

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HELİSEL KAZIKLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HELİSEL KAZIKLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Barış YILMAZ
(501131315)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131315 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Barış YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HELİSEL KAZIKLAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İlknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **23 Kasım 2016**
Savunma Tarihi : **22 Aralık 2016**

Anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Helisel kazıklar yurtdışında çok sık kullanılan bir derin temel tipidir. Ancak helisel kazıklar ülkemizde uygulama alanı bulamamaktadır. Helisel kazıkların birçok avantajı ve uygulama alanı olmasına rağmen ülkemizde kullanılmaması büyük bir eksikliktir. Helisel kazıklar ile ilgili Türkçe literatür bulunmaması da bu eksiklerden biridir. Bu tezin amacı helisel kazıklar ile ilgili Türkçe bir literatür oluşturmaktır. Bu literatür oluşturulurken birçok yabancı kaynak göz önüne alınmıştır. Helisel kazıklar hakkında Türkçe bir literatür hazırlanarak bu kazıkların ülkemizdeki kullanımının arttırılması hedeflenmektedir.

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Yüksek Lisans çalışmalarım süresince çalışmalarına yön veren, bilgi ve tecrübesini paylaşan, günlük yaşantısında güler yüzünü hiç eksik etmeyen değerli hocam Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu günlere gelebilmem için maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

Kasım 2016

Barış Yılmaz
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	2
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam.....	3
2. HELİSEL KAZIKLAR	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Temel Özellikler.....	5
2.3 Zemin Tiplerinde Uygulanabilirliği	6
2.4 Helisel Kazıkların Avantajları ve Yararları	8
2.5 Helisel Kazık Terminolojisi	9
2.6 Helisel Kazığin Tarihçesi	10
2.7 Helisel Kazıkların Günümüzdeki Kullanım Alanları	17
3. HELİSEL KAZIKLARDA TAŞIMA GÜCÜ	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Helis Aralığı	24
3.3 Ayrık Taşıma Gücü Yöntemi	25
3.4 Silindirik Kayma Yöntemi	31
3.5 Limit Durum Analizi	33
3.6 Şaft Adezyonu	35
3.7 LCPC Yöntemi	37
3.8 Kazık Düşey Yer Değiştirmesi.....	38
3.9 Kazık Burkulması.....	38
3.10 Negatif Çevre Sürtünmesi Nedeniyle Sürüklenme	39
3.11 Helisel Kazık İmalatı Sırasında Ölçülen Tork Değerinden Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi.....	41
3.12 Yükleme Hızının Helisel Kazık Taşıma Gücüne Etkisi	42
3.13 Çekmeye Çalışan Helisel Kazıkların Kapasitesi	43
3.13.1 Teorik kapasite	43
3.13.2 Kazık gömme derinliği.....	47
3.13.3 Yeraltı suyu etkisi	50
3.13.4 Grup verimliliği.....	50
3.13.5 Yapısal kapasite	51
3.13.6 Tekrarlı yükleme	51
3.14 Helisel Kazıkların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi	52

3.15 Helisel Kazıkların Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi ve Helis Aralığının Taşıma Gücüne Etkisi.....	57
4. HELİSEL KAZIKLARIN EKSENAL VE YANAL YÜKLEME TESTLERİ	77
4.1 Giriş	77
4.2 Basınç Testi	77
4.3 Çekme Testi.....	80
4.4 Yükleme Prosedürü	81
4.5 Yükleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi	82
4.6 Yanal Yükleme Testi	84
4.7 Yükleme Prosedürü	86
4.8 Yükleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi	86
5. HELİSEL KAZIKLARIN İSTİNAT YAPILARINDA KULLANIMI	89
5.1 Giriş	89
5.2 İstinat Duvarları.....	89
5.3 Kazı Destekleme.....	92
5.4 Helisel Zemin Çivisi.....	93
5.5 Öngermeli Helisel Ankrajlar	95
6. HELİSEL KAZIKLARIN DİĞER KULLANIM ŞEKİLLERİ.....	97
6.1 Giriş	97
6.2 Helisel Kazıkların Temel Takviyesinde Kullanımı	97
6.2.1 Temel onarımı	97
6.3 Helisel Kazıklarda Enjeksiyonlu Sistemler	106
6.4 Şişebilen Zeminlerde Kullanılan Helisel Kazıklar	108
7. HELİSEL KAZIKLARIN İMALAT YÖNTEMLERİ.....	113
7.1 Giriş	113
7.2 Ekipman.....	113
7.3 Genel Uygulama Yöntemi	115
7.4 Tork Ölçümü	116
8. HELİSEL KAZIKLARIN SERVİS ÖMRÜ VE KORUNMASI	119
8.1 Giriş	119
8.2 Korozyon	119
8.3 Galvaniz Çinko Kaplama	121
8.4 Pasiflik.....	122
8.5 Boyalı Kaplamalar.....	122
8.6 Servis Ömrü.....	123
8.7 Katodik Koruma	124
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	137

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGA	: American Galvanizers Association
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AISC	: The American Institute of Steel Construction
CPT	: Konik Penetrasyon Testi
DFI	: Deep Foundation Institute
ICC	: International Code Council
KPa	: Kilo Pascal
LCPC	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussees
Mpa	: Mega Pascal
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
Yy	: Yüzyıl

SEMBOLLER

A	: Helisel kazık yüzey alanı
A_g	: Helisel kazık şaftının brüt kesit alanı
A_n	: n. Helisel taşıma plakası alanı
B	: Temel genişliği
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
d	: Dairesel şaftın dış çapı
d_b	: Helisel ankraj başındaki donatı çapı
d_c	: Kohezyon derinlik katsayısı
d_{ef}	: Efektif helisel kazık çapı
d_q	: Jeolojik yük derinlik katsayısı
d_w	: Şişebilen aktif bölge derinliği
d_γ	: Sürtünme derinlik katsayısı
d_i	: Dairesel şaftın iç çapı
D	: Helisel taşıma plakası çapı
D_{AVG}	: Ortalama helisel taşıma plakası çapı
D_T	: En üstteki helisel taşıma plakası çapı
E	: Kazık elastisite modülü
E_f	: Verimlilik
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_y	: Çelik akma dayanımı
G.S.	: Güvenlik sayısı
h_w	: Helisel kazık üzerinde kalan yeraltı su tabakası kalınlığı
h_y	: Bir yıldaki saat sayısı
H	: Kazığın en üst bölgesiyle en üstteki helisel plaka arasındaki mesafe
H_{ef}	: Efektif şaft boyu
H_s	: Desteksiz kazılabilecek azami kazı derinliği
I	: Kazık atalet momenti
I_{req}	: Katodik koruma için gerekli elektrik akımı
i_o	: Akım yoğunluğu
k	: Efektif uzunluk katsayısı
k_c	: CPT taşıma gücü katsayısı
K	: Oran parametresi
K_h	: Yatay toprak basıncı katsayısı
K_o	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_t	: Ampirik tork katsayısı
l	: Tutulu olmayan kazık uzunluğu
L	: Helisel kazık uzunluğu
L_t	: Katodik anot servis ömrü
m₁	: Kazık grubunun bir sırasındaki kazık sayısı
m₂	: Kazık grubunun bir sırasına dik doğrultudaki kazık sayısı
n	: Bir helisel kazıktaki helisel taşıma plakası sayısı
N_c	: Kohezyon taşıma gücü katsayısı
N_q	: Jeolojik yük taşıma gücü katsayısı

N_T	: Relatif gömme oranı
N_γ	: Sürtünme taşıma gücü katsayısı
N'_c	: Kombine edilmiş kohezyon taşıma gücü, şekil ve derinlik katsayısı
N'_q	: Kombine edilmiş jeolojik yük taşıma gücü, şekil ve derinlik katsayısı
N'_γ	: Kombine edilmiş sürtünme taşıma gücü, şekil ve derinlik katsayısı
N_{70}	: %70 tokmak enerjisiyle düzeltilmiş SPT darbe sayısı
p	: Ankraj başlığı vida adımı
P	: Kazığa etkiyen normal kuvvet
P_c	: Helisel ankraj öngerme kuvveti
P_n	: Kazık şaftının nominal kapasitesi
P'_o	: Belirli bir derinlikteki efektif jeolojik gerilme
$P_{ölü}$	: Helisel kazık üzerindeki kalıcı yük
P_u	: Helisel kazığın nihai taşıma gücü
P_{ug}	: Helisel kazık grubunun nihai taşıma gücü
P_s	: Zeminin şişme basıncı
q_{ca}	: CPT uç direnci
q_s	: CPT çeper sürtünmesi
q_{ult}	: Zeminin veya kayanın nihai zemin basıncı
q'	: Temel derinliğindeki efektif gerilme
Q_t	: Tork değerinden elde edilen helisel kazık kapasitesi
r	: Burkulma eksen boyunca helisel kazık şaftının bir devir yarıçapı
s	: Helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe
s_c	: Kohezyon şekil katsayısı
s_q	: Jeolojik yük şekil katsayısı
s_γ	: Sürtünme şekil katsayısı
t_d	: Helisel kazık servis ömrü
t_q	: Ankraj başlığı somunu sıkıştırma torku
T_d	: Tasarım kesit kalınlığı
T_h	: Teorik akım çıkışı
T_n	: Nominal kesit kalınlığı
T_s	: Korozyonda feda edilecek kesit kalınlığı
T_q	: Helisel kazık imalatı sırasındaki ortalama tork değeri
U_f	: Kullanım oranı
w	: Katodik anot ağırlığı
W	: Etki konisindeki zemin ağırlığı
z	: Derinlik
α	: Zemin ile kazık şaftı arasındaki adhezyon
α_o	: Adhezyon katsayısı
δ	: Kazık düşey yerdeğiştirmesi
θ	: Etki konisinin düşeyle yaptığı açı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ'	: Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
λ_c	: Kolon narinlik katsayısı
λ_δ	: Yerdeğiştirme sabiti
λ_k	: Tork uygunluk katsayısı
μ	: Donatı somun arasındaki sürtünme kuvveti katsayısı
σ'_n	: Efektif çevre basıncı
T	: Kayma mukavemeti
η	: Kazık grubunun verimliliği

ϕ : Zeminin sürtünme açısı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tipik bir helisel kazık detayı	6
Şekil 2.2 : Zemin ve kayaçları ait nihai taşıma kapasiteleri (Perko, 2009).	7
Şekil 2.3 : Alexander Mitchell'in icat ettiği helisel kazık 1836 (Lutenegger, 2011).	11
Şekil 2.4 : Maplin Sands Deniz Feneri'ne ait kesit (Lutenegger, 2011).	12
Şekil 2.5 : İskele temelindeki helisel kazık imalatı (Lutenegger, 2011).	12
Şekil 2.6 : Çıkırı ve halatlı sistemle helisel kazık imalatı (Lutenegger, 2011).	13
Şekil 2.7 : Yokohama Limanı büyük iskele (Isohata ve Kida, 2000).	14
Şekil 2.8 : Hamilton Temel Takviyesi Yöntemi (A.B. Chance, 1993).	15
Şekil 2.9 : Helisel kazık kullanım devirleri (Perko, 2009).	16
Şekil 2.10 : İnşaatın Genel Usulleri helisel kazık teknik çizimleri (Feyzi, 1903).	16
Şekil 2.11 : Temellerinde helisel kazık kullanılan bir elektrik dağıtım kulesi.	17
Şekil 2.12 : Gergi kablolarını zemine sabitlemek için kullanılan helisel kazıklar. ...	17
Şekil 2.13 : Şev üzerinde imal edilen helisel kazıklı temel.	18
Şekil 2.14 : Temelleri donmuş zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması.	19
Şekil 2.15 : Temelleri ıslak zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması.	19
Şekil 2.16 : Boru hatlarında helisel ankrajla yüzmeye karşı önlem alınması.	20
Şekil 2.17 : Helisel kazıklarla yapılan temel takviyesi.	21
Şekil 2.18 : Helisel kazık grubuyla oluşturulmuş derin temel sistemi (DFI, 2013). .	21
Şekil 2.19 : Palplanş ve helisel ankrajdan oluşan kazı destek sistemi.	22
Şekil 2.20 : Helisel kazıklı rüzgâr türbini temeli (Bump ve Laney, 2012).	22
Şekil 3.1 : Helisel kazık yenilme tipleri (Perko, 2009).	24
Şekil 3.2 : Normal basınç kuvveti altında ayırık taşıma gücü yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).	26
Şekil 3.3 : Taşıma gücü katsayıları (Terzaghi, 1943), (Meyerhof, 1951).	28
Şekil 3.4 : Kombine edilmiş taşıma gücü, şekil ve derinlik katsayıları (Meyerhof, 1951; Hansen, 1970; Vesic, 1973).	29
Şekil 3.5 : Normal basınç kuvveti altında silindirik kayma yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).	31
Şekil 3.6 : Silindirik kayma yöntemi için yatay toprak basıncı katsayıları (Mitsch ve Clemence, 1985).	32
Şekil 3.7 : İnce daneli zeminlerde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).	34
Şekil 3.8 : İri daneli zeminlerde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).	34
Şekil 3.9 : Tüm zemin ve kayaç tiplerinde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).	35
Şekil 3.10 : Adezyon hesapları için efektif şaft yüksekliği (Rao ve diğ., 1993b).	36

Şekil 3.11 : Negatif çevre sürtünmesinin ortaya çıktığı örnek bir zemin profili (Perko, 2009).	40
Şekil 3.12 : Helisel kazık imalatı sırasındaki tork-derinlik grafiği (Tshua ve diğ., 2016).	41
Şekil 3.13 : Farklı helisel taşıma plakası aralığına sahip helisel ankraj modelleri (Rao ve diğ., 1989).	43
Şekil 3.14 : Normal çekme kuvveti altında silindirik kayma yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).	44
Şekil 3.15 : Normal çekme kuvveti altında ayırık taşıma gücü yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).	45
Şekil 3.16 : Zeminde ve kayada yapılan yükleme deneylerinde ölçülen sonuçlar ile hesaplanan sonuçların karşılaştırılması (Perko, 2009).	47
Şekil 3.17 : Helisel kazık ve helisel ankrajlarda sığ yenilme durumu (Perko, 2009).	48
Şekil 3.18 : Etki konisinin şematik gösterimi (Perko, 2009).	49
Şekil 3.19 : Helisel ankraj üzerinde yapılan tekrarlı yükleme testi (Cerato ve Victor, 2008).	52
Şekil 3.20 : Plaxis yazılımı aksi-simetrik modelleme (Plaxis manual, 2002).	53
Şekil 3.21 : Plaxis yazılımı zemin prizması (Salhi ve diğ., 2013).	54
Şekil 3.22 : Plaxis yazılımı zemin ve helisel kazık modellemesi (Salhi ve diğ., 2013).	55
Şekil 3.23 : Plaxis yazılımında başlangıç zemin gerilmelerinin tanımlanması (Salhi ve diğ., 2013).	56
Şekil 3.24 : Plaxis yazılımında helisel kazık imalatı (Salhi ve diğ., 2013).	56
Şekil 3.25 : Plaxis yazılımında helisel kazığın yüklenmesi (Salhi ve diğ., 2013).	56
Şekil 3.26 : Plaxis yazılımı sonuçları ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Salhi ve diğ., 2013).	57
Şekil 3.27 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	59
Şekil 3.28 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	60
Şekil 3.29 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	61
Şekil 3.30 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	62
Şekil 3.31 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	63
Şekil 3.32 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	64
Şekil 3.33 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	65
Şekil 3.34 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m)	66
Şekil 3.35 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	67
Şekil 3.36 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	68
Şekil 3.37 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	69
Şekil 3.38 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	70

Şekil 3.39 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	71
Şekil 3.40 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	72
Şekil 3.41 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	73
Şekil 3.42 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).	74
Şekil 4.1 : Örnek bir basınç testi çerçevesi (Magnum Piering Limited Şirketi).	77
Şekil 4.2 : Basınç testindeki ölçüm aletleri (Magnum Piering Limited Şirketi).	78
Şekil 4.3 : Eksantristenin kazık kapasitesine etkisi (Perko, 2009).	79
Şekil 4.4 : Kazık eğiminin test sonuçlarına etkisi (Perko, 2009).	79
Şekil 4.5 : Helisel ankrajda performans testi (Magnum Piering Limited Şirketi).	80
Şekil 4.6 : Helisel kazıkta çekme testi (Magnum Piering Limited Şirketi).	81
Şekil 4.7 : Davisson yöntemi (Davisson; 1972, 2007).	83
Şekil 4.8 : Helisel kazıkların birbirlerine bağlanarak oluşturulan yatay yükleme test düzeneği (Magnum Piering Limited Şirketi).	84
Şekil 4.9 : Helisel kazıkların hidrolik kriko ile itilmesiyle oluşturulan yatay yükleme test düzeneği (Magnum Piering Limited Şirketi).	85
Şekil 4.10 : Kohezyonsuz zeminde helisel yanal yükleme test sonucu (Sakr, 2010).	87
Şekil 4.11 : Kohezyonlu zeminde helisel yanal yükleme test sonucu (Sakr, 2010).	87
Şekil 5.1 : Helisel kazıklı istinat duvarı tipleri (Perko, 2009).	90
Şekil 5.2 : Potansiyel kayma düzlemi (Ou, 2006)	91
Şekil 5.3 : Kazı destek sistemleri (Perko, 2009).	92
Şekil 5.4 : Helisel zemin çivili duvar tip kesiti (Perko, 2009).	94
Şekil 5.5 : Öngerme işlemi uygulanan bir helisel ankraj (Perko, 2009).	95
Şekil 6.1 : Plakalı askı ve helisel kazıklı temel takviye sistemi (Magnum Piering Limited Şirketi).	98
Şekil 6.2 : Açılı askı ve helisel kazıklı temel takviye sistemi (Hubbell Limited Şirketi).	99
Şekil 6.3 : Helisel kazıklı temel takviye sistemi uygulaması (Lutenegger ve diğ. 2013).	101
Şekil 6.4 : Helisel kazıklı ve askı aparatlı temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).	101
Şekil 6.5 : Yapı içinden yapılan temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).	102
Şekil 6.6 : Helisel kazıklı ve askı aparatlı temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).	103
Şekil 6.7 : Helisel kazıklı ve helisel ankrajlı temel takviye sistemi (Perko, 2009).	105
Şekil 6.8 : Temel takviye sistemi üzerine püskürtme betonun tatbik edilmesi (Perko, 2009).	105
Şekil 6.9 : Helisel kazıklı, helisel ankrajlı ve püskürtme betonlu temel takviyesi sistemi (Perko, 2009).	106
Şekil 6.10 : Enjeksiyonlu helisel kazıklı sistem (Ratliff, 1966).	107
Şekil 6.11 : Enjeksiyonlu modern helisel kazıklı sistem (Vickars ve Clemence 2000).	107
Şekil 6.12 : Enjeksiyonlu helisel kazık ile enjeksiyonsuz helisel kazığın yükleme testi sonuçları (Bian ve diğ., 2006).	108
Şekil 6.13 : Şişebilen zemindeki helisel kazık (Perko, 2009).	10511
Şekil 7.1 : Helisel kazık imalat ekipmanları (DFI, 2013).	114
Şekil 7.2 : Helisel kazık mobil imalat ekipmanı (DFI, 2013).	114

Şekil 7.3 : Helisel kazık imalat adımları (Perko, 2009).	115
Şekil 7.4 : Kesme Pimi Yöntemi.	117
Şekil 7.5 : Mekanik kompaktör.	118
Şekil 8.1 : Pourbaix Diyagramı (Mudali, 2007)	120
Şekil 8.2 : Gömülü çelik borular için korozyon oranları.	121
Şekil 8.3 : Sıcak daldırma galvaniz yöntemi	122
Şekil 8.4 : Tipik bir kurban anot düzeneği.	126

HELİSEL KAZIKLAR

ÖZET

Bu tez çalışmasında derin temellerin, derin kazı iksa sistemlerinin ve temel onarım sistemlerinin tasarımında kullanılan ve geleneksel yöntemlere nazaran daha farklı bir yöntem olan helisel kazıklar ele tanıtılacaktır.

Helisel kazıklar 1800'lü yılların ilk yarısında İngiltere'de Alexander Mitchell tarafından icat edilmiştir ve deniz fenerlerinin temelleri ile iskele ayaklarının temellerinde kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan helisel kazıklar çelikten imal edilen fabrika üretimi kazıklardır. Helisel kazıkların ucunda tek bir plaka (tekli helisel) veya sadece ucunda değil belirli mesafelerde bir kaç plaka da (çoklu helisel) bulunabilir. Helisel kazıklar tek bir kazık şeklinde kullanıldığı gibi kazık grupları halinde de kullanılabilir. Helisel kazıkların en büyük avantajı çekme, basınç kuvvetleri ve yatay kuvvetlere karşı direnç gösterebilmesidir.

Helisel kazıkların kullanım alanları çok geniştir. Yapıların ve enerji hatlarının temellerinde, boru hatlarının yüzmeye karşı korunmasında, temel takviyesinde ve iksa sistemlerinde helisel kazıklar kullanılmaktadır.

Derin temel tasarımında geleneksel yöntemler olan betonarme çakma ve fore kazıklar, çakma çelik kazıklar günümüzde birçok inşaat uygulamasında kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden farklı olan çelik helisel kazıklar dünyada birçok ülkede sıklıkla uygulansa da ülkemizde henüz yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır. Helisel kazıklar tork makinesi aracılığıyla döndürülerek zemin içinde ilerletilir.

Limit durum analizi kullanılarak helisel kazıkların nihai taşıma gücü belirlenir. Bu yöntemle göre önce ayrıık taşıma gücü yöntemiyle ve silindirik kayma yöntemi ile helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi hesaplanır ve küçük olan değer helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi olarak belirlenir. Bu yöntemler dışında LCPC yöntemi ve helisel kazık imalatı sırasındaki ortalama tork değeri ile de helisel kazık taşıma kapasitesi belirlenebilir. Limit durum analizi yapılarak birçok farklı zemin tipinde ve farklı boyutlardaki helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi bu tez kapsamında hesaplanmış ve zemin tipine, kazık boyutuna göre değişen hesap yöntemleri değerlendirilmiştir.

İnce daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve drenajsız kayma mukavemeti değeri arttıkça nihai taşıma gücü değerinin arttığı görülmüştür. İnce daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı, çapı ve zeminin drenajsız kayma mukavemeti değerinden bağımsız olarak silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı 2.5 olarak bulunmuştur. İnce daneli zeminlerde helisel kazıkların taşıma gücü hesaplanırken imalat sırasında şaft etrafında oluşan zemin örselenmesinden ve şaft çelik yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı şaft adhezyonu ihmal edilir.

İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve kayma direnci açısı değeri arttıkça nihai taşıma gücü değerinin arttığı görülmüştür. İri daneli zeminlerdeki helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve kayma direnci açısı sabit tutulup, helisel taşıma plakası çapı arttırıldığında silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artmaktadır. İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plakası çapı ve sayısı sabit tutulup, kayma direnci açısı arttırıldığında silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı azalmaktadır. İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısının geçiş s/D oranına doğrudan bir etkisi yoktur. 30° ve daha düşük kayma direnci açısı değerlerinde helisel taşıma plaka sayısı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artmaktadır. İri daneli zeminlerde helisel kazıkların taşıma gücü hesaplanırken imalat sırasında şaft etrafında oluşan zemin örselenmesinden ve şaft çelik yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı şaft sürtünmesi ihmal edilir.

Derin kazı iksa sistemlerinde öngermeli ankrajlar veya zemin çivileri yerine helisel kazıklar ankraj olarak kullanılabilir. Helisel kazıklar, normal yükleme dayanımının yanı sıra yatay yüklere karşı da direnç gösterdiği için kazı destek sistemlerinde de kullanılmaktadır. Helisel kazıkların imalatı için herhangi bir delgi yapılmasına ihtiyaç yoktur.

Temel takviyesinde helisel kazıkların tercih edilmesi gittikçe yaygınlaşmaktadır. Farklı oturmaların meydana geldiği, deprem veya diğer doğal afetlerden zarar gören temeller de helisel kazıklar ile onarılabilir.

Şişen zemine oturan yapıların temellerinde helisel kazıkların kullanılması avantaj sağlamaktadır. Helisel kazığın sahip olduğu helisel taşıma plakası stabil zemin içinde teşkil edilmektedir. Helisel kazığın şaftının küçük çaplı ve çeliğin pürüzsüz olması nedeniyle şişme kuvveti helisel kazığa aktarılmamaktadır.

Helisel kazıklar çelikten yapıldığı için korozyona karşı korunmak zorundadır. Helisel kazıklar galvaniz kaplama, epoksi boya kaplama ve katodik koruma yöntemlerinden biriyle korozyona karşı korunabilir.

Yukarıda bahsedilen bütün hususlar bu tezin kapsamındadır ve bu tezin ilgili bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

HELICAL PILES

SUMMARY

Geotechnical engineering has many application areas. These areas are deep and shallow foundations design, deep excavation support systems design, soil improvement projects, slope stability analysis, off-shore geotechnics, underpinning, earthworks design, geotechnical earthquake engineering and etc. In this thesis, helical piles which used for deep foundations design, deep excavation support systems design and underpinning design besides the conventional methods will be introduced.

Helical piles were invented by Alexander Mitchell in early 1800's in England. First invented helical piles made of wood and they were used in lighthouses's foundations and piers. Modern helical piles are made of steel. Helical piles have one or more helical bearing plates and there is a distance between helical bearing plates. Helical piles use as single pile or pile group. Helical piles resist tension, compression and lateral loads.

Helical piles widely used for foundations of energy lines and multi-story buildings, buoyancy control of pipelines, underpinning systems and as tiebacks for deep excavation support systems.

Bored and driven piles are conventional methods of deep foundation systems and they are widely used. Helical piles are different from these methods and used in many developed countries (USA; England), but helical piles are not used in Turkey. Before the bored pile installation, soil is bored. Driven piles are driven into the soil. In order to install the helical pile into the soil, neither boring, nor driving process will not be used. Helical pile shaft is rotated into the soil by using a torque motor.

Limit state analyses is used for to determine the ultimate bearing capacity of helical piles. According to the this method, The ultimate bearing capacity of helical pile is calculated with both individual bearing method and cylindrical shear method. The minimum value of these methods has been selected and this minimum value is the ultimate bearing capacity of helical pile. Moreover LCPC method is also used to determine the ultimate bearing capacity of helical piles. Also the average torque value which is obtained during the installation is used for to determine the bearing capacity of helical pile. Helical piles ultimate bearing capacities were calculated using limit state analysis in many different soil types and different helical sizes within scope of this master thesis. It is observed that calculation methods directly depends on inter helix spacing. These observations and other results are evaluated in this master thesis.

Helical pile axial compression and axial tension tests are conducted to determine the helical piles compression and tension capacity. Helical pile compression load tests are conducted in accordance with ASTM D1143. Helical pile tension load tests are conducted in accordance with ASTM D3689. Axial loading test results can be generally evaluated by Davisson method or 5% displacement method. Helical lateral

load test is conducted to determine the helical pile lateral load capacity. Helical pile lateral load tests are conducted in accordance with ASTM D3966. Lateral loading test results also can be generally evaluated by Davisson method or 5% displacement method.

Helical piles are also used in deep excavation support systems and slope stability systems design. Helical piles used as helical pre-stressed anchor, helical anchor or helical soil nail. Helical piles can use with shotcrete wall, sheet pile wall, bored pile wall and braced wall. Helical piles can resist lateral loads and because of the this reason, it can be used as a tiebacks in deep excation systems. It can be also used for retaining wall foundations and it can be used as strut. Deep excavation support system stability can be determine by the software which is based on finite element method.

Helical piles are used for underpinning existing structures. Underpinning is done for repair of damaged foundations, to increase load carrying capacity. Helical piles used with underpinning brackets to underpin the existing foundations. There are two types of underpinning brackets. Plate bracket and angle bracket. Both of them can be used with helical piles. But angle brackest are most common bracket types. There many historical buildings which underpin using helical piles in USA. Helical piles are also used to underpin existing structures located near braced excavations.

Helical piles can be used with grouting systems. Grout encloses the helical pile shaft and increases adhesion. If adhesion increases, bearing capacity will increase. Cement is used as a grout material.

Helical piles are very effective solution for foundations which locate in expansive soils. The zone of soil which effect by expansive soil is called “active zone”. This zone can swell and swelling pressure can damage to the existing foundation. Therefore helical pile must be extended to the stable soil. Swell pressure can be determined by odometer test. Helical pile’s slender shaft is not effected by expansive soils. Helical bearing plates can resist pullout forces which occur by expansive soil.

If proper equipments and procedures are provided, installation of helical piles is very simple. Helical piles usage growes because of this simplicity. Helical piles can be install variable soil conditions. The helical pile is rotated into the soil by application of torsion using torque motor. Helical pile installation equipments are torque motor, torque indicator, drive tool, drive pin and hydraulic machine. Hand installation equipments does not consist hydraulic machine. Reaction bar and foot control are used instead of hydraulic machine.

Torque measurement during the helical pile installation is very important because helical pile bearing capacity can be calculated using the average torque value during the installation. There are two common ways in order to measure installation torque. First method is shear pin indicator. This method’s disadvantage is torque measurement during the installation is not continuous. Second method is mechanical dial indicator. This method’s disadvantages are it can be expensive and they are very sensitive.

Helical piles can be effected by corrosion because they made of steel. Therefore helical pile must be protected against to the corrosion. There are three main methods for helical pile corrosion protection. First method is the zinc galvanizing. Zinc galvanizing helps protect steel by corrosion. Batch hot-dip galvanizing is most common galvanizing method. Second corrosion protection method is powder

coating. Powder coating is less durable than zinc galvanizing. Both zinc galvanizing and powder coatings are coating protection methods. The third corrosion protection method is cathodic protection method and sacrificial anodes is most common method is cathodic protections.

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinin günümüzde birçok uygulama alanı vardır. Bu uygulamalardan bazıları; derin ve sığ temellerin tasarımı, derin kazı iksa sistemlerinin tasarımı, zemin iyileştirme işlemleri, şev stabilitesi analizleri, off-shore yapıların geoteknik tasarımları, hasar görmüş temel onarım çalışmaları, toprak işleri tasarımları, geoteknik deprem mühendisliği çalışmaları ve buna benzer uygulamalardır. Bu tez çalışmasında derin temellerin, derin kazı iksa sistemlerinin ve temel onarım sistemlerinin tasarımında geleneksel yöntemlere nazaran daha farklı bir yöntem olan helisel kazıklar tanıtılacaktır.

Helisel kazıklar 18. yy'ın başlarında İngiltere'de, Alexander Mitchell tarafından icat edilmiştir. İlk üretilen helisel kazıklar ahşaptır ve genelde İngiltere'deki deniz fenerlerinin temellerinde ve iskele ayaklarının temellerinde kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan helisel kazıklar çelikten meydana gelen fabrika üretimi kazıklardır. Helisel kazıkların ucunda tek bir plaka (tekil helisel) veya sadece ucunda değil belirli mesafelerde bir kaç plaka da (çoklu helisel) bulunabilir. Bu plakaların çapları 150 mm ile 610 mm arasında değişebilir. Helisel kazık boyları ise 90 cm'den başlayıp, uçlarına tij eklenerek teoride sonsuza kadar uzatılabilir. Helisel kazıklar tek bir kazık şeklinde kullanıldığı gibi kazık grupları halinde de kullanılabilir. Helisel kazıkların en büyük avantajı çekme, basınç kuvvetleri ve yatay kuvvetlere karşı direnç gösterebilmesidir.

Derin temel tasarımında geleneksel yöntemler olan betonarme çakma ve fore kazıklar, çakma çelik kazıklar günümüzde birçok inşaat uygulamasında kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden farklı olan çelik helisel kazıklar dünyadaki birçok gelişmiş ülkede (ABD, İngiltere) sıklıkla uygulansa da ülkemizde henüz yaygın bir kullanım alanı elde edememiştir. Fore kazıklar zemin forajı sonrası imal edilirler, çakma kazıklar ise tokmak vasıtasıyla zemine çakılırlar. Helisel kazıklar ise ne foraj ile ne de zemine çakma vasıtası ile imal edilir. Helisel kazıklar tork makinesi aracılığıyla döndürülerek zemin içinde ilerletilir.

Derin kazı iksa sistemlerinde helisel kazıklar, öngermeli ankrajlar veya zemin çivileri yerine kullanılabilir. Helisel kazıklar, normal yükleme dayanımının yanı sıra yatay yüklere karşı da direnç gösterdiği için kazı destek sistemlerinde de kullanılmaktadır. Helisel kazıkların imalatı için herhangi bir delgi yapılmasına ihtiyaç yoktur. Derin kazı iksa sistemlerinde kullanılan helisel kazıklar tork makinesi aracılığıyla döndürülerek zeminin içine itilir.

Temel onarım sistemi olarak helisel kazıkların tercih edilmesi gittikçe yaygınlaşmaktadır. Farklı oturmaların meydana geldiği, deprem veya diğer doğal afetlerden (fırtına, sel vb.) zarar gören temeller de helisel kazıklar ile onarılabilir.

Helisel kazıkların kullanım alanları, taşıma gücü hesapları, tabii tutulacağı yükleme testleri, imalat yöntemleri ve servis ömürleri gibi birçok unsur ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak tariflecektir.

1.1 Amaç

Helisel kazıklar hakkında Türkçe literatürdeki bilgiler yok denecek kadar azdır. Elimizdeki bu bilgiler, geoteknik proje tasarım şirketlerinin web sayfalarındaki birkaç paragraf bilgiden ibarettir. Bu sebepten ötürü helisel kazıklar hakkında kapsamlı bir Türkçe kaynak oluşturma zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın amaçları aşağıdaki başlıklar halinde özetlenmiştir.

- Helisel kazık tanımı, özellikleri ve kullanım alanlarının tanıtılması.
- Helisel kazıkların tarihçesi, günümüze kadar gelişimi.
- Helisel kazıkların temel sistemi olarak kullanımında taşıma güçlerinin hesaplanması.
- Helisel kazıklar üzerinde yapılan yükleme testlerinin tariflenmesi ve değerlendirmesi
- İksa sistemi olarak kullanımında çekme kapasitesinin hesaplanması.
- Temel onarım sistemi olarak kullanım yöntemleri.
- Helisel kazıkların değişik kullanım alanlarının tanımlanması.
- Helisel kazıkların imalat yöntemleri, korunması ve bakımının nasıl yapılacağı.

1.2 Kapsam

Helisel kazıklarla ilgili geoteknik özelliklerin (taşıma gücü hesaplamaları, iksa sistemi olarak tasarımı, temel onarım sistemi olarak kullanımı vb.) belirlenmesi bu çalışmanın kapsamıdır. Bu kapsam çerçevesinde gerekli literatür çalışması yapılarak, bu tez çalışmasında sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümü helisel kazığın tanımı, temel özellikleri, hangi zemin tiplerinde uygulanabileceği, avantajları, helisel kazık bileşenleri ve diğer unsurlarını içeren terminolojisi, helisel kazığın icadı ve günümüzdeki kullanım alanları konularını içermektedir.

Üçüncü bölümde helisel kazıkların taşıma güçlerinin nasıl belirleneceği, hesap yöntemleri, tasarım kriterleri, tasarım yapılırken dikkat edilecek hususlar, yer altı su seviyesinin taşıma gücüne etkisi gibi konular sunulacaktır. Ayrıca helisel kazıkların taşıma kapasitelerinin belirlenmesi ile ilgili teorik hesaplamalar ve karşılaştırmalar da bu bölümde yapılacaktır. Bu bölümde son olarak farklı boyutlardaki helisel kazıkların, farklı zemin tiplerinde ve farklı zemin özelliklerindeki nihai taşıma gücü değerleri hesaplanıp, taşıma gücünü etkileyen faktörler değerlendirilecektir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde helisel kazıkların eksenal yükleme testlerinden bahsedilecektir. Bu testler basınç ve çekme testleridir. Ayrıca bu testlerin prosedüründen ve test sonuçlarının değerlendirilmesinden de bahsedilecektir.

Beşinci bölümde helisel kazıkların istinat sistemi olarak kullanımından bahsedilecektir. Helisel zemin çivileri ve helisel ankrajlardan bahsedilecektir. Helisel ankrajların öngerme işlemi de beşinci bölümün kapsamındadır.

Tezin altıncı bölümünde helisel kazıkların diğer kullanım şekilleri anlatılacaktır. Özellikle helisel kazıkların temel takviye sistemi olarak kullanılması ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Bunların dışında helisel kazıkların enjeksiyonlu sistemler ile birlikte kullanımı, zemin ankrajları olarak kullanılması ve kompozit kazıklar da altıncı bölümde işlenecektir.

Yedinci bölümde helisel kazıkların imalat yöntemleri, bu imalatlarda kullanılan ekipmanlar, ekipmanlarda yapılacak ölçümler ve kalibrasyonlar anlatılacaktır.

Çalışmanın sekizinci bölümünde helisel kazıkların servis ömrü ve korozyona karşı nasıl korunacağından bahsedilecektir.

Son bölümde ise helisel kazıklar ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

2. HELİSEL KAZIKLAR

2.1 Giriş

Temel altındaki mevcut zeminin, yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyamadığı durumlarda, ya temel altındaki zemin iyileştirilir, zemin iyileştirmenin maliyetli veya yetersiz olduğu durumlarda yapıdan gelen yükleri daha derindeki sağlam zemin ya da kaya tabakalarına aktarmak için derin temel sistemleri kullanılır. Derin temel sistemlerinde en yaygın kullanılan sistem kazıklı temel sistemidir. Kazıklar yapıldıkları malzemeye göre ahşap, beton, betonarme, çelik veya kompozit olabilir.

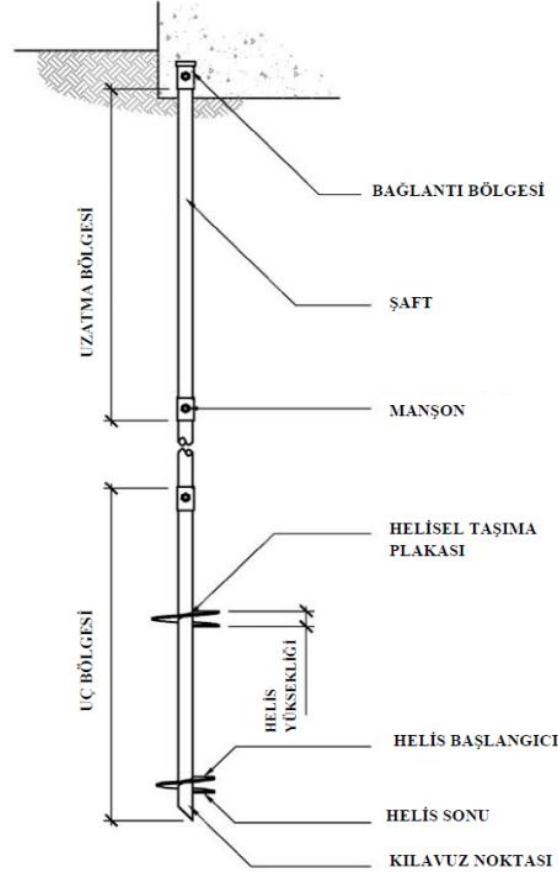
Helisel kazıklar derin temel sistemlerinde kullanılan bir kazık tipidir. Helisel kazıklar hem çekme hem de basınç kuvvetlerine karşı koyabilir, hidrolik tork makinesi yardımı ile dik veya eğimli bir şekilde zemin içine doğru döndürülerek itilir. Bu özelliklerinden dolayı helisel kazıklar geoteknik mühendisliğinin birçok alanında kullanılan bir kazık tipidir. Bu kazıklar bir veya daha çok helisel taşıma plakası içeren, zemin içinde döndürülerek ilerletilen, fabrika üretimi çelik kazıklardır. İmalat yöntemi bakımından çakma kazıklara benzeseler de, en büyük fark; çakma kazıkların zemin içinde ilerletilmesi için sadece normal kuvvet gerekirken, helisel kazıkların zemin içinde ilerletilebilmesi için dönme hareketi ve normal kuvvet gerekmektedir.

2.2 Temel Özellikler

Helisel kazıklar yapıları desteklemek amacı ile zemin içinde dönme hareketi ile ilerletilen çelik temel sistemleridir. Tipik bir helisel kazığın bileşenleri; uç ve uzatma bölgeleridir. Uzatma bölgesi şaft kısmını da içerir, uç bölgesinde helisel taşıma plakaları bulunur. Bir helisel kazıkta bir helisel taşıma plakası veya birden fazla helisel taşıma plakası olabilir. Genellikle bir helisel kazıkta en fazla 6 tane helisel taşıma plakası bulunmaktadır. Bir helisel taşıma plakası içeren helisel kazıklara tekli helisel kazık, iki helisel taşıma plakası içeren helisel kazıklara ise ikili helisel kazık denir. Helisel taşıma plakası arttıkça benzer şekilde isimlendirme yapılır.

Helisel kazığın şaft kısmının dış çapı 76 mm ile 508 mm arasında değişebilir ve et kalınlığı da 32 mm ile 117 mm arasındadır. Helisel taşıma plakasının çapı ise 150 mm ile 1016 mm arasında değişmektedir. Proje gereksinimlerine göre daha büyük helisel kazıklar da imal edilebilir. Helisel plaka yüksekliği genellikle 75 mm'dir.

Helisel kazığın bileşenlerini içeren detaylar Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Tipik bir helisel kazık detayı.

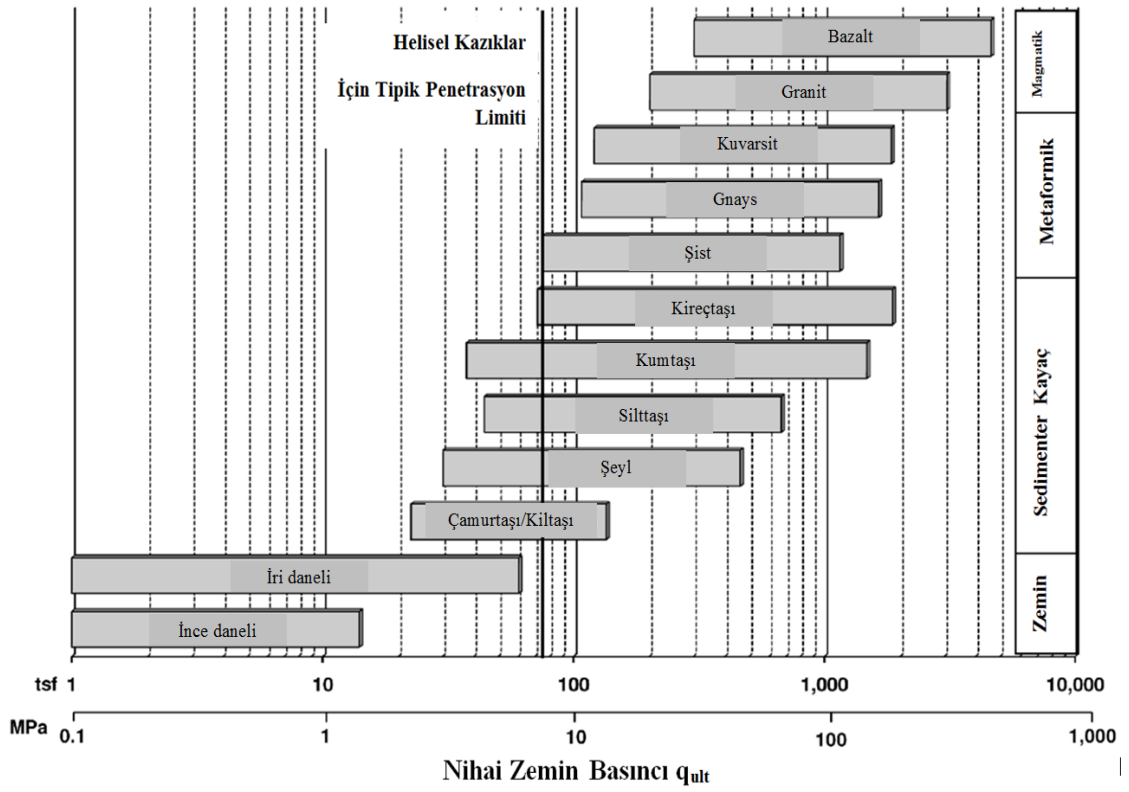
2.3 Zemin Tiplerinde Uygulanabilirliği

Helisel kazıklar birçok farklı zemin ortamında imal edilebilir. Şişebilen zeminler, niteliği bilinmeyen dolgu alanları, çökebilir zeminler, killeri, siltler, kum ve çakıllar helisel kazıkların imal edilebildiği zemin tipleridir.

SPT darbe sayısı 50'den büyük olan zeminlerde bile helisel kazıklar imal edilebilir. Daha yüksek SPT darbe sayılarında ise helisel kazıklar imal edilemeyebilir.

Helisel kazıklar bazı yumuşak kayalar da imal edilebilir. Nihai taşıma gücü 7 Mpa değerinden fazla olan kayalarda helisel kazık imalatı genellikle yapılamaz. Özellikle magmatik, metamorfik ve sağlam sedimenter kayalarda helisel kazık imalatı yapılamaz (Perko, 2009).

Farklı zemin ve kayaç ortamlar için nihai taşıma kapasiteleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Zemin ve kayaçlara ait nihai taşıma kapasiteleri (Perko, 2009).

Helisel kazık uç noktasının çok sıkı kuma veya sert kayaya asgari şekilde gömülmesi basınç kuvvetlerinin taşınması için genellikle yeterli olmaktadır. Helisel kazığın sıkı kuma veya kayaya daha fazla gömülmesi gerekliliği ortaya çıkarsa, mini kazık veya fore kazık gibi daha farklı bir derin temel türü önerilmektedir.

Ancak geniş çaplı şafta ve görece küçük çaplı helisel taşıma plakasına sahip helisel kazıklar çok sıkı kumda da başarılı bir şekilde imal edilmektedir (Nasr,2007).

Helisel kazıklar donmuş zeminlerde de herhangi bir zorlukla karşılaşmadan imal edilebilir. Özellikle kışların sert geçtiği bazı bölgelerde ve zemindeki buzlanmanın arttığı kış aylarında da birçok helisel kazık imal edilebilmektedir. Bunun da ötesinde helisel kazıklar donma riski bulunan zeminler için mükemmel bir temel sistemidir. Helisel kazığın şaft ve helisel plaka bölgesi buzlanmadan dolayı oluşan zemin kabarmasına karşı gelerek özellikle iskele ayağı ve buna benzer hafif yapılar için çok güvenli bir temel sistemi olmaktadır.

Zemin profilindeki bazı süreksizlikler ve değişkenlikler helisel kazık imalatı sırasında bazı zorluklar çıkartabilir. Örneğin yüzeydeki yumuşak veya gevşek malzeme içerisinde ilerleyen helisel kazık kayabilir ve daha derindeki çok daha sert malzeme ile karşı karşıya kalabilir. Kaymanın sonucunda da helisel kazık

doğrultusunda bir miktar sapma meydana gelebilir. Eğer mümkünse üstte gevşek veya yumuşak tabakayı daha yüksek tork değeri ile geçmek sorunun üstesinden gelebilir. Fakat bu durum mümkün değil ise helisel kazıktaki helis miktarını arttırmak bu sorunu çözmede yeterli olabilir.

Ayrıca zemin profilinde bulunan iri çakıl ve kaya parçaları da helisel kazık imalatı sırasında sorun yaratabilir. Helisel kazıklar bu malzeme ile karşılaştığı zaman ilerleyemeyebilir. İri çakıl ve kaya parçaları yumuşak veya zayıf ise helisel kazıklar geri çekilip, yerleri bir miktar değiştirilebilir. Eğer yine aynı durum ile karşılaşılsa ve sahanın genelinde bu iri çakıl ve kaya parçaları varsa proje gereksinimleri gözden geçirilerek helisel kazık uygulamasından vazgeçilip, farklı bir temel sistemi tasarlanmalıdır.

2.4 Helisel Kazıkların Avantajları ve Yararları

Helisel kazıkların diğer temel tiplerine göre benzersiz avantajları vardır. Helisel kazık imalatını zemin göçmeleri ve yeraltı suyu etkileyemez. Sahada helisel kazıkları imal eden makinenin manevra kabiliyeti çakma kazık ve fore kazık imal eden makinelere nazaran daha fazladır. Öyle ki, portatif veya elle çalıştırılabilen ekipmanlar ile çok dar alanlarda dahi helisel kazıklar imal edilebilir.

Bunların dışında helisel kazık imalatı sırasında foraj olmayacağı için herhangi bir pasa malzemesi oluşmaz. Böylece çevreye de zarar verilmez, çevre dostudur. Çevre geotekniği açısından da kullanılması tavsiye edilmektedir.

İmalat esnasında aşırı titreşim oluşturmaz. Asgari düzeyde titreşim oluşturduğu için bitişik ve çevre yapılarda herhangi bir hasar oluşturmaz. Bu sebeplerden ötürü temel takviyesi uygulamalarında, kâgir hassas yapılarda kullanılması uygundur.

İmalat esnasındaki çıkardığı ses düşük seviyededir ve gürültü kirliliği yaratmaz.

Geçici yapılar için imal edilen helisel kazıklar imal edildikleri yerden çıkartılıp daha sonra tekrar kullanılabilir.

Projesinde belirtilen yerden yanlışlıkla başka bir noktada imal edilen helisel kazıklar çıkartılıp, projesine uygun yerde tekrar imal edilebilir. Helisel kazık ziyatı olmaz.

Yeraltı suyunun olduğu bölgelerde herhangi bir kılıf kullanılmadan rahatlıkla imal edilebilir.

Her türlü hava koşullarında imal edilebilir. Aşırı yağış, sıcak veya soğuk hava helisel kazık imalatını etkilemez.

Genellikle diğer kazık tiplerine göre imalatı daha hızlıdır. Örneğin, yaklaşık 3 metre uzunluğundaki 10 adet helisel kazık birkaç saatte imal edilebilir.

Nispeten daha küçük ekipmanlarla ulaşılması zor yerlerde imalat yapılabilir.

İmalattan sonra enjeksiyon yapılarak kazık dayanımı arttırılabilir.

Galvaniz kaplama yapıldığında korozyona karşı direnç gösterir.

Herhangi bir bakım ve kalıp maliyeti yoktur.

Hassas özelliklere sahip arazi şartlarında örselenmeyi asgariye indirir.

İmalat edileceği sahaya rahat bir şekilde taşınabilir, hem bu yüzden hem de imalat sırasında herhangi bir hafriyat olmayacağı için ulaşım masraflarını önemli derecede düşürür.

Hem basınç hem de çekme kuvvetlerine karşı koyabilir.

Birçok farklı temel sistemi tipiyle birlikte uyumlu çalışabilir.

İmal edilirken kazık imalat makinesinde oluşan tork değeri ile kazık taşıma gücü arasında korelasyon kurulabilir. Beklenenden düşük tork değerlerin ortaya çıkması durumunda, projede revizyona gidilerek istenmeyen durumlardan kaçınılabilir.

Helisel kazıklar çelik olduğundan ötürü sismik aktiviteler esnasında sığ temel sistemleri ve betonarme derin temellere nazaran daha esnek bir davranış gösterirler.

2.5 Helisel Kazık Terminolojisi

Bir veya daha fazla helis şeklindeki plakanın merkezdeki şafta bağlı olduğu ve yapıları desteklemek için zeminin içinde döndürülerek ilerletilen çelik temele helisel kazık denir tanımlaması 2005 yılında The Deep Foundation Institute tarafından yapılmıştır. Helisel kazıklara has terimleri aşağıda belirtilen şekilde tanımlayabiliriz.

Helisel kazıklar genellikle basınç kuvvetlerine karşı koyan sistemler için kullanılan bir adlandırmadır. Eğer sistem çekme kuvvetlerine karşı geliyorsa helisel kazık yerine helisel ankraj isimlendirmesi daha doğru olacaktır.

Efektif döndürme dayanımı helisel kazık imalatı sırasında oluşan nihai geoteknik kapasiteyi belirlemek için kullanılan bir terimdir.

Uç bölgesi bir merkez şafttan oluşan ve bir veya birden fazla helisel taşıma plakasının bu şafta bağlı olduğu bölgedir. Helisel kazığın zeminle temas eden ilk bölgesi uç bölgesidir. Uzatma bölgesi yardımı ile uç bölgesi istenilen derinliğe kadar indirilebilir.

Helisel taşıma plakası ise genellikle dairesel olan helis şeklinde bir çelik plakadır. Helisel kazık döndürülerek zemine doğru itilirken helisel taşıma plakası uzun eksen boyunca zemini yana doğru iterek helisel kazığın zemin içerisinde daha rahat hareket etmesini sağlar. Bunun dışında helisel taşıma plakası kazığa etkiyen aksenal yükü zemine aktarır.

Uzatma bölgesi sadece şafttan meydana gelen ve helisel taşıma plakası içermeyen bölgedir. Direkt olarak uç bölgesinin üst kısmı ile birleştirilir. Uzatma bölgeleri, uç bölgesini istenilen derinliğe ulaştırmak için kullanılır.

Şaft ise hem uzatma hem de uç bölgesinde bulunur. Uzatma bölgesindeki şaft yükü doğrudan zemine aktarırken, uç bölgesindeki şaft gelen yükleri zemine ve helisel taşıma plakasına aktarır.

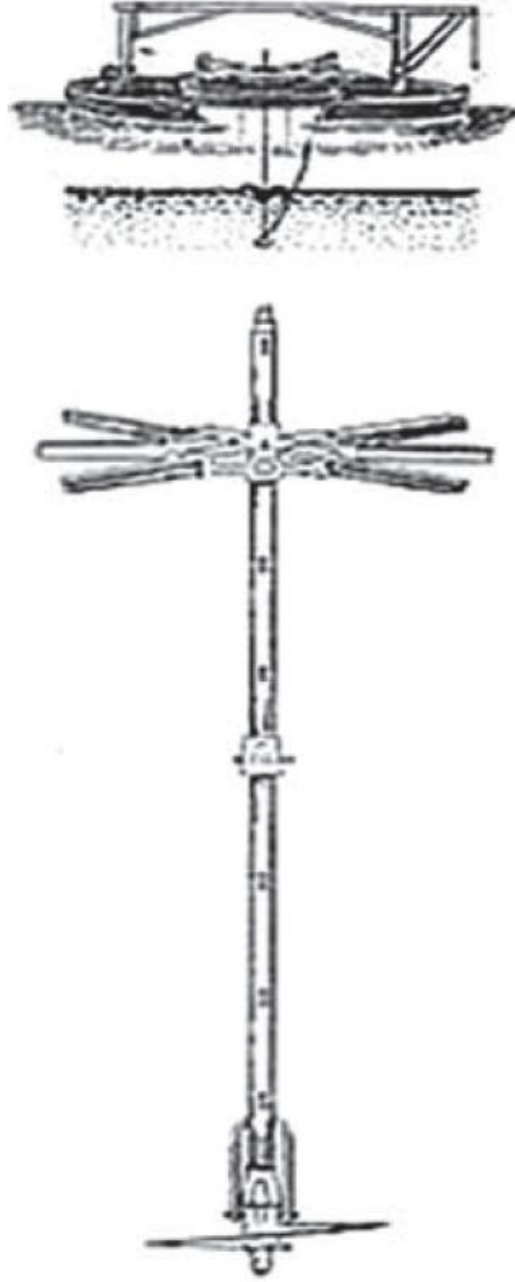
2.6 Helisel Kazığın Tarihçesi

Tarihte kayda geçen ilk helisel kazık kullanımı 1836'da olmuştur. Tuğla imalatçısı ve daha sonra inşaat mühendisi olan görme engelli Alexander Mitchell helisel kazığı icat etmiştir. Mitchell helisel kazığı icat etmeden önce zayıf zemine oturan deniz yapıları için daha iyi bir temel sistemi nasıl olabilir sorusuna cevap aramıştır. Mitchell 52 yaşına geldiğinde bu sorunun cevabı olarak helisel kazığı imal etmiştir. Helisel kazıklar ilk olarak iskelelerdeki baba yapılarında kullanılmıştır. 19. yüzyılda helisel kazıkları zemine yerleştirecek tork makineleri olmadığı için bu iş insan veya hayvan gücü ile yapılmıştır. Helisel kazığın üst kısmına geçirilen çıkırık vasıtası ile insanlar veya hayvanlar tarafından döndürülerek zemine içinde ilerletilmiştir. Alexander Mitchell'ın icat ettiği helisel kazık Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Mitchell 1838 yılında icat ettiği helisel kazığı Thames Nehri kıyısındaki Maplin Sands Deniz Feneri'nin temellerinde kullanmıştır. Kullandığı helisel kazıkların helisel plakası 1.2 metre çapında, helisel kazık şaftının çapı ise 127 mm'dir. Maplin Sands Deniz Feneri'ne ait kesit Şekil 2.4'te verilmiştir.

1853 yılına gelindiğinde Eugenious Birch, Mitchell'ın helisel kazık teknolojisini İngiltere sahillerindeki iskele ayaklarını desteklemek için kullanmıştır. 1872 yılına kadar 18 tane iskele yapısı, helisel kazıklar üzerine inşa edilmiştir. 19. Yüzyılın sonuna kadar İngiliz İmparatorluğu'nun hüküm sürdüğü birçok bölgedeki köprü, iskele ve deniz feneri gibi yapıların temel sisteminde helisel kazık kullanılmıştır.

Çıkırık kullanılarak iskele yapısı temelindeki helisel kazık imalatı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Çıkırık ve halatlı helisel kazık imalatı da Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



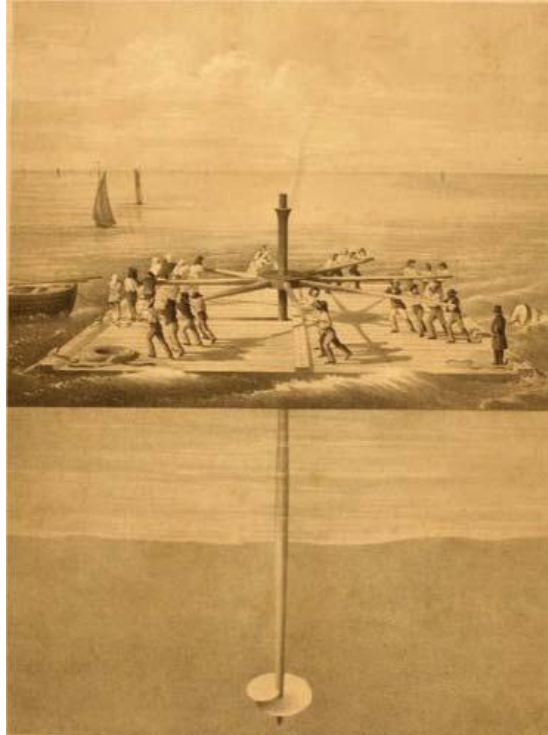
Şekil 2.3 : Alexander Mitchell'in icat ettiği helisel kazık 1836 (Lutenegger, 2011).

Benzer bir şekilde Amerika Birleşik Devletleri'nde de 19. yüzyılın ikinci yarısında, sayısı yüzü aşkın deniz fenerinin temelinde helisel kazık kullanılmıştır. Bu deniz fenerleri ABD'nin doğu kıyısı boyunca uzanmaktadır. Özellikle kuzeydoğuda yer alan helisel kazıklı temeller buz akıntılarının oluşturduğu yatay kuvvetlere karşı keson ve kuyu temellere göre daha büyük bir direnç göstermiştir.

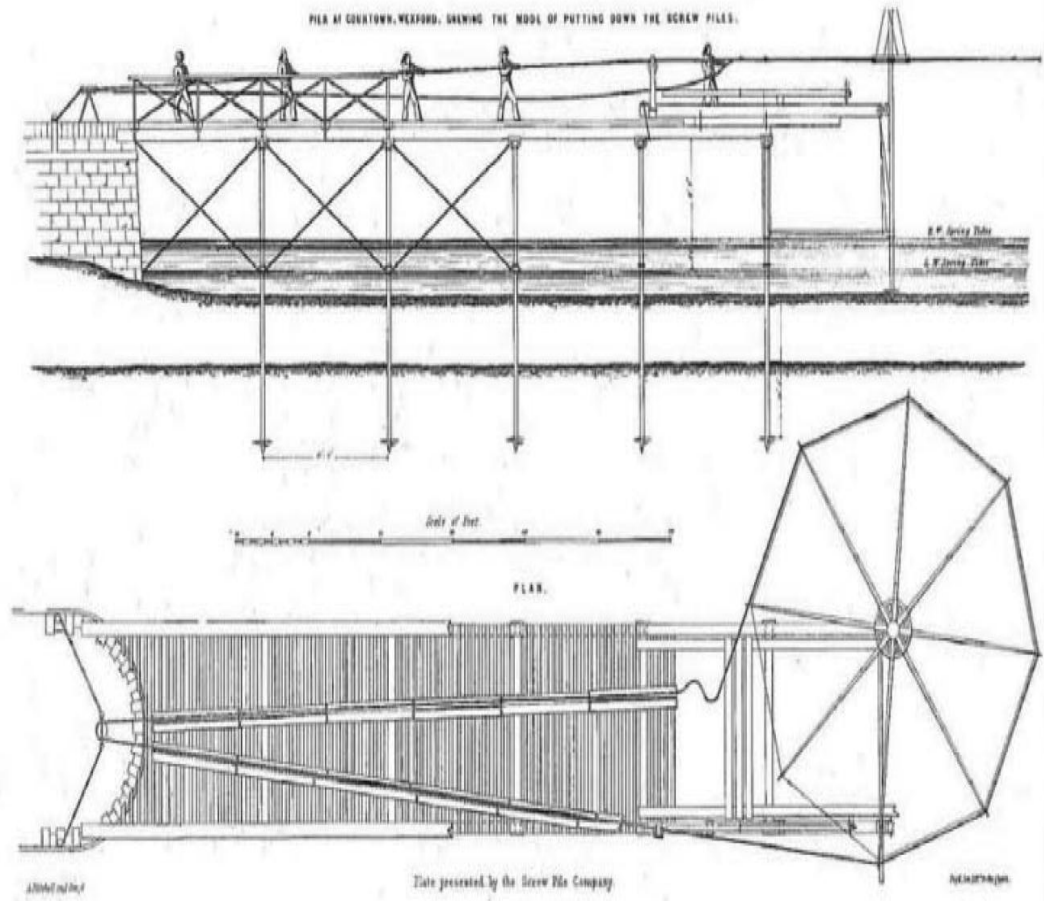
Alexander Mitchell'in icat ettiği helisel kazık dışında 160'tan fazla farklı tipte ve boyutlarda helisel kazık geliştirilerek patenti alınmıştır.



şekil 2.4 : Maplin Sands Deniz Feneri'ne ait kesit (Lutenegger, 2011).



şekil 2.5 : İskele temelindeki helisel kazık imalatı (Lutenegger, 2011).

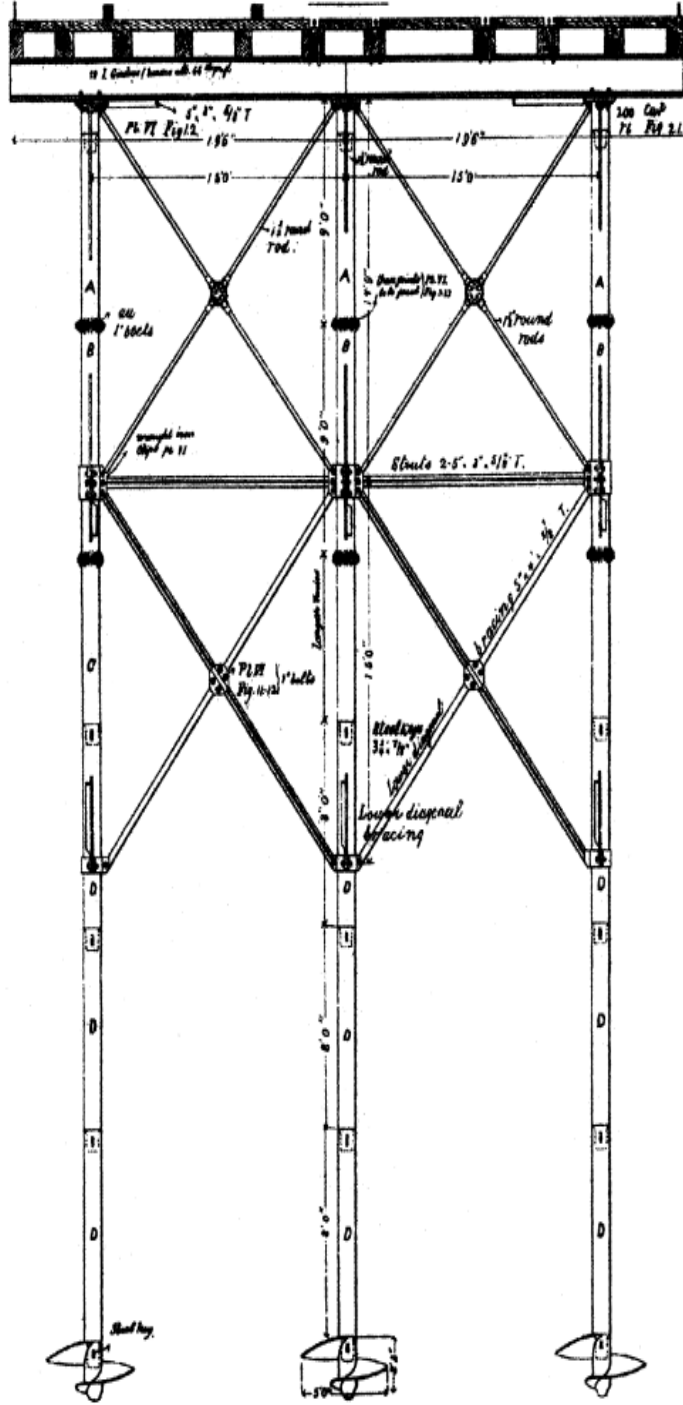


Şekil 2.6 : Çıkırık ve halatlı sistemle helisel kazık imalatı (Lutenegger, 2011).

Japonya’da ise helisel kazıklar İngiliz mühendisler tarafından ilk defa 1870 yılında kullanılmıştır. Osaka’daki Koraibashi Köprüsü’nün ayaklarının temellerinde helisel plaka çapı 152 cm olan ikili çelik helisel kazıklar kullanılmıştır. Daha sonra 20. yüzyılın başına kadar birçok deniz feneri, iskele ve köprü temellerinde helisel kazıklar kullanılmıştır. 1875 yılında inşa edilen Haneda Deniz Feneri, Japonya’da helisel kazık kullanılarak inşa edilen ilk deniz feneridir. Helisel kazıkların Japonya’da iskele yapılarında kullanımı ilk defa 1894 yılında olmuştur. Yokohama Limanı’nın büyük iskelesinin temellerinde çelik helisel kazıklar kullanılmıştır. Yokohama Büyük İskelesi’ne ait kesit Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

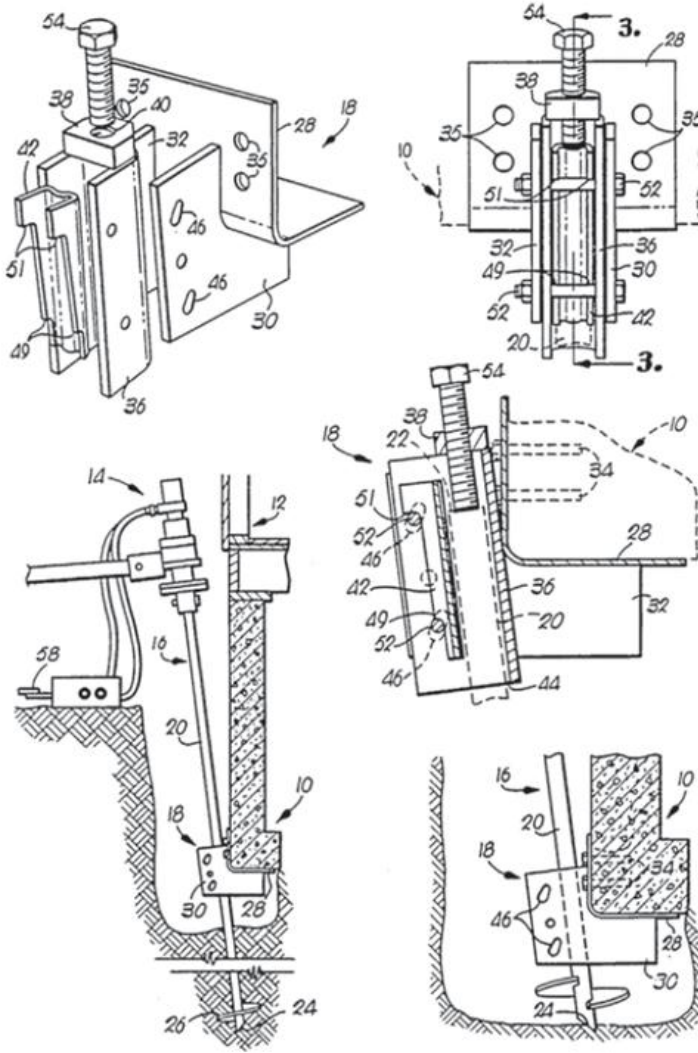
20. yüzyılın ilk yarısında helisel kazıklı temel sistemleri durma noktasına gelmiştir. Bunu sebebi mekanik çakma kazık ve foraj teknolojinde meydana gelen büyük gelişmeler ile yüksek kapasiteleri kazıklara gereksinim duyulmasıdır.

Ancak hidrolik tork motorlarının geliştirilmesi, üretim tekniklerindeki ilerlemeler ve yeni galvaniz kaplama yöntemleri ile beraber 1980 yılından itibaren modern helisel kazıklar ABD’de tekrar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.



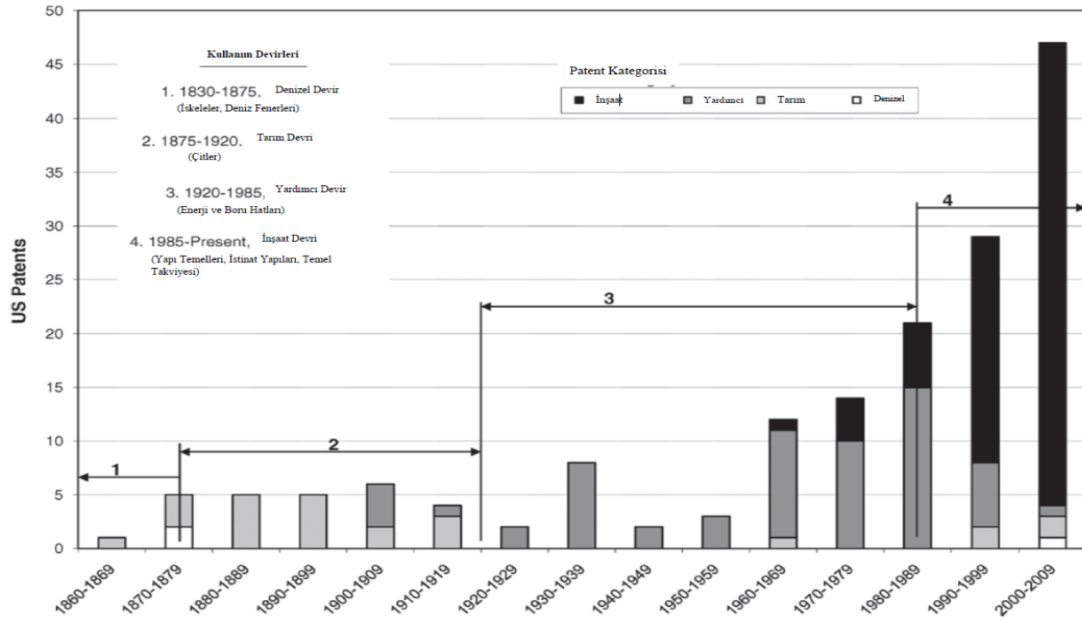
Şekil 2.7 : Yokohama Limanı büyük iskele (Isahaya ve Kida, 2000).

1991 yılına gelindiğinde helisel kazıklar ilk defa mevcut yapıların temellerini takviye etmek için kullanılmıştır. A.B. Chance adlı şirketin geliştirdiği bu yöntemde çelik bir askı mevcut temel yapısına mesnetlenmekte, daha sonra bu askı yapısının içinden geçen helisel kazık imalatı eğimli bir şekilde yapılmaktadır. Bu yöntem Hamilton Temel Takviyesi Yöntemi olarak anılmaktadır. Bu yöntemin adımları Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



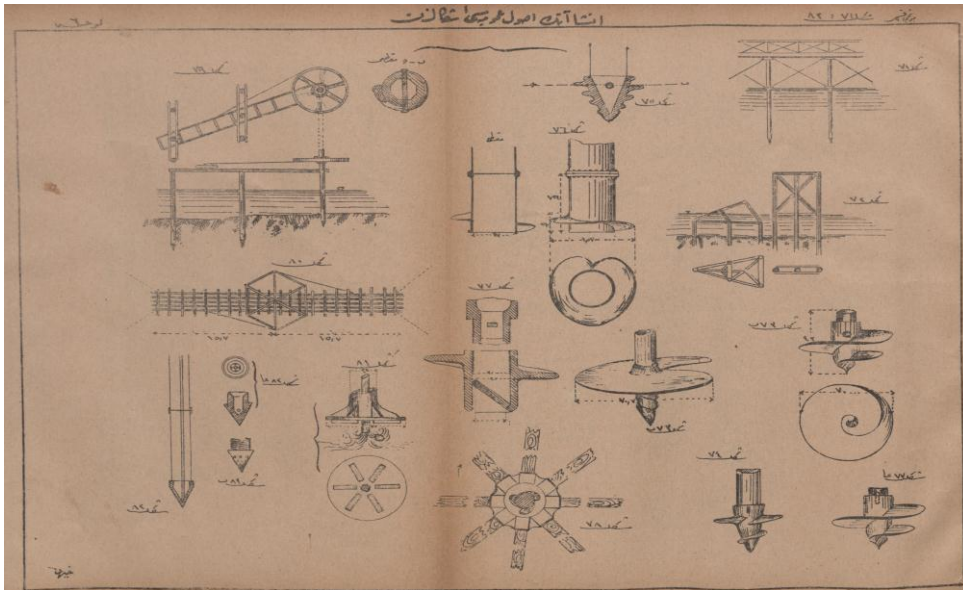
Şekil 2.8 : Hamilton Temel Takviyesi Yöntemi (A.B. Chance,1993).

Bölüm 2.6’da anlatıldığı gibi 19. yüzyılın 2. çeyreğinden günümüze, helisel kazıklar hakkında birçok çalışma yapılmıştır ve birçok farklı patent alınmıştır. Alınan bu patentler 4 kategoriye veya 4 tarihsel devire ayırabilir (Perko, 2009). İlk devir helisel kazıkların deniz yapılarının temellerinde kullanıldığı denizel evredir. İkinci devir helisel kazıkların tarım ve botanikte çit ve çerçeve oluşturmak amacı ile kullanıldığı tarım devridir. Üçüncü devir özellikle 20. yüzyılın ikinci ve üçüncü çeyreğinde boru ve enerji hatları gibi altyapı sistemlerinde helisel kazıkların kullanıldığı yardımcı devirdir. Dördüncü ve son devir ise 20. yüzyılın dördüncü çeyreğinden günümüze kadar olan evredir. Bu devirde helisel kazıklar yapı temellerinde, istinat yapılarında, yapı temellerinin takviyesinde kullanılmaktadır. Kullanım alanlarından da anlaşılacağı üzere bu devrin adı inşaat devridir. Bu devirler Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Helisel kazık kullanım devirleri (Perko,2009).

Helisel kazıklar ile ülkemizde yapılan ilk çalışma 20. yüzyılın başlarına, Osmanlı İmparatorluğu dönemine dayanmaktadır. Demir helisel kazıklar ile ilgili ilk bilgilere Feyzi (1903) tarafından Osmanlıca yazılan İnşaatın Genel Usulleri kitabında rastlıyoruz. Bu kitaptaki helisel kazıklar ile ilgili teknik çizimler Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Burgu kazıkların ilk defa İngiliz Mühendis Mitchelle tarafından 1834 senesinde deniz feneri temelinde kullandığı ve daha sonra Avrupa'nın birçok şehrinde uygulandığı da bu eserde belirtilmektedir.

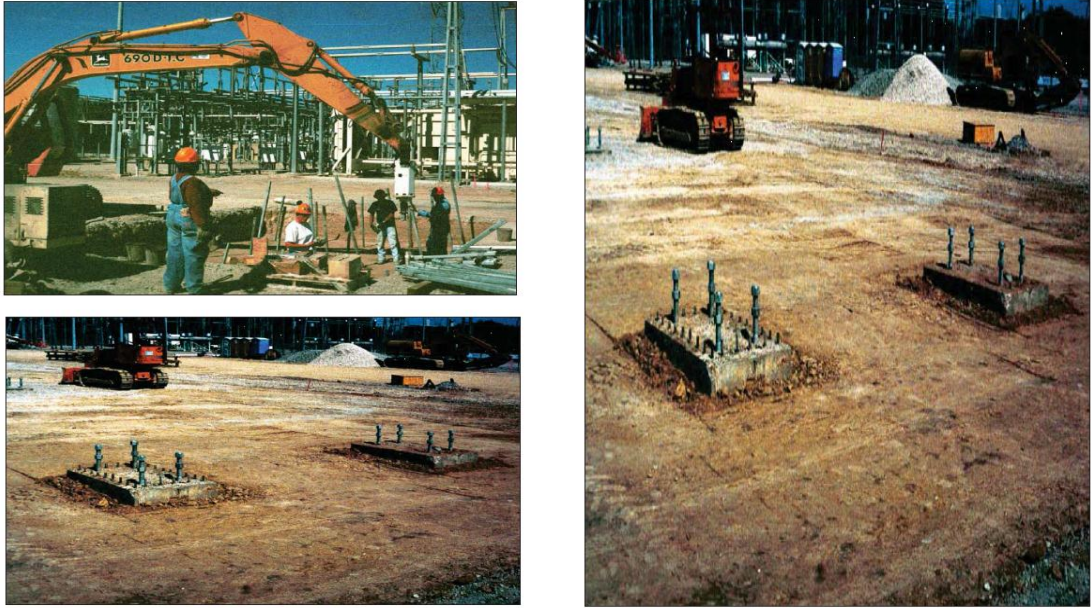


Şekil 2.10 : İnşaatın Genel Usulleri helisel kazık teknik çizimleri (Feyzi, 1903).

2.7 Helisel Kazıkların Günümüzdeki Kullanım Alanları

Helisel kazıklar günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Helisel kazıklar basınç, çekme ve yatay kuvvetlere karşı direnç gösterdiği için kullanım alanları çok çeşitlidir.

Helisel kazıklar elektrik dağıtım yapılarının temellerinde de kullanılmaktadır. Şekil 2.11’de elektrik dağıtım kulelerinin temellerinde helisel kazık sistemi görülebilirken, Şekil 2.12’de ise elektrik kulelerinin gergi kablolarını zemine sabitlemek için kullanılan helisel kazıklar gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Temellerinde helisel kazık kullanılan bir elektrik dağıtım kulesi.



Şekil 2.12 : Gergi kablolarını zemine sabitlemek için kullanılan helisel kazıklar.

Şev üzerinde yapılacak yapıların temellerinde de helisel kazıklar akılcı bir çözüm olmaktadır. Şekil 2.13'te gösterilen dağ evine ek bir yapı yapılmak istenmektedir ve bu yapının temelleri şevin üzerine gelmektedir. Helisel kazık çözümü ile bu sorun kolayca aşılmıştır.



Şekil 2.13 : Şev üzerinde imal edilen helisel kazıklı temel.

Soğuk havalarda donma ihtimali olan ve donmaya bağlı olarak şişebilecek zeminlere oturan yapıların temellerinde de helisel kazıklar kullanılmaktadır. Helisel kazıklar bu tip zeminler ve bu tip zeminlerde oluşacak donma riskinin yaratacağı sorunlara karşı akılcı bir çözümdür. Şekil 2.14'te donmuş bir zemin üzerine oturan ayağın temellerinde helisel kazık kullanımı görülmektedir.

Islak ya da bataklık alanlarda yapılacak olan hafif yapıların ayaklarında veya temellerinde de helisel kazıklar kullanılabilir. Şekil 2.15'te görüleceği üzere ıslak zemin üzerinde bulunan yürüyüş yolunun temellerinde helisel kazıklar kullanılmıştır.

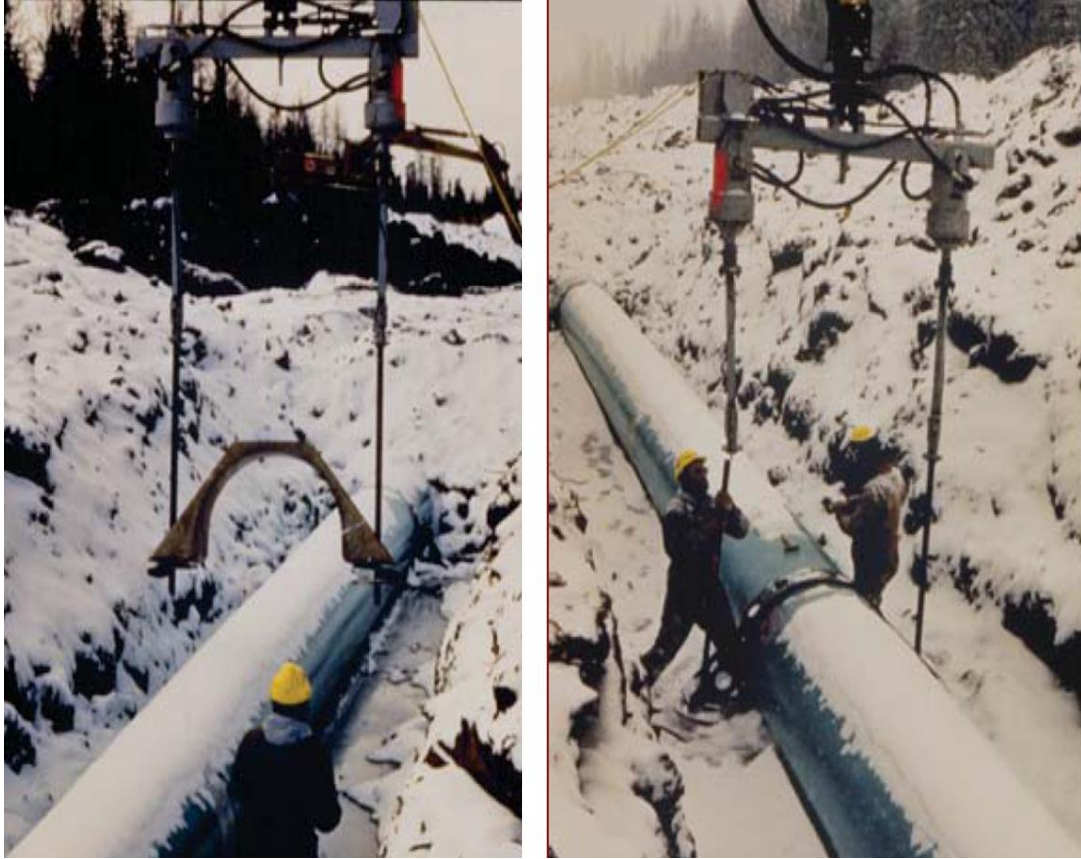


Şekil 2.14 : Temelleri donmuş zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması.



Şekil 2.15 : Temelleri ıslak zemin üzerinde bulunan yapıda helisel kazık uygulaması.

Toprağa gömülü boru hatlarının yeraltı suyu varlığından ötürü yüzmesine karşı veya zeminin donmasından ötürü meydana gelecek şişmeye karşı, ağırlığı 2 tona varan beton bloklar kullanılmaktadır. Bu beton blokların imal edilerek yerlerine yerleştirilmesi vakit ve nakit kayıplarına neden olmaktadır. Helisel ankrajlar bu beton ağırlıklar yerine rahatlıkla kullanılabilir. Boru hattına geçirilecek kelepçeye bağlı olan bu helisel ankrajlar zemine ankre edilerek boru hatlarındaki yüzme tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. Boru hatlarındaki helisel ankraj uygulaması Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Boru hatlarında helisel ankrajla yüzmeye karşı önlem alınması.

Helisel kazıkların bir diğer kullanım alanı ise yapı temellerinin takviyesidir. Hasar görmüş veya ileride hasar görme riski olan yapıların temelleri helisel kazıklar ile takviye edilebilir. Tarihi olan yapıların temelleri de helisel kazıklar kullanılarak takviye edilebilir. Helisel kazıklar kullanılarak yapılan temel takviyeleri ilerideki bölümlerde detaylı bir şekilde işlenecektir. Helisel kazıklar ile yapılan temel takviyesine örnek bir yapı kesiti Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17 : Helisel kazıklarla yapılan temel takviyesi.

Helisel kazıklar toplu bir şekilde, kazık grupları halinde kullanılarak çok katlı yapılar için derin temel sistemleri oluşturabilir. Hem az katlı, hem de çok katlı yüksek binalar için kullanılabilen helisel kazıklı temel sistemi Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 : Helisel kazık grubuyla oluşturulmuş derin temel sistemi (DFI, 2013).

Helisel kazıklar kazı destekleme sistemlerinde de kullanılmaktadır. Kazı destek sistemlerinde helisel kazıklar çekme kuvvetlerine karşı koyduğu için helisel ankraj demek daha doğru olacaktır. Helisel ankrajlar fore kazıklı, palplanşlı ya da

püskürtme betonlu kazı destek sistemleri ile birlikte kullanılabilir. Helisel ankrajlara öngerme uygulanabileceği gibi öngerme uygulamadan da helisel ankrajlar kullanılabilir. Helisel ankrajların kazı destek sistemi olarak kullanımı ile ilgili ayrıntılı bilgiler tezin ilerideki bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Palplanşlı ve helisel ankrajlı iksa sistemi örneği Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19 : Palplanş ve helisel ankrajdan oluşan kazı destek sistemi.

Rüzgâr türbinleri gibi tekrarlı yüklere maruz kalan yapıların temellerinde de helisel kazıklar kullanılabilir. Bu tip yapılarda eksantriste de oluşacağı için temelin bir noktasında negatif basınçlar oluşabilir yani temel yukarıya doğru hareket edebilir. Helisel kazıklar bu yukarı yönlü hareketi engelleyerek temelin stabilitesini sağlar. Temel sisteminde helisel kazık kullanılan bir rüzgâr türbini Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 : Helisel kazıklı rüzgâr türbini temeli (Bump ve Laney, 2012).

3. HELİSEL KAZIKLARDA TAŞIMA GÜCÜ

3.1 Giriş

Helisel kazıkların taşıma gücünün belirlenmesinde birden fazla hesap yöntemi vardır. Bu yöntemler hem zemin mekaniğini temel alan teorik formüller hem de arazi yapılan deneylerine dayanan korelasyonlardır. Bu bölümde helisel kazıkların taşıma gücünün nasıl hesaplanacağı ve hesap yöntemleri tariflenecektir. Öncelikle helis aralığı, ayrık taşıma gücü yöntemi ve silindirik kayma yöntemi anlatılacaktır. Daha sonra geoteknik mühendisliğinde yaygın bir yöntem olan limit durum analizi kullanılarak helisel kazıkların nihai taşıma kapasitesinin belirlenmesi anlatılacaktır. Limit durum analizi dışında Laboratoire Central des Ponts et Chaussees (LCPC) yöntemi de anlatılacaktır. Son olarak imalat sırasındaki tork değerinden taşıma kapasitesinin belirlenmesi de anlatılacaktır. Nihai taşıma kapasitesi belirlendikten sonra izin verilebilir taşıma kapasitesini hesaplamak için güvenlik sayısı 2 ile 3 arasında alınabilir. Birçok proje mühendisi ve araştırmacı bu güvenlik sayısını 2 almaktadır.

Kazığın zemin içinde burkulması ve sürüklenmesi de bu bölüm içinde anlatılacaktır. Yumuşak veya gevşek zeminde imal edilen helisel kazıkların eksenal yükler altında yatay yönde stabilitesini kaybetmesine burkulma denir. Kazığın etrafındaki zeminin konsolide olarak kazık çeperinde negatif çevre sürtünmesi oluşturarak kazığı aşağıya çekmesine de sürüklenme denir. Bu iki faktör de helisel kazığın taşıma gücünü etkilemektedir.

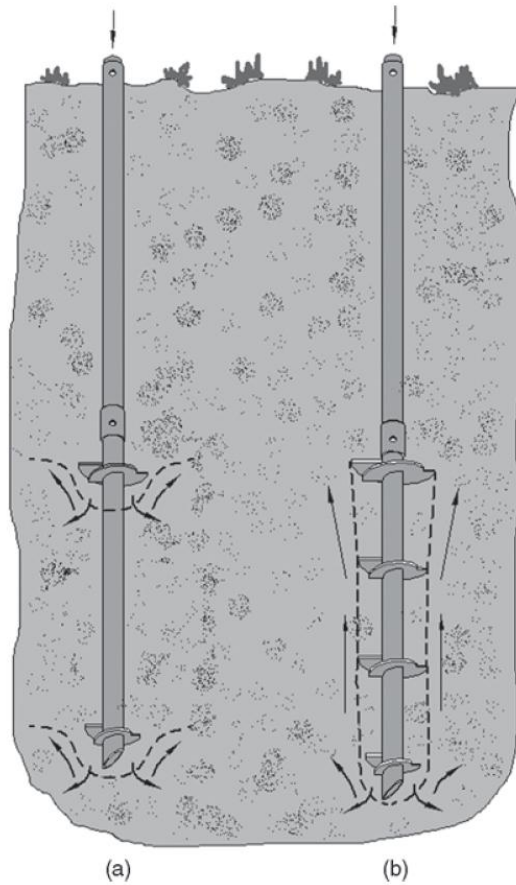
Bu bölümde tariflenecek helisel kazık taşıma gücü belirleme yöntemlerinde değişken olarak helisel kazığın şaft ve helisel plakası gibi geometrik özellikleri ve kazığın imal edildiği zeminin özelliklerinin yanı sıra kazık imalatı sırasındaki tork hızının kazık taşıma kapasitesini etkisi de değerlendirilecektir.

Üçüncü bölümde son olarak farklı boyutlardaki helisel kazıkların, farklı zemin tiplerinde ve farklı zemin özelliklerindeki nihai taşıma gücü değerleri hesaplanıp, taşıma gücünü etkileyen faktörler değerlendirilecektir.

3.2 Helis Aralığı

Helisel kazıkların taşıma gücünü belirlemek için zemin mekaniğini temel alan iki yöntem vardır. Bu yöntemler ayrık taşıma gücü yöntemi ve silindirik kayma yöntemidir. Şekil 3.1a'da gösterildiği gibi helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe yeterince büyükse her plaka birbirinden bağımsız bir şekilde çalışır. Bu durumda plakaların toplam taşıma kapasitesi, tüm helisel plakaların taşıma güçlerinin toplamına eşittir. İşte bu yönetime ayrık taşıma gücü yöntemi denir.

Eğer helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe Şekil 3.1b'de gösterildiği gibi yeterince küçükse helisel taşıma plakaları bir grup gibi davranır. Bu durumda helisel plakaların toplam taşıma kapasitesi, çapı en alttaki helisel plakanın çapı, yüksekliği de helisel taşıma plakaları arasındaki toplam mesafe olan silindirin çeper sürtünmesi değerine eşittir. Bu yönetime de silindirik kayma yöntemi denir.



Şekil 3.1 : Helisel kazık yenilme tipleri (Perko, 2009).

Ayrık taşıma gücü yöntemi ile silindirik taşıma gücü yöntemi arasındaki geçiş durumu olan helisel plaka aralığını belirlemek için birkaç çalışma yapılmıştır (Rao ve diğ, 1991, 1993a; Bassett, 1978). Bu çalışmalarda laboratuvar ortamında modellenen

helisel kazıklar üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan helisel kazık modellerinde helisel plaka aralığının helisel plaka çapına oranı 1 ile 5 arasında değişmektedir.

Helis aralığının silindirik kayma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Rao ve diğerlerine göre (1991, 1993a) helisel plaka aralığının helisel plaka çapına oranı 1.5 olduğunda ayırık yenilme tipi görülmüştür.

Bassett (1978) ise ayırık taşıma gücünden silindirik taşıma gücüne geçişteki helisel plaka aralığının helisel plak çapına oranını 2.1 ile 3.4 arasında önermiştir.

Bu iki çalışma arasındaki fark, muhtemelen kurulan modelin ölçeğine ve örselenen zeminin kıvamına ve sürekliliğine bağlıdır (Perko, 2009).

Yapılan çalışmalarda ayırık taşıma gücü ve silindirik taşıma gücü yöntemlerinden elde edilen ideal helis aralığı birbirine eşittir. Helisel taşıma plakaları arasındaki mesafeyi arttırmak gereğinden fazla shaft uzunluğu sebep olacaktır. Helisel taşıma plakaları arasındaki mesafeyi azaltmak ise gereğinden fazla helisel taşıma plakası kullanılmasına sebep olacaktır. Bu yüzden helisel kazığın imal edileceği zemin tipi ve zeminin mukavemet özellikleri göz önünde bulundurularak en uygun helis çapı ve helis aralığı seçilmelidir.

Narasimha Rao'nun yaptığı 152 mm helis çapına sahip helisel kazık deneylerine göre, silindirik kayma değeri helisel plaka yarıçapıyla doğru orantılı bir şekilde artmaktadır.

Ayırık taşıma gücü ise helisel plaka sayısının karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu çalışmalara göre helis aralığının helis çapına oranının optimum değeri helisel kazık çapı büyüdükçe artmaktadır.

Örneğin shaft çapı 38 mm ile 89 mm arasında değişen bir helisel kazığın optimum helis aralığı helis çapının 2 katı ile 3 katı arasında olmaktadır (Seider, 2004).

3.3 Ayırık Taşıma Gücü Yöntemi

Ayırık taşıma gücü yöntemindeki yenilme mekanizmasına göre her bir helisel taşıma plakası bulunduğu derinlikte zemin veya kaya içinde karakteristik taşıma kapasitesine ulaşmış deplase olmaktadır. Şekil 3.2'deki serbest cisim diyagramında, helisel kazığın ayırık taşıma gücü yöntemindeki kuvvetlerin dağılımı gösterilmiştir.

Bu diyagrama göre her bir helisel kazığın altındaki gerilmelerin düzgün yayılı olduğu kabul edilmiştir. Çeper sürtünmesi ise kazığın zemin içinde kalan en üst bölgesiyle

en yukarıdaki helisel plaka arasındaki mesafe boyunca devam etmektedir. Kazığın nihai taşıma kapasitesi P_u değeri her bir helisel taşıma plakasının taşıma kapasitelerinin toplamı ve kazığın zemin içinde kalan en üst bölgesiyle en yukarıdaki helisel plaka arasındaki mesafe boyunca oluşan çeper sürtünmesi değerinin toplamıdır. Denklem 3.1’de n tane helisel taşıma plakasına sahip helisel kazığın ayırık taşıma gücü yöntemine göre taşıma gücünün hesaplanması gösterilmiştir.

$$P_u = \sum_{n=1}^n q_{ult} A_n + \alpha H(\pi d) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’deki terimlerin açıklamaları şu şekildedir;

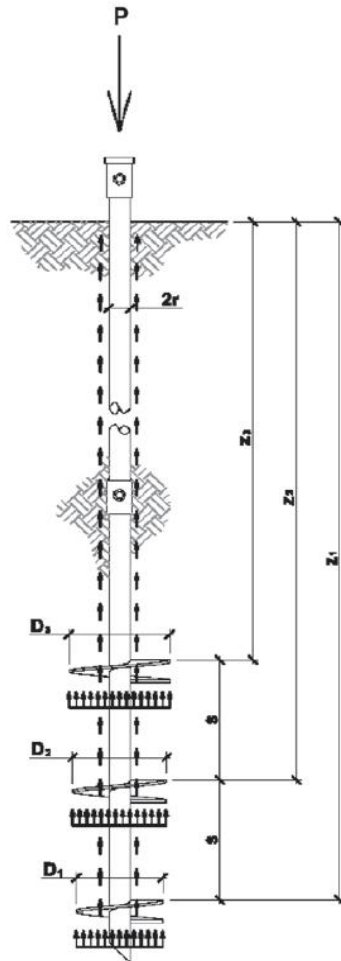
q_{ult} : Nihai taban basıncı

A_n : n. helisel taşıma plakasının kesit alanı

α : Zemin ve şaft arasındaki adezyon

H: Kazığın zemin içinde kalan en üst bölgesiyle en yukarıdaki helisel plaka arasındaki mesafe

d: Dairesel şaftın dış çapı



Şekil 3.2 : Normal basınç kuvveti altında ayırık taşıma gücü yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).

Dsf q_{ult} değeri dairesel ve yüzeysel temeller için denklem 3.2'ye göre hesaplanabilir (Terzaghi, 1943).

$$q_{ult} = 1.3cN_c + q'N_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'deki terimlerin açıklamaları şu şekildedir;

c: Kohezyon

q' : Temel derinliğindeki efektif gerilme

γ : Zemin birim hacim ağırlığı

B: Temel genişliği

N_c , N_q ve N_γ : Taşıma gücü katsayıları

Meyerhof (1951) denklem 3.2'ye şekil ve derinlik katsayılarını da ekleyerek taşıma gücü denklemini geliştirmiştir. Denklem 3.3, geliştirilmiş taşıma gücü denklemini göstermektedir.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + q'N_q s_q d_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'ün denklem 3.2'den farklı olan terimlerinin açıklamaları şu şekildedir;

s_c , s_q ve s_γ : Şekil katsayıları

d_c , d_q ve d_γ : Derinlik katsayıları

Meyerhof ayrıca taşıma gücü katsayılarını da geliştirmiştir. Denklem 3.4, 3.5 ve 3.6 Meyerhof'un geliştirdiği taşıma gücü katsayıları verilmiştir.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi / 2) \quad (3.4)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3.5)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4 \phi) \quad (3.6)$$

Meyerhof'un elde ettiği taşıma gücü katsayıları Terzaghi'nin elde ettiği taşıma gücü katsayılarından çok ufak bir farklı daha fazladır.

Terzaghi (1943) ve Meyerhof (1951) tarafından belirlenen taşıma gücü katsayıları Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Siyah çizgiler Terzaghi tarafından belirlenmiş katsayılar olup, gri çizgiler Meyerhof tarafından belirlenmiş katsayılardır.

Hansen (1970) ve Vesic (1973), Meyerhof (1951) tarafından bulunan şekil ve derinlik katsayıları yeniden tanımlamıştır. Denklem 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13'te yeniden tanımlanan şekil ve derinlik katsayıları verilmiştir.

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L} \quad (3.7)$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \quad (3.8)$$

$$s_\gamma = 1 - \frac{B}{L} 0.4 \quad (3.9)$$

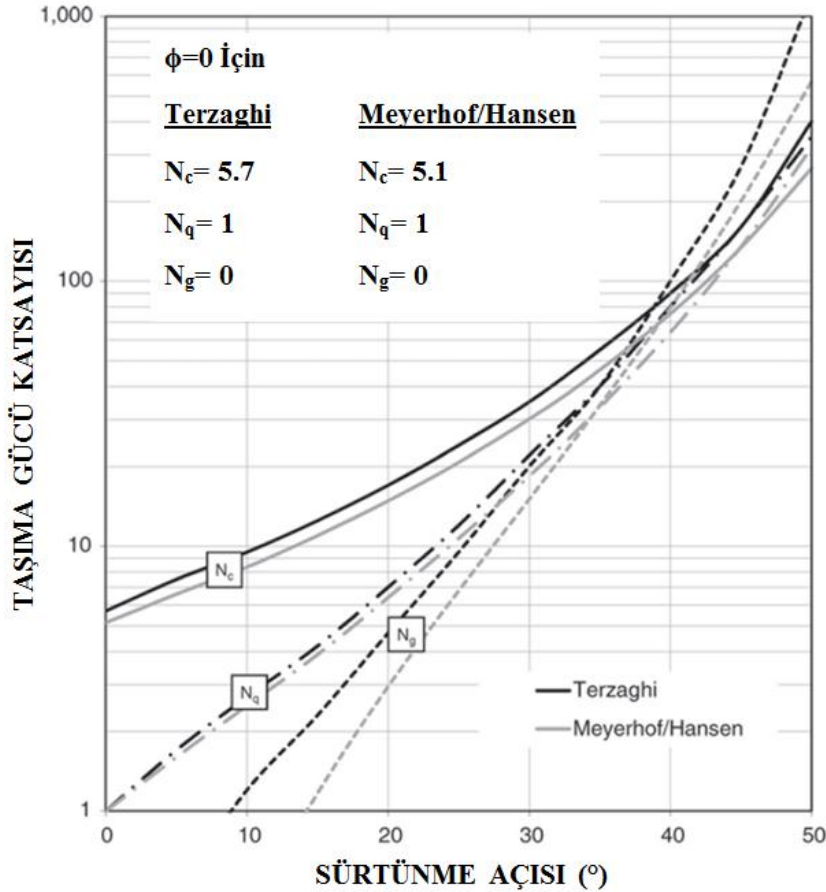
$$d_c = 1 + 0.4K \quad (3.10)$$

$$d_q = 1 + 2K \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad (3.11)$$

$$d_\gamma = 1 \quad (3.12)$$

$$K = \arctan\left(\frac{H}{B}\right) \quad (3.13)$$

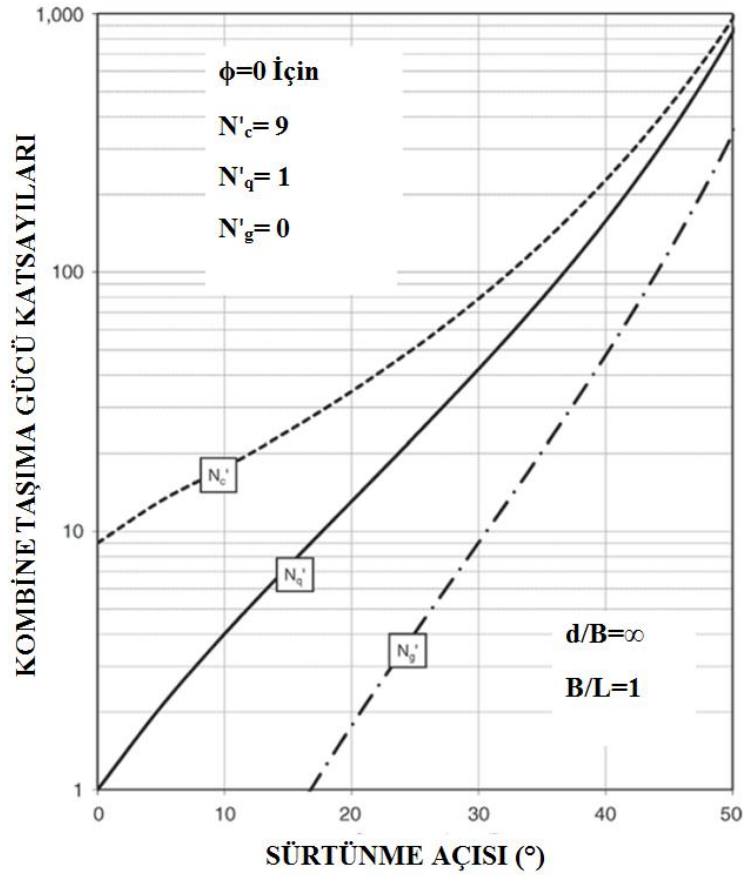
Temel uzunluğu L olarak ifade edilmiştir. K ise oran parametresidir. ϕ ise zeminin sürtünme açısıdır.



Şekil 3.3 : Taşıma gücü katsayıları (Terzaghi, 1943), (Meyerhof, 1951).

Helisel kazıklar için bazı basitleştirmeler yapılarak denklem 3.3 sadeleştirilebilir. Helisel kazıkta helis plakası dairesel olduğu için B ve L değerleri birbirine eşittir ve B/L değeri 1'dir. Ayrıca helisel taşıma plakalarının derinliği çaplarına oranla çok büyük olduğu için H/B oranı da çok büyüktür. H/B oranının çok büyük olmasından ötürü denklem 3.13'teki K değeri $\pi/2$ olarak kabul edilebilir. B/L oranı sabit olduğu için şekil ve derinlik katsayıları sadece zeminin sürtünme açısına bağlı hale gelmektedir. Bu yüzden şekil ve derinlik katsayıları, taşıma gücü katsayıları ile birlikte grup halinde yazılabilir. Bu durumda kombine edilmiş taşıma gücü katsayıları $N'_c = N_c s_c d_c$, $N'_q = N_q s_q d_q$, $N'_\gamma = N_\gamma s_\gamma d_\gamma$ şeklinde olmaktadır. Helisel kazıklar

için taşıma, şekil ve derinlik katsayıları kombine edilerek oluşturulmuş N'_c , N'_q ve N'_γ katsayıları Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Meyerhof, 1951; Hansen, 1970; Vesic, 1973).



Şekil 3.4 : Kombine edilmiş taşıma gücü, şekil ve derinlik katsayıları (Meyerhof, 1951; Hansen, 1970; Vesic, 1973).

Helisel kazığın ağırlığı hesaba katıldığında, helisel plaka üzerindeki q' zemin yükünün denklem 3.3'teki ikinci terimden çıkarılması gerekmektedir ve yine denklem 3.3'teki B temel genişliği yerine D helisel plaka çapı yazılırsa helisel plakalar için taşıma gücü denklemi olan denklem 3.14 yazılabilir.

$$q_{ult} = cN'_c + q'(N'_q - 1) + 0.5\gamma DN'_\gamma \quad (3.14)$$

Hansen (1970) ve Vesic (1973) denklemlerinde $\phi=0^\circ$ ince daneli zeminler için N'_c değerini 10 olarak göstermektedir. Skempton (1951) ise hem teorik hem de deneysel olarak derin temeller için N'_c değerini sabit bir değer olan 9 olarak göstermiştir. Birçok mühendis de $\phi=0^\circ$ durumunda Skempton'un N'_c değerini kullanmaktadır. Bu durumda denklem 3.14'teki ikinci ve üçüncü terimler sıfır olmaktadır. Çünkü şekil 3.4'e göre $N'_q=1$ ve $N'_\gamma=0$ olmaktadır. Helisel kazıklar için kohezyon değeri de drenajsız kayma mukavemet değeri olan c_u 'ya eşittir. Böylece ince daneli zeminler için helisel plaka taşıma kapasitesi denklem 3.15'teki gibi olmaktadır.

$$q_{ult} = 9c_u \quad (3.15)$$

İnce daneli zeminlerde ayırık taşıma gücü yöntemi kullanarak helisel kazık taşıma kapasitesini belirlemek için denklem 3.15'te bulunan değer veya değerler denklem 3.1'de kullanılabilir veya güvenli tarafta kalmak adına shaft boyunca oluşan adezyon ihmal edilerek denklem 3.1'deki ikinci terim sıfır olarak kabul edilebilir. Shaft adezyonu Bölüm 3.6'da tartışılacaktır.

İri daneli zeminlerde $c=0$ durumunda denklem 3.14'ün ilk terimi sıfır olmaktadır. Derin temeller için denklem 3.14'teki üçüncü terim çok küçük olduğu için bu terim de ihmal edilebilir. Böylece iri daneli zeminlerde helisel taşıma plakasının nihai taşıma gücü denklem 3.16'daki gibi olmaktadır.

$$q_{ult} = q' (N'_q - 1) \quad (3.16)$$

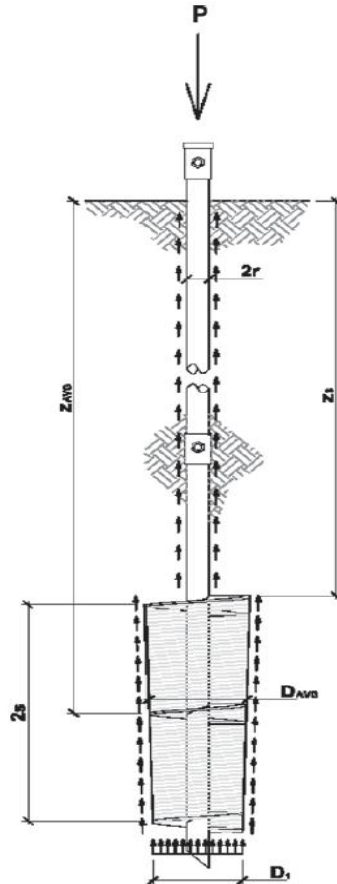
Denklem 3.16'ya göre q' derinlikle doğru orantılı olarak artmaktadır ve nihai taşıma kapasitesi de derinlikle birlikte doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu durum taşıma kapasitesinin gerçek değerinden fazla hesaplanmasına yol açmaktadır. Meyerhof (1951, 1976) derin temeller için belirli bir kritik derinlik önermiştir ve önerdiği bu değer pasif toprak basıncı karekökünün 4 ile 10 katı arasında değişmektedir. Perko (2009) ise iri daneli zeminlerde imal edilen helisel kazıklarda yapılan 54 adet yükleme deneyini referans alarak yapılan çalışmalarda, kritik derinliğin ortalama helis taşıma plakasının 2 katı kadar olduğunu belirtmiştir. Özet olarak iri daneli zeminlerdeki imal edilen helisel kazıkların helisel taşıma plakalarının nihai taşıma gücü, denklem 3.17'deki gibi ifade edilebilir. Denklem 3.17'deki D_{AVG} ortalama helisel taşıma plakası çapını belirtmektedir.

$$q_{ult} = 2 D_{AVG} \gamma (N'_q - 1) \quad (3.17)$$

İri daneli zeminlerde ayırık taşıma gücü yöntemi kullanarak helisel kazık taşıma kapasitesini belirlemek için denklem 3.17'de bulunan değer veya değerler denklem 3.1'de kullanılabilir veya güvenli tarafta kalmak adına shaft boyunca oluşan sürtünme ihmal edilerek denklem 3.1'deki ikinci terim sıfır olarak kabul edilebilir.

Helisel kazıklar ince ve iri daneli zeminler dışında bazı kayaç tiplerinde de uygulanabilir. Helisel kazıkların uygulanabildiği kayaç tipleri çok ayrılmış veya tamamen ayrılmış kayaçlar olduğu için denklem 3.15 ile kayaçlarda imal edilen helisel kazıkların nihai taşıma güçleri hesaplanabilir. Denklem 3.15'teki drenajsız kayma mukavemeti değeri yerine kayacın serbest basınç dayanımı değeri belirli bir güvenlik sayısına bölünerek kullanılabilir. Bu güvenlik sayısı 2 ile 3 arasında olabilir. Helisel kazıklar için bu güvenlik sayısı genelde 2 olarak kabul edilir.

Ayrık taşıma gücü değeri her zaman limit durum olmayabilir. Mooney (1985) birden fazla helisel taşıma plakası bulunan helisel kazıklarda silindirik yenilme modelinin kullanılmasını önermiştir. Silindirik kayma yönteminde helisel taşıma plakaları arasında kalan bütün zemin hacminin harekete geçtiği kabul edilir. Şekil 3.5'teki serbest cisim diyagramı silindirik kayma yönteminde helisel kazık üzerinde oluşan kuvvetleri göstermektedir. Helisel kazığın üstünden normal kuvvet uygulandığında, en altta yer alan helisel taşıma plakasının altında, düzgün yayılı bir gerilme dağılımı oluşmakta, helisel taşıma plakaları arasında kalan zemin kayma gerilmeleri tarafından çevrelenmektedir. En üstteki helisel taşıma plakasının üstünde kalan şaft bölgesinde de adezyon kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Silindirik kayma yöntemine göre helisel kazığın nihai taşıma gücü, silindirik bölgede oluşan kayma gerilmelerinin toplamı, şaft bölgesi boyunca oluşan adezyon kuvveti ve en alttaki helisel taşıma plakasının taşıma gücünün toplamına eşittir. Silindirik kayma yöntemi göre helisel kazığın taşıma gücünün hesaplanması denklem 3.18'de verilmiştir.



31

$$P_u = q_{ult}A_1 + T(n-1)s\pi D_{AVG} + \alpha H(\pi d) \quad (3.18)$$

A_1 en alttaki helisel taşıma plakasının alanı, T zeminin kayma mukavemeti, H en üstteki helisel taşıma plakasının üstünde kalan shaft bölgesinin yüksekliği, d kazık shaftının çapı ve $(n-1)s$ helisel taşıma plakaları arasında kalan zeminin boyudur, n helisel taşıma plakalarının sayısı, s ise helisel taşıma plakaları arasındaki mesafedir.

İnce daneli zeminlerde T , drenajsız kayma mukavemeti c_u 'ya eşittir. En alttaki helisel taşıma plakasının nihai taşıma gücü q_{ult} ise denklem 3.15 yardımı ile hesaplanabilir. Güvenli bir yaklaşımla da denklem 3.18'in üçüncü terimi yani shaft boyunca adezyon ihmal edilebilir.

İri daneli zeminlerde ise zeminin kayma mukavemetini belirlemek ince daneli zeminlere nazaran daha zordur. Bu zorluk ise σ'_n yani efektif çevre basıncının belirlenmesinin zorluğundan kaynaklanmaktadır. Örselenmiş bir zeminde z derinliğindeki efektif çevre basıncı denklem 3.19'daki gibidir.

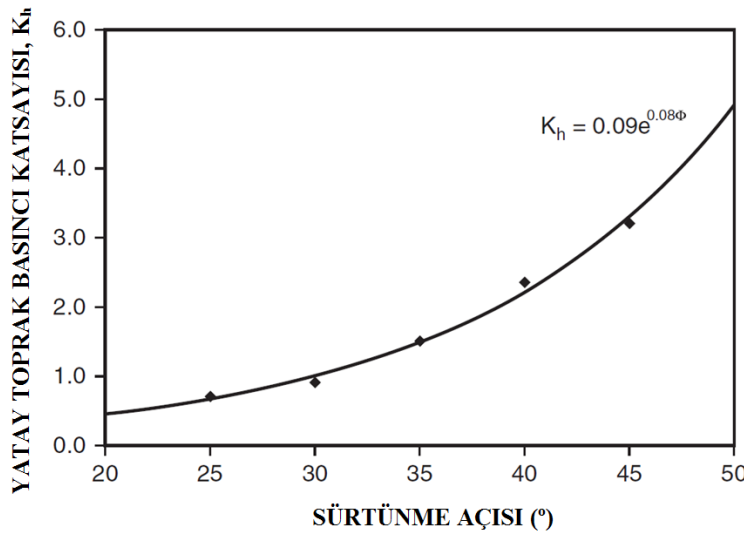
$$\sigma'_n = K_0 P'_o \quad (3.19)$$

K_0 sükûnetteki yatay toprak basıncı katsayısıdır. P'_o ise z derinliğindeki efektif zemin gerilmesidir. Efektif zemin gerilmesi denklem 3.20 yardımı ile hesaplanabilir.

$$P'_o = \gamma z - \gamma_w h_w \quad (3.20)$$

γ_w suyun birim hacim ağırlığı, γ zeminin birim hacim ağırlığı, h_w ise z derinliği üstünde kalan suyun yüksekliğidir.

Kum zeminde yapılan yükleme testlerinde, helisel taşıma plakaları arasındaki kayma gerilmelerini hesaplayıp, yatay toprak basıncı katsayılarını belirlemişlerdir. Bu katsayı değerleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Silindirik kayma yöntemi için yatay toprak basıncı katsayıları (Mitsch ve Clemence, 1985).

İdealize edilmiş şartlarda helisel kazığın imalatı sırasında zeminin asgari miktarda örselendiği kabul edilir. Ancak kazık imalatı sırasında zeminde meydana gelen yatay yer değiştirmeler komşu kazığın etrafındaki yatay gerilmelerde ani bir artış yaratır (Perko, 2009). Mitsch ve Clemence (1985) helisel kazık çevresindeki yatay gerilme büyüklüğünün zeminin başlangıçtaki rölatif sıkılığıyla orantılı olduğunu göstermiştir. Şekil 3.6'daki eğrinin matematiksel ifadesi denklem 3.21'de verilmiştir.

$$K_h = 0.09e^{0.08 \phi} \quad (3.21)$$

Denklem 3.20 ve denklem 3.21, denklem 3.19'da yerlerine konulursa iri daneli zeminler için kayma mukavemeti değeri denklem 3.22'deki gibi olur.

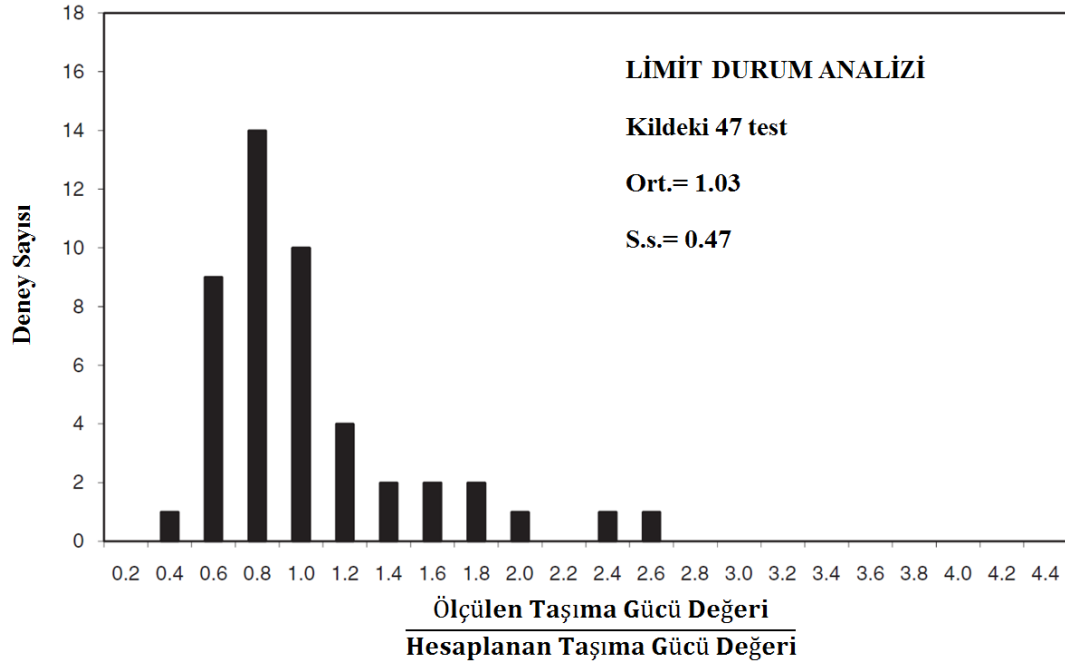
$$T = (0.09e^{0.08 \phi})(\gamma_z - \gamma_w h_w) \tan \phi \quad (3.22)$$

Denklem 3.22'deki kayma mukavemeti formülü denklem 3.18'de yerine konulursa iri daneli zeminlerde, silindirik kayma yöntemiyle helisel kazık nihai taşıma gücü denklemi elde edilir. q_{ult} ise iri daneli zeminler için denklem 3.17 yardımı ile hesaplanabilir. Güvenli tarafta kalınarak en üstteki helisel taşıma plakasının üstünde kalan shaft bölgesindeki adezyon değeri ihmal edilebilir. Bir başka deyişle denklem 3.18'deki üçüncü terim sıfır kabul edilebilir. İzin verilebilir taşıma gücünü elde etmek için kullanılacak güvenlik sayısı da 2 ile 3 arasında olabilir. Helisel kazıklar için bu güvenlik sayısı genelde 2 olarak kabul edilir.

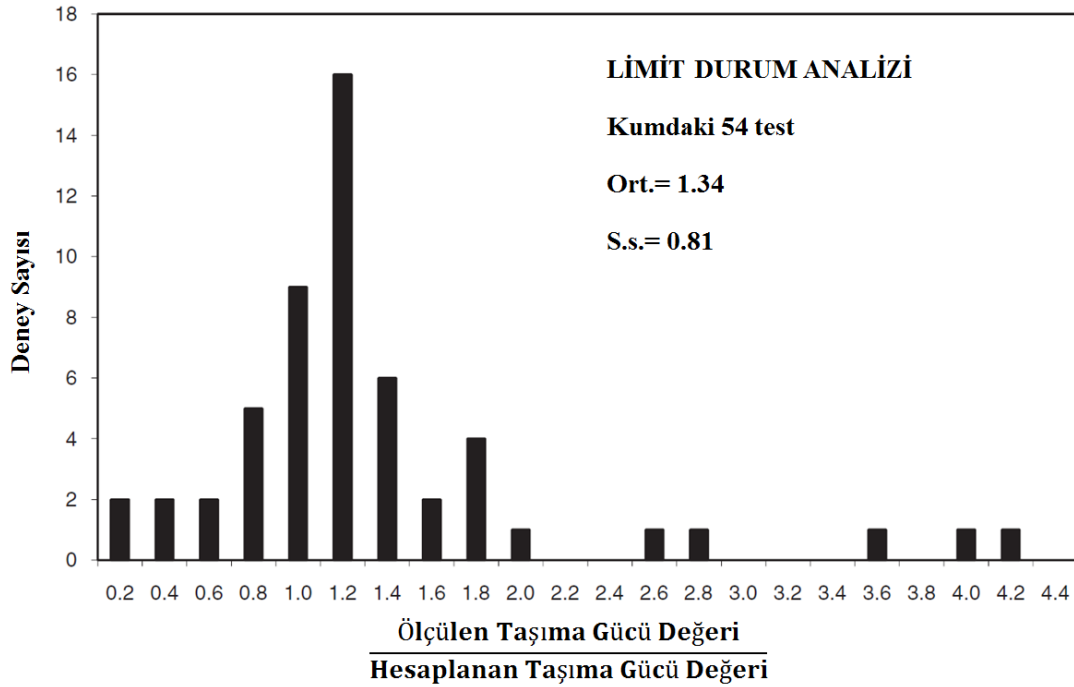
3.5 Limit Durum Analizi

Limit durum analizinde aynı helisel kazık için hem ayrıık taşıma gücü yöntemi, hem de silindirik kayma yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılır ve küçük olan değer nihai taşıma kapasitesi olarak kabul edilir. Limit durum analizinin verimliliğini belirlemek için limit durum analizinden elde edilen sonuçlarla bir dizi yükleme deneyi sonucu karşılaştırılmıştır (Perko, 2009). Bu karşılaştırmanın sonuçları ince daneli zeminler için Şekil 3.7'de, iri daneli zeminler için Şekil 3.8'de verilmiştir. İki şekilde de hesaplanan ve ölçülen taşıma gücü değerleri arasında iyi bir korelasyon sağlandığı görülmüştür. İnce daneli, iri daneli ve ayrıışmış kayaçlar üzerinde yapılan tüm deney sonuçları birleştirilmiş ve limit durum analizi ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılarak Şekil 3.9'da verilmiştir. Hesaplanan nihai taşıma kapasitelerine uygulanan güvenlik sayısı değeri 2'dir. Ölçülen değerlerin hesaplanan değerlere oranının ortalaması 0.97, standart sapması ise 0.51 olarak bulunmuştur. Bu istatistiki

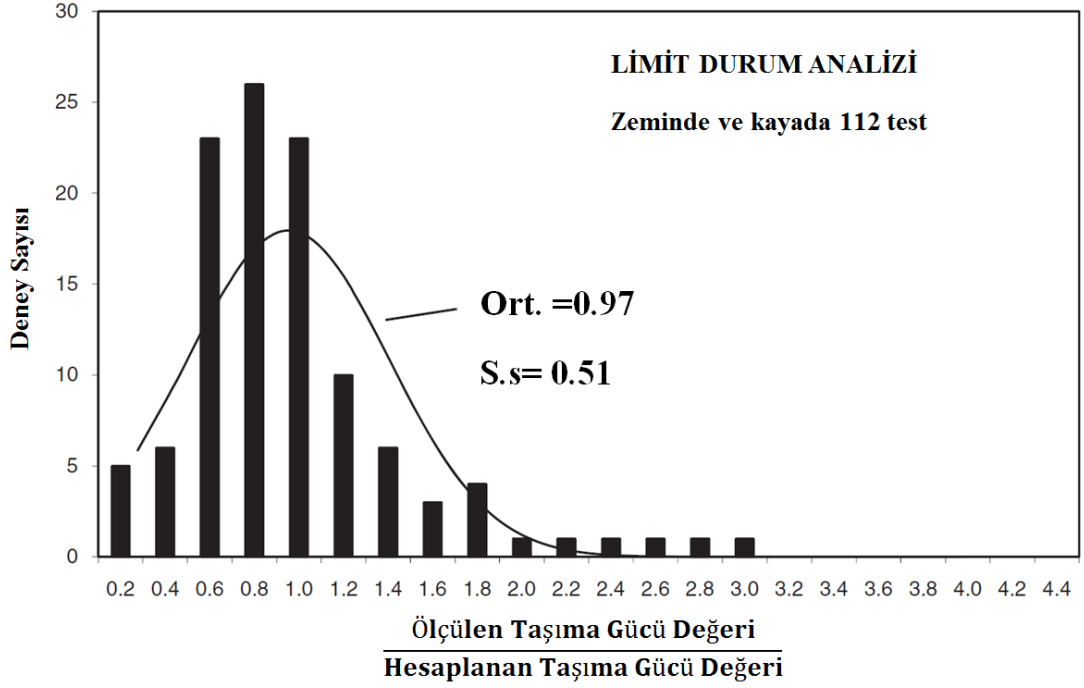
değerler, limit durum analizlerinin helisel kazık taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde doğru bir yöntem olduğunu göstermektedir. Taşıma gücü denklemlerinde güvenlik sayıları 2 alınmıştır.



Şekil 3.7 : İnce daneli zeminlerde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).



Şekil 3.8 : İri daneli zeminlerde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).



Şekil 3.9 : Tüm zemin ve kayaç tiplerinde yapılan limit durum analizi ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Perko, 2009).

3.6 Şaft Adezyonu

Şaft adezyonunun taşıma gücüne etkisi önceki bölümlerde ihmal edilmişti. Yine de şaft adezyonun etkisini kabul eden birkaç görüş vardır. Şaft kesiti kare olan helisel kazıkların zeminde ilerlemesi sırasında dairesel bir kesit oluşur ve örselenen bu zemin kare şaftın çevresinde birikir. Bunun dışında manşonlu helisel kazıklarda çoğu zaman manşon çapı, şaftın çapından bir miktar daha fazla olmaktadır ve bu manşonlar sebebiyle helisel kazık imalatı sırasında şaftın etrafında boşluklar oluşmaktadır. Kazık imalatı sırasında oluşan sallantı da kazık şaftının üst bölgesindeki zeminde bir miktar örselenme meydana getirmektedir. Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü helisel kazığın taşıma kapasitesi hesaplarında şaft boyunca oluşan adezyon ihmal edilir.

Perko (2009) bazı durumlarda helisel kazık şaft bölgesinde oluşan adezyonun taşıma kapasitesine katkı yaptığını belirtmiştir. Derin, geniş çaplı dairesel şaftlarda dikkate değer bir oranda adezyon dayanımı ortaya çıktığı görülmüştür. Gömme başlı manşonu olan yüzeyi pürüzsüz şaftlarda da kapasiteye katkıda bulunan adezyon kuvvetleri oluşabilmektedir (Perko, 2009).

Ghaly ve Clemence (1998) temiz ince daneli zeminlerdeki kare şaftların etrafında bile kayda değer bir adezyon kuvvetinin ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Şaft adezyonu hesaba katılacak ise değeri yaklaşık olarak denklem 3.23'teki gibi olabilir.

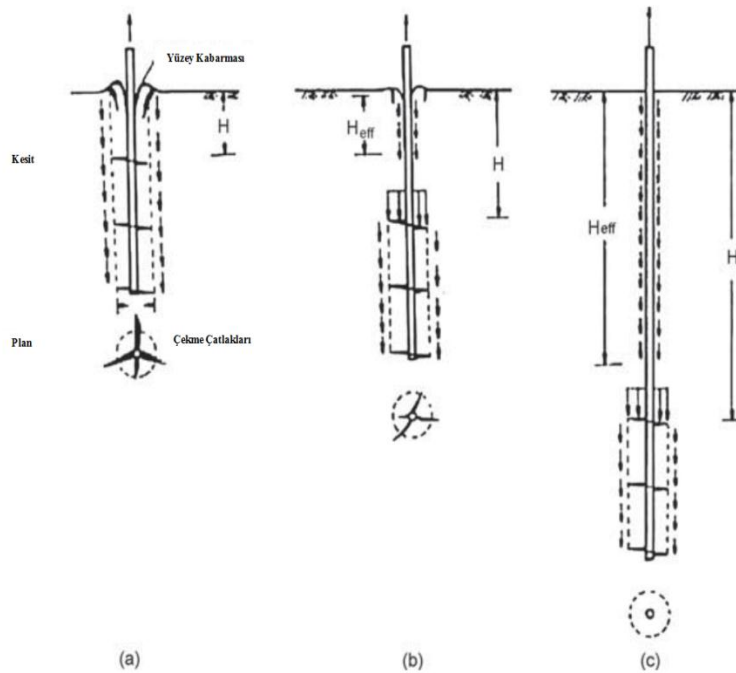
$$\alpha=2/3 T \quad (3.23)$$

Denklem 3.23'teki T terimi zeminin kayma mukavemetidir. İnce daneli zeminler için drenajsız kayma mukavemeti değeridir. İri daneli zeminler için ise denklem 3.22 yardımı ile hesaplanabilir.

Zemin sürtünmesi için kullanılan 2/3 azaltma katsayısı pürüzsüz veya galvaniz kaplanmış çelik için kullanılabilir. Boyanmış, epoksi ile kaplanmış veya başka yüzey şartları için farklı azaltma katsayıları kullanılabilir (Perko, 2009). Enjeksiyonlu helisel kazık şaftları için azaltma faktörü değeri 1 alınabilir.

Helisel kazık imalatı sırasında şaft bölgesinin etrafındaki örselenmeden dolayı rezidüel zemin parametrelerini kullanmak, adezyonu belirlemek için daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Hassas zeminlerdeki rezidüel kayma mukavemeti, pik kayma mukavemeti değerinden oldukça düşük olmaktadır. İşte bu yüzden aşırı konsolidasyon oranı arttıkça zemin ile çakma kazık yüzeyi arasındaki adezyonun azaldığı gözlemlenmiştir (Meyerhof, 1976).

Rao ve diğ. (1993b) göre helisel kazıklar için adezyon kullanılabilir. Fakat sınırlandırılmalıdır. Araştırmalarına göre adezyon değeri, efektif şaft yüksekliği mesafesinde sınırlandırılmalıdır. Efektif şaft yüksekliği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Adezyon hesapları için efektif şaft yüksekliği (Rao ve diğ., 1993b).

Efektif şaft yüksekliği, en üstteki helisel taşıma plakası ile zemin yüzeyi arasında kalan mesafeden, en üstteki helisel taşıma plakası çapının 1.4 ile 2.3 katının çıkartılması ile elde edilir ve H_{ef} ile gösterilir. Zhang (1999), iri ve ince daneli zeminlerdeki çoklu helisel plaka içeren helisel kazıklarda yapılan yükleme deneylerinin sonuçlarına göre H_{ef} 'in değerinin yaklaşık olarak şaft yüksekliğinden en üstteki helisel taşıma plakası çapının çıkartılmasıyla elde edilen sonuca eşit olduğunu belirtmiştir.

3.7 LCPC Yöntemi

LCPC yöntemi 48 test sahasında yapılan 197 statik kazık yükleme deneyine dayanmaktadır. Yükleme yapılan kazık tipleri fore kazıklar, çakma kazıklar ve helisel kazıklardır. Bustamante ve Ganeselli (1982), yumuşak veya gevşek ve yer yer çimentolaşmış, parçacıklı ya da diğer farklı malzemelerin karışık tabakalandığı saha şartlarında, bir başka deyişle taşıma gücü katsayılarının ve zeminin kayma mukavemetinin güçlkle belirlenebildiği şartlarda bu yöntemin kullanılabileceğini söylemektedir.

LCPC yöntemi konik penetrasyon testi (CPT) ile zeminin nihai taşıma kapasitesini ve kayma mukavemetini belirlemeyi hedefler. Test sonuçlarından elde edilen değerler ayrık taşıma gücü yöntemi ve silindirik kayma yönteminde kullanılarak helisel kazığın taşıma kapasitesi belirlenebilir.

LCPC yöntemine göre zeminin nihai taşıma kapasitesi q_{ult} denklem 3.24 yardımı ile hesaplanabilir.

$$q_{ult} = q_{ca}k_c \quad (3.24)$$

q_{ca} helisel taşıma plakasının bulunduğu derinlikteki konik uç direncidir. k_c ise penetrometre taşıma kapasitesi katsayısıdır. Tappenden (2004), helisel kazıklar için bu katsayıyı 0.45 olarak kullanmıştır.

Kayma mukavemeti değeri T ise konik penetrasyon testindeki çeper sürtünme değeri q_s 'e eşittir.

Tappenden (2004) LCPC yöntemi ile helisel kazıklar üzerinde yapılan yükleme deney sonuçlarını karşılaştırarak iyi bir korelasyon yakalamıştır. Ancak Tappenden'in 0.45 olarak belirttiği k_c değeri, buzul tiller ve aşırı konsolide killeri için uyumsuz bir katsayıdır. Tappenden'in belirttiği bu değer, buzul tiller ve aşırı konsolide killeri dışındaki zeminlerde kullanılabilir.

3.8 Kazık Düşey Yer Değiştirmesi

Ayrık taşıma gücü yöntemi, silindirik kayma yöntemi ve LCPC yöntemi limit durum analizinin içinde olan bir yöntemdir ve sadece dayanım kapasitesi ile ilgilenir. Helisel kazıklar normal basınç kuvvetleri altında ve 2.0 güvenlik katsayısı ile sağlam zeminlerde kabul edilebilir düşey yer değiştirmeler yapmaktadır ve sağlam zeminlerdeki düşey yer değiştirme değerleri 13 mm ile 25 mm arasında olmaktadır (Perko, 2009). Sağlam zemin ise standart penetrasyon testindeki (SPT) darbe sayısı 20 ve 20’den büyük olan zemin olarak tanımlanabilir.

Perko (2009) helisel kazıkların servis yükleri altında düşey yer değiştirmelerini hesaplayabilmek için denklem 3.25’ten faydalanmıştır. Bu denklemi oluşturabilmek için

86 tane arazi deneyi sonucundan faydalanmıştır.

$$\delta = \lambda_{\delta} / (N_{70})^{0.37} \quad (3.25)$$

δ terimi düşey yer değiştirme değeridir. λ_{δ} terimi sabit değer olup, 110 mm’dir. N_{70} ise %70 tokmak enerjisiyle düzeltilmiş SPT darbe sayısıdır.

Düşey yer değiştirme zayıf zeminlerde ve hassas yapılarda dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. Düşey yer değiştirme her zaman denklem 3.25’ten çok doğru bir şekilde hesaplanamayabilir. Çünkü düşey yer değiştirme sadece SPT darbe sayısına bağılı değildir. Diğer bir deyişle helisel kazığın düşey yer değiştirmesi sadece zemin özelliklerine bağılı olmamakla birlikte helisel kazığın mekanik özelliklerine de bağılıdır. Bu mekanik özellikler helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe, helisel taşıma plakası kalınlığı, shaft çapı ve shaft kalınlığı gibi özelliklerdir. Düşey yer değiştirme zeminin tabakalanması, efektif gerilme, aşırı konsolidasyon oranı, shaft adezyonu, zeminin sıkılığı, elastisitesi, yatay toprak basıncı katsayısı ve hatta konsolidasyon katsayısı gibi zemin özelliklerinden de etkilenmektedir.

3.9 Kazık Burkulması

Kritik yük altında kazığın yatay stabilitesinde meydana gelen kayba burkulma denir. Burkulma yumuşak veya gevşek zemindeki helisel kazığın taşıma kapasitesini etkileyebilir. Euler (1757) kolonlarda burkulmanın başladığı kritik P_u yükünü denklem 3.26’daki gibi tanımlamıştır.

$$P_u = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} \quad (3.26)$$

E kazığının elastisite modülü, I kazığının atalet momenti, k efektif uzunluk katsayısı ve l'de tutulu olmayan kazık boyudur.

Ancak Euler'in bu denklemi günümüzde kullanılmamaktadır. Çünkü yapılan arazi deneyleri göstermiştir ki arazideki deney sonuçları ile Euler'in denkleminde elde edilen sonuçlar birbiri ile uyumsuzdur. AISC (2001), elastik burkulma için kritik basınç kuvveti P_n 'yi denklem 3.27'deki gibi tanımlamıştır.

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (3.27)$$

A_g kazık şaftının brüt kesit alanıdır. F_{cr} ise kazığının narinliğine (λ_c) bağlı olan kritik burkulma gerilmesidir.

$\lambda_c \leq 1.5$ için denklem 3.28 kullanılmaktadır.

$$F_{cr} = (0.658 \lambda_c^2) F_y \quad (3.28)$$

$\lambda_c > 1.5$ için denklem 3.29 kullanılmaktadır.

$$F_{cr} = (0.877 / \lambda_c^2) F_y \quad (3.29)$$

Denklem 3.28 ve denklem 3.29'daki λ_c terimi ile gösterilen kazık narinliği denklem 3.30 ile hesaplanabilir.

$$\lambda_c = \frac{kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (3.30)$$

F_y helisel kazık çeliğinin akma dayanımı, r ise burkulma eksenine boyunca helisel kazık şaftının bir devrinin yarıçapıdır. AISC (2001) kare kesitler için r terimini denklem 3.31'de vermiştir.

$$r = d / \sqrt{3} \quad (3.31)$$

d terimi kare kesitin bir kenarının uzunluğudur.

AISC (2001) dairesel kesitler için r terimini ise denklem 3.32'deki gibi tanımlamıştır.

$$r = \frac{\sqrt{d^2 - d_1^2}}{2} \quad (3.32)$$

d terimi kazık şaftının dış çapı, d_1 terimi ise kazık şaftının iç çapının uzunluğudur.

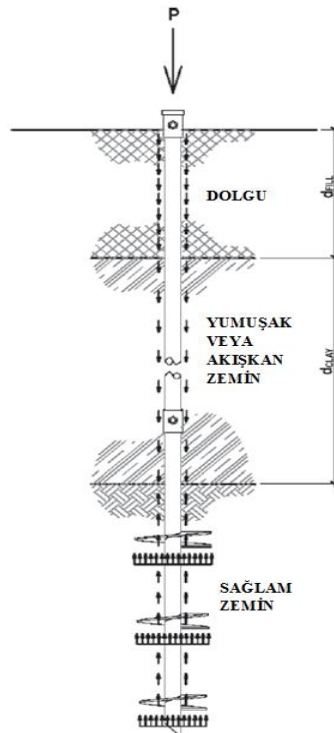
3.10 Negatif Çevre Sürtünmesi Nedeniyle Sürüklenme

Kazık çevresindeki kohezyonlu zeminin konsolide olduğu durumlarda negatif çevre sürtünmesinden dolayı kazık aşağıya doğru itebilir. Yumuşak, kohezyonlu zeminin kazığı sarıp kazık şaftını aşağıya doğru itmeye çalıştığı bu duruma kazığın aşağıya doğru sürüklenmesi denir. Yeraltı su seviyesindeki alçalmalar, mevcut zeminin

üzerine dolgu yapılması veya sürşarj yüklerinin eklenmesi zeminlerde efektif gerilme artımına ve dolayısıyla konsolidasyona neden olur.

Kazık sürüklenmesinin ortaya çıktığı en yaygın durumlardan biri Şekil 3.11’de gösterilmiştir (Perko,2009). Bu şekilde, sıkıştırılmış dolgu tabakası yumuşak veya akışkan zeminin üstüne yerleştirilmiştir. Yumuşak veya akışkan zemin suya doygun ve düşük permeabiliteye sahipse, boşluk suyu zemin içinde sıkışır ve geçici olarak zemin içindeki gerilmelerde artış meydana getirir ve bu gerilme üst bölümde yer alan dolgu tabakasını destekler. Zamanla suyun drene olmasıyla boşluk suyu basıncı azalır ve yumuşak veya akıcı zeminin hacminde azalma meydana gelir. Yumuşak veya akıcı zemindeki konsolidasyondan ötürü üst kısımdaki dolgu tabakasında oturmalar meydana gelir. Dolgu zemin ile kazık şaftı arasında ve yumuşak veya akışkan zemin ile kazık şaftı arasında oluşan net kuvvet, kazık şaftını aşağıya doğru çekmeye çalışır. Negatif çevre sürtünmesinden dolayı oluşan aşağı yönlü kuvvetler de Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Helisel taşıma plakaları aşağıya yönlü kuvvetlere karşı direnç göstererek, kazığın aşağı yönlü hareketini azaltmaya çalışmaktadır.

Aşağıya doğru sürüklenme tüm kazık tiplerinde etkilidir. Ancak helisel kazıklar diğer kazıklara göre daha ince şaft boyutlarına ve helisel taşıma plakalarına sahip olduğu için aşağı yönlü kuvvetlere karşı diğer kazıklara göre daha fazla direnç gösterirler.



Şekil 3.11 : Negatif çevre sürtünmesinin ortaya çıktığı örnek bir zemin profili (Perko, 2009).

Helisel kazıklar her ne kadar aşağıya doğru sürüklenmeye karşı direnç gösteriyor olsa da Şekil 3.11'deki zemin profili ile karşılaşıldığında bu durum mutlaka göz önüne alınmalıdır ve taşıma gücü hesaplarında negatif çevre sürtünmesi hesaba katılarak kazık taşıma kapasitesinde azaltılmaya gidilmelidir ya da kazık boyutu ve yerleşimi değiştirilmelidir.

3.11 Helisel Kazık İmalatı Sırasında Ölçülen Tork Değerinden Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi

Bu yöntem sayesinde helisel kazık imalatı sırasında ölçülen ortalama tork değeri ile helisel kazığın veya helisel ankrajın kapasitesi belirlenebilmektedir. Kapasite hesabını belirlemeye yarayan ilişki denklem 3.33'te verilmiştir (Hoyt ve Clemence, 1989).

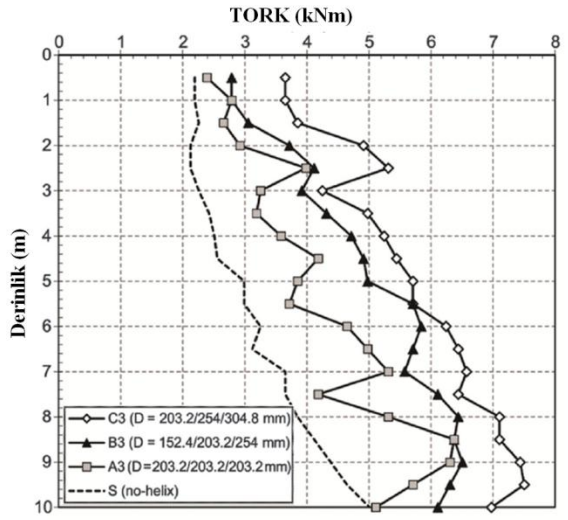
$$Q_t = K_t T_q \quad (3.33)$$

T_q imalat sırasında okunan ortalama tork değeridir. K_t ise şaft çapına bağlı olan ampirik bir katsayıdır. Perko (2009) 239 adet yükleme testini dikkate alarak bu ampirik katsayıyı denklem 3.34'teki gibi belirlemiştir.

$$K_t = \lambda_k / d_{ef}^{0.92} \quad (3.34)$$

λ_k uygunluk katsayısı olup $1433^{0.92}$ mm/m değerine eşittir. d_{ef} efektif şaft çapı değeri olup dairesel kesitli helisel kazıklar için şaft çapına eşittir. Kare kesitli helisel kazıklar için kare kesitin köşegen değerine eşittir.

Tsuha ve diğ. (2016) tarafından yürütülen helisel kazık imalatına ait derinlikle değişen tork değeri Şekil 3.12'de gösterilmiştir



Şekil 3.12 : Helisel kazık imalatı sırasındaki tork-derinlik grafiği (Tshua ve diğ., 2016).

SPT N_{30} değerleri ilk 7 metrede 2 ile 7 arasında olan kumlu kil ve 7 ile 13 metre derinlikte 5 ile 13 arasında olan kumlu killi siltteki 3 farklı üçlü helisel kazık imal edilmiştir. Her üç helisel kazığında boyu 10 metre olup, helisel taşıma plaka boyutları değişkendir.

3.12 Yükleme Hızının Helisel Kazık Taşıma Gücüne Etkisi

Mitsch ve Clemence (1985) orta sıkı kumda imal edilen üçlü helisel taşıma plakası içeren helisel kazıkların kısa ve uzun dönemdeki kapasitelerini incelemiştir. Sonuçlar göstermiştir ki kısa dönem ve uzun dönemdeki kapasiteler neredeyse birbirleri ile aynıdır. Bunun nedeni ise iri daneli zeminlerdeki yüksek permabilite sonucu boşluk suyu basıncının çabuk bir şekilde sönümlenmesidir.

Kohezyonlu zeminlerde ise kazığın yükleme hızı taşıma gücünü doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden de kil zeminde imal edilen helisel kazıkların kapasitelerinin belirlenmesinde bazı zorluklar yaşanmaktadır.

Kazık hızlı bir şekilde yüklendiği takdirde kazık çevresindeki zemin drenajsız davranış göstermektedir. Kayma mukavemetini sadece kohezyon parametresi kontrol etmekte olup, sürtünme açısının değeri sıfır olmaktadır. Kazık yavaş bir şekilde yüklendiği takdirde ise boşluk suyu basıncı sönümlenmektedir ve zemin drenajlı davranış göstermektedir. Bir başka deyişle kayma mukavemetini kontrol eden parametreler efektif kohezyon ve efektif sürtünme açısı olmaktadır.

Bjerrum (1973) tarafından yumuşak killerde imal edilen çakma kazıkların kısa dönem çeper sürtünmesi ile uzun dönem çeper sürtünmesi değerleri karşılaştırılmıştır. Uzun dönem yüklemesindeki kapasitesinin kısa dönem yüklemesindeki kapasiteden büyük olduğunu belirtmiştir.

Skempton (1959) Londra'daki yumuşak killerde imal edilen fore kazıkların benzer bir şekilde, uzun dönem yüklemesindeki dayanımlarının kısa dönem yüklemesindeki dayanımlarına göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Mooney ve diğ. (1985) yumuşak ve hassas killerdeki helisel kazık imalatı sırasındaki örselenmeden dolayı drenajsız durumdaki rezidüel zemin parametrelerinin alınmasını önermiştir. Mooney ayrıca yaptığı bu testlerde uzun dönemdeki kapasitelerin kısa dönemdeki kapasitelere oranla %20 daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Bu yaklaşım hiç kuşkusuz tasarım yönünden güvenli tarafta kalan bir yaklaşımdır.

3.13 Çekmeye Çalışan Helisel Kazıkların Kapasitesi

Bu bölümde çekmeye çalışan helisel kazıklar ve helisel ankrajların taşıma gücü veya diğer bir deyişle sıyırılma kapasiteleri incelenecektir. Sıyırılma kapasitesinin sınırlandırmaları ve özel durumlar da bu bölümün konusudur. Ayrıca bu bölümde asgari gömme derinliğinin belirlenmesi, yeraltı suyunun etkisi, grup verimliliği, yapısal kapasitesi ve tekrarlı yükleme konuları da anlatılacaktır.

3.13.1 Teorik kapasite

Helisel kazıkların daha doğru bir ifadeyle helisel ankrajların sıyırılma kapasitesi Bölüm 3.3 ve Bölüm 3.4'tekine benzer bir yöntemle hesaplanabilir. Adams ve Klym (1972) çekme kuvvetleri altında en üst helisel taşıma plakasının üstünde bulunan zeminin davranışı ile basınç kuvvetleri altında en üst helisel taşıma plakasının üstünde bulunan zeminin davranışının benzer olduğunu belirlemiştir. Rao ve diğ. (1989) belirttiği gibi helisel ankrajlar, helisel taşıma plakalarının arasındaki mesafeye ve zemin durumuna bağlı olarak ayırık taşıma gücü veya silindirik kayma yöntemlerinden biriyle zemin içinde yenilmeyi gerçekleştirirler.

Rao ve diğ. (1989) helisel taşıma plakası arasındaki mesafenin ortalama helisel taşıma plakası çapına oranı 1.5, 2.3 ve 4.6 olan helisel ankrajlar üzerinde çekme deneyi yapmışlardır. Üzerinde deney yapılan Helisel kazıklar Şekil 3.13'te gösterilmiştir.

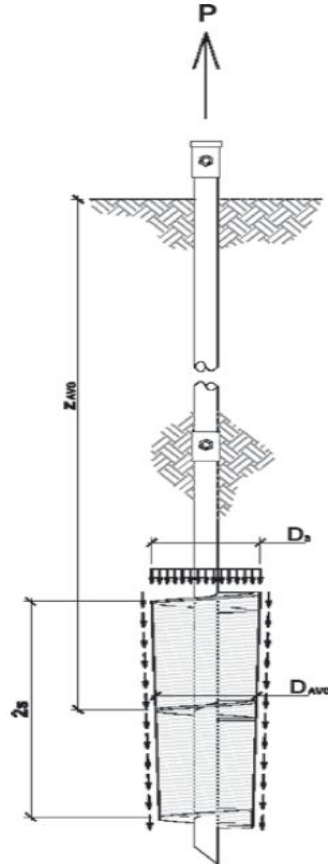


Şekil 3.13 : Farklı helisel taşıma plakası aralığına sahip helisel ankraj modelleri (Rao ve diğ., 1989).

Helisel taşıma plakalarının çapları sabit olup, helisel taşıma plakaları arasındaki mesafeler değişmektedir. Şekil 3.13'ün solundaki helisel ankrajda gösterildiği gibi helisel taşıma plaka aralığının ortalama helisel taşıma plakası çapına oranı 1.5 olan helisel ankraj açık bir şekilde silindirik kayma yöntemindeki davranışı göstermiştir.

Şekil 3.13'ün sağında helisel taşıma plaka aralığının ortalama helisel taşıma plakası çapına oranı 4.6 olan helisel ankrajda ise zemin helisel taşıma plakalarının etrafında toplanmıştır. Bir başka deyişle ayırık taşıma gücü yöntemindeki gibi bir davranış göstermiştir.

Çekme kuvveti altındaki helisel ankrajın silindirik kayma yöntemine göre idealize edilen davranışı Şekil 3.14'te verilmiştir (Perko, 2009). Şekil 3.14'teki çekme kuvvetleri altında helisel ankrajda meydana gelen gerilme dağılımı ile Şekil 3.5'teki basınç kuvvetleri altında helisel kazıkta meydana gelen gerilme dağılımı birbirine çok benzemektedir. En üstteki helisel taşıma plakasının üzerinde düzgün yayılı yük dağılımı, helisel taşıma plakaları arasındaki zeminin etrafını sarmış kayma gerilmeleri ve en üstteki helisel taşıma plakasının üstündeki shaft bölgesini sarmış adezyon kuvvetleri oluşmaktadır.



Şekil 3.14 : Normal çekme kuvveti altında silindirik kayma yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).

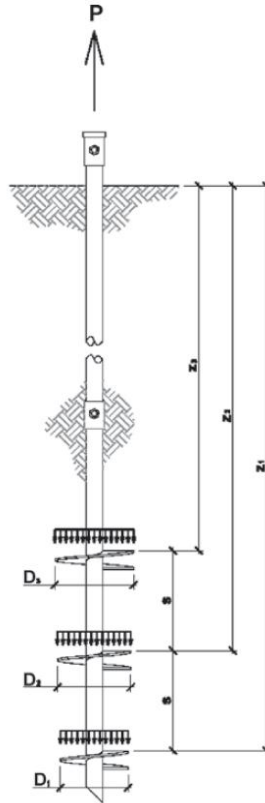
Silindirik kayma yöntemine göre nihai sıyrılma kapasitesi P_u , helisel ankrajın silindirik bölgesinde oluşan toplam kayma gerilmeleri, shaft bölgesi boyunca oluşan adezyon kuvveti ve en üst helisel taşıma plakası üzerinde oluşan gerilmenin toplamına eşittir. Bu eşitlik denklem 3.35’te verilmiştir.

$$P_u = q_{ult}A_T + T(n-1)s\pi D_{AVG} + \alpha H_{ef}(\pi d) \quad (3.35)$$

A_T en üstteki helisel taşıma plakasının alanı, T zeminin kayma mukavemeti, H_{ef} en üstteki helisel taşıma plakasının üstünde kalan shaft bölgesinin efektif yüksekliği, d kazık shaftının çapı ve $(n-1)s$ helisel taşıma plakaları arasında kalan zeminin boyudur, n helisel taşıma plakalarının sayısı, s ise helisel taşıma plakaları arasındaki mesafedir; D_{AVG} helisel taşıma plakalarının ortalama çapıdır.

T ince daneli zeminler için kayma mukavemeti değeridir. İri daneli zeminler için kayma mukavemeti değeri denklem 3.22 yardımı ile hesaplanabilir. q_{ult} değeri ise denklem 3.15 yardımı ile hesaplanabilir.

Normal çekme kuvveti etkisi altında helisel ankrajdaki ayırık taşıma gücü yöntemi göre gerilme dağılımı Şekil 3.15’te gösterilmiştir (Perko, 2009). Her bir helisel taşıma plakasının üstünde düzgün yayılı bir gerilme ve shaft uzunluğu boyunca adezyon gerilmeleri oluşmaktadır.



Şekil 3.15 : Normal çekme kuvveti altında ayırık taşıma gücü yönteminde kazık üzerinde oluşan kuvvetler (Perko, 2009).

Ayrık taşıma gücü yöntemine göre nihai sıyrılma kapasitesi P_u , toplam helisel taşıma plakalarının taşıma kapasitelerinin ve shaft boyunca oluşan adezyon kuvvetlerinin toplamına eşittir. Bu eşitlik denklem 3.36’da verilmiştir.

$$P_u = \sum_{n=1}^n q_{ult} A_n + \alpha H_{ef}(\pi d) \quad (3.36)$$

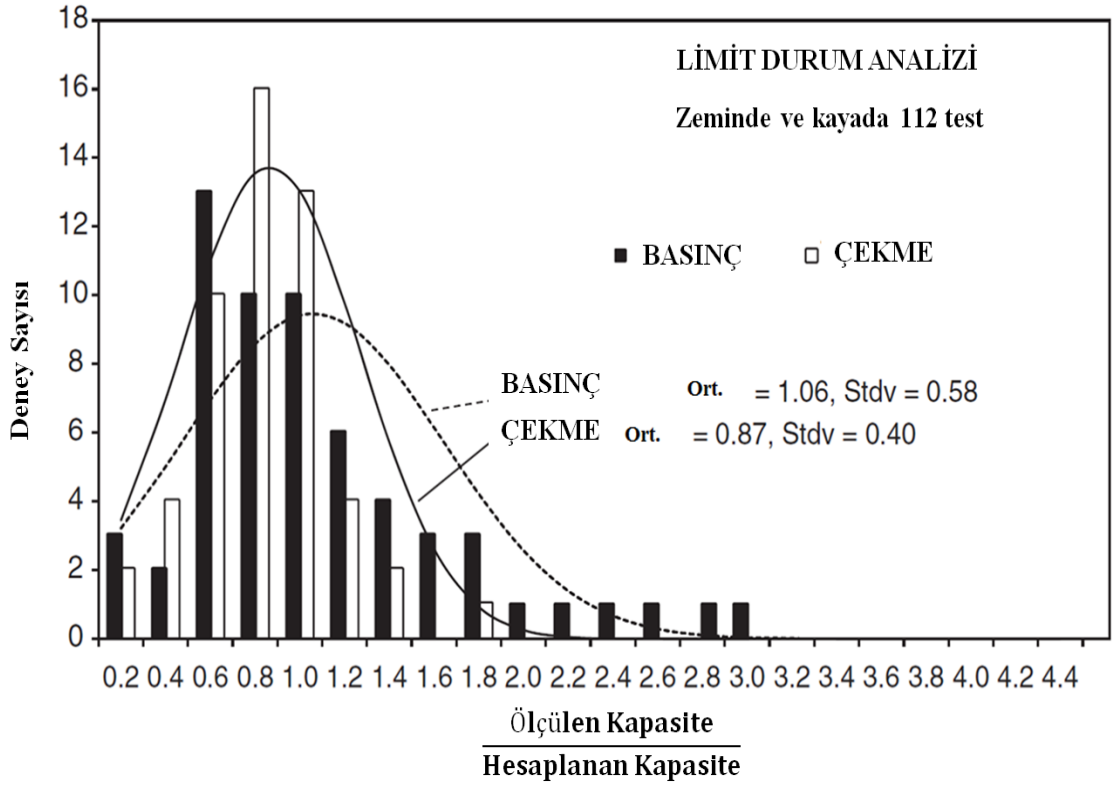
A_n , n. helisel taşıma plakasının alanıdır. Diğer terimler Bölüm 3.3’te açıklanmıştır.

Helisel ankraj shaft boyunca oluşan adezyon güvenli tarafta kalınarak ihmal edilebilir. Ancak bu değer hesaba katılacak ise Bölüm 3.6’da bahsedilen efektif shaft uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir.

Perko (2009) tarafından ince daneli, iri daneli ve ayrılmış kayaçlardaki helisel kazıkların ve helisel ankrajların hesaplanan kapasiteleri ile 112 tane arazi yükleme deney sonuçlarından elde edilen kapasiteler karşılaştırılmıştır. Basınç testleri için ölçülen kapasitenin hesaplanan kapasiteye oranının ortalama değeri 1.06, standart sapması 0.58 olarak bulunmuştur. Çekme testleri için ölçülen kapasitenin hesaplanan kapasiteye oranının ortalama değeri 0.87, standart sapması 0.40 olarak bulunmuştur. Basınç testlerinden elde edilen ortalama 1.06 değeri hesaplanan değer ölçülen değerden yaklaşık %6 daha az olduğunu göstermiştir. Çekme testlerinden elde edilen ortalama 0.87 değeri hesaplanan değer ölçülen değerden yaklaşık %13 daha fazla olduğunu göstermiştir. Perko (2009) tarafından yürütülen deneyin karşılaştırmalı sonuçları Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Hesaplanan nihai basınç ve çekme kapasitelerinde kullanılan güvenlik katsayıları 2.0’dır.

Deney sonuçlarından da görüleceği üzere teoride basınç ve çekme kapasiteleri aynı görünse de, pratikte basınç ve çekme kapasiteleri arasında bir miktar fark vardır. Bu fark ise imalat esnasındaki zemin örselenmesinden kaynaklanabilir. Eğer tasarımcı çekme kapasitesi hesaplarında güvenli tarafta kalmak istiyorsa Şekil 3.15’te de görüleceği gibi hesapladığı değeri 0.87 ile çarparak kapasite de azaltmaya gidebilir.

Ancak unutulmamalıdır ki azaltma faktörü zemin koşullarına doğrudan bağlıdır ve zemin koşullarına göre değişebilir. Ayrılmış kayaçlar ve aşırı konsolide killeri örselenmeye hassastırlar ve 0.87 azaltma katsayısı bu gibi kayaç ve zeminlerde yetersiz kalabilir (Perko, 2009). Eğer mümkünse bu tip zemin ve kayaç ortamlarında yükleme testleri yapılarak sahaya özel azaltma faktörü belirlenmelidir. Sahaya özel azaltma faktörlerinin belirlenmesi tasarımcı mühendisin yararına olacaktır. Eğer böyle bir imkan yok ise teorik yöntem ile hesaplanan nihai değer yaklaşık 0.85 değeri ile çarpılarak düzeltilmiş bir nihai taşıma gücü değeri elde edilebilir.

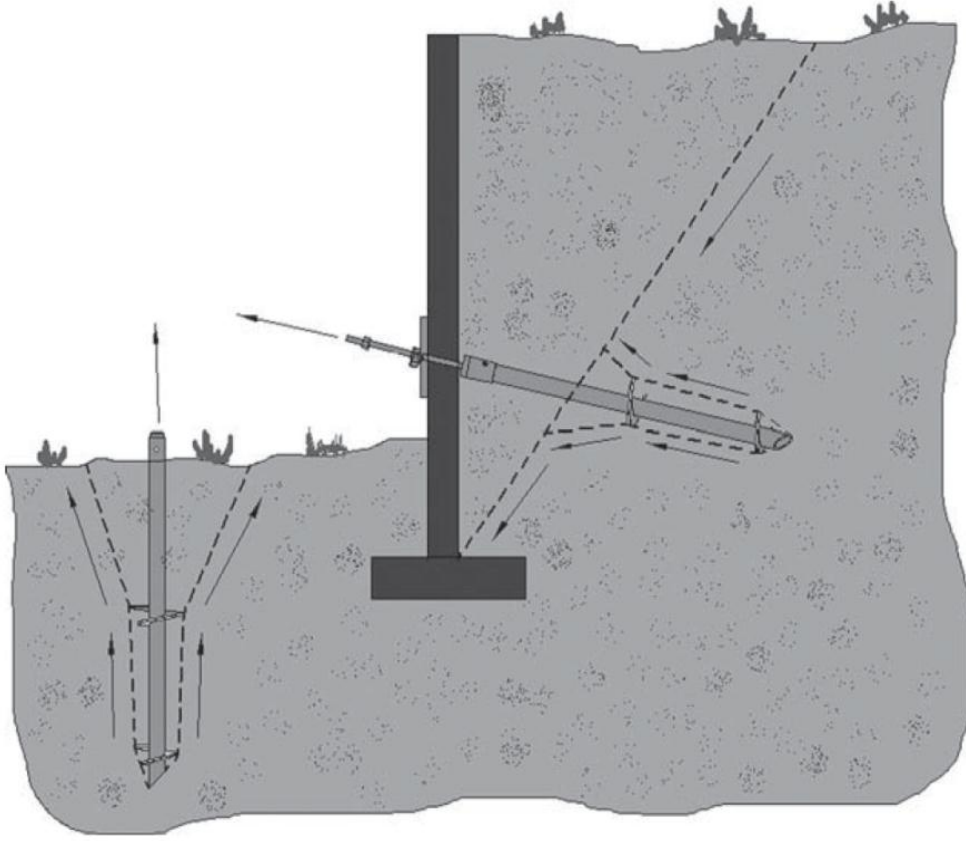


Şekil 3.16 : Zeminde ve kayada yapılan yükleme deneylerinde ölçülen sonuçlar ile hesaplanan sonuçların karşılaştırılması (Perko, 2009).

3.13.2 Kazık gömme derinliği

Helisel ankraj tasarımında önemli konulardan biri de helisel ankrajların asgari gömme derinliğinin belirlenmesidir. Bütün teorik kapasiteler derin durum davranışını kabul etmiştir. Eğer helisel ankraj çok sığ ise üzerinde bulunan zemin kütlesi sıyrılmaya karşı yeterli direnci gösteremez ve helisel ankrajlar Şekil 3.17'deki gibi bir yenilme davranışı gösterir (Perko, 2009). Helisel taşıma plakaları zemin yüzeyine çok yakınsa sığ yenilme durumu ortaya çıkar. Sığ yenilme durumunda helisel taşıma plakası etrafındaki zeminde kayma gerilmeleri oluşarak, helisel taşıma plakasının üstündeki zemin konisi yukarıya kalkar. Bu hareketten ötürü kazığın çevresinde zemin yüzeye doğru kalkar.

Kazı destek sistemlerinde kullanılan helisel ankrajlarda ise aktif kama aşağıya doğru hareket eder ve helisel ankraj aktif kamanın arkasında zeminden çıkar. Helisel kazıklardan veya helisel ankrajlardan yeterli performansı alabilmek için zemin yüzeyinden veya aktif kamadan itibaren yeterli derinliğe kadar gömülmelidir. Aksi takdirde sığ yenilme durumu ortaya çıkabilir.



Şekil 3.17 : Helisel kazık ve helisel ankrajlarda sığ yenilme durumu (Perko, 2009).

Gerekli olan asgari gömme derinliği; en sığ derinlikte bulunan helisel taşıma plakası üzerindeki koni şeklindeki zemin kütlelerinin sıyrılma gerilmesine karşı koyabilecek kütlede olmasını sağlayan derinliktir.

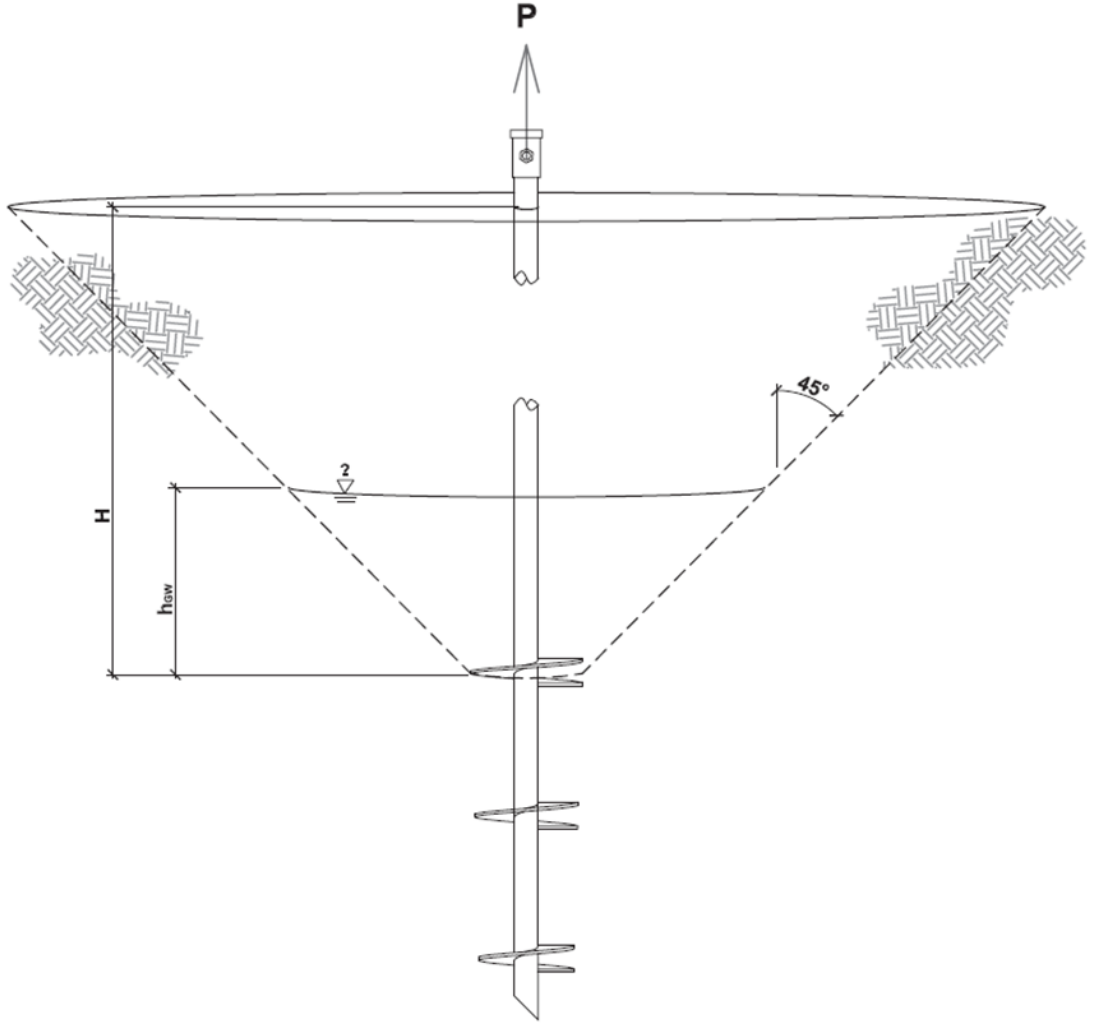
En üstteki helisel taşıma plakasının üstünde kalan konik zemin kütlesi Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Konik şeklindeki, W ile gösterilen zeminin kütlesi denklem 3.37’de verilmiştir.

$$W = (\pi/4)\gamma' \int_0^H (D_T + 2z \tan \theta)^2 dz \quad (3.37)$$

D_T en üstteki helisel taşıma plakasının çapı olup, θ açısı etki konisinin düşeyle yaptığı açıdır ve 45° olarak kabul edilir. H terimi en sığ helisel taşıma plakasının derinliğidir, z ise zemin diliminin kalınlığıdır, γ' ise zeminin efektif birim hacim ağırlığıdır.

Eğer helisel taşıma plakasının derinliği H , helisel taşıma plakasının çapına yani D_T ’ye bölünüp bu eşitlik tekrar yazılırsa denklem 3.38 elde edilir. N_T olup rölatif gömme oranıdır ve H/D_T ’ye eşittir.

$$W = (\pi/4)\gamma' D_T^3 (N_T + 2N_T^2 \tan \theta + \frac{4}{3} N_T^3 \tan^2 \theta) \quad (3.38)$$



Şekil 3.18 : Etki konisinin şematik gösterimi (Perko, 2009).

Gerekli gömme derinliğinin belirlenebilmesi için etki konisi yöntemiyle hesaplanan kapasitenin teorik kapasite hesabı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Denklem 3.35 veya denklem 3.36'daki adezyon terimi ihmal edilip sadece en sığ derinlikteki helisel taşıma plakası için tahkik yapılacak olursa denklem 3.39'daki gibi bir basitleştirme yapılabilir.

$$P_u = q_{ult}(\pi D_T^2/4) \quad (3.39)$$

En sığ derinlikteki helisel taşıma plakası için denklem 3.38 ve denklem 3.39'dan elde edilen değerler eşittir (Perko, 2009).

Ghaly ve Hanna (1992) ince daneli ve iri daneli zeminler üzerinde asgari gömme derinliğini belirlemek için çalışmalar yapmıştır. Rölatif gömme oranı (H/D_T) ince daneli zeminler için 5, gevşek zeminler için 7, orta sıkı zeminler için 9 ve sıkı zeminler için 11 olarak alınmasını önermişlerdir.

3.13.3 Yeraltı suyu etkisi

Sıyırılma kapasitesini etkileyen unsurlardan biri yeraltı su seviyesidir. Yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle helisel ankrajlarda yıkıcı yenilmelerin olduğu gözlenmiştir (Perko, 2009). Kaldırma kuvveti zeminden gelen ağırlık etkisini yarı yarıya azaltmaktadır. Yeraltı suyunun olduğu durumlarda etki konisindeki kuvvetlerle kaldırma kuvvetleri süperpoze edilerek gömme derinliği yeniden hesaplanmalıdır.

Bu durumun dışında yeraltı suyu efektif gerilmeleri de etkileyerek helisel taşıma plakalarının sıyırılmaya karşı direncini azaltmaktadır.

3.13.4 Grup verimliliği

ICC-Evaluation Services adlı şirketin 2007 yılında yayınladığı AC308 kodlu raporuna göre kazıkların merkezden merkeze mesafesini asgari olarak helisel taşıma plakası çapının 4 katı olarak kazık yerleşimini yapmak grup etkisinden kaçınmak için yeterli olmaktadır. Kazık yerleşiminin daha sık olması durumunda kazık grubunun nihai kapasitesini belirlemek gerekmektedir. Grubun nihai kapasitesi silindirik kayma yöntemine benzer bir yöntemle hesaplanır (Perko, 2009). Grubun nihai kapasitesi, helisel taşıma plakalarının çevresini saran yüzeydeki kayma gerilmeleri dikkate alınarak denklem 3.40'ta gösterildiği gibi hesaplanır.

$$P_{ug} = q_{ult}(m_1)(m_2) + 2Ts(n-1)(m_1+m_2) \quad (3.40)$$

P_{ug} grubun nihai taşıma kapasitesidir, m_1 bir sıradaki, m_2 ise bu sıraya dik doğrultudaki kazık sayısıdır. s terimi ise en üst helisel taşıma plakası ile en alt taşıma plakası arasındaki mesafedir, n terimi bir kazık başına düşen helisel taşıma plaka sayısıdır. Diğer terimler önceki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Kazık grubunun verimliliği η denklem 3.41 ile hesaplanır.

$$\eta = P_{ug} / \sum_i P_u \quad (3.41)$$

P_u kazık grubundaki tek bir kazığın limit durum analizine göre hesaplanmış kapasitesidir ve Bölüm 3.5'te açıklanmıştır, i terimi ise kazık grubundaki toplam kazık sayısıdır. η değeri 1'den büyük ise herhangi bir grup etkisi oluşmamıştır. Eğer η değeri 1'den küçük ise grup etkisi kapasiteyi sınırlandırmaktadır ve kazık aralığı arttırılarak grup etkisinden kaçınılabılır. Hiçbir şekilde grup kapasitesi tekil kazıkların taşıma güçlerinin toplamından büyük olamayacağı için P_{ug} değerinin P_u değerinden büyük olması durumunda, kazık grubunun nihai kapasitesi P_u olarak belirlenir.

3.13.5 Yapısal kapasite

Helisel ankrajların çekme kuvvetlerine karşı sıyrılma hesapları yapıldıktan ve gerekli şartlar sağlandıktan sonra helisel ankrajın çekme kuvvetine karşı yapısal dayanıklılığının da incelenmesi gerekir. Üreticilerin birçoğu, kataloglarda helisel ankrajların yapısal kapasitelerini de verirler.

Helisel ankrajların yapısal kapasite kataloğunda hem şaft bölgesinin hem de helisel taşıma plakasının yapısal kapasitesinin verilmesi gerekmektedir. Şaft kapasitesinin içinde şaft ve şafta bağlı olan manşon, kılıf, bulon vb. bütün elemanların dayanımlarının da verilmesi gerekmektedir. Çünkü çekme kuvvetlerini sadece şaft bölgesi değil şaftın bağlantı bölgeleri de taşımaktadır.

Bunların dışında şaft, bağlantı bölgeleri ve helisel taşıma plakalarının yapısal dayanımı laboratuvar ortamında da test edilebilir.

Helisel kazık ve helisel ankrajın uzun dönemli kullanımlarında korozyon etkisi göz önüne alınarak yapısal kapasite belirlenmelidir. Korozyonla oluşacak şaft ve helisel taşıma plakası çapındaki kayıplar mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bu durum Bölüm 8’de ayrıntılı olarak işlenecektir.

Helisel kazık ve helisel ankrajların basınç ve çekme kuvvetlerine gösterdiği yapısal dayanım dışında burulma kuvvetlerine gösterdiği direnç de önemli bir yapısal dayanım unsurudur. İmalat sırasındaki torkun meydana getirdiği burulmanın kazığın yapısal dayanımını aşmaması gerekmektedir. Burulma kuvveti sadece kazığın imalatı sırasında ortaya çıkan bir durum olduğu için burulma tahkikinde korozyon etkisi dikkate alınmaz.

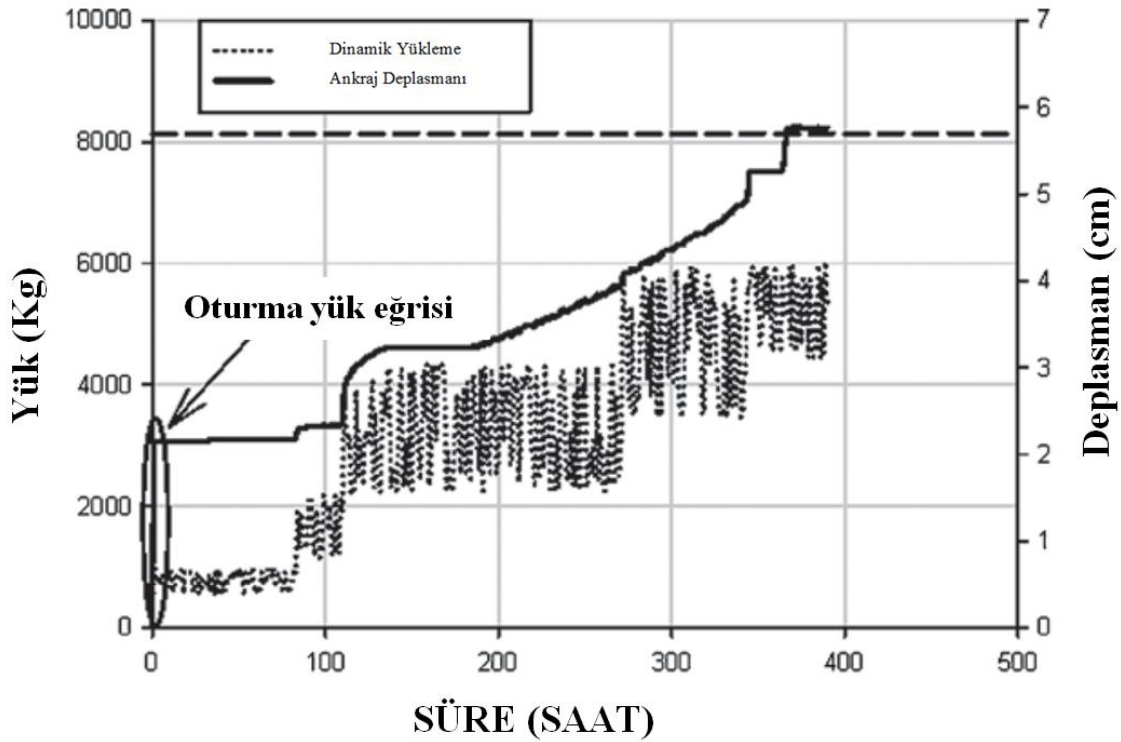
3.13.6 Tekrarlı yükleme

Rüzgâr yüklerine karşı direnç gösteren yapıların temellerindeki (rüzgâr türbinleri, kule ve direk temelleri, gergi kablo temelleri vb.) helisel ankrajlar tekrarlı yüklemeleri maruz kalırlar. Ghaly ve Clemence (1998) eğer tekrarlı yükleme statik nihai kapasitenin %25’inden daha az ise ankraj çeliğinde meydana gelen akmanın geri gelebildiğini göstermiştir. Bu sonuca göre helisel ankraj tasarımında ankrajlara etkiyecek tekrarlı yükün, statik nihai kapasitenin %25’inden daha az olması gerekmektedir.

Cerato ve Victor (2008) helisel ankrajlarda yaptıkları tekrarlı yükleme testlerinde sıyrılmaya karşı nihai statik kapasitenin %15’ine kadar uygulanan tekrarlı yüklerin

etkisi altında helisel ankrajlarda kayda değer bir yer değiştirme gözlemlenmemiştir. Tekrarlı yükün, statik nihai dayanımın %25'ine ulaştığı anda deplasmanlar artmaya başlamış, %35 değerine geldiğinde ise helisel ankraj akmaya başlamıştır. Tekrarlı yükleme testinden önce yapılan hesaplarda nihai sıyrılma kapasitesi 116 kN olarak hesaplanmıştır. Tasarım kapasitesi de 80 kN ile sınırlandırılmıştır. Tekrarlı yükleme testi sonuçları Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere tekrarlı yüklere maruz kalacak helisel ankrajların tekrarlı yükünün büyüklüğü, sıyrılmaya karşı nihai statik kapasitenin %25'ini aşmamalıdır.



Şekil 3.19 : Helisel ankraj üzerinde yapılan tekrarlı yükleme testi (Cerato ve Victor, 2008).

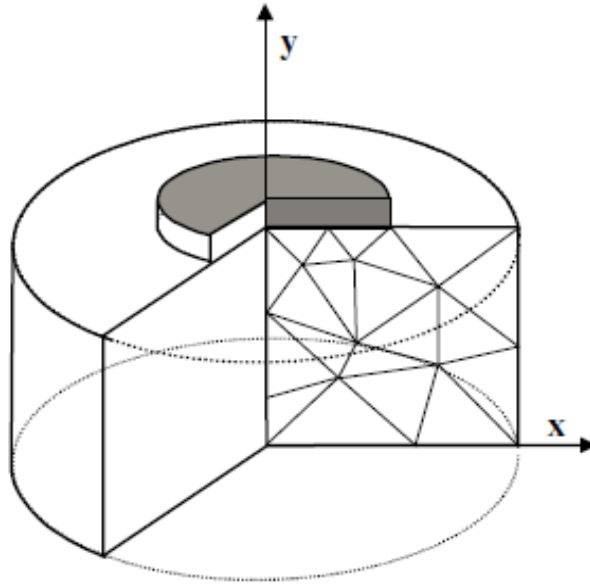
3.14 Helisel Kazıkların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi

Düşey betonarme ve çelik elemanlarla (kazık, perde duvar, püskürtme beton) oluşturulmuş kazı destekleme ve temel sistemlerine ait güncel bilimsel araştırmalar ve teknik literatür detaylı olarak incelendiğinde, düşey elemanlarda oluşan kesit zorlanmaları, düşey ve yanal deplasmanların tahkikinde değişik yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Kazı şevleri destekleme ve temel sistemlerinin zemin mekaniği açısından analizi yapı mühendisliğinde izlenen metodolojiye benzer biçimde yapılmakta, elemanların belirli yükler ve deformasyon şartları altındaki

davranışları incelenmektedir. Analizlerde genel olarak elastisite ve plastisite teorileri ile birlikte sürekli ortam mekaniğini temel alan teoriler de kullanılmaktadır.

Helisel kazıklar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayarda modellenenebilir. Bu modelleme için sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir bilgisayar yazılımı yeterlidir. Plaxis 2D yazılımı geoteknik mühendisliği uygulamalarında sıkça kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemini temel alan bir yazılımdır. Plaxis programı 2 boyutlu sonlu elemanlar prensibi ile çalışmakta olup sistemin güvenlik katsayısı, yapısal elemanlardaki yükler, genel deplasmanları vermektedir.

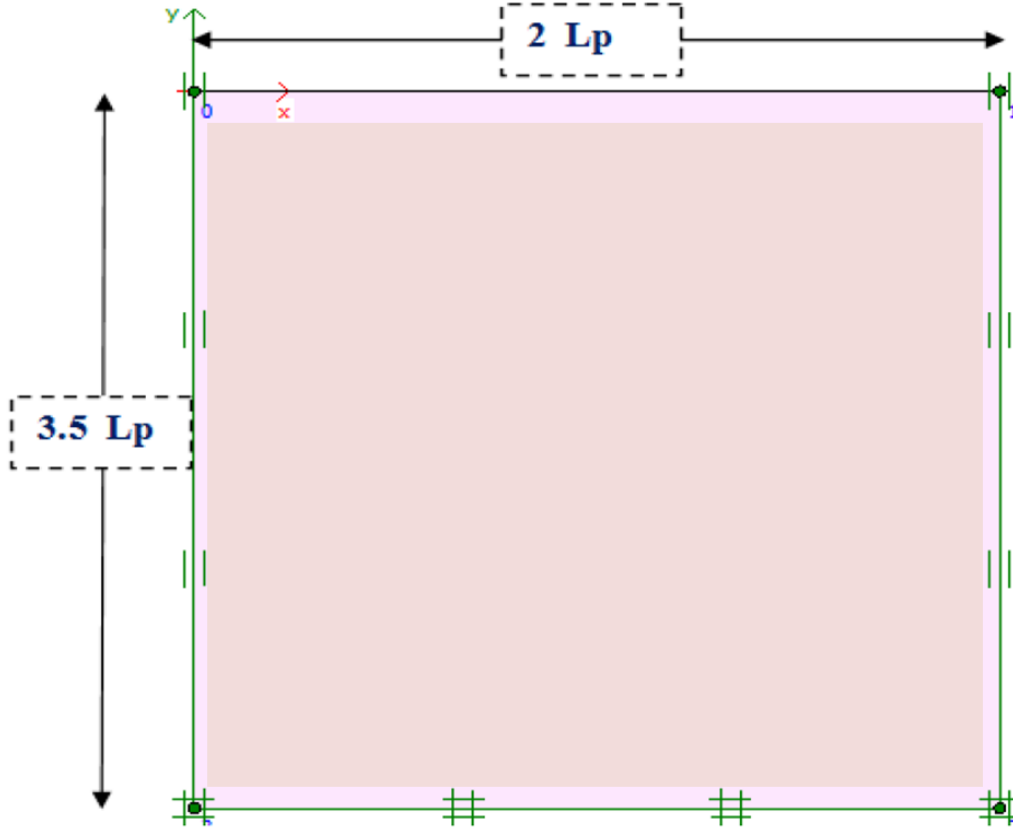
Salhi ve diğ. (2013) kum zeminde imal edilen helisel kazıklar üzerinde yapılan basınç testleri ile sonlu elemanlar modelindeki helisel kazıkların taşıma gücü ve deplasman değerlerini karşılaştırmıştır. Plaxis yazılımı üzerinde kullanılan zemin modeli Mohr-Coulomb seçilmiştir. Kazık malzemesi ise lineer elastik seçilmiştir. Helisel taşıma plakalarının davranışını daha doğru tanımlayabilmek için aksi-simetrik modelleme yapılmıştır. Bir başka deyişle analitik düzlemdeki x eksen, y eksenin etrafında bir tur döndürülmüştür. Aksi-simetrik modelleme Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 : Plaxis yazılımı aksi-simetrik modelleme (Plaxis manual, 2002).

Salhi ve diğ. (2013) şaft çapı 324 mm, helisel taşıma plakası çapı 762 mm, boyu 9 metre ve ortalama imalat torku 211.5 kNm olan üçlü helisel kazığın yükleme deney sonuçları ile plaxisteki yükleme sonuçlarını karşılaştırmıştır. Helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe, helisel taşıma plakası çapının 3 katıdır.

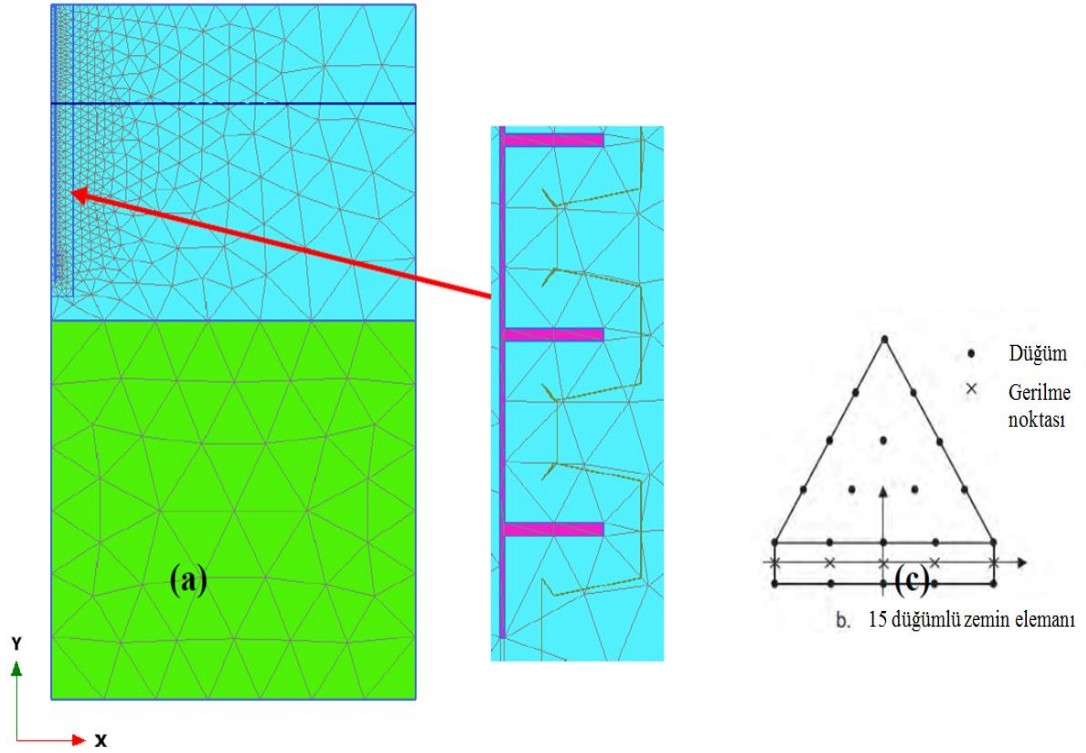
Plaxis modellemesinde ilk olarak zemin prizması oluşturulup, zemin prizması köşelerinden ve kenarlarından sabitlenmiştir. Mestat (1997) sınır etkilerini asgariye indirmek için zemin prizmasının sabitlenmesi gerektiğini belirtmektedir. Sınır koşulları belirlenmiş zemin prizması Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Zemin prizmasının genişliği kazık boyunun 2 katı, boyu da kazık boyunun 3.5 katı kadar tutulmuştur.



Şekil 3.21 : Plaxis yazılımı zemin prizması (Salhi ve diğ., 2013).

Zemin profili 2 tabakalı kumdan oluşmaktadır. Üstteki kum tabakasının kalınlığı 10 metre, içsel sürtünme açısı 35° , birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , elastisite modülü 48 Mpa’dır. Alttaki kum tabakasının içsel sürtünme açısı 40° , birim hacim ağırlığı 21 kN/m^3 , elastisite modülü 77 Mpa’dır. İki tabakanın da poisson oranı 0.33 alınmıştır. Her iki tabaka da iri daneli olduğu için zemin modeli drenajlı olarak belirlenmiştir. Bu sebepten ötürü de kohezyon değerleri sıfır olarak kabul edilmiştir. Yer altı suyu yüzeyden 3.6 metre derindedir.

Belirlenen zemin özellikleri ve yeraltı su seviyesi zemin prizmasında atanmıştır ve helisel kazık, modelin y eksenı boyunca tanımlanmıştır. Plaxis modelindeki zemin profili ve kazık detayı Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



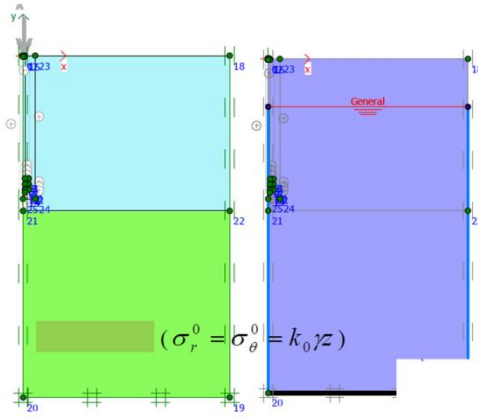
Şekil 3.22 : Plaxis yazılımı zemin ve helisel kazık modellemesi (Salhi ve diğ., 2013).

Helisel kazığın malzeme tipi lineer elastiktir. Poisson oranı hem şaft bölgesi, hem de helisel taşıma plakaları için 0.33'tür. Şaft bölgesinin ve helisel taşıma plakalarının elastisite modülü 210000 Mpa'dır. Sonlu elemanlar ağı 15 düğüm noktalı olarak tanımlanmıştır. Zemin ve helisel kazık özellikleri atandıktan sonra hesap adımlarına geçilmiştir.

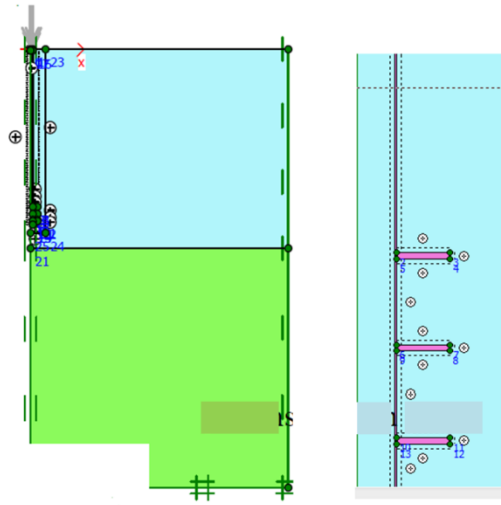
İlk olarak zeminin başlangıç durumundaki gerilmeler oluşturulmuştur. Bu gerilmeler yatay ve düşey zemin gerilmeleridir. Zeminin K_0 değeri kullanılarak zemindeki başlangıç gerilmeleri belirlenmiştir. Bu aşamada aynı zamanda hidrostatik gerilmeler de belirlenir. İlk aşamada sadece zemin ve hidrostatik gerilmeler tanımlanır. Helisel kazığın sadece özellikleri belirlenmiş olup, bu aşamada herhangi bir kazık imalatı yoktur. Şekil 3.23'ten de görüleceği gibi aktif olmayan kazık eksenli soluk gri renkle gösterilmektedir.

İkinci aşamada helisel kazık aktif hale getirilir. Şekil 3.24'te helisel kazığın aktif hale getirilmesi görülmektedir.

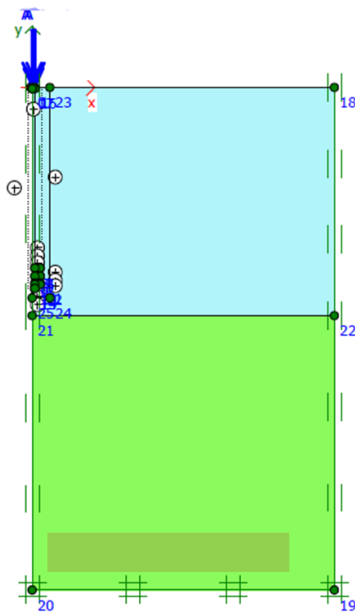
Üçüncü aşamada kazığın üstünden birim yayılı yük etki ettirilir. Bu yük kademeli olarak artan yük olarak etkittirilir. Yükün değeri 0 ile 2227 kN arasındadır. Yükün etkittirildiği üçüncü aşama Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23 : Plaxis yazılımında başlangıç zemin gerilmelerinin tanımlanması (Salhi ve diğ., 2013).

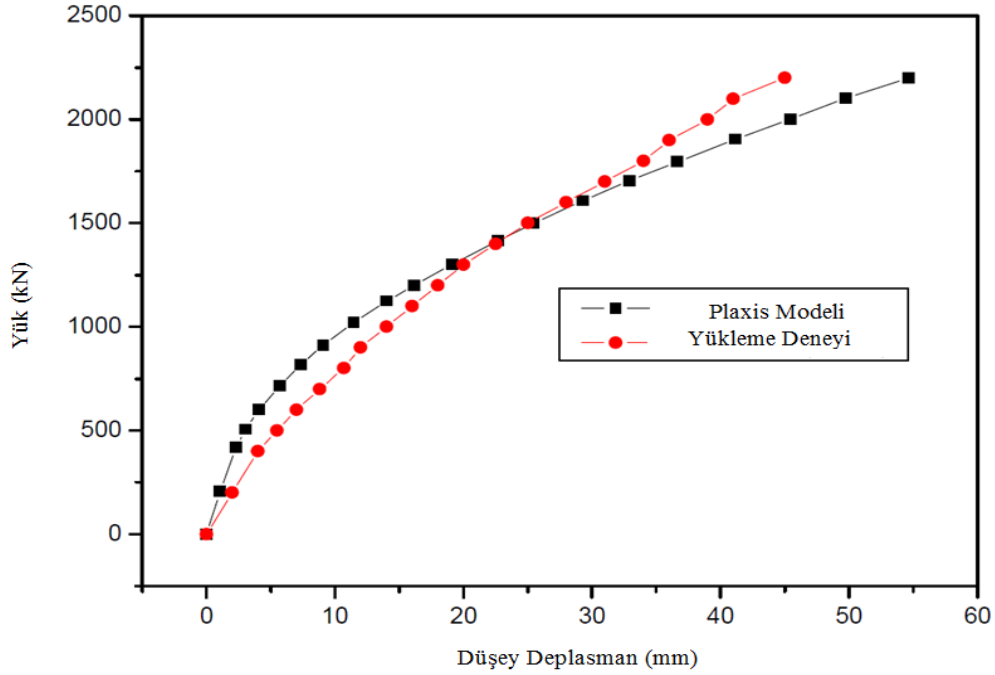


Şekil 3.24 : Plaxis yazılımında helisel kazık imalatı (Salhi ve diğ., 2013).



Şekil 3.25 : Plaxis yazılımında helisel kazığın yüklenmesi (Salhi ve diğ., 2013).

Nümerik analiz sonucunda elde edilen deplasman değerleri ile basınç testinden elde edilen deplasmanlar karşılaştırılmıştır ve karşılaştırmalı grafik Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : Plaxis yazılımı sonuçları ile yükleme testi sonuçlarının karşılaştırılması (Salhi ve diğ., 2013).

Salhi ve diğ. (2013) yükleme testlerine ve modellemeye başlamadan önce nihai taşıma kapasitesini, en büyük helisel taşıma plakasının %5'i kadar deplasmana sebep olan yük olarak belirlemişlerdir. Bu değer ise 38.1 mm'dir. Plaxis modelinde helisel taşıma plakası çapının %5'indeki düşey deplasmana karşılık gelen yük 1910 kN'dur. Yükleme testinde ise helisel plaka çapının %5'indeki düşey deplasmana karşılık gelen yük 2030 kN'dur. Plaxis modelindeki nihai kapasitenin, test sonuçlarındaki nihai kapasiteye oranla %6 daha az olduğu görülmektedir.

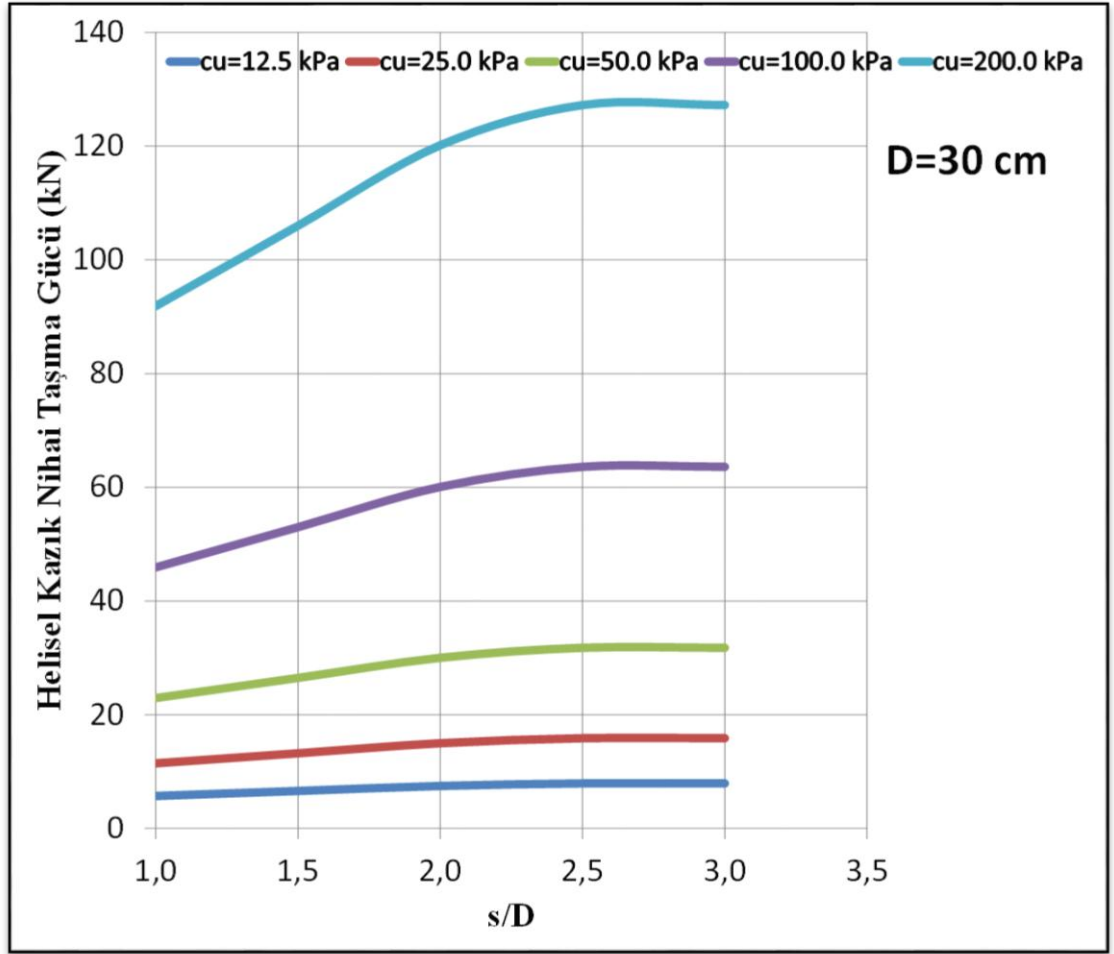
3.15 Helisel Kazıkların Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi ve Helis Aralığının Taşıma Gücüne Etkisi

Helisel kazıkların taşıma gücü ince daneli ve iri daneli zeminlerde, hem ayırık taşıma gücü yöntemi ile hem de silindirik kayma yöntemi ile hesaplanır ve en küçük olan değer helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi olarak belirlenir. Ayırık taşıma gücü yöntemiyle nihai taşıma gücü, denklem 3.1 ile silindirik kayma yöntemiyle nihai taşıma gücü, denklem 3.18 ile belirlenir. Denklem 3.1 ve denklem 3.18 kullanılırken

adhezyon terimi ihmal edilerek taşıma gücü hesaplarında dikkate alınmaz. Bu bölümde ince daneli ve iri daneli zeminde, boyu 8 metre olan ikili ve üçlü helisel kazıklar için limit durum analizi yapılarak nihai taşıma güçleri belirlenecektir. İkili ve üçlü helisel kazıkların helisel taşıma plaka çapları sırasıyla 30 cm, 45 cm, 60 cm ve 75 cm'dir. Adhezyon faktörü ihmal edildiği için shaft çapının herhangi bir önemi yoktur. İkili ve üçlü helisel kazıkların taşıma güçlerinin hesaplanmasının nedeni piyasada yaygın olarak ikili ve üçlü helisel kazıkların kullanılmasıdır. Ayrıca helisel taşıma plakası çapının ayrıık taşıma gücü yöntemi ile silindirik kayma taşıma gücüne etkisi de bu bölümde tartışılacaktır. Bu bölümde son olarak yüksek kapasiteli helisel kazıkların taşıma kapasiteleri işlenecektir. Son olarak anlatım kolaylığı olması açısından bu bölümde helisel taşıma plakası yerine helis isimlendirmesi yapılacaktır. İnce daneli zeminlerde nihai taşıma gücü belirlenirken farklı kohezyon değerlerinde nihai taşıma gücü hesaplanacaktır. Kohezyon değerleri olarak 12.5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa seçilmiştir. İri daneli zemillerde ise nihai taşıma gücü belirlenirken farklı zemin sürtünme açısı değerlerinde nihai taşıma gücü hesaplanacaktır. Zemin sürtünme açısı değerleri olarak da 20°, 25°, 30°, 35°, 40° ve 45° alınmıştır. Her iki zemin tipinde de helis aralığının helis çapına oranı (s/D) sırasıyla 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ve gerektiğinde daha yüksek alınarak helis çapı, s/D oranı ve limit durumdaki taşıma gücü yöntemi tahkik edilmiştir.

Nihai taşıma gücü hesapları ilk olarak boyu 8 metre olan ikili helisel kazık için yapılacaktır. Boyu 8 metre olan ve helis çapı 30 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.27'de verilmiştir.

Şekil 3.27'de görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 5.7 kN ile 127.2 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayrıık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayrıık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 30 cm olan ikili helisel kazık için silindirik kaymadan ayrıık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayrıık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

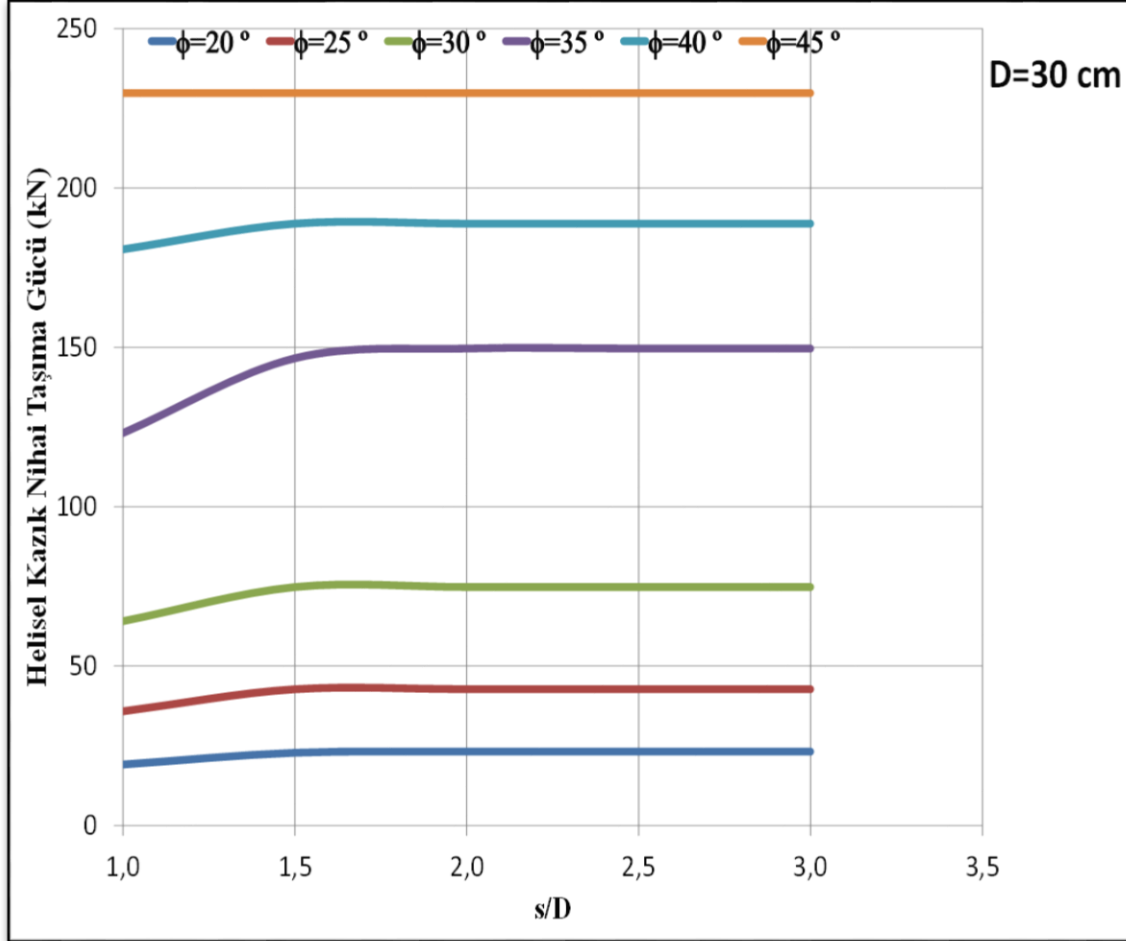


Şekil 3.27 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 30 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.28’de verilmiştir.

Şekil 3.28’de görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 19.1 kN ile 229.8 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayırık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri ayırık taşıma gücü yöntemdeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Hatta Şekil 3.28’den de görüleceği gibi sürtünme

açısı değeri 45° olduğunda limit durum değeri doğrudan ayırık taşıma gücü yöntemindeki değerden gelmektedir. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 1.5 ile 2 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 1.5'ten 2'ye çıkmaktadır.

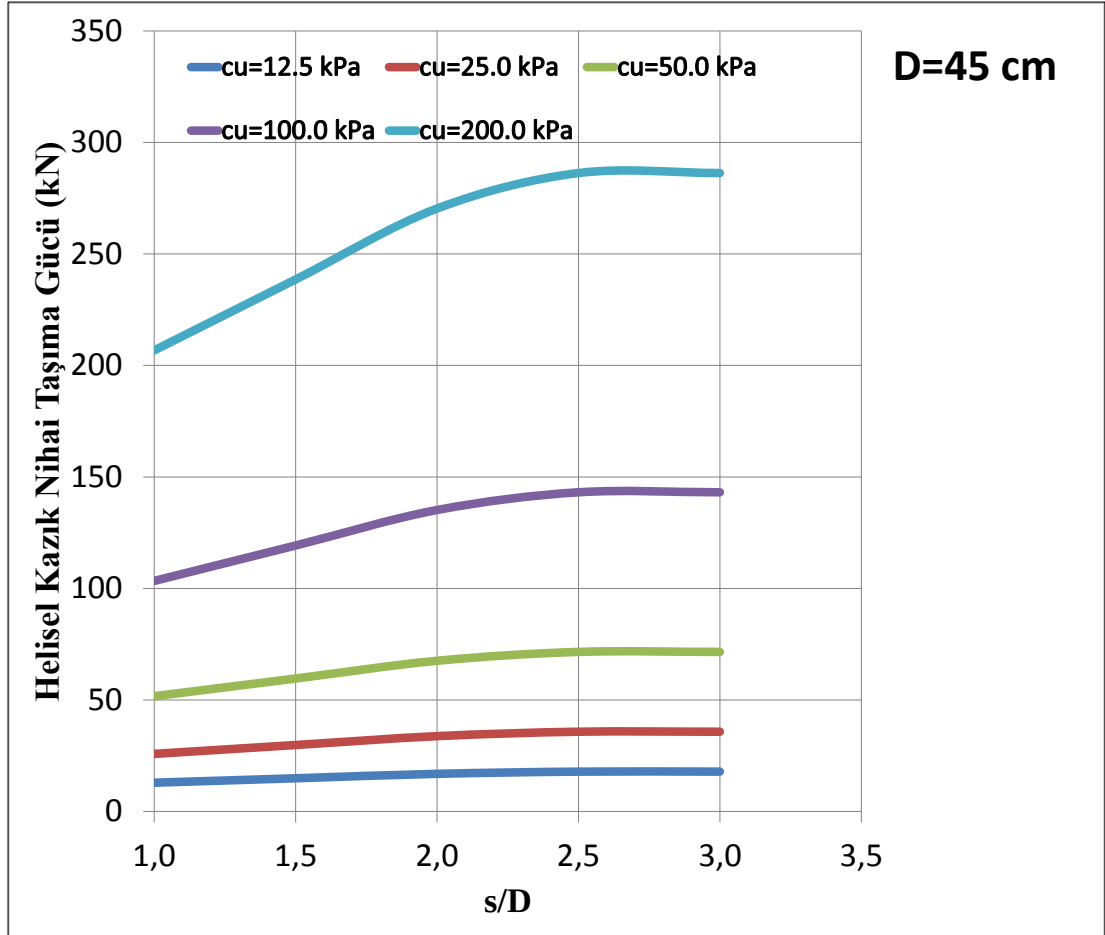


Şekil 3.28 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 45 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.29'da verilmiştir.

Şekil 3.29'da görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 12.9 kN ile 286.3 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayırık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için

s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 45 cm olan ikili helisel kazık için silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

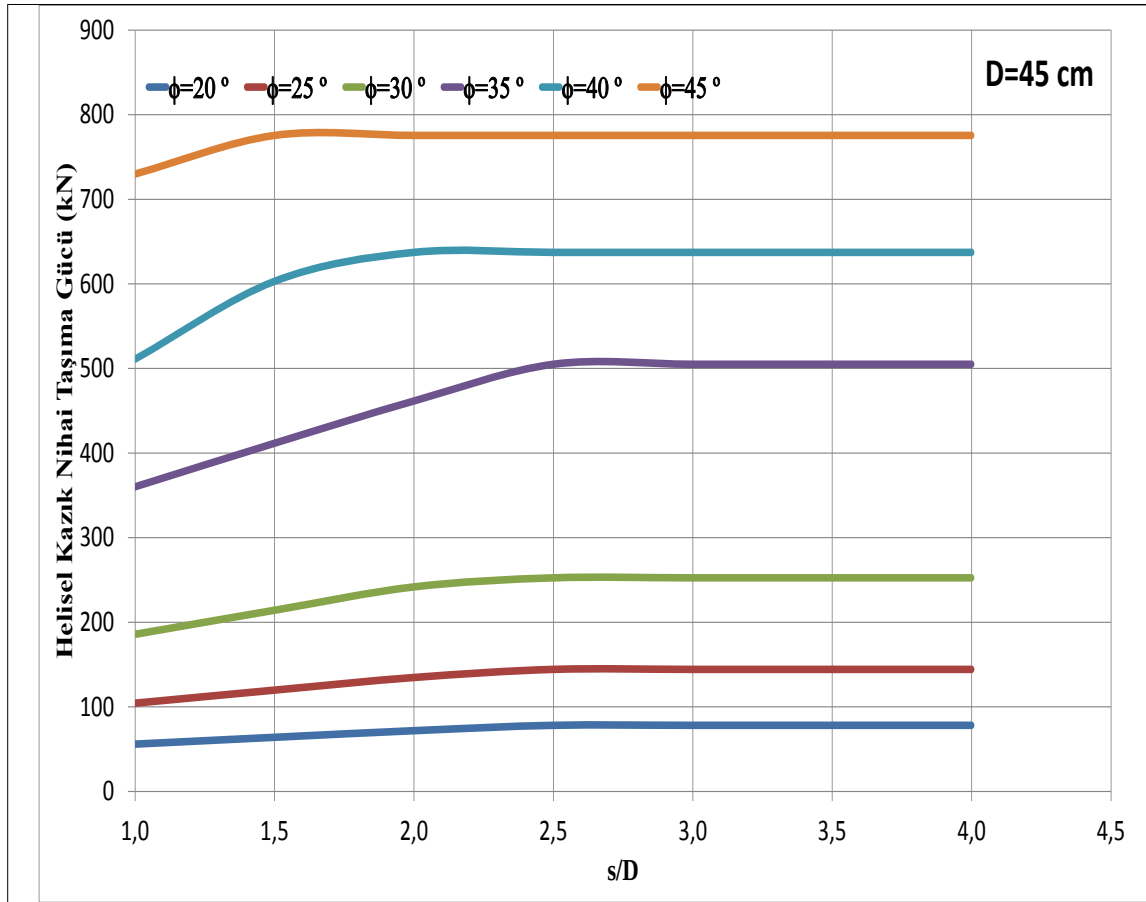


Şekil 3.29 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 45 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.30'da verilmiştir.

Şekil 3.30'da görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 55.9 kN ile 775.5 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayırık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai

taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri ayırık taşıma gücü yöntemdeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 1.5 ile 2.5 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 1.5'ten 2.5'e çıkmaktadır.

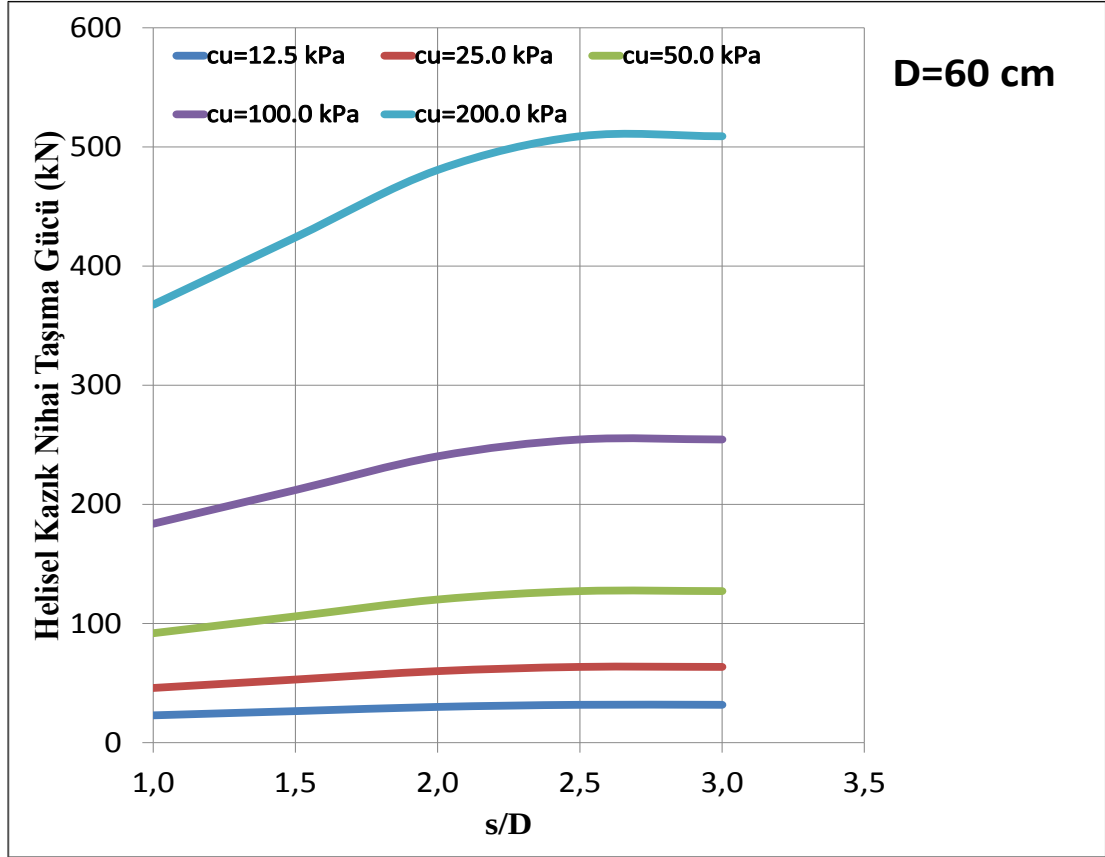


Şekil 3.30 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boy 8 metre olan ve helis çapı 60 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.31'de verilmiştir.

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi zeminin C_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 23.0 kN ile 508.9 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne

geçiş yapmasıdır. Ayırık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 60 cm olan ikili helisel kazık için silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

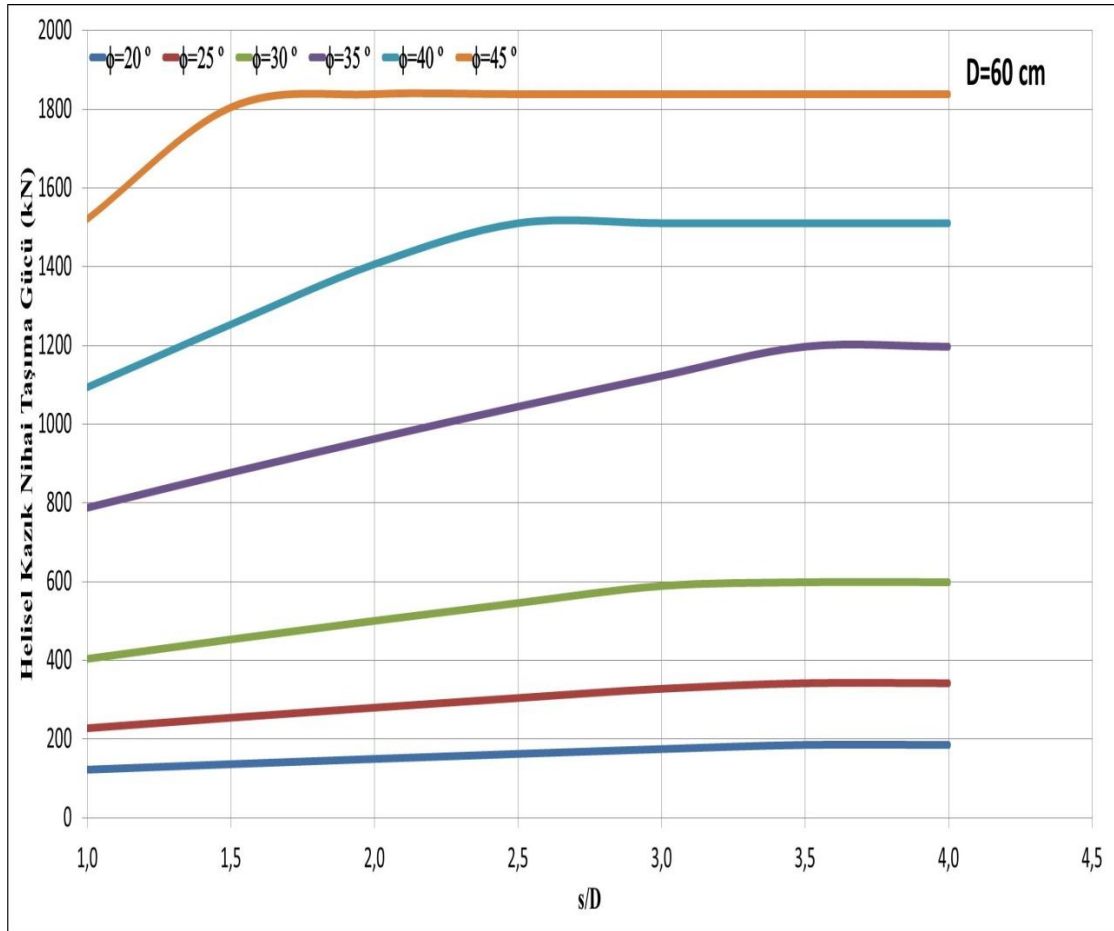


Şekil 3.31 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boy 8 metre olan ve helis çapı 60 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.32'de verilmiştir.

Şekil 3.32'de görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 122.3 kN ile 1838.3 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayırık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri

ayrık taşıma gücü yöntemdeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayrık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Zeminin sürtünme açısının 45° olduğu durumda geçiş s/D oranı 1.5 iken, zeminin sürtünmesi açısı 20° olduğunda s/D oranı 3.5'e çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayrık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 1.5 ile 3.5 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 1.5'ten 3.5'e çıkmaktadır.

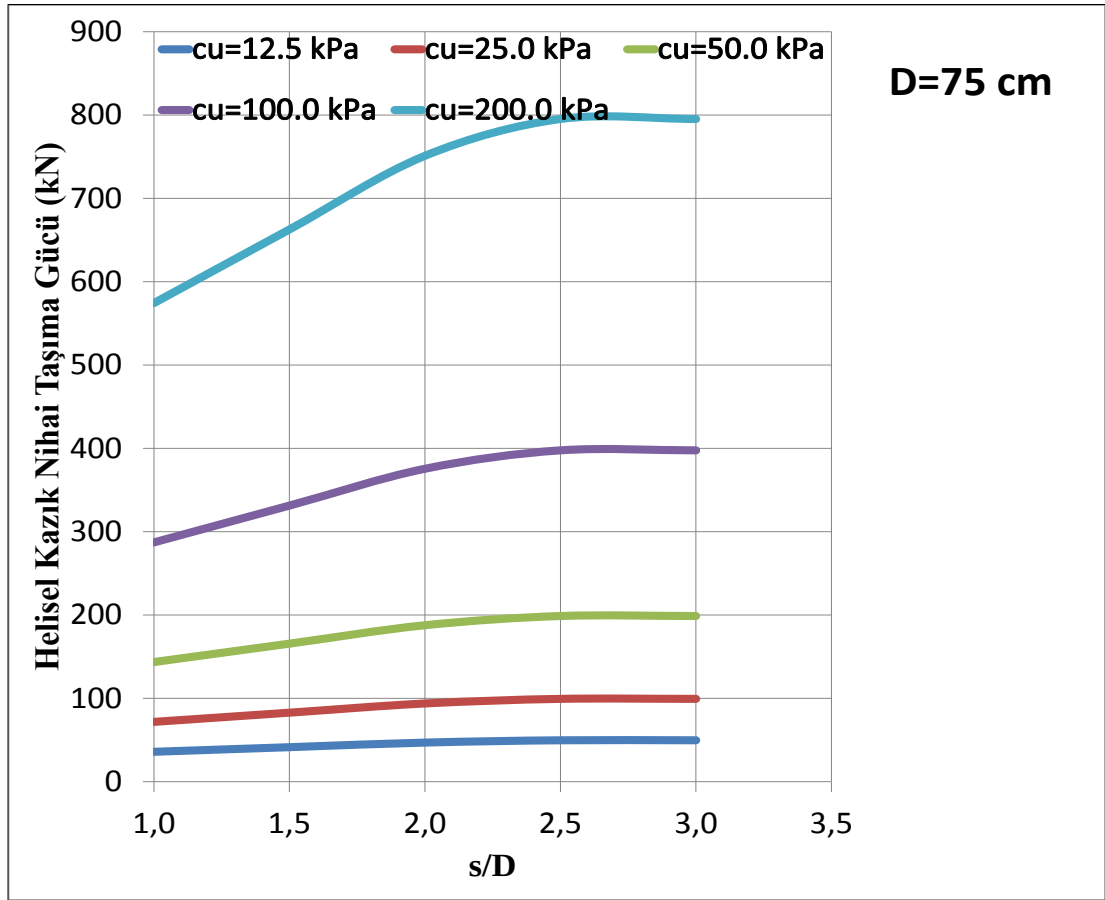


Şekil 3.32 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boy 8 metre olan ve helis çapı 75 cm olan kil zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.33'te verilmiştir.

Şekil 3.33'te görüldüğü gibi zeminin C_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 35.9 kN ile 795.2 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun

sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayrık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kıl zemindeki helis çapı 75 cm olan ikili helisel kazık için silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayrık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

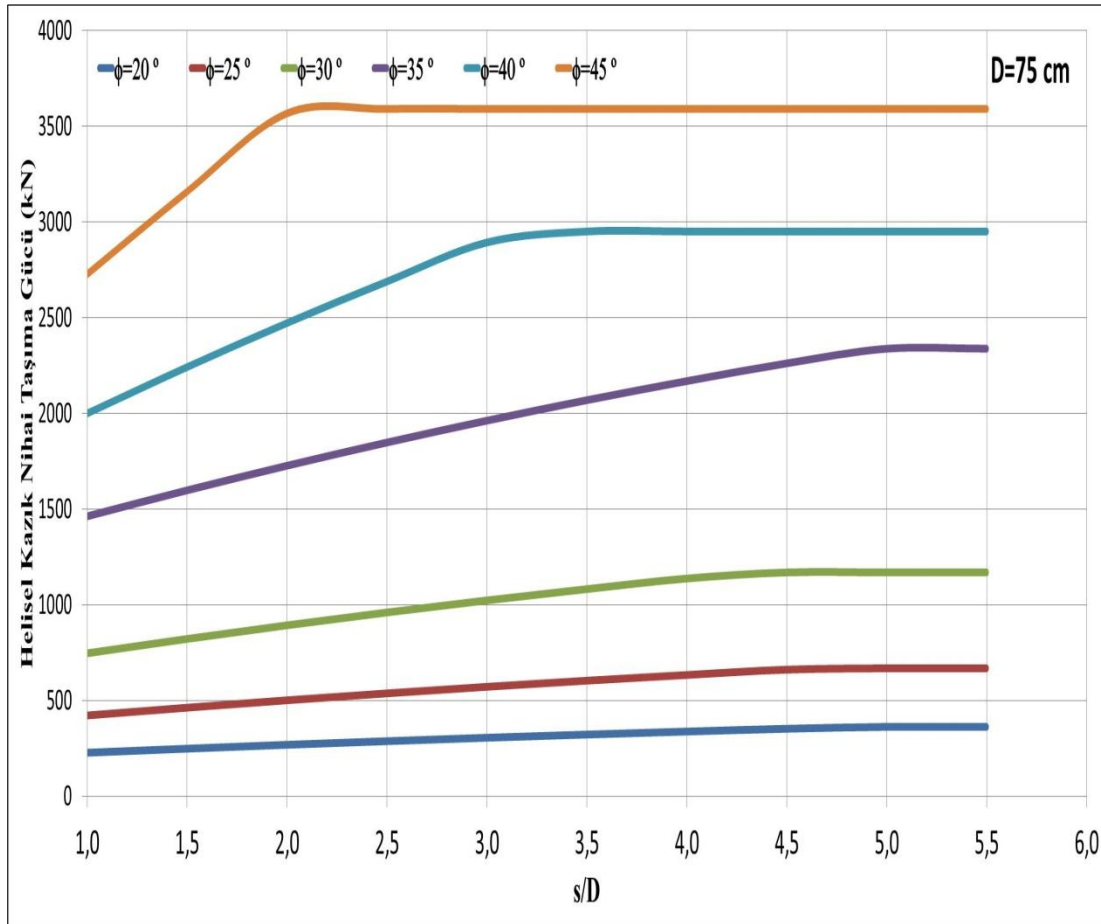


Şekil 3.33 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kıl zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Boy 8 metre olan ve helis çapı 75 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.34'te verilmiştir.

Şekil 3.34'te görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 226.8 kN ile 3590.4 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayrık taşıma gücü

yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri ayırık taşıma gücü yöntemdeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Zeminin sürtünme açısının 45° olduğu durumda geçiş s/D oranı 2 iken, zeminin sürtünmesi açısı 20° olduğunda s/D oranı 5'e çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 2.5 ile 5 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 2.5'ten 5'e çıkmaktadır.

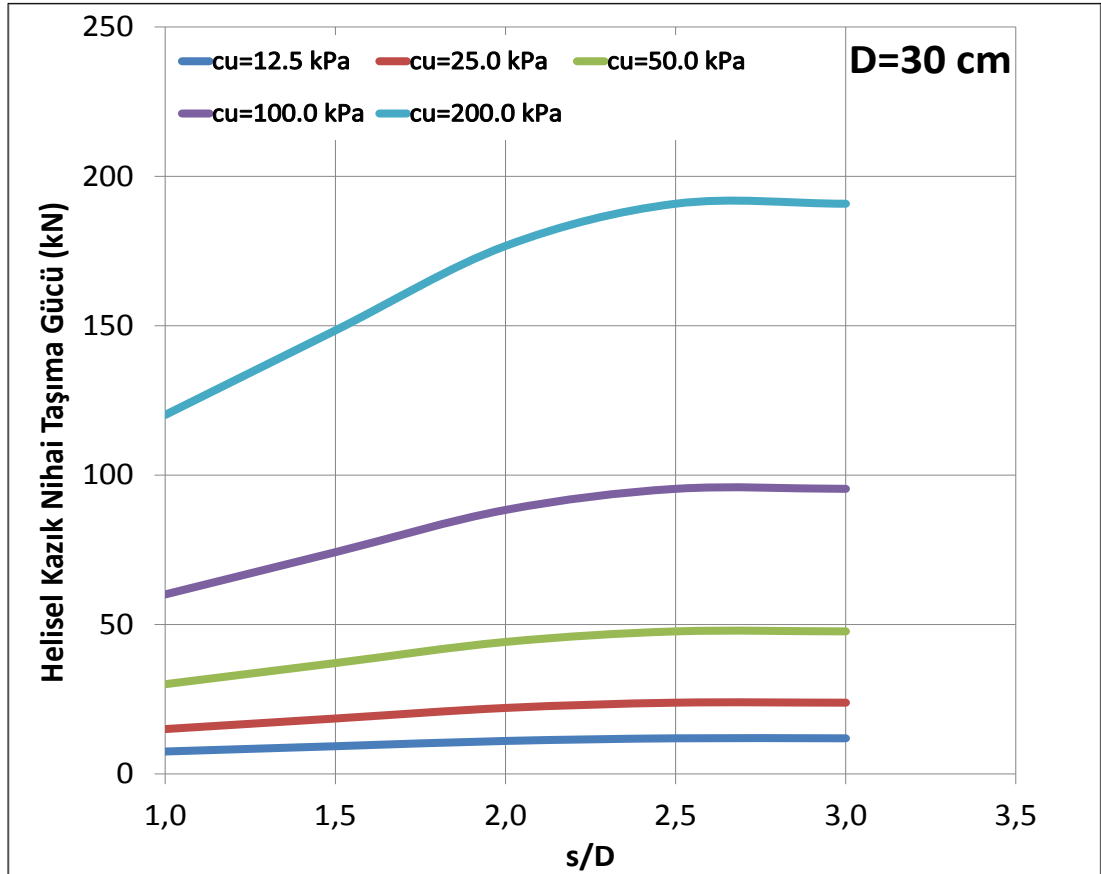


Şekil 3.34 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kum zemindeki ikili helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m)

İnce daneli zeminlerde imal edilen ikili helisel kazıkların, zeminin drenajsız kayma mukavemetinden bağımsız olarak helis çapı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı değişmemektedir ve değeri 2.5'tir. İri daneli zeminlerde imal edilen ikili helisel kazıkların ise zeminin içsel sürtünme

açısına bağlı olarak helis çapı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı da artmaktadır. Helis çapı 30 cm iken zeminin sürtünme açısına bağlı olarak, silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı 1.5 ile 2 arasında değişmektedir. Helis çapı 75 cm'ye çıktığında ise zeminin sürtünme açısına bağlı olarak, silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artarak 2.5 ile 5 arasında değişmektedir. Ayrıca iri daneli zeminlerde zeminin sürtünme açısı azaldıkça silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı da artmaktadır.

Hesaplamaların ikinci kısmında nihai taşıma gücü hesapları ilk olarak boyu 8 metre olan üçlü helisel kazık için yapılacaktır. Boyu 8 metre olan ve helis çapı 30 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.35'te verilmiştir.

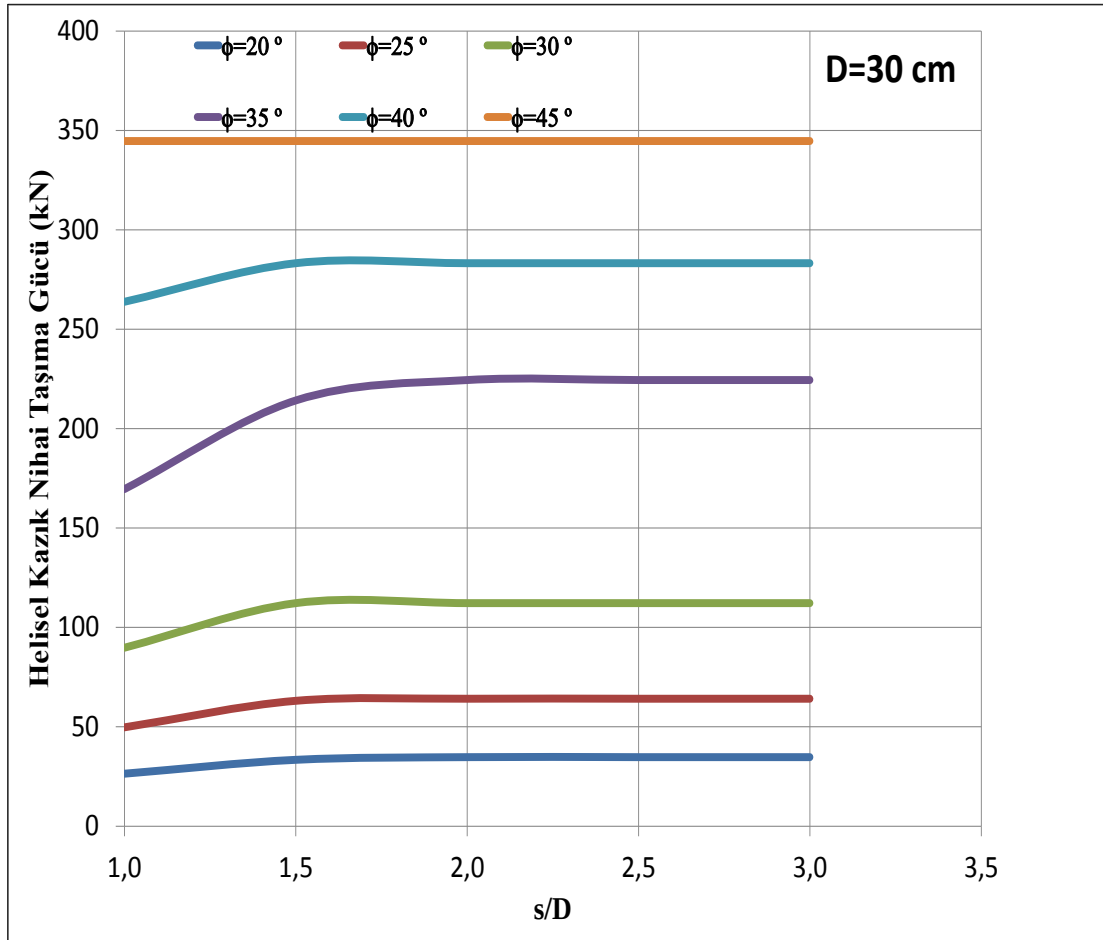


Şekil 3.35 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.35'te görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 7.5 kN ile 190.9 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun

sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayrık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 30 cm olan üçlü helisel kazık için silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayrık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

Boy 8 metre olan ve helis çapı 30 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.36'da verilmiştir.

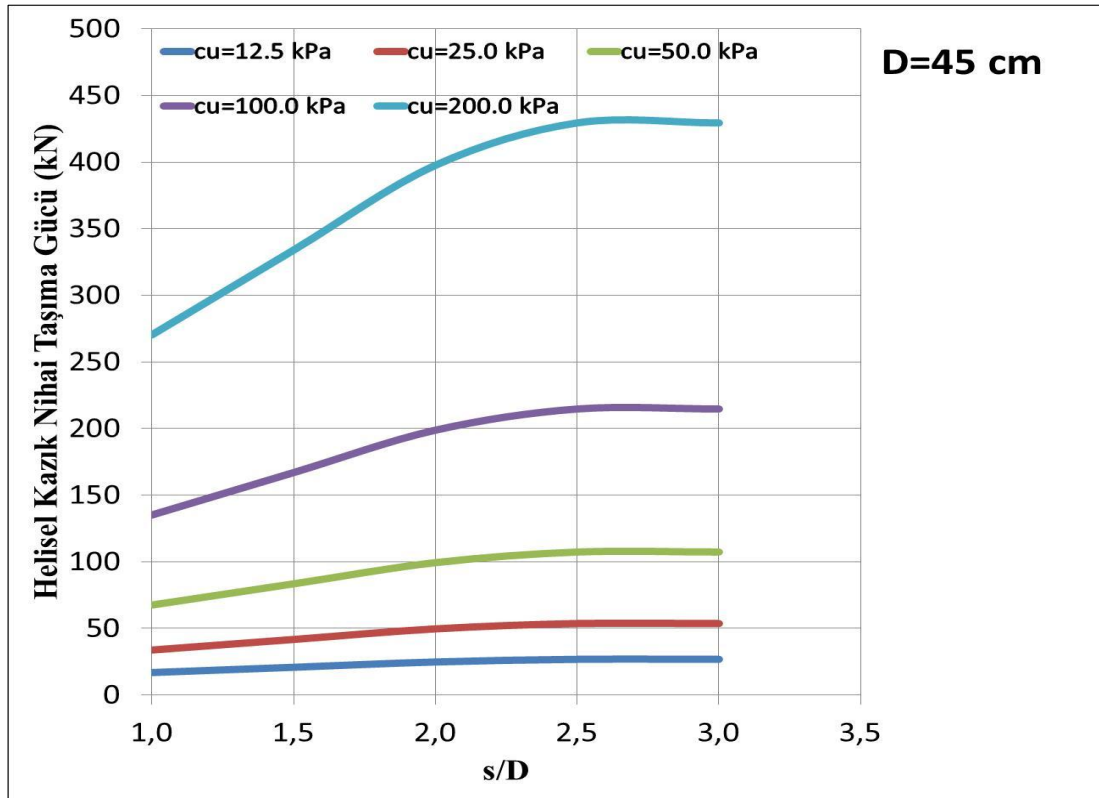


Şekil 3.36 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 30 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.36'da görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 26.4 kN ile 344.7 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur.

Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayrıık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemindeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemindeki taşıma gücü değeri ayrıık taşıma gücü yöntemindeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayrıık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Hatta Şekil 3.28’den de görüleceği gibi sürtünme açısı değeri 45° olduğunda limit durum değeri doğrudan ayrıık taşıma gücü yöntemindeki değerden gelmektedir. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 1.5 ile 2 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° ’ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 1.5’ten 2’ye çıkmaktadır.

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 45 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.37’de verilmiştir.

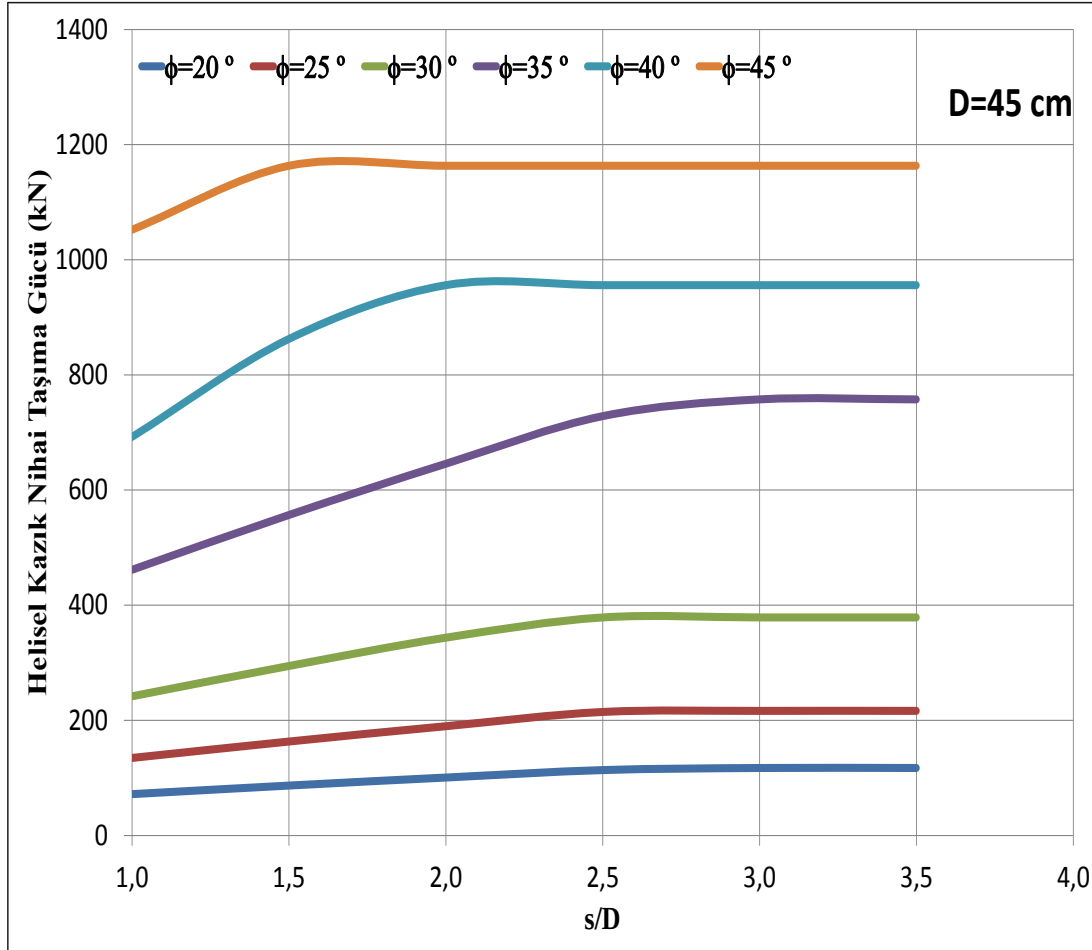


Şekil 3.37 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.37’de görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 16.9 kN ile 429.4 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D ’nin belirli bir değerinden sonra

bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayırık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 45 cm olan üçlü helisel kazık için silindirik kaymadan ayırık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayırık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 45 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.38'de verilmiştir.

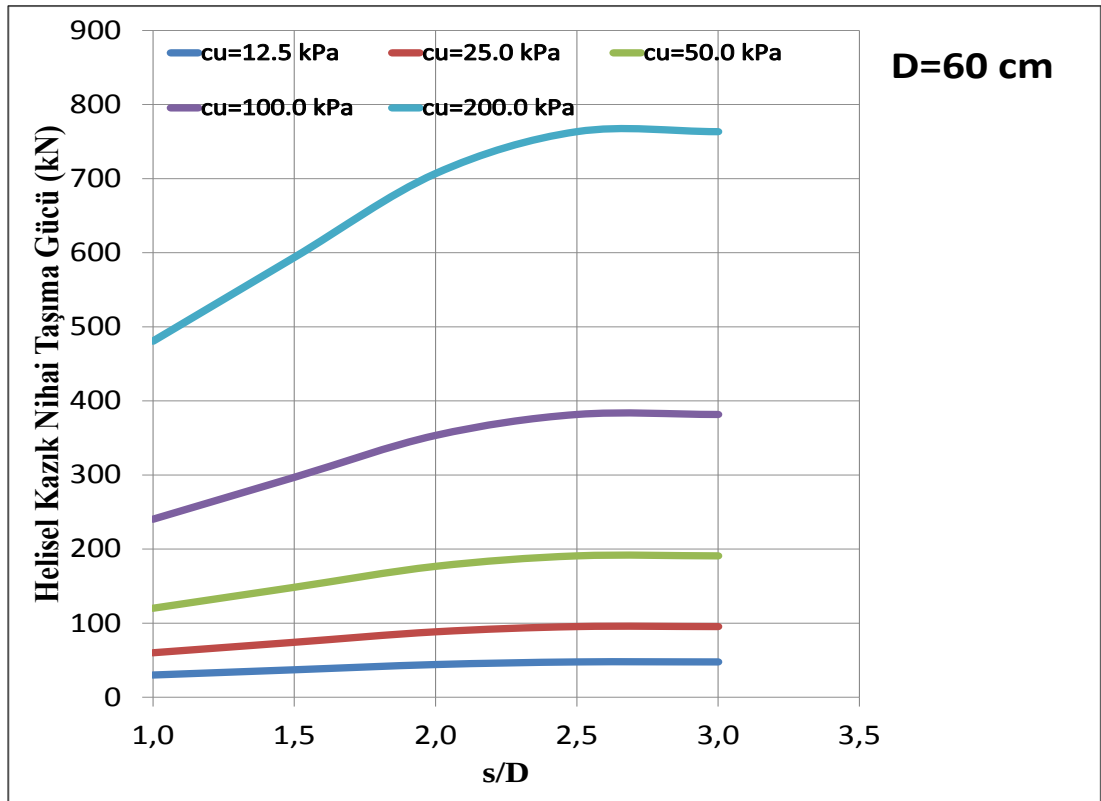


Şekil 3.38 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 45 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.38'de görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 71.8 kN ile 1163.3 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden

farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayrıık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri ayrıık taşıma gücü yöntemindeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayrıık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 1.5 ile 3 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 1.5'ten 3'e çıkmaktadır.

Boyu 8 metre olan ve helis çapı 60 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.39'da verilmiştir.

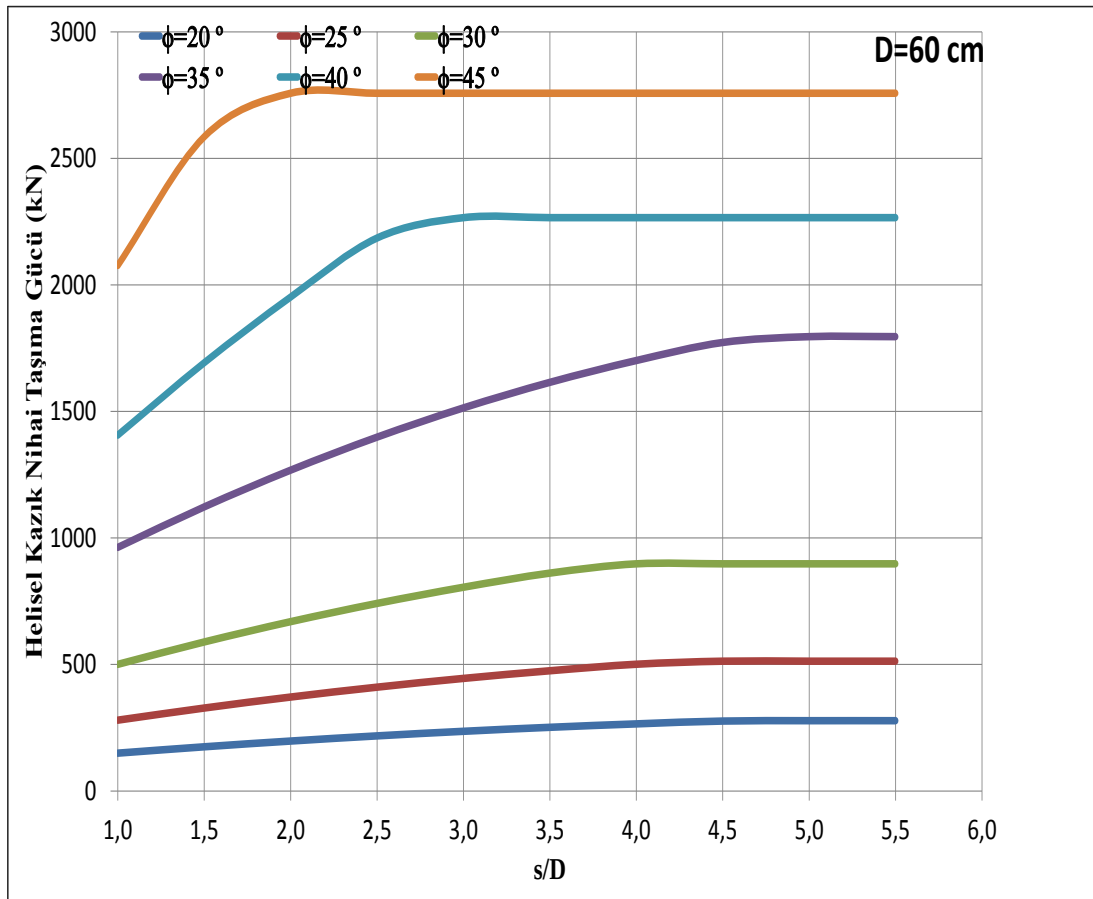


Şekil 3.39 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.39'da görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 30.0 kN ile 763.4 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun

sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayrık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 60 cm olan üçlü helisel kazık için silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayrık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

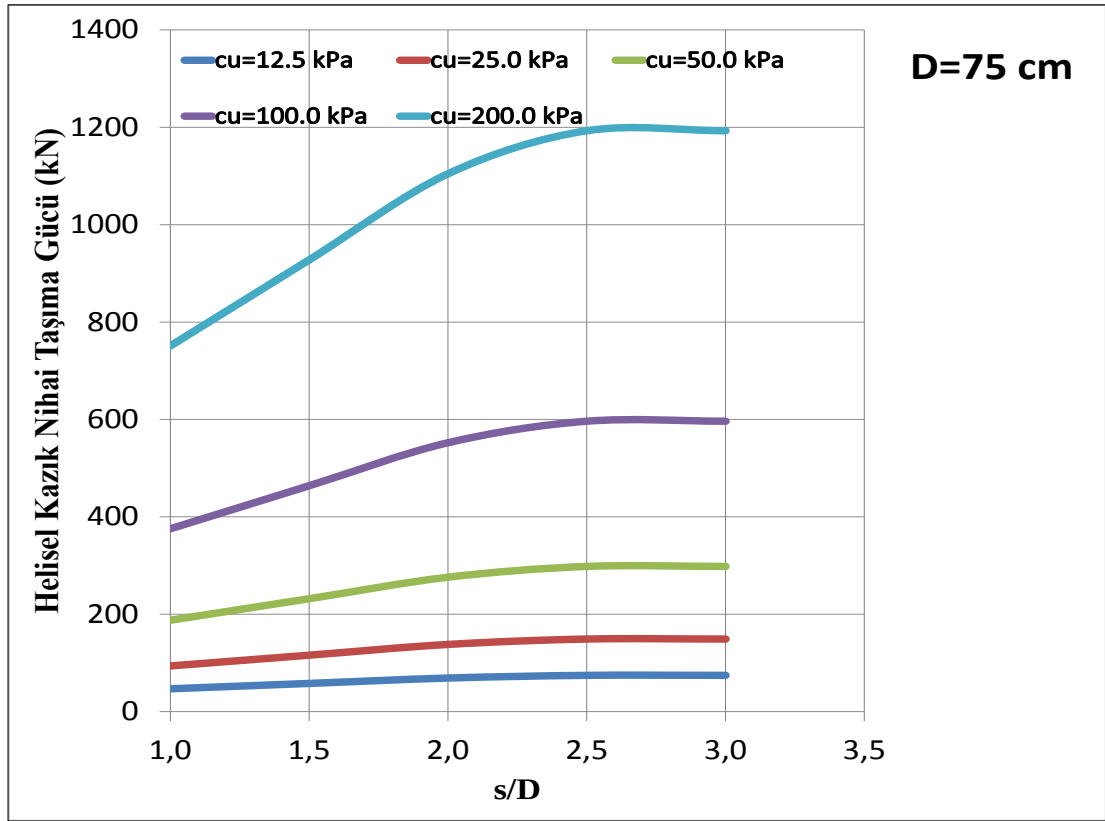
Boy 8 metre olan ve helis çapı 60 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.40'ta verilmiştir.



Şekil 3.40 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 60 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.40'ta görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 149.7 kN ile 2757.4 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur. Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayrık taşıma gücü

yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemdeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemdeki taşıma gücü değeri ayrıık taşıma gücü yöntemdeki taşıma gücü değerine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayrıık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Zeminin sürtünme açısının 45° olduğu durumda geçiş s/D oranı 2 iken, zeminin sürtünmesi açısı 20° olduğunda s/D oranı 5'e çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 2 ile 5 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 2'den 5'e çıkmaktadır. Boyu 8 metre olan ve helis çapı 75 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı c_u değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.41'de verilmiştir.

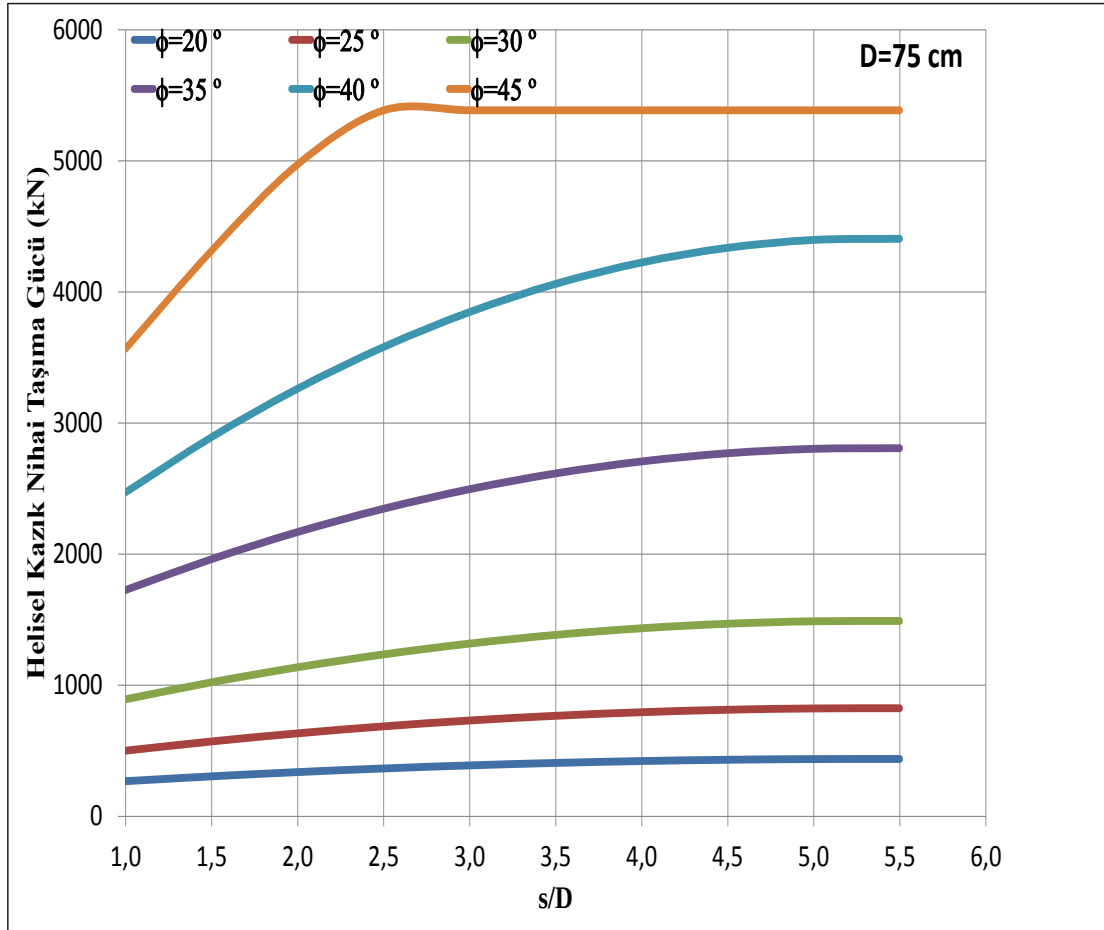


Şekil 3.41 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kil zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.41'de görüldüğü gibi zeminin c_u değerine göre nihai taşıma kapasitesi 46.9 kN ile 1192.8 kN arasında değişmektedir. Ayrıca s/D 'nin belirli bir değerinden sonra bütün c_u değerlerinde nihai taşıma kapasitesinin değişmediği görülmektedir. Bunun

sebebi s/D oranı arttıkça limit durumun silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapmasıdır. Ayrık taşıma gücünde helis aralığı taşıma gücünü etkilemediği için s/D oranı artsa bile nihai taşıma gücü değeri sabit kalmaktadır. Kil zemindeki helis çapı 75 cm olan üçlü helisel kazık için silindirik kaymadan ayrık taşıma gücüne geçiş yapan kritik s/D oranı 2.5'tir. s/D oranı 2.5'i geçtikten sonra limit durum analizindeki küçük olan değer ayrık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olduğu için helis aralığının artması nihai taşıma gücünü etkilememektedir. 5 farklı c_u değeri için de geçiş s/D oranı 2.5 olmuştur.

Boy 8 metre olan ve helis çapı 75 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma güçleri, farklı s/D oranları ve farklı ϕ değerleri ile hesaplanarak Şekil 3.42'de verilmiştir.



Şekil 3.42 : Helisel taşıma plakası çapı (D) 75 cm olan kum zemindeki üçlü helisel kazık için nihai taşıma gücü kapasiteleri (L=8.0 m).

Şekil 3.42'de görüldüğü gibi zeminin sürtünme açısı değerine göre nihai taşıma kapasitesi 268,2 kN ile 5385,6 kN arasında değişmektedir. İnce daneli zeminlerden farklı olarak tüm sürtünme açısı değerleri için kritik bir geçiş s/D oranı yoktur.

Bunun sebebi zeminin sürtünme açısı değeri artarken hem ayrıık taşıma gücü yöntemindeki nihai taşıma gücü artmakta, hem de silindirik kayma yöntemindeki nihai taşıma gücü artmaktadır. Ancak silindirik kayma yöntemindeki taşıma gücü değeri ayrıık taşıma gücü yöntemindeki taşıma gücü değeriine oranla çok daha fazla arttığı için limit durumdaki taşıma gücü ayrıık taşıma gücü yönteminden elde edilen değer olmaktadır. Kısacası iri daneli zeminlerde kritik s/D oranı zeminin sürtünme açısı değeri büyüdükçe azalmaktadır. Zeminin sürtünme açısının 45° olduğu durumda geçiş s/D oranı 2.5 iken, zeminin sürtünmesi açısı 20° olduğunda s/D oranı 5.5'e çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında ise silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçişteki kritik s/D oranı 2.5 ile 5.5 arasında değişmektedir. Sürtünme açısı değeri 20° 'ye yaklaştıkça geçiş s/D oranı 2.5'ten 5.5'e çıkmaktadır.

İnce daneli zeminlerde imal edilen üçlü helisel kazıkların, zeminin drenajsız kayma mukavemetinden bağımsız olarak helis çapı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı değişmemektedir ve değeri 2.5'tir. İri daneli zeminlerde imal edilen üçlü helisel kazıkların ise zeminin sürtünme açısına bağılı olarak helis çapı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı da artmaktadır. Helis çapı 30 cm iken zeminin sürtünme açısına bağılı olarak, silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı 1.5 ile 2 arasında değişmektedir. Helis çapı 75 cm'ye çıktığında ise zeminin sürtünme açısına bağılı olarak, silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artarak 2.5 ile 5.5 arasında değişmektedir. Ayrıca iri daneli zeminlerde zeminin sürtünme açısı azaldıkça silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı da artmaktadır.

İnce daneli zeminlerde imal edilen helisel kazıkların ikili ve üçlü helis sayısından bağımsız olarak silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı değişmemektedir ve 2.5'tir.

İri daneli zeminlerde imal edilen helisel kazıkların ikili ve üçlü helis sayısına ve helis çapına bağılı olarak silindirik kayma yönteminden ayrıık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı değişmektedir. Helis çapı ve sayısı arttıkça geçiş s/D oranı artmaktadır.

Daha büyük şafta ve helise sahip helisel kazıklar da kullanılmaktadır. Sakr (2010) hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerdeki yüksek kapasiteli helisel kazıkların taşıma gücünü incelemiştir. Sakr'ın kullandığı bu helisel kazıkların helis çapı 91.4 cm ve 101.6 cm mertebelerindedir. Şaft çapı ise sırasıyla 40 cm ve 50

cm'dir. Kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminde imal edilen helisel kazıkların tek bir helisel taşıma plakası vardır.

Yapılan sondajlara göre kohezyonsuz zeminin sürtünme açısı ilk 11.5 metrede 35°, daha derinlerde ise 40°'ye çıkmaktadır. Helis çapı 91.4 cm ve 101.6 cm olan helisel kazıkları boyu 6 metredir. Yükleme testlerine helis çapı 91.4 cm olan helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi 2533 kN, helis çapı 101.6 cm olan helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi 2200 kN olarak bulunmuştur.

Helis çapı 91.4 cm ve kazık boyu 6 metre olan yukarıdaki paragrafta tariflenen kohezyonsuz zemin profilindeki tekil bir helisel kazığın adhezyon terimi ihmal edilerek hesaplanmış teorik nihai taşıma kapasitesi 1915 kN'dur. Helis çapı 101.6 cm ve kazık boyu 6 metre olan yukarıdaki paragrafta tariflenen zemin profilindeki tekil bir helisel kazığın adhezyon terimi ihmal edilerek hesaplanmış teorik nihai taşıma kapasitesi 2490 kN'dur.

Kohezyonsuz zemindeki 91.4 cm helis çapına sahip helisel kazığın teorik kapasitesinin yükleme testlerinden elde edilen kapasiteye oranı %76'dır. Kohezyonsuz zemindeki 101.6 cm helis çapına sahip helisel kazığın teorik kapasitesinin yükleme testlerinden elde edilen kapasiteye oranı %113'tür.

Yapılan sondajlara göre kohezyonlu zeminin drenajsız kayma mukavemeti ilk 2 metrede 100 kPa, 2-4 metre arasında 200 kPa, 4-6.5 metre ise 400 kPa'dır. Helis çapı 91.4 cm ve 101.6 cm olan helisel kazıkları boyu 6 metredir. Yükleme testlerine helis çapı 91.4 cm olan helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi 2292 kN, helis çapı 101.6 cm olan helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi 2400 kN olarak bulunmuştur.

Helis çapı 91.4 cm ve kazık boyu 6 metre olan yukarıdaki paragrafta tariflenen kohezyonlu zemin profilindeki tekil bir helisel kazığın adhezyon terimi dikkate alınarak hesaplanmış teorik nihai taşıma kapasitesi 2054 kN'dur. Helis çapı 101.6 cm ve kazık boyu 6 metre olan yukarıdaki paragrafta tariflenen zemin profilindeki tekil bir helisel kazığın adhezyon terimi dikkate alınarak hesaplanmış teorik nihai taşıma kapasitesi 2519 kN'dur.

Kohezyonlu zemindeki 91.4 cm helis çapına sahip helisel kazığın teorik kapasitesinin yükleme testlerinden elde edilen kapasiteye oranı %90'dır. Kohezyonsuz zemindeki 101.6 cm helis çapına sahip helisel kazığın teorik kapasitesinin yükleme testlerinden elde edilen kapasiteye oranı %105'tir.

Helisel plaka çapı arttıkça, hem kohezyonsuz hem de kohezyonlu zeminde teorik kapasitenin ölçülen kapasiteye oranının arttığı görülmektedir.

4. HELİSEL KAZIKLARIN EKSENAL VE YANAL YÜKLEME TESTLERİ

4.1 Giriş

Sahada yapılan yükleme testleri, hesaplanan teorik kapasiteleri test etmek için ideal bir yöntemdir. Bu bölümde helisel kazıklar ve helisel ankrajlar üzerinde yapılan basınç, çekme testlerinden ve yanal yükleme testlerinden bahsedilecektir. Helisel kazık ve helisel ankrajlara özel, yükleme sırasında dikkat edilecek noktalara değinilecektir. Test sonuçlarının değerlendirilmesi de bu bölümün kapsamı içindedir.

4.2 Basınç Testi

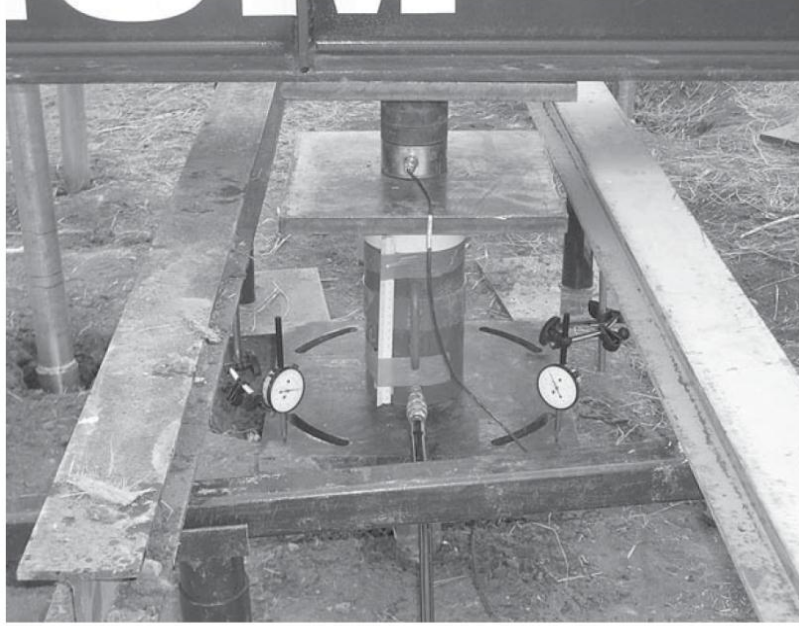
Helisel kazıkların basınç testi ASTM D1143-07 standartına göre yapılır. Bu yöntemde göre test kazığının üstüne yükleme çerçevesi inşaa edilir. 4 adet reaksiyon kazığı test kazığının etrafına, aralarındaki mesafe eşit olacak şekilde yerleştirilir. Reaksiyon kazıkları ile test kazığı arasındaki mesafe helisel taşıma plakası çapının asgari 4 katı kadar olacaktır. Eğer bu mesafe 2.5 metreden küçük ise kazıklar arasındaki mesafe 2.5 metre olacaktır. Bu mesafe belirlenirken göz önüne alınacak helisel taşıma plaka çapı, helisel kazıkta bulunan en geniş helisel taşıma plakasının çapına eşittir. Basınç testi için örnek bir çerçeve yerleşimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Örnek bir basınç testi çerçevesi (Magnum Piering Limited Şirketi).

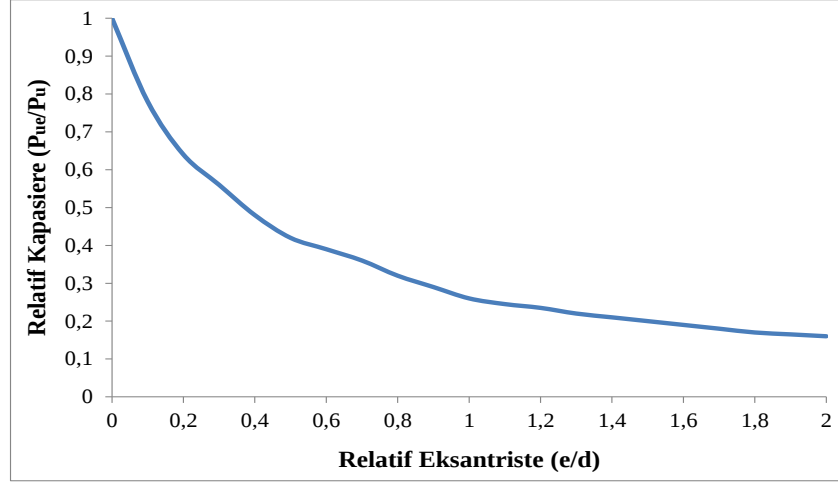
ASTM D1143-07 test kazığındaki deplasmanları gözlemleyebilmek için birincil ve ikincil yöntemleri belirtmiştir. Birincil yöntem 2 adet ekstensometreyi içerir. İkincil yöntemde ise kazık şaftına, kazık başlığına eklenmiş bir cetvel vardır. Kazığın hareketi optik okuyucu veya topoğrafik ölçüm cihazı kullanılarak yapılabilir.

Şekil 4.2'deki helisel kazığın üzerindeki ölçüm elemanları ve diğer elemanlar daha detaylı bir şekilde görülebilmektedir. 2 adet ekstensometre karşılıklı olarak kazık başlığına yerleştirilmiştir. Kazığın üstüne bir adet hidrolik şahmerdan yerleştirilmiştir ve bu şahmerdan kazığın merkezi ile hizalanmıştır. Mühendisin yerleştirdiği cetvel de bu şekilde görünmektedir. Elektronik bir yük hücresi şahmerdan ile ana reaksiyon kirişi arasına yerleştirilmiştir. Reaksiyon kirişi şahmerdanın ve helisel kazığın üstündedir ve kiriş, şahmerdan ve kazığın merkezine göre ortalanarak yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2 : Basınç testindeki ölçüm aletleri (Magnum Piering Limited Şirketi).

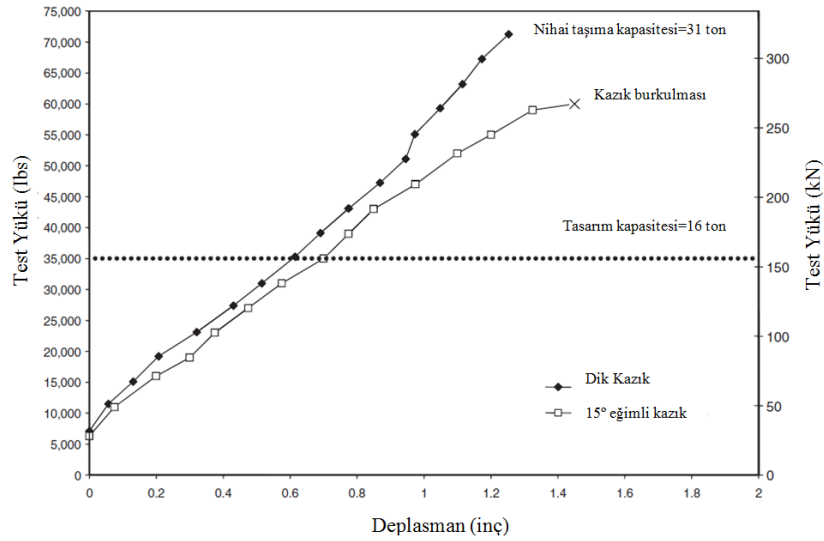
Şahmerdanın ve reaksiyon kirişinin kazık merkezine göre ortalanması çok kritik bir konudur. Eğer şahmerdan ve kiriş, kazık merkezine göre ortalanarak yerleştirilmezse eksantiriste ortaya çıkar. Bu durum sonucunda da normal kuvvetin yanında eğilme momenti de kazığa etkir. 4-5 cm'den daha fazla eksantiriste değerinin olduğu durumlarda da kazık, nihai basınç durumundan daha az bir yükü yenilebilir (Perko, 2009). Farklı kazık boyutları için eksantristenin kapasiteye etkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Eksantristenin kazık kapasitesine etkisi (Perko, 2009).

Şekil 4.3'ten görüleceği gibi gibi eksantriste arttıkça kazığın basınç kuvvetlerine karşı dayanımı azalmaktadır.

Bir diğer kritik husus ise helisel kazığın düşeyliğidir. Perko (2009) tarafından yapılan testlerde zemin yüzeyine dik olarak teşkil edilemeyen helisel kazıkların test sırasındaki basınç dayanımı, hesap basınç dayanımından daha düşük çıkmaktadır. Bu durumu göstermek için aynı zemin profilinde 2 adet helisel kazık imal edilmiştir. Kazıklardan biri zemin yüzeyine dik imal edilmiş olup, diğer kazık düşey ekseninden 15° saptırılarak imal edilmiştir. Bu iki kazığın nihai yükü 31 ton olarak hesaplanmıştır. Zemin yüzeyine dik imal edilen kazık 31 tona kadar herhangi bir zorluk çıkmadan yüklenebilmiştir. Zemin yüzeyine eğimli olarak imal edilen kazık ise 27 ton ile yüklenince kazık burkulması gerçekleşmiştir. Bu durum Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Kazık eğiminin test sonuçlarına etkisi (Perko, 2009).

4.3 Çekme Testi

Helisel ankrajlar üzerinde yapılan çekme testleri iki gruba ayrılabilir. Bu testlerden birincisi kabul testi, diğeri de performans testidir. Kabul testleri kazı destek sistemlerinin inşaatında kaliteyi sağlamak için yapılan testlerdir. Kabul testinin sayısı tasarımda kullanılan güvenlik sayısına, tasarımcının ve müteahhitin tecrübesine ve zemin profilinin değişkenliğine, yapının önemine ve sistemin geçici veya kalıcı olup olmasına bağlıdır. Değişken zemin profiline sahip yüksek kazı destek sistemlerindeki helisel ankrajların hepsine kabul testi yapmak büyük fayda sağlar. Kabul testi tipik olarak izin verilebilir ankraj yükünün %80 ile %120 arasındaki bir yük ile helisel ankrajın test edilmesidir. Bu test esnasında istenirse ankraj boyundaki değişim de ölçülebilir. Kabul testindeki kabul yükü ankraj hareketi durana kadar kaldırılmamalıdır. Testi bitirmek için de kabul yükü tamamen kaldırılabilir ya da öngerme yüküne getirilerek ankraj kilitlenebilir.

Performans testleri ise daha sıkı ve genellikle tasarım kriterlerini göz önüne alarak ankrajın performansını tahkik etmek için yapılan testlerdir. Performans testlerini her projede 2 veya 3 adet ankrajda uygulamak yeterli olabilir. Eğer inşaat sahasındaki zemin profili çok değişkenlik gösteriyorsa, bu testlerin sayısı artırılabilir.

Performans testleri ASTM D3689 şartnamesine göre yapılır. Performans testleri için başka şartnamelerde kullanılmaktadır. Performans testlerinde ankraj tasarım yükünün %150'si ya da %200'üne kadar yükleme yapılır. Yük arttırım değeri ankraj tasarım yükünün %10'u ile %25'i arasındadır. Ankraj uzaması ekstensometre ile ölçülür. Her yük arttırımı belirli bir zaman periyodu geçtikten sonra yapılır. Final test yükündeki bekleme süresi hangi şartnamenin kullanıldığına göre değişir.

Helisel ankraj üzerinde yapılan performans testi Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Helisel ankrajda performans testi (Magnum Piering Limited Şirketi).

Helisel kazık üzerinde yapılan çekme testi Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Test prosedürü bir sonraki bölümde işlenecektir.



Şekil 4.6 : Helisel kazıkta çekme testi (Magnum Piering Limited Şirketi).

4.4 Yükleme Prosedürü

ASTM D1143 ve D3689 statik eksenal basınç ve çekme testi için bir çok yükleme prosedürü içerir. Bu prosedürlerde yüklemenin yapılacağı zaman aralığı, yükleme arttırım düzeni ve yapılacak deplasman okumalarının sıklıkları değişmektedir. ASTM standartlarındaki yükleme testi çeşitleri şu şekildedir; tekrarlı yükleme, çabuk yükleme, aşırı yükleme, sabit zaman aralıklı yükleme, sabit penetrasyon oranlı yükleme ve sabit oturma oranlı yüklemedir. Belirli bir oranda yük arttırımı, daha sonra bu yükte belirli bir süre beklenilmesi ve daha sonra okumaların alınması bu testlerin ortak özellikleridir.

Helisel kazıklar ve helisel ankrajlar uygulanan kuvvetlere karşı çabuk bir şekilde reaksiyon gösterdikleri için çabuk yükleme testi helisel kazıklar ve helisel ankrajlar için kullanılan en yaygın test prosedürüdür.

Bu yükleme prosedüründe kazık veya ankraj yenilmeye uğrayana kadar yükleme yapılır. Ancak genellikle tasarım yükünün 2 katına ulaşıldığında test sonlandırılır. Bazı mühendisler tasarım yükünün %200’üne ulaşıldığında asgari 30 dakika kadar ya da deplasmanlar 0.25mm/sa mertebesine düşene kadar beklenilmesini önermektedir (Perko, 2009). Ancak ASTM’de böyle bir işlemde bahsedilmemektedir.

Çabuk yükleme testindeki yük arttırım değerleri tasarım değerinin %5 olacak şekildedir. %5’lik arttırım değerleri ile test yüküne kadar çıkılır. Her yükleme kademesinde 4 dakika beklenir ve 30. saniyede, 1. dakikada, 2. dakikada ve 4.

dakikada okumalar alınır. Bu işlemler her yük kademesi için test yüküne kadar tekrar edilir. Test yüküne ulaşıldıktan sonra 4 dakika bu yükte tutulup, okumalar alınabileceği gibi bir önceki paragrafta belirtilen işlem de uygulanabilir. Test yükündeki okumalar da alındıktan sonra tasarım değerinin %5'i yük azaltımlarına başlanmalıdır ve yine aynı şekilde her yükleme kademesinde 4 dakika beklenip belirtilen sürelerde okumalar alınmalıdır ve son yük azaltım kademesindeki okumalar alındıktan sonra test sonlandırılmalıdır.

4.5 Yükleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eksenal basınç ve çekme testlerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için bir kaç yöntem kullanılmaktadır. Ek bir yükleme yapılmadan kazık veya ankraj üzerindeki yer değiştirmelerin artmaya devam ettiği en büyük yüke nihai taşıma kapasitesi denir. Bu yaklaşım tamamiyle dayanımı göz önüne alan bir yaklaşımdır ve kazığın yaptığı deplasmana herhangi bir sınırlama getirmez. Oysaki kazık nihai taşıma gücüne ulaşmasa bile kazıkta meydana gelecek deplasmanlar kazığın servis görevini yerine getirememesine neden olabilir. Birçok yapı hareketlere karşı hassastır ve yapılar tasarlanırken bu hareketlerin sınırlandırılması gerekmektedir. Bu sebepten ötürü kazığın kapasitesi yaptığı deplasman bağlı olarak sınırlandırılır.

Deplasmanı belirli bir değerde sınırlandırarak test sonuçlarından taşıma gücü elde etmek en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Kazığı veya ankrajı belirli bir deplasmanda sınırlamak için yapının hassasiyetini de göz önüne almak gerekir. 1 cm ile 2.5 cm arasındaki deplasmanlar genellikle kabul edilen sınırlardır.

Mühendisler ve akademisyenler bir çok yükleme testi değerlendirme yöntemi kullanmaktadır. Fleming ve diğ. (1985) kazık shaftı boyunca oluşan deplasmanların genellikle 5mm'den küçük değerler olduğunu belirtmiştir. İri daneli zeminler için kazık taban çapının %20'sine kadar, ince daneli zeminler için ise kazık taban çapının %10'una kadar oluşan deplasmanlarda kazık uç direncine ulaşılmadığı görülmüştür. Helisel kazıklar ince ve pürüzsüz shaft bölgesi ve geniş helisel taşıma plakalarından ötürü uç kazığı gibi davranmaya yatkındırlar. Yapılacak bu değerlendirme yöntemine göre kazığın uç direncine ulaştığı kabul edilecektir. Aksi taktirde kazığın kapasitesi gerçekte olduğundan daha az hesaplanabilir.

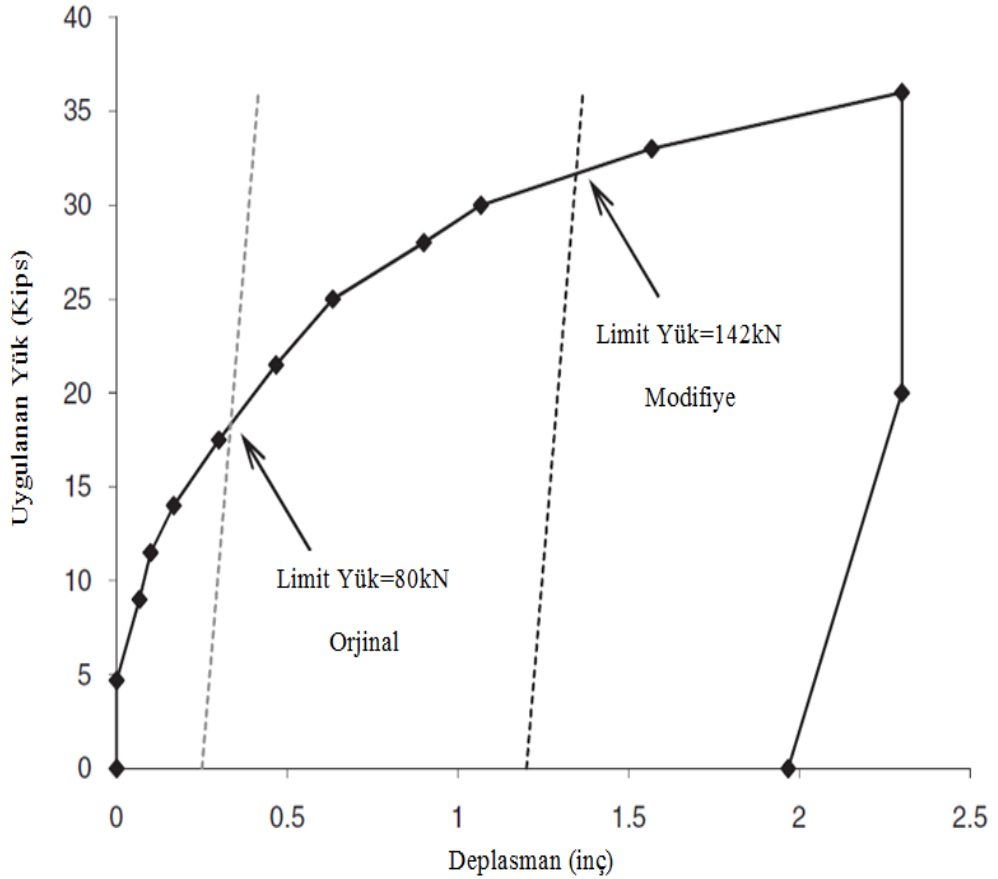
Helisel kazıkların yükleme testlerini değerlendirirken en yaygın kullanılan yöntem Davisson yöntemidir (Perko, 2009). Bu yöntemde göre helisel kazığın nihai taşıma

kapasitesi, helisel kazığın veya helisel ankrajın helisel taşıma plakası çapının %10'u kadar net deplasman yaptığı anda uygulanan yüküdür. Net deplasman, kazığın toplam deplasmanından şaftın elastik kısalması veya uzaması çıkarılarak bulunur. Şaftın elastik kısalması veya uzaması denklem 4.1 ile hesaplanır.

$$\delta = P_z / A_g E \quad (4.1)$$

δ şaftın elastik kısalması veya uzamasıdır. P kazığı yüklenen yüküdür, z kazık şaftının uzunluğu, A_g şaft kesitinin brüt çapı, E terimi de kazık şaft çeliğinin elastisite modülüdür.

Davisson Yöntemi için bir örnek Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Nokta şeklindeki veriler 76 mm şaft çapına, 305 mm helisel taşıma plaka çapına sahip olan üçlü helisel kazığa aittir. Kazığın uç noktası buzul tilinin içindedir. Eğimli noktalı çizgiler Denklem 4.1'den elde edilmiştir. İkinci noktalı çizgi helisel taşıma plakası çapının %10'una karşılık gelen değerdir. Bu çizginin yük-deplasman eğrisi ile kesiştirilmesi modifiye Davisson Yöntemi'dir.



Note: 1 kip= 4.45 kN, 1 in= 25.4 mm

Şekil 4.7 : Davisson yöntemi (Davisson; 1972, 2007).

Helisel kazığın helisel taşıma plakası çapı 305 mm'dir ve tasarım yükünün %200'üne kadar yüklediğinde genellikle 10 mm mertebelerinde elastik uzama veya kısılma gerçekleşmektedir (Perko, 2009). Modifiye Davisson Yönteminde göre bunun anlamı test yükünde 20 mm, tasarım yükünde 10 mm deplasmandır. Bu değerler kabul edilebilir değerlerdir. Daha büyük helisel taşıma plakası çaplarında Modifiye Davisson Yöntemi uygulanamayabilir. Bu durumda izin verilebilir deplasmanda bir miktar daha sınırlandırmaya gidilebilir.

4.6 Yanal Yükleme Testi

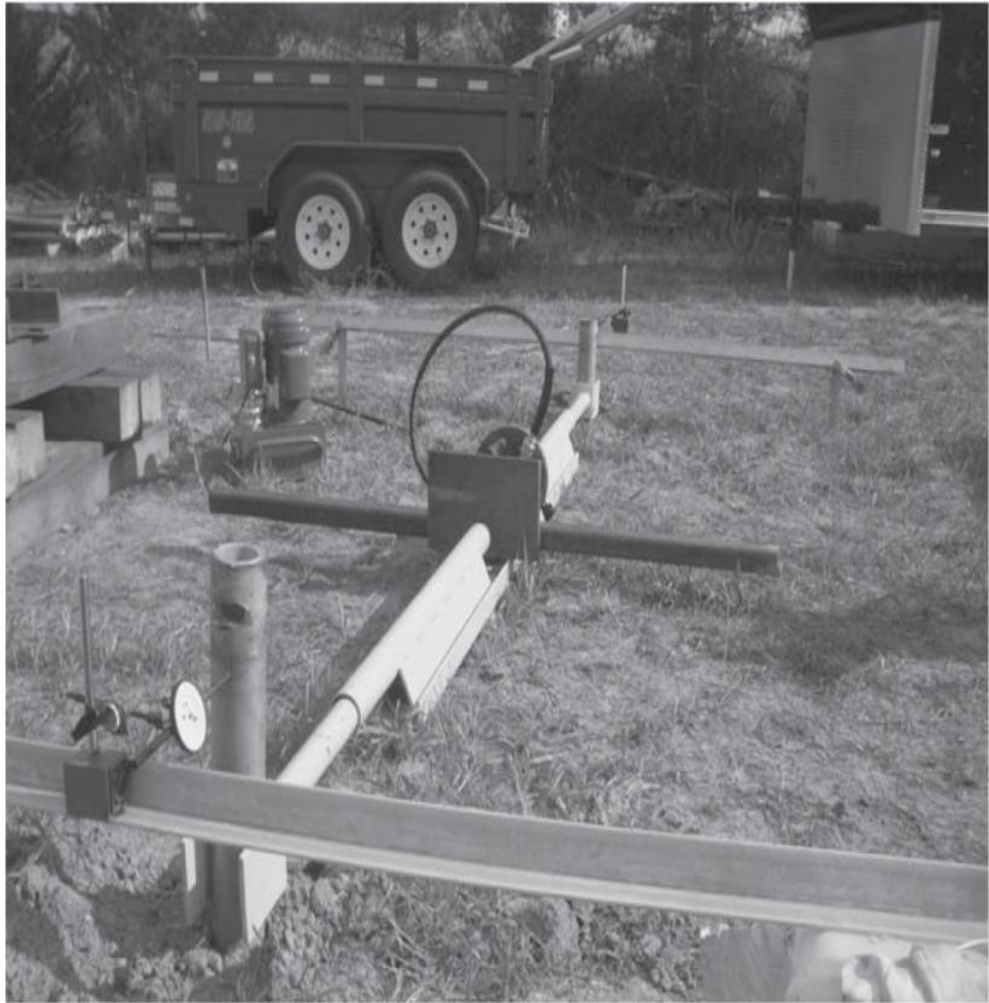
Helisel kazıkların yatay kuvvetlere karşı teorik kapasitesi ile sahada testlerden elde edilen kapasiteleri arasındaki farklılıklar dikkate değerdir. Bu sebeplerden ötürü helisel kazıkların yatay yüklere karşı kapasitesi yanal yükleme testleri ile belirlenir. Helisel kazıkların yanal yükleme testi ASTM D3966 şartnamesine göre yapılır. Bu yöntemde kazığa yatay yük uygulayabilmek için yük çerçevesi inşa edilebilir ya da iki kazığı birbirine doğru çekecek veya birbirlerine itecek bir düzeneğe kurulabilir. Eğer bu yöntem uygulanırsa 2 yatay yükleme testi aynı anda yapılabilir. Şekil 4.8'de germe aleti ve zincir kullanılarak iki kazık birbirine bağlanmıştır. Böylece iki kazığa aynı anda yatay yükleme yapılabilir.



Şekil 4.8 : Helisel kazıkların birbirlerine bağlanarak oluşturulan yatay yükleme test düzeneği (Magnum Piering Limited Şirketi).

Şekil 4.9’da ise hidrolik krikolarla birbirlerinden itilen helisel kazıklar görülmektedir. Helisel kazıkların hidrolik krikolar arasındaki çelik strutlar krikodan aldığı yükü kazıklara aktarır. Krikodaki gerilme değerinden uygulanan yük ölçülebilir.

ASTM’ye göre uygulanacak yanal yük, kazığın zeminden çıktığı yere olabildiğince yakın olmalıdır. Şekil 4.9’daki düzenek bu şekilde kurulmuştur. Eğer kazıkların hem yatay kuvvetlere hem de eğilme momentine karşı gelmesi gerekiyorsa Şekil 4.8’deki gibi bir test düzeneğinin kurulması gerekmektedir. Şekil 4.8’deki sistemde yatay kuvvet, zemin yüzeyine göre bir miktar daha yüksek seviyeden uygulanmaktadır.



Şekil 4.9 : Helisel kazıkların hidrolik krikolarla birbirlerinden itilmesiyle oluşturulan yatay yükleme test düzeneği (Magnum Piering Limited Şirketi).

ASTM, test kazığının yatay hareketini gözlemlemek için iki yöntem belirlemiştir. İlk yöntem Şekil 4.9’da da gösterildiği gibi ekstensometre ile ölçümdür. İkinci yöntem ise Şekil 4.8’de gösterildiği gibi kazığa sabitlenmiş bir cetvel kullanarak ölçüm

yapmaktır. Kazığın hareketi optik okuyucular veya topoğrafik ölçüm aletleri yardımı ile ölçülebilir.

4.7 Yükleme Prosedürü

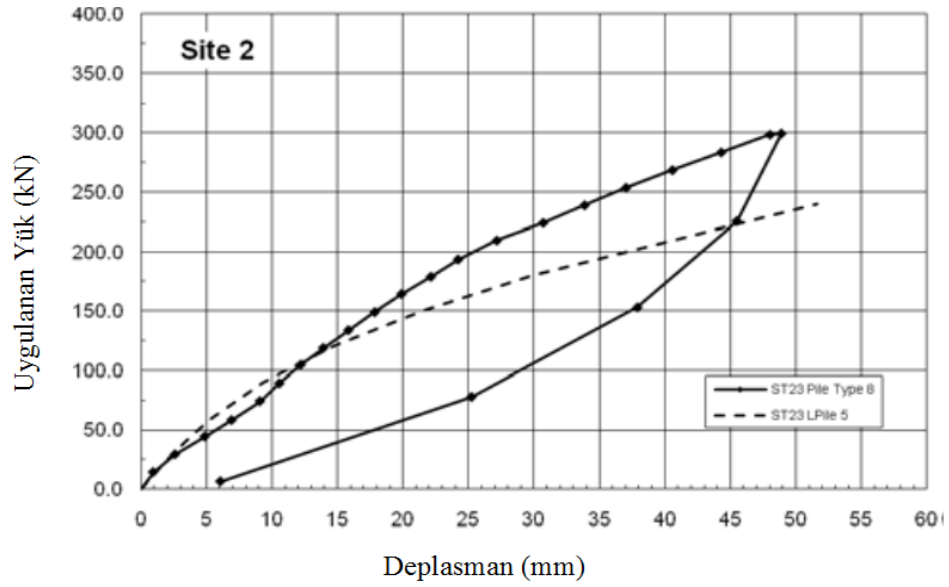
ASTM D3966-07 kazıkların yatay yükleme testi için birkaç yükleme yönteminden bahseder. Bu yükleme yöntemlerinin isimleri eksenal yükleme testindeki yükleme yöntemlerinin isimleriyle benzerlik gösterir ama yük arttırım oranları, bekleme süreleri ve okuma sıklıkları farklıdır. Bu yükleme yöntemleri tekrarlı yükleme, ani yükleme, aşırı yükleme, ters yükleme, karşılıklı yükleme, yatay harekete bağlı yükleme ve birleştirilmiş yüklemedir. Eksenal testin aksine çabuk yükleme test yöntemi yanal yükleme testi için yoktur. Standart yükleme yöntemi helisel kazıklar için en sık kullanılan yöntemdir.

Bu yöntemde %25'lik artışlarla kazık tasarım yükünün %200'ine kadar yükleme yapılır. Test yüküne ulaşıldığında minimum 1 saat beklenir. Daha sonra %50'lik boşaltımlarla yük sıfırlanır. Tüm yükler sıfırlandıktan 15 ve 30 dakika sonra son okumalar alınır.

%25'lik yükleme değerinde 10 dakika beklenir ve 5 dakikada bir okuma alınır. %50'lik yükleme değerinde 10 dakika beklenir ve 5 dakikada bir okuma alınır. %75'lik yükleme değerinde 15 dakika beklenir ve 5 dakikada bir okuma alınır. %100'lük, %125'lik, %150'lik, %170'lik, %180'lik ve %190'lık yükleme kademelerinin her birinde 20 dakika beklenir ve 5 dakikada bir okuma alınır. Test yükü olan tasarım yükünün %200'ünde 60 dakika beklenir ve 15 dakikada bir okuma alınır. Daha sonra %150'lik, %100'lük ve %50'lik boşaltma kademelerinin her birinde 10 dakika beklenir ve 5 dakikada bir okuma alınır. Yük tamamen boşaltıldıktan 15 ve 30 dakika sonra son okumalar alınarak test sonlandırılır.

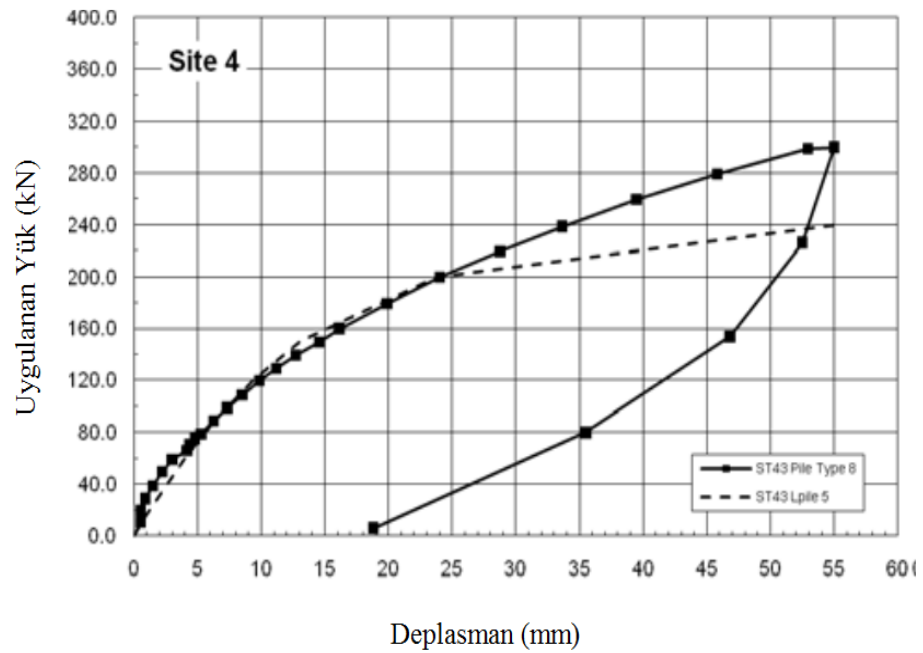
4.8 Yükleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sakr (2010) iri daneli zeminlerde yapılan, helisel kazıkların yatay yüklere karşı kapasitesini belirlemek için bir dizi yanal yükleme testi yapmıştır. Test yükünü kazığın nihai taşıma kapasitesi olan 30 ton olarak belirlemiş, bu kazıkların gerçekten 15 ton yanal yükü taşıyıp taşıyamayacağını araştırmıştır. Yanal yükleme testi sonuçları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Kohezyonsuz zeminde helisel yanal yükleme test sonucu (Sakr, 2010).

Sakr (2010) kazık boyutlarını sabit tutarak aynı yük durumunu aynı inceleme alanındaki ince daneli zemindeki helisel kazıklar üzerinde uygulamıştır. Test sonuçları Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Kohezyonlu zeminde helisel yanal yükleme test sonucu (Sakr, 2010).

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi yükleme eğrisini eğimi, tasarım değeri olan 15 tonu geçip 16 tona gelince değişmiş ve deplasmanlar artmaya başlamıştır. Her iki kazığın tasarımında da güvenlik katsayısı 2 olarak alınmıştır.

5. HELİSEL KAZIKLARIN İSTİNAT YAPILARINDA KULLANIMI

5.1 Giriş

Helisel kazıklar ve helisel ankrajlar kazı destek yapılarında ve şev stabilizasyonunda kullanılabilir. Bu bölümde helisel kazık ve helisel ankrajların kazı destek ve şev stabilizasyonu uygulamalarında nasıl kullanıldığı anlatılacaktır. Birkaç farklı tipte istinat yapısı örnek verilerek bu yapılardaki helisel kazık ve helisel ankraj kullanımları gösterilecektir. Ayrıca helisel ankrajlara öngerme uygulanması ve kilitlemesi de bu bölümün kapsamı içindedir.

5.2 İstinat Duvarları

Helisel kazık kullanılarak inşaa edilen istinat duvarlarını 4 tipte inceleyebiliriz. Ankrajlı istinat duvarı, perde istinat duvarı, arkadan payandalı istinat duvarı ve önden payandalı istinat duvarı, istinat duvarı tipleridir. Bu tip istinat duvarları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

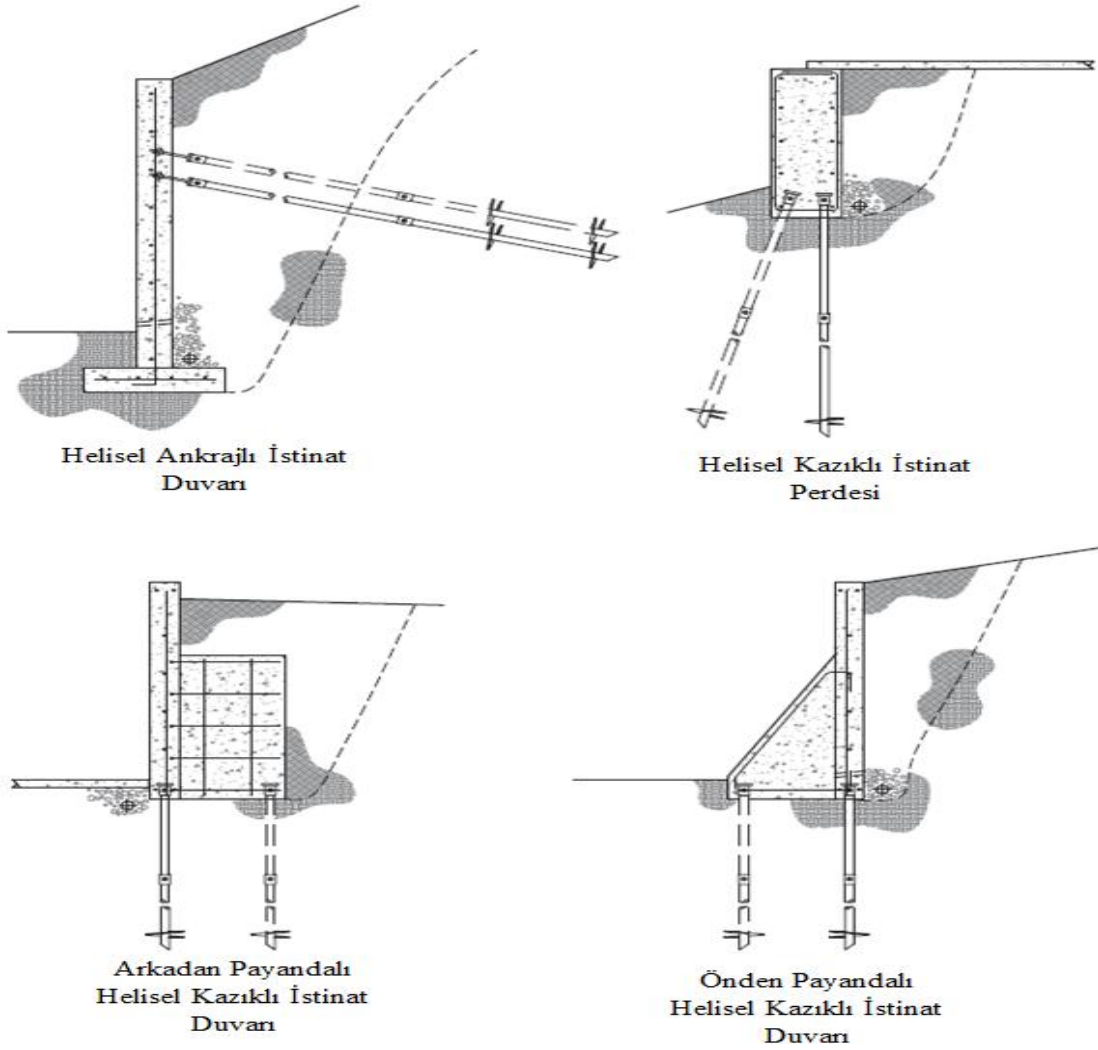
Perde istinat duvarında 2 veya daha fazla sıra helisel kazık betonarme perdeyi sabitlemek için duvarın altına yerleştirilir. Helisel kazıkların bir sırası açılı bir şekilde imal edilerek yatay kuvvetlere karşı da direnç sağlanır. Perde istinat duvarı hesabı sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir bilgisayar yazılımı ile yapılabilir.

Arkadan payandalı ve önden payandalı duvarlar birbirlerine çok benzerler, uzun birincil duvar ve birincil duvara dik kısa ikincil duvarlar bulunmaktadır. İkincil duvar birincil duvarın arkasında veya önünde olabilir. İkincil duvar birincil duvarın arkasında olursa arkadan payanlı duvar, önünde olursa önden payandalı duvar isimlendirmesi yapılır.

İyi zeminlerde bu tip duvarların geniş yüzeysel temelleri olur. Kötü zeminlerde veya yeraltı suyunun temel kazısını önlediği durumlarda veya diğer problemlili zeminlerde payandalı istinat duvarlarının temellerinde helisel kazıklar kullanılır. Bir sıra helisel

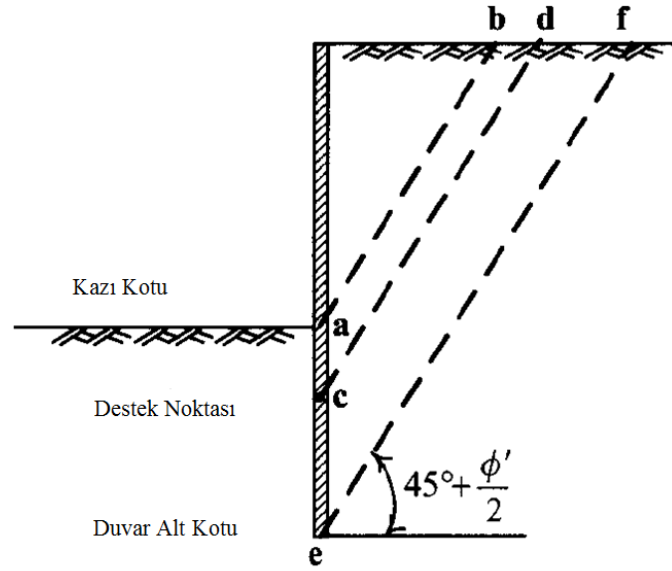
kazık birincil duvarın altına, bir sıra helisel kazık ise ikincil duvarın sonuna yerleştirilir.

Helisel ankrajlı istinat duvarları, bir sıra veya birkaç sıra helisel ankrajdan oluşan istinat duvarlarıdır. Bu duvarların temelleri betonarme yayılı temellerdir. Helisel ankrajlar kazı yüzeyine paralel veya açılı bir şekilde teşkil edilebilir. Helisel taşıma plakaları kayma kamasının arkasında kalacak şekilde şaft uzunluğu belirlenir ve duvarın stabilitesi sağlanır. Helisel ankrajların görevi helisel zemin çivilerden farklıdır. Helisel ankrajlar duvarın arkasındaki aktif kama bölgesindeki kuvvetlere dayanırken, helisel zemin çivileri duvarla aktif kama arasındaki zemin bölgesinin rijitliğini artırarak sistemi stabil hale getirir. Helisel ankrajların boyları helisel zemin çivilerinin boylarından daha uzundur ve kapasiteleri daha fazladır. Helisel ankrajlara genellikle öngerme yapılır.



Şekil 5.1 : Helisel kazıklı istinat duvarı tipleri (Perko, 2009).

Aktif kamanın geçtiği düzlemi belirlemek için Ou (2006) aktif kamanın geçtiği düzlemi Şekil 5.2'deki gibi göstermiştir. Kayma düzlemi olarak c-d düzlemini kabul etmiş olup, c noktası kazı kotundan 2 metre derindedir ve cd düzlemi ef düzlemine paraleldir. Ou (2006) kayma düzlemi belirlendikten sonra kayma düzleminin en az 2 metre arkasından ankraj kökünün başlatılmasını önermektedir. Helisel taşıma plakaları ankraj kök görevi gördüğü için kayma düzlemine en yakın helisel taşıma plakası ile kayma düzlemi arasında asgari 2 metre mesafe olmalıdır. Ancak ankraj kökünün sıyrılması hesabından daha büyük bir sonuç elde edilebilir. Eğer bu sonuç 2 metreden fazla ise büyük olan değer kullanılır. En kritik kayma düzlemi ef düzlemi olup, bu düzlem kabulü pratikte pek kullanılmamaktadır.



Şekil 5.2 : Potansiyel kayma düzlemi (Ou, 2006).

Helisel ankrajlar yatayla genellikle aşağıya doğru 10° ile 15° açı yapacak şekilde tasarlanırlar. Bunun iki sebebi vardır. Birinci sebebi, ankrajlara açı verilmesi daha kısa ankraj boylarıyla aktif kayma düzlemine ulaşma olanağı sağlar. İkinci sebebi ise eğimli teşkil edilen ankrajlar zemin içinde ilerledikçe zemin yüzeyi arasındaki derinlik sürekli artar ve bu artan derinlik ankrajların sıyrılma kapasitesini artırır.

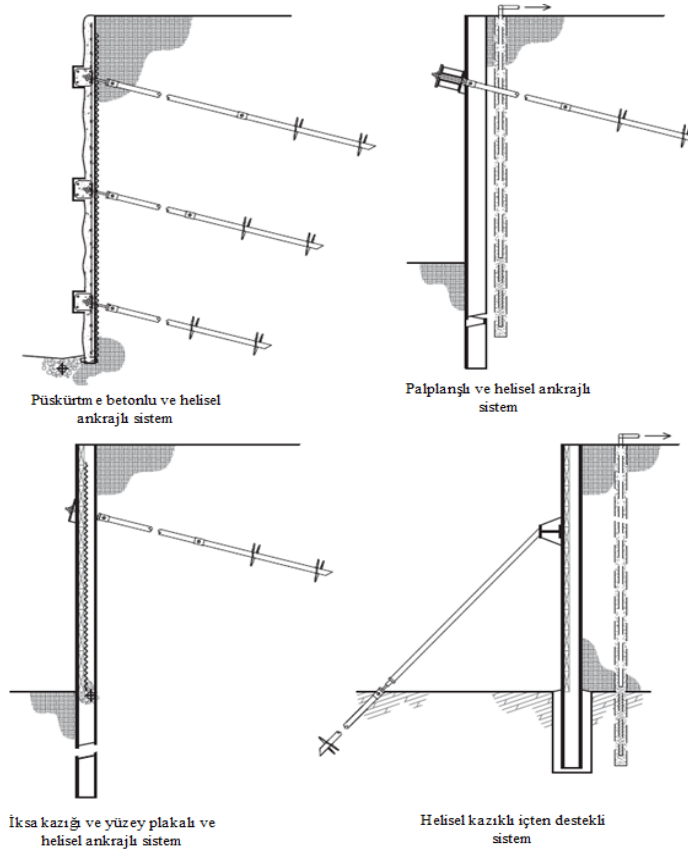
Asgari gömme derinliği Bölüm 3.13.2'de anlatıldığı gibi kazı destek sistemlerindeki helisel ankrajlarda da uygulanabilir. Ancak helisel taşıma plakası üzerindeki zemin konisinin kütlesinin sınırları değişmektedir. Zemin konisinin tabanı zemin yüzeyi üzerinde değil aktif kayma düzlemi üzerindedir. Bu hususu dikkate alarak sıyrılma ve asgari gömme derinliği hesaplarının yapılması gerekmektedir.

Helisel ankrajlı kazı destek sistemlerinin iç ve toplam stabilitesini tahkik etmek için de sonlu elemanlar yöntemini kullanan geoteknik bir yazılım yeterlidir. Sonlu eleman analizinden elde edilecek duvara etkiyen kesit tesirleri sonuçları ile duvarın betonarme hesabı yapılabilir. Helisel ankrajlara gelen kuvvetlere bakılarak da helisel ankrajların sıyrılma kontrolleri yapılabilir.

Bu bölümde bahsedilen istinat duvarları dışında sayısız istinat duvarı tipi vardır. Bu bölümde bahsedilmeyen birçok duvar tipiyle de helisel ankrajlar birlikte kullanılabilir. Helisel ankrajlar zemin destek yapısı olarak kullanılabileceği gibi, duvar altında temel sistemi olarak da kullanılabilir.

5.3 Kazı Destekleme

İstinat duvarları dışında helisel ankrajlar başka birçok kazı destek sistemi ile birlikte kullanılabilir. İstinat duvarları dışındaki kazı destek sistemlerini 4 ana gruba ayırabiliriz. Püskürtme betonlu ve helisel ankrajlı sistem, palplanşlı ve helisel ankrajlı sistem, iksa kazığı veya yüzey plakası ve helisel ankrajlı sistem sonra olarak da helisel kazıklı içten destekli sistemler. Bu 4 sistem Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Kazı destek sistemleri (Perko, 2009).

Püskürtme betonlu sistemler kohezif zeminlerde ve ayrıışmış kayaçlarda yüzey stabilitesi için kullanılan bir yöntemdir. Projesinde belirtilen kotlara ulaşıldığında helisel ankrajların imalatı yapılır. Helisel ankrajların bulunduğu kotlara kuşak kirişleri yapılarak veya ek donatı konularak helisel ankrajın zımbalama etkisi azaltılabilir.

Palplanşlı sistemler esnek sistemler olup, genelde kalıcı kazı destek yapılarında kullanılmazlar. Su geçirimsizliği sağladığı için yer altı su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde yapılan geçici kazıların kazı destek sistemlerinde de kullanılabilir. Palplanş üzerinde daha önce projesinde belirlenmiş yerlerde helisel ankrajların imalatı yapılır.

İksa kazıklı veya yüzey kaplamalı sistemlerde forajla veya çakma yöntemi ile belirli aralıklar ile imal edilen kazıklar vardır. Kazıkların arasında ise ahşap plakalar vardır. Projesine göre sadece kazıklı bir sistem de olabilir. Projesinde belirtilen kotlara ulaşıldığında kazık aralarına helisel ankrajlar teşkil edilir.

İçten destekli sistemlerde helisel ankrajın baş kısmı iksa sistemine dayanırken uç bölümü zeminin içindedir. Kazı arkasına herhangi bir ankraj imalatı veya başka bir müdahale yapılamadığı durumlarda içten destekli sistemler tercih edilir.

5.4 Helisel Zemin Çivisi

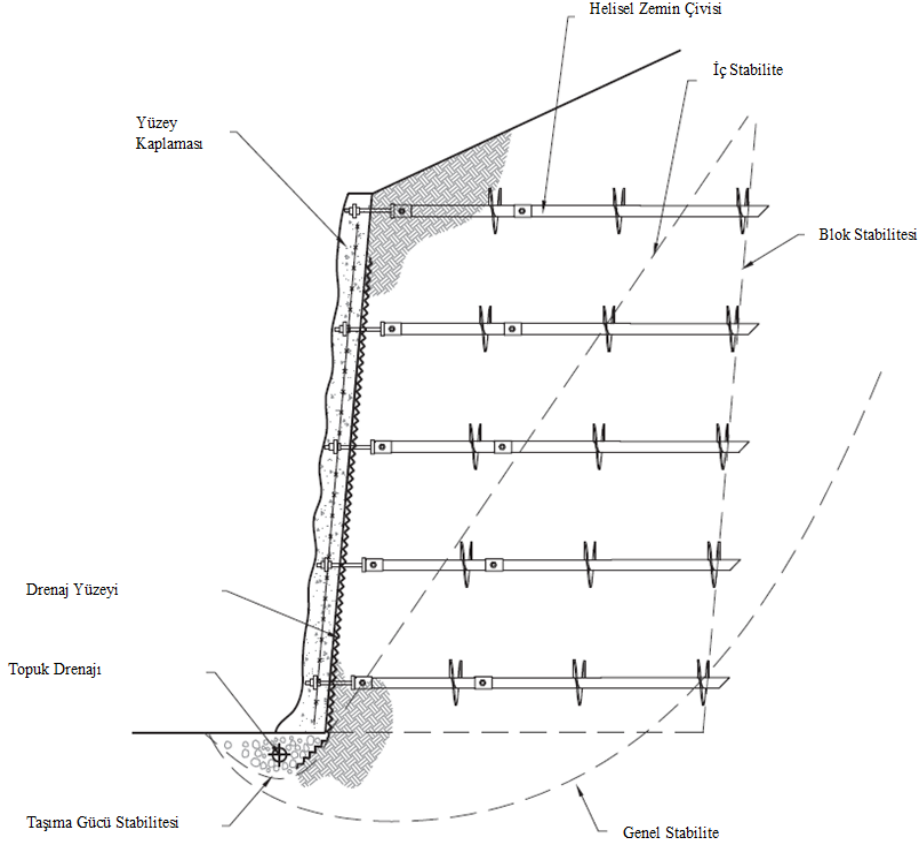
Helisel zemin çivileri helisel ankrajlardan farklı olarak duvarın arkasındaki zemini veya şevi güçlendirirler ve bunu yaparken de kazı yüzeyinde çok rijit veya sağlam bir kaplama yapısının olması gerekmemektedir. Helisel zemin çivilerinin şaft bölgelerine çimento enjeksiyonu yapılarak çivilerin içinde bulunduğu zemin kütlesinin rijitliği arttırılabilir.

Helisel zemin çivileri helisel ankrajlara göre daha az yük alırlar. Bunun sebebi ise helisel zemin çivilerinin boylarının büyük bir kısmının aktif kayma bölgesi içinde olmasıdır.

Helisel zemin çivili duvarın stabilite tahkikini yapmak için kullanılan en yaygın yöntem helisel zemin çivili zemin bloğunun kayma analizini yapmaktır. Helisel zemin çivili kesit Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Aktif toprak basıncı zemin bloğunu döndürmeye çalışan bir kuvvettir. Aktif toprak basıncı kuvveti yerine sükunetteki toprak basıncı kuvvetine göre tasarım yapmak hem daha güvenli bir yöntemdir hem

de helisel zemin çivili duvarın arkasında oluşacak deplasmanları azaltır. Zemin bloğunun devrilmeye karşı güvenlik katsayısı denklem 5.1 ile hesaplanır.

$$G.S. = \frac{\Sigma F_{direnen}}{\Sigma F_{deviren}} \quad (5.1)$$



Şekil 5.4 : Helisel zemin çivili duvar tip kesiti (Perko, 2009).

Kaymaya karşı direnç gösteren kuvvet zemin bloğu ile duvar temelindeki zeminin arasındaki sürtünme kuvvetidir. İki zemin tabakası arasındaki sürtünme katsayısı $\tan(\phi)$ 'dir. Zemin kütlesini ittiren kuvvet ise sükunetteki toprak basıncıdır. Bu kuvvetler denklem 5.1'de yerine konulduğunda denklem 5.2 elde edilir.

$$G.S. = LH\gamma\tan(\phi) / 0.5\gamma K_0 H^2 \quad (5.2)$$

Denklem 5.2 sadeleştirilip denklem 5.3 şeklinde yazılabilir.

$$G.S. = 2 L\tan(\phi) / K_0 H \quad (5.3)$$

En kısa helisel zemin çivisi uzunluğu L , sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 , duvar veya şev yüksekliği H , zeminin sürtünme açısı ϕ ile gösterilmiştir. Denklem 5.2 yardımı ile helisel zemin çivilerinin önboyutlandırması rahatlıkla yapılabilir.

Zemin çivili duvardaki kaplamaların kalınlığı görece çok azdır. Kaplama kalınlığı 5 cm ile 20 cm arasında değişebilir. Kaplamanın temel amacı kazı yüzeyindeki

oyulmayı ve ayrışmayı engellemektir. Helisel zemin çivili uygulamalarda püskürtme betonlu kaplamanın yanında çelik hasır da sıklıkla kullanılır.

5.5 Öngermeli Helisel Ankrajlar

Kazı destek sistemlerinde kullanılan helisel ankrajlar öngermeli bir şekilde kullanıldığı takdirde kazı arkasındaki deplasmanları azaltmaktadır. Projesinde belirlenmiş öngerme yükü ile helisel ankrajlar gerilir. Bu öngerme yükü helisel ankrajın dayanımına ve helisel ankrajı çevreleyen zeminin özelliklerine bağlıdır. Zeminin çeper sürtünme dayanımından daha büyük bir yükü helisel ankrajlar gerilirse, helisel ankrajlar zeminden sıyrılarak dışarıya çıkarlar. Ayrıca öngerme yükü helisel ankrajın yapısal bileşini olan helisel ankrajın başındaki somunun dayanımını da geçmemelidir. Jones ve diğ. (2004) ankraj başlığındaki somunu dikkate alarak, helisel ankrajların öngerme yükünü denklem 5.3'teki gibi vermiştir.

$$P_c = \frac{t_q}{(0.159p)+(1.15\mu d_b)} \quad (5.3)$$

P_c öngerme kuvvetidir, t_q ankrajın başlığındaki somuna uygulanan tork değeridir, p ankraj başlığının vida adımıdır, d_b ankraj başlığındaki donatı çapıdır, μ ise donatı ile somun arasındaki sürtünme kuvveti katsayısıdır. μ katsayısı 0.35 alınabilir.

Öngerme tek kademede veya kademeli olarak verilebilir. Öngerme verildikten sonra verilen öngerme yükünde helisel ankraj kilitlenir. Daha sonra öngermeyi veren hidrolik kriko helisel ankrajın kafasından çıkartılır. Daha sonra Bölüm 4.3'te bahsedildiği gibi kabul ve performans testleri helisel ankrajlar üzerinde uygulanabilir. Öngerme işlemi uygulanan bir helisel ankraj Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Öngerme işlemi uygulanan bir helisel ankraj (Perko, 2009).

6. HELİSEL KAZIKLARIN DİĞER KULLANIM ŞEKİLLERİ

6.1 Giriş

Tezin önceki bölümlerinde helisel kazıkların temel sistemi olarak kullanımı ve helisel ankrajların kazı destek sistemlerinde kullanımı detaylı olarak işlenmiştir. Bu bölümde helisel kazık ve helisel ankrajların farklı tipteki uygulamalarda nasıl kullanıldığı anlatılacaktır. Öncelikle helisel kazıkların temel takviye sistemi olarak nasıl kullanıldığından bahsedilecek ve kullandığı yerler anlatılacaktır. Daha sonra helisel kazıkların enjeksiyon yapılarak kullanılması ve bu sistemin faydaları anlatılacaktır. Helisel ankrajların zemin ankrajı olarak kullanılması ve helisel kazıkların şişebilen zeminlerde kullanılması konusu da bu bölümün kapsamı içindedir.

6.2 Helisel Kazıkların Temel Takviyesinde Kullanımı

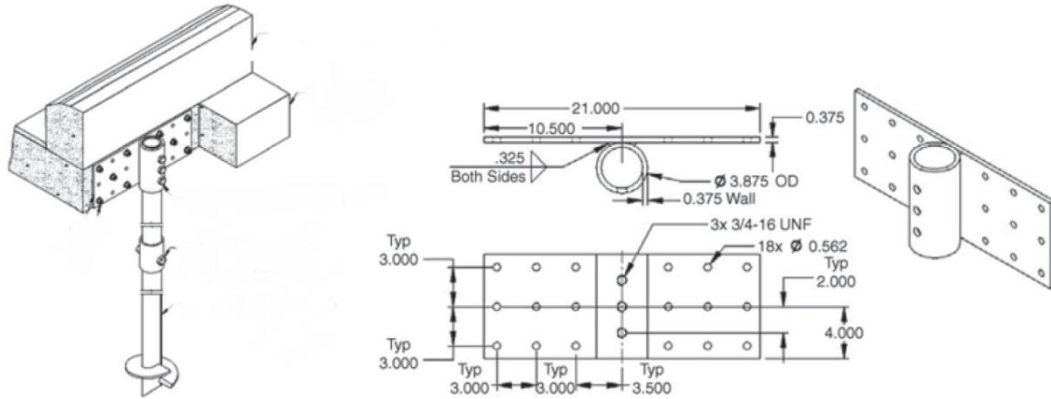
Helisel kazıklar yıpranmış veya zarar görmüş temellerin taşıma kapasitesini arttırmak için, mevcut temele bitişik yapılacak kazılarda mevcut temelin zarar görmemesi için temel takviye yöntemi olarak kullanılır. Helisel kazıkların yanında askı aparatları ve yerinde dökme beton da temel takviyesi sistemini oluşturmak için kullanılabilir. Bölüm 6.2’de helisel kazıkların temel takviye sistemi olarak nasıl kullanıldığı ve takviye teknikleri anlatılacaktır.

6.2.1 Temel onarımı

Zemin kabarması, oturma veya şev hareketlerinden ötürü, tarihi yapılarda ise uzun süreli servis ömründen ötürü yapı temellerinde hasarlar meydana gelebilir. Bazı durumlarda temelini yerinden oynatmadan onarmak çözüm olabilir. Bazı durumlarda zarar görmüş mevcut temelin kaldırılabilceğini ve onarılarak eski temel kotuna olabildiğince yakın bir kota yerleştirilebileceğini belirtmiştir. Her türlü durumda temelin onarılması aynı mühendislik yaklaşımına dayanır (Hoyt, 2007).

Temel onarımına başlamadan önce temeli onarılacak yapının mevcut durumunun tetkik edilmesi gerekmektedir. Temelde hasara yol açan sebepleri araştırmak için bir dizi arazi araştırmasının ve deneyinin yapılması gerekmektedir. Sahadaki araştırmalardan sonra zemin profili tanımlandığında ise temele hasar vermiş sebepler ve ileride hasara yol açabilecek sebepler rahatlıkla görülebilir. Böylece yapı temelinin tamamının veya bir kısmının onarılıp onarılmayacağına karar verilebilir. Yapının oturduğu zemin profili ve zemin özellikleri belirlendikten sonra yapıdan temele aktarılan yükler tespit edilerek helisel kazık boyutlandırması yapılabilir.

Temel onarımında helisel kazıklar ve çelik askı aparatları beraber kullanılır. Bu askı aparatları iki gruba ayrılabilir. Plakalı askılar ve açılı askılar. Plakalı askılar mevcut yapı temelinin veya duvarın yüzeyine monte edilecek düşey bir plaka içerir. Açılı askılar ise mevcut temelin veya duvarın altına yerleştirilen yatay bir plakaya sahiptir. Açılı askılar ayrıca düşey plakaya da sahip olabilir ve bu düşey plaka mevcut temelin veya duvarın yüzeyine monte edilebilir. Plakalı askı Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

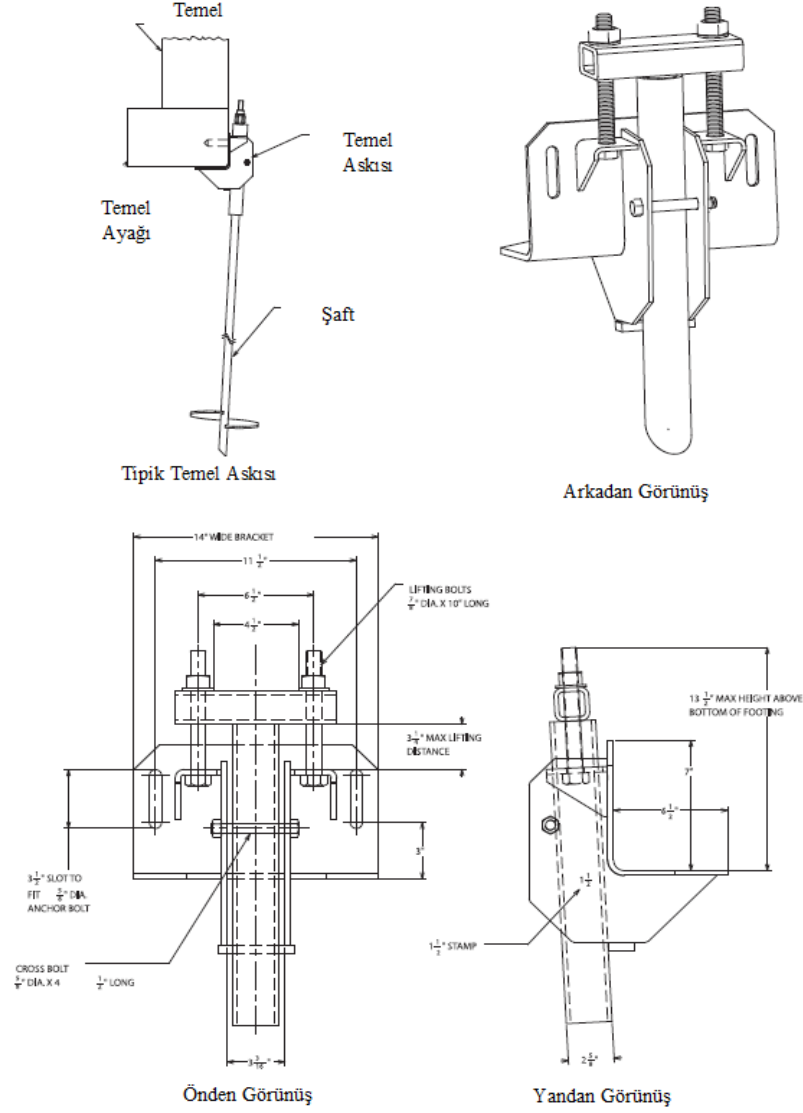


Şekil 6.1 : Plakalı askı ve helisel kazıklı temel takviye sistemi (Magnum Piering Limited Şirketi).

Plakalı askı mevcut temele epoksi veya bulonlar ile monte edilebilir. Ayrıca plakaya birleşik bir şekilde olan çelik tüp, helisel kazık ile plakanın bağlantısını sağlar.

Açılı askılar birbirine dik iki çelik plakadan oluşur Zemin yüzeyine dik olan plakanın arkasında tüp şeklinde bir çelik kılıf vardır. Helisel kazık bu kılıfın içine yerleştirilir. Kılıf içinde ve üstünde bulonlar bulunmaktadır, bu bulonlar ile helisel kazığın kotu bir miktar ayarlanabilir. Helisel kazık zemin yüzeyine dik olarak değil zemin yüzeyiyle belirli bir açı yapacak şekilde kılıfın içine yerleştirilir. Taşıma askıları yerine bazı durumlarda betonarme kirişler imal edilir ve helisel kazıklar bu betonarme kirişlere bağlanır. Ama bu yöntem sık kullanılan bir yöntem değildir.

Bunun başlıca sebepleri kalıp kurulacak yeterli alanın çoğu zaman olmaması, dar alandaki demir işçiliğinin zorluğu, beton döküm işinin zorluğu ve bu sebeplerden dolayı ortaya çıkan zaman kaybıdır. Eğer yapıdan gelen yükler askı aparatlarının taşıyabileceği yükten fazla ise betonarme kiriş kullanımı mecburi hale gelmektedir.



Şekil 6.2 : Açılı askı ve helisel kazıklı temel takviye sistemi (Hubbell Limited Şirketi).

Askı aparatı ile mevcut temel arasındaki bağlantıyı tasarlamak iki nedenden ötürü zordur. Birincisi mevcut temel yapısındaki betonun, çeliğin veya mevcut ise başka bir yapısal malzemenin uğradığı hasardan dolayı yapısal kapasitesindeki belirsizliklerdir. İkincisi de birinci nedenlerdeki belirsizlikten dolayı askı temel arasındaki statik ilişkinin belirlenememesidir.

Askı ve mevcut temel arasındaki bağlantının kapasitesi her kazık, askı ve bunların bağlantıları üzerinde yapılacak arazi yükleme deneyleri ile belirlenebilir. Yükleme

testi ile edilen sonuçların doğruluk oranı yüksektir ancak yükleme testi yapılırken mevcut yapı genelde kaldırılmış durumda bulunmaktadır. Bir başka deyişle yapının, helisel kazık ve askı aparatı ile herhangi bir bağlantısı yoktur. Bu yüzden yükleme deneyindeki test yükü, tasarım yükünün (yapıdan gelen ölü ve hareketli yüklerin toplamı) yaklaşık 1.5 katı kadar olmalıdır.

Askı aparatının ve helisel kazığın geometrisinden ötürü mevcut temele belirli bir mesafede imal edilmektedir. Bu eksantristeden dolayı eğilme momenti oluşur. Eğer askı aparatının ve helisel kazığın rijitliği mevcut temelin rijitliğinden çok daha büyükse eğilme momentinin büyük bir kısmını askı aparatı ve helisel kazık karşılar. Eğer askı aparatı ve helisel kazığın rijitliği mevcut temel ile hemen hemen aynı ise momentler yaklaşık olarak eşit oranda dağılım gösterir. Eğer mevcut temelin rijitliği askı aparatı ve helisel kazığın rijitliğinden çok daha büyükse eğilme momentinin büyük kısmını mevcut temel karşılar. Ancak her şekilde de askı aparatı ve mevcut temel yapısı arasında bir miktar yatay kuvvet ve eğilme momenti oluşur. Yatay yükleme testleri ile bu sistemin kapasitesi belirlenmelidir.

Askı aparatlı temel takviyesi yöntemi, temelleri hasar görmüş tarihi yapılarda çok sık kullanılan bir yöntemdir. Lutenege ve diğ. (2013) İngiltere’de 19. yy’da inşaa edilmiş bu durumdaki bir yapıda temel takviyesi çalışması yapmışlardır. 1853 yılında İngiltere’de inşaa edilen Lodge Askeri Kulesi zemindeki kondolidasyondan dolayı oturmaya başlamıştır. Bu yapı kagir bir yapı olduğu için yapıda çatlaklar oluşmuştur. Yapı temellerini takviye etmek için askılı aparat ve helisel kazıklı yöntem tercih edilmiştir. Kule yapısının dışından imal edilen helisel kazıklar Şekil 6.3’te, askı aparatlı ve helisel kazıklı tamamlanmış temel takviye sistemi Şekil 6.4’te gösterilmiştir. Kule yapısının batı bölümüne zaman içinde başka bir yapı bitişik halde inşaa edildiği için batı tarafındaki temel takviyesi yapının dışından değil içinden yapılmıştır. Yapının içinden yapılmış askı aparatlı ve helisel kazıklı temel takviyesi Şekil 6.5’te gösterilmiştir. Kaya kotu zemin yüzeyinden 7.5 metre daha derindedir. Bu sebeple helisel kazıklar kayaya soketlenecek şekilde imal edilmiştir. Helisel kazık imalatı sırasında da tork makinesindeki tork değeri 6-8 metre arası düşük değerlerde seyretmiş olup, bu derinlikten sonra tork değerinde kayda değer bir artış gözlemlenmiştir. Bu da sondajlar esnasında ulaşılan kaya kotu ile uyumluluk göstermektedir. Helisel kazıklar, çapları 250 mm ve 305 mm olan iki adet helisel taşıma plakası içermektedir. Helisel kazık shaft çapı ise 28.1 mm’dir.



Şekil 6.3 : Helisel kazıklı temel takviye sistemi uygulaması (Lutenegger ve diğ. 2013).



Şekil 6.4 : Helisel kazıklı ve askı aparatlı temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).



Şekil 6.5 : Yapı içinden yapılan temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).

Helisel kazıklarla temelleri takviye edilen bir başka yapı da Mark Twain Hoteli'dir. 1906'da Hannibal Missouri'de yapılan bu tuğla bina 4 kattan oluşmaktadır ve ahşap kazıklar üzerine oturmaktadır. Hotel apartmana dönüştürülecektir ve bunun için yapıda merdiven sayısı arttırılacaktır ve mevcut merdivenlerin temelleri güçlendirilecektir. Yapının oturduğu zemin profili ilk 9 metrede düşük plastisiteli silt ve siltli kildir. 9 metre ile 18 metre derinlik arasında gevşek ve orta sıkı alüvyal kum ve çakıl bulunmaktadır. Yer altı su seviyesinin derinliği 4.6 metre ile 6.1 metre arasında değişmektedir. Temel takviyesi için imal edilen helisel kazıklar üçlü helisel kazık olup, helisel taşıma plakası çapları 20 cm ile 30 cm arasında değişmektedir. Şaft bölgesi kare kesitlidir ve bir kenarının uzunluğu 3.81 cm ile 4.44 cm arasında değişmektedir. Kazık uzunluğu 9 metre ile 17 metre arasında değişmektedir. Ayrıca şaft bölgesindeki adhezyondan faydalanmak için şaft bölgesine 12.7 cm çapında enjeksiyon yapılmıştır.

Helisel kazıklarla yapılan temel takviyesine bir başka örnek olarak New London Missouri'de bulunan adliye binası gösterilebilir. Bu yapı 1857 yapılmıştır ve 1936'da da bu yapıya ek bir yapı yapılmıştır. Ek yapıda meydana gelen oturmalarla dolayı ek yapı ile orjinal yapı arasında açılmalar meydana gelmiştir. Daha fazla oturmadan kaçınmak için ek yapıya helisel kazıklar ile temel takviyesi yapılmıştır. Sahada

yapılan sondajlara göre yüzeyden itibaren 5 metre derinliğe kadar siltli kil ve kil gözlemlenmiştir. Bu tabakanın altında ise kireçtaşı tabakası bulunmaktadır. Yer altı suyu ise gözlemlenmemiştir. Derinliği 2.4 metre ile 7.6 metre arasında değişen 57 adet helisel kazık imal edilmiştir ve bu kazıkların kapasitesi 22 ton ile 38 ton arasında değişmektedir. İkili ve üçlü helisel kazıklar kullanılmıştır ve kazıkların shaftı kare kesitlidir, kenar uzunluğu ise 4.44 cm'dir.

1876 yılında inşaa edilen St. Mary Kilisesi'nde, 2009 yılındaki gözlemler sonucunda oturmaların meydana geldiği görülmüştür. Güneybatı köşesinin oturduğu ve dışarıya doğru döndüğü gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda yapı duvarlarında çatlamlar meydana gelmiştir. Helisel kazık kullanılarak temel takviyesi yapılmıştır. Sahada yapılan 5 metrelik sondajın ilk 1.5 metresinde yapay dolgu gözlemlenmiştir. Yapay dolgunun altında ise düşük plastisiteli sert kil bulunmaktadır. Yer altı suyu ise gözlemlenmemiştir. Temel takviyesi için helisel plaka çapları 200 mm, 250 mm ve 305 mm olan üçlü helisel kazıklar kullanılmıştır. Ayrıca shaft bölgesindeki adhezyondan yararlanmak için shaft bölgesinde çapı 127 mm olan enjeksiyon yapılmıştır. St. Mary Kilisesi'nde helisel kazıklar kullanılarak yapılmış temel takviyesi Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : Helisel kazıklı ve askı aparatlı temel takviye sistemi (Lutenegger ve diğ. 2013).

Tarihi yapıların temellerinin takviyesinde helisel kazık kullanımının büyük avantajları vardır. İmalat esnasında çok az titreşim çıkartarak hassas tarihi yapılara zarar vermez. Yer altı su seviyesinin çok yüksek olduğu yerlerde bile çok rahat bir şekilde uygulanabilir. Mobil tork makineleri sayesinde çok dar alanlarda bile imal edilebilir. İmalat sırasındaki tork değeri ölçülerek taşıma kapasitesi kontrol edilebilir. İmalatı hızlıdır. 10 metrelik bir helisel kazık yaklaşık 30 dakikada imal edilebilir. Birçok farklı geometride olabilir. Helisel taşıma plakası sayısı ve çapı çok değişkendir. Projenin gerekliliklerine göre boyutlandırılabilir. İmal edilir edilmez hemen yük taşımaya başlar. Betonarme kazıklar gibi betonun priz almasını beklemeye gerek yoktur. Bütün bu sebeplerden dolayı tarihi yapıların temel takviyesinde helisel kazıklar sıklıkla kullanılmaktadır.

Mevcut yapılara bitişik yapılacak kazılarda mevcut yapı temellerini takviye etmek için de helisel kazıklar kullanılır. Öncelikle askı aparatları ve helisel kazıklar ile mevcut temel askıya alınır. Daha sonra kazıya başlanır ve ilk kademe helisel ankraj kotuna ulaşıldığında yatay veya aşağıya doğru açı verilerek mevcut temelin altına doğru helisel ankraj teşkil edilir. İlk kademe helisel ankraj teşkil edildikten sonra kazı yüzeyine püskürtme beton tatbik edilir ve kazıya devam edilir. Eğer projesinde ikinci kademe helisel ankrajlar var ise onlar da teşkil edilir. Bu düzen kazı tabana kotuna ulaşınca kadar tekrarlanır.

Bu işlemler esnasında dikkat edilmesi gereken bazı kritik aşamalar vardır. Birincisi askı aparatının ve helisel kazıkların yerleştirilmesi ve ardından ilk kademe ankraj kotuna kadar yapılacak kazıdır.

İkinci kritik aşam ise birinci kademe ile ikinci kademe veya n. kademe ile (n+1). kademe helisel ankrajlar arasında yapılacak kazıdır. Bu kazı esnasında düşey helisel kazıklar desteksiz bir şekilde durmaktadır ve burkulmaya karşı kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca zeminin stabilitesini de kontrol etmek gerekir. Püskürtme beton imalatı yapılana kadar zemin kendini tutamayabilir. Zeminin düşey stabilitesi denklem 6.1 yardımı ile kontrol edilebilir.

$$2c = \gamma H_s \quad (6.1)$$

Zeminin kohezyon değeri c ile, birim hacim ağırlığı γ ile gösterilmiştir. H_s kazıdan sonraki zeminin yüksekliğidir. Denklem 4.1'den de görüleceği üzere çok az bir kohezyon değeri ile zemin kendini tutabilmektedir. Yeterli kohezyona sahip olmayan kohezif zeminler ve kohezyonsuz zeminler ise püskürtme beton

uygulaması yapılana düşey bir şekilde kendilerine tutamayacağı için ek önlemler alınmalıdır.

Üçüncü kritik aşama ise en alt kademe kazı ve sonrasında bu kazı yüzeyine yapılacak püskürtme beton uygulaması arasındaki geçiş durumudur. Düşey helisel kazıkların burkulma hesabının bu aşamada da yapılması gerekmektedir. Bu aşamada helisel kazıklar sadece mevcut binanın temelinden gelen yükleri taşımaz aynı zamanda arkasındaki zemin kütlesini de taşımak zorunda kalır. Helisel ankrajların da sıyrılmaya karşı durumlarını tahkik etmek gerekir.

Temelin askı aparatları ve helisel kazıklarla askıya alınması ve ilk kademe helisel ankrajın yapılması Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Helisel ankraj imalatı yapıldıktan sonra kazı yüzeyine püskürtme betonun tatbik edilmesi Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Helisel kazıklı ve helisel ankrajlı temel takviye sistemi (Perko, 2009).



Şekil 6.8 : Temel takviye sistemi üzerine püskürtme betonun tatbik edilmesi (Perko, 2009).

Temel takviye sisteminin son hali ise Şekil 6.9’da gösterilmiştir.

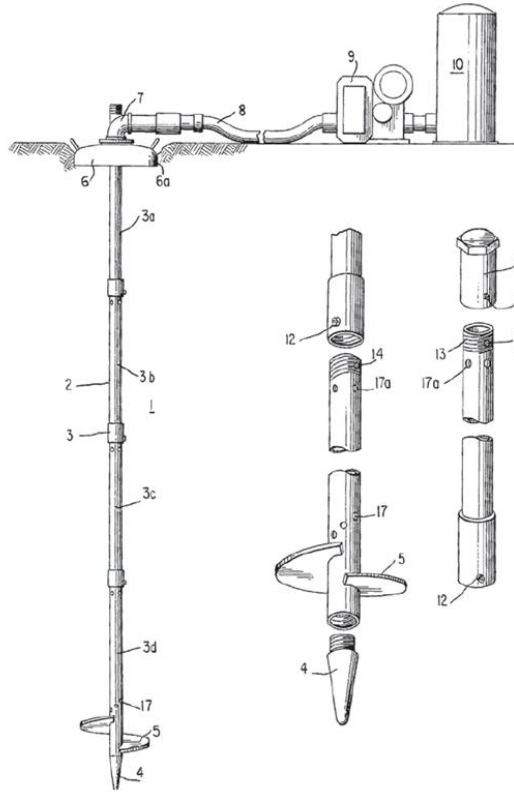


Şekil 6.9 : Helisel kazıklı, helisel ankrajlı ve püskürtme betonlu temel takviyesi sistemi (Perko, 2009).

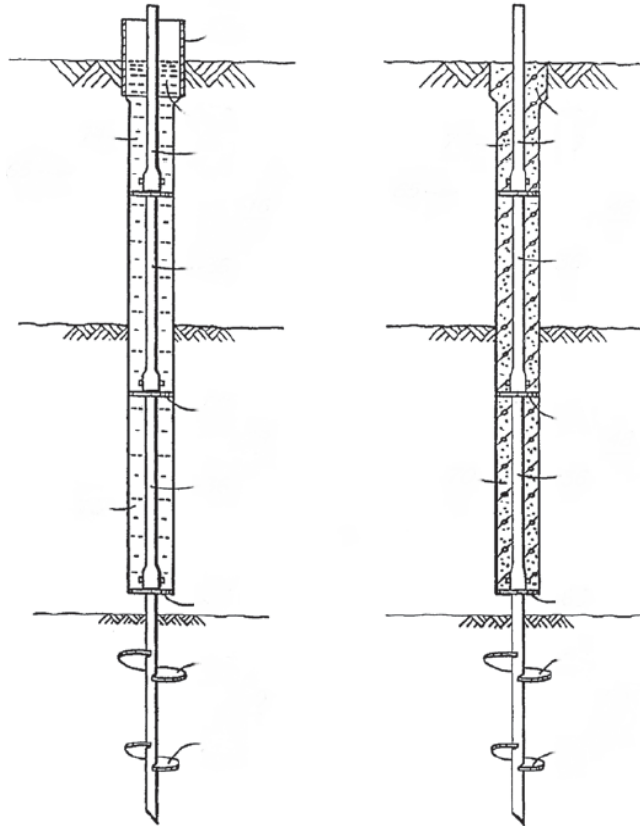
6.3 Helisel Kazıklarda Enjeksiyonlu Sistemler

Enjeksiyonlu helisel kazıklar ilk defa 1966 yılında George Ratliff tarafından kullanılmış ve patenti alınmıştır. Ratliff’in geliştirdiği bu sistemde, uzatma tijlerinin ve helisel kazığın uç bölgesinin üzerinde enjeksiyon delikleri bulunmaktadır. Zemin yüzeyinde yer alan çimento silosu ve pompa yardımı ile enjeksiyon helisel kazığın içine gönderilmektedir. Bu sistem dezavantajı ince daneli zeminlerde enjeksiyonun yeterli miktarda enjeksiyon deliklerinden çıkamaması olarak gösterilebilir.

Günümüzde kullanılan enjeksiyonlu helisel kazıklı sistemler ise Ratliff’in tasarladığı enjeksiyonlu sistemden farklılıklar göstermektedir. Modern enjeksiyon yöntemi hem kare kesitli, hem de dairesel kesitli helisel kazıklarda kullanılabilir. Vickars ve Clemence (2000) tarafından geliştirilen bu modern yöntemde uzatma tijlerindeki manşon bölgesinin altına dairesel disk şeklindeki plakalar yerleştirilir ve en üst helisel taşıma plakası ile zemin yüzeyi arasında dairesel bir boş alan oluşturulur. Helisel kazık imalatı bittikten sonra bu boş alan çimento enjeksiyonu ile doldurulur. Helisel kazığın shaft bölgesinin etrafını enjeksiyon çevreler. Vickars ve Clemence’in geliştirdiği enjeksiyonlu helisel kazık Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



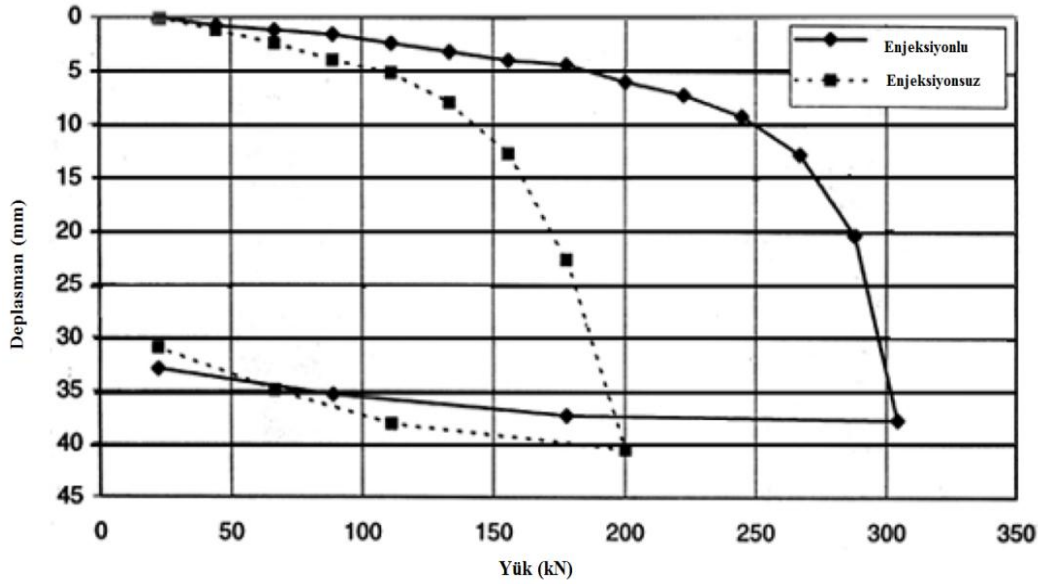
Şekil 6.10 : Enjeksiyonlu helisel kazıklı sistem (Ratliff, 1966).



Şekil 6.11 : Enjeksiyonlu modern helisel kazıklı sistem (Vickars ve Clemence 2000).

Vickars'ın geliştirdiği bu yöntem yumuşak ve düşük permeabiliteye sahip zeminler için çok uygun bir yöntemdir. Enjeksiyon şaft bölgesini çevreleyerek burkulmaya ve yanal kuvvetlere karşı direnci arttırır. Enjeksiyon zemin arasındaki sürtünme, şaft zemin arasındaki sürtünmeden daha fazla olacağı için çekme kuvvetlerine karşı enjeksiyonsuz sistemlere göre daha fazla direnç gösterir. Helisel kazıkların basınç ve çekme kapasiteleri hesaplanırken şaft bölgesinin enjeksiyonlu olması durumunda, şaft bölgesindeki adhezyon ihmal edilmeyip, hesaplarda dikkate alınır.

Bian ve diğ. (2006), enjeksiyonlu helisel kazıkların, aynı zemindeki ve aynı geometrideki enjeksiyonsuz helisel kazıklara oranla %40 ile %200 daha fazla basınç ve çekme kapasitesinin olduğunu belirtmiştir. Aynı geometrideki enjeksiyonlu ve enjeksiyonsuz helisel kazıklar üzerinde yapılan yükleme deneyi sonuçları şekil 6.12'de verilmiştir.



şekil 6.12 : Enjeksiyonlu helisel kazık ile enjeksiyonsuz helisel kazığın yükleme testi sonuçları (Bian ve diğ., 2006).

6.4 şişebilen Zeminlerde Kullanılan Helisel Kazıklar

Helisel kazıklar şişebilen zeminlerde kullanılan çok faydalı bir temel sistemidir. Helisel kazıklar şişebilen zemin üzerinde bulunan yapıların temellerinde ve temellerinin takviyesinde kullanılabilir. şişebilen zeminlerdeki helisel kazıkların taşıma ve sıyrılma kapasiteleri Bölüm 3'te tariflendiği gibi hesaplanır. Sıyrılma kapasitesi hesaplanırken asgari gömme derinliği hesabı da yapılmalıdır.

Su muhtevasına bağlı olarak hacminde kayda değer değişimler olan zeminlere şişebilen zeminler denir. şişebilen zeminlerde su muhtevasının azalmasına bağlı

olarak zemin hacminde de azalma meydana gelebilir. Suyu doymuş olmayan, yüksek plastisiteli ince daneli zeminler, kilttaşları, çok killi kumtaşları ve bazı şeyler şişme özelliği gösterebilir. Bu tip zemin ve kayaçlarla dünyanın hemen her yerinde karşılaşılabilir.

Şişebilen zeminler suyun da etkisi ile temeller üzerinde basınç artışlarına sebep olabilir. Zeminde şişme meydana geldiği zaman üstyapı çatlamlar, eğilmeler meydana gelebilir. Orta ve yüksek derecede şişmenin olduğu zeminlerde derin temel sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Şişebilen zeminlerde temel sistemi olarak betonarme kazıklar yerine helisel kazıkların kullanılması daha avantajlıdır. Bunun sebebi ise helisel kazığın şaft bölgesinin görece küçük çapı ve şaft bölgesindeki çeliğin yüzeyinin pürüzsüz olmasıdır. Bu sebeplerden ötürü kazık yüzeyi şişebilen zeminden en az şekilde etkilenir. Mikro ve mini kazıkların da çapları fore kazıklara göre daha küçüktür. Ancak helisel kazıkların içerdiği helisel taşıma plakaları, kabarmadan dolayı oluşan kaldırma kuvvetine karşı koyarak, mikro ve mini kazıklara oranla avantaj sağlar. Helisel kazıkların fore kazıklara göre tek dezavantajı, helisel kazık boyutlarının fore kazıklara oranla küçük olmasından dolayı taşıma kapasitesinin sınırlı olmasıdır.

Şişebilen zeminlerde imal edilen derin temellerin boyları, genellikle şişebilen zeminin altındaki sağlam zemin ya da kayaya kadar uzatılır. Şişme hareketi yapan zemin veya kayanın olduğu bölgeye aktif bölge denir. Zemin yüzeyinin altındaki aktif bölgenin belirlenmesi kabarma tahminlerinde ve kazık tasarımlarında kullanılır. McKeen ve Johnson (1990), McOmber ve Thompson (2000), Dieward (2003), Walsh (2009) zemindeki emmenin ve su muhtevasının, bölgesel iklim koşulları ve yüzeydeki suyun elverişliliği ile birlikte bir denge kurarak aktif bölgenin azami derinliğine ulaştığını belirtmişlerdir. Tasarım ıslanma derinliği, sahadaki veriler toplanarak ya da sahaya benzer jeolojideki komşu bölgelerdeki veriler toplanarak belirlenebilir.

Nelson ve diğ. (2001) şişebilen zeminlerde yapılar tasarlanırken daha konservatif bir yaklaşım önermektedir. Potansiyel şişmenin azami derinliğini, jeolojik düşey gerilmenin zeminin şişme basıncına eşit veya geçtiği derinlik olarak alınmasını tavsiye etmiştir. Bu yaklaşımda kabul edilen derinlik aktif bölgenin derinliğini çok büyük oranlarda arttırabilmektedir. Şişme basıncının değeri laboratuvarıda ödometre ile ölçülebilir (Thompson ve diğ., 2006, Nelson ve diğ., 2007 ve Nelson ve Miller, 1992). Nelson ve diğ. (2001) tarafından elde edilen ıslanma derinliği yaklaşımı en

çok kullanılan yaklaşımdır. Walsh (2009) bu yaklaşımı kullanarak ıslanma derinliğinin 15 ile 27 metre arasında olabileceğini belirtmiştir. Bu yaklaşım yarı kurak iklimlerdeki zeminler için kullanılan bir yaklaşımdır. Daha ılıman iklimlerdeki ıslanma derinliği yüzeyden itibaren 2 ile 4 metre arasında değişmektedir (Perko, 2009).

Şişebilen zeminlerdeki helisel kazık kullanımında sorulacak ilk soru, helisel kazık imalatı sırasındaki zemin örselenmesinden dolayı ıslanma derinliğinin artıp artmayacağıdır. Pack (2006) şaft bölgesinden helisel taşıma plakasını saran zemine doğru herhangi bir su hareketi gözlemlememiştir. Chapel (1998) üç yıl boyunca yaptığı gözlemlerde helisel kazık çevresindeki su muhtevasında kayda değer bir değişim gözlemlememiştir.

Pack (2006) şişebilen zeminlerde hem temel takviyesi amacı ile hem de yeni yapı temelleri için, 1986 ile 2006 yılları arasında Colorado ABD’de, yaklaşık 130000 helisel kazık yapıldığını belirtmiştir.

Şişebilen zemin içindeki tipik bir helisel kazık Şekil 6.13’te gösterilmiştir. Aktif bölgenin derinliği d_w ile gösterilmiştir. Helisel kazığın ucu ve en alttaki helisel taşıma plakasının bir kısmı aktif bölgenin dışında olmalıdır. Bazı uygulamacılar ilerideki istenmeyen durumlardan kaçınmak için aktif bölgenin dışındaki penetrasyon derinliğinin 1 metre ile 2 metre arasında alınmasını önermektedir (Perko, 2009).

Şişebilen zeminlerde genellikle tekli helisel kazıklar kullanılır. Sıkı ve sert şişebilen zeminde yeterli derinliğe penetrasyonu sağlayabilmek için tekli helisel kazık kullanılır (Perko, 2009). Eğer tekli helisel kazık yeterli basınç ve çekme kapasitesini sağlamıyor ise helisel taşıma plaka sayısı artırılabilir. Ayrıca kazık üzerinde herhangi kalıcı bir ölü yük var ise kaldırma kuvvetinden çıkartılır. Şekil 6.13’te helisel kazığın üstündeki ölü yük $P_{ölü}$ ile gösterilmiştir.

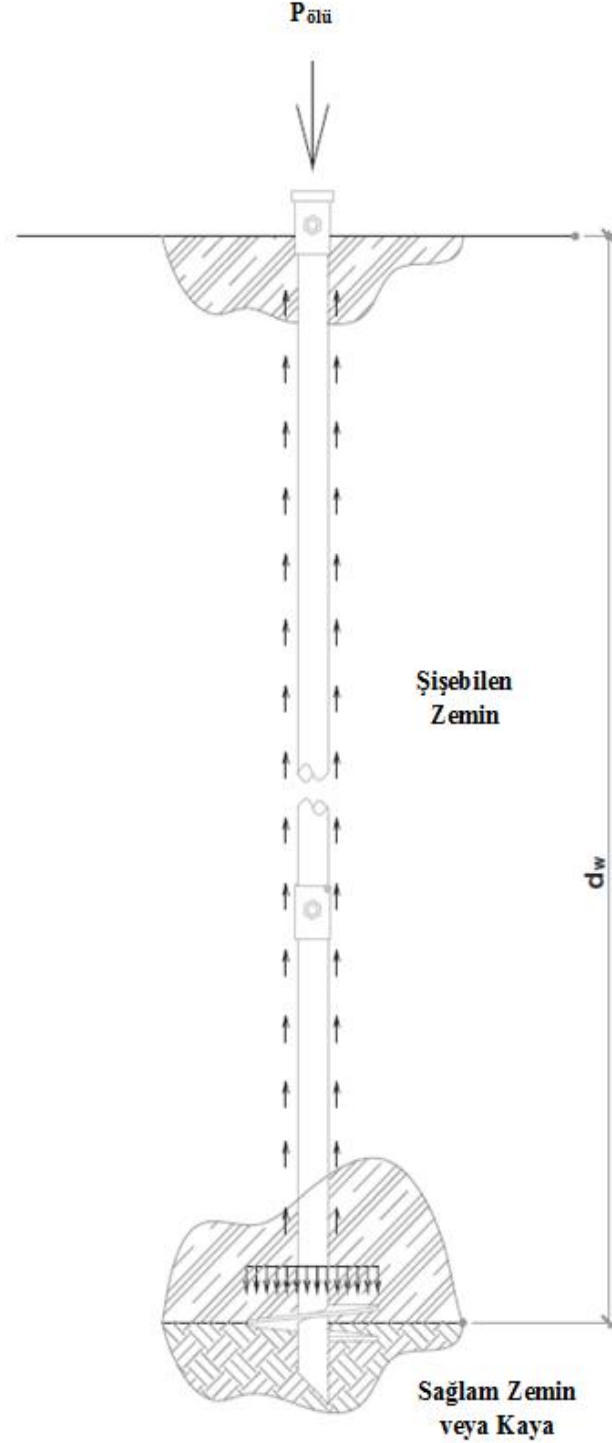
Zemin şişmesinden dolayı oluşacak kaldırma kuvveti, helisel kazığın sıyrılmaya karşı dayanımından küçük olmak zorundadır. Nelson ve Miller (1992) zemin şişmesinden dolayı oluşacak kaldırma kuvvetini denklem 6.2’deki gibi vermiştir.

$$P_u = \pi d_{ef} d_w \alpha_o P_s - P_{ölü} \quad (6.2)$$

Helisel kazık şaftının çapı d_{ef} , aktif bölgenin derinliği d_w , adhezyon katsayısı α_o , şişme basıncı P_s ile gösterilmiştir.

Helisel kazık gibi pürüzsüz çelik yüzeye sahip malzemeler için adhezyon katsayısı 0.1 alınabilir. Şişme basıncı, ödometre tipi serbest şişme/kondolidasyon testi ile bulunabilir.

Şişebilen zeminlerde helisel kazıklar tasarlanırken asgari gömme derinliği, imalat torku ve helisel taşıma plakası boyutu uygun şekilde belirlenmelidir. Islanma derinliği doğru şekilde belirlenmeli ve aktif bölgenin altındaki sağlam tabakaya yeterli miktarda penetrasyon sağlanmalıdır.



Şekil 6.13 : Şişebilen zemindeki helisel kazık (Perko, 2009).

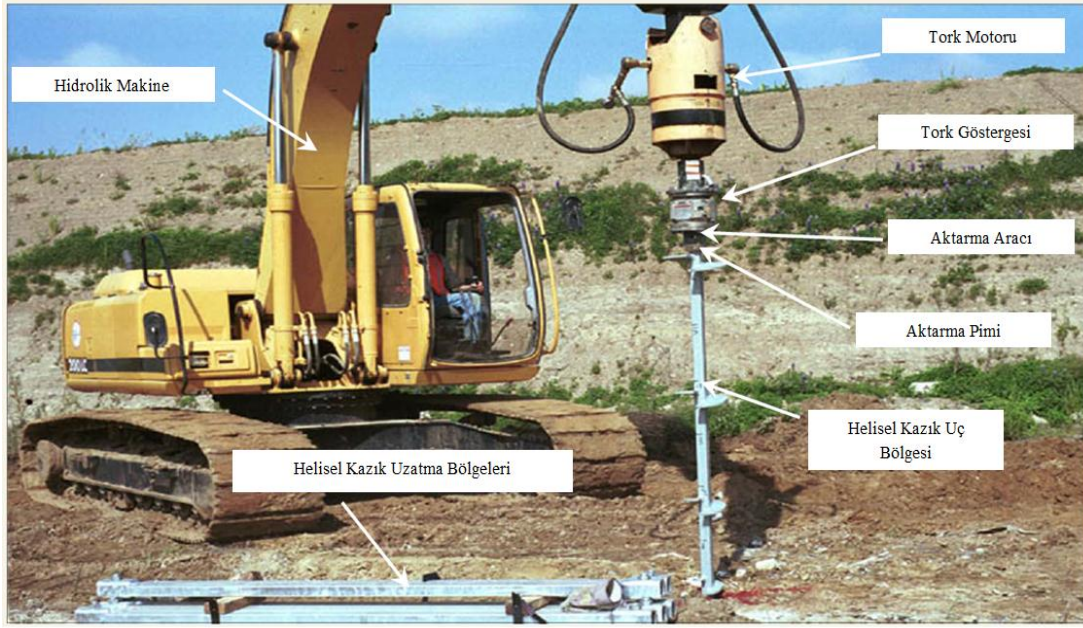
7. HELİSEL KAZIKLARIN İMALAT YÖNTEMLERİ

7.1 Giriş

Uygun ekipman ve imalat prosedürü ile helisel kazıkların zeminin içine imalatı oldukça kolaydır. İmalat kolaylığından ötürü helisel kazıkların kullanım oranı gittikçe artmaktadır. Helisel kazıkların her türlü zemin tipinde imal edilebilmesi de helisel kazıkların popülaritesini arttırmaktadır. Bu bölümde helisel kazık imalatı için kullanılan ekipmanlar tanıtılacak ve helisel kazıkların imalat prosedüründen bahsedilecektir.

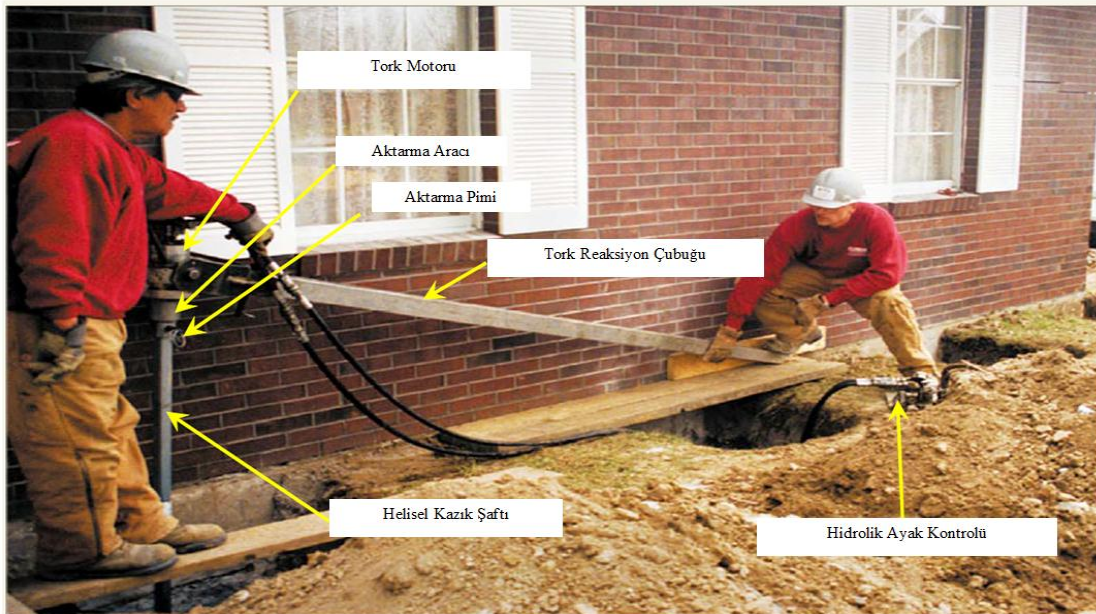
7.2 Ekipman

Beko yükleyici, forklift, ekskavatör veya başka bir hidrolik makinenin ucuna hidrolik tork motoru eklenerek, helisel kazıklar zemin içinde döndürülerek ilerletilir. İmalat ekipmanının temel bileşeni hidrolik tork motorudur. Bu motor helisel kazığın üstünden döndürme kuvveti uygular. Helisel kazıklar yüksek torklu ve düşük hızlı tork motorları ile zeminde imal edilmelidir. Yüksek torklu ve düşük hızlı tork motorlarının kullanılmasının sebebi helisel taşıma plakalarının zeminde yaptığı örselenmeyi asgariye indirmektedir. Helisel kazık imalatı için kullanılan tork motorlarının tork değeri genellikle 6000 Nm ile 10000 Nm arasındadır. Gerekli durumlarda daha güçlü tork motorları kullanmak gerekebilir. Tork motoru hem saat yönünde, hem de saat yönünün tersine dönebilmeli ve imalat sırasında dakikadaki devir sayısı ayarlanabilmelidir. Perküsyon tipi delgi makineleri bu işlem için uygun değildir (Perko, 2009). Tork motorunun kapasitesinin projedeki asgari imalat tork değerine eşit veya daha büyük olması önerilmektedir. Ayrıca tork motorunun azami tork değerinin helisel kazık imalatı sırasında oluşacak azami tork değerinden büyük olması da önerilmektedir. Helisel kazık ile tork motoru arasındaki bağlantı aynı hızda, sıkı ve rijit olmalıdır. Tipik bir helisel kazık imalat ekipmanı Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : Helisel kazık imalat ekipmanları (DFI, 2003).

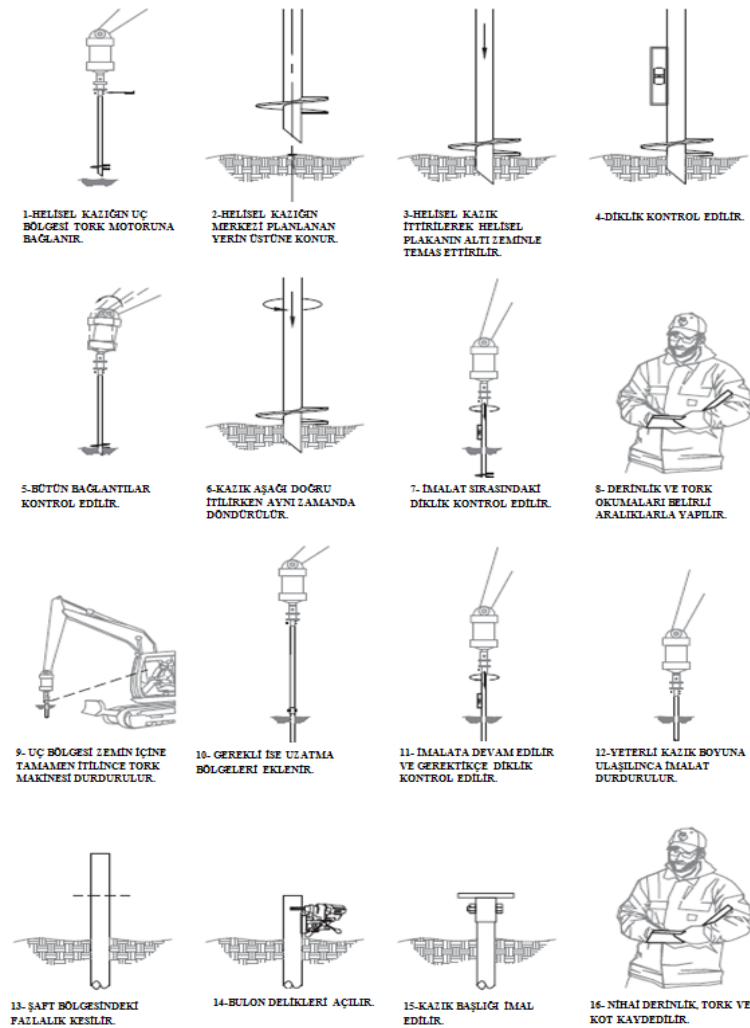
Helisel kazıklar elle kontrol edilebilen mobil tork makineleriyle de imal edilebilir. Mobil tork makinesi uzun bir reaksiyon çubuğuna ihtiyaç duyar. Reaksiyon çubuğu tork motorunun dönmesini engeller. Yüksek tork kapasiteli makineler elle kontrol edilemez. Şekil 7.2’de elle kontrol edilen tork makinesi ile helisel kazık imalatı gösterilmiştir. Şekil 7.2’nin sağındaki kişi reaksiyon çubuğunun stabilitesini kontrol etmektedir. İmalat sırasında reaksiyon çubuğuna temas edilmesi güvenlik açısından tavsiye edilmez.



Şekil 7.2 : Elle kontrol edilen mobil tork makineli helisel kazık imalat ekipmanı (DFI, 2013).

7.3 Genel Uygulama Yöntemi

Öncelikle helisel kazığın uç bölgesi aktarma pimi yardımı ile aktarma aracı ve tork makinesine bağlanır. Daha sonra uç bölgesi kazığın imal edileceğin konuma getirilir ve projedeki açısına göre ayarlanır. Daha sonra tork makinesi, güç uygulayarak uç bölgesini zemine doğru itirmeye başlar. Dönme hareketi başlamadan önce tork motorunun eğimi ve dikliği kontrol edilmelidir. Uç bölgesi zemin içine tamamen itildikten sonra eğer gerekliyse uç bölgesine ilk uzatma bölgesi takılır. Uç bölgesinin diğer ucu ise aktarma pimi yardımı ile tork motoruna bağlanır. Tork motoru çalıştırılmadan önce uzatma bölgesinin eğimi kontrol edilir. Helisel kazık imalatı boyunca helisel kazığın dikliği belirli derinliklerde kayıt altına alınmalıdır. İlk uzatma tiji de tamamen zeminin içine itildikten sonra eğer gerekliyse diğer uzatma tijleri de aynı prosedür izlenerek eklenir. Helisel kazığın imalat adımları Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3 : Helisel kazık imalat adımları (Perko, 2009).

Helisel kazığın bütün bölgeleri (uç ve tijler) dakikada 30 turdan az, düzgün ve sürekli bir biçimde zeminin içine itilecektir. İmalat daha hızlı bir şekilde de yapılabilir. Fakat taşıma gücü-tork değeri arasındaki ilişki, dakikada 30 turu aşan imalatlarda çalışılmadığı için taşıma kapasiteni tork değerinden belirlemek zorlaşabilir. Ayrıca dakikada 30 turdan daha az imalat hızlarında tork operatörünün değişen zemin koşullarını saptayabilmesi kolaylaşır.

Helisel kazık imalatı boyunca tork değerinin helisel kazığın burulma dayanımını geçmemesine dikkat edilmelidir. Helisel kazığın burulma dayanımı kazık üreticisi tarafından yazılı bir belge ile müşteriye verilmek zorundadır.

Helisel kazıkların yerlerinin azami sapması 25 mm'yi geçmemelidir. Helisel kazıkların boy toleransı ise +25 mm ile -13 mm arasında olmalıdır. Projesine göre sapma tolerans değerleri değişkenlik gösterebilir.

Helisel kazık imalatı tamamlandıktan sonra helisel kazığın hiçbir bileşenin elektrikle doğrudan bir teması olmamalıdır. Ayrıca helisel kazığın herhangi bir donatı veya galvaniz kaplanmamış bir metalle de teması olmamalıdır. Bu temaslar gerçekleşirse helisel kazıkta korozyon tehlikesi ortaya çıkabilir.

7.4 Tork Ölçümü

Helisel kazığın zemin içinde ilerlemesini sağlayan tork, zeminin kayma mukavemetini ve helisel kazığın kapasitesinin belirlenmesinde yardımcı bir faktördür. Torkun helisel kazık imalatı sırasında sürekli olarak ölçülmesi bu sebeplerden dolayı çok önemlidir.

En çok kullanılan yöntem kesme pimi göstergesi yöntemidir. Bu yöntem mekanik bir yöntemdir ve merkezlerinden birbirine bağlanmış iki adet dairesel plaka içerir. Plakalardan biri kazığın ucundaki manşona sabitlenmiştir. Diğer dairesel plakanın ise bir soketi vardır ve bu soket tork motorundaki dönüşleri karşılar. Bu iki plakanın etrafında, sayıları 10 ile 20 arasında değişen delikler vardır. Kesme pimleri bu delikler içine yerleştirilebilir. Pimler olmadan iki dairesel plaka birbirleri üzerinde serbest bir şekilde dönebilir. Bu pimler belirli tork değerlerinde kesme kuvvetine maruz kalırlar ve kullanılamaz hale gelirler. Her ölçümden sonra bu pimlerin değiştirilmesi gerekmektedir.

Kesme pimi yöntemi düzeneği Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Şekil 7.4 üzerinde siyah renkli dairesel plakalar ve gri renkli pimler görülebilmektedir.



Şekil 7.4 : Kesme pimi yöntemi (Perko, 2009).

Bu yöntemin avantajı ekonomik olması ve tork değerini diğer ölçüm aletlerine göre daha doğru ölçebilmesidir. Bir diğer avantajı da azami imalat torku değerinde kullanılarak helisel kazığı aşırı yüklemekten korur. Tek dezavantajı ise imalat sırasında sürekli bir şekilde tork değerinin okuması yapılamamaktadır. Kesme pimleri sıkışabilir ve çıkartılması zor olabilir. Pimleri tekrar tekrar yerleştirmek ise zahmetli bir iştir.

Tork ölçümü için bir diğer yöntem ise mekanik komparatörle ölçüm yöntemidir. Tork değeri doğrudan komparatör tarafından okunur. Bu yöntemde tork, doğru ve sürekli bir şekilde okunabilir. Bu yöntemin dezavantajı ise komparatör de kazıkla birlikte döndüğü için okumaların alınması zordur. Downey (2008) aşırı çekme kuvvetleri ve eğilme momentleri etkisi altında cihazın hasar görebileceğini belirtmiştir. Bu yüzden kullanım esnasında aşırı kuvvetlerin oluşmaması için dikkat edilmelidir. Mekanik komparatör yöntemi ile tork ölçümü Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

Mekanik yöntemler dışında birkaç farklı tipte elektronik yük hücreleri de tork ölçümü için kullanılır. Yük hücrelerindeki deplasman ölçen cihazlar, burulma etkisi altında elastik deformasyonları ölçebilirler. Bu sistem elektronik olduğu için çok hassas ölçümler yapabilir. Dijital olarak tork verilerini kaydedebilen elektronik cihazlarla bağlantı kurabilirler. Elektronik yük hücrelerinin dezavantajı pahalı, darbelere ve diğer dış etkilere karşı çok hassas olmalıdır. Şekil 7.5'te görüldüğü gibi, tork okumalarının yapılabilmesi için cihazın hemen yakınında personel bulundurma zorunluğu vardır.



Şekil 7.5 : Mekanik kompaktör (Perko, 2009).

8. HELİSEL KAZIKLARIN SERVİS ÖMRÜ VE KORUNMASI

8.1 Giriş

Helisel kazıklar pürüzsüz şaft yapısı ve ince helisel taşıma plakalarından ötürü, tasarım yapılırken korozyon etkisi göz önüne alınır. Uzun dönemli helisel kazıkların tasarımında korozyon etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Helisel kazıklar kaplamasız, çinko galvanize kaplı veya epoksi boya ile boyanmış olabilir. Çinko galvaniz kaplama korozyona karşı en sık kullanılan koruma yöntemidir. Başka tipteki çinko kaplamalar da helisel kazıkları korozyona karşı korumak için kullanılmaktadır. Boyalı kaplamaların korozyona karşı kullanılması da son yıllarda artış göstermektedir. Korozyona karşı kaplamaların yetersiz olduğu durumlarda katodik yöntemler kullanılarak helisel kazıkların servis ömrü uzatılabilir. Bu bölümde helisel kazıkların korozyona karşı korunmasında kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

8.2 Korozyon

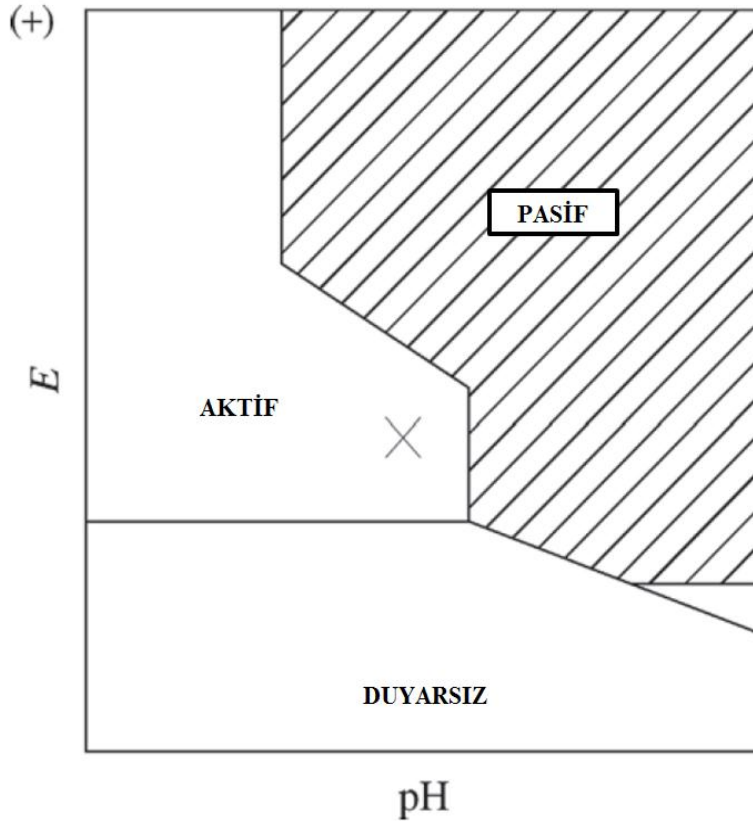
Metal veya alaşımların egzotermik kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek bozunmalarına korozyon denir. Metal veya alaşımları korozyona uğradığında dayanımlarını kaybederler.

Helisel kazıklarda korozyonu etkileyen unsurlar, zemindeki su muhtevasına bağlı olarak, elektronların akışı, çözünmemiş tuzlar, zeminin asiditesi ve hidrolik iletkenliktir (Perko, 2009). Bütün yeraltı sularında bir miktar çözünebilir tuz ve diğer iyonlar bulunmaktadır ve iyon yoğunluğu arttıkça iletkenlik de artmaktadır.

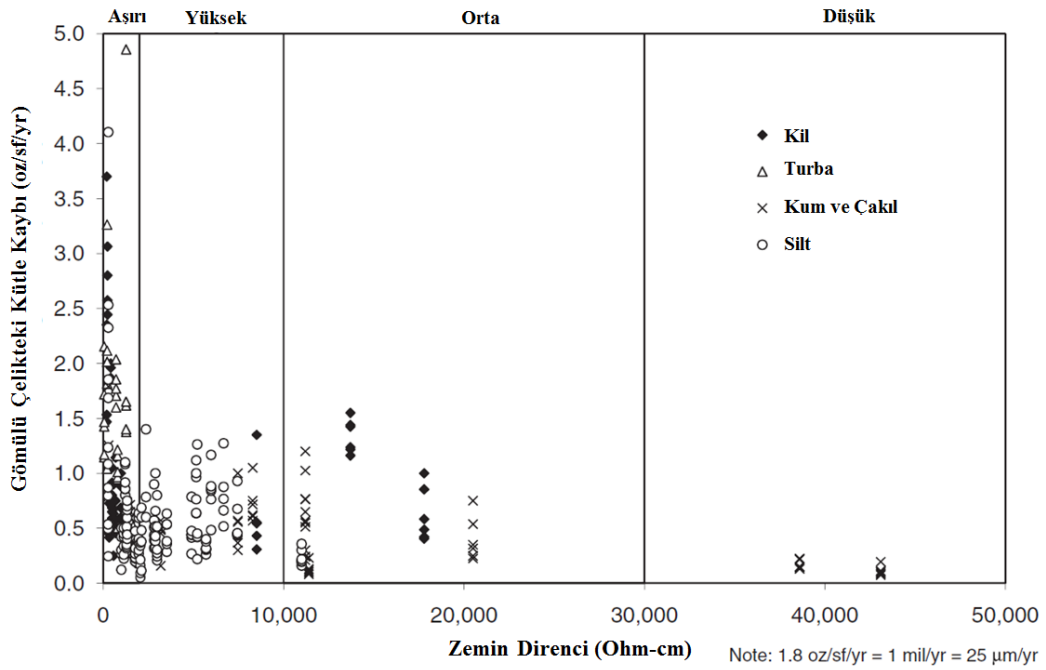
Yeraltı suyundaki asit oranı da hidrojen iyonlarının yoğunluğunu etkilemektedir. Hidrojen iyonlarının yoğunluğu pH değeri ile belirlenir. Yüksek asidite (düşük pH) değerlerinde daha çok hidrojen iyonu bulunmaktadır. Hidrojen iyonları demirden elektron koparır ve demiri kimyasal yönden daha aktif hale getirir. Ayrıca zemindeki serbest ve çözünmüş oksijen miktarı da korozyonu etkileyen unsurlardır.

Korozyonun elektrokimyasal yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 8.1’de verilen Pourbaix Diyagramı kullanılır (Mudali ve diğ., 2007). Şekil 8.1’de normal koşullar altında “X” ile gösterilen metal ve elektrolitin (bu durumda helisel kazık ve zemin/su) sahip olduğu pH ve elektrik potansiyeli aktif bölgede yer almaktadır ve korozyon meydana gelmektedir. Pasif bölgede korozyona sebep olan maddeler çözünemez haldedir ve korozyona karşı pasif bir bariyer görevi görmektedir. Katodik koruma kullanılarak elektrot potansiyeli azaltılırsa metal-elektrolit sistemi duyarsız bölgeye geçer. Pourbaix Diyagramı’ndaki bu üç bölge her metal/elektrolit kombinasyonu için özel ve değişkendir. Helisel kazık ve kazığı çevreleyen zeminin özelliği bu diyagramı etkiler.

Elektriksel iletkenliğin tersi dirençtir. Her iki terim de zeminin korozivitesini tanımlamak için kullanılır. National Bureau of Standards tarafından yürütülen uzun dönem zemin testlerinde zemin korozivitesi ile ilgili birçok bilgi elde edilmiştir (Romanoff, 1989). 54 farklı bölgede 300’ün üzerinde gömülü demir ve çelik örnekler üzerinde yapılan ve korozyon oranının zemin direncine oranını gösteren bu testlerin sonuçları Şekil 8.2.’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi düşük direnç (yüksek iletkenliği olan) yüksek korozyon oranı ile doğru orantılıdır.



Şekil 8.1: Pourbaix Diyagramı (Mudali ve diğ., 2007).



Şekil 8.2: Gömülü çelik borular için korozyon oranları (Perko, 2004).

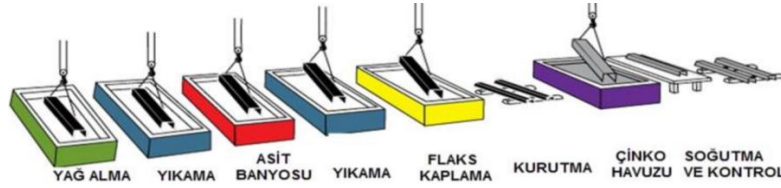
Turba zemine gömülü borulardaki korozyon oranı, diğer zemin türlerine göre daha yüksektir. Silte gömülü çelik boruların korozyonu aşırı ve yüksek grubunda toplanmıştır. Kum ve çakıldaki çelik boruların korozyonu ise düşük ve orta seviyededir. Kil zemindeki çelik boruların korozyon dağılımı ise dağınıktır ve belirli bir düzen izlememektedir. Genel olarak yüksek su muhtevasına, yüksek permeabiliteye, oksijeni bolca çözme potansiyeline, kayda değer tuz içeriğine ve yüksek asiditeye sahip zeminlerin elektriksel direnci düşüktür ve korozyona açıktır. Jones (1986) düşük dirençli zeminlerin korozyon potansiyelinin daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

8.3 Galvaniz Çinko Kaplama

Çinko, demir ve çeliği korozyondan korur. Galvaniz çinko kaplama helisel kazıkların korozyona karşı dayanımını önemli derecede arttırmaktadır. Uhlig ve Revie (1985) galvaniz kaplanmış çelik boruların galvaniz kaplanmamış çelik borulara oranla korozyona karşı %50 ile %98 arasında daha dayanıklı olduğunu göstermiştir.

Sıcak daldırma galvaniz yöntemi helisel kazıklar için kullanılan en yaygın galvaniz kaplama yöntemidir. Sıcak daldırma galvaniz yönteminde galvaniz kaplama kalınlığı 80 mikron ile 100 mikron arasında değişmektedir. Çinko ve demir alaşımı çelikten daha sağlamdır. Sıcak daldırma galvaniz yöntemi demir ve çelik borunun iç ve dış

yüzeyine yapılır ve bu yöntem herhangi bir boyalı kaplama yöntemine göre daha dayanıklıdır. Sıcak daldırma galvanizle kaplanmış helisel kazık yüzeyinde herhangi bir pullanma veya soyulma genelde olmaz.



Şekil 8.3: Sıcak daldırma galvaniz yöntemi (AGA, 2000).

8.4 Pasiflik

Çinko aşındığı zaman kuru havada çinko okside, nemli havada çinko hidroksite dönüşür. Bu alkali bileşenler metal yüzeyi boyunca pH'ı arttırarak pasif duruma geçişi zorlar. Şekil 8.1'deki Pourbaix Diyagramı'nda görüldüğü gibi pH'ın yükselmesi ile aktif bölgeden pasif bölgeye geçiş olur. Alkali bileşenler ayrıca havadaki karbondioksit ile de reaksiyona girerek çinko karbonata dönüşür. Oluşan çinko karbonat çinkonun üzerinde bir film şeridi gibi birikir ve beyaz renklidir. Çinko karbonat çinkonun üzerine yapışır ve çözünemez. Çinkonun korozyonu sonucu oluşan madde iletken değildir ve pasif davranış sergiler ve elektrik akımını engelleyerek korozyonu azaltır.

Pasifliğe geçiş süreci bariyer koruması diye anılır. Bariyer korumasındaki çinko kaplamanın verimliliği metal yüzey ve aşınma dayanımına bağlıdır. Helisel kazıklar zemin içinde itilirken çinko kaplama üzerinde aşınmalar ve oyulmalar meydana gelebilir. Galvanizin korozyonu kazık üzerindeki 3 mm'ye kadar olan aşınma ve oyukların üzerine yayılarak bu bölgeleri korozyondan korur (Industrial Galvanizers America, 1999). Helisel kazık üzerindeki çinko galvaniz kaplamanın bozularak kazık yüzeyinde korozyona karşı pasif bir yüzey meydana getirmesine pasiflik denir.

8.5 Boyalı Kaplamalar

Boyalı kaplamalar termoplastik veya termoset polimer boyaların metal yüzey üzerine elektrostatik spreyle sıkılıp, daha sonra bu boyanın ısıtılmasıyla elde edilir. Bu işlem geleneksel boyamalı kaplamalara göre daha dayanıklıdır. Boyalı kaplamalarda en sık kullanılan kaplama malzemeleri polyester, polyester-epoksi, epoksi ve akriliklerdir.

Boyalı kaplamalar çinko kaplamalara göre genellikle daha ucuzdur ve daha çevre dostudur. Boyalı kaplamalar doğaya neredeyse hiç bir organik bileşen salmazlar. Geleneksel boyama yöntemlerine göre daha az atık madde oluştururlar ve bu atıklar geri dönüştürülebilir. Boyalı kaplamalar çelik üzerinde iletken olmayan bir bariyer oluşturarak çeliği korozyona karşı korur.

Boyalı kaplamaların korozyona karşı koruma ömrü çinko kaplamalar kadar fazla değildir. Boyalı kaplamaların metal üzerindeki asgari adezyonu 3400 kPa iken sıcak daldırılmalı galvanizin metal üzerindeki asgari adezyonu birkaç Mpa'dır. Bu sebepten ötürü boyalı kaplamaların, oksijence zengin ve korozyonun ortaya çıkma ihtimalinin düşük olduğu, helisel kazık derinliğinin sığ olduğu bölgelerde kullanılması tavsiye edilmektedir. Helisel kazığın daha derin bölgelerinde, (helisel taşıma plakaları) imalat sırasındaki dönme hareketinden dolayı aşınmalar meydana geleceği için boyalı kaplama önerilmemektedir. Gerekli olan yerlerde çift kat koruma için boyalı kaplamalar genellikle çinko galvaniz kaplamanın üstüne yapılır.

8.6 Servis Ömrü

Korozyon etkisi sonucunda helisel kazığın şaft ve helisel taşıma plakalarının kalınlığında azalmalar meydana gelir ve korozyon sonucunda kazık bileşenlerinde meydana gelen kesit kaybı tasarımda dikkate alınmalıdır. Bu yüzden helisel kazıklar tasarlanırken kesitin belirli bir bölümü korozyona feda edilir. Feda edilen kesit kalınlığı iki yöntem ile hesaplanabilir. Bu yöntemler AC358 ve ASSHTO tarafından geliştirilen yöntemlerdir.

Korumasız çelik, boya kaplamalı çelik ve çinko galvanize edilmiş çelik için korozyon sonucunda feda edilecek kalınlık hesabı ICC-Evaluation Services tarafından AC358 (2007) raporunda verilmiştir.

Çinko galvaniz kaplı çelik için T_s feda edilecek kalınlık, denklem 8.1 ile hesaplanır.

$$T_s = 25t_d^{0.65} \quad (8.1)$$

Korumasız çelik için T_s feda edilecek kalınlık, denklem 8.2 ile hesaplanır.

$$T_s = 40t_d^{0.80} \quad (8.2)$$

Boya kaplamalı çelik için T_s feda edilecek kalınlık, denklem 8.3 ile hesaplanır.

$$T_s = 40(t_d - 16)^{0.80} \quad (8.3)$$

Helisel kazıkların servis ömrü t_d ile gösterilmiştir ve birimi yıldır. Feda edilecek kalınlık olan T_s 'nin birimi ise mikrometredir. AC358'e göre helisel kazığın her bir

bileşeni, her iki taraftan $0.5T_s$ kadar azaltılmalıdır. Helisel kazığın bileşenlerinin tasarım kalınlığı olan T_d denklem 8.4 yardımı ile hesaplanabilir.

$$T_d = T_n - T_s \quad (8.4)$$

T_n nominal kalınlık olup, korumasız ve boya kaplamalı çelik için çeliğin kesit kalınlığıdır. Çinko galvaniz kaplı çelikler için ise çelik ve galvaniz kaplama kalınlıklarının toplamıdır.

AASHTO (2004) galvanize kaplanmış çelikteki korozyonu şu şekilde tanımlamıştır;

Galvaniz kaybı = İlk iki yıl için yılda 15 mikrometre.

= Sonraki yıllar için yılda 4 mikrometre.

Çelik kaybı = Galvaniz kaplama bittikten sonra yılda 12 mikrometre.

8.7 Katodik Koruma

Katodik koruma aşınmış metal yüzeyine aşırı elektron akışı sağlayarak korozyon oranını düşürür. Bu aşırı elektron akışı metalin iyonizasyonunu yavaşlatır. Katodik korumanın etkisi Şekil 8.1'deki Pourbaix Diyagramı üzerinde görülebilir. Katodik koruma elektriksel potansiyeli düşürür. Eğer bu düşüş yeterli ise "X" işareti duyarsız bölgeye geçer.

Katodik korumanın 2 genel yöntemi vardır. Bu yöntemler katodik akım veya kurban anot yöntemidir. Katodik akım yönteminde sürekli bir akım sağlanması gerektiği için helisel kazıkların katodik korumasında kullanılmaz. Helisel kazıkların katodik korumasında en çok kullanılan yöntem kurban anot yöntemidir. Kurban anotlar bir anodik veya daha az soy bir metal veya metal bir solüsyon içerirler ve bunlar helisel kazıktan ayrı olarak gömülüp bir kablo ile birbirlerine bağlanırlar. Modern kurban anot yöntemi geniş çaplı olarak ilk defa 1920'li yıllarda Meksika Körfezi'ndeki gömülü petrol boru hatlarında kullanılmıştır (Mudali ve diğ., 2007).

Çinko kaplamalara benzer bir şekilde kurban anot yöntemi metalin korozyonunu engellemeye yardımcı olur. Bir anodun helisel kazığa elektriksel olarak bağlanmasıyla kurban anot oluşturulur. Ayrıca iyon transferi için de bir yol olmak zorundadır. Bu yol genellikle sulu bir çözeltidir. Helisel kazık bu durumdayken zemin ve boşluk suyu, iyon akışı ve zemin direncine bağlı olan anot verimliliği için bir aracı görevi görür. Anot helisel kazığın yanına gömülür. Böylece elektronlar zemin/su aracılığı ile akarak galvanik hücreyi oluşturabilir.

Kurban anotun elektriksel potansiyeli, koruduğu helisel kazığın elektriksel potansiyelinden daha az olmak zorundadır. Magnezyum, alüminyum ve çinkonun elektriksel potansiyeli çelikten daha azdır ve anot olarak en çok bu metaller kullanılır. Magnezyum ise helisel kazıkların korozyona karşı korunmasında en çok kullanılan anottur (Perko, 2009). Tuzlu suda ise çinko ve alüminyum anotlar magnezyum anotlara göre daha çok tercih edilir. Çünkü tuzlu suda magnezyum koruyucu bariyer formunu alamaz ve görece kısa ömürlüdür. Çinko deniz yapılarında daha iyi performans verir. Alüminyum ve alüminyum-çinko alaşımlarının iyon transfer hızı olası anotlar arasında en düşük oranda olduğu için, helisel kazıkların korozyona karşı korunmasında magnezyum kadar yaygın olarak kullanılmazlar. Yeraltındaki kullanımlar için %75 jips, %20 bentonit, %5 sodyum sülfat içeren geçirimli giydirme çantaları üretilmektedir. Bu karışımın amacı korozyona sebep olan maddeleri absorbe etmek , su ve zemin arasındaki iletkenliği korumak, sisteminin güvenilirliğini arttırmak ve anotları aktif halde tutmaktır (Mudali ve diğ., 2007).

Kurban anotlar yeterli boyutlarda ve kullanıldığı süre boyunca yeterli verimliliği sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Elektriksel potansiyel farkı, gerekli akımı sağlayabilecek kadar büyük olmalıdır. Uygun boyutlandırma ve anot seçimi, helisel kazığın yüzey alanına, servis ömrüne, zemin tipine, direncine, pH'ına ve yeraltı su seviyesine bağlıdır. Zemin içindeki helisel kazığın korumasını sağlamak için, bakır/bakır sülfat elektrotu referans alındığında elektriksel potansiyel -850 mV olmalıdır. Kurban anot sisteminde azami voltaj, anot ile çelik helisel kazık arasındaki elektriksel potansiyel fark tarafından kontrol edilir. Azami voltaj -1000 mV değerinden daha az olamaz. Kısmi korumalarda daha düşük elektriksel potansiyel tercih edilebilir. Kurban anot yönteminde kullanılacak olan gerekli elektrik akımı I_{req} , denklem 8.5 yardımı ile hesaplanabilir (Mudali ve diğ., 2007).

$$I_{req} = i_o A \quad (8.5)$$

Akım yoğunluğu i_o ile helisel kazığın yüzey alanı A ile gösterilmiştir.

Akım yoğunluğu helisel kazığı çevreleyen zeminin ve yeraltı suyunun özelliklerine bağlıdır. Zaki (2006) bu değer için yeraltı suyu için 11 mA/m² ile 32 mA/m² arasında, zeminler içinse 40 mA/m² ile 58 mA/m² arasında değişebileceğini belirtmiştir. Zemin direncinin 5000 Ω -cm veya daha az olduğu durumlarda ortalama akım yoğunluğu 11 mA/m² ile 32 mA/m² arasında alınabilir (A.B. Chance, 2003).

Kurban edilecek anodun servis ömrü L_t denklem 8.6 ile hesaplanabilir (Mudali ve diğ., 2007).

$$L_t = (T_h w E_f U_f) / (h_y I_{req}) \quad (8.6)$$

Teorik akım çıkışı T_h , anot ağırlığı w , verimlilik E_f , kullanım oranı U_f ve bir yıldaki saat sayısı h_y ile gösterilmiştir.

Kullanım oranı genellikle %85 alınır. T_h ve E_f kullanılan anodun tipine bağlıdır. Helisel kazıklarda en çok kullanılan magnezyum anotlarının T_h değeri 2205 Asa/kg'dır. Verimliliği %25 ile %58 arasında değişir.

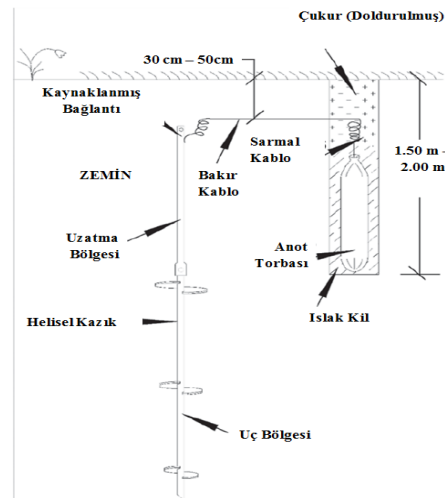
Zemin direncinin 8000 Ω -cm'yi geçtiği durumlarda yüksek potansiyelli anotlar kullanılır. Çinko anotlar zemin direncinin 1500 Ω -cm'den az olduğu yerlerde kullanılır (Mudali ve diğ., 2007).

Anotların ağırlıkları genellikle 2 kg ile 30 kg arasındadır ve servis ömürleri genellikle 10 yıl ile 20 yıl arasındadır (A.B. Chance, 2003). Servis ömrünü tamamlayan anotlar, yenisiyle değiştirilebilir.

Şekil 8.4'te örnek bir kurban anot düzeneği görülmektedir. Anot torbası auger çukurun içine yerleştirilir ve etrafı ıslak kille doldurulur. Anot torbası zeminle tamamen temas halinde olmalıdır. Anot helisel kazığa her iki uçtan da izole edilmiş bakır sarmal bir kablo ile bağlanır.

Metal katot olarak davrandığında hidrojen artarken oksijen azalır. Bu olay sonucunda da hidrojen iyonları harcanır (asit) veya hidroksil iyonları açığa çıkar (baz) ve bu reaksiyonlar sonucunda pH artar. Böylece pasiflik durumu ortaya çıkar.

Yağ bazlı boyalar ve reçineler katodik koruma için uygun değildir. Epoksi boyalar alkaliye karşı dirençlidir ve katodik koruma ile birlikte kullanılmalıdır.



Şekil 8.4: Tipik bir kurban anot düzeneği (A. B. Chance, 2003).

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Helisel kazıklar temel veya iksa sistemlerinde kullanılan bir veya daha çok helisel taşıma plakası olan çelik kazıklardır. Bu kazıklar 18. yüzyılda İngiltere’de Alexander Mitchell tarafından icat edilmiştir. Helisel kazıkların ilk kullanım alanları iskele ve deniz feneri temelleridir. Günümüzde birçok geoteknik uygulamada helisel kazıklar kullanılmaktadır.

Helisel kazıklar döndürme hareketi ile zemin içinde ilerletilerek teşkil edilen çelik kazıklardır. Tipik bir helisel kazığın bileşenleri; uç ve uzatma bölgeleridir. Uzatma bölgesi şaft kısmından oluşur, uç bölgesinde ise helisel taşıma plakaları bulunur.

Helisel kazıklar her cins zeminde imal edilebilir. Killer, siltler, kum ve çakıllar, şişen killer, dolgu alanları, çökebilen zeminler helisel kazıkların kullanıldığı zeminlerdir. Helisel kazıklar bazı yumuşak kayalarda da imal edilebilir. Nihai taşıma gücü 7 Mpa değerinden fazla olan kayalarda helisel kazık imalatı yapılamaz. Özellikle magmatik, metamorfik ve sağlam sedimenter kayalar helisel kazık imalatının yapılamadığı ortamlardır.

Helisel kazıkların diğer temel tiplerine göre avantajları vardır. Helisel kazık imalatını zemin göçmeleri ve yeraltı suyu etkilemez. Helisel kazık imalatı sırasında foraj olmadığı için atık zemin ortaya çıkmaz, çevre dostudur. İmalat esnasında aşırı titreşim oluşmaz. Her türlü hava koşullarında imal edilebilir. Genellikle diğer kazık tiplerine göre imalatı daha hızlıdır. Hassas özelliklere sahip arazi şartlarında örselenmeyi en aza indirir.

Helisel kazıklar basınç, çekme ve yatay kuvvetlere karşı direnç gösterdiği için kullanım alanları çok geniştir. Helisel kazıklar ile kazık grupları teşkil edilerek yapılar için derin temel sistemleri oluşturulabilir. Helisel kazıkların bir diğer yaygın kullanım alanı ise yapı temellerinin takviyesidir. Helisel kazıklar kazı destekleme sistemlerinde zemin çivisi ve ankraj olarak kullanılabilir. Helisel kazıkların diğer uygulama alanları arasında şişebilen zeminlere oturan yapıların temelleri, bataklık alanlarda yapılacak olan hafif yapıların ayakları, yüzmeyi engellemek amacı ile boru

hatlarındaki ankrajlar sayılabilir. Rüzgâr türbinleri gibi tekrarlı yüklere maruz kalan yapı temellerinde de helisel kazıklar uygulamaları vardır.

Helisel kazıkların taşıma gücünü belirlemek için başlıca iki yöntem vardır. Bunlar ayırık taşıma gücü ve silindirik kayma yöntemleridir. Helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe yeterince büyükse her plaka birbirinden bağımsız bir şekilde çalışır. Bu durumda kazığın toplam taşıma kapasitesi, tüm helisel taşıma plakaların taşıma güçlerinin toplamına eşittir. Bu yöntem ayırık taşıma gücü yöntemi denir. Eğer helisel taşıma plakaları arasındaki mesafe yeterince küçükse, helisel taşıma plakaları bir grup gibi çalışır. Bu durumda helisel kazığın toplam taşıma kapasitesi, çapı en alttaki helisel plakanın çapı, yüksekliği de helisel taşıma plakaları arasındaki toplam mesafe olan silindirin çevre sürtünmesi değeri ve en alttaki helisel taşıma plakasının taşıma gücünün toplamına eşittir. Bu yöntem de silindirik kayma yöntemi olarak adlandırılır. Şaft bölgesindeki adezyon, imalat sırasındaki örselenme ve şaft yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı ihmal edilir. Limit durum analizinde aynı helisel kazık için hem ayırık taşıma gücü yöntemi, hem de silindirik kayma yöntemi ile taşıma gücü hesabı yapılır ve küçük olan değer helisel kazığın nihai taşıma kapasitesi olarak kabul edilir. Bu yöntemler dışında LCPC yöntemi ve imalat sırasındaki ortalama tork değeri ile de kazık taşıma kapasitesi hesaplanabilir.

Her cins zemin ve ayrılmış kayaç tipinde arazide imal edilmiş helisel kazıklar üzerinde 112 adet yükleme deneyini yapılarak değerlendirilmiştir. İzin verilebilir taşıma kapasitesi hesaplanırken güvenlik katsayısı 2 olarak alınmıştır. Ölçülen kapasitenin limit durum analizi ile hesaplanan kapasiteye oranı 0.97 olarak bulunmuştur. Başka bir bölgede ise yapılan çekme testlerinde ise bu oran 0.87 olarak bulunmuştur.

Tez kapsamında seçilen boyu 8 metre olan, helisel taşıma plakası çapı 30 cm, 45 cm, 60 cm ve 75 cm olan ikili ve üçlü helisel kazıkların taşıma gücü, ince daneli ve iri daneli zeminlerde, hem ayırık taşıma gücü yöntemi ile hem de silindirik kayma yöntemi ile hesaplanarak helisel kazıkların nihai taşıma kapasitesi belirlenmiştir.

İnce daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve drenajsız kayma mukavemeti değeri arttıkça nihai taşıma gücü değerinin arttığı görülmüştür. İnce daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı, çapı ve zeminin drenajsız kayma mukavemeti değerinden bağımsız olarak silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı 2.5 olarak bulunmuştur. Ayrıca ince daneli zeminlerde tekli helisel kazıklarda tek bir plaka olduğu için

silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı yoktur. Tekli helisel kazıkların taşıma gücü değeri doğrudan ayırık taşıma gücü yöntemi ile hesaplanır. İnce daneli zeminlerde helisel kazıkların taşıma gücü hesaplanırken imalat sırasında şaft etrafında oluşan zemin örselenmesinden ve şaft çelik yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı şaft adezyonu ihmal edilir. Eğer şaft bölgesi çevresine çimento enjeksiyonu yapılırsa şaft adezyonu taşıma gücü hesaplarında dikkate alınır. İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve kayma direnci açısı değeri arttıkça nihai taşıma gücü değerinin arttığı görülmüştür. İri daneli zeminlerdeki helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısı ve kayma direnci açısı sabit tutulup, helisel taşıma plakası çapı arttırıldığında silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artmaktadır. İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plakası çapı ve sayısı sabit tutulup, kayma direnci açısı arttırıldığında silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı azalmaktadır. İri daneli zeminlerde helisel kazıklarda, helisel taşıma plaka sayısının geçiş s/D oranına doğrudan bir etkisi yoktur. 30° ve daha düşük kayma direnci açısı değerlerinde helisel taşıma plaka sayısı arttıkça silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı artmaktadır. Ayrıca iri daneli zeminlerde tekli helisel kazıklarda tek bir plaka olduğu için silindirik kayma yönteminden ayırık taşıma gücü yöntemine geçiş s/D oranı yoktur. Tekli helisel kazıkların taşıma gücü değeri doğrudan ayırık taşıma gücü yöntemi ile hesaplanır. İri daneli zeminlerde helisel kazıkların taşıma gücü hesaplanırken imalat sırasında şaft etrafında oluşan zemin örselenmesinden ve şaft çelik yüzeyinin pürüzsüz olmasından dolayı şaft sürtünmesi ihmal edilir. Eğer şaft bölgesi çevresine çimento enjeksiyonu yapılırsa şaft sürtünmesi taşıma gücü hesaplarında dikkate alınabilir.

Helisel kazıkların teorik basınç ve çekme kapasiteleri yükleme deneyleri ile kontrol edilebilir. Helisel kazıkların yükleme deneyleri ASTM standartlarına göre yapılır.

Helisel kazıklar kazı destek sistemlerinde de kullanılmaktadır. İstinat duvarlarının temellerinde kullanılabileceği gibi helisel zemin çivisi ve helisel ankraj olarak da kullanılabilir. Helisel ankrajlara öngerme işlemi uygulanarak kazı arkasındaki deplasmanlar azaltılabilir.

Helisel kazıklar temel takviyesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İmalat sırasında titreşimin azlığından ötürü tarihi kâgir yapı temelleri takviyesinde tercih edilmektedir. ABD’de ve Avrupa’da birçok tarihi yapı temeli, helisel kazık kullanılarak takviye edilmiştir.

Şişen zemine oturan yapıların temellerinde helisel kazıkların kullanılması avantaj sağlamaktadır. Helisel kazığın sahip olduğu helisel taşıma plakası stabil zemin içinde teşkil edilmektedir. Helisel kazığın şaftının küçük çaplı ve çeliğin pürüzsüz olması nedeniyle şişme kuvveti helisel kazığa aktarılmamaktadır.

Helisel kazıklar imal edildikten sonra servis ömürleri boyunca korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. Kaplama ya da katodik koruma yapılarak helisel kazıklar korozyona karşı korunabilir. Kaplamalar galvaniz çinko kaplama veya epoksi boya kaplama olabilir. Katodik koruma da ise kurban anot yöntemi kullanılır.

Helisel kazıklar yurtdışında temel sistemlerinde, temel takviyesinde, iksa sistemlerinde ve birçok farklı geoteknik uygulamada kullanılmaktadır. Helisel kazıklar henüz ülkemizde kullanılmamıştır. Ancak önümüzdeki dönemlerde kullanımının başlaması ile Türkiye’de geoteknik mühendisliğinde yeni bir uygulama alanının açılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- AASHTO** (2004). *LRFD Bridge Design Specifications.*, Washington, DC: American Association of State Highway Transportation Officials.
- A.B. Chance Co.** (1993). *Helical-Pier Foundation System. Manufacturer technical support document.* Centralia, MO. A.B. Chance.
- A.B. Chance Co.** (2003). *Helical Screw Foundation Design Manual for New Construction. Manufacturer technical support document.* A.B. Chance: Centralia, MO.
- Adams, J.I. ve T. W. Klym.** (1972). A Study of Anchors for Transmission Tower Foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 89–104.
- AISC** (2001). *Manual of Steel Construction 3rd ed.* Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.
- American Galvanizers Association (AGA)** (2000). *Hot-Dip Galvanizing for Corrosion Protection of Steel Products.* Englewood, CO: American Galvanizers Association.
- ASTM** (2013). *Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load* (ASTM D1143-07).
- ASTM** (2013). *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load* (ASTM D3689-07).
- ASTM** (2013). *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load* (ASTM D3966-07).
- Bassett, R.H.** (1978). Underreamed Ground Anchors. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 18, No. 1, December Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 11–17.
- Bian, Y., Hutchinson, T.C., Wilson, D., Debra, L. ve Brandenburg S.** (2008). Experimental Investigation of Grouted Helical Piers for Use in Foundation Rehabilitation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No.9, pp. 1280-1289.
- Bjerrum, L.** (1973). Problems of Soil Mechanics and Construction in Soft Clay. *Proceedings of the 8th International Conference, ISSMFE, Moscow*, Vol. 3, pp. 150-157.
- Bump, J. ve Laney, M.** (2012). *High Capacity Helical Piles and Wind Turbine Foundations* [Powerpoint slaytları].

- Bustamante, M. ve Gianceselli L.** (1982). Pile Bearing Capacity Prediction by Means of Static Penetrometer CPT. *Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing, EWOPT-II, Vol. 2, pp. 493–500.*
- Cerato, A.B. ve Victor, R.** (2008). Effects of Helical Anchor Geometry on Long-Term Performance for Small Wind Tower Foundations Subject to Dynamic Loads. *Journal of Deep Foundations Institute, Vol 2, pp 30–41.*
- Chapel, T.A.** (1998). Field Investigation of Helical and Concrete Piers in Expansive Soils. *Masters thesis, Colorado State University, Fort Collins, CO.*
- Davisson, M.T.** (1972). High Capacity Piles. In *Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, ASCE, Illinois Section, Chicago (March), pp. 81–112.*
- Diewald, G.A.** (2003). A Modified Soil Suction Heave Prediction Protocol: With New Data from Denver Area Expansive Soil Sites. *MS Thesis, University of Colorado at Denver, Denver, CO.*
- Downey, S.** (2008). A Quality Foundation. *Presented at the Proceedings of Helical Foundations and Tie-Backs Specialty Seminar (November) Deep Foundation Institute, Los Angeles, CA.*
- Feyzi, M.** (1903). İnşaatın Genel Üsulleri.
- Fleming, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.F. ve Elson, W.K.** (1985). Piling Engineering. *Glasgow: Surrey University Press.*
- Ghaly, A.M. ve Clemence S.P.** (1998). Pullout Performance of Inclined Helical Screw Anchors in Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 7, pp. 617–627.*
- Hansen, J.** (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. *Danish Geotechnical Institute Bulletin No. 28, pp. 5–11.*
- Hoyt, R.** (2007). Engineering Manual: Ram Jack Helix Screw Anchors, Ram Jack Steel Piers. Ada, OK: *Ram Jack Systems Distribution, LLC.*
- Hoyt, R.M. ve Clemence S.P.** (1989). Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil. *Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, Brazil Vol. 2, pp. 1019–1022.*
- ICC-Evaluation Services.** (2007). *AC308 Acceptance Criteria for Helical Pile Foundations and Devices.*
- Industrial Galvanizers America** (1999). *Product Galvanizing Brochure. International Business Publishers, Atlanta, GA.*
- Isihata, H. & Kida, T.** (2000). The Early Development of Structural Pile Foundations in Japan During the Meiji Era 1868–1912. *Transactions of the Newcomen Society.*
- Jones, D.A.** (1986). Principles and Prevention of Corrosion 2nd ed. *London: Prentice-Hall.*
- Jones, F., Ryffel, H. H., Oberg E. ve McCauley C. J.** (2004). Machinery's Handbook (27th ed.). *New York: Industrial Press.*

- Lutenegger, A. J.** (2011). Historical Development of Iron Screw-Pile Foundations: 1836–1900. *The International Journal for the History of Engineering & Technology*.
- Lutenegger, A. J., Robson D. ve Mohan P.** (2013). Preservation of Historic Structures and Monuments Using Minimally Invasive Screw Piles and Helical Anchors – Two Cases. *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites- Bilotta, Flora, Lirer & Viggiani, Taylor & Francis Group, London, pp. 515-522*.
- McKeen, R.G. ve Johnson, L.D.** (1990). Climate-Controlled Soil Design Parameters for Mat Foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(7), pp. 1073– 1094.
- McOmber, R.M. ve Thompson, R.W.** (2000). Verification of Depth of Wetting for Potential Heave Calculations. In *Advances in Unsaturated Geotechnics: Proc. Sessions of Geo-Denver*, C. Shackelford, S. Houston, and N.Y. Chang, eds., pp. 409–422.
- Mestat P.** (1997). Maillages d'elements Finis Pour Les Ouvrages de Geotechnique- Conseils et Recommendations. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chausses*, No. 212, pp. 39–64.
- Meyerhof, G.G.** (1951). The Ultimate Bearing Capacity of Foundations. *Geotechnique*, Vol. 2, No. 4, pp. 301–331.
- Meyerhof, G.G.** (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 102, No. 3, pp. 195–228.
- Mitchell, A.** (1848). On Submarine Foundations; Particularly Screw-Pile and Moorings. *Civil Engineer and Architect's Journal*, Vol. 12.
- Mitsch, M.P. ve Clemence, S.P.** (1985). The Uplift Capacity of Helix Anchors and Sand. *Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil*, ASCE, pp. 26–47.
- Mooney, J.S., Adamczak, Jr. S., ve Clemence, S.P.** (1985). Uplift Capacity of Helix Anchors in Clay and Silt. *Uplift Behavior of Anchor Foundations in Soil*, ASCE pp. 48–72.
- Mudali, U.K., Khatak, H.S. ve Raj., B.** (2007). Anodic and Cathodic Protection. *Encyclopedia of Electrochemistry*. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, pp. 401–442.
- Nasr, M.H.** (2007). Use of Large Capacity Screw Piles-High Pressure Grouted Piles-Barbados. *Proceedings of the Helical Foundations and Tie-Backs Seminar*, Deep Foundation Institute, New Orleans, USA.
- Nelson, J.D., ve Miller, D.J.** (1992). Expansive Soils: Problems in Practice in Foundation and Pavement Engineering. *John Wiley and Sons, New York*.
- Nelson, J.D., Overton D.D., ve Durkee D.B.** (2001). Depth of Wetting and the Active Zone. *Proc. of Expansive Clay Soils and Vegetative Influence on Shallow Foundations*, C. Vipulanandan, Marshall Addison, and Michael Hansen, Eds., ASCE, pp. 95–109.

- Nelson, J.D., Chao, K.C. ve Overton, D.D.** (2007). Definition of Expansion Potential for Expansive Soil. *Proc. 3rd Asian Conf. on Unsaturated Soils, UNSAT-ASIA, Nanjing China*, Z.Z. Yin, Y.P. Yuan, and A.C.F. Chin, Eds., Science Press.
- Ou, C.Y.** (2006). Deep Excavation: Theory and Practice. *CRC Press* pp. 391-392.
- Pack, J.S.** (2006). Performance of Square Shaft Helical Pier Foundations in Swelling Soil. *Proceedings of Geo-volution, ASCE and AGU Joint Conference Denver, CO ASCE Geotechnical Practice Publication No. 4*, pp. 76–85.
- Perko, H.A.** (2004). Introduction to Corrosion and Galvanizing of Helix Foundations. In *Proceedings of the Helical Foundations and Tie-Backs Specialty Seminar, Deep Foundation Institute, Tampa, FL*.
- Perko, H.A.** (2009). Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation. *John Wiley & Sons, Inc.*
- Plaxis 2D Version 8 User Manual.** (2002). *Delft University of Technology & Plaxis B.V., Netherlands*.
- Rao, S.N., Prasad Y.V.S.N., Shetty M.D. ve Joshi V.V.** (1989). Uplift Capacity of Screw Pile Anchors. *Geotechnical Engineering, Vol. 20, No. 2*, pp. 139–159.
- Rao, S.N., Prasad Y.V.S.N. ve Veeresh C.** (1991). Behavior of Model Screw Piles in Cohesive Soils. *Soils and Foundations, Vol. 31, No. 2*, pp. 35–50.
- Rao, S.N., Prasad Y.V.S.N. ve Veeresh C.** (1993a). Behavior of Embedded Model Screw Anchors in Soft Clays. *Geotechnique, Vol. 43, No. 4*, pp. 605–614.
- Rao, S.N. ve Prasad Y.V.S.N.** (1993b). Estimation of Uplift Capacity of Helical Anchors in Clays. *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 2*, pp. 352–357.
- Ratliff, G.R.** (1966). *U.S. Patent No. 3243962 A*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Romanoff, M.** (1989). *Underground Corrosion. National Bureau of Standards No. 579. Reprinted by NACE, Houston, TX*.
- Sakr, M.** (2010). High Capacity Helical Piles – A New Dimension For Bridge Foundations. *Proceedings of 8th International Conference on Short and Medium Span Bridges Vol. 2, No. 142*, pp. 851–860.
- Salhi, L., Nait-Rabah, O., Deyrat, C. Ve Roos, C.** (2013). Numerical Modeling of Single Helical Pile Behaviour Under Compressive Loading in Sand. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 18*, pp. 4319–4338.
- Seider, G.** (2004). Helical Foundations: What an Engineer Needs to Know. *What an Engineer Needs to Know. Structure Magazine, Vol. 11, No. 6*, pp. 27–28.
- Skempton, A.W.** (1959). Cast In-Situ Bored Piles in London Clay. *Geotechnique, Vol. 9, No:4*, pp. 153-173.

- Tappenden, K.M.** (2004). Predicting the Axial Capacity of Screw Piles Installed in Western Canadian Soils. *Master's thesis, University of Alberta, Edmonton, Alberta.*
- Terzaghi, K.** (1943). Theoretical Soil Mechanics. *New York: John Wiley and Sons.*
- Thompson, R.W., Rethamel, W., ve Perko, H.A.** (2006). Comparison of Constant Volume and Oedometer Swell Pressures. *In Proceedings of Unsaturated Soil 2006, American Society of Civil Engineers, Phoenix, AZ.*
- Tsuha, C., Filho J., ve Santos T.** (2016). Helical Piles in Unsaturated Structured Soil: A Case Study. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(1), pp. 103–117.
- Uhlig, H.H. ve Revie, R.W.** (1985). Corrosion and Corrosion Control, 3rd ed. *New York: John Wiley and Sons.*
- Vesic, A.S.** (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Design*, Vol. 99, No. SM 1, pp. 45–73.
- Vickars, R.A. ve Clemence, S.P.** (2000). Performance of Helical Piles with Grouted Shafts. *In New Technological and Design Developments in Deep Foundations*, pp. 327–341. *Reston, VA: American Society of Civil Engineers.*
- Walsh, K.D.** (2009). Method for Evaluation of Depth of Wetting in Residential Areas, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, February Edition, ASCE, pp. 169–176.
- Zaki, A.** (2006). Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. *Oxford, U.K: Butterworth-Heinemann.*
- Zhang, D.J.Y.** (1999). Predicting Capacity of Helical Screw Piles in Alberta Soils. *Master's thesis, University of Alberta, Edmonton.*

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Barış Yılmaz
Doğum Tarihi ve Yeri : 25.01.1991 Silifke/Mersin
E-posta : barisyilmaz0509@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014-2016 yılları arasında özel bir firmada İstanbul ve İzmir'deki çeşitli metro projelerinin istasyonların derin kazı destek sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile tasarımını, İstanbul'daki çeşitli ulaştırma projelerinin geoteknik tasarım raporlarını, Türkiye'nin birçok ilinde çeşitli zemin iyileştirme, kazı destek ve geoteknik değerlendirme raporlarını ve İstanbul'da çeşitli saha deneyi ve arazi araştırmalarına kontrol mühendisliği yaptı.
- 2015 yılında serbest olarak İstanbul'da yapılacak olan yeni havalimanının geoteknik tasarım elkitabını ve çeşitli geoteknik raporları İngilizce'den Türkçe'ye çevirdi.