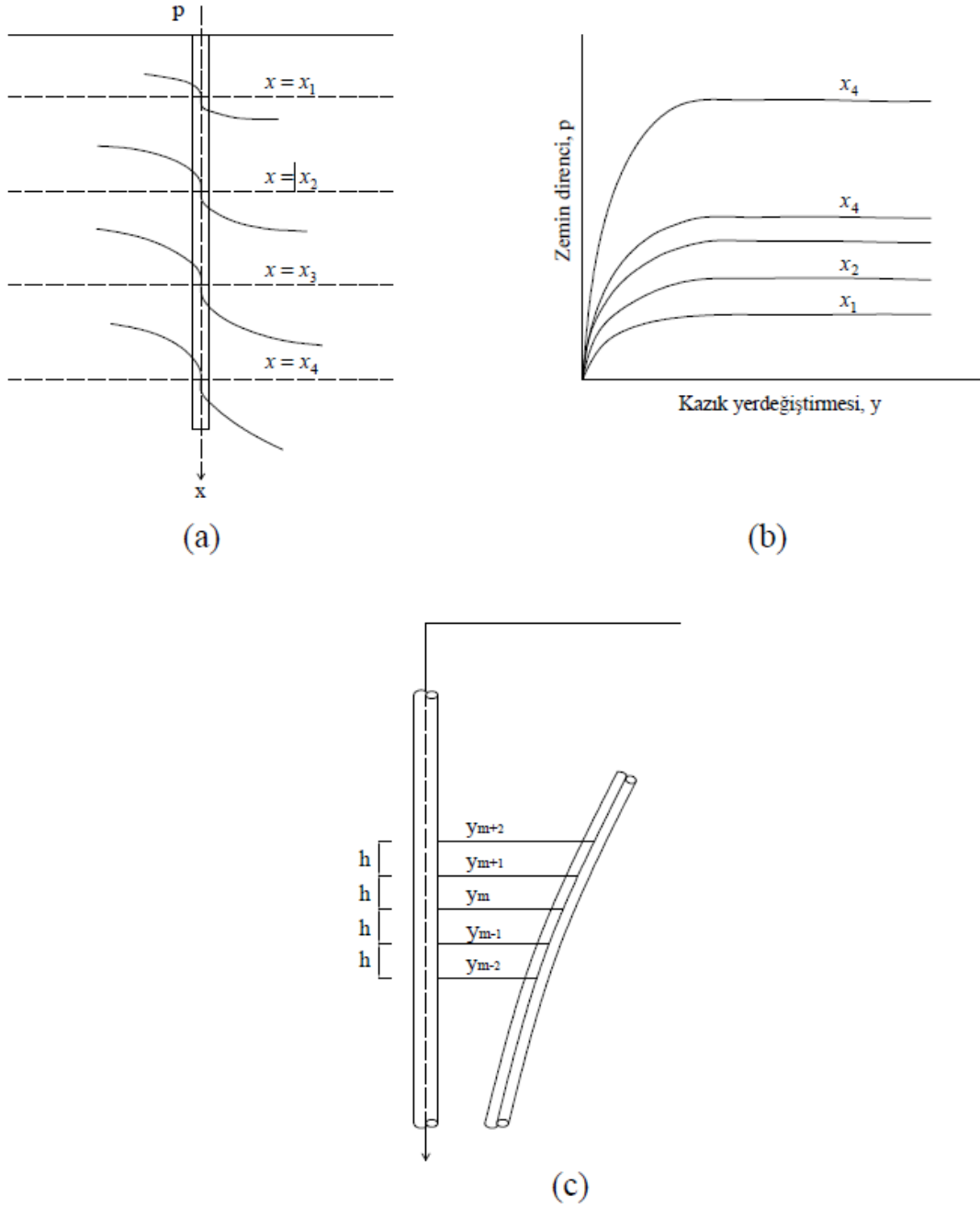
$$\alpha = \frac{\varphi}{2}$$

$$\beta = 45 - \frac{\varphi}{2}$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_0 = 0.4$$

3. Hesap yapılmak istenen derinlik ile elde edilen kritik nokta kıyaslanarak Şekil 4.4'te tarif edildiği gibi işlemler yapılır, n_h değeri Çizelge 4.2 yardımıyla belirlenir ve aşağıdaki bağıntılar sırasıyla hesaplanır.



Şekil 4.4. Yatay yüklü kazıklar için $p - y$ eğrileri, a) zemin yüzeyinin altında farklı derinliklerde eğrilerin durumu, b) $p - y$ eğrilerinin eksen takımında gösterimi, c) deformasyona uğramış kazığın durumu (Matlock, 1970; Özçelik, 2007)

$$p_m = B_1 p_c \quad (4.10)$$

$$y_m = B / 60 \quad (4.11)$$

$$y_u = 3B / 80 \quad (4.12)$$

$$p_u = A_1 p_e \quad (4.13)$$

$$m = (p_u - p_m) / (y_u - y_m) \quad (4.14)$$

$$n = p_m / m y_m \quad (4.15)$$

$$C = p^m / (y^m)^{1/n} \quad (4.16)$$

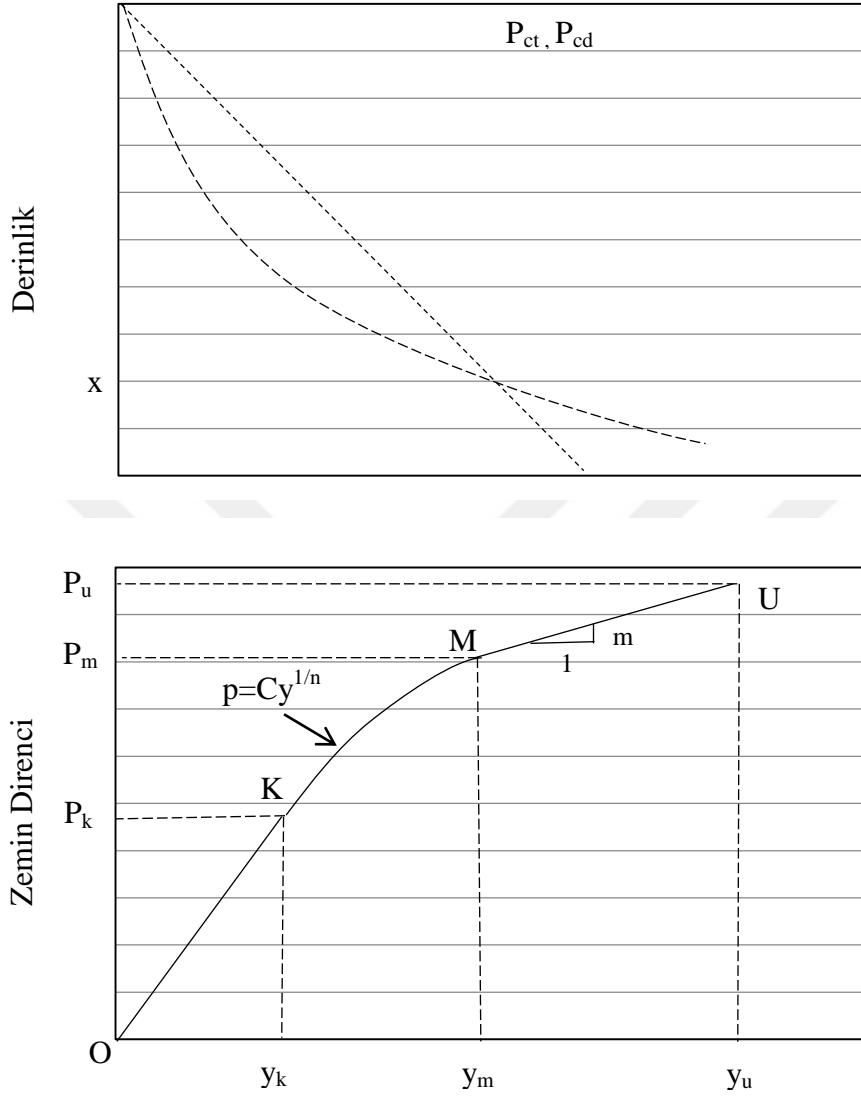
$$y_k = (C / n_h X)^{n/(n-1)} \quad (4.17)$$

$$p = C^{1/n} \quad (4.18)$$

Çizelge 4.2. Kohezyonsuz zeminlerde statik ve dinamik yükleme durumları için A ve B düzeltme katsayıları (Reese vd, 1974)

X/D	A ₁		B ₁	
	Statik	Dinamik	Statik	Dinamik
0	2,85	0,77	2,18	0,50
0,4	2,60	0,93	1,90	0,70
1,0	2,10	1,08	1,56	0,84
1,4	1,85	1,11	1,38	0,86
2,0	1,50	1,05	1,04	0,83
2,4	1,32	1,00	0,88	0,81
3,0	1,05	0,95	0,75	0,72
3,4	0,95	0,92	0,64	0,64
4,0	0,90	0,90	0,53	0,58
4,4	0,89	0,89	0,51	0,56
5 ve üzeri	0,88	0,88	0,50	0,55

Farklı derinlikler için bu işlemler tekrarlanır. Kohezyonsuz zeminlerde statik ve dinamik yükleme durumları için A ve B düzeltme katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. a) x 'in bulunması, b) p - y eğrilerinin belirlenmesi

4. y_k değeri hesaplanarak Şekil 4.4(b) gibi yerine konur. Daha sonra Eşitlik 4.19 yardımıyla P_k tespit edilir ve bu nokta k noktası olarak adlandırılır. Sonrasında bu iki noktanın kesişim yeri (k) ile orijin (o) birleştirilerek OK doğrusu çizilir.
5. Eşitlik 4.11 ve 4.12 ile y_m ve p_m değerleri bulunur. Bu şekilde m noktası tespit edilmiş olur. P_{ct} ve P_{cd} 'den uygun olanı kullanılarak bulunan K ve M noktaları arasındaki değerler belirlenerek bir parabol çizilir.
6. Eşitlik 4.13 ve 4.14 yardımıyla y_u ve p_u değerleri bulunarak u noktası tespit edilir. Sonrasında m ve u noktaları birleştirilerek MU doğrusu çizilir.

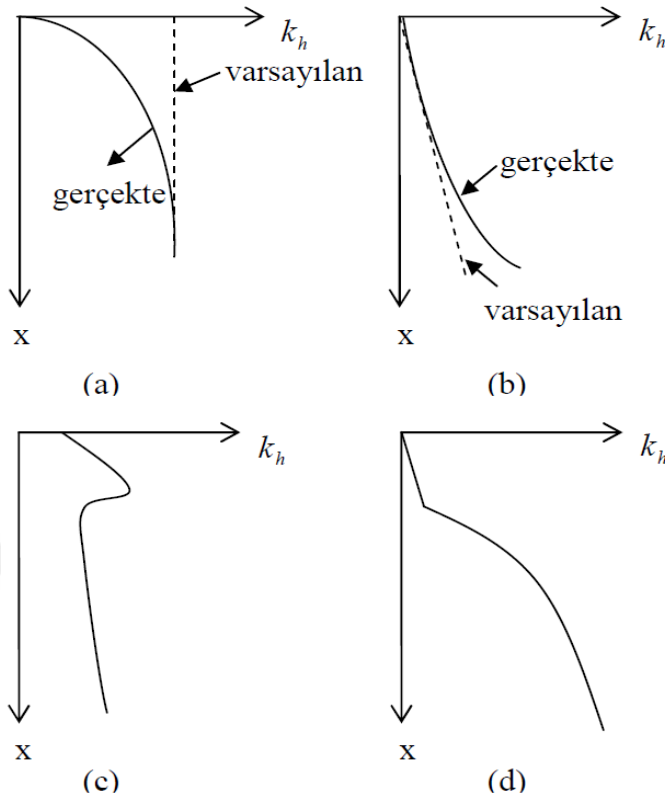
4.3. Broms Yöntemi

Broms (1964) metodu yine Brinch Hansen (1961) yöntemi gibi temel olarak zemin basıncı kuramına dayalı bir yöntemdir. Zemin cinsi olarak hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlere uygulanabilmektedir. Yöntemde zemin tamamen kohezyonlu ya da tamamen kohezyonsuz olarak kabul edilmektedir. Kazıklar yük etkisi altında uzunluklarına göre farklılık gösterdikleri için kısa kazıklar ve uzun kazıklar olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Yapım durumuna göre ise sabit başlı ve serbest başlı kazıklar olarak iki ayrı durumda ele alınmıştır. Zeminin yatak katsayısının taşıma gücüne etkisi yöntemde değerlendirilmiştir. Yatak katsayısı Eşitlik 4.19'da belirtildiği üzere zemine oturan bir kirişin herhangi bir noktasındaki gerilme (p) ile o noktanın yer değiştirmesi (Δy) arasındaki orana denmektedir.

$$k_h = \frac{p}{\Delta y} \quad (4.19)$$

Burada; p , birim uzunluktaki gerilme, Δy ise yanal yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Yatak katsayısı kohezyonlu zeminlerde; zeminin serbest basınç direnci ile hemen hemen orantılıdır. Kohezyonsuz ve konsolide zeminlerde derinliğin artması ile birlikte rijitlik ve kayma mukavemetindeki artış, yatak katsayısının derinlikle beraber arttığını göstermektedir. Aşırı konsolide zeminlerde ise yatak katsayısı derinliğe bağlı olarak değişmemektedir. Şekil 4.6'da yatak katsayısı (k_h) değerinin farklı yük ve zemin koşulları için değişimi verilmektedir.



Şekil 4.6. Yatak katsayısının derinlikle değişimi a) aşırı konsolide zemin, b) kohezyonsuz ve normal konsolide zemin, c) kurumuş aşırı konsolide zemin, d) yumuşak yüzey tabakaları (Davisson ve Gill, 1963; Özçelik, 2007)

4.3.1. Kohezyonsuz zeminlerde yanal yüklü kısa kazıklar

Broms (1964) tarafından çeşitli kabuller yapılarak kohezyonsuz zeminlerde kazığın yanal direncini hesaplayan yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde daha öncede bahsedildiği gibi kazıklar uzun ve kısa olarak ayrı ayrı biçimde incelenmiştir. Ayrıca yöntemde bu zemin türünde taşıma gücünün Rankine pasif basıncının üç katına eşit olduğu bir varsayımda bulunulmuştur. Bu durumda birim kazık uzunluğundaki direnç Eşitlik 4.20 ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

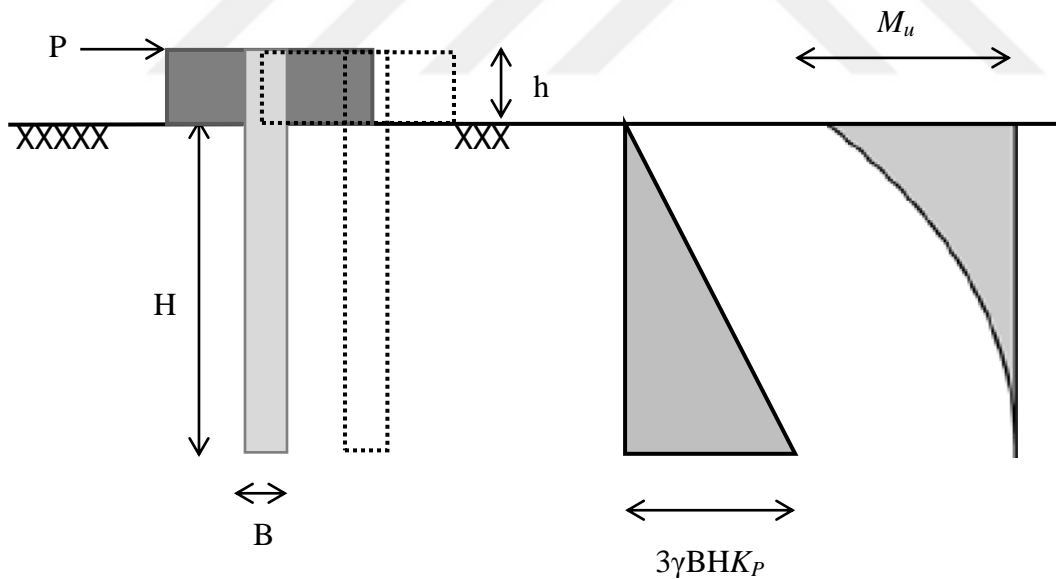
$$P_z = 3\gamma BHK_P \quad (4.20)$$

Burada; P_z , kazık ucundaki direnç, B, kazık çapı, H, kazık boyu (zemin içindeki), γ , zeminin birim hacim ağırlığı, K_p , pasif zemin basınç katsayısı ($\tan^2(45 + \frac{\varphi}{2})$), φ ise içsel sürtünme açısıdır.

Burada kısa kazıklar yapım durumuna göre sabit başlı ve serbest başlı kazıklar olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Sabit başlı kazıklarda oluşabilecek en yüksek moment kazığın baş kısmında elde edilmektedir. Maksimum yatay yük ve moment değerleri zemin gerilmesine bağlı olarak Eşitlik 4.21 ve 4.22'den hesaplanmaktadır. Ayrıca Şekil 4.7'de sabit başlı kısa kazıkların eğilme momenti ve zemin direnci gösterilmektedir.

$$P_u = 1.5\gamma BH^2 K_p \quad (4.21)$$

$$M_u = \gamma BH^3 K_p \quad (4.22)$$



Şekil 4.7. Sabit başlı kısa kazıkta zemin gerilmeleri ve eğilme momenti

Serbest başlı kısa kazıklarda ise oluşabilecek en yüksek moment kazığın uç kısmına yakın bir noktada meydana gelmektedir. Bu aşamada zemin gerilmesine bağlı olarak gerilme etkisiyle oluşan yük tekil yüke çevrilmekte ve dönme noktasına göre moment alınarak Eşitlik 4.23'ten maksimum yatay kuvvet hesaplanabilmektedir.

$$P = 0.5\gamma BH^3 K_p / (h + H) \quad (4.23)$$

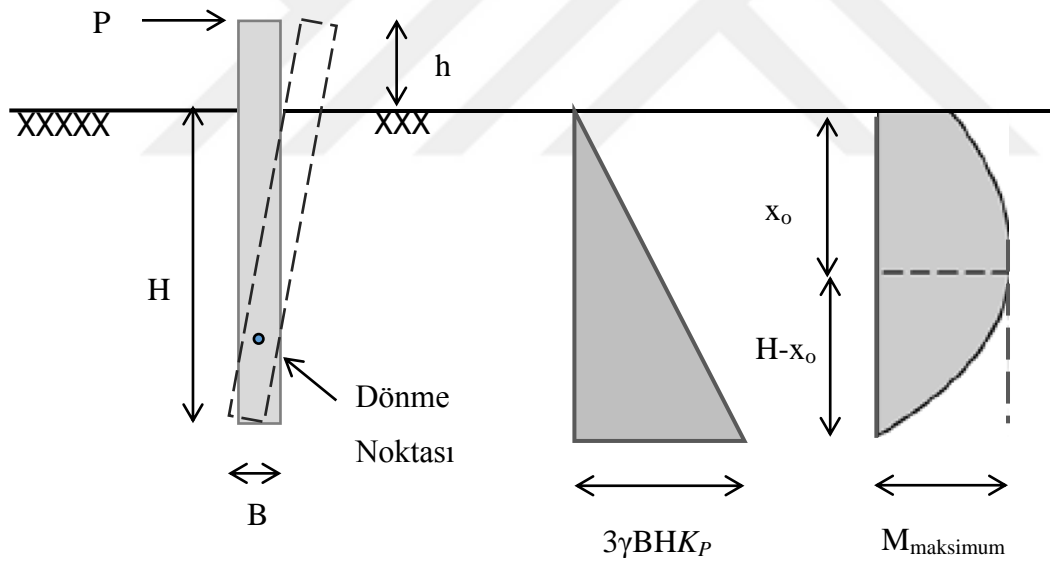
Moment etkisinin maksimum olduğu derinlikte (x_o) kesme kuvveti sıfır değerini alacağı için Eşitlik 4.24 ve 4.25 kullanılarak

$$P = 1.5\gamma Bx_o^2 K_p \quad (4.24)$$

$$x_o = 0.82 (P / \gamma' BK_p)^{0.5} \quad (4.25)$$

derinlik değeri elde edilmektedir. Maksimum moment ise Eşitlik 4.26 kullanılarak bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4.8'de serbest başlı kısa kazıkların zemin direnci ve eğilme momenti gösterilmektedir.

$$M_{\text{maksimum}} = P (h + 1.5 x_o) \quad (4.26)$$



Şekil 4.8. Serbest başlı rijit kısa kazık-kazık ötelenmesi-zemin reaksiyonu ve kazık eğilmesi

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, kum zemin içerisindeki rijit helisel kazıklar üzerinde gerçekleştirilen yanal yükleme deneylerini içermektedir. Zemin gevşek koşullarda hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, helisel kazıktaki plaka sayısı, plaka genişliği ve birden fazla plakadan oluşan helisel kazıktaki plakalar arasındaki uzunluğun yanal yük taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla farklı tiplerde hazırlanmış kazıklar kullanılmıştır. Çalışmada yanal yüke maruz farklı çaptaki helisel plakalı kazıkların göçme mekanizmaları da incelenmiştir. Zemin yüzeyinden belirli bir yükseklikte ve farklı yükleme hızlarında yanal yük uygulanmış helisel kazıkların davranışları araştırılmıştır. Bu bölümde; deney düzeneği, yükleme sistemi, deneylerde kullanılan zeminin özellikleri ve deneysel çalışma aşamaları açıklanmaktadır.

5.1. Deney Düzeneği

5.1.1. Deney Kasası

Deneysel çalışmalar, İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı'nda, iç ölçüleri 1500 mm x 1200 mm x 950 mm (uzunluk x genişlik x yükseklik) olan dikdörtgen kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Resim 5.1'de görüldüğü gibi deney kasası iskeleti 8 mm kalınlıktaki çelik profilden imal edilmiş olup ön ve sol yan yüzeyi 5 mm kalınlıktaki cam panelden, sağ yan ve arka yüzeyleri ile alt tabanı ise 3 mm kalınlıktaki metal sac panel malzemeden oluşturulmuştur. Ayrıca deney kasasında 3 farklı bölme oluşturmak için iki adet 3 mm kalınlığında sac malzemeden hazırlanmış paneller bulunmaktadır.

Cam yüzeyler, zemin malzemesinin kasa içerisine yerleştirilmesi sırasında görülmesine ve yükleme esnasında zeminde oluşabilecek deformasyonların gözlemlenmesine imkân sağlamaktadır. Deney kasasının rijitliğini artırmak amacı ile kasanın kenarlarına enine ve boyuna paralel doğrultuda ikişer adet çelik profil ilave edilmiştir. Yükleme motoru deney kasasına üstte raylı sistem üzerine sabitlenmiş ve düşeyde 60°'ye kadar açı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bu raylı sistem sayesinde kasa üzerinde herhangi bir noktaya yükleme yapılabilmektedir. Ayrıca deney kasasının enine doğrultusunda makara sistemi

bulunmaktadır. Bu makara sistemi istenen yüksekliğe elle taşınabilmektedir ve bu sayede yatayda istenen açıda yükleme yapılabilmektedir.

Deney kasası üzerinde sağ kenardan doğrusal bir ray üzerine sabitlenmiş helisel kazık montaj düzeneği bulunmaktadır. Bu düzenek deney kasası üzerinde herhangi bir noktaya hareket ettirilerek helisel kazıklar istenilen her noktaya monte edilebilmektedir (Resim 5.1).



Resim 5.1. Deney kasası

5.1.2. Zemin aktarma düzeneği

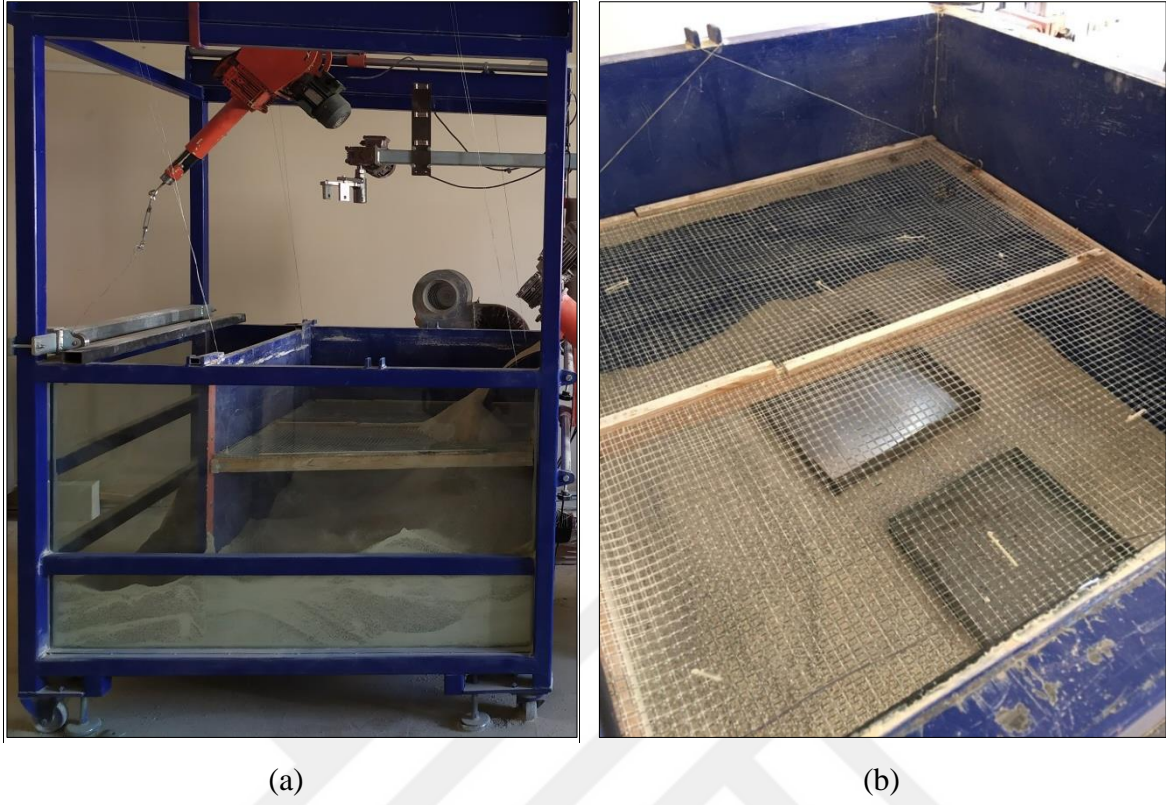
Zemin aktarma düzeneği, deneysel çalışmalar sırasında deney kasasına yakın yerdeki haznelerden zemin malzemesinin alınarak deney kasasına homojen biçimde aktarılması ve işgücü açısından kolaylık sağlanması için tasarlanmıştır. Resim 5.2’de görüldüğü üzere düzeneğin üst kısmında GAMAK firması tarafından üretilmiş 50 d/dak. hızda dönme yapabilen ART.NR.023526 seri numaralı elektrik motoru yer almaktadır. Alt kısmı ise zemin malzemesini helezonlu sisteme iletmesi için 25° eğimli hazneden oluşmaktadır. Düzenek, 25 cm çapında 45° eğimli elik boruya sabitlenmiş ve istenilen yere hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır (Resim 5.2).



Resim 5.2. Zemin aktarma düzeneği ve zemin depolama haznesi

5.1.3. Elek

Zemin aktarma düzeneğinden gelen zeminin deney kasasına yağmurlama şeklinde aktarılması için 1190 mm x 1190 mm ebatlarında ahşap çerçeveden oluşturulmuş, göz açıklığı 5 mm x 5 mm boyutlarında elek hazırlanmıştır (Resim 5.3).



Resim 5.3. Deney kasasına yerleştirilmiş eleğin a) dıştan görünümü, b) içten görünümü

5.1.4. Model kazıklar

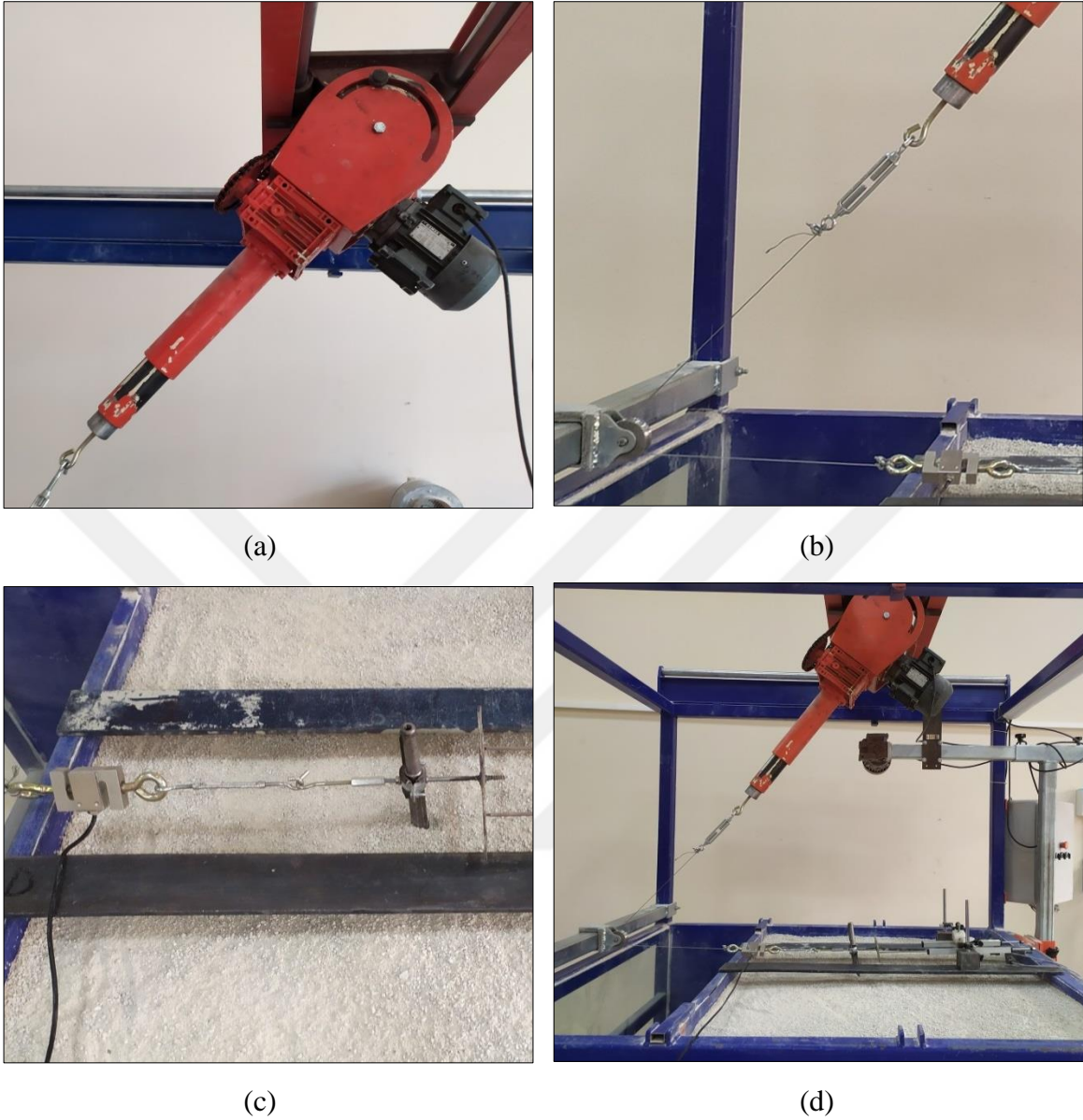
Deney çalışmaları sırasında çelik malzemeden imal edilen model boyutlarda helisel kazıklar kullanılmıştır. Helisel kazıklara yanal yük, kazıklara sabitlenebilen 5 cm x 20 cm boyutlarındaki çelik malzemeden imal edilen çekme koluna, zemin yüzeyinden 10 cm yükseklikte uygulanmaktadır. Model helisel kazıklar Resim 5.4'te görülmektedir.



Resim 5.4. Helisel kazıklar

5.1.5. Yükleme düzeneği

Deneylede yanıl çekme kuvveti, deney kasasına sabitlenmiş yük motoru tarafından hareket ettirilen bir halat sistemi aracılığı ile uygulanmıştır. Hazırlanan yanıl yükleme sistemine ait yükleme motoru 10 d/dak ile 300 d/dak arasında farklı değerdeki hızlarda yükleme yapabilme özelliğine sahiptir. İki parça halinde kullanılan çelik halatın bir parçası; bir ucu deney kasasının kenarına sabitlenmiş makaraya bağı hareket edecek şekilde kancalı gergi düzeneğine bağlanmışken diğeri ucu da yük hücreğine vidalanmış kancaya bağlanmıştır. Diğeri çelik halat ise bir ucu yük hücreğine vidalanmış kancaya bağlanmışken diğeri ucu da model kazık üzerindeki çekme koluna bağlanmıştır. Düzeneğe ait detaylar Resim 5.5’de gösterilmiştir.



Resim 5.5. a) Yükleme motoru, b) makaraya sistemindeki çekme halatı, c) çekme koluna bağlı yük hücresi, d) yükleme düzeneği genel görünümü

5.1.6. Çekme kolu

Deneyleerde helisel kazıklara yanal çekme işlemi yapmak için oluşturulmuş bir düzeneştir. Çelik malzemededen üretilmiş halkanın bir ucuna çekme işlemi yapmak için kanca sabitlenmiş; diğer ucuna ise çekme etkisi ile aynı yükseklikte, deplasman ölçerlerin temas edeceği 5 cm x 20 cm boyutlarında çelik plaka sabitlenmiştir (Resim 5.6).



(a)

(b)

Resim 5.6. a) Çekme kolu, b) helisel kazık üzerine sabitlenmiş çekme kolu

5.1.7. Yük hücresi

Deney çalışmaları sırasında helisel kazıklara gelen yük değerlerini okumak amacıyla ZEMIC firması tarafından üretilen S tipi H3-C3-300kg-3B, Class C-3 modelde 300 kg kapasiteli elektronik yük hücresi kullanılmıştır. Ardından yük hücresinin topladığı yük değerleri veri kayıt ünitesinde toplanıp analiz edilmiştir. Yük hücresinin görünümü Resim 5.7’de, teknik özellikleri ise Çizelge 5.1’de verilmektedir.



Resim 5.7. Yük hücresi

Çizelge 5.1. Yük hücresine ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Birim	Açıklama
Model	-	H3-C3-300kg-3B
Maksimum Kapasite (E_{max})	kg	3000
Aşırı Yükleme Kapasitesi	kg	4500
Kırılma Kapasitesi	% E_{max}	300
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	°C	-10...+40
Ağırlık	kg	0,6
Yük Hücresi Malzemesi	-	Paslanmaz Çelik

5.1.8. Deplasman ölçer

Deneyle sırasında yükleme anında helisel kazıklarda meydana gelen yanal hareketleri ölçmek için ATEK firması tarafından üretilmiş ve 0.0-199.9999 mm aralığında deplasman değerleri ölçebilen, LTR 200 5K tipi deplasman ölçerler kullanılmıştır. Bu amaçla, yatay olarak ayarlanmış iki adet deplasman ölçer, yükleme noktasında çekme koluna etki ederek yatayda oluşan deplasman değerleri takip edilmiştir. Yükleme deneylerine başlamadan önce, deplasman değerlerinin doğru ve tutarlı bir şekilde yapılabilmesi için deplasman ölçerlere kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Deplasman ölçer, Resim 5.8’de görülmektedir.



Resim 5.8. Deplasman ölçer

5.1.9. Veri kaydetme ünitesi (ADU)

Deney çalışmaları sırasında deplasman ölçerlerden ve yük hücresinden alınan değerler, AL 816011 seri numaralı ve 8 kanal girişli ATRON veri kayıt (Data Logger) ünitesine aktarılmıştır. Aktarılan deplasman ve yük değerleri daha sonra bilgisayar ortamında Universal Data Logger AL-8G yazılımı yardımı ile analiz edilip sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Veri kaydetme ünitesi Resim 5.9’da görülmektedir.



Resim 5.9. Veri kaydetme ünitesi

5.1.10. Helisel kazık montaj düzeneği

Helisel kazık montaj düzeneği, deneysel çalışmalar sırasında deney kasasına sabitlenen ve helisel kazıkları zemine döndürerek sabitlemek için kullanılan elektrik motorundan oluşmaktadır. GAMAK firması tarafından üretilmiş ART.NR.023262 seri numaralı elektrik motoru 50 d/dak. hızda dönme kapasitesine sahiptir. Bahsi geçen düzenek, Resim 5.10’da görülmektedir.



Resim 5.10. Helisel kazık montaj düzeneği

5.2. Zemin Türü ve Özellikleri

Deneysel çalışmaların kohezyonsuz zemin ortamında yapılması planlandığından, granüler zemin tercih edilmiştir. Zemin malzemesi Orak A.Ş. İskenderun Asfalt Plenti'nden temin edilmiştir. Temin edilen malzeme İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'na serilmiş ve 28 gün boyunca oda sıcaklığında kurutulmuştur. Deneylerde kullanılan zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla, TS (Türk Standartları) ve ASTM (American Standards of Testing Materials) standartlarında geleneksel laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

5.2.1. Elek analizi

Deneysel çalışmaların kohezyonsuz zemin ortamında yapılması planlandığından, granüler zemin tercih edilmiştir. Zemin malzemesi Orak A.Ş. İskenderun Asfalt Plenti'nden temin edilmiştir. Temin edilen malzeme İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'na serilmiş ve 28 gün boyunca oda sıcaklığında kurutulmuştur. Deneylerde kullanılan zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla, TS (Türk Standartları) ve ASTM (American Standards of Testing Materials) standartlarında geleneksel laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

oluşturulmuştur. Zemin sınıfı Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre iyi derecelenmiş temiz kum (SW) olarak belirlenmiştir. Elek analizi deney sonuçlarından elde edilen granülometri eğrisi Şekil 5.1’de, eleme işlemine ait görüntüler Resim 5.11’de verilmiştir.

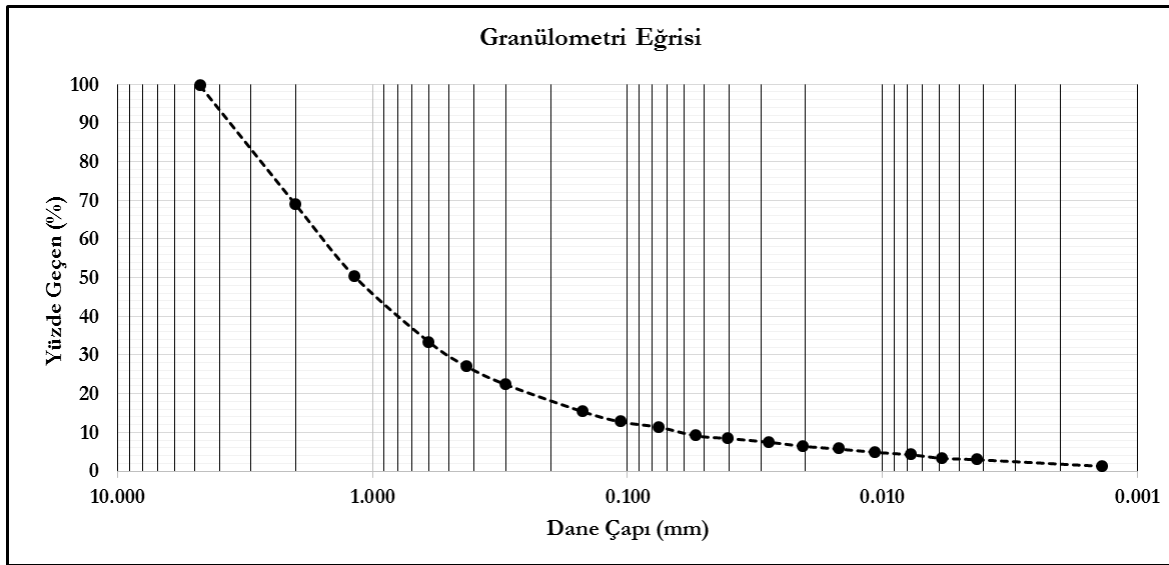


(a)



(b)

Resim 5.11. a) Kum zemin ve ve elek, b) eleme işlemi



Şekil 5.1. Kum zemine ait granülometri eğrisi

5.2.2. Kesme kutusu deneyi

Deneylerde kullanılan zemin numunelerinin kayma mukavemetini belirlemek amacıyla kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Zemin numuneleri, yüksekliği 10 cm olan 15 cm x 15 cm boyutlarında kare kesitli kesme kutusu yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Numuneler gevşek zemin durumunda kesme kutusu kabına yerleştirilerek üç farklı normal gerilme uygulanmıştır. Deneyler sonucunda gevşek zeminlerdeki içsel sürtünme açısı değeri $\phi = 33^\circ$, kohezyon değeri ise $c = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ olarak elde edilmiştir. Kesme kutusu deneyine ait görüntümler Resim 5.12'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

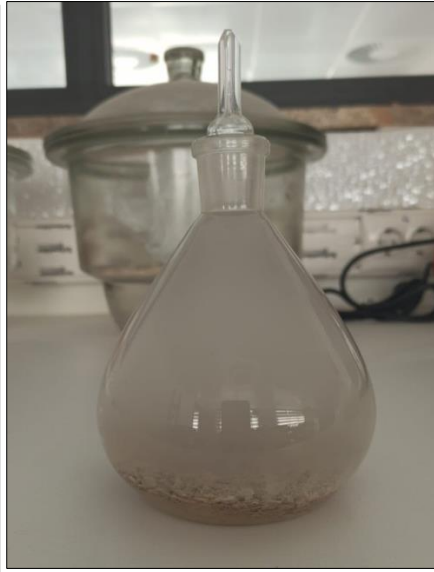
Resim 5.12. a) Kum zeminin kesme kutusuna yerleştirilmesi, b) kesme kutusu deneyi uygulaması

5.2.3. Piknometre deneyi

Deneyselerde kullanılan zemin kumunun dane birim hacim ağırlığını belirlemek amacıyla piknometre deneyi yapılmıştır. Elde edilen piknometre deneyleri sonucunda kumun birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.728 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalar Resim 5.13'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Resim 5.13. a) Vakum ile hava boşaltma işlemi, b) havası alınmış su ve kum zemin

5.2.4. Doğal birim hacim ağırlık deneyi

Orak A.Ş. İskenderun Asfalt Plenti'nden alınan zemin numunelerine doğal birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Zemin numuneleri; yüksekliği 5 cm olan 40 cm x 40 cm boyutlarındaki deney kabına konularak ağırlığı ölçülmüş ve hacimleri hesaplanmıştır (Resim 5.14). Elde edilen verilere göre kum zeminin doğal birim hacim ağırlığı $\gamma_n = 1.759$ g/cm³ olarak bulunmuştur.



Resim 5.14. Deney kabına konulmuş zemin numunesi

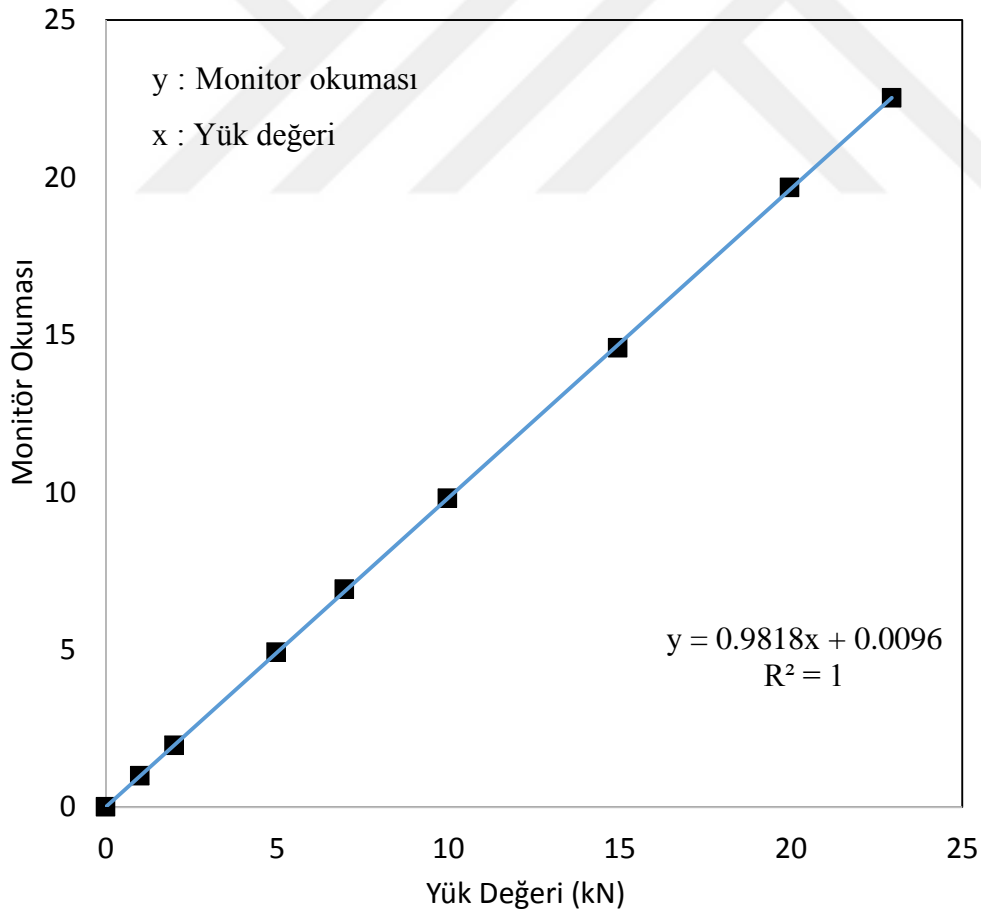
5.3. Deney Programı

5.3.1. Deplasman ölçer ve yük hücresi kalibrasyonu

Deneysel çalışmalarda kullanılan yük hücresi ve deplasman ölçerlerden doğru sonuçlar elde etmek amacıyla çalışmalara başlamadan önce kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Yük hücresine ait kalibrasyon değerleri Çizelge 5.2'de, kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.2'de sunulmuştur. 1 No'lu ve 2 No'lu deplasman ölçerlere ait kalibrasyon değerleri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te, kalibrasyon eğrileri ise sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yük hücresine ait kalibrasyon değerleri

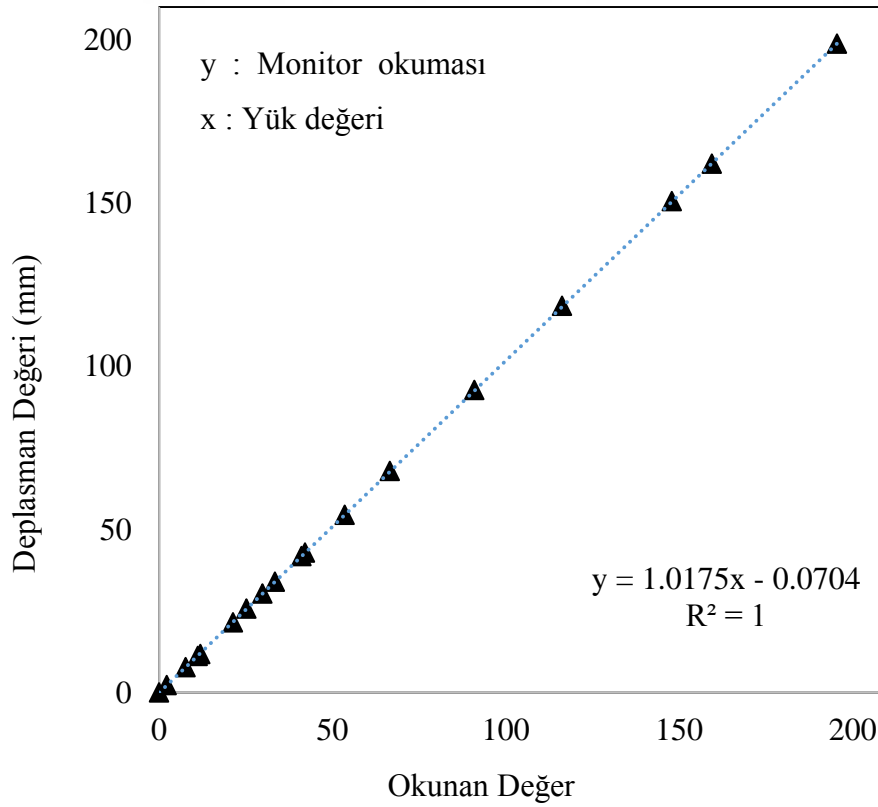
Uygulanan Yük Değeri (kg)	Yük Hücresi Okuması (kN)
0,998	0,987
1,977	1,951
4,978	4,916
6,967	6,914
9,980	9,800
14,948	14,582
19,960	19,677
22,943	22,521



Şekil 5.2. Yük hücresi için kalibrasyon grafiği

Çizelge 5.3. 1 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri

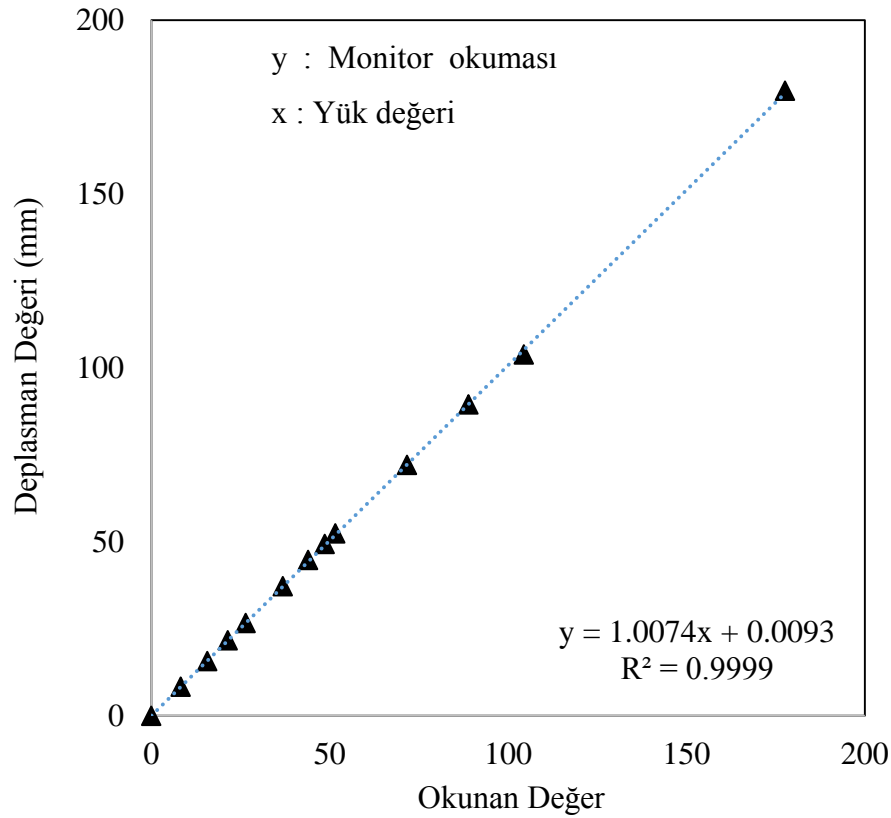
Deplasman Değeri (mm)	Monitör okuması (mm)
0,00	0,000
2,23	2,234
7,68	7,750
11,23	11,245
11,95	11,781
21,33	21,530
25,28	25,754
29,90	30,300
33,44	33,974
41,15	41,817
42,16	42,902
53,62	54,481
66,64	67,848
90,99	92,674
116,24	118,450
147,94	150,571
159,52	162,043
195,63	198,816



Şekil 5.3. 1 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi

Çizelge 5.4. 2 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon değerleri

Deplasman Değeri (mm)	Monitör okuması (mm)
0,00	0,000
8,28	8,340
15,69	15,692
21,45	21,640
26,46	26,638
36,92	37,263
44,04	44,725
48,65	49,384
51,65	52,423
71,71	72,114
88,97	89,483
104,48	103,887
177,70	179,652



Şekil 5.4. 2 No'lu deplasman ölçere ait kalibrasyon eğrisi

5.3.2. Deneyin yapılışı

Hazneden zemin aktarma düzeneği yardımı ile alınan granüler zemin malzemesi, gevşek halde deney kasası içine yerleştirilen eleğe dökülerek yerleştirilmiştir. Deney kasasının içerisinde gevşek kum zemin elde etmek için kasa üzerine, kasa boyutlarında elek yerleştirilmiş ve zemin aktarma düzeneğinden gelen malzeme 40 cm yükseklikten deney kasası içerisine yağmurlama şeklinde aktarılmıştır. Kasa; üst kısmına yaklaşık 5 cm kalana kadar doldurularak zemin yüzeyine baskı yapmadan hafif plastik levhalar kullanarak zemin düzleme işlemi yapılmıştır (Resim 5.15).



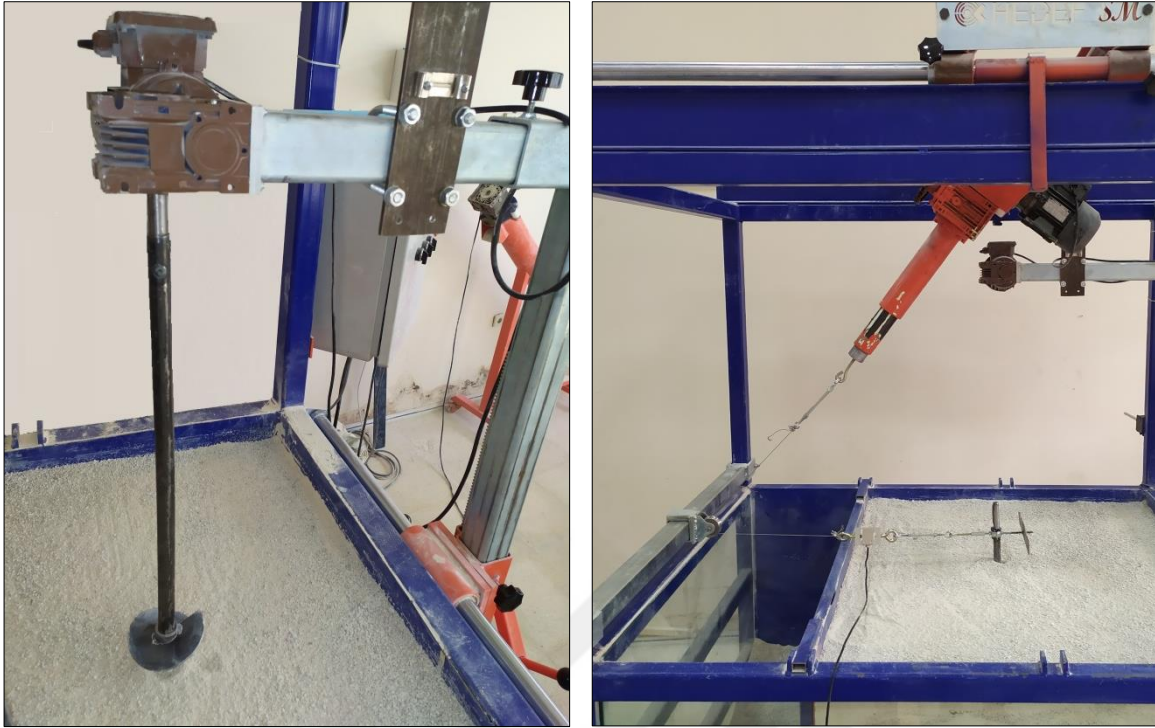
(a)



(b)

Resim 5.15. a) Hazneden alınan kum zeminin deney kasasına aktarılması, b) zemin düzeltme işlemi

Zemin düzgünlüğü enine ve boyuna doğrultuda su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Sonrasında helisel kazıklar helisel kazık montaj düzeneği yardımıyla döndürülerek zemine yerleştirilmiştir. Zemine yerleştirme aşamasında da yine su terazisi ile yatayda ve düşeyde düzgünlük kontrolü yapılmıştır. Deney kasasının üst kısmında yer alan yükleme motoru düşeyde 45° eğim yapacak şekilde sabitlenmiş ve ucuna çelik halat eklenerek kasa kenarına sabitlenmiş makaraya bağlanmıştır. Makara sistemi; kazıkları yatayda 0° ile 30° arasında açı yapacak şekilde çekme işlemi yapmak için tasarlanmıştır. Bu çalışmada makara sistemine; yatayda 0° olacak şekilde kazıklara çekme işlemi yapması için kasa kenarına uygun şekilde sabitlenmiştir (Resim 5.16).



(a)

(b)

Resim 5.16. a) Helisel kazık montaj düzeneği ile kazık yerleştirme işlemi, b) yükleme motoru yardımıyla çekme uygulama işlemi

Yük hücresi; bir ucu helisel kazığa sabitlenmiş çelik halata, diğer ucu makara sisteminden gelen çelik halata esnemeyecek bir biçimde vidalanmıştır. Yük hücresinin ve her iki halatın, yatayda ve düşeyde düzgünlüğü kontrol edilmiştir. Ardından deplasman ölçerler; kasa üzerine enine doğrultuda metal işkencelerle sıkıştırılmış çelik profil üzerine, yerden yükseklikleri çekme yüksekliği ile aynı olacak şekilde, kazıklara sabitlenebilen 5 cm x 20 cm boyutlarındaki çelik malzemedan imal edilmiş plakaya çekme kolunun arkasından temas ettirilmiştir. Yanal yük etkisi; yükleme motoru tarafından bağlantı halatları yardımı ile çekme koluna zemin yüzeyinden 10 cm yükseklikteki noktadan uygulanmıştır. Deneylelerden elde edilen veriler veri toplama ünitesine aktarılarak sayısallaştırılmıştır. Deneylelerin sonucunda yanal yük-deplasman ilişkileri incelenmiştir (Resim 5.17).



(a)

(b)

Resim 5.17. a) Helisel kazık üzerine sabitlenmiş çekme kolu görünümü, b) yük etkisi altında deplasman ölçme işlemi

Deneysel çalışmalara başlamadan önce deneme deneyleri yapılarak; yükleme ve ölçme sistemi kontrol edilmiştir. Deney düzeneğinde karşılaşılabilecek sorunlar ve sistemde oluşabilecek aksamalar önceden belirlenerek gerekli önlemler alınmıştır. Bazı deneme deneyleri tekrar edilmiş ve sonuçlar bilgisayar ortamında karşılaştırılarak sistemin güvenliği kontrol edilmiş ve yapılacak deneyler için fikirler yürütülmüştür. Deneyler laboratuvar ortamında model boyutlarda helisel kazıklar kullanılarak yapıldığı için deney hassasiyetine son derece özen gösterilmiş ve sistemi olumsuz etkileyecek herhangi bir etkiye karşı gerekli önlemler alınmıştır.

5.3.3. Deney planı

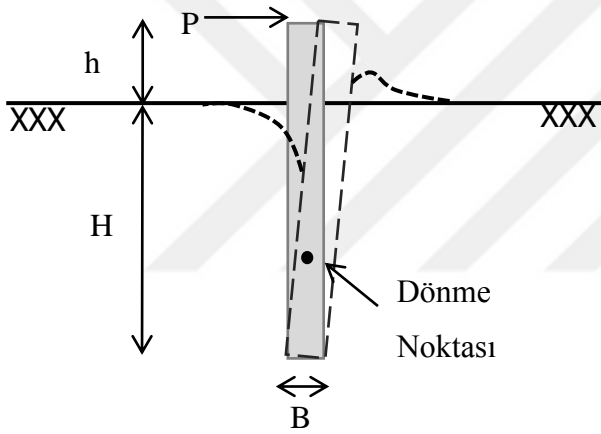
Yanal yük etkisindeki kazıkların deplasman ve nihai yük kapasitesini belirlemek amacıyla 32 adet yanal yükleme deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda gevşek zemin durumunda helisel kazık boyu (L_K) 60 cm, kazık shaft çapı (d) 2.2 cm olarak sabit tutulmuş; helis çapı (D), helis sayısı (N), helis aralığı (s), yük uygulama yüksekliği (e) ve kazık gömülü uzunluğuna (L) bağlı yük ve deplasman değişimleri model seri deneylerle araştırılmıştır. Kazık geometrisine ait bilgiler Şekil 5.5’de, çalışmalarda kullanılan seri deneylere ait özellikler ise Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Laboratuvar model deney serileri

Seri	Deney Adı	Helis Çapı, D (cm)	Gömülü		s/D	L/d	e (cm)	
			Kazık Uzunluğu, L (cm)	Helis Sayısı, N				
Seri 1 D etkisi	LLL-1	6	50	1	0,0	22,73	10	
	LLL-2	8	50	1	0,0	22,73	10	
	LLL-3	10	50	1	0,0	22,73	10	
	LLL-4	12	50	1	0,0	22,73	10	
	LLL-5	Düz şaft	50	0	0,0	22,73	10	
Seri 2 s/D etkisi	LLL-6	8	40	2	1,0	18,18	10	
	LLL-7	8	40	2	1,5	18,18	10	
	LLL-8	8	40	2	2,0	18,18	10	
	LLL-9	8	40	2	2,5	18,18	10	
	LLL-10	8	40	2	3,0	18,18	10	
	LLL-11	10	50	2	1,0	22,73	10	
	LLL-12	10	50	2	1,5	22,73	10	
	LLL-13	10	50	2	2,0	22,73	10	
	LLL-14	10	50	2	2,5	22,73	10	
	LLL-15	10	50	2	3,0	22,73	10	
	LLL-16	12	60	2	1,0	27,27	10	
	LLL-17	12	60	2	1,5	27,27	10	
	LLL-18	12	60	2	2,0	27,27	10	
	LLL-19	12	60	2	2,5	27,27	10	
	LLL-20	12	60	2	3,0	27,27	10	
	Seri 3 N etkisi	LLL-21	Düz şaft	50	0	0,0	22,73	10
		LLL-22	10	50	1	2,0	22,73	10
		LLL-23	10	50	2	2,0	22,73	10
		LLL-24	10	50	3	2,0	22,73	10
	Seri 4 L/d etkisi	LLL-25	10	50	1	0,0	22,73	10
LLL-26		10	44	1	0,0	20,00	10	
LLL-27		10	37,4	1	0,0	17,00	10	
LLL-28		10	30,8	1	0,0	14,00	10	
Seri 5 e etkisi	LLL-29	10	44	1	0,0	20,00	10	
	LLL-30	10	44	1	0,0	20,00	12,5	
	LLL-31	10	44	1	0,0	20,00	15	
	LLL-32	10	44	1	0,0	20,00	17,5	

6. DENEYSEL BULGULAR

Bu tez kapsamında helisel kazıkların, gevşek kum zemin içerisinde zemin yüzeyinden belirli bir yükseklikte uygulanan yanal yük etkisi altındaki davranışları laboratuvar ortamında yapılan model deney çalışmaları ile araştırılmıştır. Helisel kazıkların yanal yük etkisinde kaldığında belirli bir gömülü derinlikte dönme hareketi yaparak kendisini çevreleyen zemine dayanarak zemini sıkıştırdığı gözlemlenmiştir. Kazığın oluşturduğu bu etki ile zeminin çekme etkisindeki bölgede sıkışma oluşurken arka kısımda ise gevşeme görülmüştür. Yukarıda belirtilen durum Şekil 6.1’de temsili olarak, Resim 6.1’de de deneysel görünümle verilmiştir.



Şekil 6.1. Yanal yük etkisi altındaki kazığın davranışı



(a)



(b)

Resim 6.1. Yanal yüklü helisel kazığın a) çekme öncesi, b) çekme sonrası davranışı

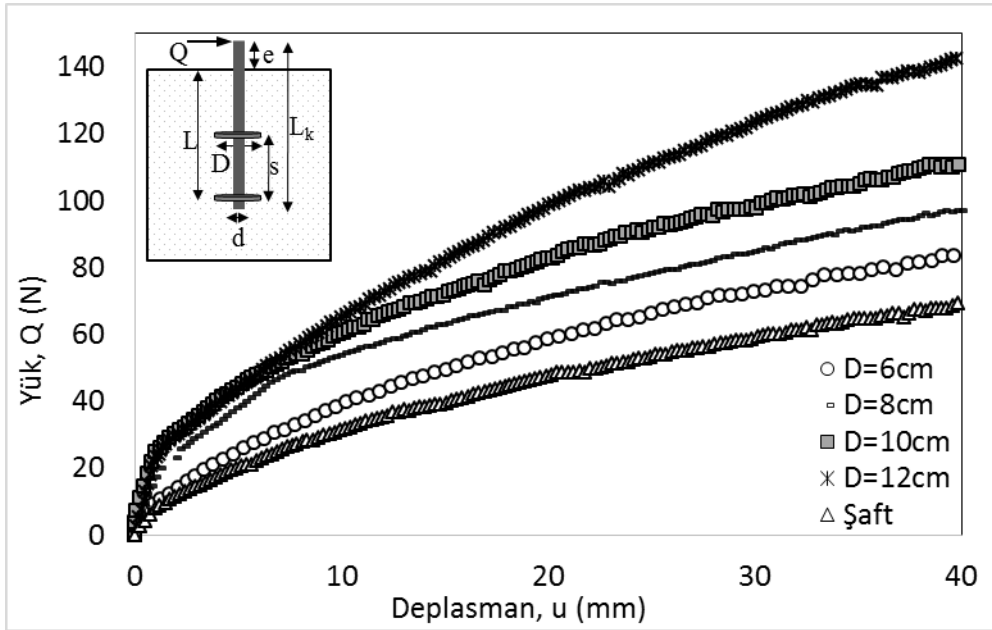
Çalışma kapsamında değişken parametreler olarak ele alınan; helis çapı, helis sayısı, helis aralığı, çekme yüksekliği ve kazık gömülü uzunluğuna bağlı yük ve deplasman değerleri model seri deneylerle araştırılmıştır. Literatürde özellikle model deneylerde nihai yanal yük değeri için ortak bir yöntem bulunamamıştır. Mittal vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada yük-deplasman eğrileri, eğri üzerinde doğrusallaşmanın düşünüldüğü bölgeye kadar sınırlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, eksen takımı üzerinde sunulan sınır yük değerleri için, yük-deplasman eğrilerinin benzer yük değerinde netleştiği ve eğriler üzerinde doğrusallaşmanın başladığı ortak apsis olan 40 mm deplasman değeri dikkate alınarak çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

6.1. Seri 1: Kazık Çapı Etkisi

Homojen ve gevşek zemin koşullarında yapılan deneylerde; helis çapı 6 cm, 8 cm, 10 cm ve 12 cm olarak değişiklik gösteren helisel kazıklara ve düz shafta yanal çekme işlemi uygulanarak, kazıkların yanal yük değerine karşılık çekme yüksekliğinde oluşan deplasman değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kazıklara ait parametreler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ise yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.2’de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Seri 1’e ait model helisel kazık parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	50
Kazık shaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	6, 8, 10, 12
Helisel plaka sayısı (N)	adet	1
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



Şekil 6.2. Helis çapı etkisi

Deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal verilere göre; düz şaft (herhangi bir helis plakası bulunmayan) durumunda en az yanal taşıma yükü değeri elde edilmiştir. Helis çapındaki artış miktarına bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinde de artış gözlenmiştir. Göçme yükü belirlenirken 40 mm'lik yanal deplasmana karşılık gelen yük değeri esas alınmıştır.

Çıkan sonuçlara göre helisel plakalı kazıklar, düz şaft ile karşılaştırıldığında helis çapı 6 cm, 8 cm, 10 cm ve 12 cm olan kazıkların, sırasıyla 1.2, 1.4, 1.6 ve 2 kata kadar daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir.

Helisel plaka çapının artması durumunda, plaka yüzey alanının arttığı ve bu duruma bağlı olarak helisel plakalarda oluşan zemin yükü direncinin etkisiyle yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

6.2. Seri 2: s/D Etkisi

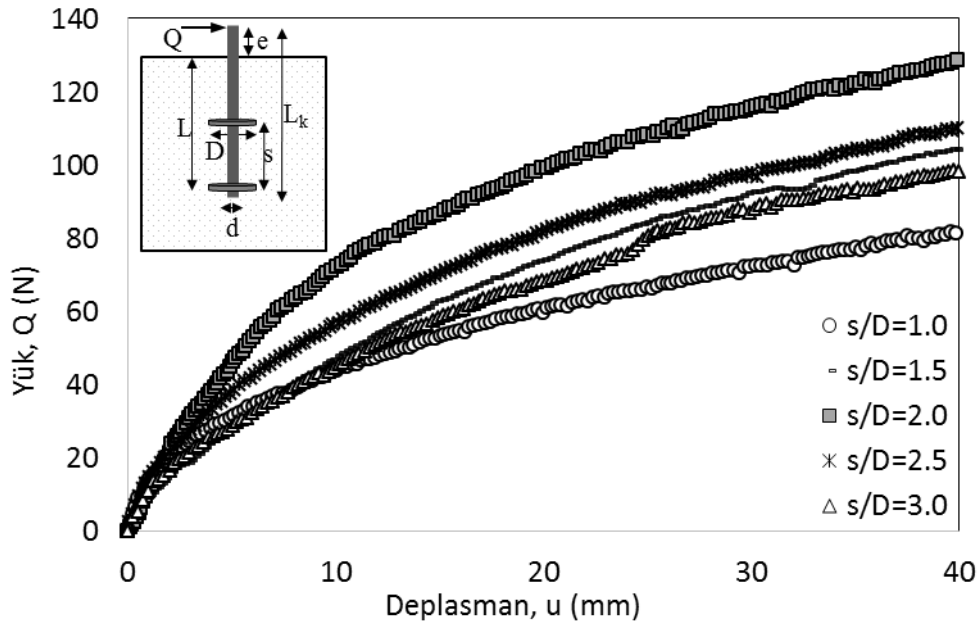
Gevşek zeminlerde çift helis durumunda helis aralığı/helis çapı (s/D) etkisi yapılan model deneylerle araştırılmıştır. Deneylerde, s/D oranı 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 ve 3.00 olan helisel

kazıkların yanal yük etkisine karşılık deplasman değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda üç farklı çap için (8, 10 ve 12 cm) ayrı ayrı deney serisi hazırlanmıştır. Bu seri deneylerde gömülü kazık derinliği L/D (kazık gömülü uzunluğu/helisel plaka çapı) oranı sabit 5 olarak alınmıştır (Şekil 5.5).

Hazırlanan deney serisinde helisel plaka çapı (D) 8 cm olarak sabit tutulan ve helisel plaka aralıkları değişken beş farklı helisel kazığın yanal yük etkisinde yük taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Model kazıklara ait parametreler Çizelge 6.2’de verilmiştir. Elde edilen değerler, yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.3’te sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Seri 2’ye ait model helisel kazık parametreleri ($D = 8$ cm)

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	40
Kazık shaftı çapı (d)	cm	2.2
Helisel plaka çapı (D)	cm	8
Helisel plaka sayısı (N)	adet	2
Helisel plakalar arası uzunluk (s)	cm	8, 12, 16, 20, 24
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



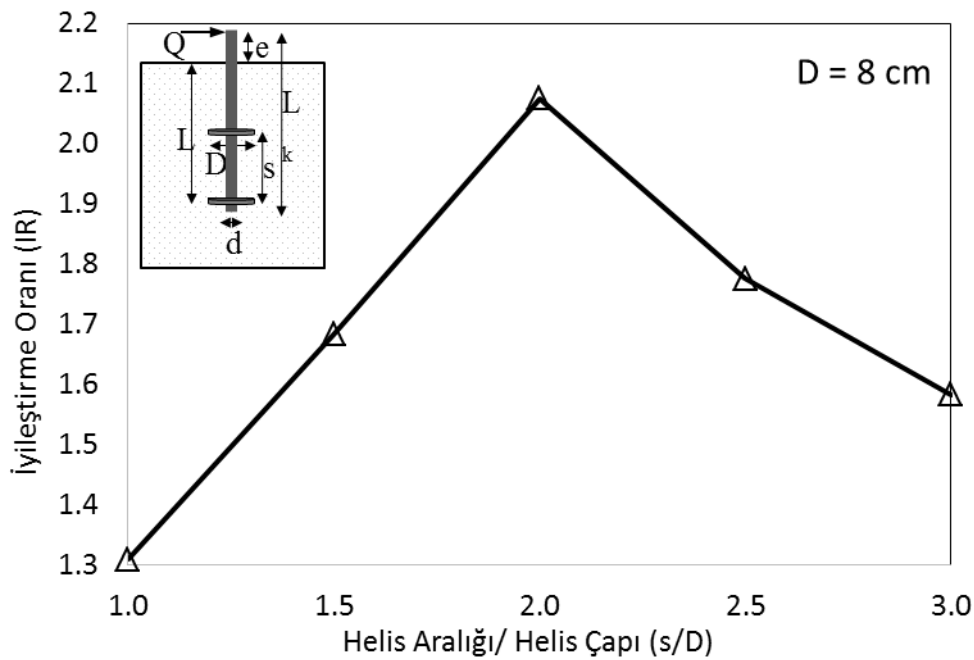
Şekil 6.3. Seri 2 için s/D etkisi ($D = 8$ cm)

Deneysel neticesinde 40 mm'lik yanal deplasmana karşılık gelen göçme yükü değeri esas alınmıştır. Elde edilen sayısal verilere göre; $s/D = 2$ durumunda en yüksek yanal yük taşıma kapasitesi değerinin elde edildiği belirlenmiştir.

Helis sayısı ve helis aralığının ortaya koyduğu iyileştirmeyi boyutsuz olarak irdelemek için iyileştirme oranı (IR-Improvement Factor) tanımlanmıştır (Eşitlik 6.1). İyileştirme oranı (IR) ile s/D arasındaki ilişki Şekil 6.4'te verilmiştir.

$$IR = (Q_{\text{helisel kazık}}) / (Q_{\text{düz kazık}}) \quad (6.1)$$

Burada; $Q_{\text{helisel kazık}}$, farklı s/D oranı için helisel kazıkların 40 mm yanal deplasmandaki yük değerini, $Q_{\text{düz kazık}}$ ise düz kazık için 40 mm yanal deplasmandaki yük değerini ifade etmektedir.



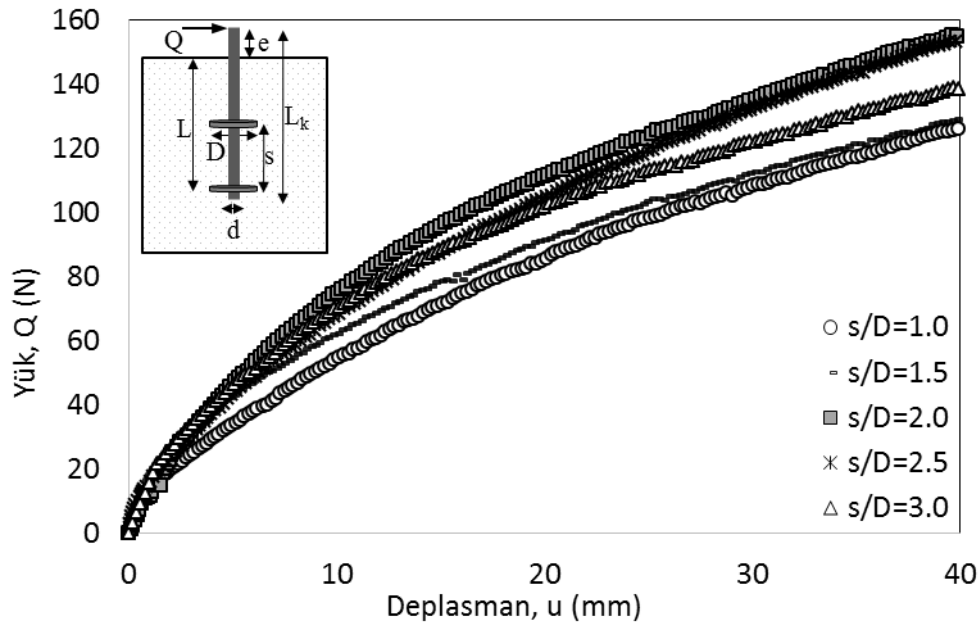
Şekil 6.4. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 8 cm)

Şekil 6.5'den; düz kazığa göre s/D oranı için yaklaşık 2.1 kata kadar bir yanal yük taşıma gücü artışının elde edildiği gözlenmiştir. Bu durumda optimum s/D oranının 2 olduğu ifade edilebilmektedir.

Helisel plaka çapı (D) 10 cm olarak sabit tutulan ve helisel plaka aralıkları değişken beş farklı helisel kazığın yanal yük etkisinde nihai taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Model kazıklara ait parametreler Çizelge 6.3'te verilmiştir. Elde edilen değerler yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.5'te sunulmuştur.

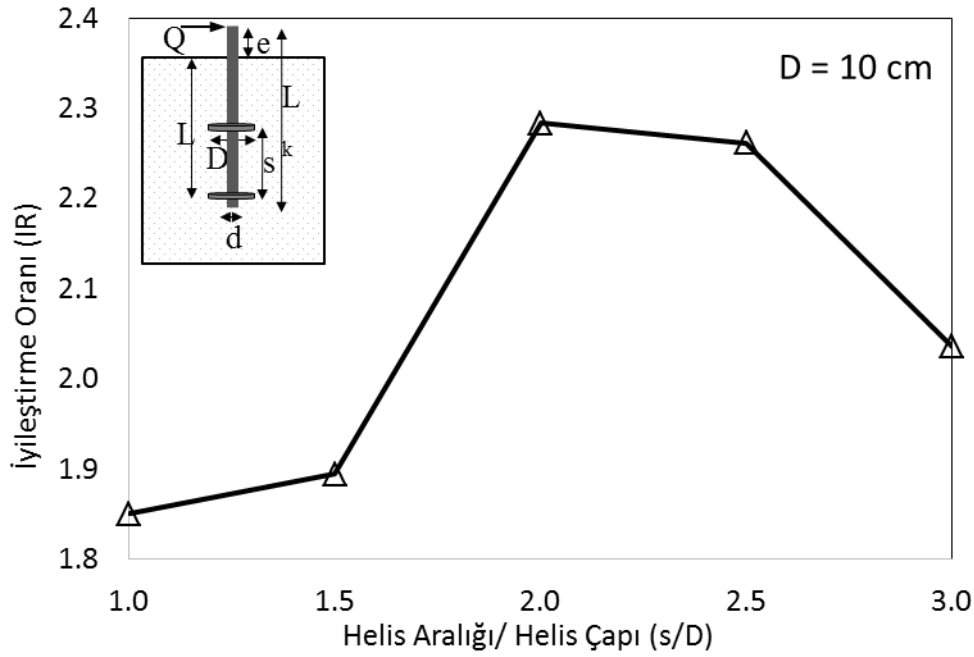
Çizelge 6.3. Seri 2'ye ait model helisel kazık parametreleri (D = 10 cm)

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	50
Kazık shaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	10
Helisel plaka sayısı (N)	adet	2
Helisel plakalar arası uzunluk (s)	cm	10, 15, 20, 25, 30
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



Şekil 6.5. Seri 2 için s/D etkisi (D = 10 cm)

Çalışmalar neticesinde elde edilen sayısal verilere göre en yüksek yanal yük taşıma kapasitesine, $s/D = 2$ durumunda erişilmiştir. Helis çapındaki artış miktarına bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinde de artış gözlenmiştir. Burada 40 mm'lik yanal deplasmana karşılık gelen göçme yükü değeri esas alınmıştır. İyileştirme oranı (IR) ile s/D arasındaki ilişki Şekil 6.6'da verilmiştir.



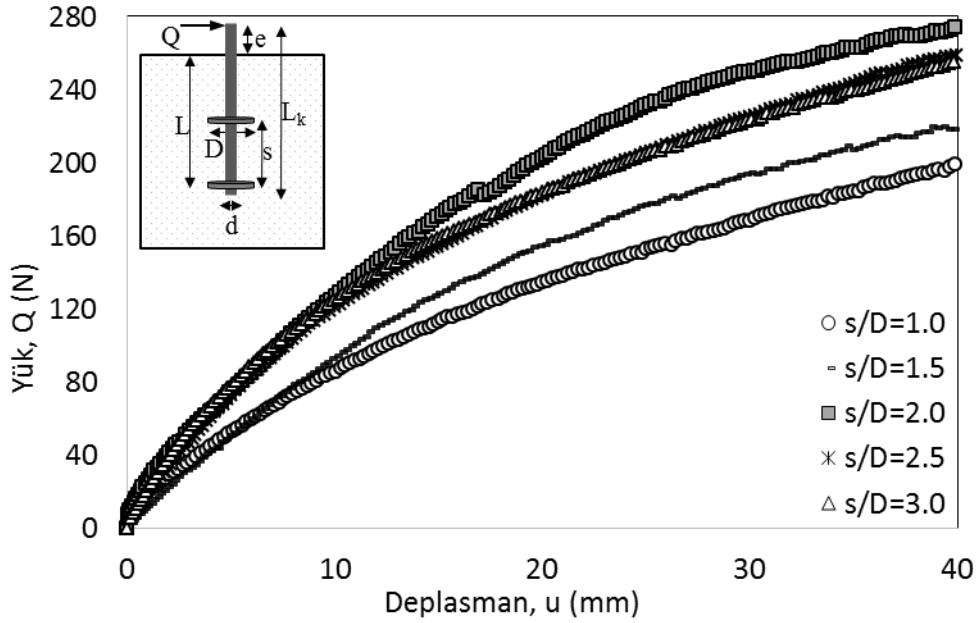
Şekil 6.6. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 10 cm)

IR değerlerinden; helisel kazıklarda düz kazığa göre optimum s/D oranında yaklaşık 2.3 kata kadar bir yanal taşıma kapasitesi artışının elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 6.7).

Helisel plaka çapı (D) 12 cm olarak sabit tutulan ve yine helisel plaka aralıkları değişken beş farklı helisel kazığın yanal yük etkisinde nihai taşıma kapasitesi araştırılmıştır. Model kazıklara ait parametreler Çizelge 6.4'te verilmiş ve sonuçlar yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.7'de sunulmuştur.

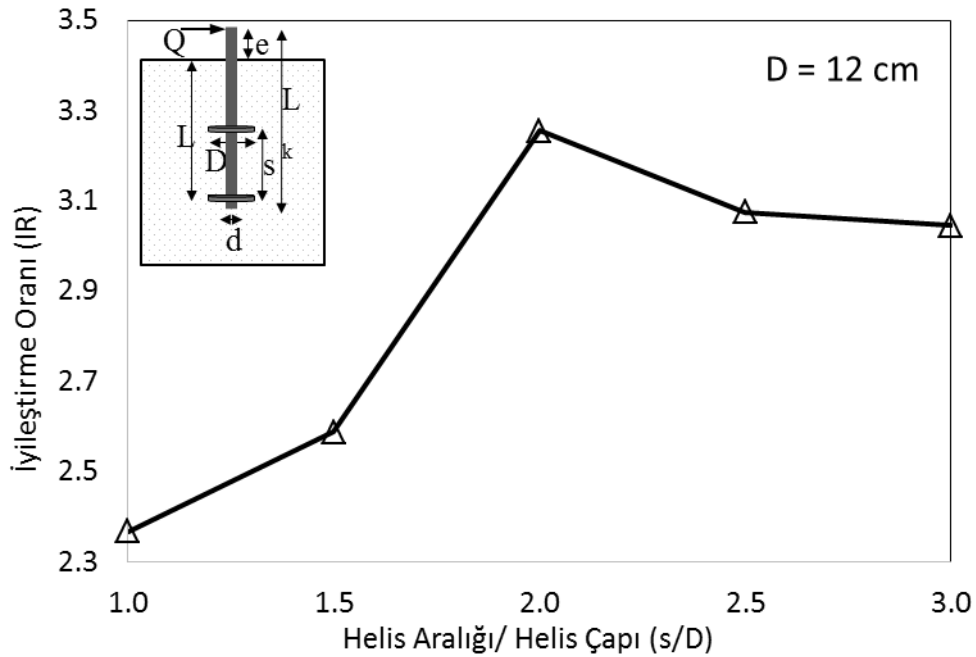
Çizelge 6.4. Seri 2'ye ait model helisel kazık parametreleri (D = 12 cm)

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	60
Kazık shaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	12
Helisel plaka sayısı (N)	adet	2
Helisel plakalar arası uzunluk (s)	cm	12, 18, 24, 30, 36
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



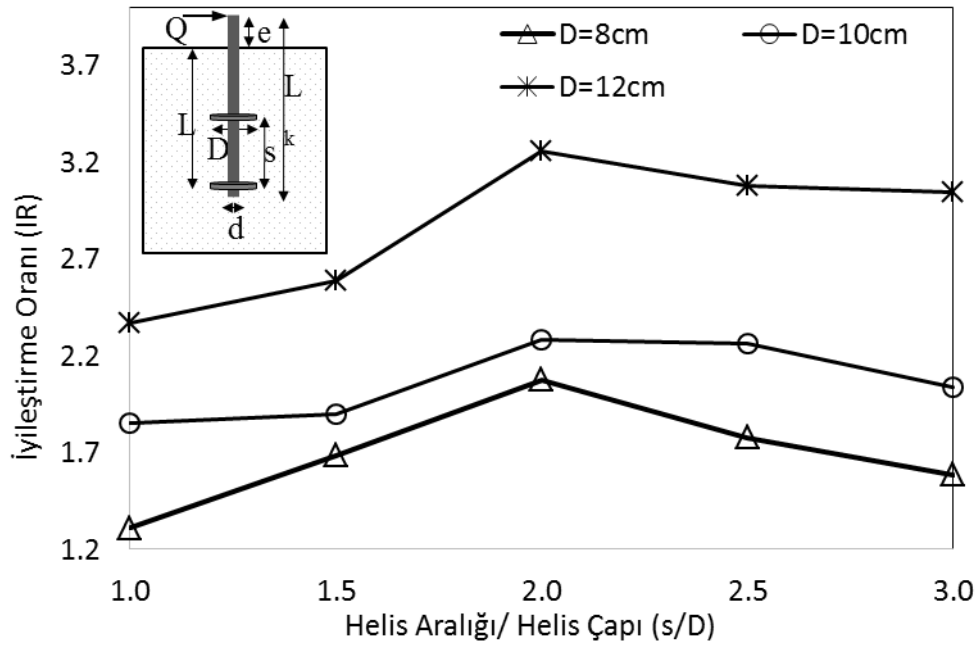
Şekil 6.7. Seri 2 için s/D etkisi (D = 12 cm)

Model deneylerden elde edilen sayısal verilere göre en yüksek yanal yük taşıma kapasitesine, s/D değerinin yaklaşık 2 olduğu durumda erişilmiştir. İyileştirme oranı (IR) ile s/D arasındaki ilişki Şekil 6.8'de yer almaktadır.



Şekil 6.8. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi (D = 12 cm)

Şekil 6.8’de sunulan IR değerleri ele alındığında helisel kazıklarda; düz kazığa göre optimum s/D oranı için ($s/D = 2$) yaklaşık 3.3 kata kadar bir artış miktarı olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan üç farklı helis çapı ($D = 8, 10$ ve 12 cm) için; her bir s/D oranı düz şafta göre kıyaslanmış ve yukarıda değerlendirilerek grafik halinde sunulmuştur (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Seri 2 için IR-s/D ilişkisi

Çıkan sayısal veriler genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek taşıma yükü değerinin, s/D oranının yaklaşık 2 olduğu durumda gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.

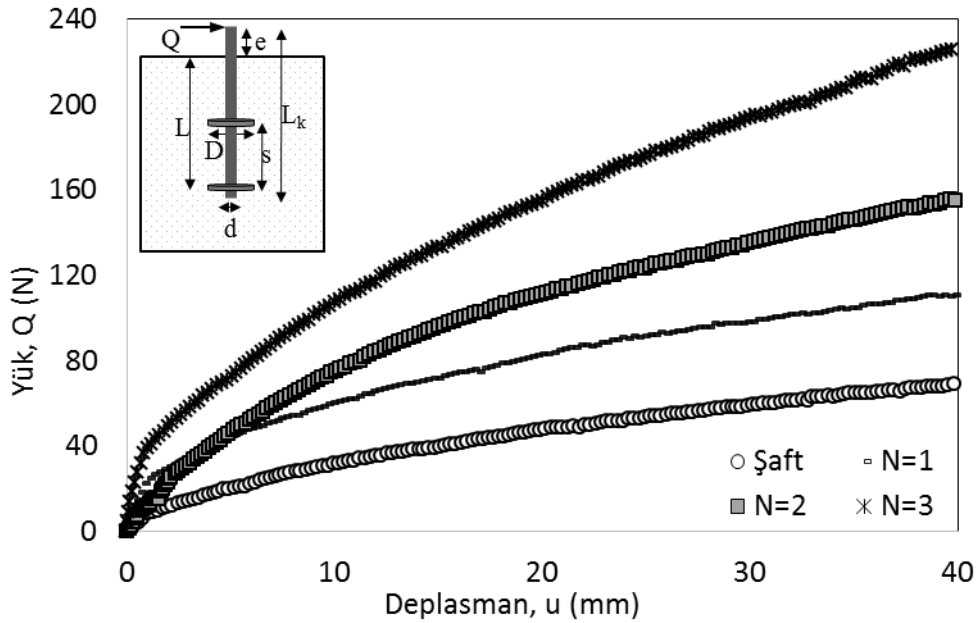
Genel olarak ele alındığında s/D oranının artışına bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı ve optimum değere s/D oranının 2 olduğu durumda ulaştığı görülmüştür. s/D oranının 2’den daha da fazla olduğu durumda ($s/D > 2$) ise yanal yük taşıma kapasitesinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca helis çapındaki artış miktarına bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinde de artışın devam ettiği gözlenmiştir.

6.3. Seri 3: Helisel Plaka Sayısının Etkisi

Gevşek zemin koşullarında hazırlanan deneylerde; düz şafta ve helisel plaka sayısı (N) 1, 2 ve 3 adet olarak değişiklik gösteren dört ayrı model helisel kazıklara yanal yük etkisi uygulanarak, kazıkların yük değerine karşılık oluşan deplasman değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan model helisel kazıklara ait parametreler Çizelge 6.5'te verilmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen veriler Şekil 6.10'da sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Seri 3'e ait model helisel kazık parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	50
Kazık şaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	10
Helisel plaka sayısı (N)	adet	0, 1, 2, 3
Helisel plakalar arası uzunluk (s)	cm	20
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



Şekil 6.10. Helisel plaka sayısının etkisi

Elde edilen sayısal verilere göre; herhangi bir helisel plaka bulundurmeyen düz şaftta en az yanal taşıma yükü elde edildiği görülmüştür. Helisel plaka sayısındaki artışa bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinde de artış gözlenmiştir. Burada da göçme yükü belirlenen 40 mm'lik yanal deplasmana karşılık gelen yük değeri esas alınmıştır.

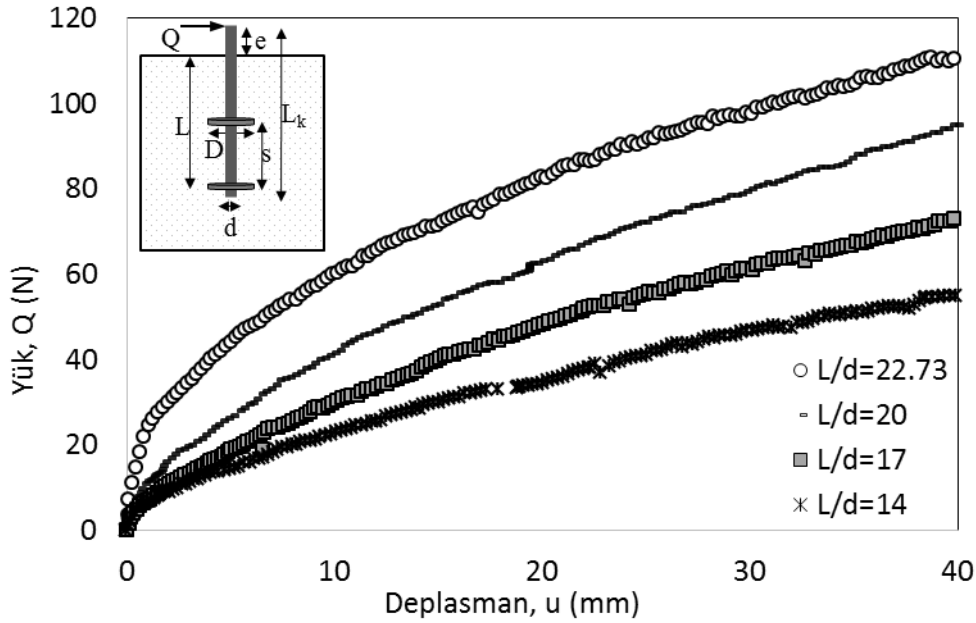
Helisel plakalı kazıklar düz şaft ile kıyaslandığında helisel plaka sayısı 1 olan kazığın 1.6 kat, 2 olan kazığın 2.3 kat ve 3 adet olan kazığın 3.3 kata kadar daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Helisel plaka sayısının artmasıyla beraber zemin yükü direncinin etki alanında da artış olduğu ve bu durumun yanal yük taşıma kapasitesinin artışına neden olduğu belirlenmiştir.

6.4. Seri 4: L/d Etkisi

Deneysel çalışmalarda kazık şaftı çapı $d=2.2$ cm olarak sabit tutulmuş kazık gömülü uzunluğu birbirinden farklı (30.8, 37.4, 44 ve 50 cm) olan dört ayrı deney yapılmıştır. Bu seri deneylerde kazık gömülü uzunluğunun kazık şaftı çapına oranı, L/d olarak tanımlanmıştır. Model helisel kazıklara ait parametreler Çizelge 6.6'da verilmiştir. Gevşek zemin durumunda yanal yük uygulanarak yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmış ve sonuçlar yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.11'de sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Seri 4'e ait model helisel kazık parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	30.8, 37.4, 44, 50
Kazık şaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	10
Helisel plaka sayısı (N)	adet	1
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10



Şekil 6.11. Seri 4 için L/d etkisi

Şekil 6.11'de sunulan sayısal verilere göre; gömülü uzunluğu en fazla olan helisel kazık ($L/d = 22.73$) durumunda en yüksek taşıma yükü değerinin, $L/d = 14$ durumunda ise en az yük değerinin elde edildiği görülmüştür. L/d oranı 17, 20 ve 22.73 olan kazıklar L/d oranı 14 olan helisel kazık ile karşılaştırıldığında ise sırasıyla 1.3, 1.7 ve 2 kata kadar daha fazla yük artışları elde edilmiştir.

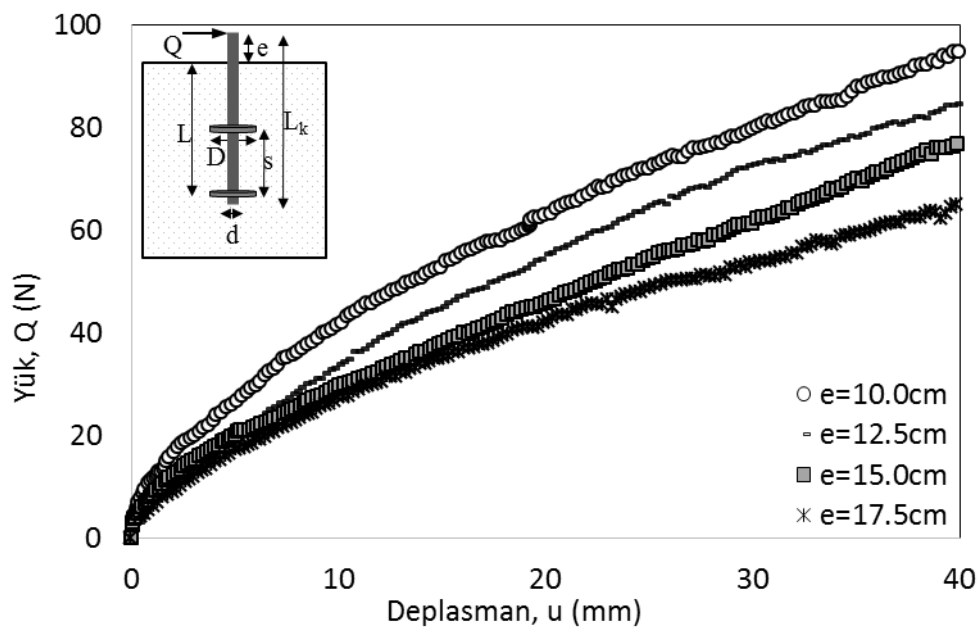
Bu durumda shaftın zeminle temas eden yüzey alanının artmasına bağlı olarak shaft yüzeyine etki eden zemin direncinin artış gösterdiği ve bunun sonucunda da yanal yük kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

6.5. Seri 5: Yük Uygulama Yüksekliği (e) Etkisi

Bu seri model deneylerde yanal yükün etki ettiği yükseklik ile nihai yük kapasitesi arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yükün zemin yüzeyinden 10, 12.5, 15 ve 17.5 cm yükseklikte etki ettiği aynı türden helisel kazıklar için gevşek zemin durumunda dört farklı deney yapılmıştır. Model helisel kazıklara ait parametreler Çizelge 6.7'de yer almaktadır. Kazıklara yanal yük uygulanarak yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmış ve sonuçlar yük-deplasman ilişkisi şeklinde Şekil 6.12'de sunulmuştur.

Çizelge 6.7. Seri 5'e ait model helisel kazık parametreleri

Parametreler	Birim	Değer
Kazık gömülü uzunluğu (L)	cm	44
Kazık shaftı çapı (d)	cm	2,2
Helisel plaka çapı (D)	cm	10
Helisel plaka sayısı (N)	adet	1
Yük uygulama yüksekliği (e)	cm	10, 12.5, 15, 17.5



Şekil 6.12. Yük uygulama yüksekliğinin (e) taşıma yüküne etkisi

En yüksek taşıma yükü değeri, yük uygulama yüksekliği en az olan helisel kazık ($e = 10$ cm) durumunda elde edilmiştir. Yük değerleri dört deney için karşılaştırıldığında, yük uygulama yüksekliği (e) 10, 12.5 ve 15 cm olan kazıklarda 17.5 cm olan kazığa göre sırasıyla 1.5, 1.3 ve 1.2 kata kadar daha fazla yük taşıma kapasitelerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

Yanal yükün kazık üzerinde etki ettiği noktanın değişmesi durumunda, kazık dönme noktasına göre moment değeri de değişiklik göstermektedir. Zemine gömülü helisel kazık uzunluğu sabit olduğu için zemin yanal direncinin değişmediği görülmüştür. Yanal yük kuvveti zemin yüzeyine yaklaştıkça helisel kazıkta oluşan moment değerinin azaldığı ve bu duruma bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında; laboratuvar ortamında homojen gevşek kum zemin içerisine yerleştirilmiş farklı sayı ve çapa sahip model helisel kazıklara zemin yüzeyinden belirli bir yükseklikte yanal yükleme yapılmış ve helisel kazıkların davranışı, yük-deplasman ilişkileri şeklinde sunulmuştur. Deneysel çalışmalarda helisel kazık boyu (L_K) 60 cm, kazık shaftı çapı (d) 2.2 cm olarak sabit tutulmuş; helis çapı (D), helis sayısı (N), helis aralığı (s), yük uygulama yüksekliği (e) ve kazık gömülü uzunluğuna (L) bağlı yük ve deplasman değişimleri beş farklı model seri deneylerle araştırılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özet halinde verilmiştir.

- Yanal yük etkisi altındaki helisel kazıkların farklı helis çapına sahip olduğu durumlarda nihai yük taşıma kapasitesi ve deplasman değerleri araştırılmıştır. Seri 1 için gevşek zemin durumunda yük-deplasman ilişkisi göz önüne alındığında 12 cm helis çapına sahip helisel kazığın en yüksek nihai yük taşıma kapasitesine eriştiği, düz shaftın ise en düşük nihai yük taşıma kapasitesine sahip olduğu, 12 cm helis çaplı kazığın düz shafta göre yaklaşık %100 daha fazla yanal yük taşıma gerçekleştirdiği gözlenmiştir.
- Yanal yük etkisi altındaki çift helisli helisel kazıkların, helis aralığı/helis çapı oranının değişkenlik gösterdiği durumlarda nihai yük taşıma kapasitesi ve deplasman değerleri araştırılmıştır. Araştırmalarda düz shaft ve beş farklı model kazık deneye tabi tutulmuş ve bulgular karşılaştırılmıştır. Gevşek zemin durumunda Seri 2 ($D = 8$ cm) için yük-deplasman ilişkisi incelendiğinde en düşük yanal yük taşıma kapasitesi s/D (helis aralığı/ helis çapı) oranı 1.00 olduğu durumda görülmüştür ve düz shafta göre yanal yük taşıma kapasitesi yaklaşık 1.3 kat artış göstermiştir. s/D oranı 2.00 olduğunda ise optimum taşıma kapasitesine eriştiği ve düz shafta göre yaklaşık 2 kat artış gösterdiği gözlenmiştir. Sonrasında ise s/D oranındaki artışın yanal yük taşıma kapasitesine ters etki oluşturarak azalma meydana getirmiştir.
- Gevşek zemin durumunda Seri 2 ($D = 10$ cm) için yük-deplasman ilişkisi incelenmiş ve en düşük yanal yük taşıma kapasitesinin s/D (helis aralığı/ helis çapı)

oranı 1.00 olduğu durumda görülmüştür. Düz şafta göre ise yanal yük taşıma kapasitesi yaklaşık 1.8 kata kadar artış göstermiştir. s/D oranı 2.00 olduğunda ise optimum taşıma kapasitesine eriştiği ve düz şafta göre yaklaşık 3.3 kata kadar artış gösterdiği gözlenmiştir.

- Seri 2 (D = 12 cm) için en düşük yanal yük taşıma kapasitesinin s/D (helis aralığı/ helis çapı) oranı 1.00 olduğu durumda görülmüştür. s/D (helis aralığı/ helis çapı) oranı 1.00 olduğu durumda düz şafta göre yanal yük taşıma kapasitesi yaklaşık 2.3 kata kadar artış göstermiştir. s/D oranı 2.00 olduğunda ise yine optimum yanal yük taşıma kapasitesine eriştiği ve düz şafta göre yaklaşık 3.3 kat artış gösterdiği gözlenmiştir.
- Yanal yük etkisindeki helis sayısı değişen kazıklara yapılan deneylerde (Seri 3); helis sayısındaki değişimin nihai yük kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda düz şaft ve üç farklı helisel kazık deneye tabi tutulmuştur. Çalışmalar sonucunda düz şaftın en düşük nihai yük taşıma kapasitesine sahip olduğu; helisel plaka sayısı N=3 adet olan helisel kazığın ise en yüksek nihai yük taşıma kapasitesine eriştiği ve düz şafta göre yaklaşık %230 daha fazla yanal yük taşıma gerçekleştirdiği gözlenmiştir.
- Seri 4'de gevşek zeminlerde yanal yük etkisindeki L/d (kazık gömülü uzunluğu/kazık şaftı çapı) oranı değişen helisel kazıklara yapılan deneylerde; L/d oranındaki değişimin nihai yük kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda dört farklı helisel kazık deneye tabi tutulmuştur. Çalışmalar sonucunda L/d = 14 olan helisel kazığın en düşük nihai yük taşıma kapasitesine sahip olduğu; L/d = 22.73 olan helisel kazığın ise en yüksek nihai yük taşıma kapasitesine eriştiği ve L/d = 14'e göre yaklaşık %100 daha fazla yanal yük taşıma gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Bu verilere göre L/d oranındaki artışın yanal yük taşıma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir.
- Seri 5 için yanal yük etkisindeki helisel kazıklara zemin yüzeyinden belirli yüksekliklerde (e) çekme işlemi uygulanarak, yük uygulama yüksekliğindeki değişimin nihai yük kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmalarda dört farklı

model helisel kazık deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere göre $e = 17.5$ cm olan helisel kazığın en düşük nihai yük taşıma kapasitesine sahip olduğu; $e = 10$ cm olan helisel kazığın ise en yüksek nihai yük taşıma kapasitesine eriştiği ve $e = 17.5$ cm yüksekliğine göre yaklaşık %50 daha fazla yanal yük taşıdığı gözlenmiştir. Bu verilere göre çekme yüksekliğindeki artışın yanal yük taşıma kapasitesini olumsuz etkileyerek azalttığı görülmüştür.

- Seri deneyler genel olarak değerlendirildiğinde; kazık gömülü uzunluğunun kazık shaftı çapına oranı (L/d), helisel plaka çapı (D) ve plaka sayısındaki (N) artışa bağlı olarak yanal yük taşıma kapasitesinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Yük uygulama yüksekliğindeki (e) artışın ise yanal yük taşıma kapasitesinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Helis aralığının helis çapına oranı (s/D) araştırıldığında optimum yanal yük taşıma kapasitesine, s/D oranının yaklaşık 2 olduğu durumda ulaşıldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abdrabbo, F. M., & El Wakil, A. Z. (2016). Laterally loaded helical piles in sand. *Alexandria Engineering Journal*, 55(4), 3239-3245.
- Al-Baghdadi, T. A., Brown, M. J., Knappett, J. A., & Ishikura, R. (2015). Modelling of laterally loaded screw piles with large helical plates in sand. In *Frontiers in Offshore Geotechnics III: Proceedings of the 3rd International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics (ISFOG 2015)* (Vol. 1, pp. 503-508). Taylor & Francis Books Ltd.
- Brinch-Hansen, J. (1961). The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces. *Geoteknisk Instit., Bull.*
- Broms, B.B. (1964). Lateral resistance of piles in cohesionless soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.
- Bump, J. ve Laney, M. (2012). *High Capacity Helical Piles and Wind Turbine Foundations* [Powerpoint slaytları].
- Davisson, M. T., & Gill, H. L. (1963). Laterally loaded piles in a layered soil system. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 89(3), 63-94.
- Dilaver, M. T. (2007). Yanal yüklü kazıkların tasarımını etkileyen faktörlerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya.
- Donald P.. Coduto. (2001). *Foundation design: principles and practices*. Prentice Hall.
- Elkasabgy, M. A., & El Naggar, M. H. (2015). Lateral performance of large-capacity helical piles. In *Proceeding of the International Foundations Congress and Equipment Expo*.
- Feyzi, M. (1903). *İnşaatın Usul-u Umumiyesi, Mühendishane-i Berri-i Hümayun Matbaası*.
- Kantar, N. M. (2019). Yanal yüklü kazıkların taşıma kapasitesi ve bir uygulama örneği. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Kayseri.
- Matlock, H. (1970). Correlation for design of laterally loaded piles in soft clay preprints: second annual offshore technology conference.
- Mısır, G. (2015). Yanal yüklü kazıkların farklı zemin ve yükleme koşullarında analizi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.

- Niroumand, H., & Saaly, M. (2019). Design and construction of helical anchors in soils. In *Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies* (pp. 113-157). Academic Press.
- Okar, M. (2019). Kum zeminlerde, yatay yüklü baret kazıkların davranışının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özçelik, Ç. (2007). Şevlerde yanal yüklü kazıkların laboratuvar koşullarında modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Perko, H. A. (2009). *Helical piles. A Practical Guide to Design and Installation*. John Wiley & Sons.
- Prasad, Y. V. S. N., & Rao, S. (1996). Lateral capacity of helical piles in clays. *Journal of Geotechnical Engineering.*, 122(11), 938_941.
- Reese, L. C., Cox, W. R., & Koop, F. D. (1974). Analysis of laterally loaded piles in sand. *Offshore Technology in Civil Engineering Hall of Fame Papers from the Early Years*.
- Sanzeni, A. (2015). The behaviour of laterally loaded helical piles. 50th Indian Geotechnical Conference, Pune, Maharashtra, India.
- Sirsikar, R. A. (2018). Study of helical pile behaviour in cohesionless soil. Doctoral Dissertation. National Institute of Technology Durgapur.
- Uncuoğlu, E. (2009). Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıkların yatay yük ve moment etkisi altındaki davranışlarının analizi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.
- Uzuner, B. A. (1996), *Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği*. Derya Kitabevi.
- Yılmaz, B. (2016). Helisel kazıklar. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı. İstanbul.
- Zarzour, M. (2019). Yatay yüklü tekil ve grup kazık performanslarının üç boyutlu analizlerle optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KUNDUZ, Salih
 Uyuğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 01.03.1994 / KAYSERİ
 Medeni Hali : Bekar
 Telefon : +90 (552) 327 19 38
 E-Posta : salihkunduz.mfbe17@iste.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017
Lise	Kayseri Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	İrmak Doğa Mühendislik	İnşaat Mühendisi

Yabancı Diller

İngilizce

Yayımlar

Kunduz, S., Türedi, Y., Örnek, M. (2020). Gevşek Zeminde Yanal Yüklü Helisel Kazık Davranışının Laboratuvar Deneyleriyle Araştırılması. Tam Metin Bildiri. Avrasya 7. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi. 21-22 Ağustos 2020, Trabzon.

Türedi, Y., Örnek, M., Kunduz, S., Altunkaynak, H. (2017). Kabuk Temellerin Taşıma Gücü. 7. Uluslararası Katılımlı Geoteknik Sempozyumu.

DİZİN

A

Ahşap · 8, 10, 13, 38
 Analiz · 3, 4, 5, 6, 7, 25, 26, 42,
 Avantaj · 2, 12, 15, 16, 20

B

Basınç · 10, 16, 22, 32, 34
 Beton · 8, 10, 20
 Birim hacim · 27, 34, 48, 49
 Boru · 1, 19, 20, 38
 Boy · 4, 6, 14, 27, 34, 36, 62, 71

C

Cam · 36

Ç

Çap · 1, 4, 5, 6, 11, 27, 56, 59,
 60, 61, 66, 68, 70, 71, 72, 73
 Çekme · 16, 20, 40, 42, 54, 59
 Çelik · 5, 8, 10, 11, 36, 41, 53, 54

D

Deformasyon · 4, 5, 26, 29, 36
 Deney kasası · 36, 37, 38, 40, 53
 Deplasman · 1, 2, 5, 22, 43, 49,
 54, 55, 59, 61, 62, 63, 67, 71
 Direnç · 16, 33, 34
 Don · 1, 16, 19
 Dönme · 11, 24, 25, 34, 38, 58

E

Elek · 38, 42, 46, 53
 Elektrik motoru · 38, 44

F

Fener · 13, 14
 Foraj · 14, 16

G

Gevşek zemin · 1, 6, 47, 60, 68
 Gerilme · 5, 8, 22, 24, 32, 34, 47

H

Helezon · 38
 Helisel kazık · 5, 10, 12, 15, 16,
 36, 41, 53, 56, 60, 61, 68, 71
 Hidrolik · 10
 Homojen · 6, 38, 59, 71

İ

İçsel sürtünme · 23, 25, 34, 47
 İntegrasyon · 27

K

Kalibrasyon · 43, 49
 Kanca · 40, 41
 Kazı · 10, 16, 20
 Kil · 3, 26
 Kohezyon · 23, 29, 32, 45, 47
 Kum · 5, 6, 12, 36, 46, 48, 53, 71

L

Laboratuvar · 5, 6, 36, 45, 55, 58
 Levha · 3, 53
 Lineer · 26

M

Makara · 36, 39, 40, 53, 54
 Moment · 22, 24, 25, 34, 35, 70
 Montaj düzeneği · 37, 45, 53
 Mukavemet · 25, 32, 47

N

Nihai yük · 1, 26, 55, 69, 71, 73

O

Oturma · 1, 3, 8,
 Optimum · 5, 62, 64, 66, 71, 72
 Optimizasyon · 3

Ö

Ölçü · 36, 49
 Ötelenme · 3

P

Piknometre · 48
 Plaka · 11, 36, 41, 56, 60, 64, 71

R

Rijit · 4, 23, 27, 36

S

Silt · 12, 26

Ş

Şev · 19
 Şaft · 3, 6, 11, 22, 55, 68, 71, 73

T

Taşıma gücü · 1, 3, 8, 12, 32, 62
 Tork · 1, 10, 15, 16, 17

U

Unvan · 34

V

Veri kayıt ünitesi · 42, 44

Y

Yağmurlama · 38, 53
 Yanal yük · 1, 3, 5, 22, 26, 36,
 40, 53, 55, 58, 71, 72, 73
 Yükleme motoru · 36, 40, 53, 54
 Yük hücresi · 40, 42, 44, 49, 54

Z

Zemin aktarma düzeneği · 38, 53



TEKNOVERSİTE