

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞKEN YATAK KATSAYISI YÖNTEMİ İLE KAZIKLARIN
YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

NEDİM PLASTO

KOCAELİ 2015

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

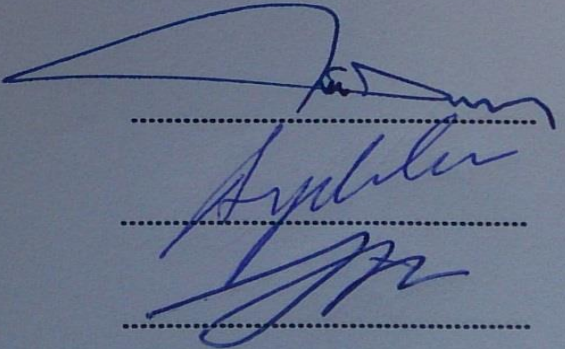
**DEĞİŞKEN YATAK KATSAYISI YÖNTEMİ İLE KAZIKLARIN
YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

NEDİM PLASTO

Prof. Dr. Sami ARSOY
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç. Dr. Aydın KAVAK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....
.....
.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.06.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışma Prof. Dr. Sami ARSOY denetiminde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle beni Yüksek Lisans öğrencisi olarak kabul eden ve çalışmalarım süresince değerli öneri ve eleştirileri ile yönlendiren, araştırmalarımın her safhasında benden desteğini esirgemeyen, çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, çalışmamın yöneticisi Sayın danışman Hocam Prof. Dr. Sami ARSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini benden esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak tüm yaşantım boyunca, birçok fedakârlığa katlanarak beni bu günlere getiren ve sürekli yanımda olarak beni destekleyen değerli Ailem'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran – 2015

Nedim PLASTO

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	4
1.1. Giriş.....	4
1.2. Düşey Olarak Yüklenmiş Kazıklar	4
1.3. Yanal Yüklenmiş Kazıklar	5
1.3.1. Winkler yaklaşımı	6
1.3.2. p–y yöntemi.....	8
1.3.3. CLM yöntemi	12
1.3.4. k_{hmax} yöntemi.....	16
1.4. Kazık Grupları.....	24
1.4.1. Grup etkinlik faktörleri	25
1.4.2. Yanal yüklenmiş kazık grupları	25
2. YÖNTEM VE MALZEMELER	29
2.1. Giriş.....	29
2.2. Boyutsuz Katsayıları a' ve b'	30
2.3. Kazık Rijitliği (EI), Drenajsız Kayma Mukavemeti (S_u), ve Bağlı Yoğunluk (D_r), Boyutsuz Katsayılarının a ve b Üzerindeki Etkileri	32
2.3.1. Kuma gömülü kazıklar	32
2.3.2. Kile gömülü kazıklar	38
2.4. Yatak Yatak Katsayısının Ortalama Değerinin Belirlenmesi ($k_{hmax,avg}$)	43
2.5. Değiştirilmiş Yeraltı Suyu Tablosu.....	52
3. YANAL YÜKLEMİŞ KAZIKLARIN ANALİZLERİ.....	56
3.1. Giriş.....	56
3.2. Kazık Üzerinde Uygulanan Yanal Yükünün Hesaplanması	57
3.3. Boyutsuz Katsayıları A ve B.....	58
3.4. Kazık Grup Katsayıları	62
3.5. Önerilen Kazık Grubu Katsayıları	68
4. KUMA GÖMÜLÜ KAZIKLARIN TEST SONUÇLARI.....	75
4.1. Giriş.....	75
4.1.1. Zemin özellikleri	75
4.1.2. Kazık özellikleri	76
4.2. Kuma Gömülü Tekil Kazık Testleri.....	76
4.2.1. Brown ve diğ. (1988)	77
4.2.2. Arkansas River – Alizadeh ve Davisson (1970)	78
4.2.3. Rollins ve diğ. (2005).....	81
4.2.4. Elhakim ve diğ. (2014).....	82
4.2.5. Brown ve diğ. (2001) – Taiwan test.....	84

4.3. Kuma Gömülü Kazık Gruplarının Testleri	85
4.3.1. Elhakim ve diğ. (2014).....	86
4.3.2. Kazık grubu 3x3 – Brown ve diğ. (1988)	92
5. KİLE GÖMÜLÜ KAZIKLARIN TEST SONUÇLARI	94
5.1. Kile Gömülü Tekil Kazık Testleri.....	94
5.1.1. Rollins ve diğ. (1998).....	94
5.1.2. Reuss ve diğ. (1992).....	96
5.1.3. Zafir ve Vaderpool (1998)	98
5.1.4. Bhushan ve diğ. (1987)	100
5.1.5. Rollins ve diğ. (2003).....	102
5.1.5.1. Tekil kazık (D=0,324m).....	104
5.1.5.2. Tekil kazık (D=0,61m).....	106
5.2. Kile Gömülü Kazık Gruplarının Testleri	109
5.2.1. Kazık grubu 3x3 (3D kazık aralığı) – Rollins ve diğ. (1998)	109
5.2.2. Kazık grubu testi - Rollins ve diğ. (2003).....	111
5.2.2.1. Kazık grubu 3x3 – (5.65D aralığı)	112
5.2.2.2. Kazık grubu 3x4 – (4.4D aralığı)	114
5.2.2.3. Kazık grubu 3x5 – (3.3D aralığı)	115
5.2.2.4. Kazık grubu 3x3 – (3.0D aralığı)	116
6. k_{hmax} -AVERAGE REHBERİ	118
6.1. k_{hmax} -Average Kullanım Kılavuzu	118
6.1.1. Birimler	120
6.1.2. Zemin mukavemeti	120
6.1.3. Birim ağırlık	121
6.1.4. Kazık özellikleri	121
6.1.5. Su düzeltme faktörü	121
6.1.6. Kazık grubunun geometri.....	122
6.1.7. Hesaplanan sonuçlar.....	122
6.2. Örnek Sonuçları	122
6.2.1. Kile gömülü kazık	122
6.2.2. Kuma gömülü kazık	126
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	130
7.1. Sonuçlar	130
7.2. İleri Çalışmalar İçin Öneriler	132
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	136
ÖZGEÇMİŞ	137

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	p-y eğrileri ile yanal yüklenmiş bir kazığın modeli	9
Şekil 1.2.	Bir kazığı çevreleyen zeminin gerilmelerinin yayılması: yanal eğilmeden (a) önce ve (b) sonra	9
Şekil 1.3.	p-y kavramının tanımı a) kazık yüklenmeden; b) kazık yükledikten sonra	10
Şekil 1.4.	Yanal yüklemeye karşılık olarak gelen tipik p-y eğriler ailesi	11
Şekil 1.5.	p-y eğrileri geliştirmekte metodoloji	11
Şekil 1.6.	Deformasyon ile yatay yatak katsayısının bozulması	17
Şekil 1.7.	Yatay yatak katsayısı karşı şekil değiştirme	18
Şekil 1.8.	Ortalama eğrinin ve 2.17 denkleminde elde edilen eğri	19
Şekil 1.9.	Yanal yüklenmiş bir kazık grubundaki gölgeleme ve kenar etkisi	26
Şekil 1.10.	Mokwa ve Duncan (2001) tarafından önerilen grup katsayılarının tasarım değerleri	27
Şekil 1.11.	Kazıklar arası boşluk (S\D) karşı grup katsayısı (G)	28
Şekil 2.1.	Normalize k_h/k_{hmax} kayma gerinime karşı (γ)	33
Şekil 2.2.	a' katsayıların kazık rijitliğine (EI) karşı değişimi	34
Şekil 2.3.	b' katsayıların kazık rijitliğine (EI) karşı değişimi	35
Şekil 2.4.	a' katsayıların bağıl yoğunluğuna (D_r) karşı değişimi	35
Şekil 2.5.	b' katsayıların bağıl yoğunluğuna (D_r) karşı değişimi	36
Şekil 2.6.	a' katsayıların EI/D_r karşı değişimi	36
Şekil 2.7.	b' katsayıların EI/D_r karşı değişimi	37
Şekil 2.8.	Sert kile gömülü dört kazık için normalize k_h/k_{hmax} karşı kayma gerinimi	39
Şekil 2.9.	a' katsayıların ve b' kazık rijitliğine EI karşı değişimi	40
Şekil 2.10.	b' katsayıların kazık rijitliğine EI karşı değişimi	40
Şekil 2.11.	a' katsayıların drenajsız kayma mukavemetine (S_u) karşı değişimi	41
Şekil 2.12.	b' katsayıların drenajsız kayma mukavemetine (S_u) karşı değişimi	41
Şekil 2.13.	a' katsayıların EI/S_u karşı değişimi	42
Şekil 2.14.	b' katsayıların EI/S_u karşı değişimi	42
Şekil 2.15.	Yük – deplasman tepkisi	45
Şekil 2.16.	Bağıl yoğunluk (D_r), sürtünme açısı (f) ve yatay yatak katsayısı (k) arasındaki korelasyonları	48
Şekil 2.17.	k_{hmax} ortalama, üst ve alt limiti	48
Şekil 2.18.	Sert kil için k_{hmax} 'ın ortalama, üst ve alt sınırı	50
Şekil 2.19.	Yumuşak kil için k_{hmax} 'ın ortalama, üst ve alt sınırı	50
Şekil 2.20.	Kil için k_{hmax} ortalama değerleri	51
Şekil 2.21.	Su seviyesi için ayarlama faktörleri	53
Şekil 2.22.	Basitleştirilmiş (lineer) yaklaşım için $Wc1$ faktörleri	53
Şekil 2.23.	Basitleştirilmiş (eğimli) yaklaşım için $Wc2$ faktörleri	54
Şekil 2.24.	Wc katsayısının hesaplamak için önerilen yaklaşımlar	55
Şekil 3.1.	Yanal yüklenmiş kazık deplasmanı için süperpozisyon prensibi	57
Şekil 3.2.	Matlock ve Reese (1960) tarafından önerilen A_y ve B_y deplasman katsayıları	60

Şekil 3.3.	Boyutsuz katsayıları: a) Z'e karşı A_s ve B_s değerleri; b) Z'e karşı A_m ve B_m değerleri	63
Şekil 3.4.	Boyutsuz katsayıları: a) Z'e karşı A_v ve B_v değerleri; b) Z'e karşı A_p ve B_p değerleri	64
Şekil 3.5.	Küçük kazık grupları için grup katsayıları (2 kazık için)	66
Şekil 3.6.	Grup katsayıları (4 kazık için)	67
Şekil 3.7.	Grup katsayıları (6 kazık için)	68
Şekil 3.8.	Farklı kazık gruplarının grup katsayıları.....	69
Şekil 3.9.	u katsayıları – kazık sayısı	70
Şekil 3.10.	v katsayıları – kazık sayısı	70
Şekil 4.1.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,273 m)	77
Şekil 4.2.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,273 m)	78
Şekil 4.3.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,406 m)	79
Şekil 4.4.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,406 m)	79
Şekil 4.5.	Farklı yük (Q) için moment-derinlik tepkileri: a) Q=43,6 kN, b) Q=88,07 kN, c) Q=155,68 kN	80
Şekil 4.6.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,324 m)	81
Şekil 4.7.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)	82
Şekil 4.8.	Tekil kazık için yanal yük-deplasman tepkisi: a) Sıkı kum b) Gevşek kum.....	83
Şekil 4.9.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=1,5 m)	84
Şekil 4.10.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=1,5 m)	85
Şekil 4.11.	Modellenen 2x2 ve 3x3 kazık grubu konfigürasyonları	87
Şekil 4.12.	Sıkı kuma gömülü kazık grubunun (2x2) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D, b) kazık aralığı 5D	88
Şekil 4.13.	Gevşek kuma gömülü kazık grubunun (2x2) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D, b) kazık aralığı 5D	89
Şekil 4.14.	Sıkı kuma gömülü kazık grubunun (3x3) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D, b) kazık aralığı 5D	90
Şekil 4.15.	Gevşek kuma gömülü kazık grubunun (3x3) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D, b) kazık aralığı 5D	91
Şekil 4.16.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (kazık grubu, aralık 3D, D=0,273 m)	93
Şekil 4.17.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu, aralık 3D, D=0,273 m)	93
Şekil 5.1.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,324 m)	95
Şekil 5.2.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)	96
Şekil 5.3.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,400 m)	97
Şekil 5.4.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,400 m)	97
Şekil 5.5.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,61 m, L=10,67 m)	99
Şekil 5.6.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,61 m, L=10,67 m)	100
Şekil 5.7.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,61 m, L=5,0 m)	101
Şekil 5.8.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,61 m, L=5,0 m)	101
Şekil 5.9.	Analiz için seçilen idealize zemin profili ve mukavemet özellikleri.....	103
Şekil 5.10.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,324 m; D=0,61 m).....	103
Şekil 5.11.	Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)	104
Şekil 5.12.	Ölçülen moment eğrileri, Lpile ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğrileri ile birlikte derinliğe karşı: a) Q=51,32 kN,	

	b) $Q=101,22$ kN, c) $Q=156,76$ kN, d) $Q=211,11$ kN.....	105
Şekil 5.13.	Tekil kazık ($D=610$ mm) yanal yük testi	106
Şekil 5.14.	Yanal yük – deplasman tepkisi ($D=0,61$ m)	107
Şekil 5.15.	Ölçülen moment eğrileri, L_{pile} ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğrileri ile birlikte derinliğe karşı; a) $Q=130$ kN, b) $Q=240$ kN, c) $Q=300$ kN, d) $Q=414$ kN.....	108
Şekil 5.16.	Farklı yöntem için zemin özellikleri (kazık grubu 3×3 , aralık $3D$, $D=0,324$ m)	110
Şekil 5.17.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3×3 , aralık $3D$, $D=0,324$ m)	111
Şekil 5.18.	Dokuz kazıktan oluşan kazık grubu için yatay yük testi.....	112
Şekil 5.19.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3×3 , aralık $5,65D$, $D=0,324$ m)	113
Şekil 5.20.	Testi sırasında serbest başı 12-kazık grubu	114
Şekil 5.21.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3×4 , aralık $4,4D$, $D=0,324$ m)	114
Şekil 5.22.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3×5 , aralık $3,3D$, $D=0,324$ m)	115
Şekil 5.23.	Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3×3 , aralık $3D$, $D=0,61$ m)	116
Şekil 6.1.	Giriş parametreleri: a) kum için, b) kil için	118
Şekil 6.2.	Talimat ve tanımlar	119
Şekil 6.3.	Boyutsuz katsayıları A ve B	119
Şekil 6.4.	Hesaplanan sonuçlar	120
Şekil 6.5.	Yanal yük – deplasman tepkisi ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m)	123
Şekil 6.6.	Derinlik boyunca kazık deplasmanı ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m)	124
Şekil 6.7.	Moment – kazık derinliği ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m)	124
Şekil 6.8.	Eğim – kazık derinliği ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m).....	125
Şekil 6.9.	Kayma yük – kazık derinliği ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m).....	125
Şekil 6.10.	Zemin reaksiyonu – kazık derinliği ($D=0,4$ m; $L=12,0$ m)	126
Şekil 6.11.	Yanal yük – deplasman tepkisi ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m)	127
Şekil 6.12.	Deplasman – kazık derinliği ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m)	127
Şekil 6.13.	Moment – kazık derinliği ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m)	128
Şekil 6.14.	Eğim – kazık derinliği ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m).....	128
Şekil 6.15.	Kayma yük – kazık derinliği ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m).....	129
Şekil 6.16.	Zemin reaksiyonu – kazık derinliği ($D=0,406$ m; $L=16,0$ m)	129

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	A_m ve B_m moment katsayıları	15
Tablo 1.2.	Karakteristik yük yöntemi için minimum kazık uzunlukları	16
Tablo 1.3.	Kumar (1993) ve Prakash and Kumar (1996) tarafından önerilen k_{hmax} değerlerinin aralığı	19
Tablo 1.4.	S_u tablosu için ayarlama faktörleri	24
Tablo 2.1.	Kumlarda katsayılarının a ve b değerleri	31
Tablo 2.2.	Killerde katsayılarının a ve b değerleri	31
Tablo 2.3.	Kazıkların orijinal özellikleri	32
Tablo 2.4.	Eğriler ve a' ve b' katsayılarının fonksiyonları	34
Tablo 2.5.	Farklı malzemeler için elastiklik modülü	34
Tablo 2.6.	Kazıkların orijinal bilgileri	38
Tablo 2.7.	Eğrilerinin fonksiyonları ve a' ve b' katsayıları	39
Tablo 2.8.	Kazıklar orijinal bilgileri	44
Table 2.9.	Zemin tipine göre a' ve b' katsayılarının değerleri	46
Tablo 2.10.	Bağıl yoğunluğuna (D_r) göre kum sınıflandırılması	47
Tablo 2.11.	Önerilen değerler arasındaki W_c katsayısının farkları	55
Tablo 3.1.	$k_h = n_h \cdot x$ varsayımıyla uzun dikey kazıkları için Reese ve Matlock (1956) tarafından elde edilen A ve B katsayıları	59
Tablo 3.2.	Önerilen ve yeni geliştirilmiş A_y ve B_y katsayıları	61
Tablo 3.3.	k_{hmax} hesaplanması için katsayılar	72
Tablo 3.4.	Kazık derinliği boyunca yükler için önemli formüller	73
Tablo 3.5.	k_{hmax} – Ortalama yöntemi için boyutsuz katsayıları A ve B	74
Tablo 4.1.	Tekil kazıklarının test bilgileri	76
Tablo 4.2.	Kazık ve zemin özellikleri	78
Tablo 4.3.	Test kum özelliklerinin özeti	83
Tablo 4.4.	Kazık gruplarının test bilgileri	86
Tablo 4.5.	Kazık gruplarının grup katsayıları	87
Tablo 5.1.	Tekil kazıklarının test bilgileri	94
Tablo 5.2.	Zemin özellikleri	98
Tablo 5.3.	Kazık özellikleri	99
Tablo 5.4.	Kazık gruplarının test bilgileri	109
Tablo 5.5.	Testlerdeki kazık ve zemin özellikleri	112

DEĞİŞKEN YATAK KATSAYISI YÖNTEMİ İLE KAZIKLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Yanal yüklere karşı kazıkların tasarlanması uzmanlık işi olup kapsamlı analizler gerektirir. Ancak, ön tasarım ya da küçük işler için, basit yöntemler kullanılabilir. Bu çalışmada, yanal yüklerle yüklenmiş tekil kazık ve kazık grupları incelenecektir. Bu işlem farklı yöntemler için yapılacak ve sonuçlar çeşitli kohezyonlu zeminler (sert ve yumuşak kil) ve kohezyonsuz zeminler (kum) için karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada literatürde mevcut üç yöntem incelenmiştir: p-y yöntemi, Characteristic Load Method-CLM yöntemi ve Kumar (1993) ve Prakash ve Kumar (1996) tarafından önerilen k_{hmax} yöntemi. Bu çalışmanın amacı ise farklı yöntemlerle elde edilen yanal yüklü tekil kazık ve kazık gruplarının yük-ötelenme davranışlarını incelemek ve aynı zamanda geliştirilmiş k_{hmax} yöntemi ile ve ölçülen veriler ile birlikte karşılaştırmaktır. Bu yöntemlerinden hangisinin daha güvenilir sonuçlar verebileceğine yönelik bir tartışma sunulmuştur. Kullanılan yöntemlerin avantajları ve dezavantajları da tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CLM, Kazık Grubu, k_{hmax} Yaklaşımı, Yanal Yük, Yük-Ötelenme Tepkisi.

DETERMINING THE BEHAVIOUR OF LATERALLY LOADED PILES WITH METHOD OF VARIABLE MODULUS OF SUBGRADE REACTION

ABSTRACT

Designing piles against lateral loads is a specialty task, requiring comprehensive analysis. However, for a preliminary design or for small jobs, simple methods can be employed. In this work, laterally loaded single pile and pile groups will be investigated. The deflection at the ground surface in the piles will be calculated. This will be done for few different methods and the results will be compared for different types of cohesive soil (hard and soft clay), and for cohesionless soil (sand). A literature review yielded three methods: p-y method, the Characteristic Load Method – CLM and the k_{hmax} method proposed by Kumar (1993) and Prakash and Kumar (1996). The aim of this study is to compare the load-deflection behavior of laterally loaded single piles and pile groups obtained by different methods in comparison to the improved k_{hmax} method along with the measured data. A discussion on which of these methods give more reliable results is presented. The advantages and the disadvantages of the used methods are also discussed.

Keywords: CLM, Pile Groups, k_{hmax} Approach, Lateral Load, Load-Deflection Response.

GİRİŞ

Derin temeller, zeminin içinde daha büyük derinliklere yük aktarmayı sağlar. Derin temeller genellikle çeşitli kazıklardan oluşmaktadır, aynı zamanda diyafram, kuyu veya kesonlar da kullanılmaktadır.

Kazıklar, uzunlukları enine kesittinden oldukça büyük olan derin temellerdir. Yükleri yapıdan zeminin içine doğru aktaran şaftları temsil eder. Bu elemanlar zemindeki sert malzemelerden veya önceden yapıp zemine yerleştirilmiş yapısal elemanlardan oluşmaktadır. Zayıf zeminde, sağlam zeminde ve aynı zamanda yeraltı ve yerüstü suların varlığında, kazık temellerin oluşturması mümkündür.

Günümüzdeki kazıkların boyutları çok farklı olabilmektedir. Çapları on santimetreden (mikro kazıklarda) birkaç metreye (büyük köprülerin temellerinde ve platformlarda) kadar değişmektedir. Uzunluklar ise birkaç metre ile yüz metre arasında değişmektedir. Uzun kazıklar genelde denizdeki petrol platformlarında ve büyük köprülerin temellerinde kullanılmaktadır.

Kazık temeller ekonomik, güvenli ve çevreyi koruma konusunda uygundur. Modern inşaat sektöründe kazık temeller hızlı, verimli ve ekonomik inşaat sağlamaktadır, fakat uygun erişim yolu ve çalışma alanları gerektirmektedir.

Kazıkların sınıflandırılması çeşitli kriterlere göre yapılmaktadır:

1. Kazıkların malzemeye göre sınıflandırılması

- Ahşap
- Çelik
- Beton
- Betonarme
- Çakıl.

2. Kazıkların inşa edilme yöntemine göre sınıflandırılması

- Yükleme yöntemi: Kazık zemine dâhil edilir ve sonrasında beton veya çakıl ile doldurulur.
- Çakma kazıklar özel cihazlar aracılığıyla zeminin içine gömülür. Cihazlar genellikle dizel makine, motorlu vibratör veya statik sıkıştırıcılardır.
- Delme kazıklar genelde, önceki sondaj deliklerine beton dökülerek elde edilir. Sondaj deliği, özel matkaplar, sıkıştırıcılar, çengeller ve başka aletler kullanan özel delme makinası ile elde edilir.

3. Kazıkların yük aktarmalarına göre sınıflandırılması

- uç direnci ile yük aktaran kazıklar;
- çevre sürtünmesi aracılığıyla yük aktaran kazıklar (hovering piles)
- karma yük aktarımı olan kazıklar.

Kazıklar ayrı kolon olarak nadiren uygulanırlar. Çoğu zaman betonarme kirişine veya başlığa bağlı olarak grup halinde yerleştirilirler.

Araştırmanın amaçları

Yanal yüklere karşı kazık tasarlamak uzmanlık ve kapsamlı incelemeler gerektiren bir görevdir. Bu çalışmada, yanal yüklerle yüklenmiş tekil kazık ve kazık grupları incelenecektir. Kazıklardaki yanal yük-ötelenme ilişkisi irdelenip hesaplanacaktır. Bu işlem farklı yöntemler için yapılacak ve sonuçlar çeşitli kohezyonlu zeminler (sert ve yumuşak kil) ve kohezyonsuz zeminler (kum) için karşılaştırılacaktır. Bu araştırmanın hedefi, yanal yük-ötelenme arasındaki etkilenmeyi analiz etmek; p-y ve CLM yöntemi ile elde edilmiş sonuçları bu çalışma kapsamında geliştirilmiş k_{hmax} yöntemi ile kıyaslayarak yanal yüklerle yüklenmiş tekil kazıkların ve kazık grupların yük - ötelenme davranışlarını belirlemek için kullanılacak bu yöntemleri arazide ölçülen verilerle karşılaştırmaktır.

Birinci bölümde, günümüzde kazıkların yanal kapasitelerini hesaplamak için en çok kullanılan yöntemler sunulmuştur. Burada seçilmiş yöntemler: Winkler yöntemi, p-y yöntemi ve "characteristic load method (CLM)" yöntemidir. Bu yöntemlerin üçü de iyi bilinen ve çokça kullanılan yöntemlerdir.

İkinci ve üçüncü bölümde, yeni geliştirilmiş olan k_{hmax} yöntemi tanıtılıp anlatılmıştır. Bu yöntemde kullanılan parametrelerle beraber yöntemin kendisi de gözden geçirilmiştir. k_{hmax} yöntemin yanal yüklerle yüklenmiş tek kazık ve kazık gruplarında kullanılması da tanımlanmıştır.

Dördüncü ve beşinci bölümde, örnek tasarım problemleri tanıtılıp bu çalışma kapsamında geliştirilmiş k_{hmax} yöntemi ile incelenmişlerdir. Kazıklardaki yatay yük altındaki ötelenme çeşitli yöntemlerle hesaplanmış ve sonuçlar k_{hmax} -Ortalama yöntemi ile kıyaslanmıştır.

Altıncı bölümde, geliştirilen k_{hmax} yönteminin kullanılması hakkında öneriler sunulmuştur.

Yedinci bölümde, geliştirilen k_{hmax} yöntemi için sonuç ve öneriler, aynı zamanda deney sonuçları verilmiştir.

1. LİTERATÜR İNCELEMESİ

1.1. Giriş

Kendilerine dayatılan yükleri taşıyabilmeleri için, kazıklar birkaç çeşitli şekilde ayarlanabilir. Yüksek binalar, köprüler, sahil ötesi platformları, koruma yapıları, baraj ve havuz kanalı yapılar, iletim kuleleri, istinat duvarları, iskele vb. gibi yapılar kazıkların temel olarak kullanıldıklarına örneklerdir. Fakat bu yapılarda, kazıklar sadece aksel kuvvetleri taşımayıp, sık sık yanal yük ve momentlere de maruz kalmaktadır. Aslında, bazı yapıların (örneğin: yağ üretme platformları, istinat duvarları, iskele ve dalgakıran) ana görevi yanal yükleri zemine aktarmaktır.

Gerekirse, düşey ve yatay kuvvetleri taşımak için kazıklar grup halinde birleştirmek mümkündür. Düşey veya yatay yüklerin etkilerine göre, kazığın kapasitesini hesaplayabilmek için birçok yöntem geliştirilmiştir.

1.2. Düşey Olarak Yüklenmiş Kazıklar

Düşey yükler kazığın eksenine paralel olarak etkirler. Düşey yüklere karşı mukavemet, zemin ile kazık arasındaki sürtünme ve kazık-zemin arayüz tarafından sağlanmaktadır. Düşey yükler etkisi altında kalan kazığın kapasitesi kazığın malzemesine ve aynı zamanda kazığın gömüldüğü zeminin özelliklerine bağlıdır.

Bir kazığın taşıma kapasitesi, uç kapasitesi ve kazık çevresi ile zemin arasında oluşan sürtünme direncinden ibaret olup basit bir denklemin toplanması olarak ifade edilebilir:

$$Q_i = Q_p + Q_s \quad (1.1)$$

Burada: Q_i = kazığın nihai kapasitesi

Q_p = nihai uç dayanımı

Q_s = cidar sürtünmesinden dolayı kazığın dayanımı

Q_p ve Q_s değerlerin elde edilebilmesi için birçok araştırma çalışmaları yayınlanmıştır. Öne çıkan araştırmalar, Vesic (1977), Meyerhof ve Coyle (1976) ve Costello (1981) tarafından yapılmıştır.

1.3. Yanal Yüklenmiş Kazıklar

Düşey yüklere ek olarak, kazıklara aynı zamanda yanal yükler ve moment kuvvetleri de etki edebilirler. Yanal yüklenmiş kazıklar liman yapılarında, akarsuya maruz kalan köprü ayaklarında, sorunlu eğim stabilitesi olan alanlardaki istinat yapılarda, deprem yüklerine maruz kalma ihtimali olan yapıların temellerinde, yanal yükler taşıyan kulelerde ve yüksek binalarda (rüzgâr enerjisi değirmeni, reklam panoları vb.) kullanılmıştır.

Tasarım amacıyla, yanal yüklenmiş kazığın yük - deplasman davranışını anlamak çok önemlidir. Kazığın başına etkileyen yanal yük veya momentin büyüklüğünün sınırı, kazığın bulunduğu zeminin gücünden daha çok kazığın izin verilen yerdeğiştirmesine bağlıdır.

Tek kazıklarda, kabul edilebilir bir yanal yükü saptamak için genellikle iki ölçüt kullanılmaktadır. Birinci ölçüt kazıklardaki kabul edilen yükü, kazığın nihai yükü uygun bir güvenlik faktörü ile bölünerek elde edilen zeminin yenilmesi prensibine göre hesaplanır. İkinci ölçüt ise, kabul edilebilir bir yanal deplasman için izin verilen yük hesaplanır.

Pek çok araştırma ve analizin yapılmasına rağmen, yanal yüklere maruz kalan kazıkların tasarımı için uygun ve güvenilir bir yöntem henüz bulunmamıştır. Yanal yüklere maruz kalmış tekil veya grup halinde olan kazıkların analizin yapılması için birkaç yöntem vardır, fakat bu çalışmada daha çok kullanılan ve daha basit olanlar anlatılacaktır.

1.3.1. Winkler yaklaşımı

Bu teori, elastik temeldeki kiriş hesabında kullanılmaktadır. Bilgisayar programlarında kullanılması daha uygundur. Bu nedenle, günümüzde bilgisayar programların geliştirilmesiyle bu yöntem büyük önem kazanmıştır. Yöntem aynı zamanda yöntemin sahibiyle, Winkler yöntemi olarak da adlandırılmaktadır (Winkler, 1867).

Winkler Yaklaşımı, alt temel reaksiyonu olarak da bilinen, kazık eğilmesini ve eğilme momentleri öngörmek için kullanılan en eski yöntemdir ve yanal yüklerle yüklenmiş kazıkların tasarlanmasında kullanılan en yaygın yöntemdir. Winkler, bir alt temelin dış kuvvetlere karşıki dayanımı elastik yayların bir seti olarak modellenen zeminin eğilmesine oranlı olduğunu önermektedir. Bu şekilde, uygulanmış yükün etkisinde yayın elastik eğilmesi kirişin eğilmesini temsil eder. Yay katsayısı zemin malzemesinin özelliklerini temsil eder veya zemin, yatak katsayısı (k) olarak bilinmektedir.

Yatak katsayısı (k) temas yüzeyin herhangi bir noktasında (P) zemin basıncının (y) eğilmeye oranının o noktada yük uygulanmasına çarpmasıdır:

$$k = \frac{P}{y} \quad (1.2)$$

Bu konsepti yanal yüklenmiş bir kazık için, yukarıdaki denklem, K'nın alt temel reaksiyonun modülü olup (F/L²)

$$K = \frac{P}{y} \quad (1.3)$$

p 'nin kazık birim uzunluktaki zemin reaksiyonu (F/L) olduğu durumdaki gibi sıkça modifiye edilmiş (e.g. Reese and Matlock, 1956; and Davisson and Gill, 1963).

Dengeyi ve kirişin bir elemanını göz önüne alınacak olursa, kuvvetler toplandığında:

$$\sum F=0 \rightarrow p = -\frac{dV}{dx} \quad (1.4)$$

Bu, kayma kuvvetinin kiriş uzunluğunun orta noktasından x mesafeyle değiştiği orandır. Noktaya göre momentler toplandığında:

$$\sum Mn=0 \rightarrow V = \frac{dM}{dx} - Q \frac{dy}{dx} \quad (1.5)$$

Kayma deformasyonunun ve kiriş ekseninin kısalmasının etkileri ihmal edilirse, kiriş ekseninin eğrisinin tanımı bu şekli alır:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad (1.6)$$

Yer değiştirmek ve türevleme ile bu denklemleri birleştirerek aşağıdaki denklem elde edilir:

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + Q \frac{d^2y}{dx^2} = P \quad (1.7)$$

Bu denklem de, kiriş-kolonların eğilmelerinin temel diferansiyel denklemidir. Aynı zamanda, kayma kuvvetin yerine alt temel reaksiyon teorisi kullanılıp, y'nin uygulanan yükle oranlı artarak, yanal yüklenmiş kazıklarda da kullanılmaktadır.

Kohezyonlu zemin için kayma kuvveti yatay basıncıdır ve:

$$p = k_h \cdot y \quad (1.8)$$

eşittir.

Sert kilin (k_h) alt temel modülünün, derinlikten bağımsız olarak her noktada aynı değere sahip olduğu varsayılıyor. Böylece, herhangi bir zamanda, (p) alt temel reaksiyonu kazığın bir tarafında neredeyse düzgün yayılmıştır.

Kohezyonsuz zemin için aşağıdaki şekli alır:

$$p=m_h \cdot x \cdot y \quad (1.9)$$

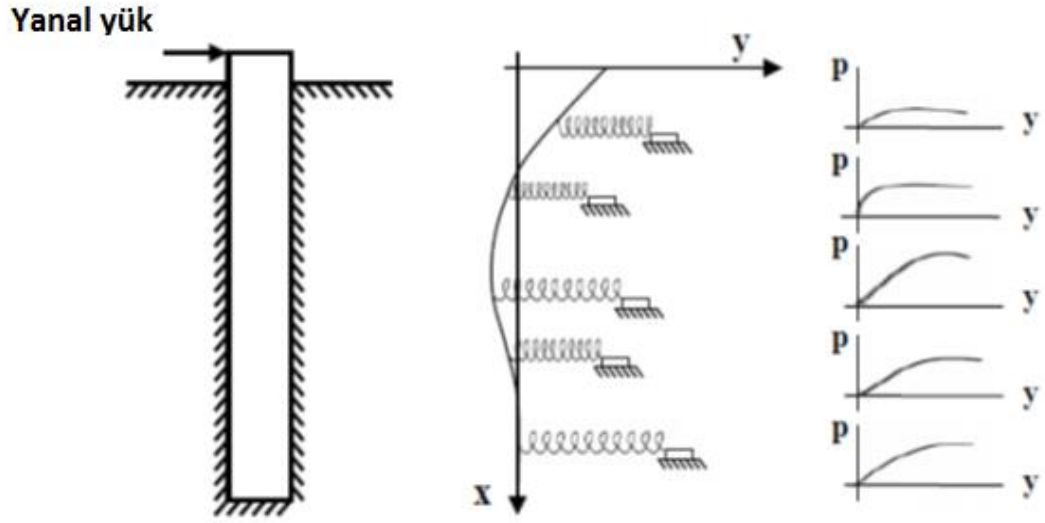
Yine de, kumun elastisite modülü derinlikle orantılı artar, bu nedenle alt temel reaksiyon katsayısı $k_h=m_h \cdot x$ denklemi ile ifade edilir, burada x alt temelin altındaki derinliği ve m_h yatay alt temel reaksiyonunun katsayısının yüzeyin altındaki derinliğe oranı temsil etmektedir. m_h değeri temas yüzeyinin her noktasında aynı değere sahip olduğu varsayılıyor. Böylece (1.7) denklemi aşağıdaki hale gelir:

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + Q \frac{d^2y}{dx^2} = k_h \cdot y \quad \text{veya} \quad m_h \cdot x \cdot y \quad (1.10)$$

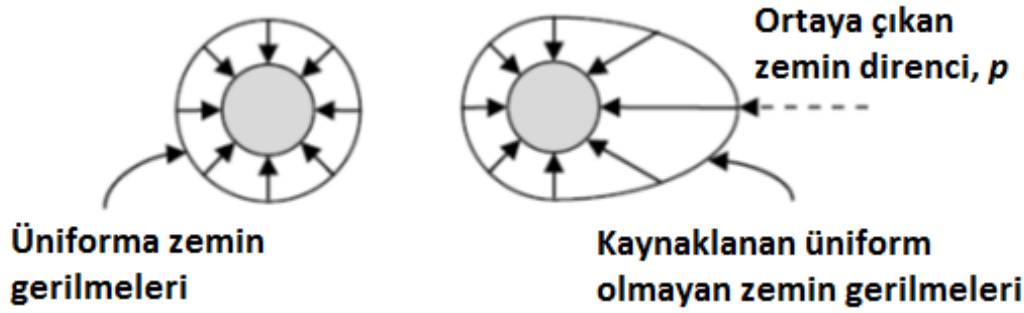
Sık kullanılmasına rağmen, yöntem teorik yetersizlikler ve kısıtlardan dolayı çoğu zaman eleştirilmektedir. Zemine özgün bir özellik olmayıp kazık özelliklerine ve eğilmenin şiddetine bağlı olan ve aksel yüklerin etkisi ihmal edilip kullanılan zemin modelinin sürekli olmadığı, alt temel reaksiyonunun modülü birincil yetersizlik olarak nitelendirilmektedir. Yani, lineer elastik olan Winkler yayları bağımsız davranır ve bu nedenle bir noktadaki eğilme kazıktaki diğer noktaların eğilmeleri ve gerilmelerinden bağımsız olarak davranır.

1.3.2. p-y yöntemi

Winkler yaklaşımının daha ileri modifikasyonu, p-y yöntemine yol açmıştır. Bu yöntemde, kazık etrafındaki zemin yalnızca (p) zemin dayanımını belirten bir mekanizma seti ile değiştirilmiş ve y eğilmesinin lineer olmayan bir fonksiyonudur (Şekil 1.1.). McClelland ve Focht (1958) hakkında, yanal yüklenmiş kazıkların analizinde kullanılan p-y yönteminin yaratıcıları olduğu söyleyebiliriz. Onlar, üç eksenli gerilme-şekil değiştirme verileri ayrı derinliklerdeki p-y eğrisine bağlamak ve her katmanda alt temel reaksiyonunun modülünü hesaplamak için bir prosedür önermişlerdi. Shell Development Company şirketine bir seri raporlarda, Matlock ve iş arkadaşları yumuşak kil üzerine yanal yüklenmiş kazıkların statik ve periyodik alan ve laboratuvar testler gerçekleştirmişti. p-y konsepti, (p) zemin dayanımını bir (y) yanal zemin eğilmesine bağlayan bir bağlantı olarak tanıtmıştı (Şekil 1.2.). Tek bir kazık için bir p-y eğrileri tanıtılabilir; onların sertliği derinlikle orantılı artacaktır.



Şekil 1.1. p-y eğrileri ile yanal yüklenmiş bir kazığın modeli



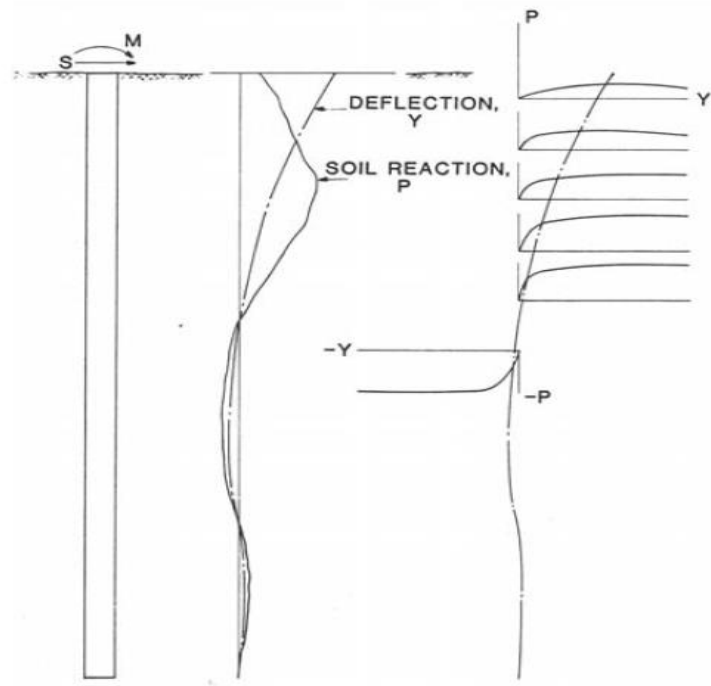
Şekil 1.2. Bir kazığı çevreleyen zeminin gerilmelerinin yayılması: yanal eğilmeden (a) önce ve (b) sonra (Thompson, 1977)

Kumda p-y eğrileri elde etmek için API'nin tavsiye ettiği yöntem Reese'in statik ve periyodik yanal yükler testlerden edilen verilerin sonucudur.

Senelerdir, farklı zemin ve\veya toprak koşulları için çok farklı p-y eğrileri geliştirilmiştir.

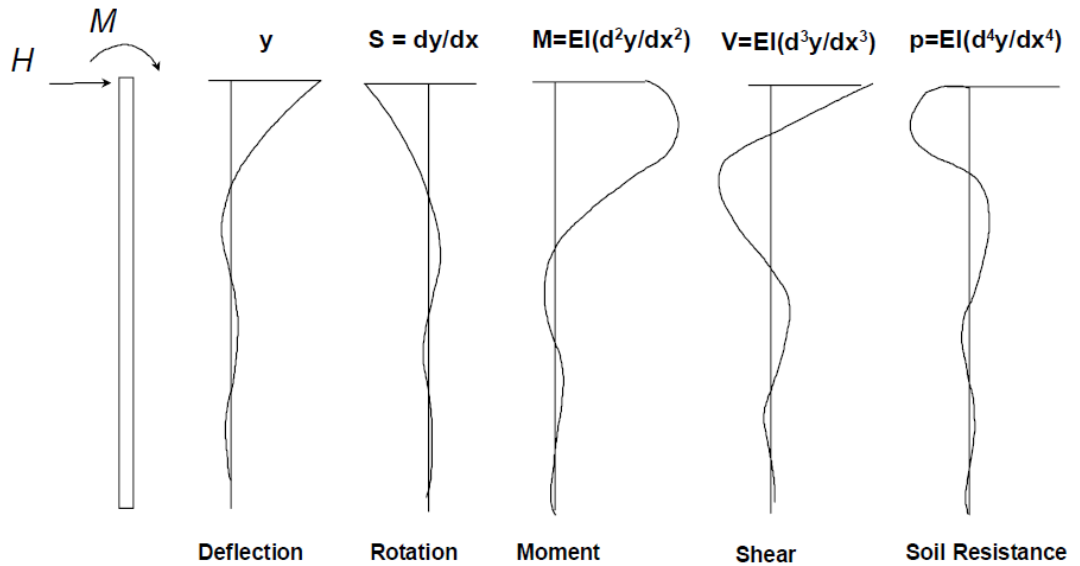
p-y Eğrilerin kavramı

Önceden bahsedilen alt temel reaksiyon teorisine dayanan çözümler sadece lineer zemin özellikleri için geçerlidir. Aslında, birim uzunluğa düşen (p) zemin basıncı ile (y) eğilme arasındaki oran lineer değildir. Zeminin doğrusal olmayan davranışını göz önüne alarak, lineer zemin yayların yerine bir seri lineer olmayan zemin yayları



Şekil 1.4. Yanal yüklemeye karşılık gelen tipik p-y eğriler ailesi

p-y eğrilerin serileri zemin tipine çok bağlıdır. Şekil 1.5., p-y eğrilerin geliştirilmesinde kullanılan yöntemi göstermektedir.



Şekil 1.5. p-y eğrileri geliştirmekte metodoloji (Reese ve Van Impe, 2001)

Birkaç araştırmacı tam ölçüt testlerden gelen geri hesaplamaya göre çeşitli zemin tipi için p-y eğrileri elde etmek için yöntemler önermiştir. Bu p-y eğrilerin çoğu COM624P (Wang ve Reese, 1993), LPILE (Reese ve diğ., 2000) ve FLPIER (University of Florida, 1996) gibi yanal yüklenmiş kazıkların davranışı analizi için olan ticari programlarda uygulanmıştır.

Yanal yüklenmiş kazıkların tasarımında hizmet görebilirlik limit durumu temel sorun olduğu için, p-y yöntemi, yanal yüklenmiş kazıkların davranışını hesaplamak için en çok kullanılan analiz yöntemi haline gelmiştir. Yine de, p-y eğrilerinin birbirinden bağımsız olması, zemin-kazık tek boyuta basitleştirilmesinde dairesel ve üç boyutlu bileşenler ihmal edilmesi gibi etkenler yöntemin kısıtlamalarıdır.

1.3.3. CLM yöntemi

Geliştiriciler, bilgisayar kullanımını gerektirmesi yerine çoklu doğrusal olmayanları göz önüne alan bir hızlı tasarım yöntemi arzu etmişti. Sonuç, kazığın tasarlanabildiği ve kazık boyunca ki eğilme ve momentlerin hesaplanabildiği bir takım tasarım grafikleriydi. Karakteristik yükler yöntemi, CLM, lineer olmayan davranış dâhil ederek hızlı sonuç elde etmek için geliştirilmişti.

Arka plan

Karakteristik yükler yöntemi, geniş aralıklı serbest ve sabitlenmiş başlıklı kazık, kil ve kumda delinmiş şaftlar için lineer olmayan p-y analizler yapılarak geliştirilmiştir. Sonuçlar, boyutsuz değişkenler arasında ilişki ve grafik şeklinde tanıtılmıştır. (Denklem 1.11 ve 1.14)

Yöntem, zemin deformasyonu, maksimum moment ve maksimum momentin konumunu hesaplamak için kullanılabilir. Boyutsuz değişkenler yanal yüklenmenin P_c karakteristik bir yüklemeye bölünmesi, uygulanmış M_t momentin M_c bir karakteristik yüke bölünmesi ve eğilmeler kazığın D çapına bölünür. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin için ayrı ayrı formüller vardır.

$$P_c = 7,34 \cdot D^2 \cdot (E_p \cdot R_I) \cdot \left(\frac{S_u}{E_p \cdot R_I} \right)^{0.68} \quad (\text{Kohezyonlu zemin}) \quad (1.11)$$

$$P_c = 1,57 \cdot D^2 \cdot (E_p \cdot R_I) \cdot \left(\frac{y' \cdot D \cdot \phi' \cdot K_p}{E_p \cdot R_I} \right)^{0.57} \quad (\text{Kohezyonsuz zeminler}) \quad (1.12)$$

$$M_c = 3,86 \cdot D^3 \cdot (E_p \cdot R_I) \cdot \left(\frac{S_u}{E_p \cdot R_I} \right)^{0.46} \quad (\text{Kohezyonlu zemin}) \quad (1.13)$$

$$M_c = 1,33 \cdot D^3 \cdot (E_p \cdot R_I) \cdot \left(\frac{y' \cdot D \cdot \phi' \cdot K_p}{E_p \cdot R_I} \right)^{0.40} \quad (\text{Kohezyonsuz zemin}) \quad (1.14)$$

Burada:

P_c - Karakteristik Yük [kN]

M_c - Karakteristik Moment [kNm]

D - Kazık Çapı [m]

E_p - Kazık veya delinmiş shaftın elastisitesi [kN/m²]

R_I - Atalet Moment Oranı = $I_p / I_{dairesel}$ [m⁴/m⁴] $I_{dairesel} = \frac{\pi D^4}{64}$

S_u - Kilin drenajsız kayma gerilmesi [kN/m²]

y' - Yeraltı suyu seviyesinin üstündeki toplam birim ağırlığı ve yeraltı suyun altında batmayan birim ağırlığı olan zeminin etkili birim ağırlığı [kN/m³]

K_p - Pasif zemin basıncı Rankine katsayısı; $K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2})$

ϕ' - Kumun etkili sürtünme dayanımı açısı [derece]

Not: Yanal yüke karşılık verme konusunda kazığın başındaki zemin en önemlidir, çünkü neredeyse bütün yanal yük kazıklardan 8D (çap) derinliğe kadar aktarılıyor. P_c ve M_c 'yi hesaplamak için, S_u ve ϕ' yeryüzünden 8D gibi bir derinlik üzerinde ortalanması gerekmektedir.

Hesaplamalar

CLM, kazığın boyutu ve zemin koşullarını biliniyor varsaymaktadır. Sonra zemin hattındaki eğilmeleri ve (maksimum) eğilme momentleri hesaplamak mümkündür.

Farklı yük tipi için bunun nasıl yapılacağına dair aşağıda bilgiler verilmektedir. Zemin hattına uygulanan yüklerden kaynaklanan eğilmeleri hesaplamak

1. Adım: P_c ve P_t/P_c hesaplanır.
2. Adım: y_t/D 'yi bulmak için yük-eğilme eğrisini kullanılır.
3. Adım: Zemin hattındaki kazığında eğilmeyi bulmak için D 'yi y_t/D 'ye çarpılır.

Zemin hattında uygulanan momentlerden gelen eğilmeleri hesaplamak.

1. Adım: M_c ve M_t/M_c 'yi hesaplanır.
2. Adım: y_t/D 'yi bulmak için moment-eğilme eğrisini kullanılır.
3. Adım: Zemin hattındaki kazığında eğilmeyi bulmak için D 'yi y_t/D 'ye çarpılır.

Maksimum momenti hesapla - Sabit başlı kazık

Sabit başlı kazıklarda maksimum moment kazığın başında oluşur. Hesaplamalar sadece zemin hattındaki bir yük için gereklidir. Zemin hattındaki bir moment durumu için, M_{max} M_t 'ye eşit ve kazığın başında bulunur.

1. Adım: P_c ve M_c 'yi hesaplanır.
2. Adım: P_t/P_c 'yi hesaplanır.
3. Adım: M_t/M_c 'nin değerini bulmak için
4. Adım: Kazıktaki maksimum moment değeri M_{max} bulmak için önceki adımda bulduğun değeri M_c ile çarp.

Maksimum momenti hesaplanması - Serbest başlı kazıklar

Belli bir yük altında bu kazığın maksimum momenti zemin yüzeyinin altında belli bir derinlikte oluşur. Maksimum momentin yönü ve şiddeti zemin modülü teorisi ile belirlenebilir, derinlikle doğru orantılı artar.

1. Adım: Kazığın T , "karakteristik uzunluğunu" hesaplanır. T , Denklem (1.15) formülü çözerek bulunabilmektedir.

$$y_{\text{birleşik}} = \frac{2.43 \cdot P_t}{E_p \cdot I_p} \cdot T^3 + \frac{1.62 \cdot M_t}{E_p \cdot I_p} \cdot T^2 \quad (1.15)$$

$y_{\text{birleşik}}$ = yük ve moment [m] altında hesaplanmış zemin hattı eğilmesi

T = Kazığın karakteristik uzunluğu [m]

2. Adım: T 'nin belirlendiği zaman kazığın üst kısmındaki eğilme momentleri aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplanabilir.

$$M_z = A_m \cdot P_t \cdot T + B_m \cdot M_t \quad (1.16)$$

M_z = z derinlik momenti [kNm]

Z = Zemin hattı altındaki derinlik [m]

A_m = Boyutsuz moment katsayısı

B_m = Boyutsuz moment katsayısı

A_m ve B_m değerleri Tablo 1.1.'de verilmiştir. Bir yük altında zemin hattındaki maksimum moment P_t , A_m 'nin maksimum olduğu $z=1,3T$ derinlikte oluşur. Bir moment etkisi altında maksimum moment M_t , B_m 'nin maksimum olduğu zemin hattında oluşur. Zemin hattında aynı zamanda hem moment hem yük mevcut ise, maksimum moment $z=0$ ile $z=1,3T$ arasında bir derinlikte oluşmaktadır.

Tablo 1.1. A_m ve B_m moment katsayıları (sonra Matlock ve Reese 1961)

z/T	A_m	B_m
0	0	1,00
0,5	0,46	0,98
1,0	0,73	0,85
1,3	0,77	0,73
1,5	0,76	0,64
2,0	0,63	0,40

CLM yöntemi sadece uzun olan kazıklarda uygulanabilir ($L/T > 5$). Bu, onların davranışı uzunluklarına çok bağlı olmadığını göstermektedir. Kazığın uzunluğu Tablo 1.2'de gösterilen değerlerden daha kısa ise CLM yöntemi geçerli değildir.

Daha kısa kazıklar daha fazla deformasyona uğrar ve eğilme momentleri daha küçük olur.

Tablo 1.2. Karakteristik yük yöntemi için minimum kazık uzunlukları

Zemin tipi	Ölçüt	Minimum uzunluk
Kil	$E_p \cdot R_l / S_u = 100000$	6 D
Kil	$E_p \cdot R_l / S_u = 300000$	10 D
Kil	$E_p \cdot R_l / S_u = 1000000$	14 D
Kil	$E_p \cdot R_l / S_u = 3000000$	18 D
Kum	$E_p \cdot R_l / (\gamma' \cdot D \cdot \phi' \cdot K_p) = 10000$	8 D
Kum	$E_p \cdot R_l / (\gamma' \cdot D \cdot \phi' \cdot K_p) = 40000$	11 D
Kum	$E_p \cdot R_l / (\gamma' \cdot D \cdot \phi' \cdot K_p) = 200000$	14 D

Kısıtlamalar

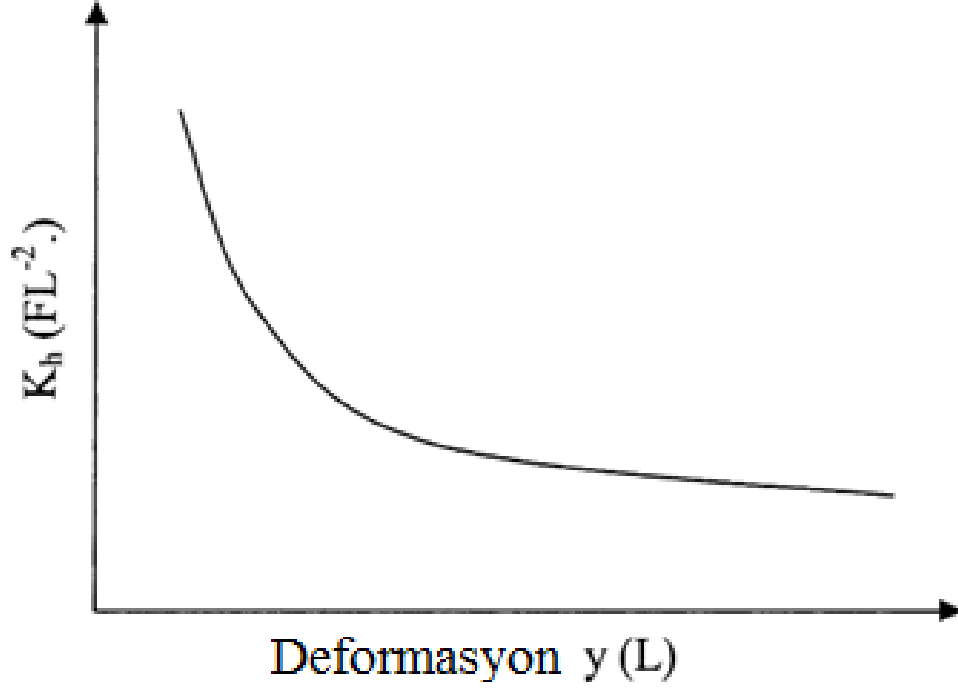
Sadece üniform zemin koşullarına uygulanabilmesi CLM yöntemin en önemli kısıtlamasıdır. Zemin koşulların derinliğe bağlı değiştiği durumlarda, eşdeğer üniform zemin profili kullanılması gerekmektedir.

Genel olarak, CLM bir takım p-y analizlerinden üretilmiştir, bu nedenle de CLM'nin kısıtlamaları p-y eğrilerinin kısıtlamaları ile nerede ise aynıdır. Aynı zamanda, çevrimsel yükler için kullanılamaz ve eksenel yükü hesaba katmamaktadır. Kazık yüksekliği boyunca eğilme dayanımında fark olmadığı ve zemin davranışına kazık çapının etkisi olmadığı belirtmemiz gerekir.

1.3.4. k_{hmax} yöntemi

Bu yöntem, kazıkların yanal yüklerin altındaki yük-deplasman ilişkisini incelemektedir. Kum ve kil gibi farklı zeminlere gömülen farklı malzemeli kazıkların yanal yük testlerin analizlerinden gelen verilerden elde edilen test verileri kullanan Kumar (1993) ve Prakash ve Kumar (1996) tarafından önerilmiştir. Bu yaklaşım k_{hmax} olarak bilinmektedir, çünkü öncelikle k_{hmax} 'ın belirlenmesi gerekir. k_{hmax} , yatay alt temel reaksiyonunun en büyük şekil değiştirme modülüdür.

Zeminlerin kayma modülü üzerinde birçok araştırma, bağlayıcı basıncının her yer değiştirmede aynı olduğunu bilerek zeminin kayma modülü şekil değiştirmeden bağımsız olduğunu göstermiştir. Zeminin kayma modülü olduğu gibi, aynı şekilde alt temel reaksiyonunun yatay modülü k_h de şekil değiştirmenin bir fonksiyonudur. Kayma gerinimi ile yatak katsayısı (k_h) tipik değişimi Şekil 1.6.'da gösterilmiştir.



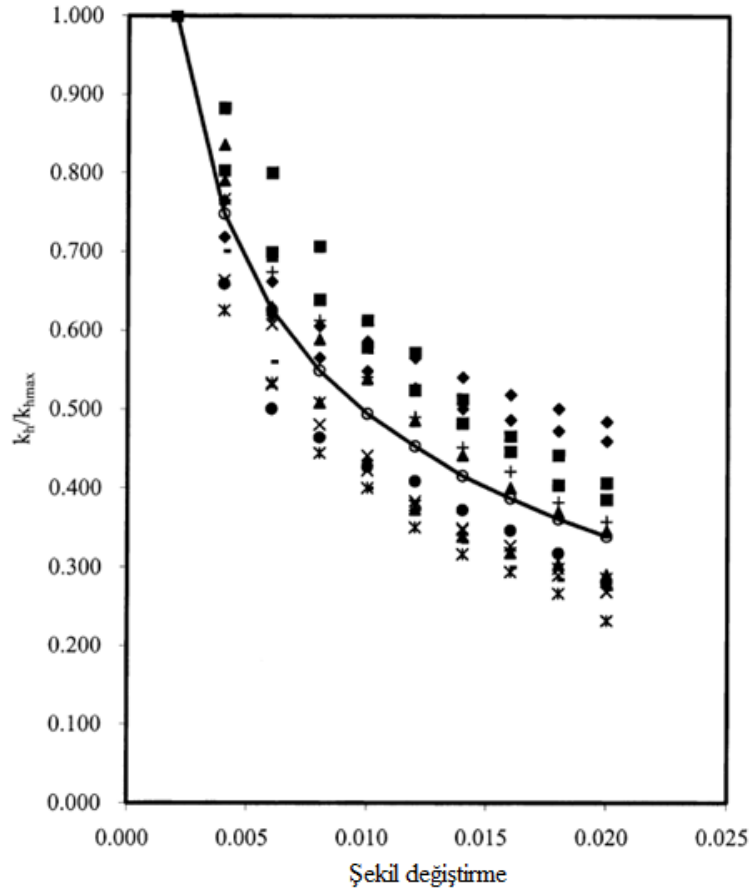
Şekil 1.6. Deformasyon ile yatay yatak katsayısının bozulması

Bazı araştırmacılar (Mwindo (1992), Kumar (1993) ve Prakash ve Kumar (1996)) birkaç tam boyut, yanal yüklenmiş kazık testlerindeki yatak katsayısı - kayma gerinimi davranışını incelemişlerdir. Bir takım analizden sonra bütün kazıkların k_h karşı şekil değiştirme eğrileri, yaklaşık 0,002 kayma gerinimi değerinde nerede ise asimptotik olduğunu gözlemlemişlerdir. Geniş ölçüde kullanılan maksimum (düşük şekil değiştirme) kayma modülü bulma konseptinden dolayı, 0,002 bir düşük kayma gerinimi için k_h değeri, k_{hmax} olarak bilinen, yatak katsayısı olarak belirtmişlerdir.

Kumar (1993) tarafından yayınlanan tam ölçüt kazıkların test analizlerine göre, en uygun eğri veya şekil değiştirme (γ) ile normalize yatay yatak katsayısı k_h/k_{hmax} , genel bir cevabını göstermek amacıyla üstel bir fonksiyon geliştirilmiştir (Şekil 1.7.).

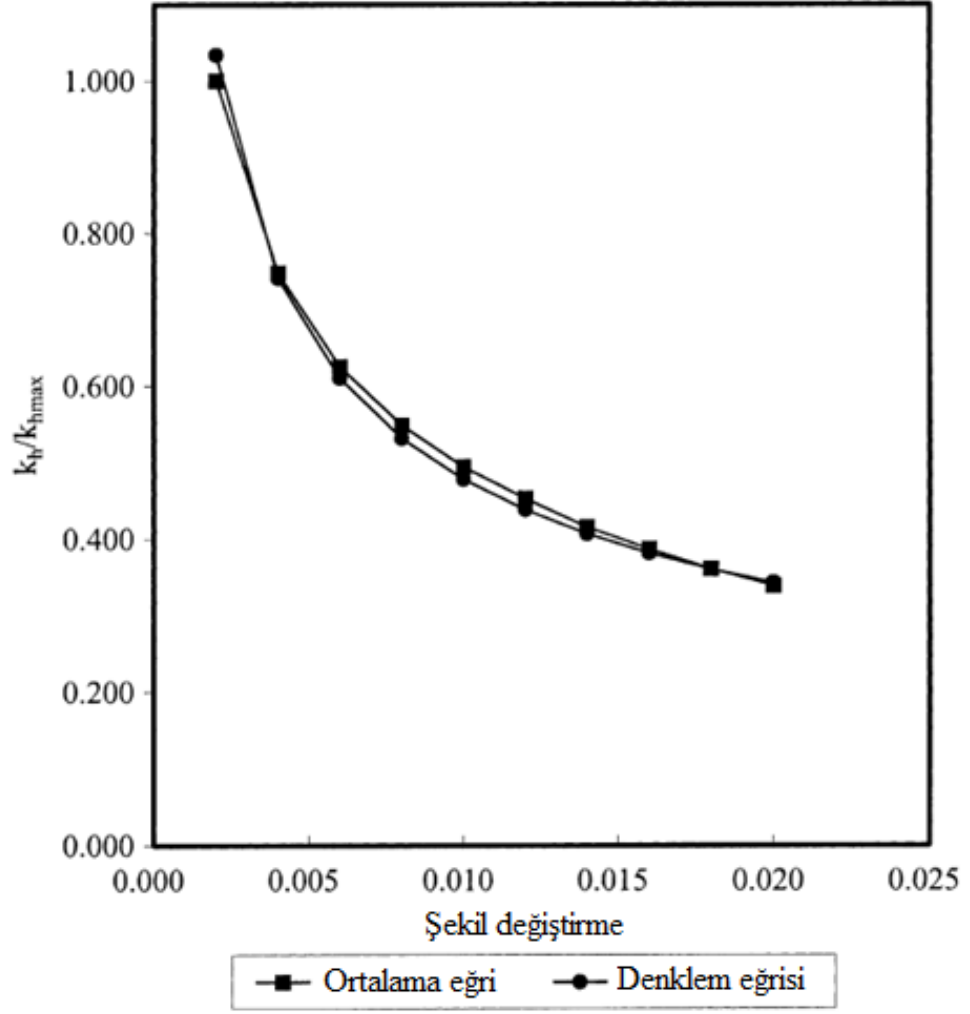
$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,052 \cdot \gamma^{-0,48} \quad (1.17)$$

Şekil 1.8., her şekil değıştirme seviyesinde k_h/k_{hmax} 'ın ortalamasını aldıktan sonra normalize yatak katsayısının modülü (k_h/k_{hmax}) karşı şekil değıştirme eğrilerini ve ortalama değere yakın olan şekil değıştirmeye bağı modülü öngören Denklem (1.17) kullanarak geliştirilen eğriyi göstermektedir.



Şekil 1.7. Yatay yatak katsayısı karşı şekil değıştirme (Kumar, 1993)

Analizlerden elde edilen k_{max} değeri incelenmesinden, kumdaki tek kazıkların yük-eğilme davranışını öngörmek için kullanılabilen bir k_{hmax} değeri aralığı geliştirilmiştir. Zemin yüzeyinde yeraltı suyu seviyesi için, Kumar (1993) ve Prakash and Kumar (1996) tarafından geliştirilen k_{hmax} değeri aralığı Tablo 1.3.'te verilmiştir.



Şekil 1.8. Ortalama eğrinin ve Denklem (1.17)'den elde edilen eğri

k_{hmax} yaklaşımını kullanarak tek kazığın veya kazık grubunun yanal yük altında davranışını hesaplamak için, işlem iki adıma bölünmesi gerekir: davranışı k_{hmax} alt-ve üst-limit değerleriyle öngörmek ve su tablası düzeltilmesi.

Tablo 1.3. Kumar (1993) ve Prakash and Kumar (1996) tarafından önerilen k_{hmax} değerlerinin aralığı

Bağıl Yoğunluk (D_r)	k_{hmax} (kN/m ²)
Sıkı	40 000 – 80 000
Orta	21 500 – 45 500
Gevşek	4 050 – 10 800

Kum için yük-deplasman eğrilerin öngörülmesi.

1. Bu kaynaktaki mevcut olan kazık malzemesini ve kazık boyutları göz önünde bulundurarak, kazığın atalet momenti ve eğilme rijitliği kitapta mevcut olan standart işlemleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

2. Yanal yükün öngörülmesi için seçilmiş bir deplasman değeri için, zemindeki kayma gerinimi Blaney and O'Neill (1986) tarafından önerilen ilişkiyi kullanarak hesaplanabilir. Denklem (1.18) kil için, Denklem (1.19) ise, kum için geçerlidir.

$$\gamma = \frac{y}{1,667 \cdot B} \quad (1.18)$$

$$\gamma = \frac{y}{1,85 \cdot B} \quad (1.19)$$

Burada γ yanal şekil değiştirmedir, B kazığın çapı veya genişliği ve y ölçülmüş veya seçilmiş deplasman değeri.

3. Seçilmiş deplasman değerinde yanal yükü öngörmek için, kazığın gömüldüğü zeminin tipini göz önünde bulundurarak, k_{hmax} 'ın bir değeri Tablo 1.3.'te verilmiş değer aralığından seçilmesi lazım.

4. 2. adımda hesaplanan kayma gerinimi ve Denklem (1.17) kullanarak seçilen k_{hmax} değerinden k_h 'ın hesaplanması gerekir.

5. Yukarıda hesaplanan k_h değerinden, yatay yatak sabit katsayısının n_h değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanması gerekir;

$$n_h = \frac{k_h}{L} \quad (1.20)$$

n_h 'ın değeri temas yüzeyinin her noktası için aynı olduğu varsayılıyor, fakat daha öncede de bahsedildiği gibi, k_h değeri derinlikle doğru orantılı arttığı varsayılıyor. Denklem (1.20)'de, bir metre olan L analizler için standart derinlik olarak kabul

edilmiştir, Davisson (1995); Kumar (1993); Prakash ve Kumar (1996), aynı zamanda zemin yüzeyin altında ki bir metreyi tavsiye edilen standart derinlik olarak kullanmaktadır.

6. Bilinen EI eğilme rijitliği değeri ve yukarıda hesaplanan n_h değerini kullanarak, T sertlik faktörünü hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$T = \left(\frac{EI}{n_h} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1.21)$$

L/T oranını hesaplanır. Oran 5'ten büyük ise, kazığı bir uzun kazık olarak kabul edilir (burada L= kazığın gerçek uzunluğu).

7. T, EI ve y değerini kullanarak, yanal yük (Q_g) aşağıda verilen denklemden hesaplanabilir:

$$Q_g = \frac{y \cdot EI}{A_y \cdot T^3} \quad (1.22)$$

Bu denklemde, A_y eğilme katsayısıdır. Serbest başlı kazıklar için eğilme zemin yüzeyinde maksimum değer alıyor, bu şekilde A_y için Matlock and Reese (1960) tarafından önerilen bir 2,435 değer kullanılabilir.

Yukarıda verilen prosedür, eğilmenin başka değerleri için de tekrarlanabilir.

Killer için yük-deplasman eğrilerin öngörülmesi.

Kilde yanal yükler altında tek kazıkların yük-eğilme ilişkisini tahmin etmek için önerilen yöntem, Prakash ve Chen (1998) tarafından gerçekleştirilen, zayıf kilde altı kazık ve sert kilde dört kazığın analizine dayalıdır.

k_h ile γ kayma gerinimi ilişkisi bir bozulması modülü denklemi tarafından ifade edilebilir. Onu elde edebilmek için iki varsayım yapılmıştır (Davisson 1970).

1. k_h sert kilde derinlikle sabit kalıyor.
2. k_h zayıf kilde derinlikle lineer olarak artıyor (orta sert kil için de geçerli).

Kazık testlerin yapıldığı yerdeki zemin koşulları drenajsız kayma dayanımı ve zemin yoğunluğundan tanımlanabilir. Yük-eğilme eğrisini geliştirmek için, drenajsız kayma dayanımına bağlı olan k_{hmax} değerleri gereklidir.

Sert Kil

k_{hmax} aralığı $300S_u$ ile $600S_u$ arasında belirlenmiştir. Q_g -y eğrileri tahmin etmek için aşağıda verilen prosedür tanımlanmıştır:

1. Q_g 'yi hesaplamak için bir y değeri seçilir.
2. Yukarıdaki eğilme için, Denklem (1.18) kullanarak şekil değiştirmeyi hesaplanır.
3. $k_{hmax} = 300S_u$, Denklem (1.17)'den k_h zemin katsayısını hesaplanır.
4. Aşağıdaki denklemi kullanarak R rijitlik faktörünü hesaplanır:

$$R = \left(\frac{EI}{k_h} \right)^{1/4} \quad (1.23)$$

5. Sonraki denklemden yanal yükü hesaplanır:

$$y = A_y \cdot \frac{Q_g \cdot R^3}{EI} \quad (1.24)$$

6. Yanal yüklerin istendiği bütün eğilmeler için önceki 5 adımları tekrarlanır.
7. $k_{hmax} = 600S_u$ kullanarak 1-6 adımları tekrarlanır.

Yumuşak Kil

k_{hmax} $800S_u$ ile $1800S_u$ arasındadır. Verilen yöntem $Q_g - y$ eğrilerini tahmin etmek içindir.

1. Q_g 'yi hesaplamak için bir y değeri seçilir.

2. Yukarıdaki eğilme için, aşağıdaki denklemi kullanarak şekil değiştirmeyi hesaplanır:

$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,054 \cdot \gamma^{-0,477} \quad (1.25)$$

3. $k_{hmax} = 800S_u$ kullanarak Denklem (1.17)'den k_h zemin modülünü hesaplanır.

4. $x=1m$ olduğunda bilinen k_h değerinden Denklem (1.20) kullanarak n_h hesaplanır.

5. Denklem (1.21) kullanarak seçilmiş eğilme için T rijitlik faktörü hesaplanır.

6. Seçilmiş eğilme için Denklem (1.22) kullanarak yanal yükü hesaplanır.

7. Önceki 6 adımı başka eğilme değerleri için tekrarlanır.

8. $k_{hmax} = 1800S_u$ kullanarak önceki 7 adım tekrarlanır.

Su tabakasının düzeltilmesi

Yeraltı suyu tablasının konumu n_h değerine önemli bir etkisi vardır; yeraltı suyu tablası n_h 'in azalmasına neden olur. Tablo 1.3.'te verilen aralık yeraltı suyu tablasının zemin yüzeyinde olduğu durum için verilmiştir. Bu nedenle, tahmin edilen davranışı ile ölçülen davranışı karşılaştırmak için yeraltı suyu tablası düzeltilmesi uygulanması gerekir. Yeraltı suyu tablasının düzeltilmesi Alizadeh and Davisson (1970) önerilere göre uygulanmıştır. Onların önerisi Tablo 1.4.'te verilmiştir.

Tablo 1.4. S_u tablosu için ayarlama faktörleri

Su-tablosu pozisyonu	Zemin yüzeyindeki su tablosu için n_h elde etmek için ayarlama faktörleri
Zemin yüzeyinde	1,00
3,05-4,6 m zemin yüzeyinin altında	1,67
4,6 m'den daha zemin yüzeyinin altında	2,00
Not: Zemin yüzeyinde ve 3.05m (10 ft) derinlik arasında su tablosu konumları için oransal ayarların yapılması gerekmektedir.	

k_{hmax} yaklaşımı oldukça basittir ve mühendislik açısından önemli kararlar alınması için değerli tarifler olan üst ve alt sınır eğriler sağlamaktadır. k_{hmax} yaklaşımının basitliği sayesinde bütün hesaplar sadece bir hesap çizelgesi kullanılarak yapılabilir.

1.4. Kazık Grupları

Bir üst yapıya etki eden yük bazen tek bir kazığın kapasitesinden daha büyüktür. Böyle bir şey olduğunda, kolon tabanına etki eden yüke dayanabilmek için kazıklar her kolonun altında gruplanır. Kolonun altında, kazık başlığı olarak bilinen yerde kazıkların gruplandığı duruma kazık grubu denir. Bir gruptaki kazıklar artık ayrı bir birim olarak davranmayıp birbiri ile etkileşir ve dış yüke birlikte karşı koyarlar. Bu nedenle, tek bir kazığın davranışı ile bir gruptaki kazığın davranışı arasında fark vardır.

Tekil kazıklara benzer şekilde, kazık gruplarının dikey yüklere karşı iki dayanım mekanizması vardır: çevre sürtünme ve uç dayanımı. Yine de, ayrı bir kazığın davranışına kıyasla, grup içinde bir kazığın davranışı yanındaki kazıklardan dolayı farklıdır. Böylece, kazıklar sadece kolonun dikey yüküne karşı davranmayıp, aynı zamanda kazık şaftları boyunca etkileşim kuvvetlere karşı da davranmaktadır.

Kazık grubun davranışının analizi geniş aralıklı ve dar aralıklı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Grupta dar aralıklı konulmuş kazıklar kazık başına düşen aynı yanal yükü yüklenmiş tekil kazıktan grup etkisinden dolayı daha fazla eğilecektir. Genel bir varsayımda, kazıkların merkezleri arasındaki mesafeler, yüke paralel yönde

6 kazık çapı (6D) ve yüke dik doğrultusunda üç kazık çapı (3D) uzunluğu geçerse grup etkileri küçük olduğu kabul edilmektedir.

G_e grup etkinlik faktörü grup etkileşim etkileri belirlemek için en çok tanınan standarttır ve bir kazık grubunun içinde bir kazığın ortalama yanal kapasitesinin tek bir kazığın yanal kapasitesine bölünmesi olarak tanımlanmaktadır, Prakash (1990).

$$G_e = \frac{(Q_u)_g}{n(Q_u)_s} \quad (1.26)$$

Burada, $(Q_u)_g$ grubun nihai yanal yük kapasitesi, n gruptaki kazık sayısı ve $(Q_u)_s$ tek bir kazığın nihai yanal yük kapasitesidir. Grup etkinlik faktörleri, deneysel bir şekilde kazık gruplarında ve benzer tek kazıklarda yük testlerin uygulanması ile saptanabilmektedir.

1.4.1. Grup etkinlik faktörleri

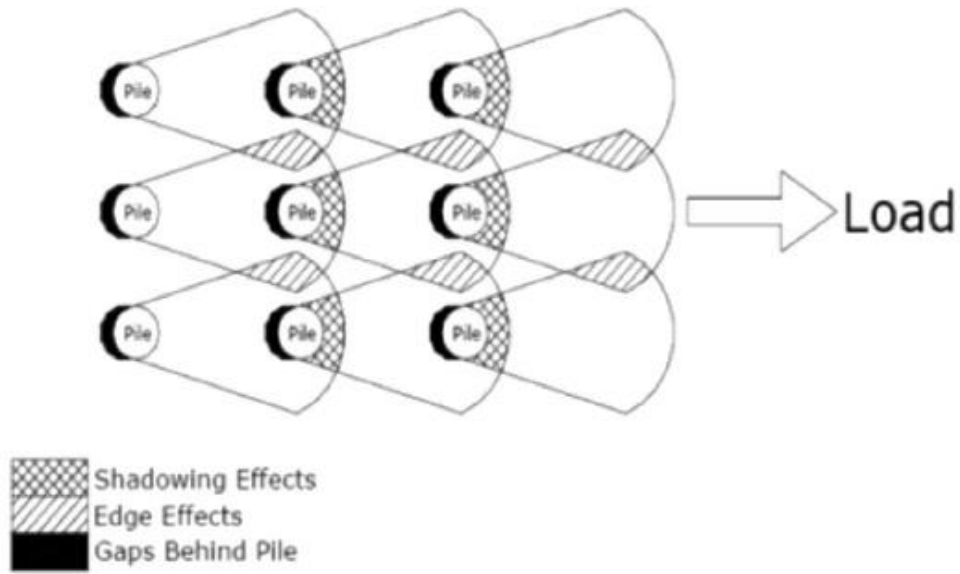
Genel olarak grup etkinliğine en çok etki eden faktörleri belirtmek için yapılan çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu faktörlerin çoğu birbiriyle ilişkili olduğu için, daha önemli olanlar ilk belirlenmiştir. Taşıdıkları önemine göre sırasıyla bu etkenler:

- kazık boşluğu
- grubun düzenlenmesi
- grup büyüklüğü
- kazık başlığın rijitliği
- zemin tipi ve yoğunluk
- kazık deplasmanı

1.4.2. Yanal yüklenmiş kazık grupları

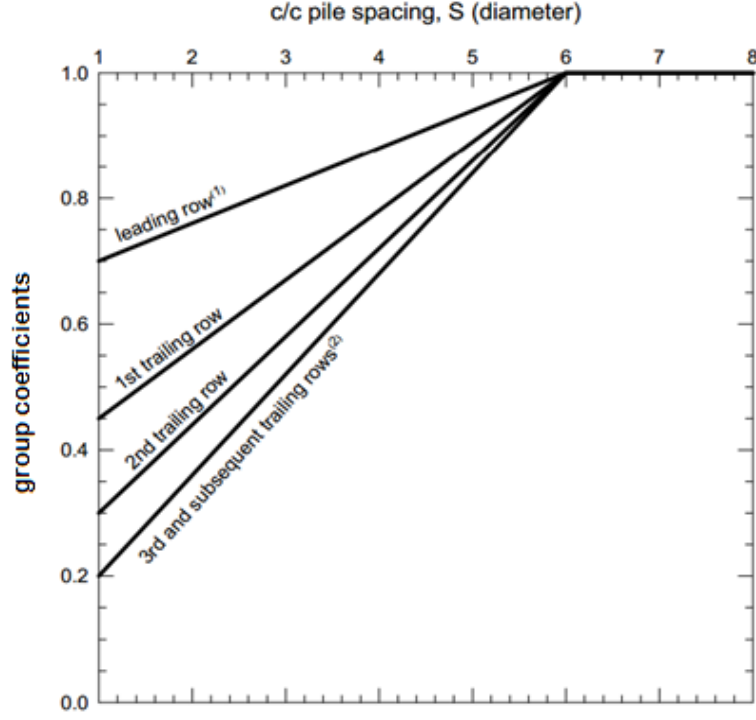
Bir kazık grubu içindeki kazıkların arasındaki etkileşimler, dış yanal yüklere karşı kazık grubunun tepkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Kazıklar çok nadiren izole edilir, fakat yüke karşı dayanımı arttırmak için grup halinde

konulmaktadır. Kazık grubunda yanal dayanımın artmasına rağmen, kazığın tek olarak dayanımı azalmaktadır. Her kazık arkasındaki zeminini iterek zeminde bir kesme bölgesi oluşturmaktadır. Özellikle dar aralıklı kazıklarda yanal yük arttıkça bu kesme bölgeleri büyümeye ve çakışmaya başlar. Aynı sırada olan kazıklar arasında oluşan çakışma ‘kenar etkisi’, farklı sıralarda olan kazıklar arasında oluşan çakışma ise ‘gölgeleme etkisi’ olarak adlandırılmaktadır. Bir kazık grubun içindeki kesme bölgelerinde oluşan çakışma Şekil 1.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Yanal yüklenmiş bir kazık grubundaki gölgeleme ve kenar etkisi

Grup katsayılarının kavramı kazık gruplarının etkileri için bir hesap tutma yöntemi olarak Brown ve diğ. (1998) tarafından tanıtılmıştır. Farklı araştırmacının kazık gruplarının deney sonuçlarına göre önde olan, birinci ikinci ve üçüncü izleyen sıra için grup katsayılarının eğrilerini tanıtmak mümkün olmuştur, Davisson ve diğ. (1970); Brown ve Shie (1991); Ruesta ve Townsend (1997); Rollins ve diğ. (1998); Zhang ve diğ. (1999b); Ng ve diğ. (2001); Holloway ve diğ. (1981); Baguelin ve diğ. (1985); McVay ve diğ. (1994), (1995), (1998); Ilyas ve diğ. (2004); Mokwa ve Duncan (2001).



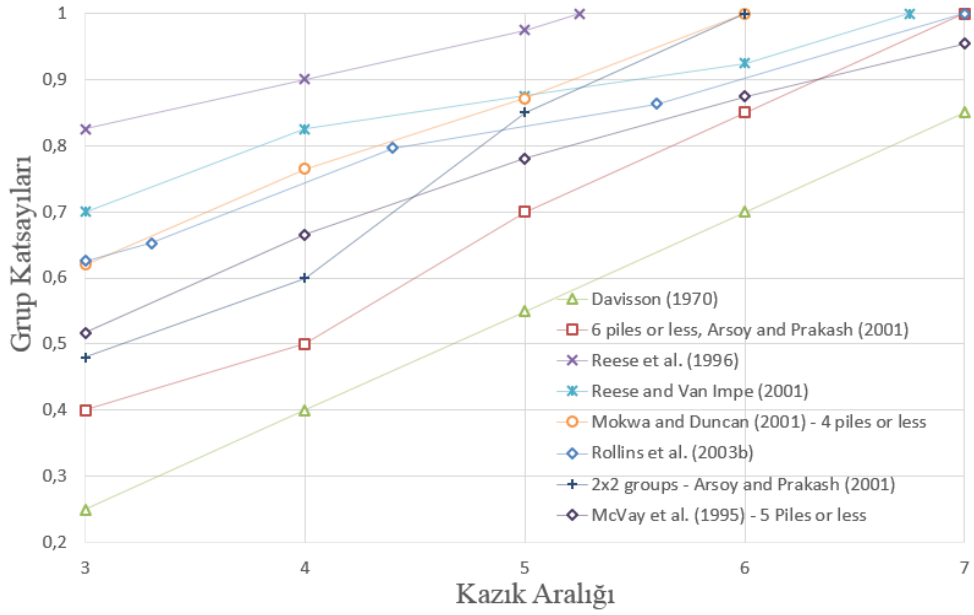
Şekil 1.10. Mokwa ve Duncan (2001) tarafından önerilen grup katsayılarının tasarım değerleri

Şekil 1.10.'a göre, grup katsayıları üçüncü, dördüncü ve ardından gelen sıralar için temelde aynıdır.

Grup katsayılara daha özel olan üç ek faktör aşağıda özetlenmiştir:

1. Derinlik
2. Sıra konumu
3. Kenar kazığının etkileri.

Grup katsayılarının, kazık grupları için yük – ötelenme davranışını belirlenmesinde büyük rolü vardır. Davisson (1970), Reese (1996), Mokwa ve Duncan (2001), Rollins (2003b), Arsoy ve Prakash (2001) gibi birçok araştırmacı birkaç araştırma yapmış ve kazıklar arasındaki boşluklara bağlı olarak grup katsayılarını belirlemek için kazık gruplarının farklı deneylerinin sonuçları incelemişlerdir. Bu çalışmaların neticesinde, aşağıdaki diyagramda kazıklar arası boşluklara bağlı grup katsayılarının değişimi gösterilmiştir (Şekil 1.11.).



Şekil 1.11. Kazıklar arası boşluk (S/D) karşı grup katsayısı (G)

Diyagramdan da görüldüğü gibi, grup katsayıları için minimum değerleri Davisson (1970) tarafından elde edilmiştir. Bu güvenliğin nedeni sonuçların test edilmesi ve ölçülmesinde kalitenin eksikliği olabilir, çünkü Davisson tarafından yapılan araştırma 1970’li yıllarda yapılmıştır.

Yine de, yirminci yüzyılın sonunda başka araştırmacılara göre, grup katsayılarında daha yüksek ve daha hassas değerler vardır, bu da büyük ihtimalle gelişmiş teknolojinin sağladığı daha kaliteli araştırma ve daha hassas test sonucu analizinden kaynaklanmaktadır.

2. YÖNTEM VE MALZEMELER

2.1. Giriş

Yanal yüklenmiş kazıklarının yük-deplasman tepkisini hesaplamaları kolaylaştırmak amacıyla, k_{hmax} yönteminin nasıl geliştirildiği, bu bölümde açıklanmıştır. Bölüm 1'de tarif edildiği gibi, yatay yatak katsayısının değeri (k_h), kayma mukavemeti ve aynı zamanda boyutsuz katsayıları a ve b bağlıdır. Test sonuçlarına göre, bu boyutsuz katsayıları a ve b, daha ayrıntılı olarak açıklanmış ve onların kazık rijitliği (EI), bağlı yoğunluk (D_r) ve drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ile ilgili varyasyonları bu bölümde de sunulmuştur. Gözlemlenen kazıklar kum ve kil içine gömülüdür.

Ayrıca, Kumar (1993) tarafından verilen, k_{hmax} 'ın geniş bir aralığını kullanmak yerine, yatay yatak katsayısının ortalama değeri ($k_{hmax,ort}$) bu bölümde sunulacaktır ve yanal yüklü kazıkların yük-deplasman tepkisini hesaplamak için ileride kullanılacaktır. Yatay yatak katsayısının ortalama değeri, $k_{hmax,ort}$ elde edildiği şekilde ve kumlar ve killer içine gömülü kazık formülleri de tarif edilmiştir.

Yatay yatak katsayısının k_h belirlenmesinde, yeraltı sularının etkisi, önemli ve gerekli bir parametredir. Alizadeh ve Davisson (1970) tarafından önerilen faktörler yatay yatak katsayısının sabitini elde etmek üzere bölüm 1'de açıklanmıştır, fakat, bu bölümde, Alizadeh ve Davisson çalışmalarına dayalı, iki yeni yaklaşım önerilmiştir. Bu faktörler, su düzeltme faktörleri olarak adlandırılır (W_c). Önerilen W_c değerleri, ve yeni yaklaşımla elde edilen değerler ile karşılaştırılması da bundan sonra sunulmaktadır.

Farklı kazık aralığı ve kazık gruplarının farklı boyutlarına göre, grup katsayılarının değerlerini belirlemek için birçok araştırmacı analizleri gerçekleştirmiş. Davisson (1970), Reese (1996), Mokwa ve Duncan (2001), Arsoy ve Prakash (2001) ve Rollins (2003) gibi bazı araştırmacılar tarafından elde edilen kazık gruplarının test

sonuçları burada sunulmuştur. Farklı kazık grupları ve farklı kazık aralığı için bu katsayının değerleri de gösterilmiştir ve bir satırda uygulanan yüke paralel 2, 4 ve 6 kazıktan oluşan kazık grupları için katsayıları önerilmiştir.

Yanal yüklenmiş kazıklar hesaplanması için özel bir prosedür gerektirir. Bu prosedür yanal yük-defleksiyon tepkisine etkileyen çok parametrelerin dikkate alınarak im eder. Yanal yüklenmiş kazıklarının deplasmanı (y), eğim (S), moment (M), kesme (V) ve zemin reaksiyonunu (p) hesaplamak için, Matlock ve Reese (1960) tarafından önerilen denklemler bu bölümde geliştirilecektir ve yeni formüller y , S , M , V ve p için sunulmuştur.

2.2. Boyutsuz Katsayıları a' ve b'

Kuma gömülü, farklı malzemelerden yapılan kazıklar üzerinde 22 tam-ölçekli yanal yük testlerinin analizine dayanarak, gerilme bağımlı yatay yatak katsayısını değerlendirmek için, Mwindo (1992) birkaç ampirik ilişkiler geliştirmiştir. Pratikte bu ilişkilerin uygulaması sınırlıdır, ancak, derinlikle üniform özelliklerden oluşan kum ve kil içine gömülü tekil kazıklarının yatay yükler altında yük-deplasman ilişkisi öngörmesi için, k_{hmax} yaklaşım, Kumar (1993) ve Prakash ve Kumar (1996) tarafından daha ilerde analiz edilmiştir. Gerginlik ile normalize modülü bozulması için benzersiz bir ilişki ve yatay yatak katsayısının (k_{hmax}) maksimum değerlerinin bir dizisi, 0,002 bir kayma gerinimide önerilmiştir.

Mwindo (1992) tarafından geliştirilen denklemler genel bir şekilde, aşağıda gösterilmiştir:

$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = a \cdot (\gamma)^{-b} \quad (2.1)$$

burada: k_h – yatay yatak katsayısı modülü,

k_{hmax} – 0,002 bir kayma gerinimi için yatak katsayısı,

a – boyutsuz katsayısı,

b – boyutsuz katsayısı.

Kum ve kil içine gömülü kazıkların test sonuçlarına göre, bu boyutsuz katsayılar a ve b zemin tipine, kazık boyutuna ve kazık malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Kum ve kilde yerleştirilmiş kazıklar için, boyutsuz katsayılar a ve b'nin bazı değerleri aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablo 2.1. Kumlarda katsayılarının a ve b değerleri (Sonra Mwindo, 1992)

Kazık tipi	Zemin tipi	a	b
Ahşap	Orta kum	0,12	0,36
Ahşap	Gevşek kum	0,009	0,77
Çelik boru	Orta kum	0,07	0,43
H-Çelik	Orta kum	0,05	0,50
Öngerilimli beton	Orta kum	0,035	0,54

Tablo 2.2. Killerde katsayılarının a ve b değerleri (Sonra Mwindo, 1992)

Kazık	Zemin	a	b
Ahşap	Orta kil	0,16	0,30
Ahşap	Sert kil	0,33	0,18
Çelik boru	Sert kil	0,05	0,48
Öngerilimli beton	Yumuşak kil	0,08	0,42
Öngerilimli beton	Sert kil	0,19	0,27

Yukarıdaki tablolarda verilen değerlere dayalı, daha iyi zemin koşulları için a katsayıları yüksek değerlere sahiptir, ancak, zemin kalitesi arttıkça, b katsayıları azalmaktadır. Ayrıca, a ve b katsayıları daha detaylı olarak ilerde analiz edilecektir ve onların değerleri kazık rijitliğine (EI), ve zemin özelliklerine, drenajsız kayma mukavemeti (S_u), ya da bağıl yoğunluğuna (D_r) gibi bağlı ise tartışılacaktır.

2.3. Kazık Rijitliği (EI), Drenajsız Kayma Mukavemeti (S_u), ve Bağlı Yoğunluk (D_r), Boyutsuz Katsayılarının a ve b Üzerindeki Etkileri

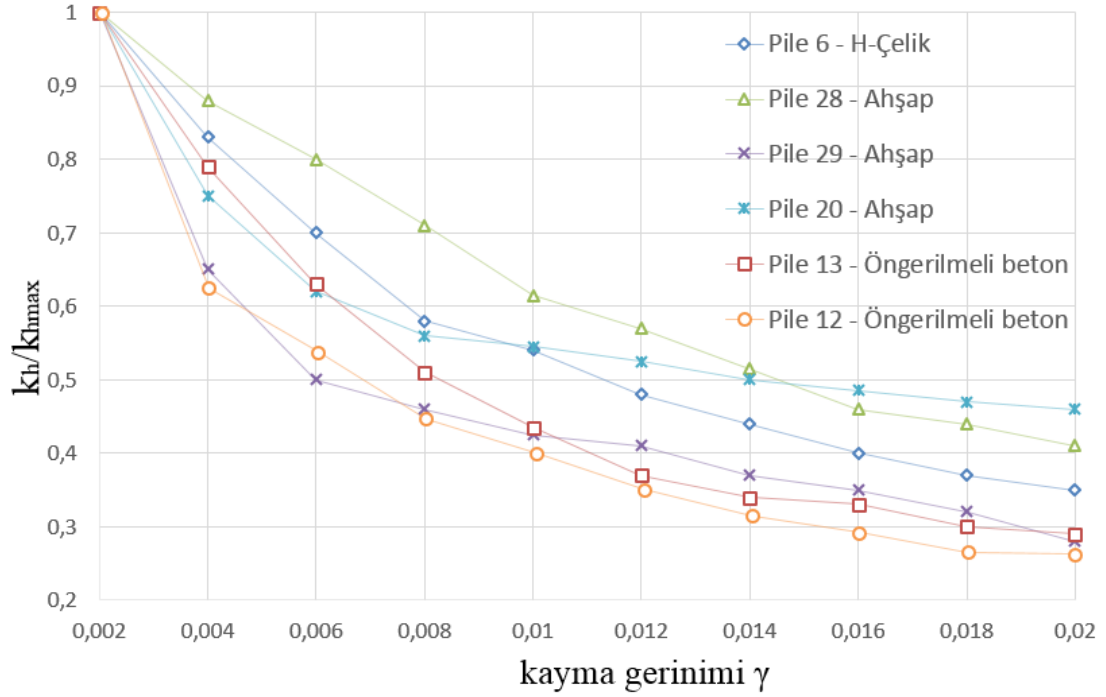
2.3.1. Kuma gömülü kazıklar

Prakash ve Kumar (1996) kuma gömülü farklı malzemelerden yapılan kazıklarının test sonuçlarını incelenmiştir. Çelik, beton ve ahşaptan farklı uzunluklarda yapılan kazıklar farklı bağlı yoğunluğu ile, sıkı, orta ve gevşek kuma gömülmüştür. Kazıkların orijinal özellikleri Tablo 2.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Kazıkların orijinal özellikleri (sonra Prakash ve Kumar, 1996)

Kazık numarası	Kazık malzemesi	Kazıkların orijinal referans	Genişlik /kazık çapı		Zemin tipi	Referans
			mm	in.		
1	Çelik boru	Pile 2	406	16.00	Sıkı, orta ince kum	Alizadeh (1970)
2	Çelik boru	Pile 10	406	16.00		Alizadeh (1970)
6	H-Çelik	Pile 6	370	14.60		Alizadeh (1970)
9	H-Çelik	Pile 13A	370	14.60		Alizadeh (1970)
12	Öngerilmeli beton	Pile 5	406	16.00		Alizadeh (1970)
13	Öngerilmeli beton	Pile 11A	508	20.00		Alizadeh (1970)
19	Ahşap	Pile 8	356	14.00	Orta kum	Alizadeh (1970)
4	Çelik boru	Must Island	609	24.00		Cox ve diğ. (1974)
5	Çelik boru	0, Sand	273	10.75		Brown ve diğ. (1988)
20	Ahşap	Test 6	292	11.50	Gevşek kum	Robinson (1979)
23	Ahşap	Test 9	279	11.00		Robinson (1979)
28	Ahşap	TIM15	305	12.00		Wagner (1953)
29	Ahşap	Tim 25	356	14.00		Wagner (1953)
21	Ahşap	Test 7	330	13.00	Çok gevşek kum	Robinson (1979)

Tablo 2.3.'te anlatılan tüm kazıklar için, yatay yatak katsayısı normalize modülü, k_h/k_{hmax} , gerilme karşı belirlenmiştir, fakat bu çalışmada ileri analizler için sadece kazıklar 6, 12, 13, 20, 28 ve 29 göz önüne alınacaktır. Normalize modülü (k_h/k_{hmax}) kayma gerinimi karşı (γ), bu beş kazık için Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Normalize k_h/k_{hmax} kayma gerinime karşı γ (sonra Mwindo 1992)

Çizelge formatının sayesinde, eğri fonksiyonları ve aynı zamanda boyutsuz katsayılar a ve b her bir kazık için belirlenmek mümkündür. Bu fonksiyonlar yanı sıra a ve b katsayılar Tablo 2.4.'de gösterilmiştir.

Atalet momentinin değerleri (I), ve elastisite modülü (E), Tablo 2.3.'te verilmediği için, onlar hesaplanmış olması gerekir. Atalet momenti, standart hesaplamalara göre belirlenebilir, fakat, çelik, beton ve ahşap elastisite modülü Tablo 2.5.'te gösterilmiştir.

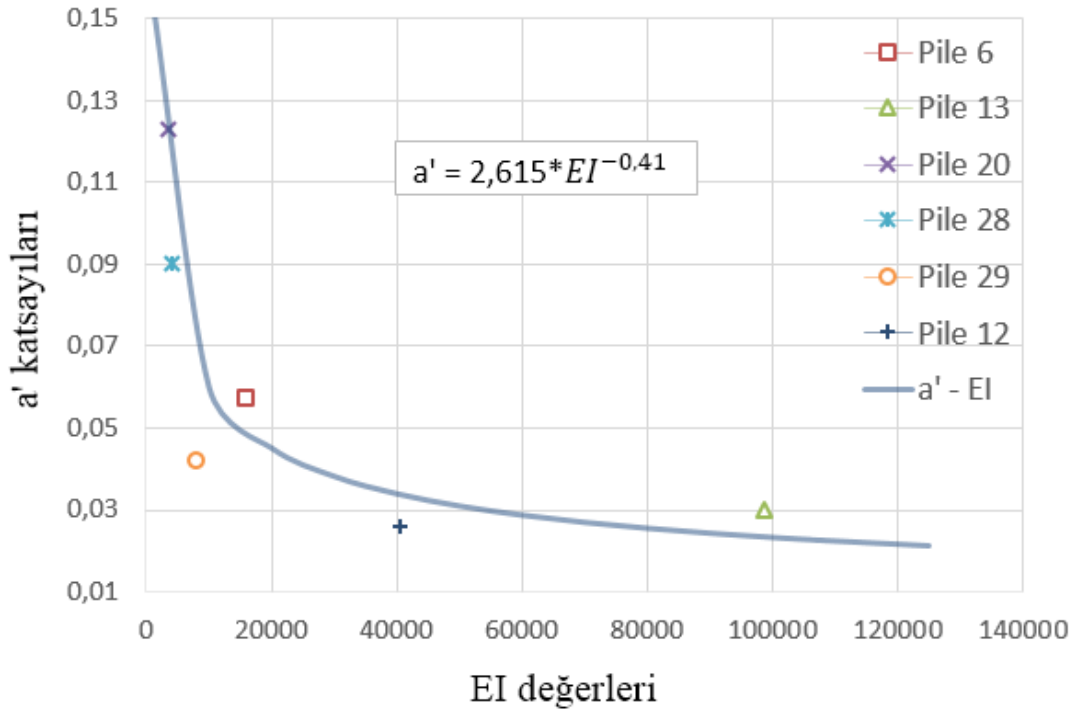
Kazık rijitliği (EI), veya bağıl yoğunluk (D_r), a ve b değerleri üzerinde bir etkiye sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla, kazık rijitliği (EI), bağıl yoğunluk (D_r), ve (EI/D_r) oranı a ve b katsayılarına karşı aşağıdaki şekillerde görüntülenir. Bu katsayılar gelecek tartışmalarda a' bir b' adı verilecek.

Tablo 2.4. Eğriler ve a' ve b' katsayılarının fonksiyonları

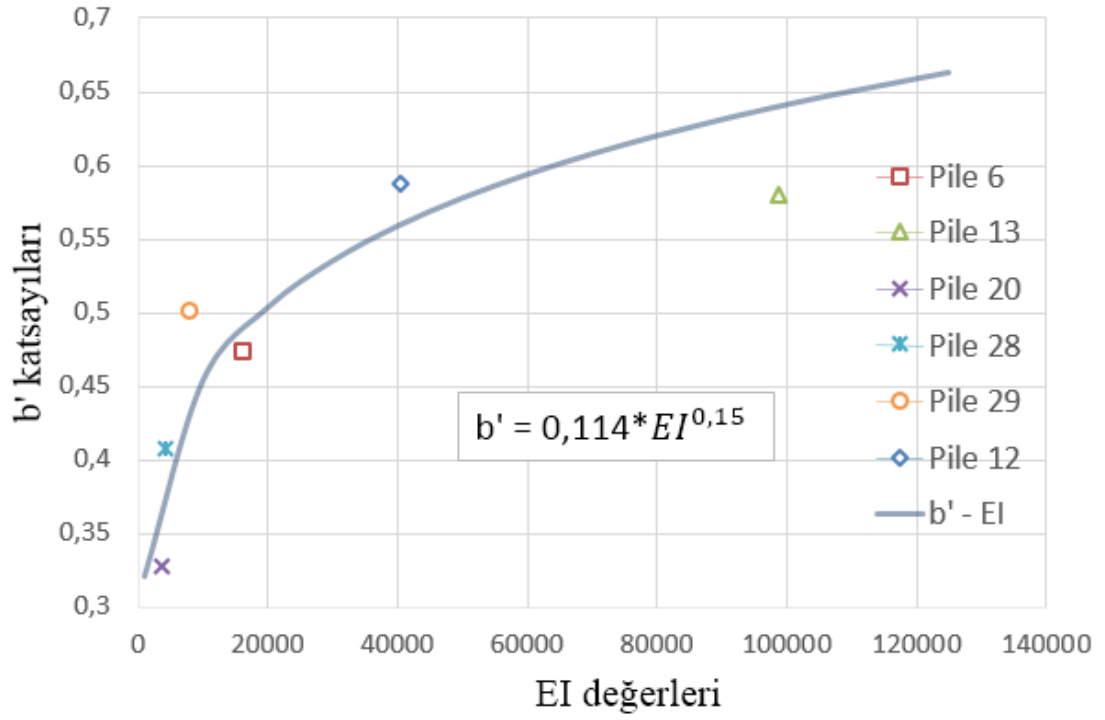
Kazık numarası	Fonksiyonlar	a	b	EI	Dr	$\frac{EI}{Dr}$
6	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0576 \cdot \gamma^{-0,474}$	0,0576	0,474	16 000	65	1376,338
13	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,03 \cdot \gamma^{-0,58}$	0,03	0,58	98 661	65	1517,862
12	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,026 \cdot \gamma^{-0,587}$	0,026	0,587	40414,58	65	621,76
20	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,123 \cdot \gamma^{-0,328}$	0,123	0,328	3568,62	25	2283,922
28	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0903 \cdot \gamma^{-0,407}$	0,0903	0,407	4247,85	25	2718,624
29	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0421 \cdot \gamma^{-0,501}$	0,0421	0,501	7884,42	25	5046,03

Tablo 2.5. Farklı malzemeler için elastiklik modülü (Halliday,Resnick,Walker, 1996)

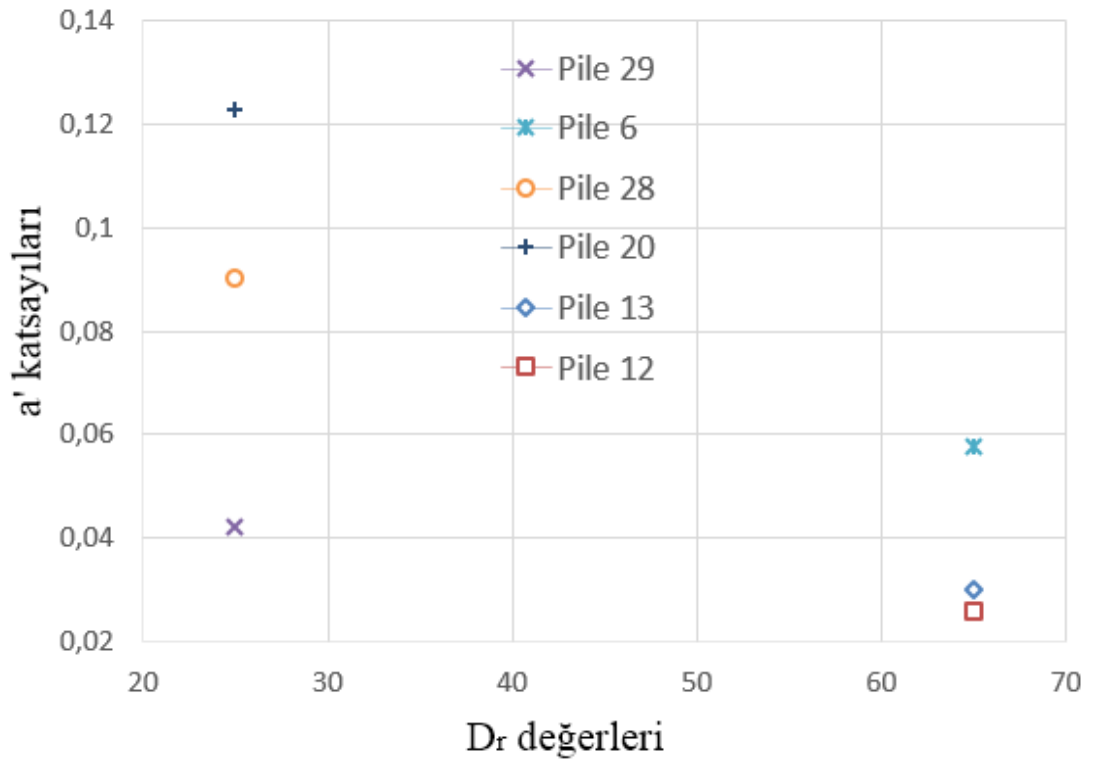
Malzeme	Elastisite Modülü – E (GPa)
Beton	30
Çelik	200
Ahşap	10



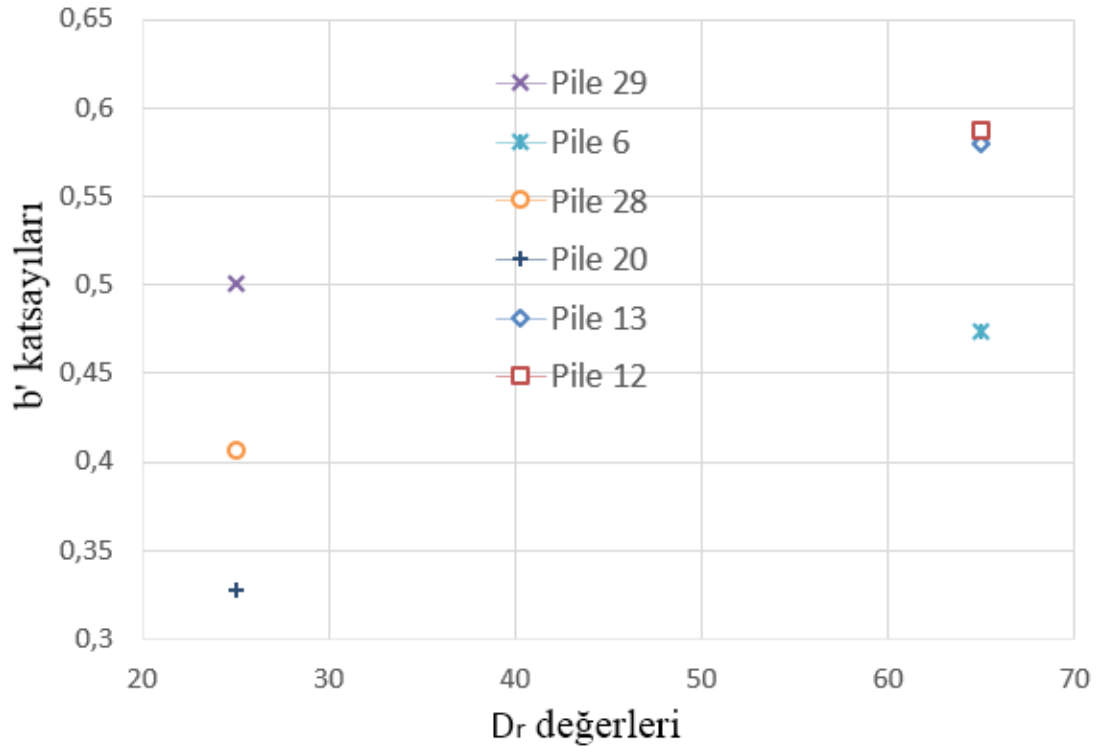
Şekil 2.2. a' katsayıların kazık rijitliğine (EI) karşı değişimi



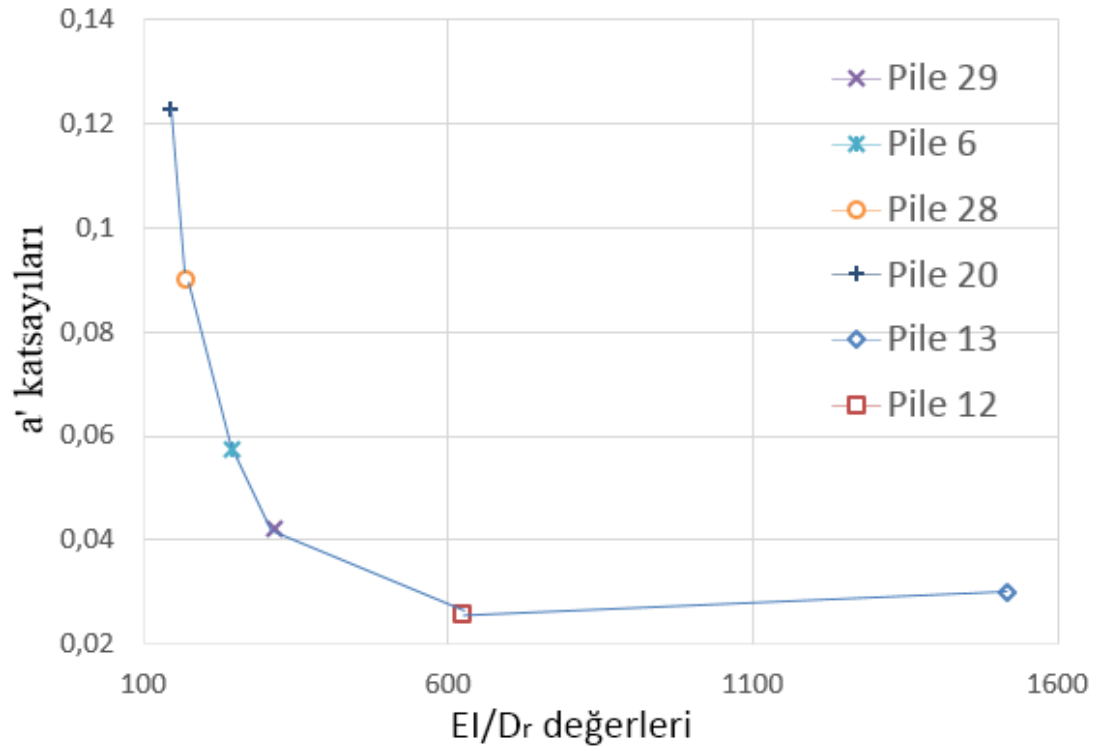
Şekil 2.3. b' katsayıların kazık rijitliğine (EI) karşı değişimi



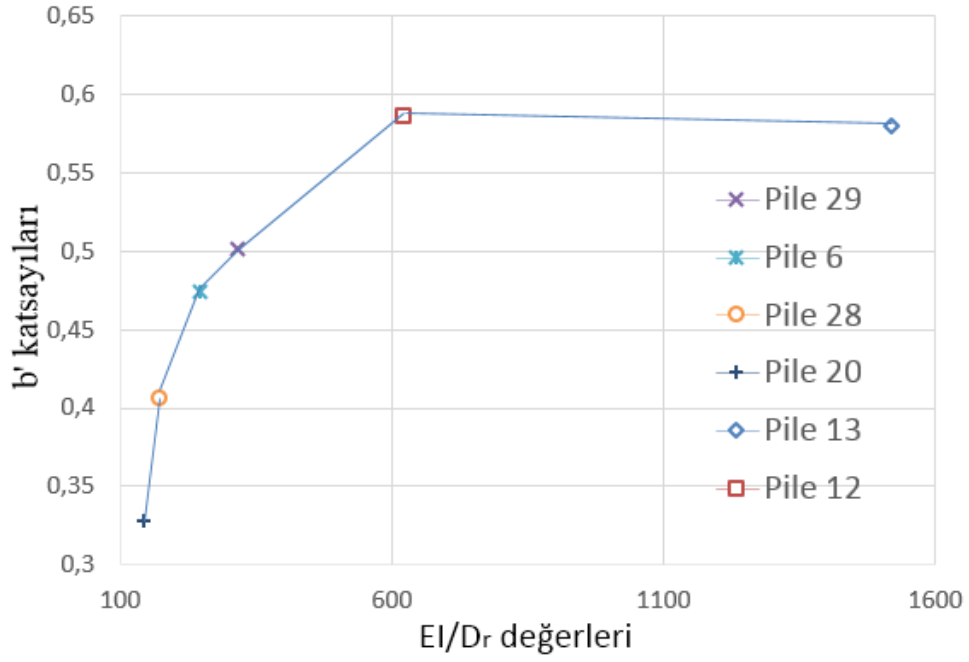
Şekil 2.4. a' katsayıların bağıl yoğunluğuna (D_r) karşı değişimi



Şekil 2.5. b' katsayıların bağıl yoğunluğuna (D_r) karşı değişimi



Şekil 2.6. a' katsayıların EI/D_r karşı değişimi



Şekil 2.7. b' katsayıların EI/Dr karşı değişimi

Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'te görüldü gibi, a' ve b' katsayıların ters davranışı gösterdiği sonucuna varılabilir. Görüldü gibi, kazık rijitliği (EI), artıka katsayılar a' azalmaktadır ama katsayılar b' artış eğilimindedir. Buna dayanarak, kuma gömülü kazıklar için, en yüksek EI değerlerine sahip olan kazık, aynı zamanda a' katsayılarının minimum değeri ve b' katsayılarının yüksek değerine sahip olduğunu sonucuna varılabilir. Kazık rijitliği (EI), a' ve b' katsayılarının değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu kanıtlıyor, ancak, bağıl yoğunluğu (D_r), a' ve b' katsayılarının arasındaki doğrudan ilişkisi belirlemek için ek ve daha ayrıntılı bir araştırma gerekmektedir.

Kuma gömülü kazıklar için, gösterilen Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'te, a' ve b' katsayıları kazık rijitliğine (EI) karşı, ortalama değerini temsil eden bir eğri tanımlamak mümkündür. Kum içine gömülü kazıklar için, geliştirilmiş a' ve b' katsayılarının denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$a' = 2,615 \cdot EI^{0,41} \quad (2.2)$$

$$b' = 0,114 \cdot EI^{0,15} \quad (2.3)$$

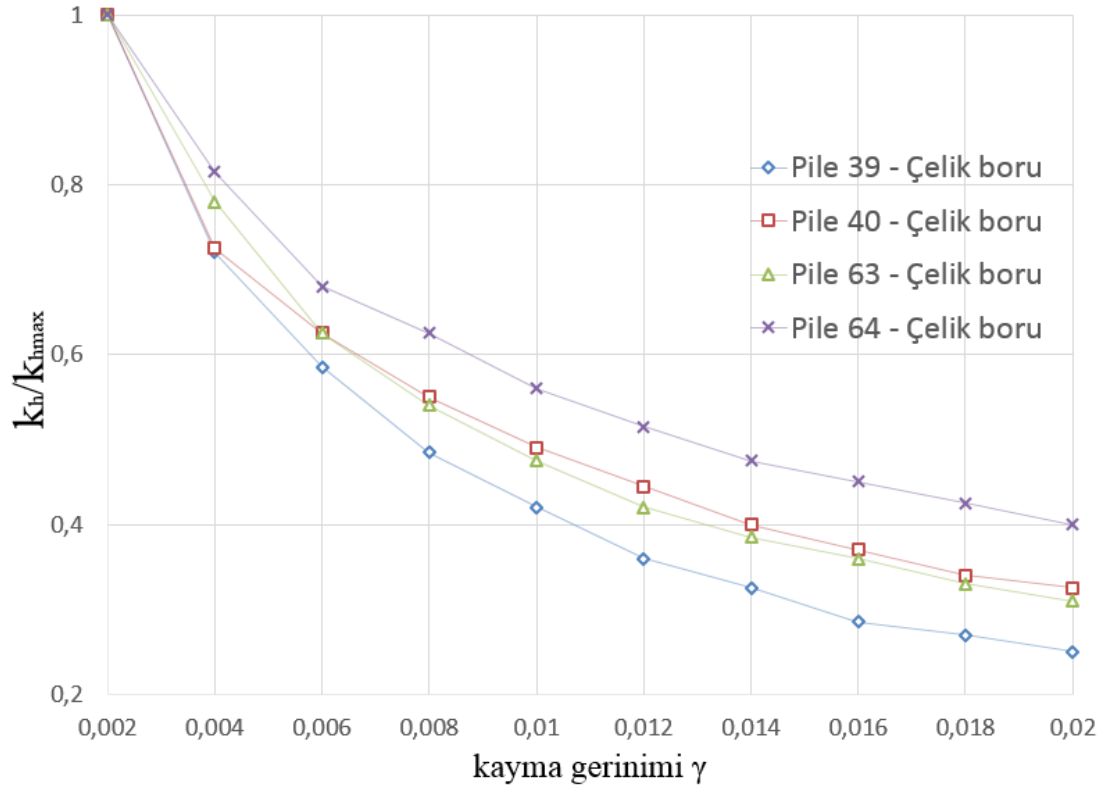
2.3.2. Kile gömülü kazıklar

Prakash ve Chen (1998) sert ve yumuşak kil içine gömülü yanal yüklenmiş tekil kazıklarının sonuçlarını incelenmişlerdir. Toplam on tam-ölçekli yanal yüklenmiş kazıktan, yumuşak kile gömülü altı kazık ve sert kile gömülü dört kazık analiz edilmiştir. Kazıkların tüm ayrıntıları, kazık malzemeleri, kazık boyutları, eğilme rijitliği, zemin koşulları, ortalama drenajsız kayma mukavemeti ve referanslar Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Kazıkların orijinal bilgileri

Kazık Nu.	Kazık	Zemin	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	EI (kN/m ²)	e(m)	Drenajsız mukavemeti (kPa)	Referans
39	Çelik boru	Sert kil	13,11	0,152	2118,24	0	57,0	Reese ve diğ., 1975
40	Çelik boru	Sert kil	18,07	0,610	135983,52	0	140,0	Reese ve diğ., 1975
63	Çelik boru	Sert kil	10,00	0,273	13212,05	0.305	65,0	Brown ve diğ. 1987
64	Çelik boru	Sert kil	11,40	1,220	1025047	0	95,0	Dunnivant, 1986
31	Çelik	Yumuşak kil	12,80	0,324	12176,80	0	14,4	Long ve Reesem 1987
34	Ahşap	Yumuşak kil	21,34	0,318	6889,46	0	14,4	Robinson, 1979
36	Ahşap	Yumuşak kil	15,24	0,305	5851,53	0	28,7	Robinson, 1979
37	Ahşap	Yumuşak kil	9,45	0,305	5851,53	0	14,4	Robinson, 1979
53	Ahşap	Yumuşak kil	13,41	0,311	6007,91	0	28,7	Alizadeh, 1969
54	Ahşap	Yumuşak kil	13,41	0,305	5842,20	0	28,7	Alizadeh, 1969

Bu durumda, sadece sert kil içine gömülü kazıklar dikkate alınacaktır. Sert kile gömülü dört kazık için, kayma gerinimi ile normalize modülü bozulması hesaplanmıştır ve Şekil 2.8.'de sunulmuştur.



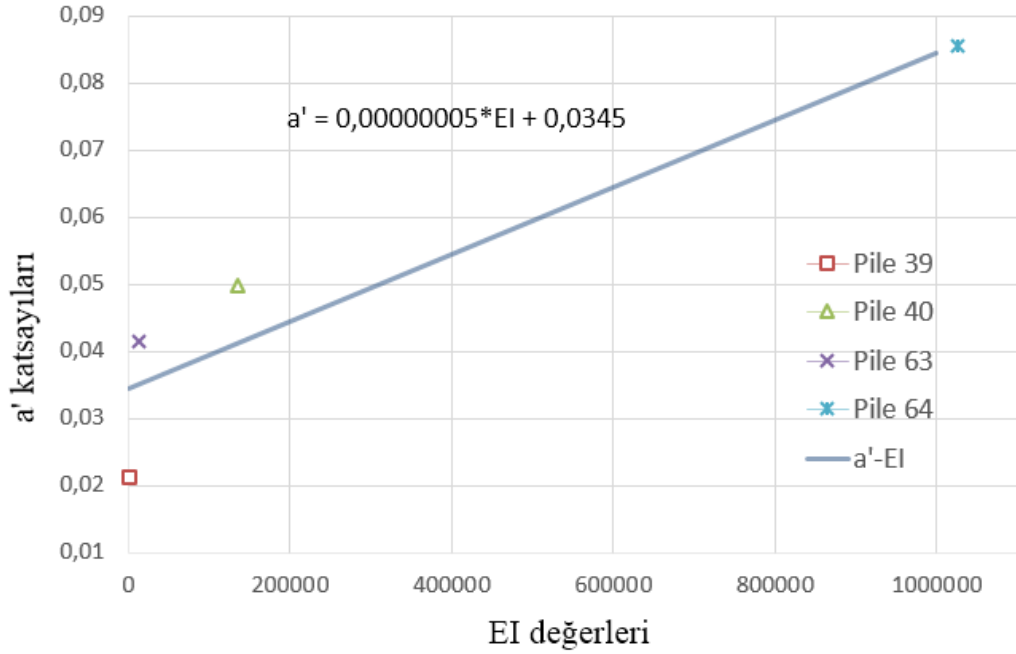
Şekil 2.8. Sert kile gömülü dört kazık için normalize k_h/k_{hmax} karşı kayma gerinimi (sonra Prakash ve Chen, 1998)

Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi, k_h/k_{hmax} değerleri gerinim karşı gösterilmiştir, excel programı kullanarak, her eğri için fonksiyon sunmak mümkündür. Her kazık için, bu fonksiyonlar, yanı sıra boyutsuz a' ve b' katsayıları, kazık rijitliği (EI), drenajsız kayma mukavemeti (S_u), ve oran EI/S_u Tablo 2.7.'de gösterilmiştir.

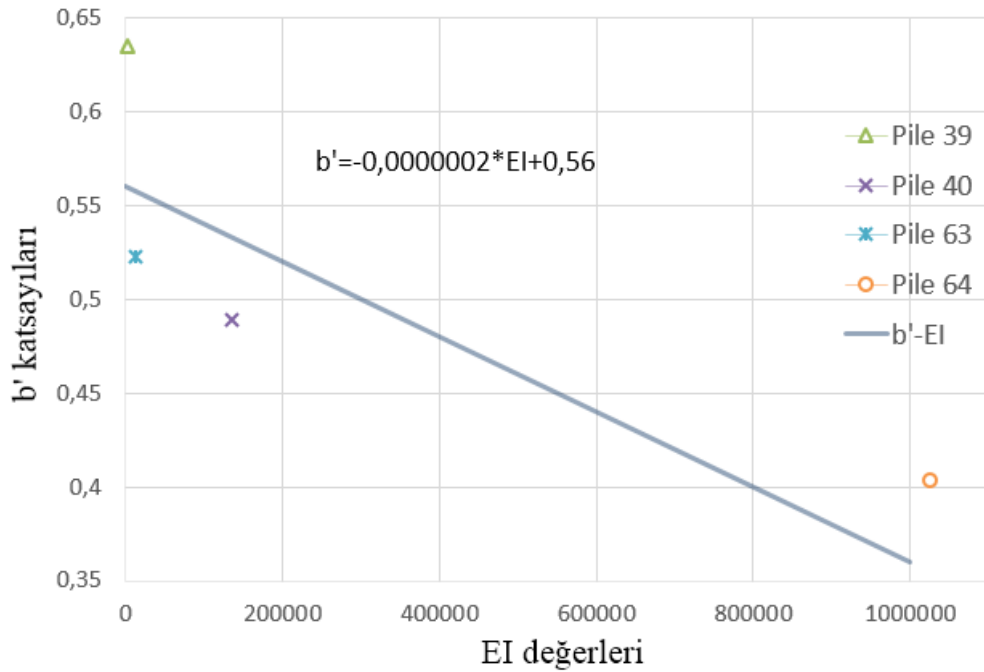
Tablo 2.7. Eğrilerinin fonksiyonları ve a' ve b' katsayıları

Kazık Nu.	Fonksiyonlar	a	b	EI	S_u	$\frac{EI}{S_u}$
39	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0212 \cdot \gamma^{-0,635}$	0,0212	0,635	2118,24	57	37,16
40	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0497 \cdot \gamma^{-0,489}$	0,0497	0,489	135983,52	140	971,31
63	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0415 \cdot \gamma^{-0,523}$	0,0415	0,523	13212,05	65	203,62
64	$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,0854 \cdot \gamma^{-0,404}$	0,0854	0,404	1025047,0	95	10789,97

Boyutsuz katsayılarının a' ve b' bağımlını elde etmek amacıyla, kazık rijitliğine göre, (EI), onların değerlerinin değişimi belirlenmelidir. Bu Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Kuma gömülü kazıklarla karşılaştırıldığında, kile gömülü kazıklar için kazık rijitliğinin değerleri (EI), Tablo 2.6.'da gösterilmiştir.

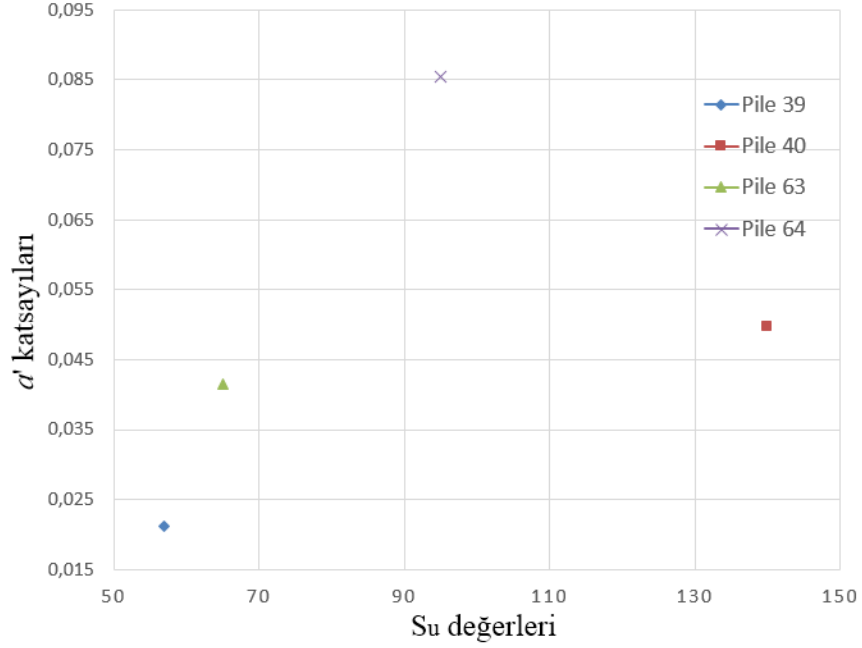


Şekil 2.9. a' katsayıların ve b' kazık rijitliğine EI karşı değişimi

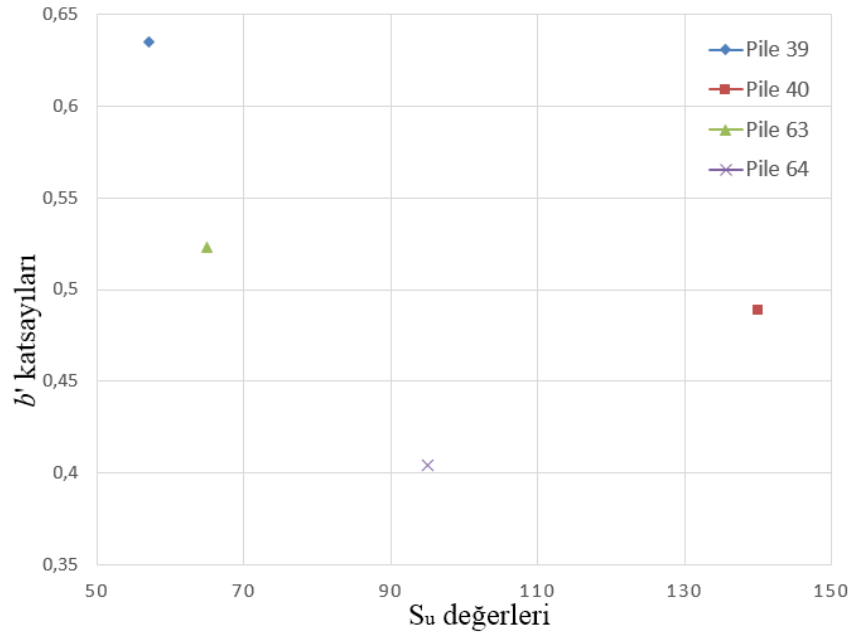


Şekil 2.10. b' katsayıların kazık rijitliğine EI karşı değişimi

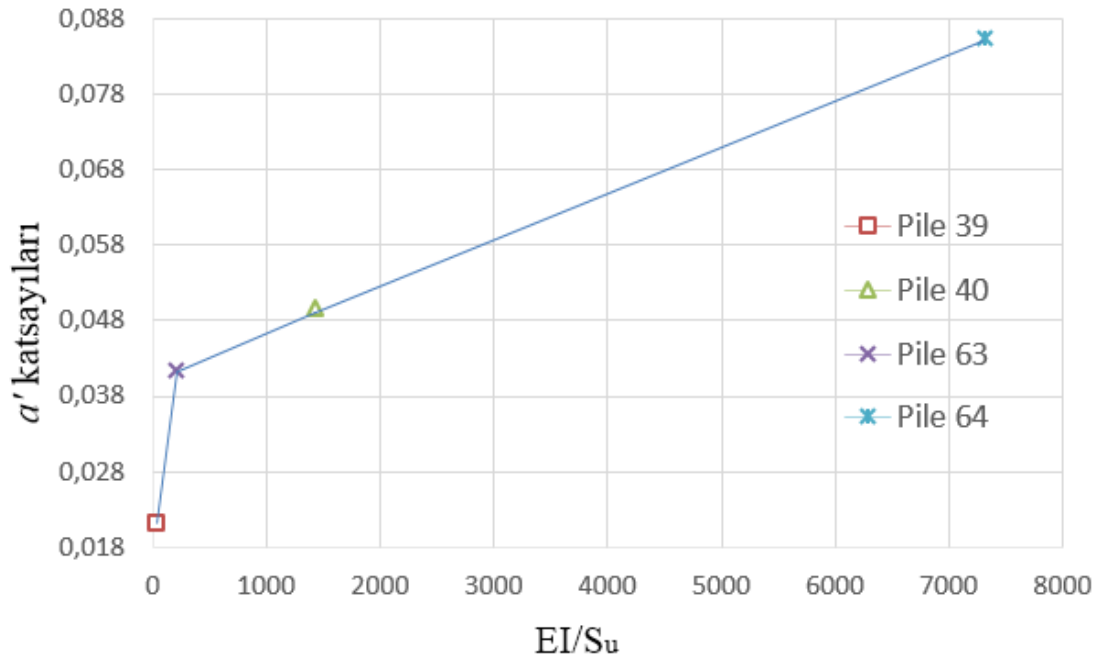
Yukarıdaki şekillerde görülebildiği gibi, kazık rijitliği (EI), arttıkça boyutsuz a' katsayıları artmaktadır. Katsayılar b' , bu durumda, a' katsayıları ile karşılaştırıldığında ters bir davranış göstermektedirler. Bunlar, kazık rijitliği (EI) arttıkça, azalma eğilimindedirler.



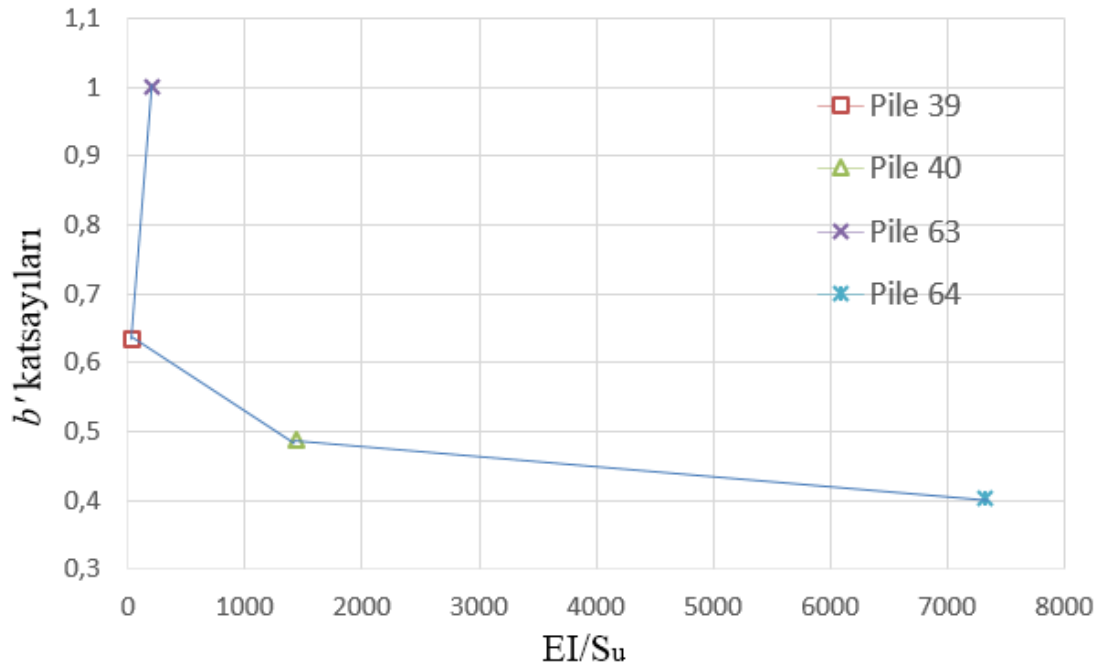
Şekil 2.11. a' katsayılarının drenajsız kayma mukavemetine (S_u) karşı değişimi



Şekil 2.12. b' katsayılarının drenajsız kayma mukavemetine (S_u) karşı değişimi



Şekil 2.13. a' katsayıların EI/S_u karşı değişimi



Şekil 2.14. b' katsayıların EI/S_u karşı değişimi

Yukarıdaki şekiller gözlemleyerek, kazık rijitliği (EI), boyutsuz katsayılarının a' ve b' varyasyon üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu gösterilmektedir. Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.'da gösterilen durumunda, 39, 40, 63 ve 64 kazık test sonuçlarına göre, kazık rijitliği (EI), karşı, a' ve b' katsayılarının ortalama değerini temsil eden bir

doğrusal çizgisi tanımlamak mümkündür. Bu nedenle, kile gömülü kazıklar için, geliştirilmiş boyutsuz a' katsayıları Denklem (2.4) ile temsil edilebilir, ancak, geliştirilmiş boyutsuz b' katsayılar için, Denklem (2.5) geçerlidir.

$$a' = 0,00000005 \cdot EI + 0,0345 \quad (2.4)$$

$$b' = -0,00000002 \cdot EI + 0,56 \quad (2.5)$$

Bütün yukarıdaki bahsedilen, zemin malzemesi, drenajsız kayma mukavemeti (S_u), veya bağıl yoğunluk (D_r), ile karşılaştırıldığında, kazık rijitliği (EI), a' ve b' katsayılar üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kile gömülü kazıklar için, kazık rijitliği (EI), arttıkça, a' katsayıları artmaktadır, ancak, b' katsayıları azalma eğilimindedirler. Kuma gömülü kazıklar ise, boyutsuz katsayılar davranışları tam tersidir. Bu durumda, kazık rijitliği (EI), arttıkça, a' katsayıları azalmaktadır, ancak, b' katsayılar artmaktadır.

2.4. Yatak Yatak Katsayısının Ortalama Değerinin Belirlenmesi ($k_{hmax,avg}$)

Kumar (1993) ve Prakash ve Kumar (1996) tarafından önerilen yöntem, orta sıkı ve gevşek kumlarda yerleştirilmiş kazıklar için sınırlı test verilerinin analizine dayanmaktadır. Gevşek kumlar için, Tablo 1.3.'de (Bölüm 1) gösterilen geniş aralığı, üst ve alt sınır tepkisinin eğrileri öngörmektedir, ama ölçülen tepkisinden önemli ölçüde farklı olduğu söylenebilir. Bu nedenle, k_{hmax} yaklaşımının daha incelemesi ve önerilen k_{hmax} değerlerinin aralığını düzeltmesi için, 14 tam-ölçekli kazık yük testlerinden ek test verileri analiz edilmiştir. Toplam 14 analiz edilen kazıklardan, yedi kazık gevşek kuma gömülü ve kalan kazıklar orta sıkı kuma gömülmüştür.

Veri Kaynağı

Ayrıntılı bilgiler, analiz edilen kazık tipi, zemin tipi ve kazık boyutları veri kaynağı ile birlikte Tablo 2.8.'de bulunmaktadır. Bu bilgileri, Prakash ve Kumar (1996) tarafından toplanmıştır.

Tablo 2.8. Kazıklar orijinal bilgileri (sonra Prakash ve Kumar, 1996)

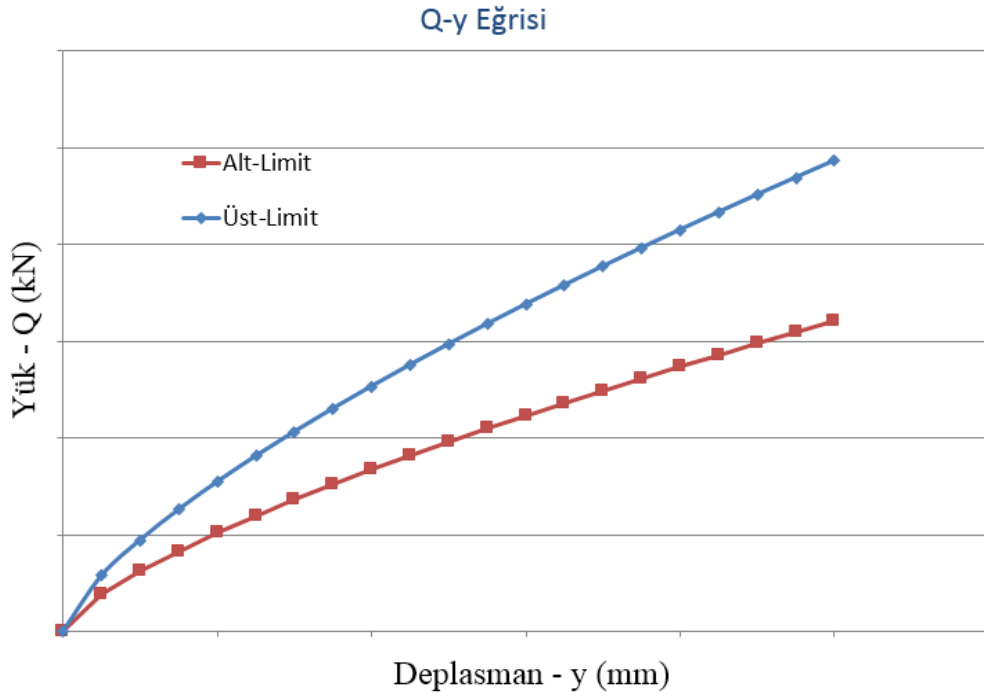
Kazık numarası	Kazık malzemesi	Kazık tanımlama	Çapı veya genişlik (inch)	Zemin tipi	Orijinal referans	
1	Öngerilmeli beton	Square pile #1	20	Orta sıkı kum	Little ve Briaud (1988)	
2	Prefabrik beton	SB-2	16		Mansur ve Alizadeh (1971)	
3	Beton dolgulu çelik boru	P-3	16		Mansur ve Alizadeh (1971)	
4	Beton	C-6	16		Mansur ve Alizadeh (1971)	
5	Beton	R-5A	17.38		Mansur ve Alizadeh (1971)	
6	Ahşap	Lock no.25	13		Gleser (1953)	
7	Beton	L-1	20		Lambert (2000)	
8	Prefabrik beton	Test 36	12		(Çakıl ile)	Robertson ve diğ. (1984)
9	Prefabrik beton	Test 37	12		(Çakıl ile)	Robertson ve diğ. (1984)
10	Ahşap	Test 7	13		Robinson (1979)	
11	Ahşap	1-A	12		Alizadeh (1969)	
12	Ahşap	1-B	12.24		Gevşek kum	Alizadeh (1969)
13	Ahşap	Tim 15	12		Wagner (1953)	
14	Ahşap	Tim 25	14		Wagner (1953)	

Bölüm 1'de gösterilen (Şekil 1.6.), normalize modüllü eğrilerinin gerginlik üstel fonksiyonu olarak aşağılamasını net bir şekilde göstermektedir ve kum yoğunluğu ve kazık malzemesine bağımsız olarak, bu eğriler birbirine benzemektedir. k_h/k_{hmax} toplam varyasyon 0,02 gerilmelerde 0,26-0,48 arasında olduğu, ancak, 0,006 gerilmelerde, 0,5-0,7 arasında bulunmaktadır. Ayrıca, tüm eğriler benzer bir eğilimi gösterir, yanal yük altında tekil kazıklar için, normalize yatay yatak katsayısı (k_h/k_{hmax}) ile gerilme (γ), genel tepkisini temsil eden üstel fonksiyon Şekil 1.7.'de geliştirilmiştir. Denklem (1.25), yumuşak ve orta yumuşak killer için geçerlidir, ancak, kum ve sert killer ise, Denklem (1.17) kullanılabilir ve aşağıda tekrarlanmıştır:

$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,052 \cdot \gamma^{-0,48} \quad (2.6)$$

$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = 0,054 \cdot \gamma^{-0,477} \quad (2.7)$$

Mwindo (1992), Prakash ve Kumar (1996) tarafından bu geliştirilen denklemler, bağıl yoğunluğuna ve drenajsız kayma mukavemetine bağlı olarak verilen k_{hmax} değerlerini dikkate alarak, yatay yatak katsayısının (k_h) üst ve alt sınırı tahmin etmek için kullanılmaktadır. Yatay yük-defleksiyon tepkisini hesaplamak için aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Yük – deplasman tepkisi

Eğer kayma gerinim (γ) ifadeleri, Denklem (1.17) ve Denklem (1.18), bahsedilen denklemlere (2.6) ve (2.7) dahil ise, kuma ve kile gömülü yanal yüklenmiş kazıklar için yeni bir basitleştirilmiş denklemi oluşturmak mümkündür.

$$\frac{k_h}{k_{hmax}} = a \cdot \left(\frac{1}{f} \cdot \frac{y}{B} \right)^{-b} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de görüldüğü gibi, normalize yatay yatak katsayısı şimdi kazık deplasmanı (y), ve kazık çapı veya genişliğine (B), bağlıdır. Yeni denklem gözlemleyerek, kum ve kil için boyutsuz a' ve b' katsayılarının yeni değerleri elde edilmiştir. Böylece, bunların değerleri Tablo 2.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Zemin tipine göre a' ve b' katsayılarının değerleri

Boyutsuz katsayıları	Zemin tipi	
	Kum	Kil
a'	$a' = 2,615 \cdot EI^{-0,41}$	$a' = 5 \cdot 10^{-8} \cdot EI + 0,0345$
b'	$b' = 0,114 \cdot EI^{0,15}$	$b' = -2 \cdot 10^{-7} \cdot EI + 0,56$

Kazık gömülü olduğu zemin tipine göre, sadece tekil kazıklar için, yatay yatak katsayısı modüllünün üst ve alt sınırı belirlemek için, Denklem (2.8) kullanılmaktadır. Ayrıca, bahsedilen denklemde, kazık etrafında zemin suyunun varlığı belirtilmemiştir. Ancak, eğer kazık etrafında yeraltı suyunun varlığı görülmektedir ya da bir kazık grubu mevcut ise, belirtilen denklem yeni katsayılarla çarpılarak genişletilebilir.

Tüm bu parametreleri dikkate alındığında, yatay yatak katsayısı modüllünü ($k_{hmax,avg}$) belirlemek için, genel denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$k_h = a' \cdot k_{hmax,ort} \cdot \left(\frac{y}{f \cdot B} \right)^{-b'} \cdot W_c \cdot G \quad (2.9)$$

burada: k_h – yatay yatak katsayısı

a' – boyutsuz katsayısı

b' – boyutsuz katsayısı

f – daha önce belirtildiği gibi kil için $f = 1,667$ ve kum için $f = 1,85$

$k_{hmax,ort}$ – yatay yatak katsayısının ortalama değeri

W_c – su düzeltme faktörü

G – kazık grubunun katsayısı.

Bütün bahsedilen parametreler detaylı olarak açıklanacaktır. Boyutsuz katsayılar a' ve b' daha önce açıklanmıştır ve daha ayrıntılı olarak ele alınmayacaktır.

Ortalama k_{hmax} değeri

Yatay yatak katsayısının üst ve alt sınırı belirlenmesi yerine, aşağıdaki hesaplamalarda, yatay yatak katsayısının ortalama değerini ($k_{hmax,ort}$) yanal yüklenmiş kazıklarda yük-deplasman tepkisini elde etmek için kullanılacaktır.

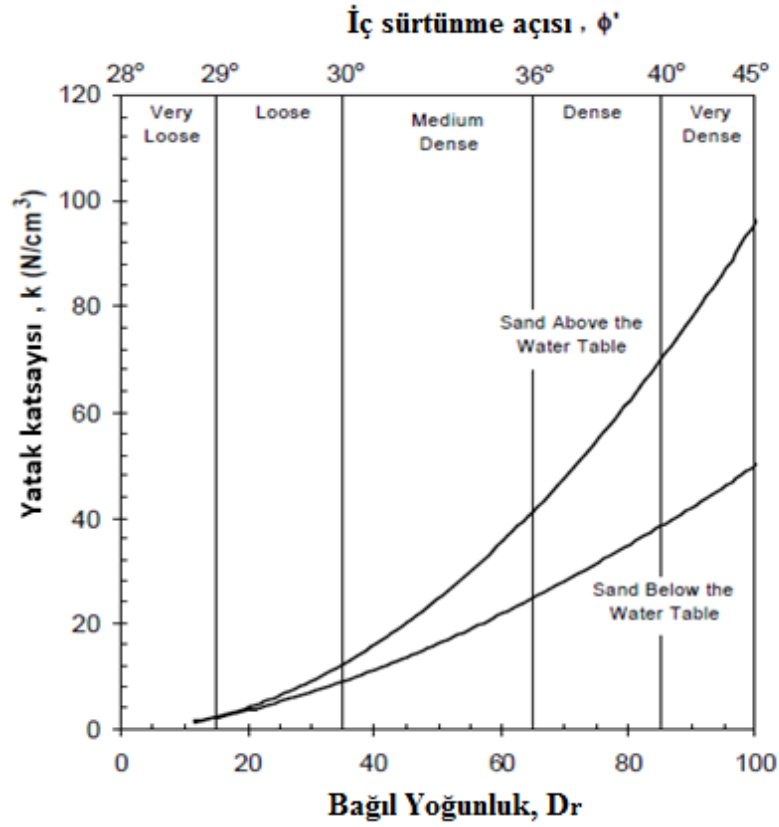
Belirtmek gerekir ki, bağıl yoğunluk ve iç sürtünme açısına göre, kum sınıflandırılır, buna dayanarak, kum sınıflandırılması aşağıdaki Tablo 2.10. ve Şekil 2.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Bağıl yoğunluğuna (D_r) göre kum sınıflandırılması (sonra Briaud 1992, Baguelin ve diğ, 1978)

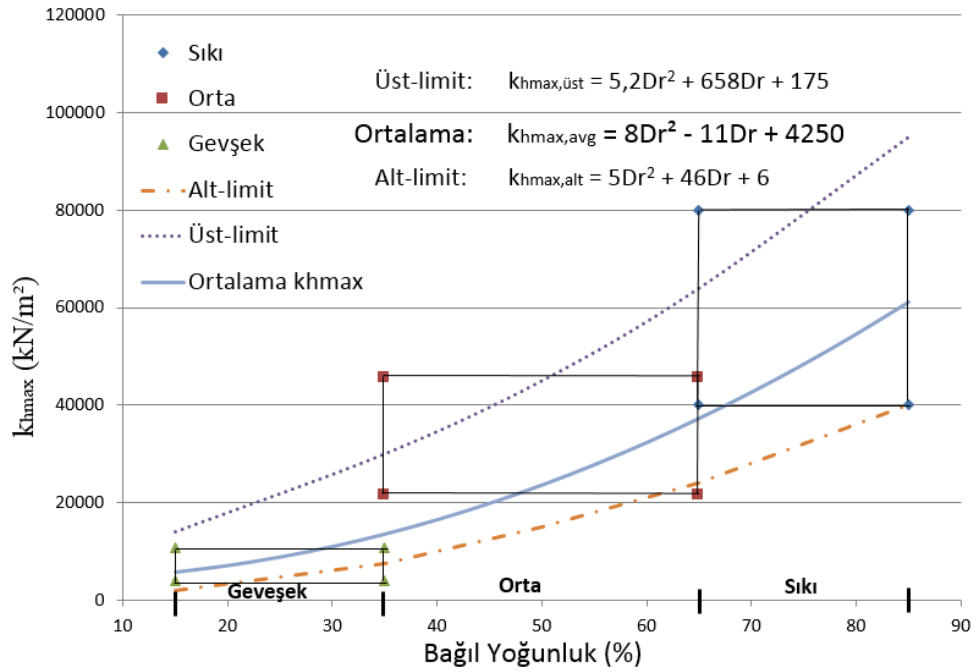
Yoğunluk indeksi	Bağıl yoğunluk - D_r (%)
Çok gevşek	0-15
Gevşek	15-35
Orta	35-65
Sıkı	65-85
Çok sıkı	85-100

Gevşek, orta ve sıkı kum için, Tablo 1.3.'te (Bölüm 1) verilen k_{hmax} aralığı yanı sıra Tablo 2.10.'da verilen yoğunluk indeksinin (D_r) aralığını dikkate alarak, yatay yatak katsayısının ortalama değeri ($k_{hmax,ort}$) için, en uygun eğri sunmak mümkündür.

Bu eğri ve üst ve alt sınır için eğrileri Şekil 2.17.'de gösterilmiştir. Belirtmelidir ki $k_{hmax,avg}$ eğrisi elektronik tablo hesaplamaları kullanılarak oluşturulmuştur ve sadece kuma gömülü kazıklar için kullanılmaktadır.



Şekil 2.16. Bağıl yoğunluk (D_r), sürtünme açısı (ϕ) ve yatay yatak katsayısı (k) arasındaki korelasyonları (Sonra Reese ve diğ., 1997)



Şekil 2.17. k_{hmax} ortalama, üst ve alt limiti

Grafikte görüldüğü gibi, $k_{hmax,ort}$ eğrisi ikinci dereceden bir polinomla oluşmuş ve fonksiyonu da gösterilmiştir, bu nedenle, kum bağıl yoğunluğuna göre yatay yatak katsayısının ortalama değeri $k_{hmax,ort}$, aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$k_{hmax,ort} = 8x^2 - 11x + 4250 \quad (2.10)$$

Üst ve alt sınır eğrileri için, denklemler aşağıda sunulmuştur:

$$k_{hmax,üst} = 5,2x^2 + 658x + 175 \quad (2.11)$$

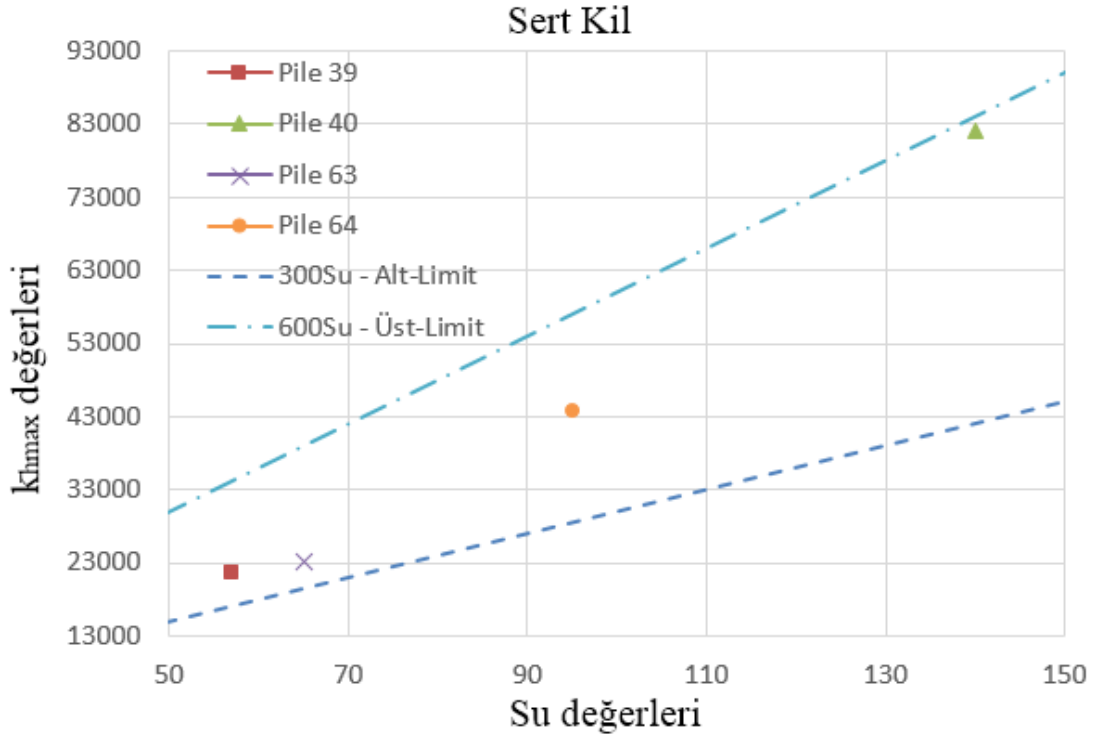
$$k_{hmax,alt} = 5x^2 + 46x + 6 \quad (2.12)$$

burada x kum bağıl yoğunluğudur (D_r).

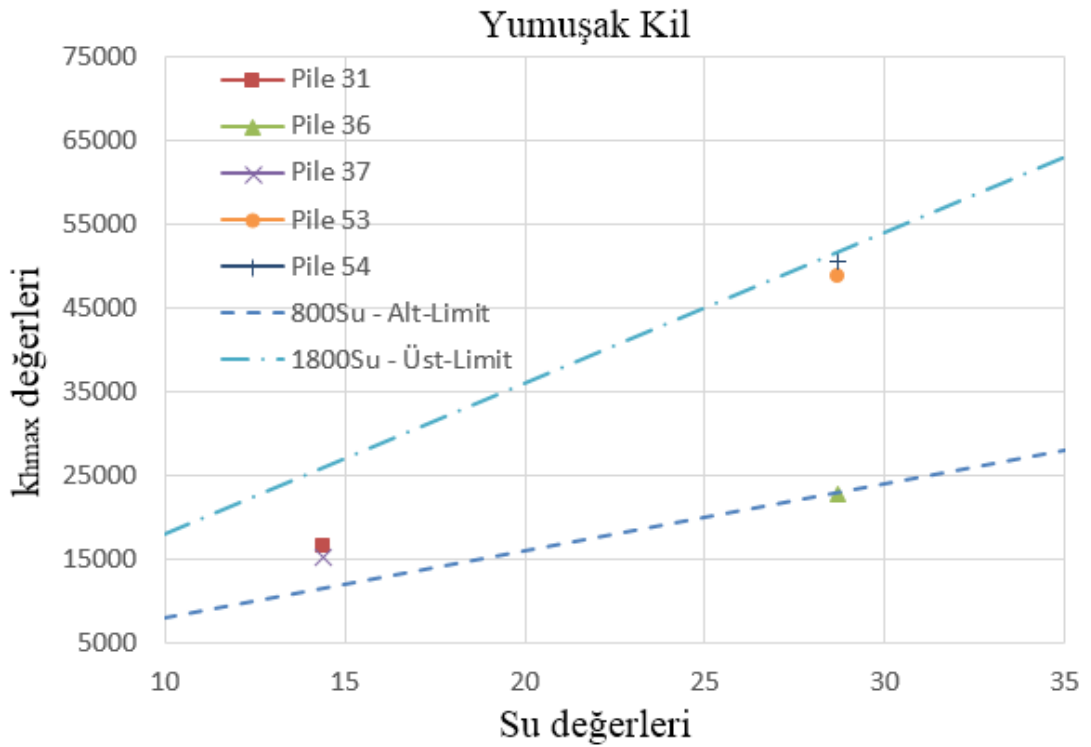
Belirtilmelidir ki, kile gömülü kazıklar için k_{hmax} ortalama değerinin belirlenmesi için prosedür farklı olabilir çünkü, kildeki k_h değerleri, drenajsız kayma mukavemetine (S_u) doğrudan bağımlı olmaktadır.

Drenajsız kayma mukavemeti (S_u), kilin en yaygın özelliklerinden biri olduğu için, k_{hmax} ve S_u arasında bir korelasyon geliştirilmiştir. Sert ve yumuşak kile gömülü kazıkların sonuçlarına göre, Chen ve Prakash (1998) sert killerdeki k_{hmax} değerleri $300S_u$ ve $600S_u$ arasında olduğunu sonuçlandırmıştır. Yumuşak killer için bu aralık biraz daha geniştir ve $800S_u$ ve $1800S_u$ arasında bulunmaktadır. Onların varsayımları ve k_{hmax} ve S_u arasındaki ilişkileri Şekil 2.18. ve Şekil 2.19.'da görülmektedirler.

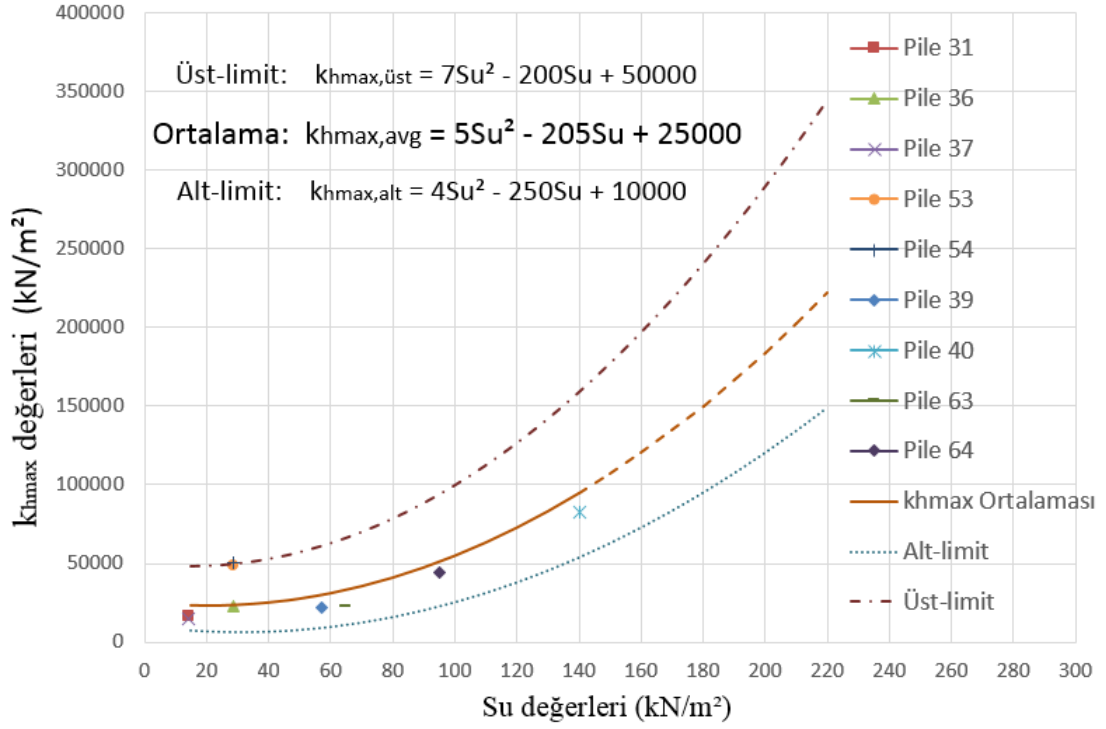
Eğer tüm kazıklar için, S_u ve k_h parametrelerinin arasındaki ilişkisi grafikte gösterilirse, S_u değerleri arttıkça, k_h değerleri de görüldüğü gibi artmaktadır. Bu dikkate alındığında ve elektronik tablo hesaplamaları kullanılarak, drenajsız kayma mukavemetine (S_u) bağlı olarak, $k_{hmax,ort}$ değerleri gösteren bir eğri oluşturmak mümkündür. Bu ilişki Şekil 2.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Sert kil için k_{hmax} 'ın ortalama, üst ve alt sınırı



Şekil 2.19. Yumuşak kil için k_{hmax} 'ın ortalama, üst ve alt sınırı



Şekil 2.20. Kil için kh_{max} ortalama değerleri

Belirtmek gerekir ki, ortalama çizgisinin oluşturulması için, 53 ve 54 kazık değerlerini dikkate alınmamıştır.

Sert veya yumuşak kile gömülü kazıklar için, ikinci dereceden bir polinom eğrisi, yatay yatak katsayısının ortalama değerini belirlemek için kullanılmıştır. $kh_{max,ort}$ ortalama değerlerini hesaplamak için, aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$kh_{max,ort} = 5Su^2 - 205Su + 25000 \quad (2.13)$$

Üst ve alt sınır eğrileri için, denklemler aşağıda sunulmuştur:

$$kh_{max,üst} = 7x^2 - 200x + 50000 \quad (2.14)$$

$$kh_{max,alt} = 4x^2 - 250x + 10000 \quad (2.15)$$

burada x kil drenajsız kayma mukavemeti (S_u).

Her türlü killerdeki kazıkları için, drenajsız kayma mukavemeti değerini (S_u) bilindiği durumunda, k_{hmax} belirlenmesi için Denklem (2.13) kullanılmaktadır. Unutulmamalıdır ki bu Denklem (2.13), gerçek $k_{hmax,ort}$ değerini sağlamamakta fakat yaklaşık ortalama değerini sağlamaktadır.

2.5. Değiştirilmiş Yeraltı Suyu Tablosu

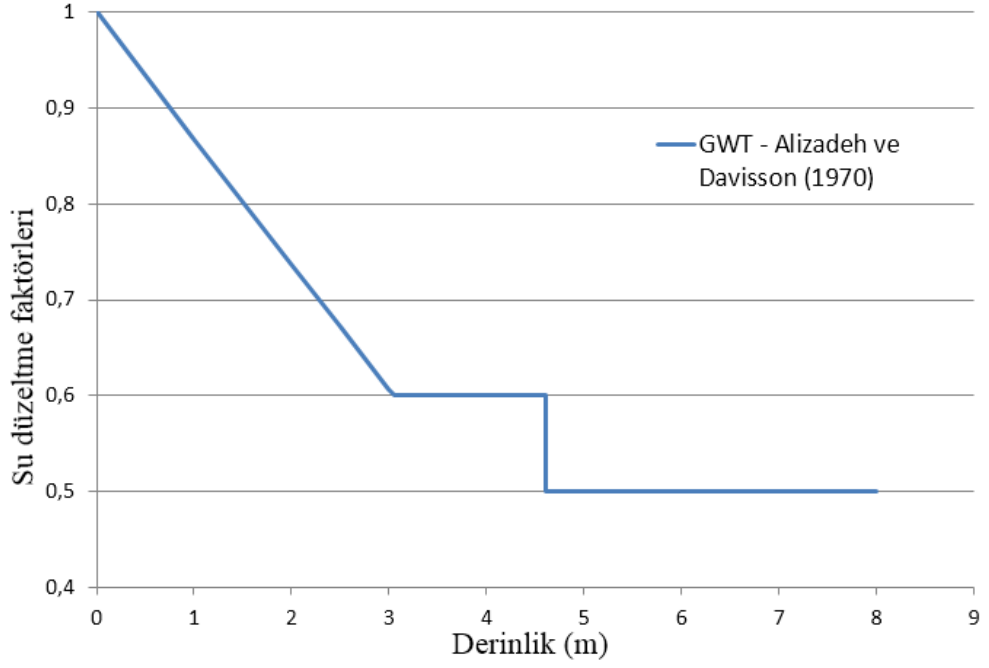
Kazıkların çoğu kullanıldığı durumlarda, yeraltı suyu varlığının olasılığı vardır. Bu yeraltı suyu, zemin yüzeyinin üzerinde mevcut olabilir, aynı zamanda, zemin yüzeyinin altında birkaç santimetre ve birkaç metre arasında değişmektedir. Zemin suyunun varlığı yanal yüke maruz kalan kazıkların üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Bu etkiler daha da açıklanacaktır.

Tablo 1.3. verilen k_h değerleri, zemin yüzeyinde bulunan yeraltı su seviyesi için uygundur. Ancak, yeraltı suyunun derinliği, sabit yatay yatak katsayısı (n_h) değerlerin üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Böylece, su zemin yüzeyinin altında mevcut ise, k_h değerini hesaplamak için, W_c katsayıları (su düzeltme faktörleri), Denklem (2.9)'da dahil olmak üzere gerekmektedir.

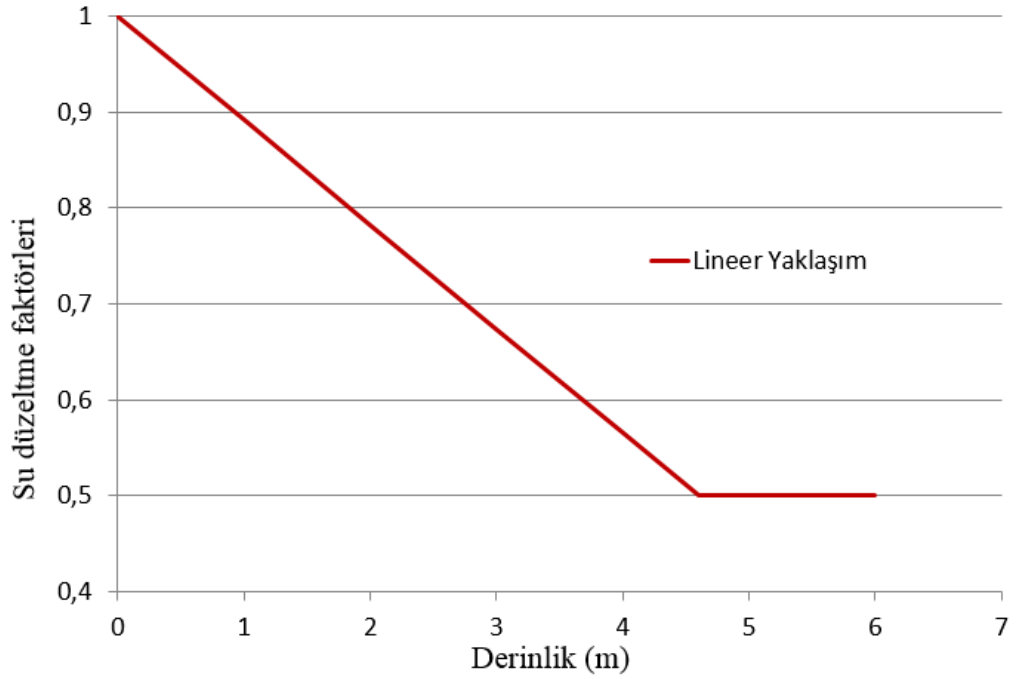
Alizadeh ve Davisson (1970) tarafından önerilen W_c katsayısının değerleri, Bölüm 1'de sunulmuştur, ancak bu çalışmada, daha modifiye edilmişlerdir. Onların önerilerine göre, W_c katsayısının değerleri yeraltı suyu seviyesinin derinliğine bağlıdır ve Şekil 2.21.'de gösterilmiştir.

Bu faktörler, görüntülenen eğrisi gibi, yeraltı su derinliğine göre 4,6 m derinliğe kadar değişmektedir, bundan sonra, 0,5 sabit bir değer olarak kabul edilmektedir. Ancak, W_c katsayısının hesaplanmasını kolaylaştırmak amacıyla, yeraltı suyu zemin yüzeyinin altında olduğunda, Alizadeh ve Davisson (1970) önerilerine göre aşağıdaki basitleştirilmiş grafikleri kullanmak mümkündür. İki yaklaşım tavsiye edilmiştir.

İlk yaklaşım en basitidir ve 0 metreden 4,6 metre derinliğine kadar değeri değişmektedir, böylece zemin yüzeyde 1,0 ve 4,6 metre derinlikte 0,5 bir değer alır, sonrasında sabit 0,5 değer ile devam etmekte olduğunu göstermektedir (Şekil 2.22.).



Şekil 2.21. Su seviyesi için ayarlama faktörleri



Şekil 2.22. Basitleştirilmiş (lineer) yaklaşım için W_{c1} faktörleri

Bu grafiğe göre, 4,6 m derinliğe kadar W_{c1} katsayılarını hesaplamak için, aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$W_{c1} = 1,0 - 0,1087 \cdot x \quad (2.16)$$

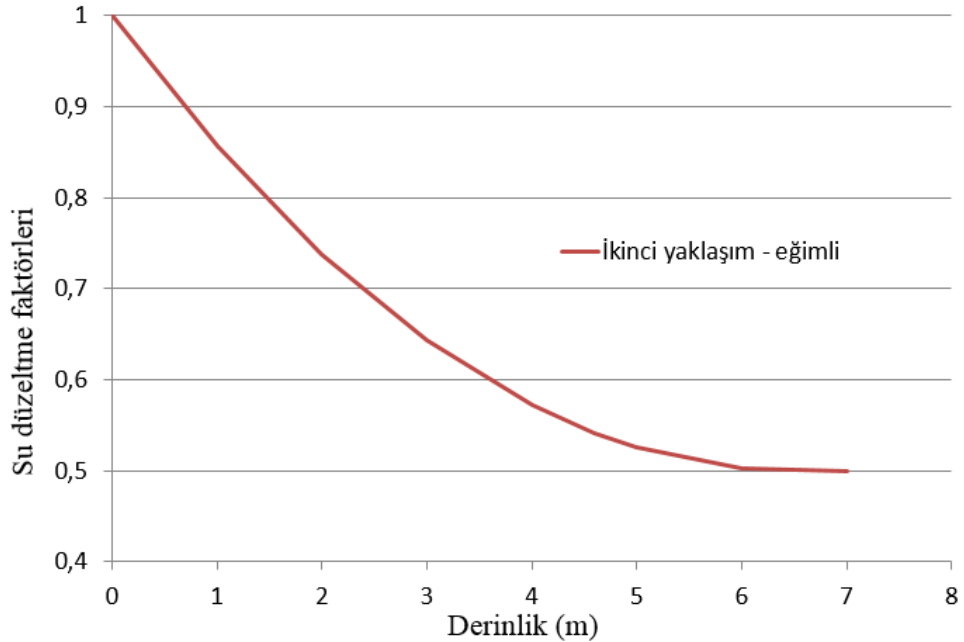
burada x yeraltı suyu derinliği.

İkinci yaklaşım, öncekine bir şekilde benzemektedir, sadece bu yolda hariç, Wc2 katsayısını 6,0 m derinliğe kadar hesaplamak için, ikinci dereceden polinom eğrisini alınmıştır. Bu durumda, zemin yüzeyindeki faktörünün değeri 1,0'dır ve 6,0 metre derinliğe kadar değişmektedir, daha sonra, 0,5 sabit bir değer olarak devam etmektedir (Şekil 2.23.). Bu grafiğe göre, 6,0 m derinliğe kadar Wc2 katsayılarını hesaplamak için, aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$Wc2=0,012 \cdot x^2 - 0,155 \cdot x + 1 \quad (2.17)$$

burada x yeraltı suyu derinliği.

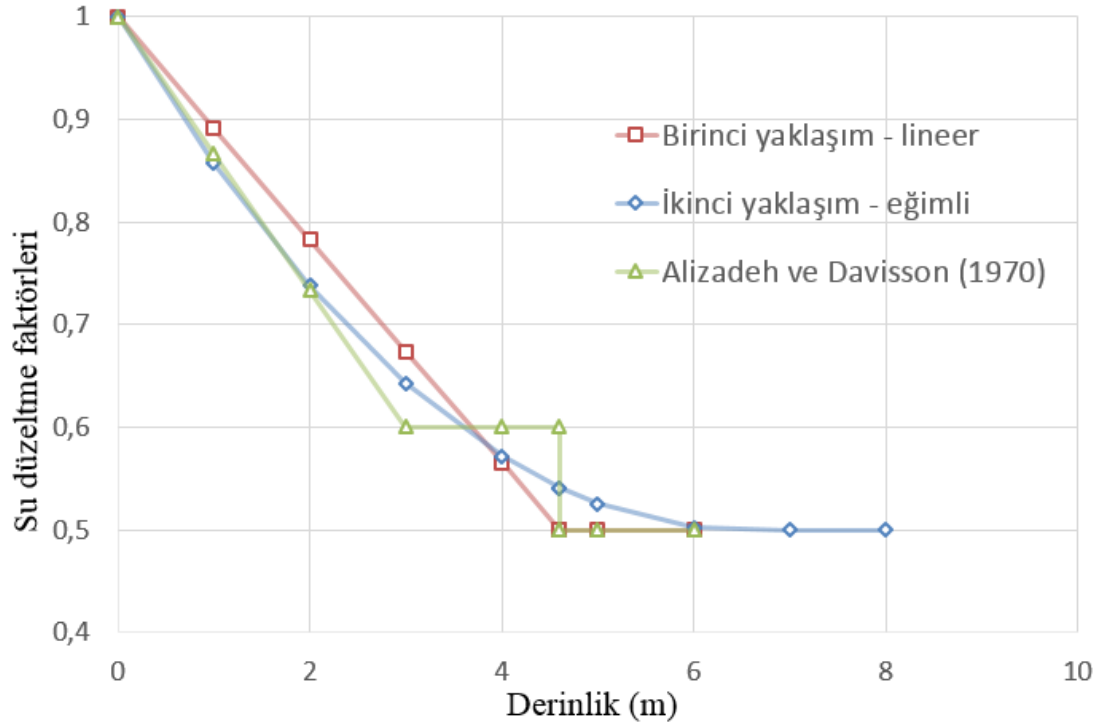
Yukarıda belirtilen denklemlerine, (2.16) ve (2.17), ve Alizadeh ve Davisson (1970) tarafından önerilen orijinal katsayılarına göre, Wc katsayısının değişimini göstermek için bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları, Tablo 2.11.'de ve Şekil 2.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Basitleştirilmiş (eğimli) yaklaşım için Wc2 faktörleri

Tablo 2.2. Önerilen değerler arasındaki Wc katsayısının farkları

Derinlik (m)	Su Düzeltme (Wc) faktörleri		
	Alizadeh ve Davisson (1970)	İlk yaklaşım (Lineer)	İkinci yaklaşım (Eğimli)
0	1,000	1,000	1,000
1,0	0,866	0,890	0,857
2,0	0,733	0,780	0,738
3,0	0,600	0,670	0,643
4,0	0,600	0,560	0,572
4,6	0,500	0,500	0,540
5,0	0,500	0,500	0,525
6,0	0,500	0,500	0,500



Şekil 2.24. Wc katsayısının hesaplamak için önerilen yaklaşımlar

3. YANAL YÜKLEMİŞ KAZIKLARIN ANALİZLERİ

3.1. Giriş

Bölüm 1'de verilen Denklem (1.22) kullanılarak, belirli bir kazık deplasmanı için, yanal yükü ya da belirli bir yanal yük için, kazık deplasmanı k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle hesaplanabilmektedir. Matlock ve Reese (1960) tarafından önerilen denklemler ve onların k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle ilişkileri kullanılarak, diğer yükler moment (M), eğim (S), kayma (V) ve zemin reaksiyonu (p) gibi hesaplanmak mümkündür. Matlock ve Reese (1960) tarafından verilen denklemleri modifiye edilecek, tabloya entegre edilecek ve gelecekte $k_{hmax,ort}$ analizlerinde kullanılacaktır.

Yanal yüklenmiş kazıkların yükleri genelde zemin yüzeyindeki noktalarda hesaplanmıştır. Bununla birlikte, belirli bir kazık derinliğinde kazık yükünü belirlemek amacıyla, boyutsuz katsayıları A ve B dahil olması gerekmektedir. Bu boyutsuz katsayılar, farklı kazık derinliklerde yüklerin hesaplanması sağlamaktadırlar. Boyutsuz katsayıları ve kazık derinliğine göre değişiklikleri, bu bölümde sunulacaktır.

k_{hmax} -Ortalama yöntemini kullanarak yanal yüklenmiş kazık grubu analiz etmek için, grup katsayıları dahil edilmesi gerekmektedir. Bu bölümde, bölüm 2'te belirtilen araştırmacılara göre, farklı kazık gruplarının grup katsayılarının ortalama değerleri önerilmiştir ve bunların denklemleri de sunulmuştur.

k_{hmax} -Ortalama yöntemi kullanarak, yanal yüklenmiş kazıkların hesaplama prosedürü, bu bölümün sonunda açıklanmıştır.

3.2. Kazık Üzerinde Uygulanan Yanal Yükünün Hesaplanması

Kazık boyunca herhangi bir noktada, Matlock ve Reese (1960) tarafından önerilen denklemleriyle kazık deplasmanı (y), moment (M), kesme dayanımı (V) ve zemin reaksiyonu (p) belirlenmek mümkündür. Bu denklemler aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{deplasman, } y = \left(\frac{Q \cdot T^3}{EI}\right) \cdot Ay + \left(\frac{M \cdot T^2}{EI}\right) \cdot By \quad (3.1)$$

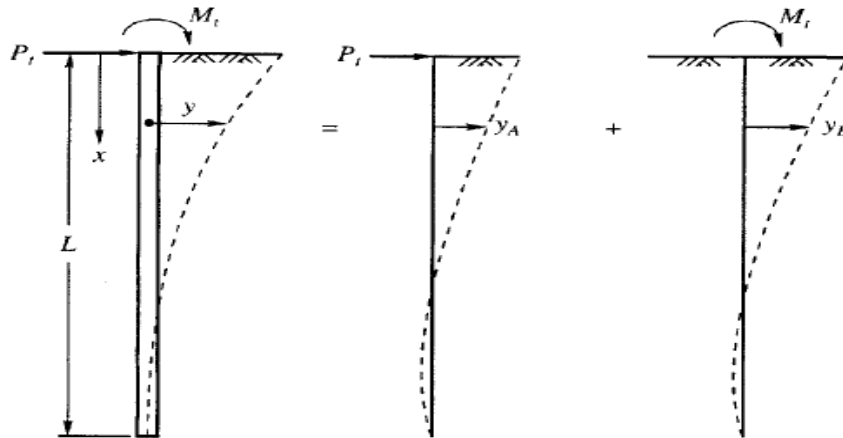
$$\text{eğim, } S = \left(\frac{Q \cdot T^2}{EI}\right) \cdot As + \left(\frac{M \cdot T}{EI}\right) \cdot Bs \quad (3.2)$$

$$\text{moment, } M = (Q \cdot T) \cdot Am + (M) \cdot Bm \quad (3.3)$$

$$\text{kayma yük, } V = (Q) \cdot Av + \left(\frac{M}{T}\right) \cdot Bv \quad (3.4)$$

$$\text{zemin reaksiyonu, } p = \left(\frac{Q}{EI}\right) \cdot Ap + \left(\frac{M}{T^2}\right) \cdot Bp \quad (3.5)$$

Tekil kazık veya kazık gruplarına uygulanmış yanal yükü ile (Q) birlikte, moment (M), ek bir yük olarak unutulmamalıdır. Böylece, bir yanal yükünden (Q) kaynaklanan deplasman ile birlikte, ek deplasman momentine (M) neden olmaktadır. Yanal yüklenmiş kazıklarında, deplasman süperpozisyon prensibi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yanal yüklenmiş kazık deplasmanı için süperpozisyon prensibi

Genellikle, kazığın başı dönmeye karşı açık (dönebilir) veya ankastre (dönme engellenmiş) olabilir.

Deplasman için Denklem (3.1), serbest başlı kazıkları için verilmiştir. Bu nedenle, sabit başlı kazıkları ve kısmi sabit başlı kazıkları dikkate alarak, ve moment sıfır olduğunu varsayarak ($M=0$), kazık deplasmanı için genel denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$y=(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y) \cdot \left(\frac{Q \cdot T^3}{EI}\right) \quad (3.6)$$

Bu denklemde, bölüm 1'de Denklem (1.20)'de ifade edilen göreceli sertlik faktörü T ve kazık üzerindeki yatay yükü Q . Ayrıca, λ =kazık-başı sabitlik faktörü, serbest başlı kazık için 0'a eşittir, sabit başlı kazıklar için 1 ve kısmi sabit başlı kazıklar için 1'den daha az, kazık başının sabitliğine bağlıdır. Katsayı β , Prakash (1962) tarafından tanımlanan boyutsuz sabitlik faktörüdür. Bu kum ve kil için 0,93 eşittir.

Yük zemin yüzeyinde uygulanması durumunda, kazık deplasmanı hesaplamak için, Denklem (4.6) kullanılabilir. Fakat, zemin yüzeyinin üzerinde bir noktada yük uygulandığında (belli bir mesafede 'e'), o zaman Denklem (4.6) aşağıdaki formu alır:

$$y_m = \frac{1}{EI} \cdot (A_y \cdot Q \cdot T^3 + B_y \cdot (e+d) \cdot Q \cdot T^2 + 1,75 \cdot e \cdot d \cdot Q \cdot T) \quad (3.7)$$

burada: e - uygulanan yükün mesafesi

d - kazık üstü mesafesi

3.3. Boyutsuz Katsayıları A ve B

Bahsedilen Denklem (3.6) ve Denklem (3.7), Tablo 3.1.'de verilmiş boyutsuz katsayılarının A_y ve B_y değerlerine bağlıdır. A_y ve B_y katsayıları, derinliği katsayısının (Z) bir fonksiyonu olarak verilmiştir:

$$Z = \frac{x}{T}; \quad (3.8)$$

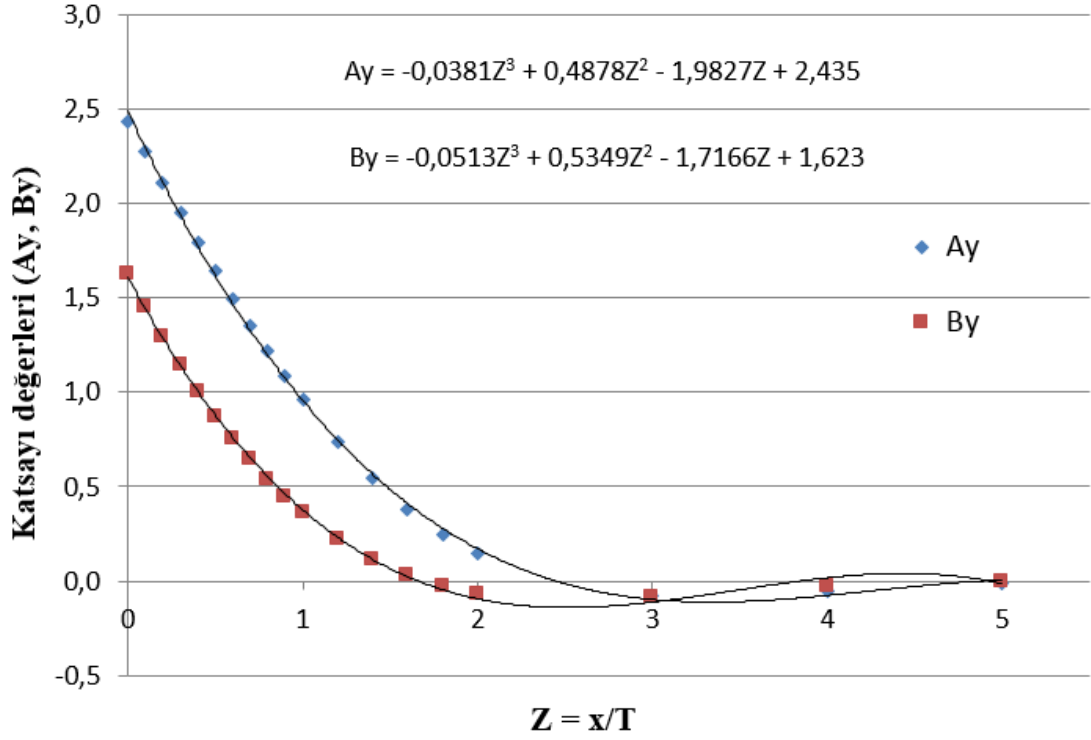
Burada x kazık derinliğidir.

Derinlik katsayısı (Z) 5'e eşit ya da daha büyük veya bir kazık uzunluğu 5T'den daha fazla olduğunda, A ve B katsayıları sıfıra yaklaşmak eğilimindedir. Böyle kazıklar uzun veya esnek kazıkları denir. Kazık uzunluğu 5T'den fazla olduğunda, önemini kaybetmektedir.

Tablo 3.1. $k_h = n_h \cdot x$ varsayımıyla uzun dikey kazıkları için Reese ve Matlock (1956) tarafından elde edilen A ve B katsayıları

Z	A _y	A _s	A _m	A _v	A _p	B _y	B _s	B _m	B _v	B _p
0,0	2,435	-1,623	0,000	1,000	0,000	1,623	-1,750	1,000	0,000	0,000
0,1	2,273	-1,618	0,100	0,989	-0,227	1,453	-1,650	1,000	-0,007	-0,145
0,2	2,112	-1,603	0,198	0,966	-0,422	1,293	-1,550	0,999	-0,028	-0,259
0,3	1,952	-1,578	0,291	0,906	-0,586	1,143	-1,450	0,994	-0,058	-0,343
0,4	1,796	-1,545	0,379	0,840	-0,718	1,003	-1,351	0,987	-0,095	-0,401
0,5	1,644	-1,503	0,459	0,764	-0,822	0,873	-1,253	0,976	-0,137	-0,436
0,6	1,496	-1,454	0,532	0,677	-0,897	0,752	-1,156	0,960	-0,181	-0,451
0,7	1,353	-1,397	0,595	0,585	-0,947	0,642	-1,061	0,939	-0,226	-0,449
0,8	1,216	-1,335	0,649	0,489	-0,973	0,540	-0,968	0,914	-0,270	-0,432
0,9	1,086	-1,268	0,693	0,392	-0,977	0,448	-0,878	0,885	-0,312	-0,403
1,0	0,962	-1,197	0,727	0,295	-0,962	0,364	-0,792	0,852	-0,350	-0,364
1,2	0,738	-1,047	0,767	0,109	-0,885	0,223	-0,629	0,775	-0,414	-0,268
1,4	0,544	-0,893	0,772	-0,056	-0,761	0,112	-0,482	0,668	-0,456	-0,157
1,6	0,381	-0,741	0,746	-0,193	-0,609	0,029	-0,354	0,594	-0,477	-0,047
1,8	0,247	-0,596	0,696	-0,298	-0,445	-0,030	-0,245	0,498	-0,476	0,054
2,0	0,142	-0,464	0,628	-0,371	-0,283	-0,070	-0,155	0,404	-0,456	0,140
3,0	-0,075	-0,040	0,225	-0,349	0,226	-0,089	0,057	0,059	-0,021	0,268
4,0	-0,050	0,052	0,000	-0,016	0,201	-0,028	0,049	0,042	0,017	0,112
5,0	-0,009	0,025	-0,033	0,013	0,046	0,000	0,011	0,026	0,029	-0,002

Yukarıdaki tabloda verilen A_y ve B_y değerlerine göre, Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi, bu değerleri grafiksel olarak görüntülemek için çizelge formatında eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Matlock ve Reese (1960) tarafından önerilen A_y ve B_y katsayıları

Şekil 3.2:'de verilen eğrilere dayanarak, boyutsuz A_y ve B_y katsayılarını daha kolay ve daha basit hesaplanması için denklemler aşağıda sunulmuştur:

$$A_y = -0,038 \cdot Z^3 + 0,489 \cdot Z^2 - 1,983 \cdot Z + 2,435 \quad (3.9)$$

$$B_y = -0,051 \cdot Z^3 + 0,535 \cdot Z^2 - 1,716 \cdot Z + 1,623 \quad (3.10)$$

burada: Z - Denklem (3.8)'de ifade edilen derinlik katsayısıdır.

Önerilen ve yeni geliştirilmiş katsayılarının A_y ve B_y arasındaki farkı göstermek için, Tablo 3.2. aşağıda verilmiştir.

Belirtmelidir ki, $Z=3,0$ 'e kadar veya kazık uzunluğu $3T$ 'den az olduğunda A_y ve B_y hesaplanmasında, önerilen Denklem (3.9) ve Denklem (3.10) kullanılabilir. Fakat, kazık uzunluğu $3T$ 'den daha fazla olduğunda, verilen denklemler hesaplama sırasında hatta göstermektedirler.

Tablo 3.2. Önerilen ve yeni geliştirilmiş A_y ve B_y katsayıları

Z	Matlock ve Reese (1960)		Elektronik Tablo Hesaplamaları	
	A_y	B_y	A_y	B_y
0,0	2,435	1,623	2,435	1,623
0,1	2,273	1,453	2,242	1,464
0,2	2,112	1,293	2,058	1,308
0,3	1,952	1,143	1,883	1,162
0,4	1,796	1,003	1,718	1,026
0,5	1,644	0,873	1,561	0,899
0,6	1,496	0,752	1,413	0,782
0,7	1,353	0,642	1,274	0,673
0,8	1,216	0,540	1,143	0,573
0,9	1,086	0,448	1,019	0,482
1,0	0,962	0,364	0,904	0,398
1,2	0,738	0,223	0,695	0,253
1,4	0,544	0,112	0,515	0,136
1,6	0,381	0,029	0,361	0,045
1,8	0,247	-0,030	0,232	-0,023
2,0	0,142	-0,070	0,125	-0,070
3,0	-0,075	-0,089	-0,130	-0,080
4,0	-0,050	-0,028	-0,089	0,062
5,0	-0,009	0,000	0,020	0,050

Serbest başlı, sabit başlı ve kısmen sabit başlı kazıkları için verilen kazık deplasman (y) denklemini kullanarak ve moment sıfır olduğunu varsayarak ($M=0$), kazık toplam yatay yükü Q , aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir:

$$Q = \frac{y \cdot EI}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y) \cdot T^3} \quad (3.11)$$

Bu denklemin geliştirilmesi için, T değerini Denklem (1.20)'de verilen değeri ile değiştirildiğinde, kuma gömülü serbest başlı kazıkların için yatay yükü Q , aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$Q = \left(\frac{y \cdot EI}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y) \cdot \left(\frac{EI}{nh}\right)^{0,6}} \right) \quad (3.12)$$

ya da kile gömülü kazıklar için aşağıdaki denklem geçerlidir:

$$Q = \left(\frac{y \cdot EI}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y) \cdot \left(\frac{EI}{k_h}\right)^{0,75}} \right) \quad (3.13)$$

Denklem (3.12)'de, $x=1m$ kabul edilirse, bu durumda n_h k_h 'e eşit olur ($n_h=k_h$). Bunları dikkate alarak ve k_h için Denklem (3.9) kullanılarak, ayrıca, moment sıfır olduğunu varsayarak ($M=0$), serbest başlı, kısmen sabit başlı ve sabit başlı kazıklar için Denklem (3.14) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$Q = \frac{1}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y)} \cdot k_h^{0,6} \cdot EI^{0,4} \cdot y \quad (3.14)$$

Bahsedilen denklem, kuma gömülü kazıkları için geçerlidir, ancak kildeki kazıklar için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$Q = \frac{1}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y)} \cdot k_h^{0,75} \cdot EI^{0,25} \cdot y \quad (3.15)$$

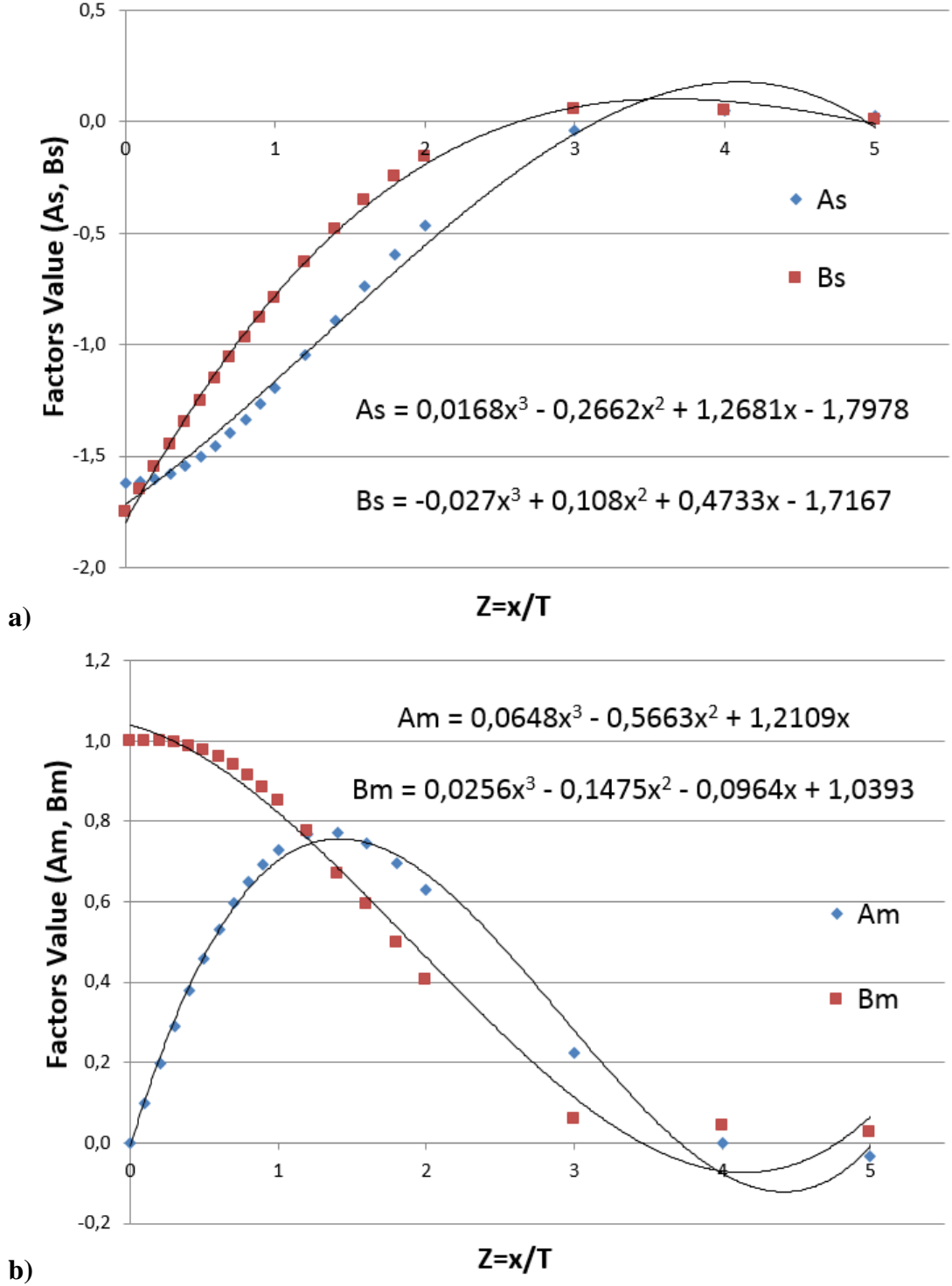
Eğim (S), moment (M), kayma yük (V) ve zemin reaksiyonu (p) hesaplanmasında boyutsuz katsayılarının değerleri ($B_s, A_m, B_m, A_v, B_v, A_p, B_p, A_s$) derinlik katsayısına ($Z=x/T$) karşı, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

3.4. Kazık Grup Katsayıları

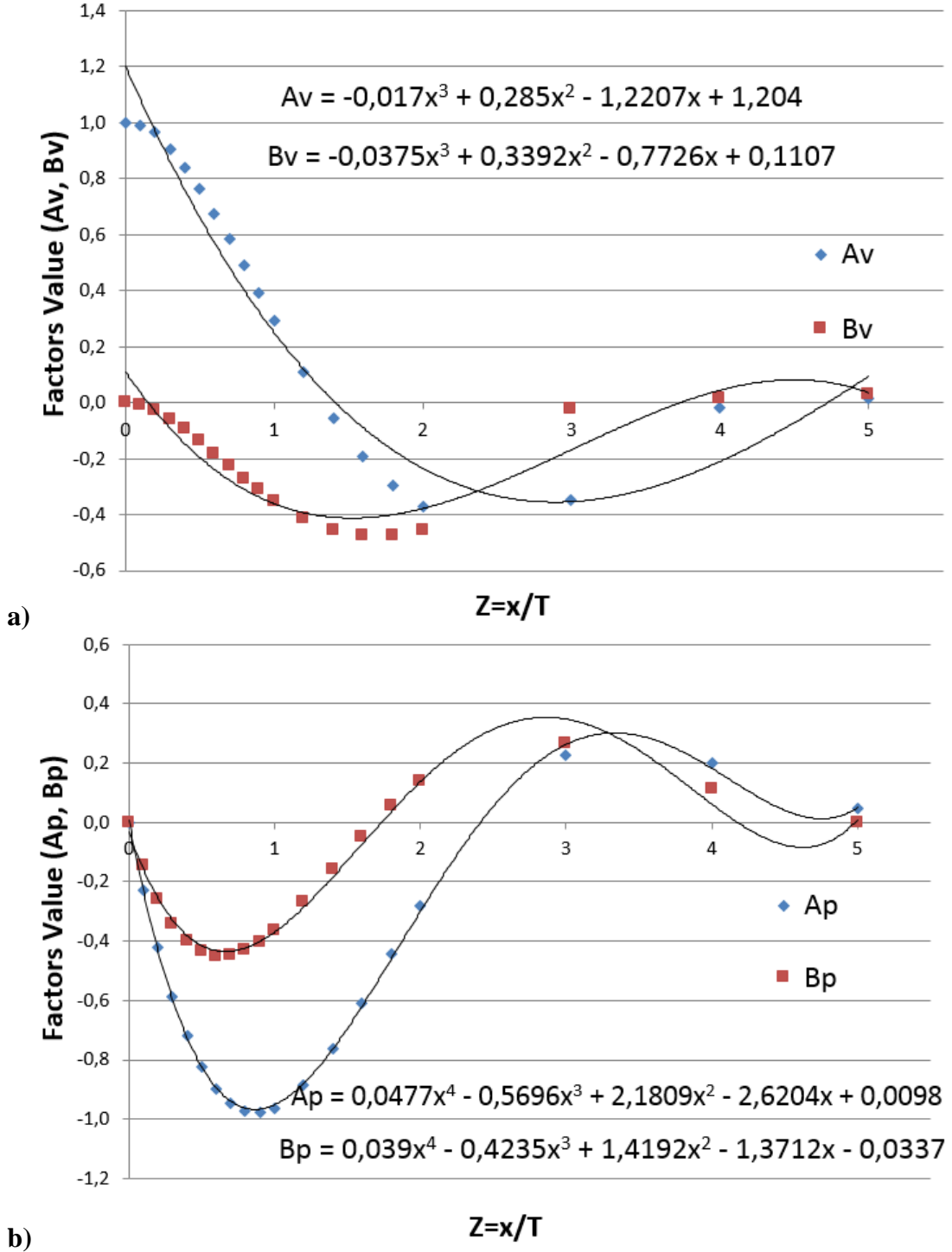
Dış yükleri taşımak için çok sayıda kazık gerektiğinde, kazıklar gruplar halinde kullanılabilir. Kazık grupları zemin yüzeyinde genellikle beton başlık ile birbirine bağlanmıştır.

Kazık-zemin-kazık etkileşimlerinden dolayı gruplarda birbirine yakın yerleştirilmiş kazıklar, tekil kazıklarından daha farklı davranmaktadır. Bu nedenle, kazık başına aynı yanal yük altında, yakın aralıklı kazık gruplarında deplasmanlar ve eğilme momentleri tekil kazıklarının deplasmanlarından ve eğilme momentlerinden daha

büyüktür. Kazık aralığı arttıkça, grup etkileşimi azalır fakat grup katsayısı artmaktadır.



Şekil 3.3. Boyutsuz katsayıları: a) Z'e karşı A_s ve B_s değerleri; b) Z'e karşı A_m ve B_m değerleri



Şekil 3.4. Boyutsuz katsayıları: a) Z 'e karşı A_v ve B_v değerleri; b) Z 'e karşı A_p ve B_p değerleri

Tam ölçekteki eğilme ve gerilme hesaplamaları, kazıkların bir grubun içinde birbirine eşit olmayan yanal yükler taşıdığını gösteriyor, bu da kazıkların grup içindeki konumuna ve aralarındaki boşluklara bağlıdır. Kazıkların arasında eşit olmayan bu yayılma, kayma bölgelerinin çakışmasını ve ondan kaynaklanan zemin dayanımının azalmasını anlatan 'gölgeleme'den kaynaklanır.

Bölüm 1'de belirtildiği gibi, grup katsayılarının kavramı (G), Brown ve diğerleri tarafından tarif edilmiştir. Brown önerilerine göre, p-y eğrilerinin ayarlamaları yaparak kazık grubunun etkilerini hesaplanmak mümkündür. Grup katsayısının değerleri, kazık aralığına ve kazık pozisyonuna bağlıdır. Önde gelen satırdaki kazıklar en yüksek G katsayısına sahiptir. Genel kabul görmüş bir yaklaşıma göre grup katsayıları derinlikle sabit olduğu varsayılmaktadır.

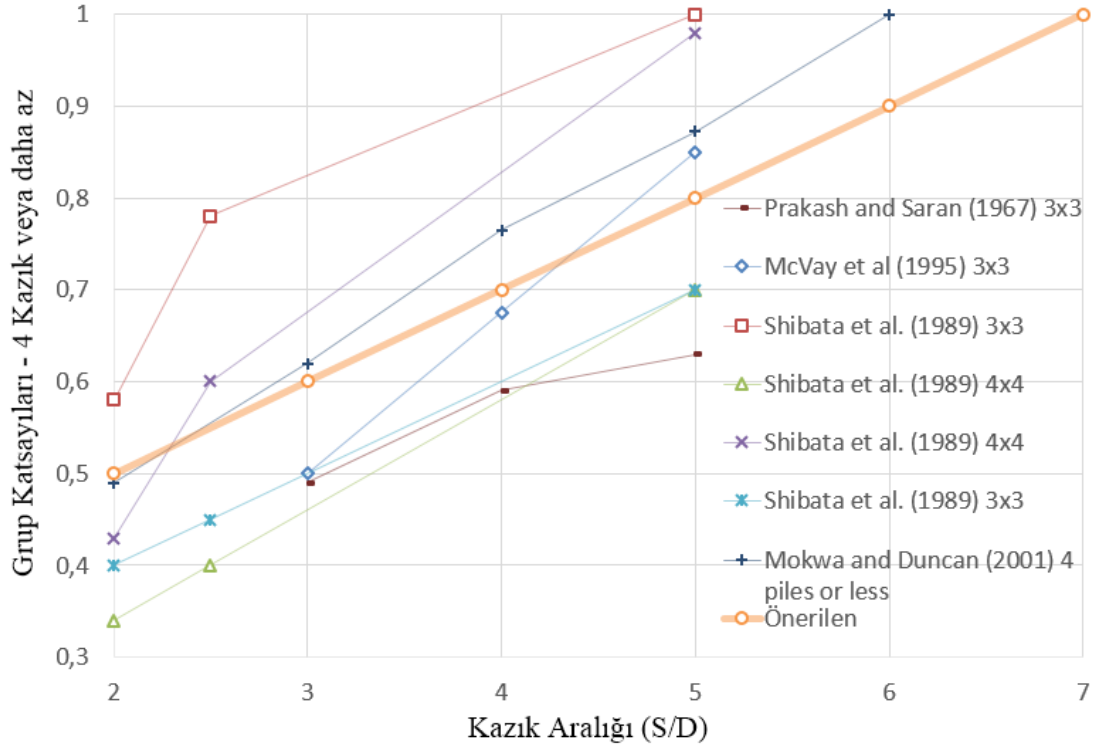
k_{hmax} yöntemini kullanılarak, kazık gruplarında yük-deplasman tepkisini tahmin etmesi için, prosedür biraz farklıdır. Kazık grubunun yatay yük-deplasman tepkisini hesaplanmasında, tekil kazıkların k_h değerleri, kazık grubunun k_h değerlerini veren grup katsayıları ile çarpılmaktadır. Genellikle bu katsayılar 1'den daha az ya da bire eşittir.

Yatay yatak katsayısı (k_h), daha önce Denklem (1.8)'de ifade edildiği gibi, burada daha modifiye edilecek. Bir kazık grubu analiz edilecek durumunda, grup katsayıları dahil olmalıdır. Bu nedenle, Denklem (1.8) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$k_h \cdot G = \frac{p}{y} \quad (3.16)$$

Bundan sonra, kazık grubunun elde edilen k_h değeri ($k_{h,group}$) ilave hesaplamalarda kullanılmakta ve yatay yük-deplasman tepkisini belirlemek için, daha ileri işlemler tekil kazıklarında gibi aynıdır.

Belirli bir kazık grubunda, daha doğru ve uygun bir grup katsayısının değerini belirlemek için, grup boyutu, kazık aralığı ve kazık düzenleme bilinmesi gereklidir. Aşağıdaki şekillerde, farklı araştırmacıların araştırmalarından elde edilen grup



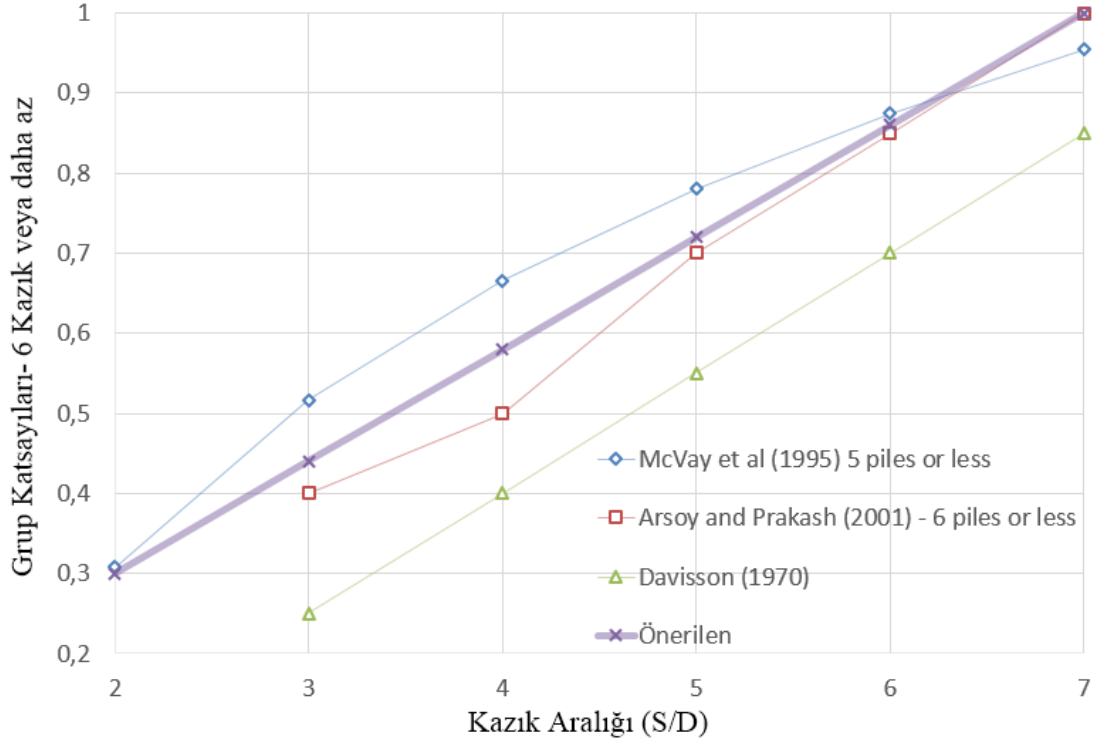
Şekil 3.6. Grup katsayıları (4 kazık için)

Birkaç araştırmacılar, Shibata ve diğerleri (1989), Mokwa ve Duncan (2001), Prakash ve Saran (1967) gibi, grup katsayılarını elde etmek amacıyla, kazık gruplarını 3x3 ve 4x4 şeklinde incelemiştir. Onların çalışma sonuçlarına göre, kazık aralığına karşı, grupların katsayılarının ortalama değerini (4 kazık için) temsil edilen bir çizgisi önerilmiştir. Hesaplanması için kullanılabilir denklemini aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$G=0,1 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,3 \quad (3.18)$$

Aynı yolla, daha önceki şekillerde yapıldığı gibi, bazı araştırmacıların sonuçlarına göre, kazık grupları için grup katsayılarının (6 kazık veya daha az) ortalama değerini temsil edilen bir çizgisi önerilmiştir. Denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$G=0,14 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,02 \quad (3.19)$$



Şekil 3.7. Grup katsayıları (6 kazık için)

Kazık gruplarının yanal yük-deplasman tepkisinin belirlenmesi için, yukarıdaki grafiklerde önerilen grup katsayılarının değerleri ileride kullanılacaktır.

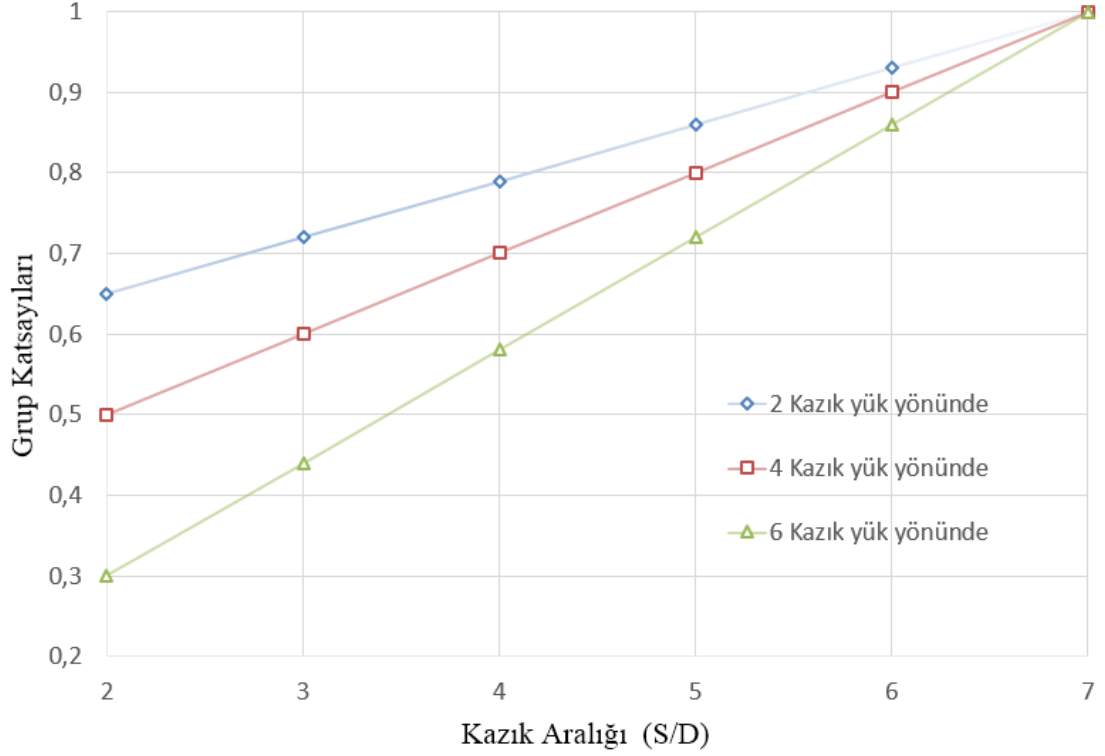
3.5. Önerilen Kazık Grubu Katsayıları

Yukarıda açıklandığı gibi, kazıklar arasındaki aralığı ve kazık grubunun boyutuna göre, farklı grup katsayıları kullanılmaktadır. Kazık grup aralığına karşı, küçük kazık grupları (2x2), ve yüke paralel yönde 4 satırlık ve 6 satırlık olan kazık grupları için, aşağıdaki grafikte grup katsayıları gösterilmiştir. Ayrıca, belirli bir kazık grubunda uygun katsayısını belirlenmesi için denklemler de sunulmuştur.

$$2 \text{ kazık için: } G=0,07 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,51 \quad (3.20)$$

$$4 \text{ kazık için: } G=0,1 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,3 \quad (3.21)$$

$$6 \text{ kazık için: } G=0,14 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,02 \quad (3.22)$$



Şekil 3.8. Farklı kazık gruplarının grup katsayıları

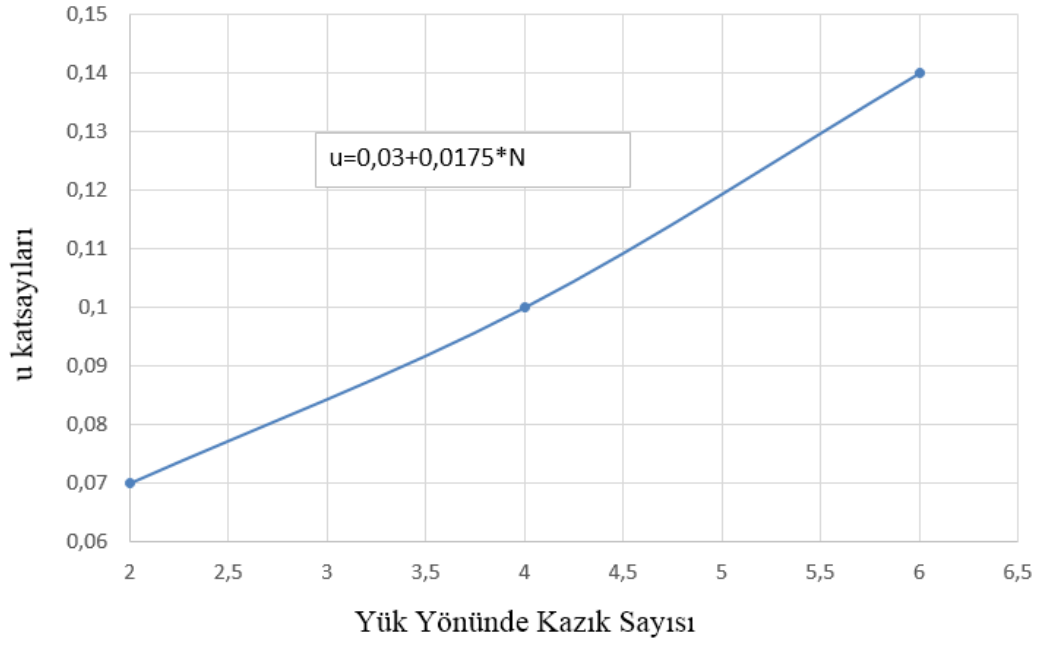
Fakat, kazık grubu yük yönünde 3 veya 5 kazık içerirse, Denklem (3.20), (3.21) ve (3.22)'ye dayanarak, kazıkların sayısını değiştirerek grup katsayıları hesaplamak için yeni bir denklemin oluşturması mümkündür.

Denklem (3.20), (3.21) ve (3.22)'de, sayılar 0,07, 0,1 ve 0,14 'u' katsayıları ve sayılar 0,51, 0,02 ve 0,3 'v' katsayıları olarak işaretlenirse, elektronik tabloları kullanarak, bu katsayıların ve kazık sayısı arasındaki bağlantı Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da sunulmuştur.

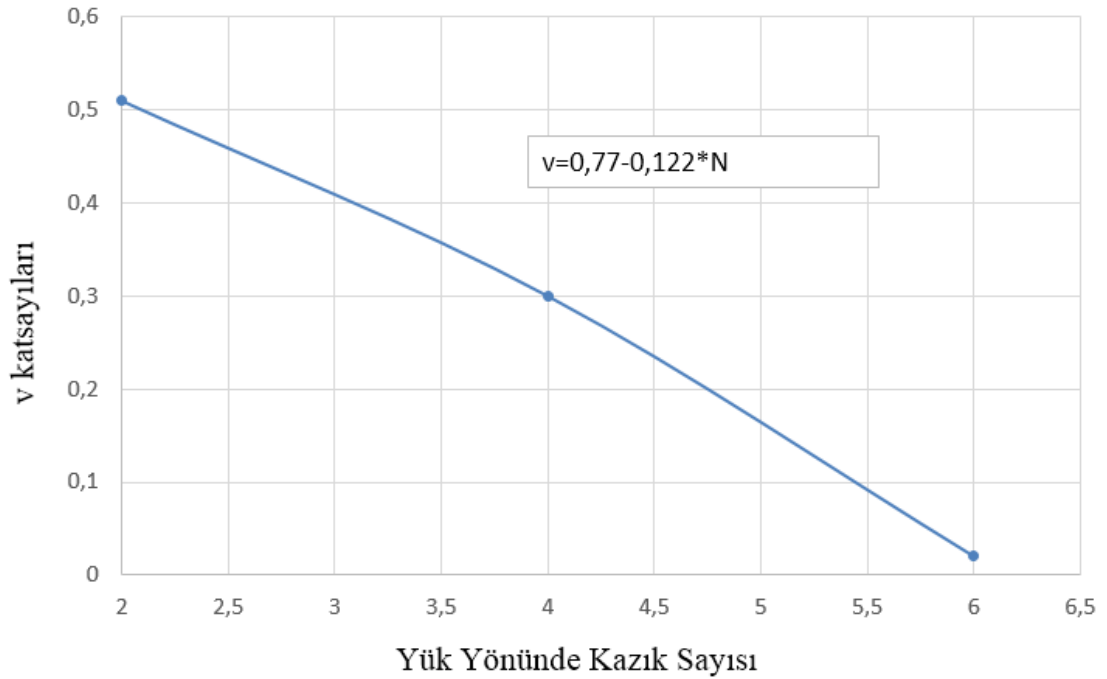
Şekillerde görüldüğü gibi, doğrusal fonksiyonlar elde edilmiştir. Böylece, bir kazık grubu için grup katsayıları hesaplamak amacıyla, aşağıdaki sunulan genel denklemi kullanılabilir.

$$G=(0,03+0,0175 \cdot N) \cdot \left(\frac{S}{D}\right)+(0,77-0,122 \cdot N) \quad (3.23)$$

burada N yük yönünde kazık sayısıdır.



Şekil 3.9. u katsayıları – kazık sayısı



Şekil 3.10. v katsayıları – kazık sayısı

Yatay yükü Q, ve moment M, kazık veya kazık gruplarına uygulandığında, deplasman (y), eğim (S), moment (M), kayma (V) ve zemin reaksiyonu (p) hesaplanması için, Tablo 3.3., Tablo 3.4. ve Tablo 3.5.'te sunulan modifiye edilen ifadeler kullanılabilir.

Yanal yüklenmiş kazıkların hesaplanması için prosedürü aşağıdaki adımlarda tarif edilebilir. İlk olarak, kazık hangi zemin tipine gömüldüğü belirlenmesi gerekir. Kazık hesaplanmasında, hangi formüller kullanılan olacak zemin tipine göre (kum veya kil) belirlenmektedir. Kum özellikleri bağıl yoğunluk (D_r), ve kil özellikleri drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ile karakterize edilmiştir. Zemin tipi belli olduğunda, bundan sonra tekil kazık ya da kazık grubu olup olmadığını belirlenmelidir. Ayrıca, serbest başı, kısmen sabit başı veya sabit başı kazık olup olmadığı tanımlanması gerekmektedir.

Bundan sonra, yatay yatak katsayısı modülünün ortalama değerini ($k_{hmax,ort}$) belirlenmesi gereklidir. $k_{hmax,ort}$ belirlenmesinde kullanılacak olan formül, kullanılmış zemin tipine bağlıdır.

Bir sonraki işlem, kazık rijitliğine (E) göre, boyutsuz a 've b' katsayılarının belirlenmesidir (Tablo 2.9.). Katsayılarının a' ve b' belirlenmesi detaylı olarak Bölüm 2'de açıklanmıştır ve daha fazla burada tartışılmayacaktır.

$k_{hmax,ort}$ belirlendikten sonra, belirli bir kazık deplasmanı (y) için, yatay yükü (Q) hesaplanabilmektedir. Ayrıca, belirli bir yatay yükünün (Q) değeri için, boyutsuz katsayıları A ve B kullanılarak kazık uzunluğu boyunca herhangi bir noktada kazık deplasmanı (y) hesaplamak mümkündür. Tablo 3.4'deki ifadeleri kullanılarak, diğer yükler, eğim (S), moment (M), kayma (V), ve zemin reaksiyonu (p) gibi hesaplanabilmektedir.

Tablo 3.3. k_{hmax} hesaplanması için gerekli katsayılar

	Kil	Kum
k_h (kN/m ²)	$k_h = k_{hmax,ort} \cdot a' \left(\frac{1}{f} \cdot \frac{y}{B}\right)^{-b'} \cdot Wc \cdot G$	$k_h = k_{hmax,ort} \cdot a' \left(\frac{1}{f} \cdot \frac{y}{B}\right)^{-b'} \cdot Wc \cdot G$
f	1,667	1,85
k_{hmax} (kN/m ²)	$k_{hmax,max} = 7Su^2 - 200Su + 50000$ $k_{hmax,ort} = 5Su^2 - 205Su + 25000$ $k_{hmax,min} = 4Su^2 - 250Su + 10000$	$k_{hmax,max} = 5Dr^2 + 658Dr + 175$ $k_{hmax,ort} = 8Dr^2 - 11Dr + 4250$ $k_{hmax,min} = 5Dr^2 + 46Dr + 6$
a'	$a' = 5 \cdot 10^{-8} \cdot EI + 0,0345$	$a' = 2,615 \cdot EI^{0,41}$ eğer $EI \leq 800000$ kNm ² $a' = 0,01$ eğer $EI > 800000$ kNm ²
b'	$b' = -2 \cdot 10^{-7} \cdot EI + 0,56$	$b' = 0,114 \cdot EI^{0,15}$ eğer $EI \leq 180000$ kNm ² $b' = 0,7$ eğer $EI > 180000$ kNm ²
Wc	Lineer yaklaşım: $Wc1 = 1,0 - 0,1087 \cdot x$ eğer $x < 4,6m$ $Wc = 0,5$ eğer $x \geq 4,6m$ Eğimli yaklaşım: $Wc2 = 0,012 \cdot x^2 - 0,155 \cdot x + 1$ eğer $x < 6,0m$ $Wc = 0,5$ eğer $x \geq 6,0m$	x – kazık derinliği
G	Tekil Kazık için: $G = 1,0$ küçük kazık grupları için (2x2): $G = 0,07 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,51$ Yük yönünde 4 kazık için: $G = 0,1 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,3$ Yük yönünde 6 kazık için: $G = 0,14 \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + 0,02$ Tüm kazık grupları için genel denklemini (yük yönünde maksimum 6 kazık): $G = (0,03 + 0,0175 \cdot N) \cdot \left(\frac{S}{D}\right) + (0,77 - 0,122 \cdot N)$ N – yük yönünde kazık sayısı	

Tablo 3.4. Kazık derinliği boyunca yükler için önemli formüller

	Kil	Kum
Yanal yük (Q)	$Q = \frac{(k_h)^{0,75}}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y)} \cdot EI^{0,25} \cdot y$	$Q = \frac{(k_h)^{0,6}}{(A_y - \beta \cdot \lambda \cdot B_y)} \cdot EI^{0,4} \cdot y$
Deplasman (y)	$y = \left[\frac{Q \cdot EI^{-0,25} \cdot A_y}{(kh_{max,ort} \cdot a' \cdot (f \cdot B)^{b'} \cdot Wc \cdot G)^{0,75}} + \frac{M \cdot EI^{-0,5} \cdot B_y}{(kh_{max,ort} \cdot a' \cdot (f \cdot B)^{b'} \cdot Wc \cdot G)^{0,5}} \right] \frac{1}{(1-0,75b')}$	$y = \left[\frac{Q \cdot EI^{-0,4} \cdot A_y}{(kh_{max,ort} \cdot a' \cdot (f \cdot B)^{b'} \cdot Wc \cdot G)^{0,6}} + \frac{M \cdot EI^{-0,6} \cdot B_y}{(kh_{max,ort} \cdot a' \cdot (f \cdot B)^{b'} \cdot Wc \cdot G)^{0,6}} \right] \frac{1}{(1-0,6b')}$
Moment (M)	$M = \frac{Q \cdot EI^{0,25}}{(k_h)^{0,25}} \cdot A_m + M \cdot B_m$	$M = \frac{Q \cdot EI^{0,2}}{(k_h)^{0,2}} \cdot A_m + M \cdot B_m$
Eğim (S)	$S = \frac{Q \cdot EI^{0,5} \cdot A_s}{(k_h)^{0,5}} + \frac{M \cdot EI^{-0,75} \cdot B_s}{(k_h)^{0,25}}$	$S = \frac{Q \cdot EI^{0,6} \cdot A_s}{(k_h)^{0,4}} + \frac{M \cdot EI^{-0,75} \cdot B_s}{(k_h)^{0,2}}$
Kayma yük (V)	$V = Q \cdot A_v + M \cdot \frac{(k_h)^{0,25}}{EI^{0,25}} \cdot B_v$	$V = Q \cdot A_v + M \cdot \frac{(k_h)^{0,2}}{EI^{0,2}} \cdot B_v$
Zemin reaksiyonu (p)	$p = \left(\frac{Q}{EI} \right) \cdot A_p + M \cdot \frac{(k_h)^{0,5}}{EI^{0,5}} \cdot B_p$	$p = \left(\frac{Q}{EI} \right) \cdot A_p + M \cdot \frac{(k_h)^{0,4}}{EI^{0,4}} \cdot B_p$

Tablo 3.5. k_{hmax} – Ortalama yöntemi için boyutsuz katsayıları A ve B

	Kum ve Kil için Boyutsuz Katsayıları	
Z	$Z=x/T$	x – kazık derinliği
A_y	$A_y = -0,038Z^3 + 0,489Z^2 - 1,983Z + 2,435$	
B_y	$B_y = -0,051Z^3 + 0,535Z^2 - 1,716Z + 1,623$	
A_s	$A_s = -0,027Z^3 + 0,11Z^2 + 0,473Z - 1,716$	
B_s	$B_s = 0,017Z^3 - 0,266Z^2 + 1,268Z - 1,798$	
A_m	$A_m = 0,065Z^3 - 0,566Z^2 + 1,211Z$	
B_m	$B_m = 0,025Z^3 - 0,147Z^2 - 0,096Z + 1,0$	
A_v	$A_v = -0,017Z^3 + 0,285Z^2 - 1,221Z + 1,0$	
B_v	$B_v = -0,0375Z^3 + 0,34Z^2 - 0,772Z$	
A_p	$A_p = 0,048Z^4 - 0,57Z^3 + 2,181Z^2 - 2,62Z$	
B_p	$B_p = 0,039Z^4 - 0,423Z^3 + 1,42Z^2 - 1,371Z - 0,034$	
β	0,93	
λ	Serbest başlı	0
	Kısmen sabit başlı	$0 < \lambda < 1$
	Sabit başlı	1

4. KUMA GÖMÜLÜ KAZIKLARIN TEST SONUÇLARI

4.1. Giriş

Kuma ve kile gömülü yanal yüklenmiş kazıklarının testlerinin sonuçları, Bölüm 4 ve Bölüm 5'te gösterilmiştir. Bu analizlerin amacı, test edilen kazıklarının davranışını k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle doğru olarak tahmin etmektir.

Bu bölümlerde, 22 yanal yüklenmiş tekil kazık ve kazık gruplarının test sonuçları gösterilmiş ve k_{hmax} -Ortalama yöntemini kullanarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Toplam 22 testin, 12'si tekil kazıklar için, diğer 10 test, kazık grupları için gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Zemin özellikleri

Analizini gerçekleştirmek için gerekli zemin özellikleri şunlardır: Bağıl yoğunluk (D_r), drenajsız kayma mukavemeti (S_u), ve yatay yatak katsayısı (k_h). Daha önce anlatıldığı gibi, kazıkların yanal deplasmanı, D_r ve S_u değişikliklerine duyarlıdır çünkü, bu parametreler yatay yatak katsayısının (k_h) belirlenmesinde doğrudan etkilidir.

Drenajsız kayma mukavemeti (S_u) analiz edilen testler için rapor edilmiş, bağıl yoğunluk (D_r) ise, kumların iç sürtünme açısını kullanılarak hesaplanmıştır. İç sürtünme açısı (ϕ) için, bağıl yoğunluk değeri (D_r) varsayılmıştır. Yatay yatak katsayısı (k_h) laboratuvarda ölçülemez, genel olarak S_u ve D_r arasındaki bağlantı ile elde edilir. Bölüm 2'de önerilen $k_{hmax,ort}$ formülleri ilerideki analizlerde kullanılacaktır.

4.1.2. Kazık özellikleri

Bir analiz gerçekleştirmek için gerekli olan kazık özellikleri şunlardır: kazık çapı (D), kazık rijitliği (EI), kazık uzunluğu (L), ve uygulanan yükün eksantrisite (e). Kazık rijitliği (EI), homojen malzemeler için hesaplanabilir (örneğin çelik gibi), ancak betonarme gibi kompozit malzemeler için belirlenmesi zordur.

Aşağıdaki anlatılacak testlerde, kazık uzunluğunun yanal yük-deplasman tepkisi üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir, bu nedenle hesaplamalarda dikkate alınmayacaktır. Kazık uzunluğu kazıkların sadece uzun yada kısa kazık olduğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu bölümde analiz edilen kazıklar, kuma ve kile gömülmüştür. Tüm kazık testleri ayrıntılı olarak açıklanacak ve aşağıdaki bölümlerde ele alınacaktır.

4.2. Kuma Gömülü Tekil Kazık Testleri

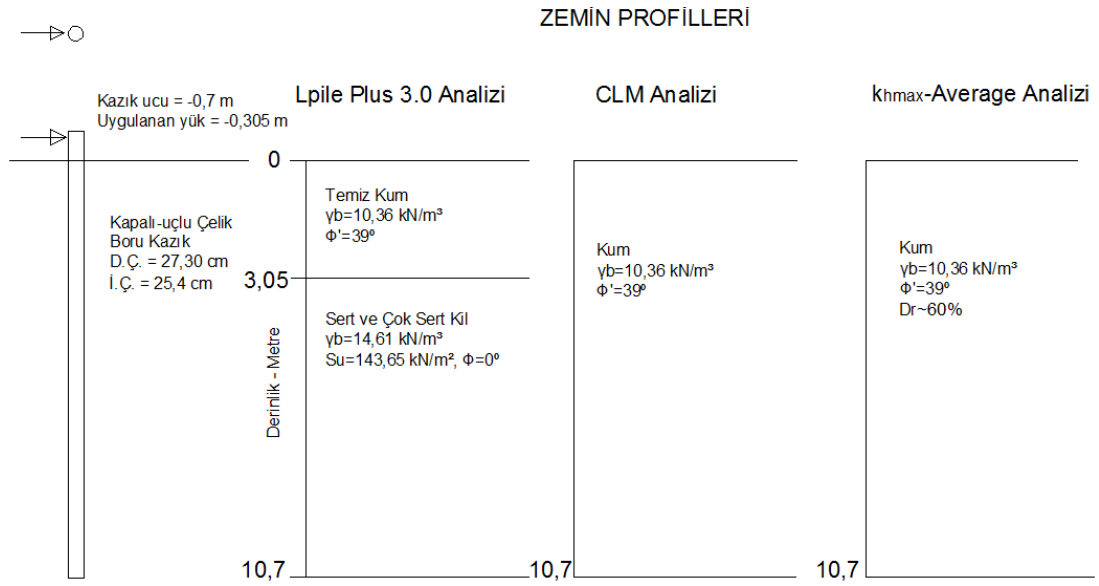
Toplam analiz edilen 12 tekil kazığın 6'sı kuma gömülmüştür. Bu tekil kazıklarının tüm özellikleri, Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Kuma gömülü tekil kazıklarının test bilgileri

Kazık Çapı D (m)	Kazık Uzunluğu L (m)	Kazık Rijitliği EI (kNm ²)	Bağlı Yoğunluk Dr (%)	Yeraltı Suyu Seviyesi (m)	e (m)	Referans
0,273	11	13668,45	60	Zemin yüzeyde	0,305	Brown ve diğ. (1988)
0,406	16,2	688755,26	56	Zemin yüzeyde	0	Alizadeh ve Davisson (1970)
0,324	11,5	28600	50	Zemin yüzeyde	0,69	Rollins ve diğ. (2005)
0,8	15	405895	55	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly ve R. Awad (2014)
0,8	15	405895	36	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly ve R. Awad (2014)
1,5	22	7500010	50	3	0,5	Brown ve diğ. (2001)

4.2.1. Brown ve diğ. (1988)

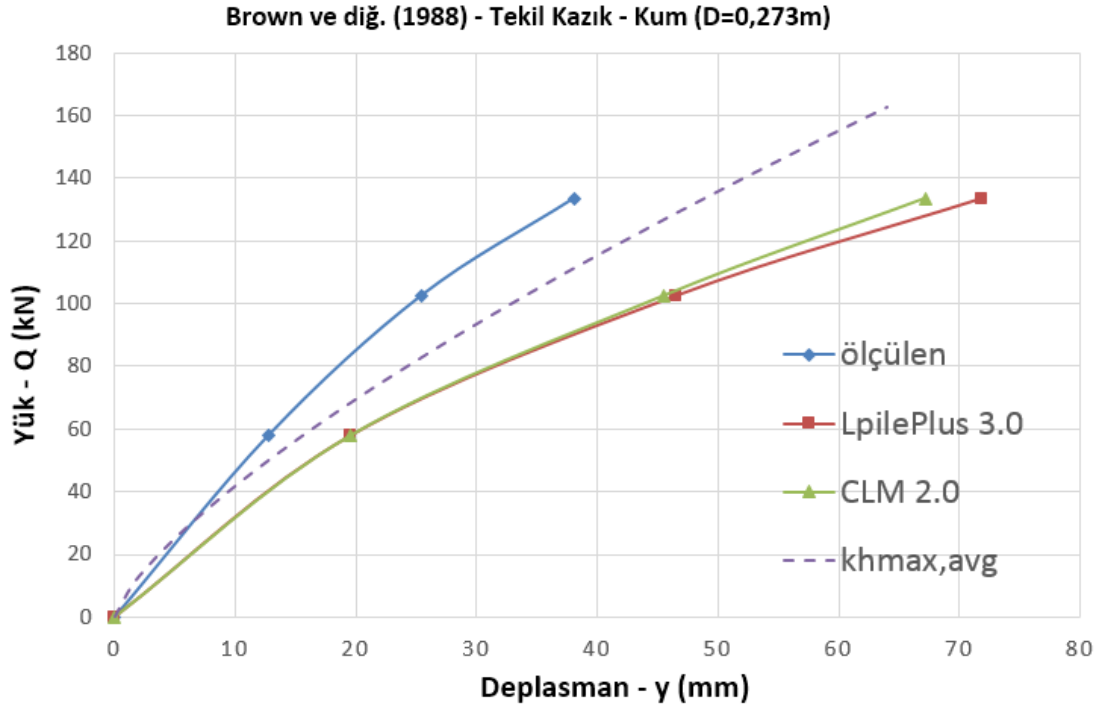
Tekil kazığın sonuçları, ölçüm verileri ile birlikte p-y yöntemi (LPile) ve CLM yöntemini kullanılarak elde edilmiştir. Bu iki yöntemle elde edilen eğrileri k_{hmax} -Ortalama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Zemin profili k_{hmax} -Ortalama yöntemi için CLM yönteminde kullanılan zemin profiline benzemektedir. Tüm yöntemler için zemin profilleri ve test sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,273 m)

CLM2.0 programı kullanılarak hesaplanan sonuçlar LpilePlus 3.0 sonuçlarıyla yakın değerler vermektedir, ve kazığın ölçülen deplasmanı hesaplanan deplasmanından yaklaşık %30 daha küçüktür.

k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçları gözlemlenerek, CLM2.0 ve LpilePlus3.0 kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, $k_{hmax,ort}$ yöntem, daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen eğri, CLM2.0 ve LpilePlus3.0 ile hesaplanan eğriler ile ölçülen eğri arasında kalmaktadır. Bunun nedeni, varsayılan bağıl yoğunluk değeri gerçek değerinden daha küçük olabilmektedir.



Şekil 4.2. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,273 m)

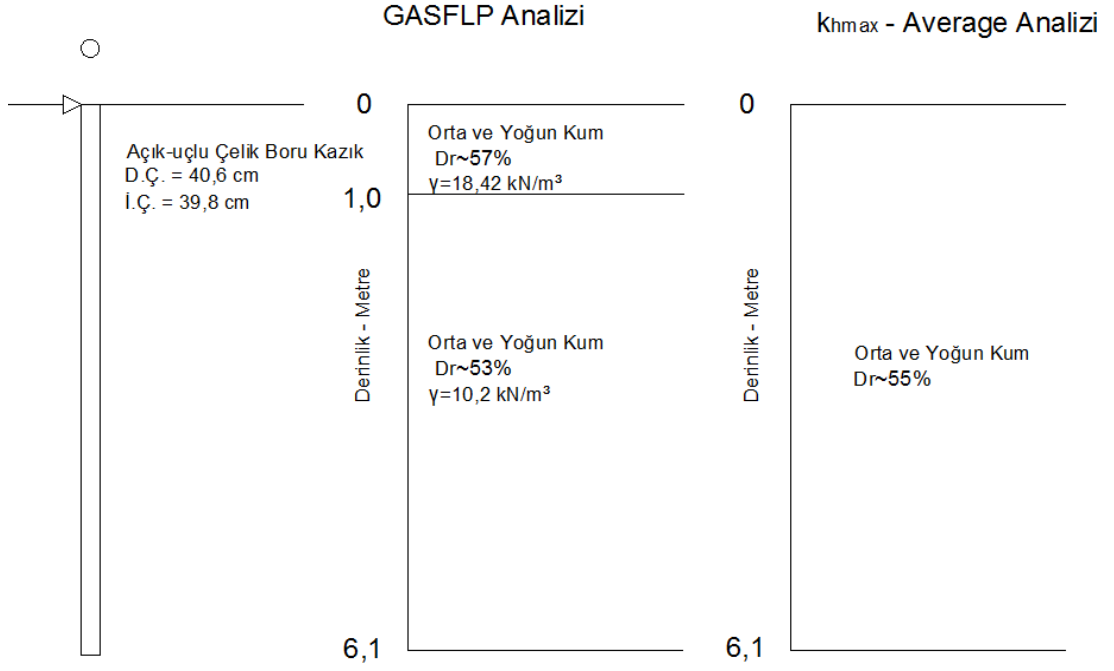
4.2.2. Arkansas River – Alizadeh ve Davisson (1970)

Yanal yük-deplasman tepkisini hesaplamak için, üniforma zemin profili bir temsilci profil olarak kullanılmıştır (Şekil 4.3.). Yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinde belirlenmiştir ve uygulanan yükün eksantrikliği zemin yüzeyindedir ($e=0$). Ölçülen ve hesaplanan sonuçlar Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

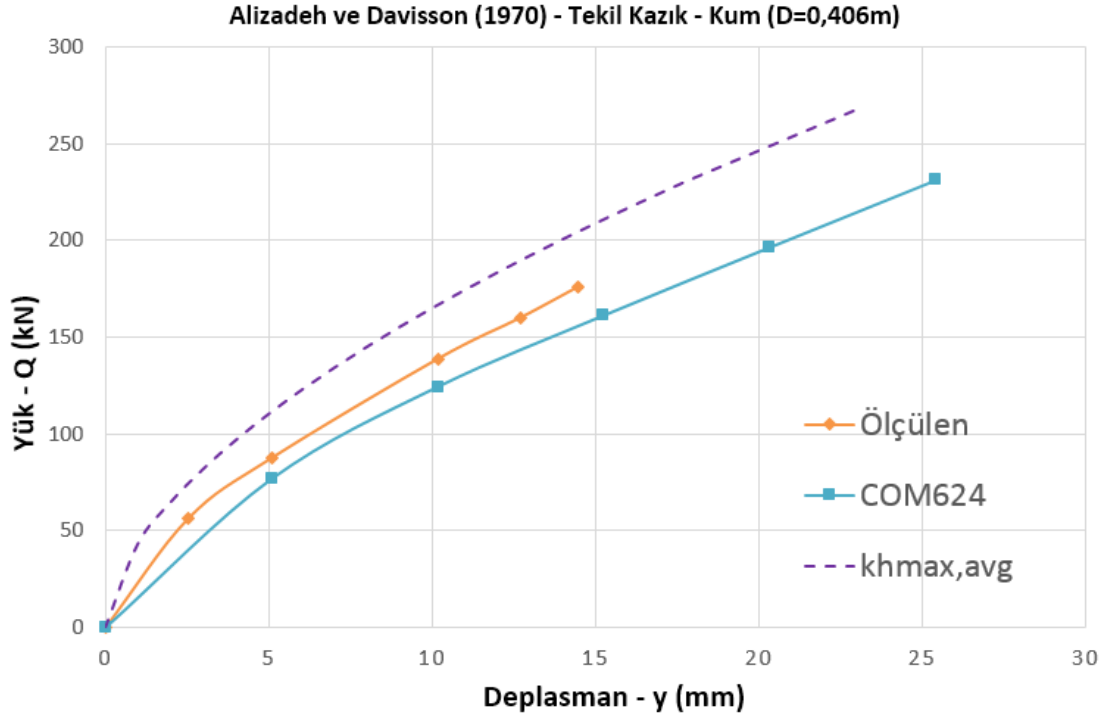
Tablo 4.2. Kazık ve zemin özellikleri

Kazık Özellikleri				Zemin Özellikleri			
Test Kazık Nu.	Kazık Çapı (m)	EI (kNm ²)	e (m)	Derinlik (m)	$\phi(^{\circ})$	γ (kN/m ³)	Bağlı yoğunluk Dr (%)
16	0,406	688755,26	0	0 – 1	38	18,42	57
				1 – 6,1	38	10,1	53

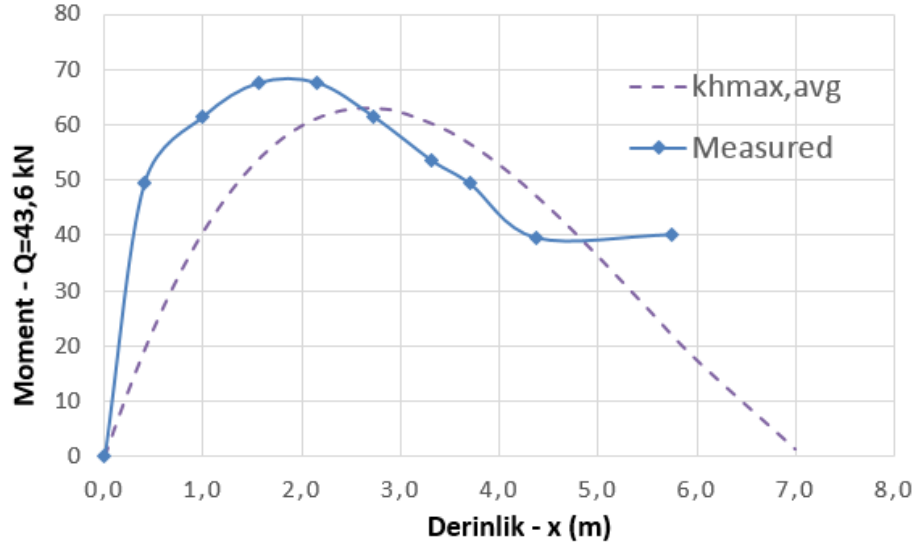
ZEMİN PROFİLLERİ



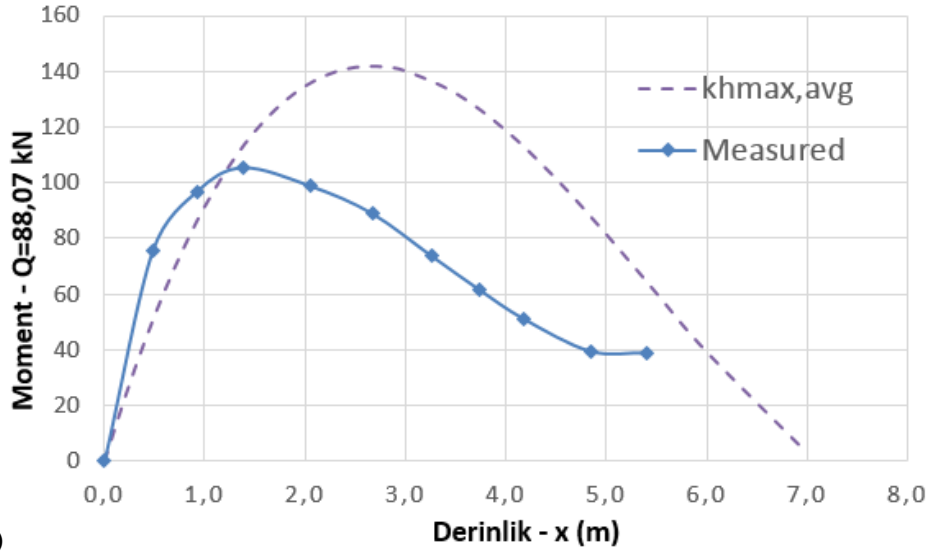
Şekil 4.3. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,406 m)



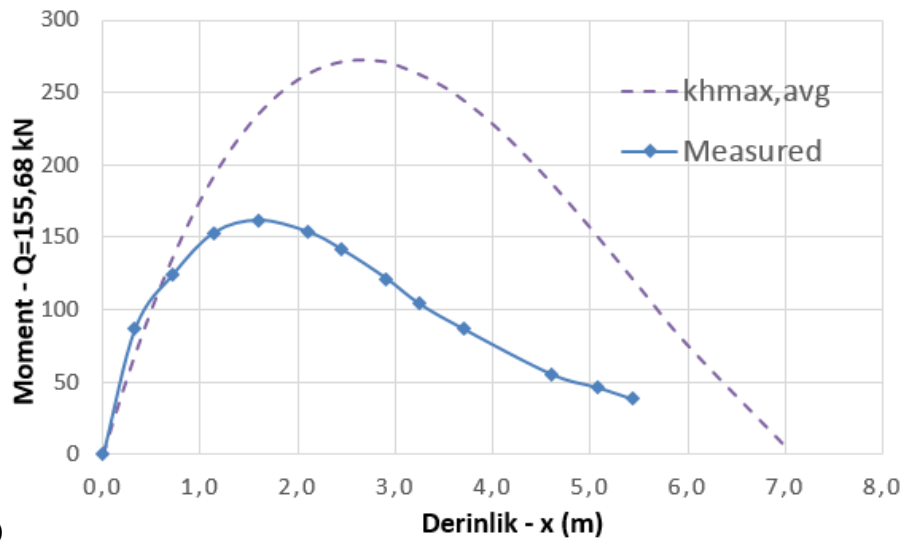
Şekil 4.4. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=406 m)



a)



b)



c)

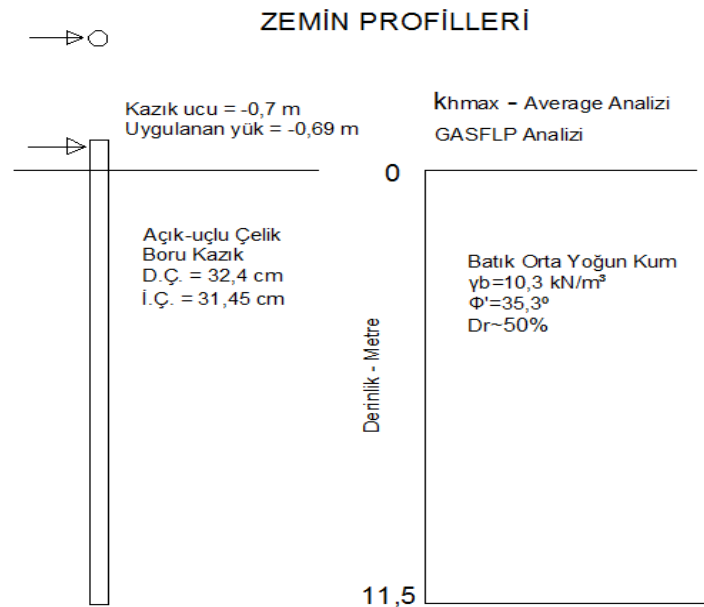
Şekil 4.5. Farklı yük (Q) için moment-derinlik tepkileri: a) Q=43,6 kN, b) Q=88,07 kN, c) Q=155,68 kN

Ölçülen ve COM624 kullanılarak hesaplanan deplasmanlar, bu kazık testi için uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu durumda, k_{hmax} -Ortalama yöntemini kullanılarak hesaplanan eğri ölçülmüş olan eğri ile zayıf ilişki içindedir ve ölçülen eğrinin değerinden yaklaşık %15 daha fazla değer vermektedir.

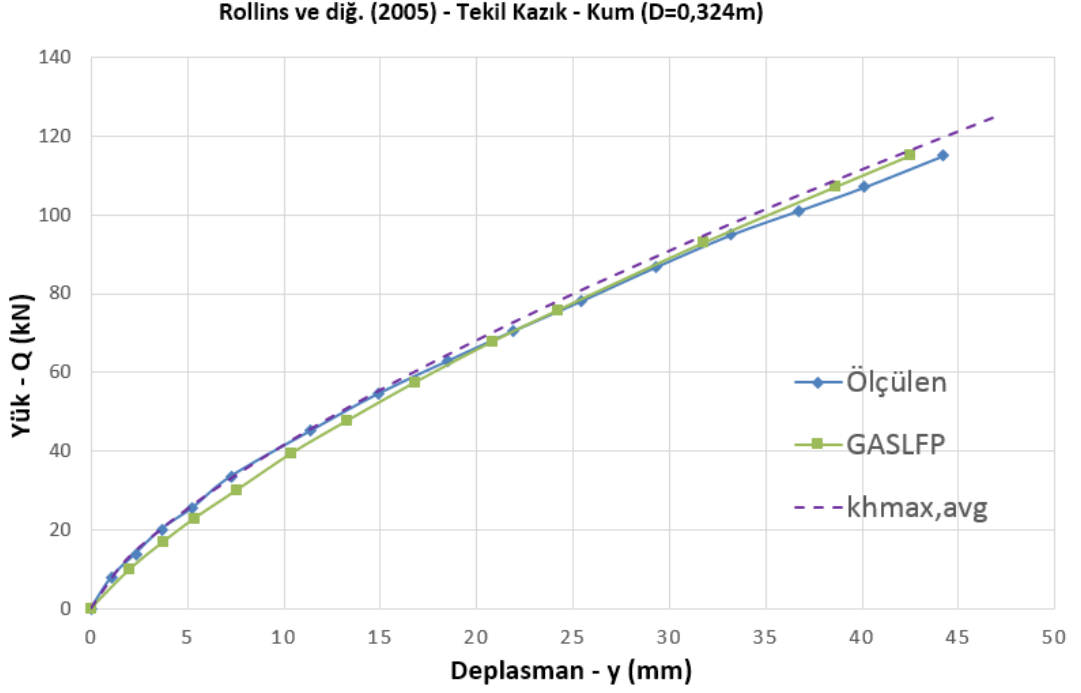
k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen yük-deplasman tepkisi ölçülen tepkisinden daha yüksek olduğundan, farklı yanal yükü için, moment değerleri de ölçülen moment değerlerinden daha yüksektir. Şekil 4.5. gözlemleyerek, daha küçük yükler için ölçülen ve hesaplanan eğrileri uyum içinde olduğu görülebilir. Daha büyük yükler için, hesaplanan moment değerleri ölçülen değerlerinden yaklaşık %40 daha fazladır.

4.2.3. Rollins ve diğ. (2005)

Üniform orta yoğun kuma gömülü açık uçlu çelik borunun üzerinde yanal yük testi Rollins ve diğ. (2005) tarafından incelenmiştir. Bu analiz için zemin profili batık uniform orta yoğun kum gibi varsayılmıştır. Bu zemin profili sürtünme açısı $\phi=35,3^\circ$ ve bağıl yoğunluğu yaklaşık $D_r\approx 50\%$ kabul edilmiştir (Şekil 4.6.). Yeraltı suyu zemin yüzeyinde olduğu ve yanal yük zemin seviyesinin yukarısında 0,69 m'de uygulanmıştır. Bu testin sonuçları, Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı yöntem için zemin özellikleri ($D=0,324 \text{ m}$)



Şekil 4.7. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)

Şekil 4.7.'de, ölçülen ve hesaplanan (GASLFP) yanar yük-deplasman tepkisi uyum içinde olduğu görülebilmektedir. k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen yatay yük-deplasman tepkisini, ölçülen ve hesaplanan tepki ile birbirlerine çok yakın değerler vermiştir. Gerçeğe çok yakın aynı zemin profili, k_{hmax} -Ortalama yöntemi için de kullanılmıştır ve bu durumda, sonuçların değişimi ihmal edilebilecek kadar azdır.

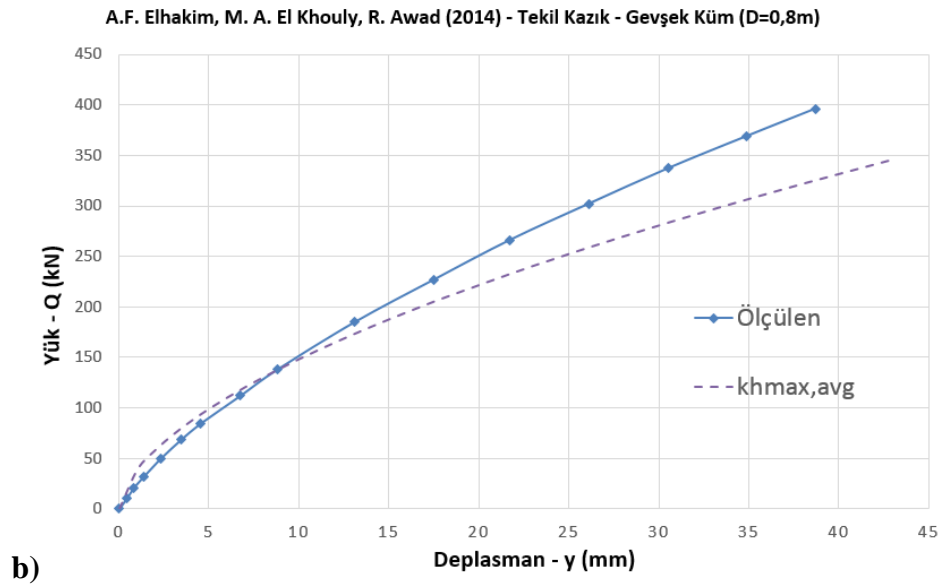
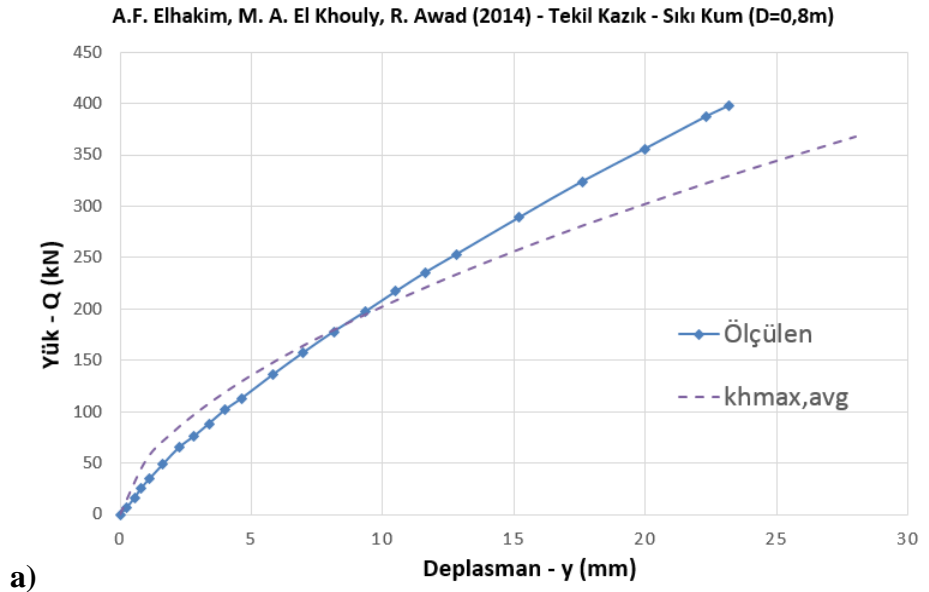
4.2.4. Elhakim ve diğ. (2014)

Bu çalışma, 15 m uzun ve 0,8 m çapında, esnek dairesel kazıkların davranışını incelemektedir. Analizlerde kullanılan zemin özellikleri, Tablo 4.3.'te özetlenmiştir.

k_{hmax} -Ortalama yöntemini kullanarak yukarıda belirtilen testleri analiz etmek amacıyla, Tablo 4.3.'te tarif edilen aynı zemin profilleri kullanılmıştır. k_{hmax} -Ortalama analizinde, yanar yük-deplasman tepkisini elde etmek için, yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinde olduğu varsayılmıştır. k_{hmax} -Ortalama analizini kullanarak elde edilen sonuçlar ve ölçülen sonuçlar, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Test kum özelliklerinin özeti

Özellikleri	Sıkı Kum	Gevşek Kum
G_s	2,645	2,645
γ (kN/m ³)	14,5	14,05
D_r (%)	55	36
φ (°)	37	35
E_{zemin} (MPa)	40 – 45	25 – 35

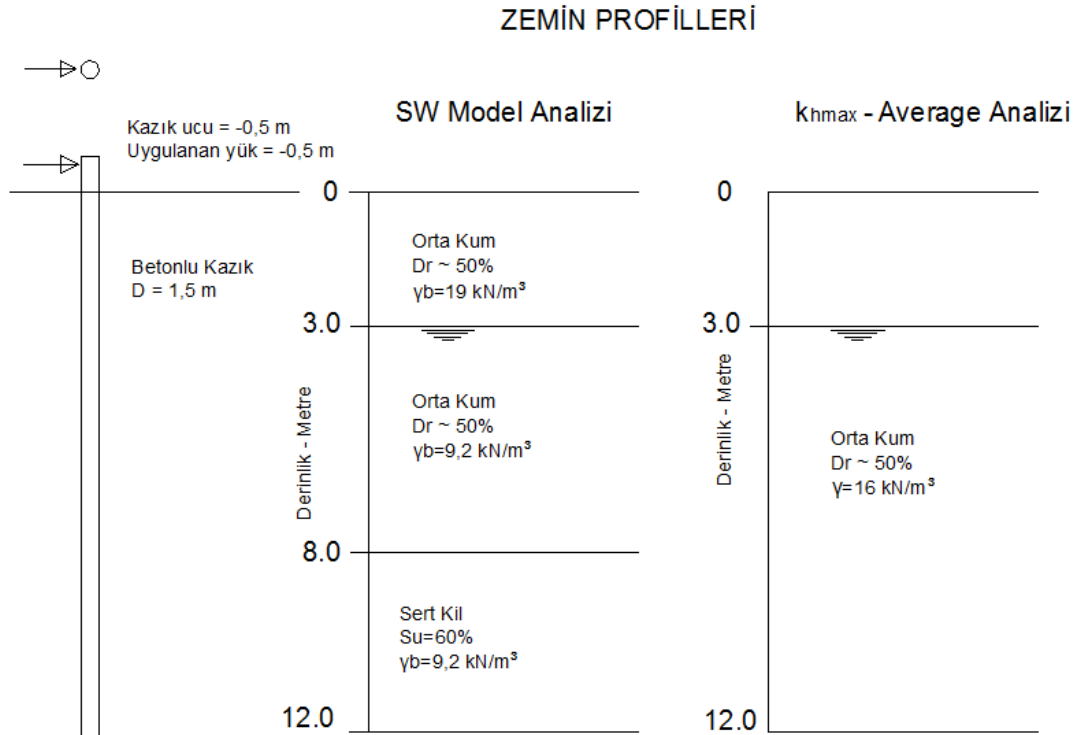


Şekil 4.8. Tekil kazık için yanal yük-deplasman tepkisi: a) Sıkı kum
b) Gevşek kum

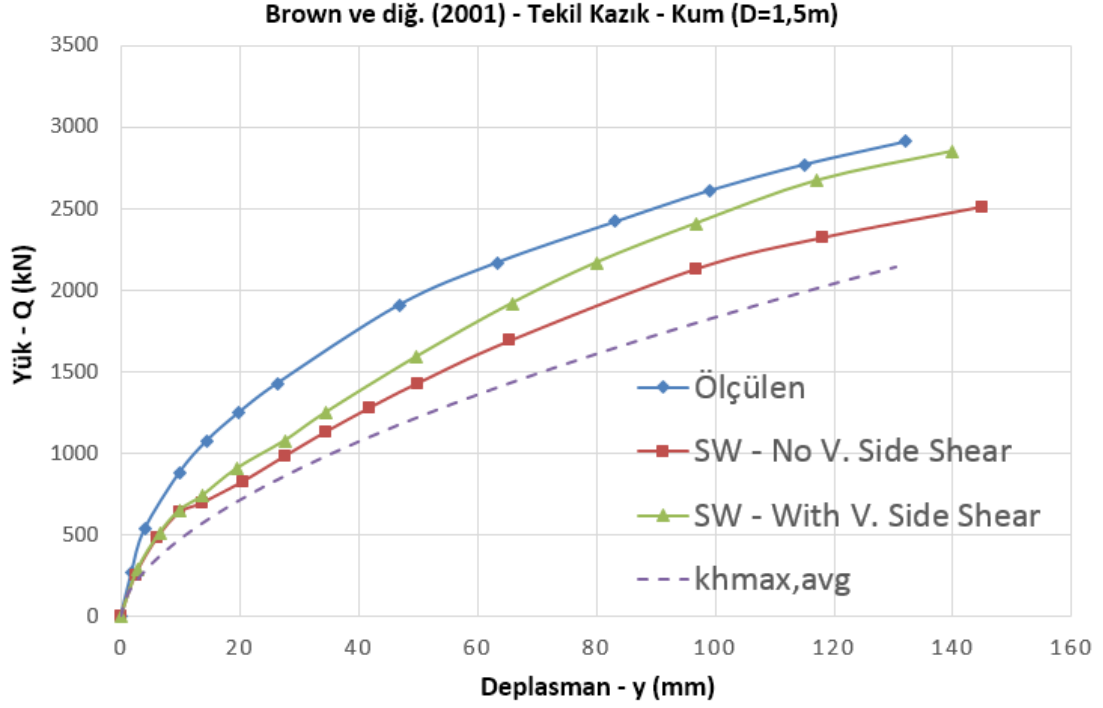
Şekil 4.8., ölçülen ve hesaplanan yanal yük-deplasman tepkisi sıkı ve gevşek kuma gömülü tekil kazık için gösterilmektedir. Bu şekilde, gevşek kuma gömülü kazık deplasmanları yoğun kuma gömülü kazık deplasmanlarından daha yüksek değerler vermektedir. Ayrıca, hesaplanan deplasmanları düşük yükler için küçük olduğu, fakat, büyük yükler için ölçülen değerlerinden daha büyüktür. Bu demektir ki ölçülen ve hesaplanan sonuçlar 10 mm'ye kadar iyi uyum içindedir, daha sonra k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçlar yaklaşık %18 oranında ölçülen sonuçlardan daha düşük değerler vermektedir.

4.2.5. Brown ve diğ. (2001) – Taiwan test

Kum tabakası, zemin yüzeyinden 8,0 m derinliğe kadar mevcut olduğu için, k_{hmax} -Ortalama test analizinde kullanılan kazık orta sıkı kuma ($Dr = \%50$) gömülü olarak kabul edilmiştir. Bu test için, yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinin 3,0 m altındadır ve zemin yüzeyinin üstünde yanal yük 0,5 m mesafede uygulanmıştır. SW Modeli analizi ve k_{hmax} -Ortalama analizinde kullanılan zemin profilleri, Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=1,5 m)



Şekil 4.10. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=1,5 m)

Farklı yöntemlerle elde edilen yatay yük-deplasman tepkileri birbirleriyle uyumlu olmadığı, Şekil 4.10.'da görülmektedir. Doğrusal olmayan SW Modeli ile elde edilen sonuçlar, ölçülen sonuçlarından daha düşük değerler vermektedir. k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçlar, hem ölçülen hem de SW Modeli'nin sonuçlarından daha düşük çıkmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan (k_{hmax} -Ortalama) sonuçlarının arasındaki fark yaklaşık %22'dir.

Bu test için, SW Modeli kullanılarak hesaplanan sonuçlar ile ölçülen sonuçlar arasında yaklaşık değerler elde edilmiştir. Bu örnek, k_{hmax} -Ortalama yöntemi daha büyük çaplı olan kazıklar için çok geçerli olmadığını göstermektedir.

4.3. Kuma Gömülü Kazık Gruplarının Testleri

Toplam analiz edilen 10 kazık gruplarının 5'i kuma gömülüdür. Bu kazık gruplarının tüm özellikleri, Tablo 4.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Kuma gömülü kazık gruplarının test bilgileri

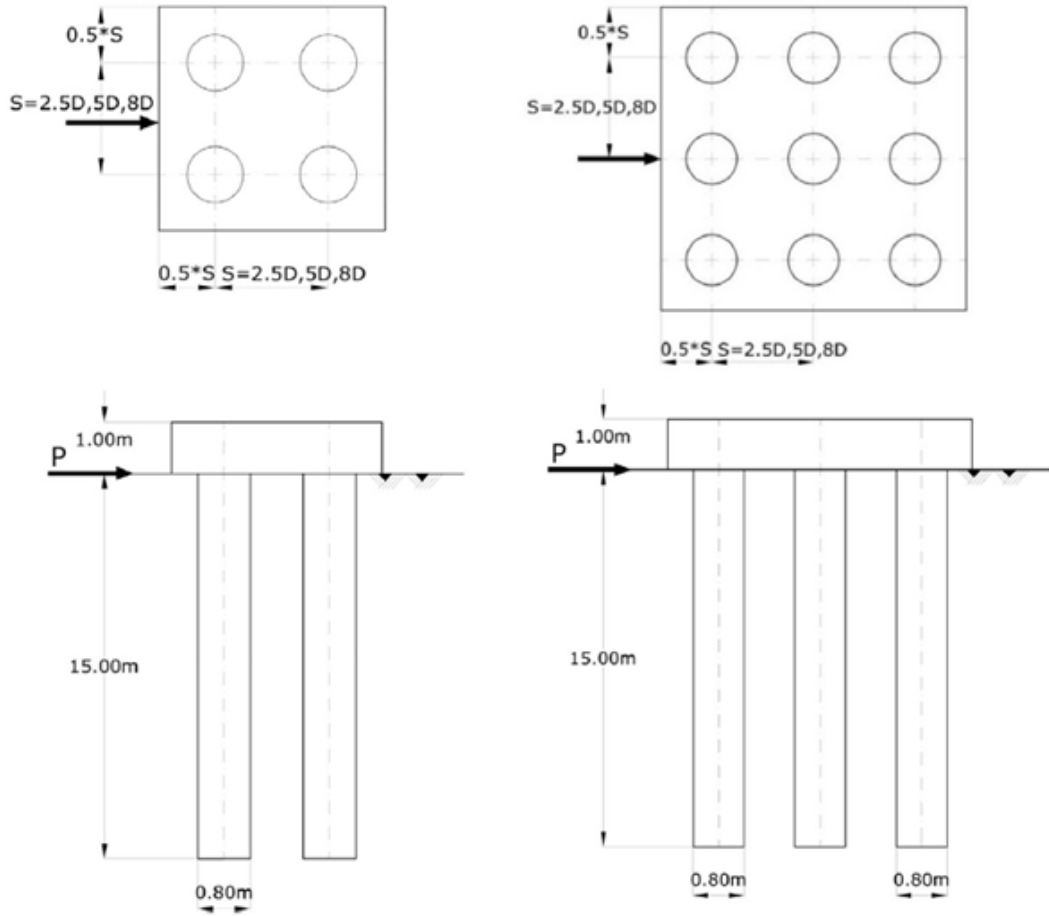
Kazık Çapı D (m)	Kazık Grubu	Kazık Sertliği EI (kNm ²)	Bağlı Yoğunluk Dr (%)	Yeraltı Suyu Seviyesi (m)	e (m)	Referans
0,8	2x2	405895	55	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly and R. Awad (2014)
0,8	2x2	405895	36	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly and R. Awad (2014)
0,8	3x3	405895	55	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly and R. Awad (2014)
0,8	3x3	405895	36	Zemin yüzeyde	0	M. El Khouly and R. Awad (2014)
0,273	3x3	13668	60	Zemin yüzeyde	0,305	Brown ve diğ. (1988)

4.3.1. Elhakim ve diğ. (2014)

Kuma gömülü yanal yüklenmiş kazık gruplarının davranışını değerlendirmek için, kazıkların arasındaki boşluk ve bağlı yoğunluğunun etkisini ölçmek için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Daha sonra, ölçülen eğriler k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen eğriler ile karşılaştırılmıştır.

Bu bölüm 4.2.4.'te tek kazıklar için kullanılan kazık ve zemin özellikleri, burdaki kazık grupları için de kullanılmıştır. Kazık grupları serbest başlı olarak kabul edilir ve 400 kN yatay yük kazık başına uygulanmıştır. Analizler 2x2 ve 3x3 kazık grupları için yapılmıştır. Kazık aralıkları, 2,5 ve 5 kazık çapı olarak kabul edilir (Şekil 4.11.).

Kazık gruplarında yanal yük-deplasman tepkisini hesaplamak için, grup katsayıları dahil olması gerekir. Kazık aralığı 2,5D ve 5D ve kazık grupları 2x2 ve 3x3 için kullanılan grup katsayıları Tablo 4.5.'te gösterilmiştir.



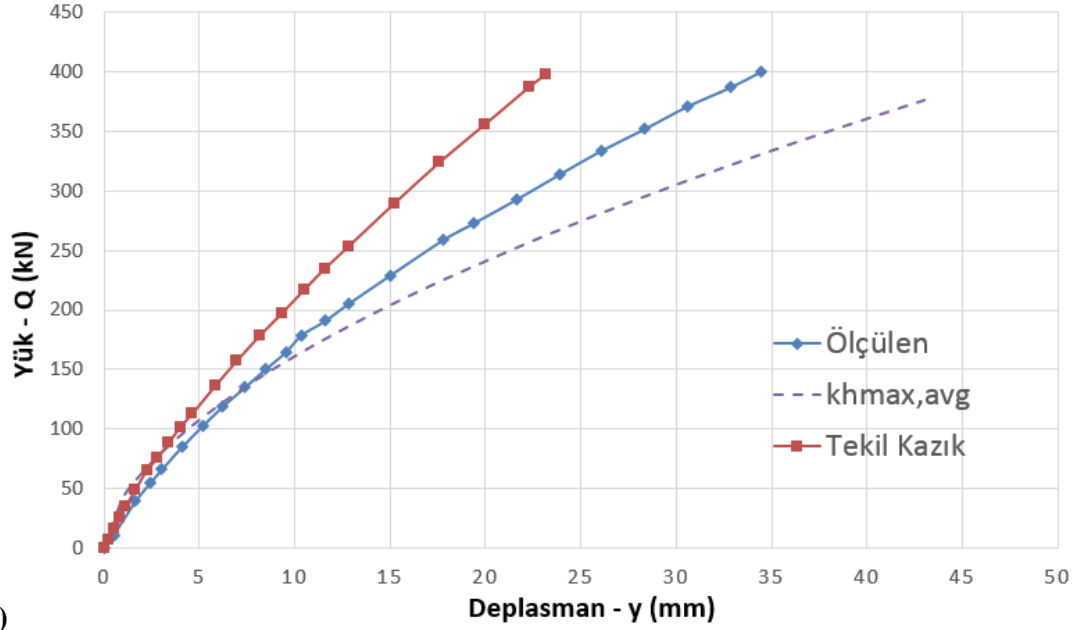
Şekil 4.11. Modellenen 2x2 ve 3x3 kazık grubu konfigürasyonları

Tablo 4.5. Kazık gruplarının grup katsayıları

Kazık Grubu	2x2		3x3	
Kum Tipi	Sıkı/Gevşek Kum		Sıkı/Gevşek Kum	
Kazık Aralığı	2,5D	5D	2,5D	5D
Grup Katsayısı	0,685	0,86	0,55	0,8

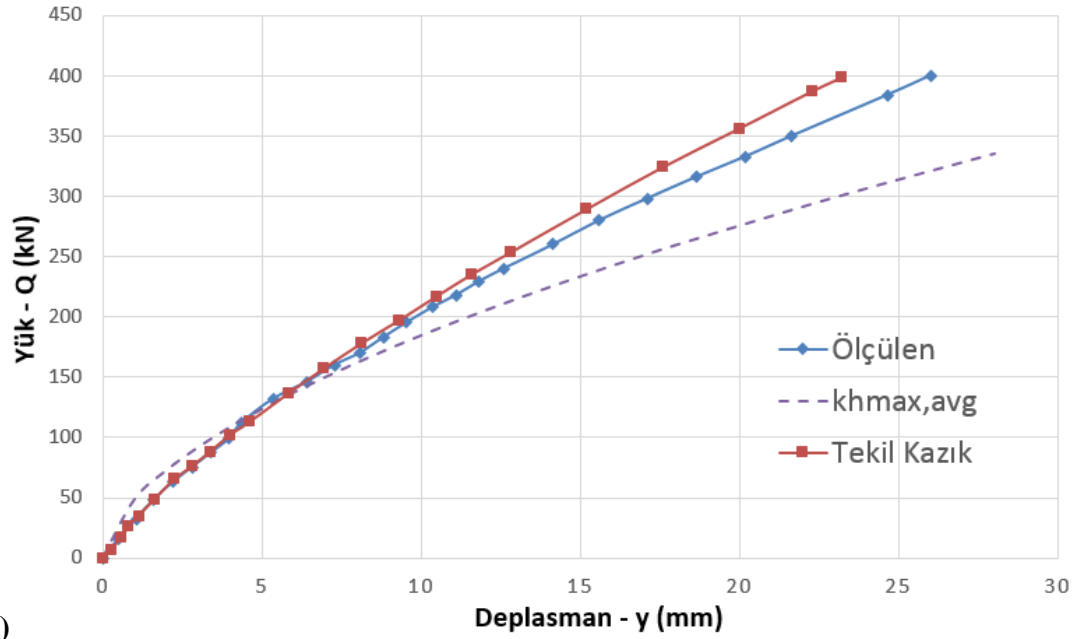
k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen eğriler ve ölçülen eğrilerin sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilir.

A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 2x2 (2,5D) - Sıkı Kum (D=0,8m)



a)

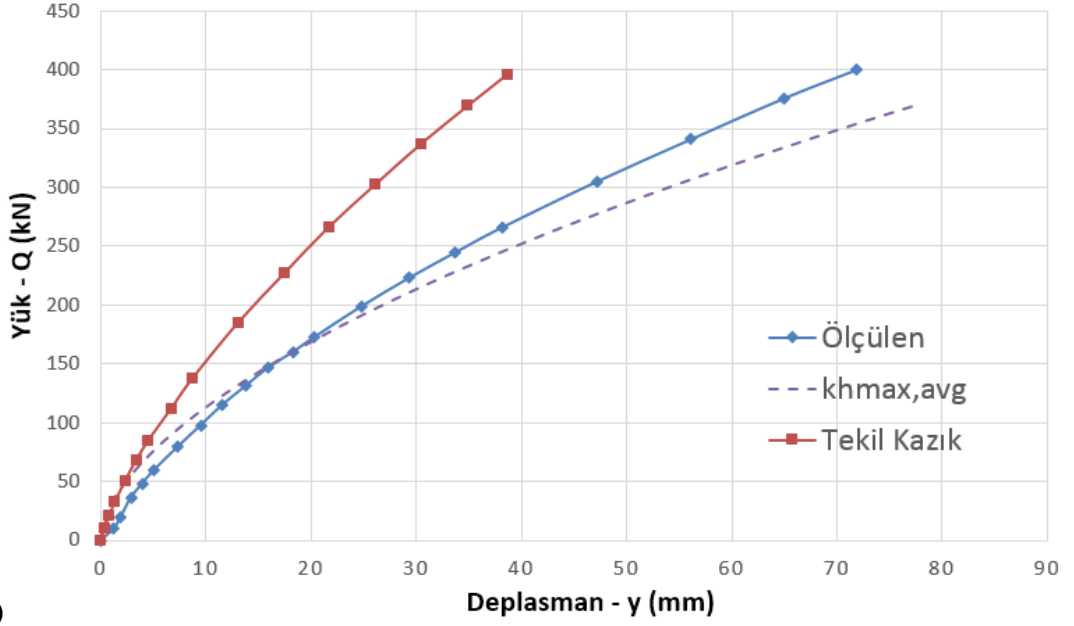
A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 2x2 (5D) - Sıkı Kum (D=0,8m)



b)

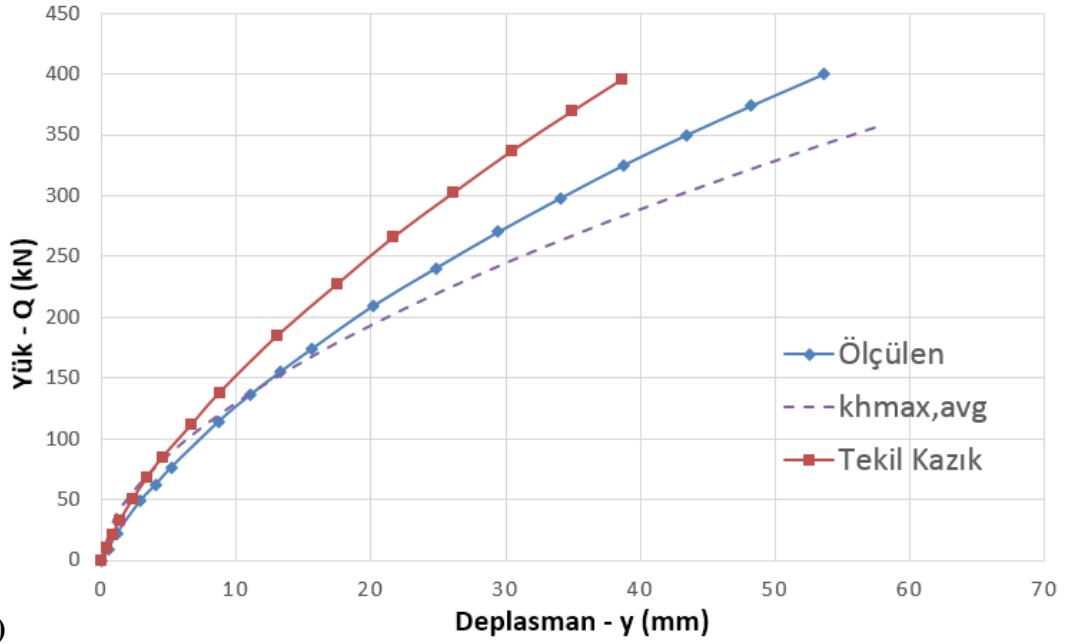
Şekil 4.12. Sıkı kuma gömülü kazık grubunun (2x2) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D; b) kazık aralığı 5D

A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 2x2 (2,5D) - Gevşek Küm (D=0,8m)



a)

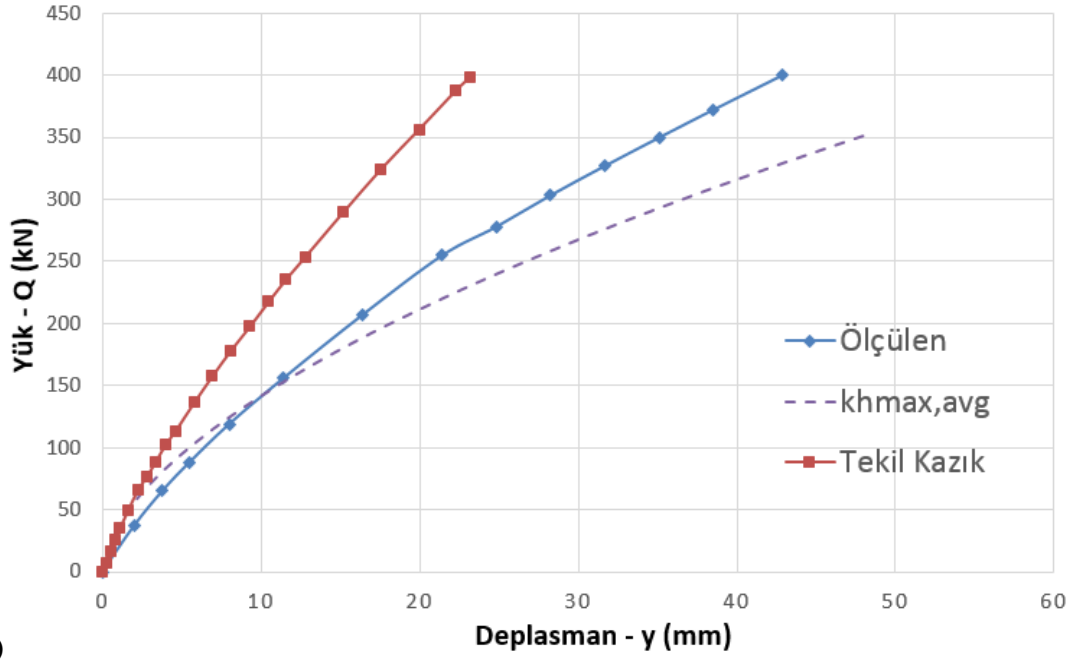
A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 2x2 (5D) - Gevşek Küm (D=0,8m)



b)

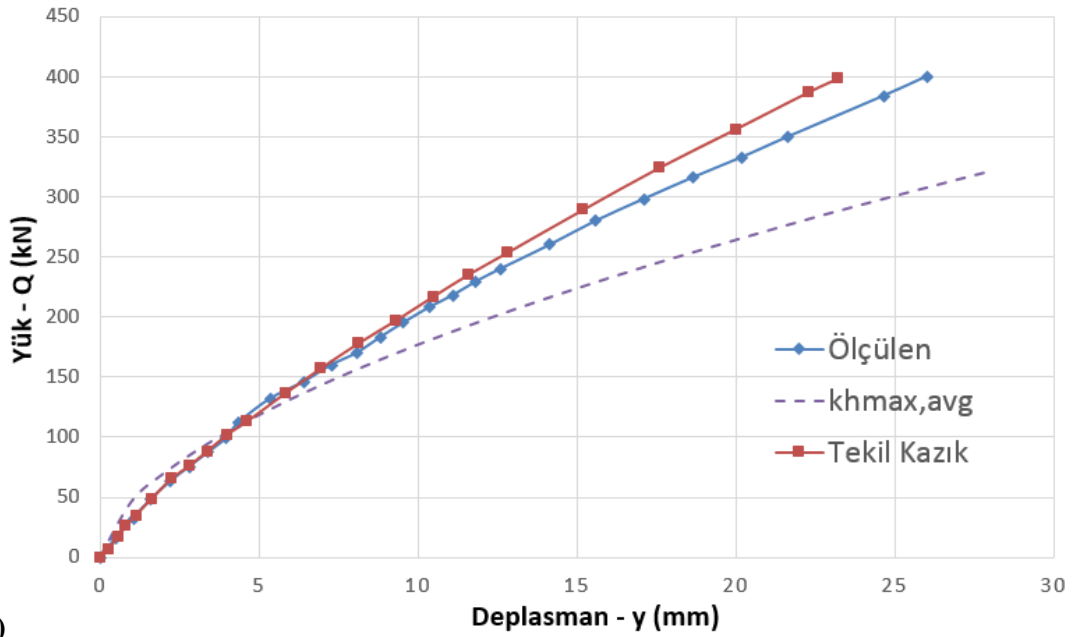
Şekil 4.13. Gevşek kuma gömülü kazık grubunun (2x2) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D; b) kazık aralığı 5D

A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 3x3 (2,5D) - Sıkı Kum (D=0,8m)



a)

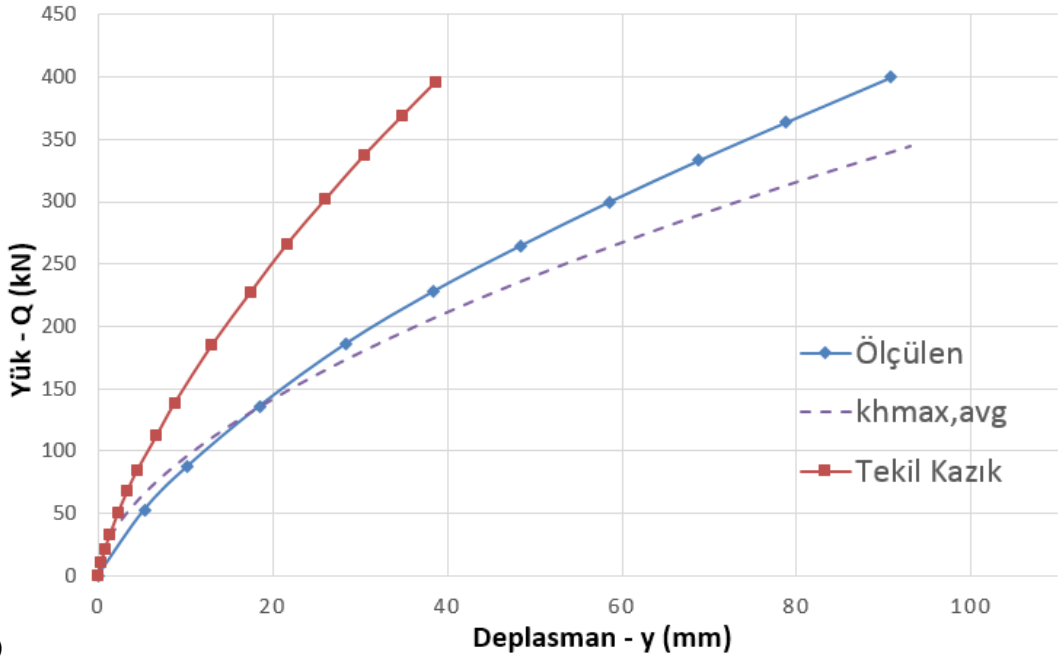
A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 2x2 (5D)- Sıkı Kum (D=0,8m)



b)

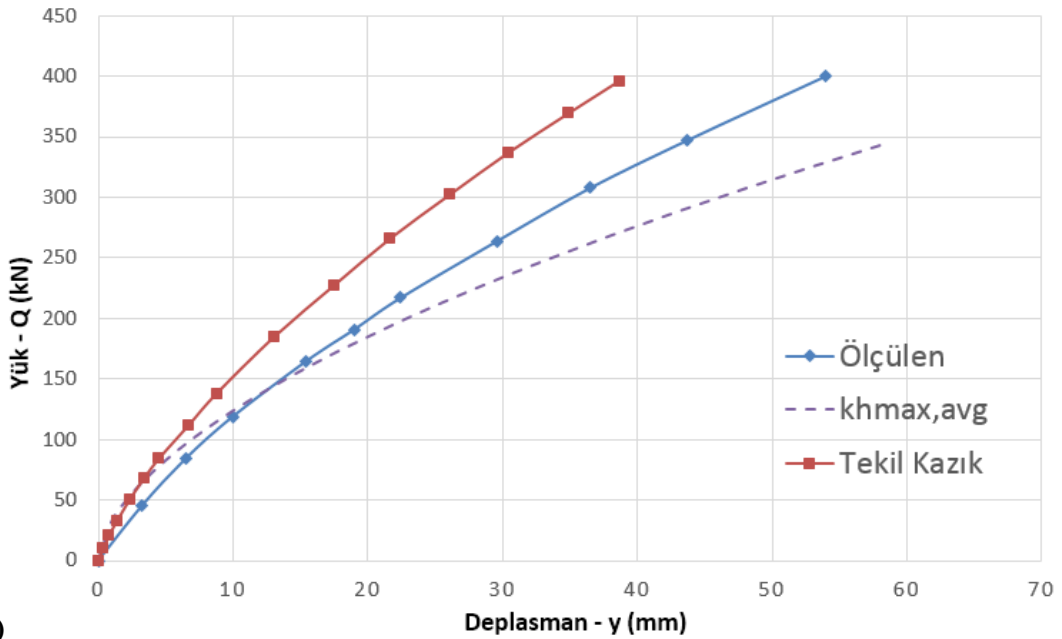
Şekil 4.14. Sıkı kuma gömülü kazık grubunun (3x3) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D; b) kazık aralığı 5D

A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 3x3 (2,5D) - Gevşek Kum (D=0,8m)



a)

A.F. Elhakim, M. A. El Khouly, R. Awad (2014) - Kazık Grubu 3x3 (5D) - Gevşek Kum (D=0,8m)



b)

Şekil 4.15. Gevşek kuma gömülü kazık grubunun (3x3) yanal yük-deplasman tepkisi: a) kazık aralığı 2,5D; b) kazık aralığı 5D

Sıkı ve gevşek kuma gömülü 2x2 ve 3x3 serbest başlı kazık gruplarının yük-deplasman eğrilerinin sonuçları yukarıdaki şekillerde gösterilmiştir. Kazık aralığının artması ile yanal deplasmanın azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kazık grubunun yük-

deplasman tepkisi tekil kazıkların yük-deplasman tepkisiyle karşılaştırıldığında daha azdır. Kazık aralığı arttıkça bu fark daha az belirgin hale gelir.

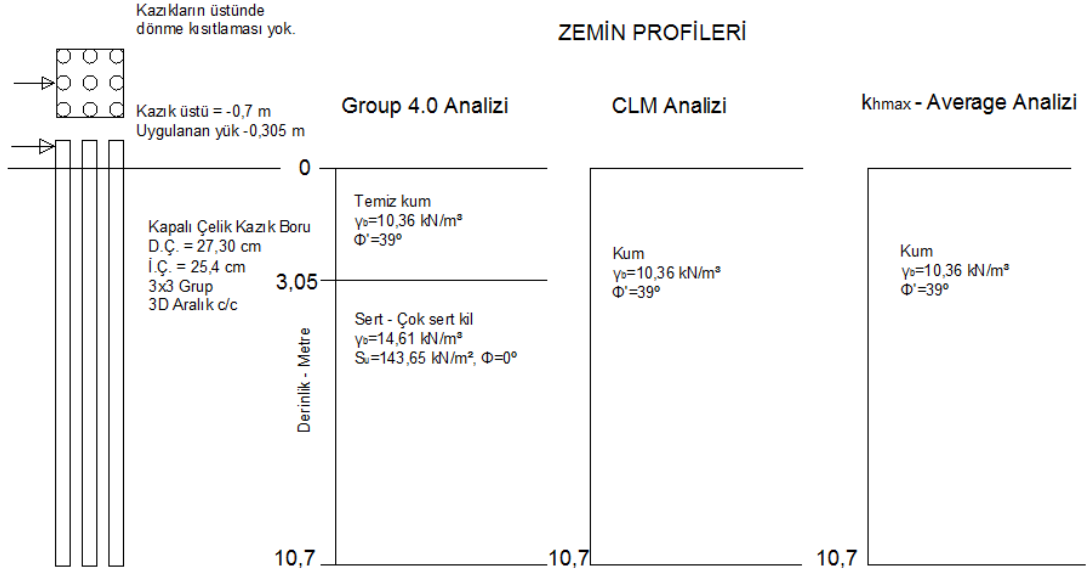
Ölçülen ve hesaplanan sonuçları karşılaştırıldığında, k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle hesaplanan sonuçları ile 10 mm deplasmana kadar ölçülen sonuçlar uyum içinde olduğu görülebilir, 10 mm sonrasında hesaplanan deplasmanlar yüksek yükler için daha büyüktür. Ayrıca, her durumda, k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçları ölçülen sonuçlarını %11-%22 arasında daha düşük değerler vermektedir. Bunun sebebi, kazık çapı (D) arttıkça kazık rijitliğinin (EI) artmasındandır. Buna ek olarak kazık rijitliği (EI), boyutsuz a' ve b' katsayıların üzerinde bir etkisi vardır. Sonuçta, k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen yatay yük-deplasman tepkisi bu katsayılara bağlıdır.

Ayrıca, k_{hmax} -Ortalama yönteminin elde edilen deplasman eğrisini daha düşük olmasının nedeni kazığın çevresindeki zeminin gerçek özellikleri tahmin edilen değerlerinden daha yüksek mukavemete sahip olduğundan kaynaklanır veya statik yükler kazığa gerçek uygulanan yüklerden daha yüksektir.

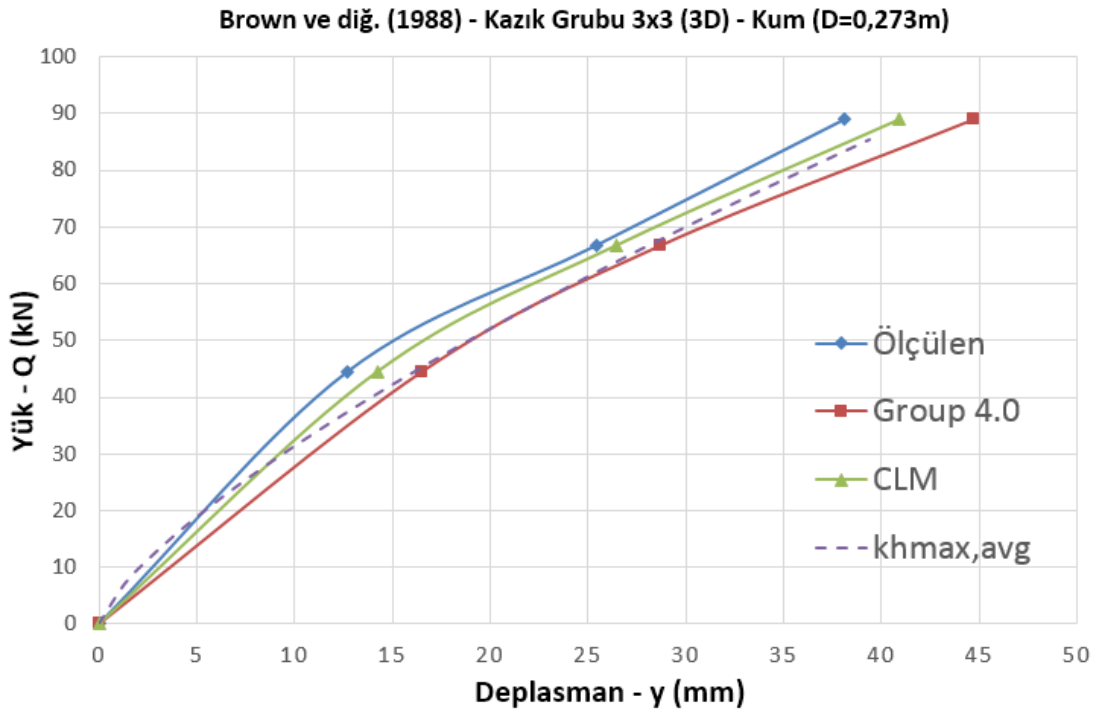
4.3.2. Kazık grubu 3x3 – Brown ve diğ. (1988)

Tekil kazık analizinde kullanılan aynı zemin profili kazık grubu için de kullanılmıştır (Şekil 4.1.). Serbest kazık başlı olarak varsayarak bu analiz gerçekleştirilmiştir. Bu testte, 4 kazıklı veya daha az olan kazık grupları için önerilen grup katsayıları kullanılmıştır. Bu kazık grubu için, grup katsayısı $G=0,6$ belirlenmiştir. Zemin profilleri ve test sonuçları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Şekillerde, tüm hesaplanan sonuçlar ölçülen sonuçlar ile yakın uyum içinde olduğu görülebilir. $k_{hmax,ort}$ sonuçları Grup4.0 programı kullanılarak elde edilen sonuçlara benzemektedir. Ayrıca, k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle hesaplanan sonuçlar ölçülen sonuçlardan yaklaşık %10 daha az çıkmaktadır.



Şekil 4.16. Farklı yöntem için zemin özellikleri (Kazık grubu 3x3, D=0,273 m)



Şekil 4.17. Yanal yük–deplasman tepkisi (kazık grubu 3x3, aralık 3D, D=0,273 m)

5. KİLE GÖMÜLÜ KAZIKLARIN TEST SONUÇLARI

5.1. Kile Gömülü Tekil Kazık Testleri

Toplam analiz edilen 12 tekil kazığın 6'sı kile gömülüdür. Bu tekil kazıklarının tüm özellikleri, Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

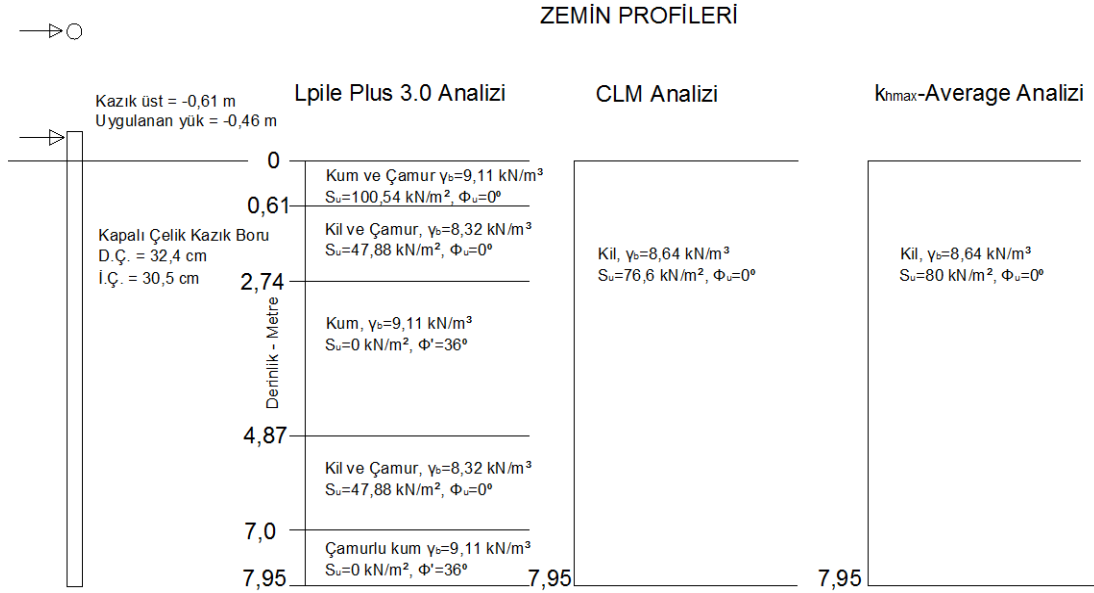
Tablo 5.1. Kile gömülü ekil kazıklarının test bilgileri

Kazık Çapı D (m)	Kazık Uzunluğu L (m)	Kazık Rijitliği EI (kNm ²)	Drenajsiz kayma mukavemeti Su (kN/m ²)	Yeraltı Su Seviyesi (m)	e (m)	Referans
0,324	8	28600	80	zemin yuzeyde	0,46	Rollins ve diğ. (1998)
0,4	22	38742	60	zemin yuzeyde	0	Reuss ve diğ. (1992)
0,4	12	324273	180	zemin yuzeyde	0	Zafir ve Vaderpool (1998)
0,61	5	185103	220	zemin yuzeyde	0,305	Bhushan ve diğ. (1987)
0,324	12	28600	85	1,07	0,39	Rollins ve diğ. (2003)
0,61	12	230000	95	1,07	0,495	Rollins ve diğ. (2003)

5.1.1. Rollins ve diğ. (1998)

Rollins ve diğ. (1998) tarafından tekil kazık ve kazık grubunun yatay yük-deplasman tepkisini elde etmek amacıyla tam ölçekli yatay yük testleri gerçekleştirilmiştir. Tekil kazık sonuçları, p-y yöntemi (Lpile) ve CLM yöntemini kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen eğriler k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır.

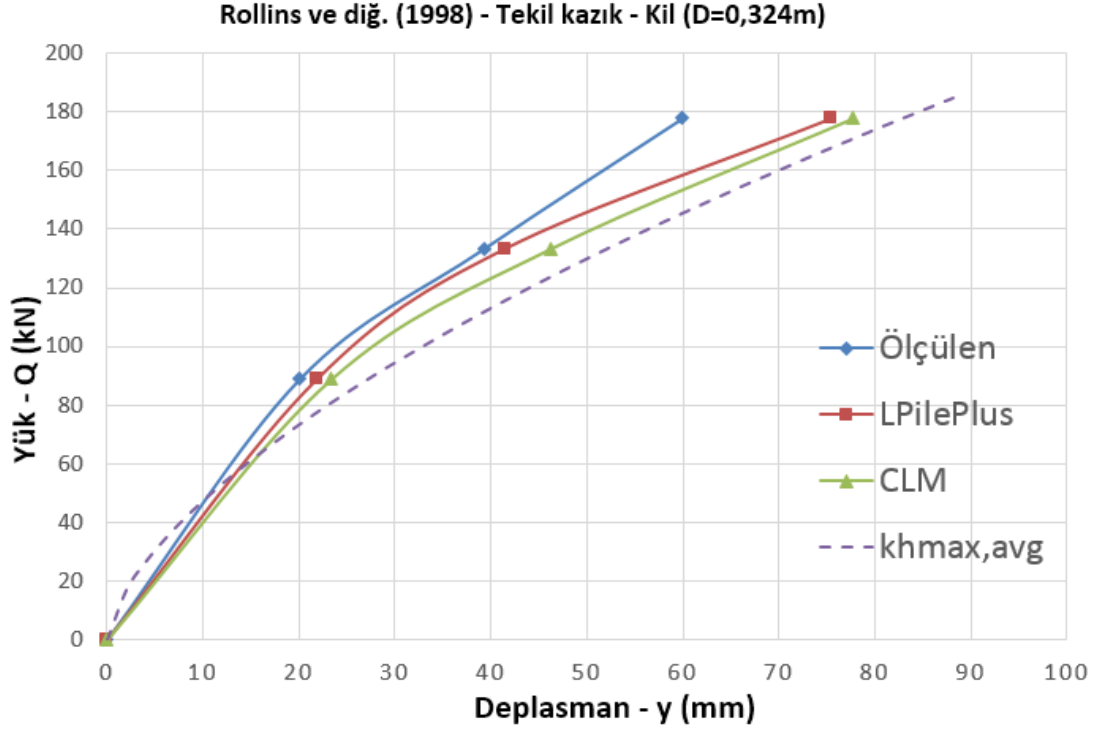
k_{hmax} -Ortalama yöntemi için, kil tabakası ($S_u=80 \text{ kN/m}^2$), gerçek profiline yakın bir üniform zemin profili olarak kullanılabilir. Farklı yöntem için zemin özellikleri ve test sonuçları aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,324 m)

Şekil 5.2.'de, LpilePlus ve CLM yöntemiyle hesaplanan sonuçlar yakın uyum içinde olduğu görülebilir. Ayrıca, k_{hmax} -Ortalama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar CLM ve LpilePlus sonuçları ile uyum içindedir, ama yaklaşık %6 oranında onlardan daha az çıkmaktadır. Ölçülen eğriyle karşılaştırıldığında, yüksek yükler için ölçülen deplasmanlar hesaplanan deplasmanlardan daha küçüktür ve k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen eğri, ölçülen eğrinden yaklaşık %18 oranında daha düşüktür.

Bu durum, k_{hmax} -Ortalama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların, kazık başındaki zemin koşullarının üniform olarak temsil etmeye çalışırken yaşanan zorluklardan etkilendiğini göstermektedir.

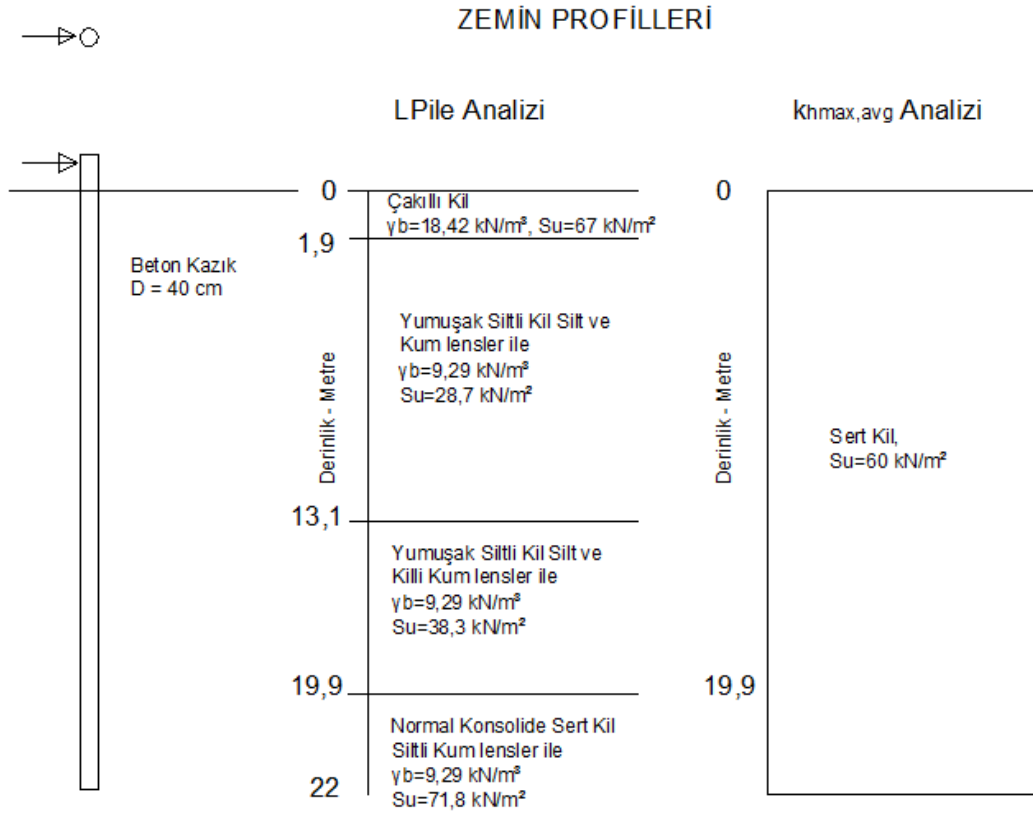


Şekil 5.2. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)

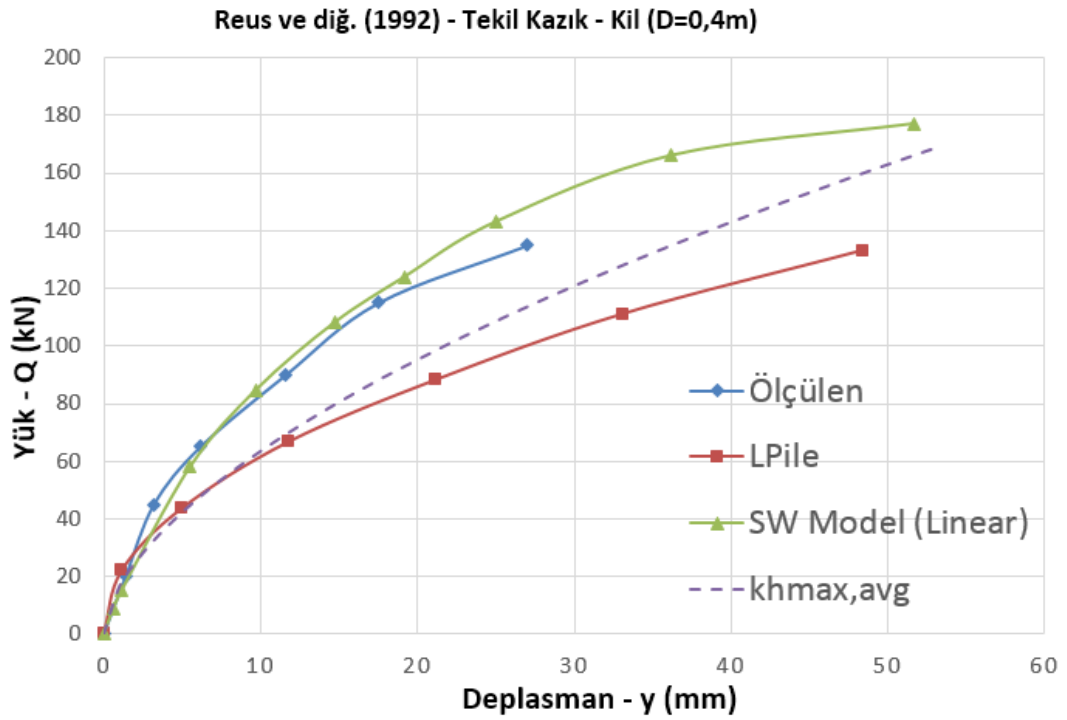
5.1.2. Reuss ve diğ. (1992)

k_{hmax} -Ortalama yönteminde kullanılan zemin profili Şekil 5.3.'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, sert kil ile doldurulmuş ($S_u=60$ kN/m²) bir üniform zemin profili olarak kullanılır. Yanal yük-deplasman sonuçları Şekil 5.4.'te sunulmaktadır.

Şekil 5.4., ölçülen ve SW modeli sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu göstermektedir. k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçları incelendiğinde, onlar Lpile kullanılarak hesaplanan sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülebilir. Bu uyum 15 mm deplasmana kadar geçerlidir, sonrasında yüksek yükler için, $k_{hmax,ort}$ deplasmanların küçüldüğünü göstermektedir. Ölçülen eğri ile karşılaştırıldığında, tüm deplasmanlar için $k_{hmax,ort}$ eğrisi yaklaşık %15 oranında ölçülen eğrisinden daha düşük çıkmaktadır.



Şekil 5.3. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,400 m)



Şekil 5.4. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,400 m)

Düşük çıkmasının nedeni k_{hmax} -Ortalama yönteminde üniform zemin profili kullanılmış olduğu için olabilir. Fakat, Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi, gerçek zemin profili farklı zemin özellikleri ile tabakaları içerir. Bu yüzden, gerçek zemin profiline yakın kazık etrafındaki bir üniform zemin profilini oluşturmak için, mühendislik deneyimi gerektirir.

5.1.3. Zafir ve Vaderpool (1998)

Tablo 5.2.'de görüldüğü gibi, bu çalışmada sunulan testi, 4,11 m derinliğine kadar sert kil tabakaları var olan yerinde gerçekleştirilmiştir. Kaliş tabakasının varlığı delinmiş kazık yanal yük-deplasman tepkisine baskın olur. Kazık özellikleri Tablo 5.3.'te sunulmuştur. Belirtilmelidir ki, bu kazık yanal yük altında serbest başlı koşullarına sergilenmiştir.

k_{hmax} -Ortalama analizi için kullanılan zemin profili Şekil 5.5.'te gösterilmiştir. k_{hmax} -Ortalama analizi için, çok sert kil ($S_u=180$ kN/m²) ile doldurulmuş olan bir üniforma zemin profili bir temsilci zemin profili olarak kullanılmıştır. Test sonuçları Şekil 5.6.'da sunulmaktadır.

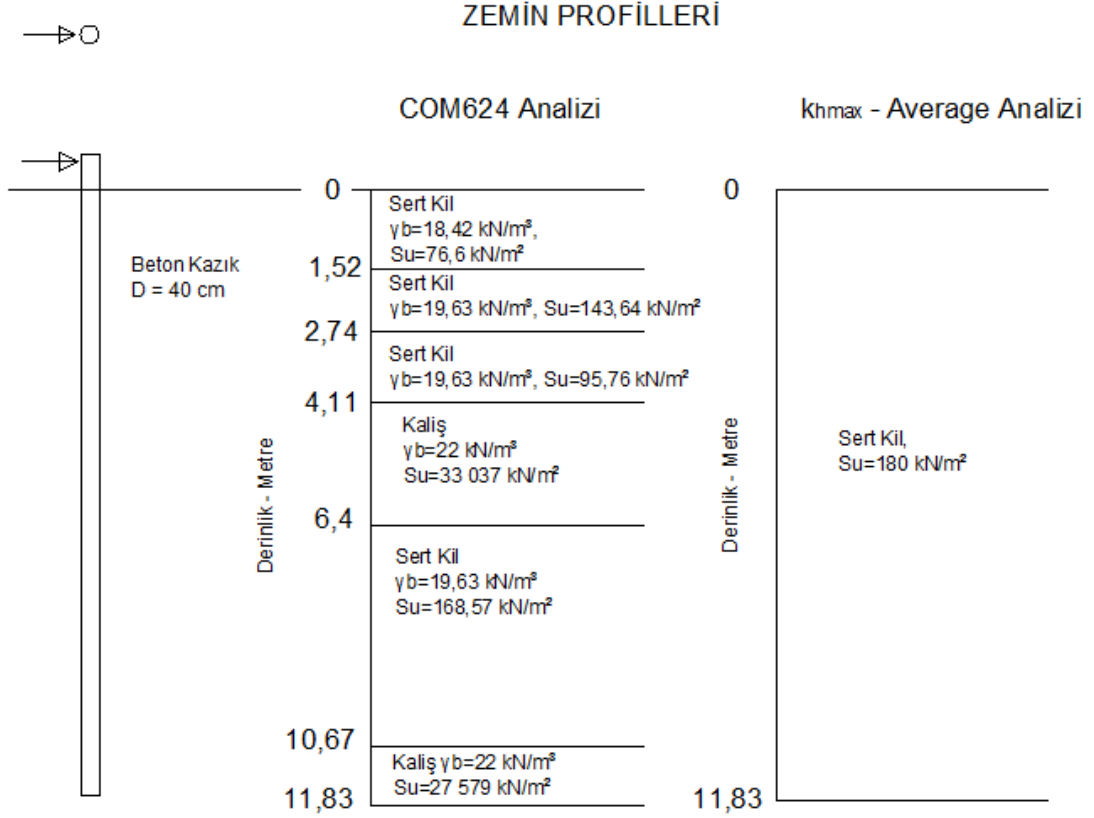
Tablo 5.2. Zemin özellikleri

Derinlik (m)	Zemin Tipi	Birim Ağırlık (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)
0 – 1,52	Sert Kil	18,85	76,6
1,52 – 2,74	Sert Kil	19,63	143,64
2,74 – 4,11	Sert Kil	18,85	95,76
4,11 – 6,4	Kaliş	22	33 037
6,4 – 10,67	Sert Kil	19,63	168,57
10,67 – 11,83	Kaliş	22	27 579

Bu test için, doğrusal SW modeli ve Lpile analizleri gömülü kazığın yanal davranışlarını değerlendirmek için kullanılır. SW Modeli (doğrusal analizleri), Lpile ve k_{hmax} -Ortalama analizleri kullanılarak, yanal yüklenmiş kazık için ölçülen ve tahmin edilen tepkisi arasındaki karşılaştırması, Şekil 5.6'da gösterilmektedir.

Tablo 5.3. Kazık özellikleri

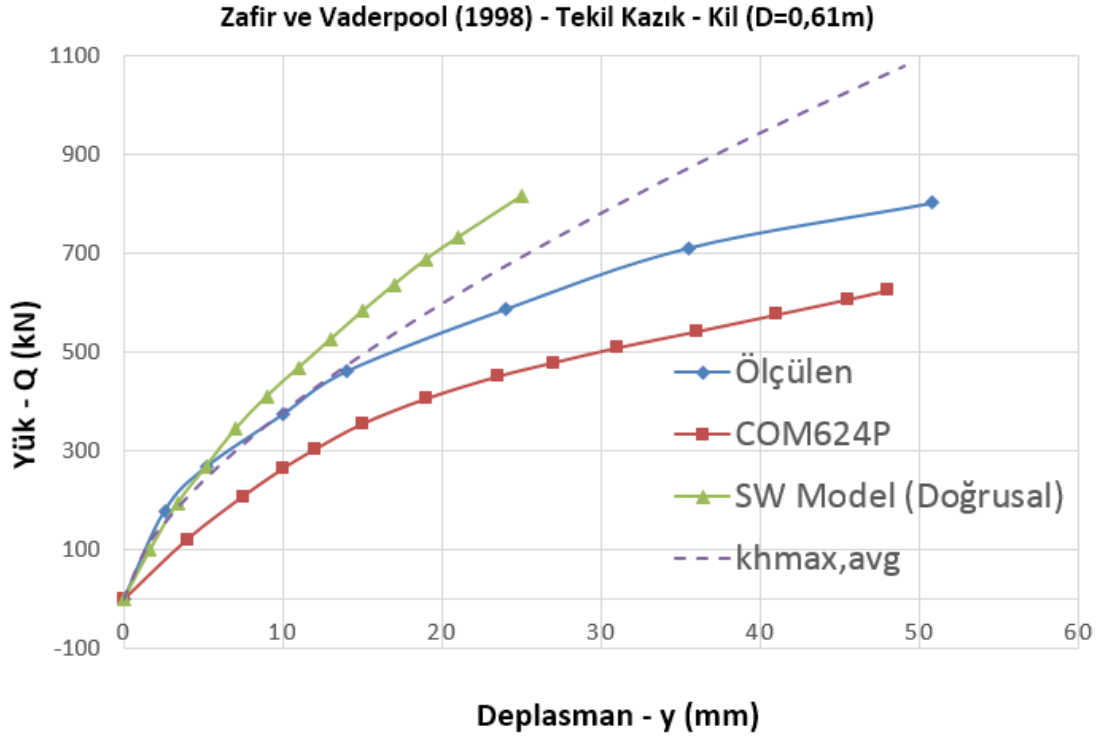
Kazık çapı (m)	Uzunluk (m)	f_c (kN/m ²)	EI (kNm ²)
0,61	10,67	31715,88	324 272,9



Şekil 5.5. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,61 m)

k_{hmax} -Ortalama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçları diğer hesaplanan sonuçlarla karşılaştırıldığında, $k_{hmax,ort}$ eğri ölçülen eğrisine en yakın olduğu görülebilir. Ayrıca, $k_{hmax,ort}$ eğrisi, 15 mm deplasmana kadar ölçülen eğrisine hemen hemen benzer görünür, sonrasında ölçülen deplasmanlar yüksek yükler için daha büyük olur.

Bu durumda 45 mm deplasman için, $k_{hmax,ort}$ eğrisi ölçülen eğrisinden yaklaşık %20 daha fazla değer vermektedir. Bunun nedeni, k_{hmax} -Ortalama yöntemi için kazık etrafındaki üniforma zemin profili kurulmasında olan zorluklar olabilir.



Şekil 5.6. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,61 m)

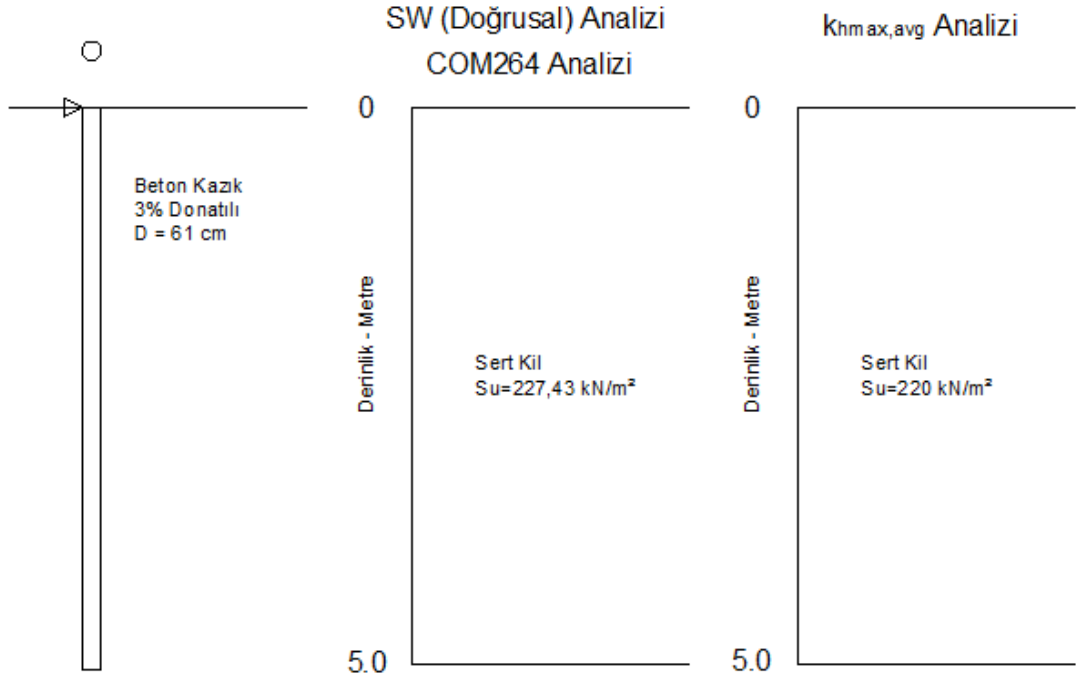
6.1.4 Bhushan ve diğ. (1987)

k_{hmax} -Ortalama analizi için kullanılan zemin profili, gerçek zemin profiline benzemektedir. Çok sert kil ($S_u=220 \text{ kN/m}^2$) ile doldurulmuş üniform zemin profili olarak sunulmuştur (Şekil 5.7.). Bu test sonuçları ve yanal yük-deplasman eğrileri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

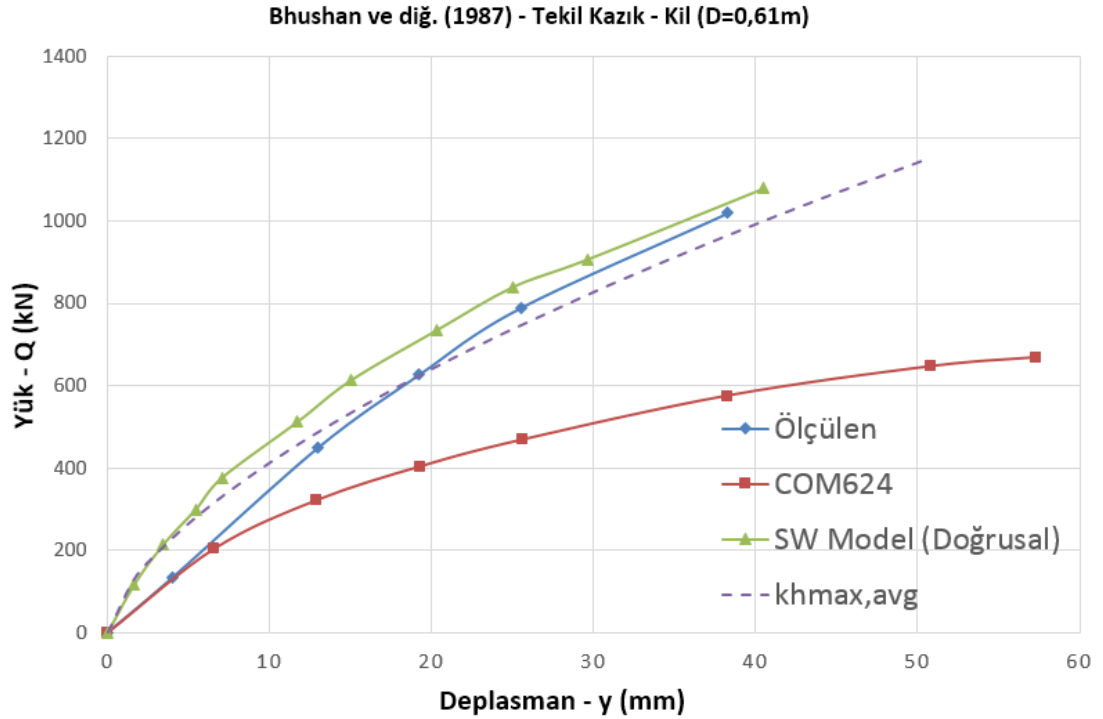
Şekil 5.8., yanal yüklenmiş kazık deneysel sonuçlar ve SW modeli, COM624 (Reese 1983) ve k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle tahmin edilen tepkilerini gösterir. Test edilen kazığın ölçülen tepkisi, COM624 tarafından hesaplanan tepkisinden daha yüksektir, fakat, linear SW modeli ve k_{hmax} -Ortalama analizleri ile çok iyi bir uyum içinde olduğu görülebilir.

Ölçülen eğri k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen eğri ile karşılaştırıldığında, hesaplanan deplasmanlar küçük yükler için ölçülenlerden daha düşüktür, ancak, yüksek yükler için daha büyük olduğu görülebilir.

ZEMİN PROFİLLERİ



Şekil 5.7. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,61 m)



Şekil 5.8. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,61 m)

Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi, gerçek zemin profili bir tabakadan oluşmakta ve aslında üniform zemin profili temsil eder. k_{hmax} -Ortalama analizi için hemen hemen aynı zemin profili kullanılmıştır. Bu örnek, k_{hmax} -Ortalama yöntemi üniforma zemin profilleri için çok geçerli olduğunu göstermekte ve ölçülen eğriyle uyumlu yanıl yük-deplasman tepkileri sağlar.

5.1.5. Rollins ve diğ. (2003)

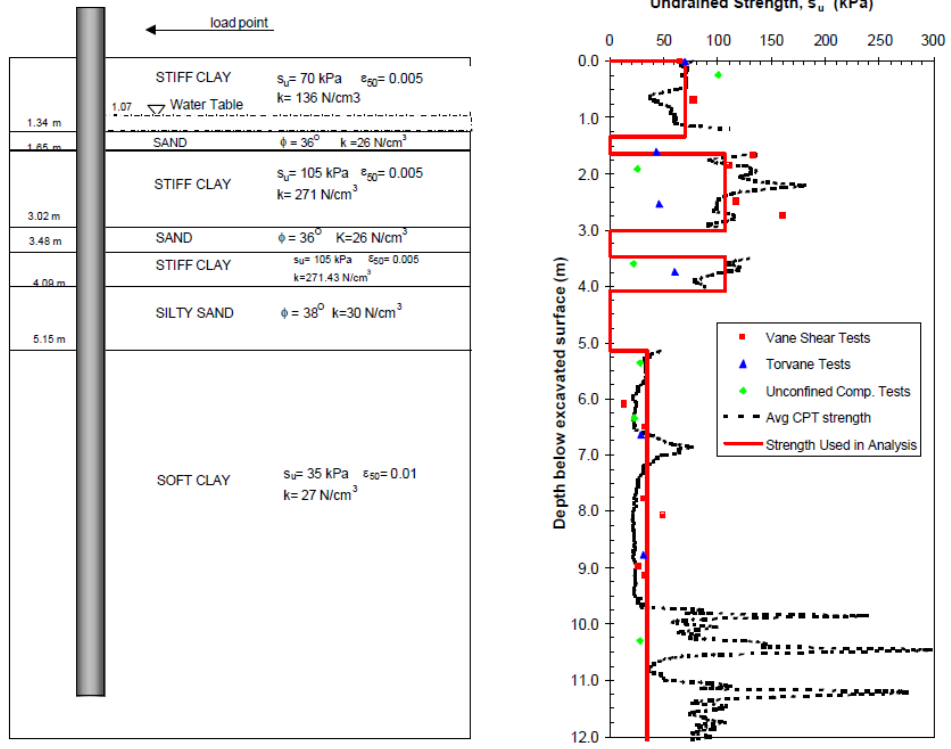
İki izole edilen tekil kazık ve farklı aralıklarda dört ayrı kazık grubunun üzerinde yanıl yük testleri gerçekleştirilmiştir. Bir kazık kapalı-uçlu 324 mm çaplı (9 mm et kalınlığı) çelik boru kazık, diğler kazık ise, açık-uçlu 610 mm çaplı (12,7 mm et kalınlığı) çelik boru kazıktır. Tekil kazık testleri kazık gruplarının davranışına bir karşılaştırmasını sağlamak gereklidir.

İdealize Zemin Profili

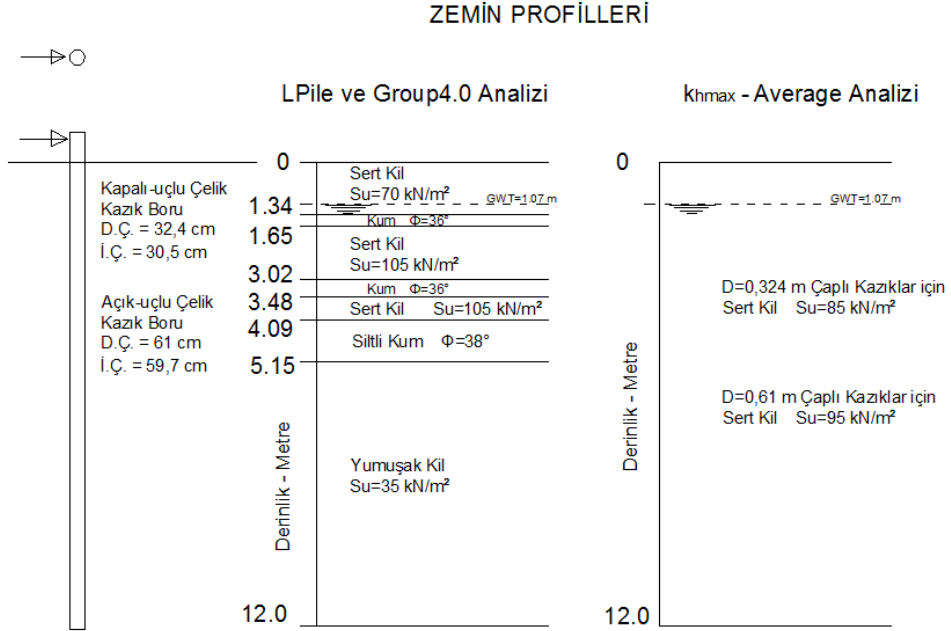
Arazi ve laboratuvar testlerinin sonuçlarına dayanarak, Şekil 5.9.'da gösterildiği gibi, bir idealize zemin profili kurulmuştur. Gerçek zemin profili, sert killlele doldurulan yüzey tabakası ve ara sıra siltli kum tabakaları ile oluşmuştur. Test süresinde, yeraltı suyu seviyesi yaklaşık olarak 1,07 m zemin yüzeyinin altında bulunmaktadır.

k_{hmax} -Ortalama analizi için idealize zemin profili

k_{hmax} -Ortalama yöntemi ile kazık testleri hesaplanmasında, sert kil ile doldurulmuş bir üniform zemin profili kullanılmıştır. Küçük çaplı ($D=0,324$ m) kazıkların yük deplasman-tepkisini hesaplamak için, drenajsız kayma mukavemeti değeri, $S_u=85$ kN/m²'dir, $D=0,61$ m çaplı olan kazıklar ise drenajsız kayma mukavemetin değeri, $S_u=95$ kN/m², hesaplamalarda varsayılmıştır. k_{hmax} -Ortalama analizi için yeraltı suyu seviyesi zemin yüzeyinin altında 1,07 m kabul edilir. Lpile ve k_{hmax} -Ortalama yöntemi için kazık ve zemin özellikleri Şekil 5.10.'da sunulmuştur.



Şekil 5.9. Analiz için seçilen idealize zemin profili ve mukavemet özellikleri



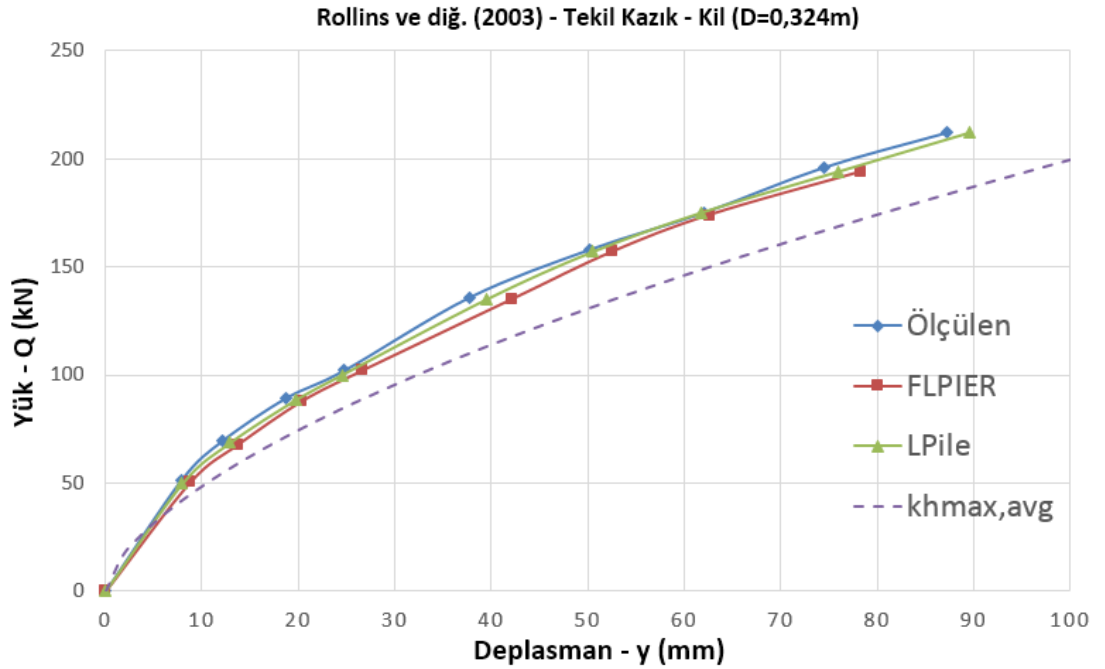
Şekil 5.10. Farklı yöntem için zemin özellikleri (D=0,324 m; D=0,61 m)

5.1.5.1. Tekil kazık (D=0,324m)

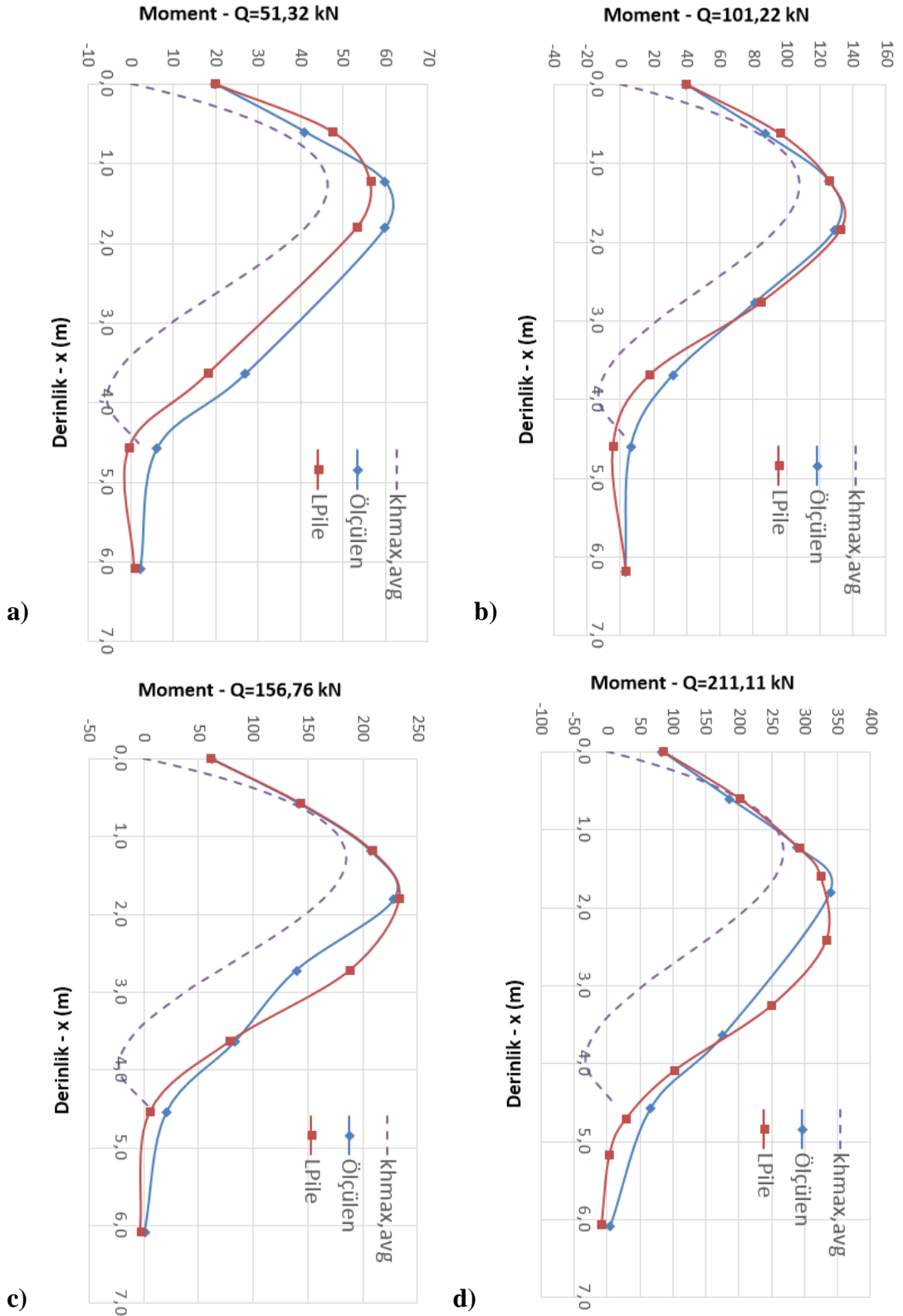
Bu testin yatay yük-deplasman ve moment-derinlik tepkilerinin sonuçları, aşağıdaki şekillerde gösterilir.

Şekil 5.11., ölçülen eğrileri ve önce verilen giriş parametreleri kullanılarak Lpile, FLPIER ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğrileri ile birlikte, yük-deplasman tepkileri gösterir. Ölçülen, Lpile ve FLPIER ile hesaplanan eğrilerin arasındaki uyum mükemmeldir.

Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi, $k_{hmax,ort}$ eğrisi, ölçülen ve diğer eğrilerin yaklaşık %12 oranında daha düşüktür. Bunun nedeni daha önceki testlerde belirtildiği gibi, k_{hmax} -Ortalama analizlerinde yanal yük-deplasman tepkisinin belirlenmesinde, üniform zemin profili kullanılmış olması olabilir, fakat, gerçek zemin profili farklı zemin özellikleriyle birkaç tabakadan oluşmuştur.



Şekil 5.11. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,324 m)



Şekil 5.12. Ölçülen moment eğrileri, Lpile ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğrileri ile birlikte derinliğe karşı: a) Q=51,32 kN, b) Q=101,22 kN, c) Q=156,76 kN, d) Q=211,11 kN

Eğilme momenti derinliğe karşı, L_{pile} ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğriler ve ölçülen eğriler birlikte, Şekil 5.19.'da gösterilmiştir. L_{pile} ile hesaplanan eğriler ve ölçülen eğriler arasındaki uyum çok iyidir.

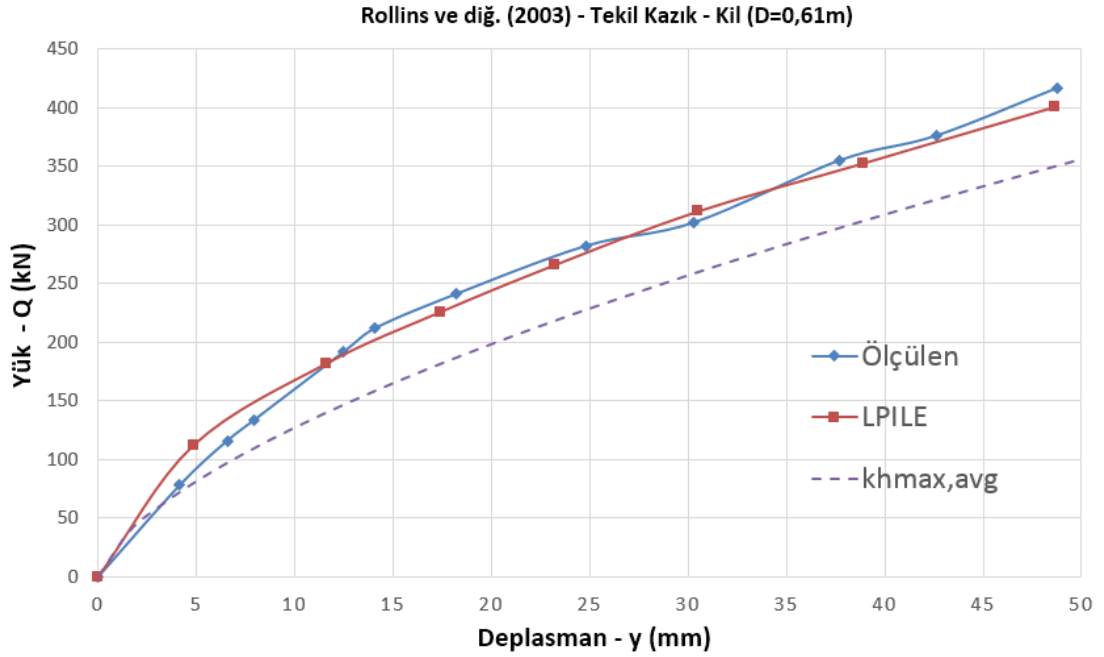
k_{hmax} -Ortalama analizi ile elde edilen eğriler incelendiğinde, küçük yatay yükler için ölçülen ve L_{pile} eğrileri ile iyi uyum içinde olduğu görülebilir. Yüksek yerlerde, $k_{hmax,avg}$ eğrileri ölçülen eğrilerden daha düşük çıkmaktadır. Bu örnek, k_{hmax} -Ortalama yöntemi sadece küçük yükler için eğilme momenti - derinlik tepkisini hesaplamak için güvenilir olduğunu gösterir.

5.1.5.2. Tekil kazık (D=0,61m)

Tek kazık (D=324 mm) analizinde tanımlanan zemin profili, 610 mm'lik tekil kazık analizi için de kullanılmıştır. Bu analiz için, geliştirilmiş zemin profili ve zemin özellikleri Şekil 5.9.'da sunulmuştur. Tekil kazık testi için, Şekil 5.13.'te bir fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Tekil kazık (D=0,61 m) yanal yük testi

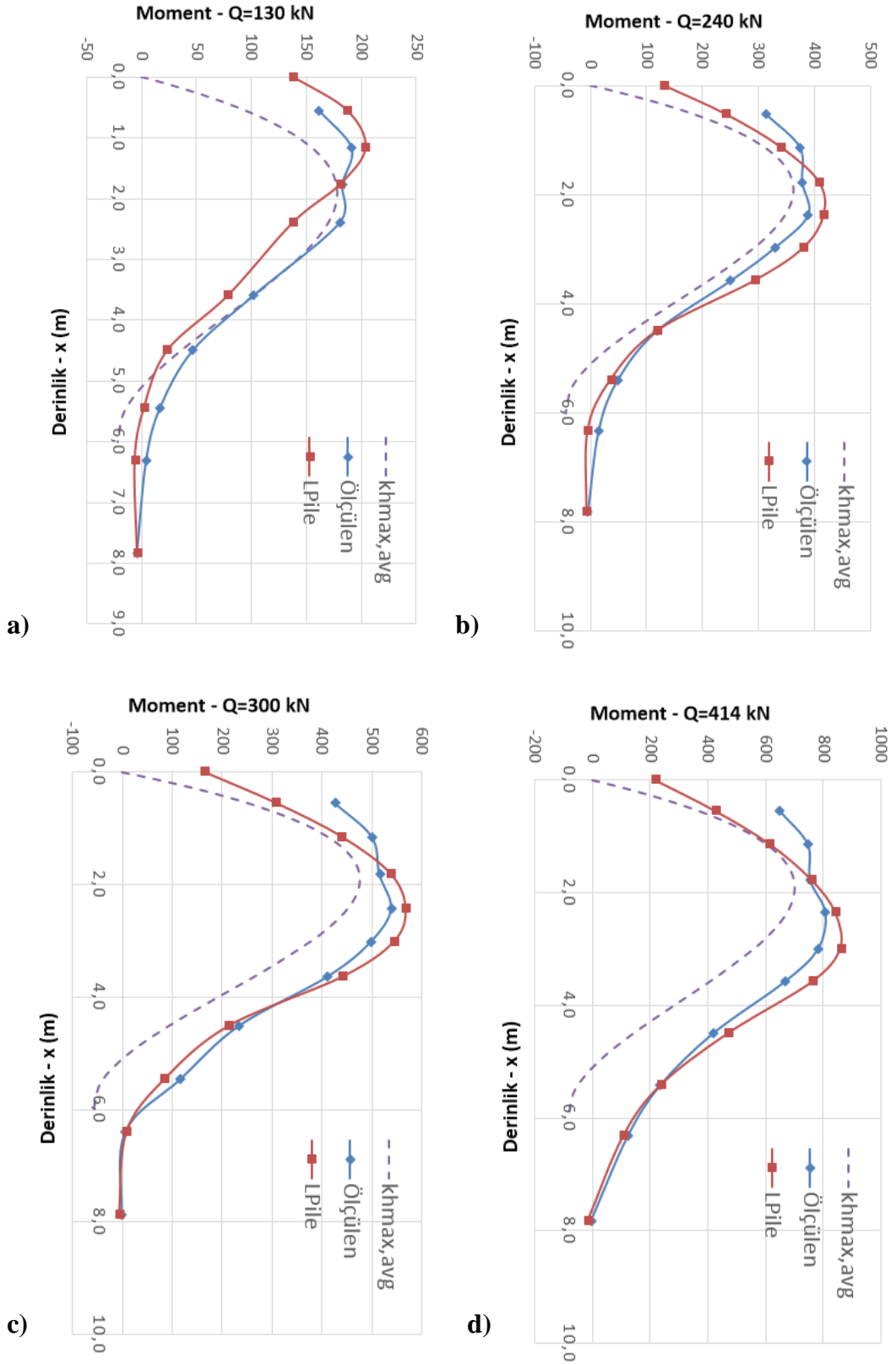


Şekil 5.14. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,61 m)

Tekil kazık testi için, LPile ve k_{hmax} -Ortalama analizi kullanılarak hesaplanan yük-deplasman eğrileri ölçülen eğri ile birlikte Şekil 5.14.'te karşılaştırılmıştır. LPile eğrisi, 12 mm'den daha küçük deplasmanlar için, ölçülen sonuçlara göre biraz daha yüksektir. Örneğin, 6,5 mm deplasman için, iki eğri arasında %16 oranında bir fark vardır. Ancak, 12 mm'den daha yüksek deplasmanlar için, bu iki eğri birbirine benzer ve farklılıklar genellikle %5'den daha azdır. Genel olarak, ölçülen ve hesaplanan tepkinin arasındaki uyum çok iyidir.

k_{hmax} -Ortalama analizi ile elde edilen eğri, 5mm deplasmana kadar ölçülen eğri ile iyi uyum içindedir, sonrasında, yüksek yükler için ölçülen deplasmanlar azalır. Bu test için, $k_{hmax,avg}$ eğrisi yaklaşık %16 oranında ölçülen eğrisinden daha düşük çıkmaktadır.

Birkaç Lpile ve k_{hmax} -Ortalama analizleri ile elde edilen moment-derinlik eğri, ölçülen eğriler ile birlikte Şekil 5.15.'te gösterilmiştir. Şekiller genel olarak çok benzerdir ve LPILE analizinde maksimum moment derinlikleri ölçülen derinliklerine yakındır. Ancak, k_{hmax} -Ortalama analizi ile hesaplanan maksimum moment derinlikleri ölçülen derinliklerine göre biraz daha düşüktür.



Şekil 5.15. Ölçülen moment eğrileri, Lpile ve k_{hmax} -Ortalama analizleriyle hesaplanan eğrileri ile birlikte derinliğe karşı: a) $Q=130$ kN, b) $Q=240$ kN, c) $Q=300$ kN, d) $Q=414$ kN

Ancak, LPile ile hesaplanan maksimum momentin ortalama derinliği ölçülen moment değerine yakın çıkar.

k_{hmax} -Ortalama analiz yöntemi maksimum momentleri biraz daha düşük hesaplanır, ancak, k_{hmax} -Ortalama analizinde uygun zemin profili kullanılmış olsaydı, hesaplanan ve ölçülen maksimum momentleri özellikle yüksek yük seviyelerinde, daha benzer olurdu. Her durumda, $k_{hmax,ort}$ momentleri ölçülen momentlerden daha sığ derinlikte sifıra yaklaşır.

5.2. Kile Gömülü Kazık Gruplarının Testleri

Toplam analiz edilen 10 kazık grubunun 5'i kile gömülmüştür. Kazık gruplarının tüm bilgileri, Tablo 5.4.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Kile gömülü kazık gruplarının test bilgileri

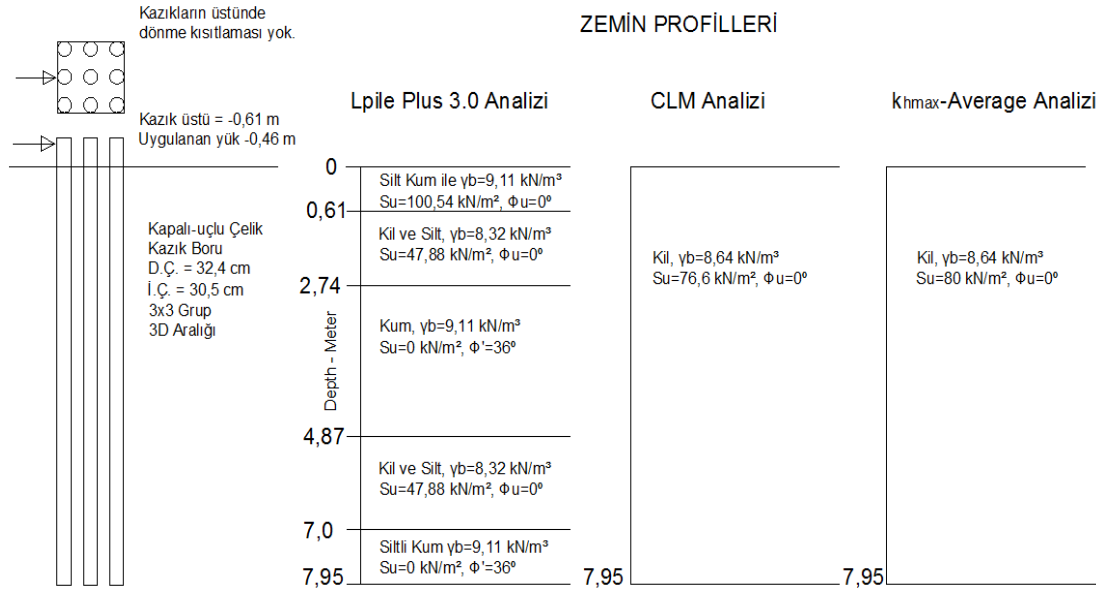
Kazık Çapı D (m)	Kazık Grubu	Kazık Rijitliği EI (kNm ²)	Drenajsız Kayma Mukavemeti Su (kN/m ²)	Yeraltı Suyu Seviyesi GWT (m)	e (m)	Referans
0,324	3x3	28600	80	ground level	0,46	Rollins ve diğ. (1998)
0,324	3x3	28600	85	1,07	0,39	Rollins ve diğ. (2003)
0,324	3x4	28600	85	1,07	0,49	Rollins ve diğ. (2003)
0,324	3x5	28600	85	1,07	0,5	Rollins ve diğ. (2003)
0,61	3x3	230000	95	1,07	0,46	Rollins ve diğ. (2003)

5.2.1. Kazık grubu 3x3 (3D kazık aralığı) – Rollins ve diğ. (1998)

Kısmen 5.1.1.'de tekil kazık analizinde kullanılan zemin profili, buradaki kazık grubu için de kullanılmıştır. Bu test için, 4 kazık için önerilen grup katsayıları kullanılmıştır. Bu kazık grubunun yanal yük-deplasman tepkisini hesaplamak için,

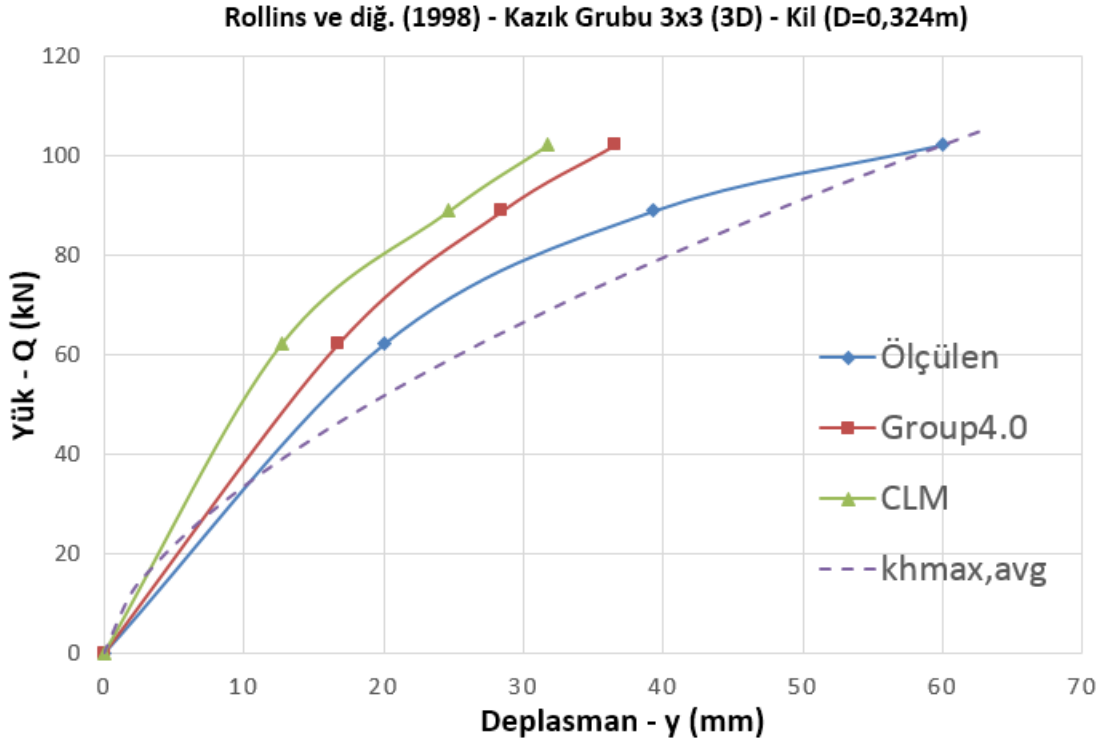
grup katsayısının değeri $G=0,6$ alınır. Zemin profilleri ve test sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Ölçülen ve k_{hmax} -Ortalama, CLM ve Group4.0© (Reese ve diğ., 1996) analizleri ile hesaplanan sonuçlarının karşılaştırılması, Şekil 5.17.'de gösterilmiştir. Bu durumda, kazık başlı sabitlenmiş değildi ve k_{hmax} -Ortalama, CLM ve Group4.0© analizleri serbest başlı koşullarını varsayılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.16. Farklı yöntem için zemin özellikleri ($D=0,324$ m)

Group 4.0© ve CLM sonuçlarını karşılaştırıldığında, Group 4.0© analizi ile hesaplanan sonuçlar ölçülen sonuçlar ile daha iyi uyum içindedir. k_{hmax} -Ortalama analizi ile hesaplanan sonuçlarını gözlemleyerek, ölçülen sonuçları ile iyi uyum olduğu görülebilir. Deplasmanlar 20-50 mm arasında, $k_{hmax,ort}$ eğrisi yaklaşık %12 oranında ölçülen eğrisinden daha düşük çıkmaktadır, fakat, 60 mm deplasman için, ölçülen ve $k_{hmax,ort}$ eğrileri örtüşür.



Şekil 5.17. Yanal yük–deplasman tepkisi (kazık grubu 3x3, aralık 3D, D=0,324 m)

Şekil 5.16.'da gösterildiği gibi, zemin profili, sığ derinlikte kum, silt ve kil içerir ve bu durumda, uygun bir ortalama zemin profilini belirlemek zordur. Bu testte, k_{hmax} -Ortalama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçların, kazık başındaki zemin koşullarının üniform olarak temsil etmeye çalışırken yaşanan zorluklardan etkilendiğini göstermektedir.

5.2.2. Kazık grubu testi - Rollins ve diğ. (2003)

Yanal yük testleri, farklı aralıklarda dört ayrı kazık grubunun üzerinde gerçekleştirilmiştir. 324 mm çaplı olan üç kazık grubu ve 610 mm çaplı bir kazık grubu yaklaşık 12 m zemin yüzeyinin altında bir derinliğe kadar gömülmüştür. Kısmen 5.1.5.'te tekil kazıklar için kullanılan aynı kazık ve zemin özellikleri, bu kazık grupları için de kullanılmıştır. Kullanılan kazık ve zemin özellikleri, Tablo 5.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Testlerdeki kazık ve zemin özellikleri

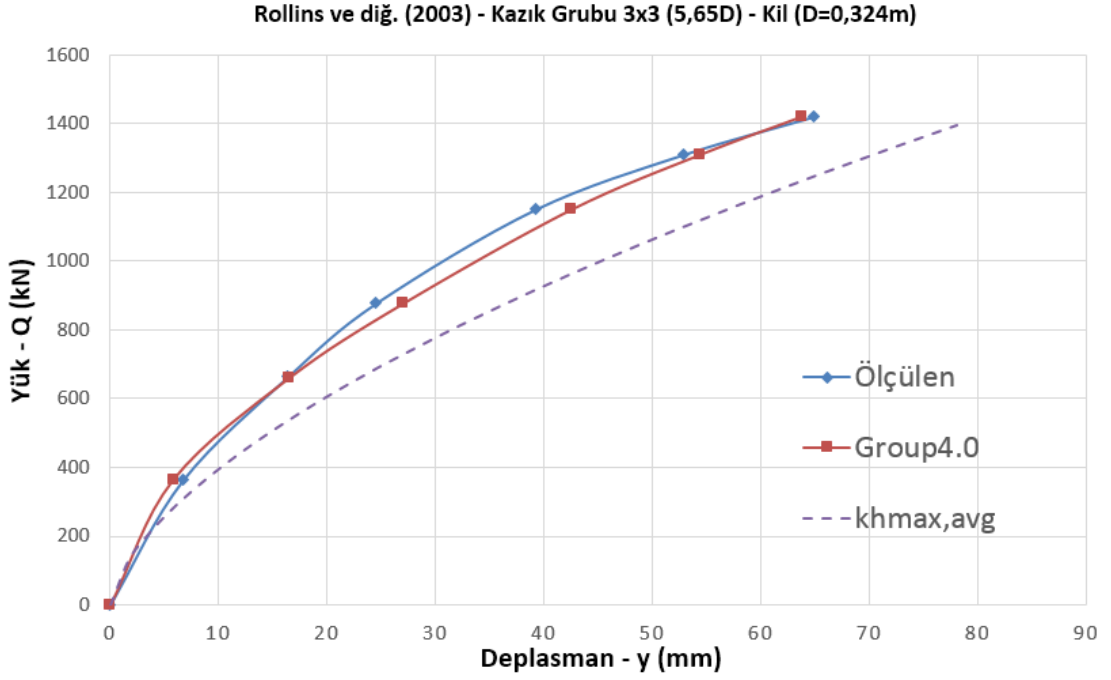
Kazık Çapı (m)	EI (kNm ²)	e (m)	S _u (kN/m ²)	GWT	Kazık Grubu	Kazık Aralığı (S/D)	e (m)	Grup Katsayıları (G)
0,324	28600	0,39	85	1,07	3x3	5,65	0,39	0,865
					3x4	4,4	0,48	0,74
					3x5	3,3	0,5	0,482
0,61	230000	0,495	95	1,07	3x3	3,0	0,46	0,6

5.2.2.1. Kazık grubu 3x3 (5,65D aralığı)

Gruptaki kazıklar, kapalı-uçlu çelik kazık borular 0,324 metre dış çapı ve 12,7 mm et kalınlığına sahiptir. Kazıklar, yaklaşık 12 metre derinliğe kadar gömülü durumdadır. Kazık özellikleri, tek kazıklar için verilenlerle aynıdır. Dokuz kazıktan oluşan bir kazık grubunun test kurulumu için, bir fotoğrafı Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Dokuz kazıktan oluşan kazık grubu için yatay yük testi



Şekil 5.19. Yanal yük–deplasman tepkisi (Kazık grubu 3x3, Aralık 5,65 D, D=0,324)

Kazık grubunun (3x3) ortalama ölçülen yük-deplasman eğrisi, k_{hmax} -Ortalama ve Group4.0© analizleri ile hesaplanan eğrileri ile birlikte, Şekil 5.19. gösterilmektedir. Testin yatay yük-deplasman tepkisini hesaplamasında, bu çalışmada yeni geliştirilen grup katsayıları kullanılır. Her durumda, Group4.0© ve ölçülen sonuçlarının arasındaki uyum çok iyi olduğu görülebilir ve belirli bir deplasman için, hesaplanan ve ölçülen yükün maksimum farkı %10 oranından daha azdır.

k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle elde edilen sonuçlar, ölçülen ve Group4.0© sonuçları ile uyum içinde değildir. Bu nedenle, $k_{hmax,ort}$ eğri yaklaşık %14 oranında ölçülen eğrisinden daha düşük çıkmaktadır. k_{hmax} -Ortalama yöntemini kullanarak bu kazık grubu analizi için, grup katsayısı $G=0,865$ kullanılmıştır.

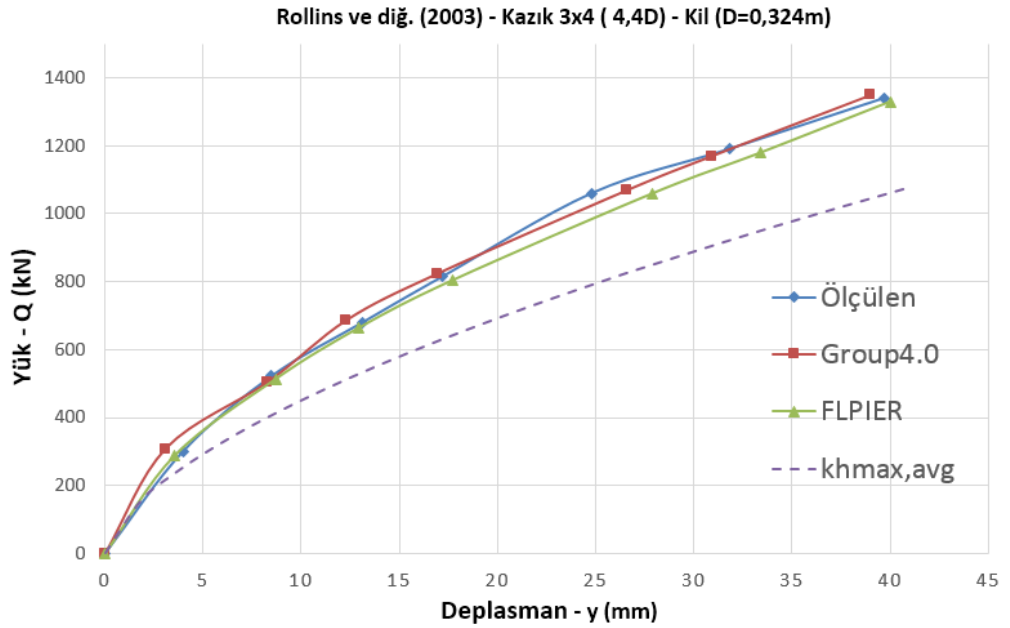
Bu kazık grubunun izole tekil kazık için gösterilen yatay yük-deplasman tepkisi Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi, $k_{hmax,ort}$ eğrisi ölçülen eğrisinden daha küçüktür, bu nedenle, aynı zemin ve kazık özelliklerinden dolayı, bu testte de $k_{hmax,ort}$ eğrisi ölçülen eğrisini hafife alır.

5.2.2.2. Kazık grubu 3x4 (4,4D aralığı)

Gruptaki kazıklar yaklaşık 12,2 m derinliğe kadar kapalı-uçlu gömülmüştür. Kazıklar, 324 mm dış çapına sahip olduğu ve bunların özellikleri daha önce açıklandığı tek bir çelik kazık boru gibi aynıdır. Test kurulumu fotoğrafı Şekil 5.21.'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Testi sırasında serbest başı 12-kazık grubu



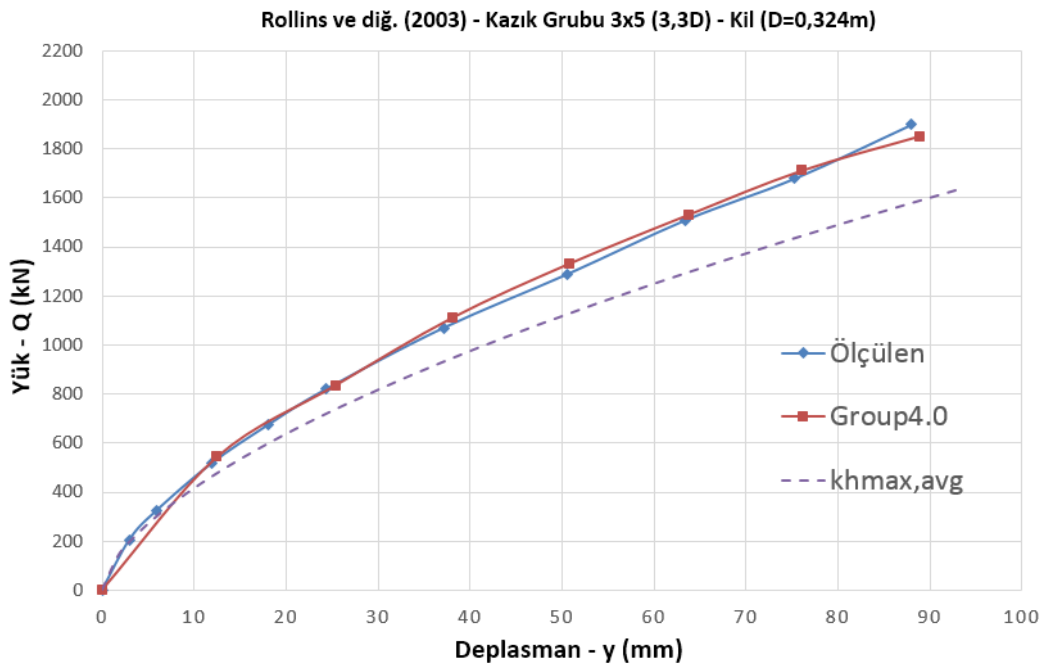
Şekil 5.21. Yanal yük–deplasman tepkisi (kazık grubu 3x4, aralık 4,4D, D=0,324m)

k_{hmax} -Ortalama, GROUP ve FLPIER kullanılarak hesaplanan yük-deplasman tepkileri ve toplam ölçülen grup yükü deplasmana karşı, Şekil 5.21.'de gösterilir. GROUP, FLPIER ve ölçülen sonuçlarının arasındaki anlaşması çok iyidir, ancak, GROUP analizi ile karşılaştırıldığında, belirli bir yük için FLPIER biraz daha yüksek deplasmanlar hesaplamak eğilimindedir. GROUP ve FLPIER programlarından hesaplanan yükler, ölçülen yüklerinden %10'dan daha az farklılık gösterir.

k_{hmax} -Ortalama analizi ile hesaplanan sonuçlarını gözlemleyerek, $k_{hmax,ort}$ eğrisi diğer eğriler ile iyi bir uyum içinde olmadığı görülebilir. Ayrıca, $k_{hmax,ort}$ deplasmanlar tüm yükler için ölçülenlerden daha büyük olduğu, daha doğrusu ölçülen eğrisinden yaklaşık %18 oranında farklı çıkmıştır. Bu kazık grubu için, k_{hmax} -Ortalama analizinde, grup katsayısının değeri $G=0,74$ olarak belirlenmiştir.

5.2.2.3. Kazık grubu 3x5 – (3,3D aralığı)

Gruptaki kazıklar, 0,324 metre dış çapı ve 9,53 mm et kalınlığına sahiptir. Kazıkların özellikleri, tekil kazık testi için belirlenen özelliklerine aynıdır. Kazıklar yaklaşık 12 m derinliğe kadar gömülmüştür. Gruptaki kazıklar 3x5 şeklinde düzenlenmiştir.



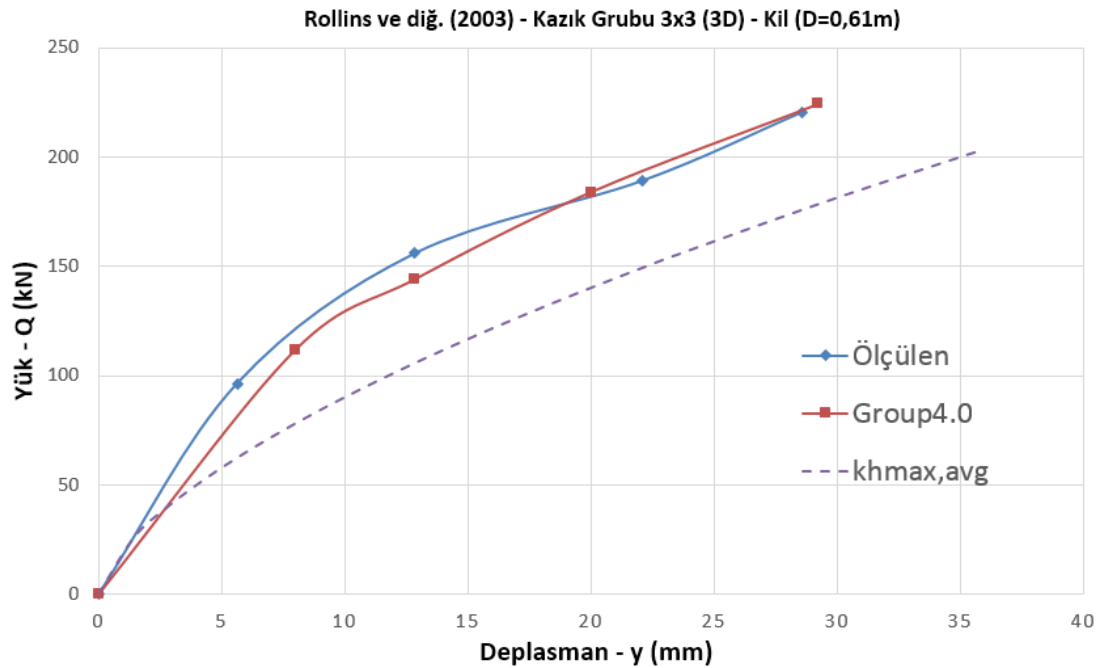
Şekil 5.22. Yanal yük-deplasman tepkisi (kazık grubu 3x5, aralık 3,3D, D=0,324 m)

k_{hmax} -Ortalama ve GROUP analizleriyle hesaplanan ve ölçülen yük-deplasman tepkileri Şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Bu test için, yük-deplasman tepkilerinin belirlenmesinde, yeni geliştirilen grup katsayıları kullanılmıştır. Her durumda, Group4.0© ve ölçülen sonuçların arasındaki uyum çok iyi olduğu görülebilir, ayrıca, hesaplanan ve ölçülen yükün maksimum farkı %10 oranından daha azdır.

k_{hmax} -Ortalama analizi ile yatay yük-deplasman tepkisini elde etmek amacıyla, bu kazık grubunun grup katsayısının değeri $G=0,482$ olarak kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar, Group4.0© ve ölçülen sonuçlar ile iyi uyum içinde değildir. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, $k_{hmax,ort}$ eğri, 12 mm deplasmana kadar ölçülen eğriyle iyi uyum içinde olduğu görülebilir, daha sonra yüksek yükler için, $k_{hmax,ort}$ deplasmanlar artmaya başlar. Ölçülen ve $k_{hmax,ort}$ eğrilerin arasındaki farkı, 80 mm deplasman için yaklaşık %16'dır.

5.2.2.4. Kazık grubu 3x3 – (3,0D aralığı)

Gruptaki dokuz kazık 610 mm dış çapına sahip ve 3x3 şeklinde düzenlenmiştir. Bu test için kazık aralığı 3D'dir.



Şekil 5.23. Yanal yük – deplasman tepkisi (kazık grubu 3x3, aralık 3D, D=0,61 m)

Kazık grubu (3x3) için, k_{hmax} -Ortalama ve Group4.0© analizleriyle hesaplanan yük-deplasman tepkileri ve ölçülen yük deplasmana karşı, Şekil 5.23.'te gösterilmiştir. Daha düşük deplasman seviyelerinde, Group4.0© sonuçları ölçülen yanal direncinden biraz daha küçük çıkmaktadır, ancak, yüksek deplasman seviyelerinde hesaplanan ve ölçülen eğrileri çok iyi uyum içindedir.

k_{hmax} -Ortalama analizinde, $G=0,6$ değeri grup katsayısının değeri olarak kullanılmıştır. Şekil 5.23. gözlemleyerek, $k_{hmax,ort}$ sonuçları ölçülen ve Group4.0© sonuçlarından farklıdır. Bu durumda da, $k_{hmax,ort}$ eğrisi, tüm yükler için diğer eğrilerden daha düşüktür ve $k_{hmax,ort}$ deplasmanlar ölçülenlerden yaklaşık %25 oranında daha büyüktür. Bunun nedeni kazık etrafındaki üniforma zemin profili kurulmasında var olan zorluklar ve grup katsayısının etkisinden dolayı olabilir.

6. k_{hmax} -ORTALAMA REHBERİ

6.1. k_{hmax} -Ortalama Kullanım Kılavuzu

k_{hmax} -Ortalama çalışma kitabı yanal yüklenmiş tekil kazık ve kazık grupları için bir Excel programında tasarlanmıştır. Bu program, yaklaşık olarak yatay yük-deplasman tepkisi ve basit kazık ve zemin özelliklerini kullanarak kazık uzunluğu boyunca diğer yükler moment, eğim, kayma yük, deplasman ve zemin reaksiyonu gibi belirlemek için kullanılabilir.

k_{hmax} -Ortalama çalışma kitabı, kil ve kum için iki elektronik tablo içerir. Örnekler Şekil 6.1., Şekil 6.2., Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'te gösterilmiştir. Kazık ve zemin özellikleri bloktaki sol üst köşesindeki levhalarda girilir. Sadece kırmızı renk ile işaretlenmiş alanlar değiştirilebilir, diğerleri ise otomatik olarak hesaplanır. Giriş parametrelerini açıklamak amacıyla, bir açıklayıcı metin de verilir.

Input Parameters for Piles in Sand		Water Correction	
Pile Properties		e (m)	water (m) Wc2
Dout (m)	0,406	0,00	0
Din (m)	0	d (m)	
L (m)	16	0,00	Applied Load on Pile
I (m ⁴)	0,0013337	β	Q (kN) M (kNm)
E (kN/m ²)	30000000	0,93	220,88 0
Calculated EI	40012,463	λ	
Selected EI	688755,26	0	$k_{hmax,avg}$ (kN/m ²)
T	1,856		28722
L/T	8,620		
Group coefficient		Computed Coefficient	
Number of rows	3	Selected Coefficient	
Pile spacing (S/D)	5,65	1,00	
Soil Properties		a' and b' coefficients	
Dr (%)	56	a'	0,011
		b'	0,700

a)

Input Parameters for Piles in Clay		Water Correction	
Pile Properties		e (m)	water (m) Wc2
Dout (m)	0,4	0	0
Din (m)	0	d (m)	
L (m)	12	0,000	Applied Load on Pile
I (m ⁴)	0,0012566	β	Q (kN) M (kNm)
E (kN/m ²)	200000000	0,93	211,41 0
Calculated EI	251327,41	λ	
Selected EI	38742	0	$k_{hmax,avg}$ (kN/m ²)
R	0,989		30700
L/R	12,139		
Group coefficient		Computed Coefficient	
Number of rows	3	Selected Coefficient	
Pile spacing (S/D)	3	0,6515	
Soil Properties		a' and b' coefficients	
Su (kN/m ²)	60	a'	0,036
		b'	0,552

b)

Şekil 6.1. Giriş parametreleri: a) kum için, b) kil için

INSTRUCTIONS AND DEFINITIONS	
UNITS:	Forces kN
	Length m
D_{out} - Outside pile diameter (circular) or width (noncircular)	
D_{in} - Inside diameter of pipe pile	
L - Pile length (m)	
I - Moment of inertia of pile	
E - Modul of elasticity of pile or drilled shaft	
T - Relative stiffness factor	
e - Distance from ground level to applied load	
d - Distance from ground level to the top of the pile	
β - Nondimensional fixity factor	
λ - Pile-head fixity factor	
S_u - Undrained shear strength	
D_r - Relative density	
k_{hmax,avg} - Average modulus of subgrade reaction	
W_c - Water correction factor	
a' and b' - Nondimensional coefficients to obtain k _{hmax,avg}	

Şekil 6.2. Talimat ve tanımlar

x (m)	Z	A _y	B _y	A _s	B _s	A _m	B _m	A _v	B _v	A _p	B _p
0,000	0,000	2,435	1,630	-1,716	-1,798	0,000	1,039	1,204	0,110	0,000	-0,034
0,020	0,022	2,391	1,592	-1,705	-1,770	0,027	1,037	1,177	0,093	-0,058	-0,064
0,040	0,045	2,347	1,554	-1,695	-1,742	0,053	1,034	1,150	0,076	-0,113	-0,093
0,060	0,067	2,304	1,517	-1,684	-1,714	0,079	1,032	1,123	0,060	-0,166	-0,120
0,080	0,090	2,261	1,481	-1,673	-1,687	0,104	1,029	1,097	0,044	-0,218	-0,146
0,100	0,112	2,219	1,445	-1,662	-1,659	0,129	1,026	1,071	0,028	-0,267	-0,170
0,200	0,224	2,015	1,272	-1,605	-1,527	0,243	1,010	0,945	-0,046	-0,483	-0,274
0,300	0,336	1,823	1,112	-1,546	-1,402	0,345	0,991	0,826	-0,112	-0,655	-0,350
0,400	0,448	1,642	0,964	-1,485	-1,282	0,435	0,969	0,713	-0,171	-0,785	-0,400
0,500	0,560	1,472	0,828	-1,422	-1,169	0,512	0,944	0,607	-0,222	-0,878	-0,427
0,600	0,672	1,312	0,703	-1,358	-1,061	0,578	0,916	0,507	-0,266	-0,939	-0,434
0,700	0,783	1,163	0,589	-1,292	-0,960	0,633	0,886	0,414	-0,304	-0,970	-0,425
0,800	0,895	1,024	0,486	-1,225	-0,864	0,677	0,853	0,327	-0,336	-0,976	-0,402
0,900	1,007	0,895	0,392	-1,158	-0,773	0,712	0,819	0,246	-0,361	-0,959	-0,366
1,000	1,119	0,775	0,308	-1,089	-0,688	0,738	0,782	0,171	-0,381	-0,924	-0,322
1,200	1,343	0,562	0,167	-0,951	-0,534	0,763	0,705	0,037	-0,404	-0,809	-0,212
1,400	1,567	0,382	0,058	-0,814	-0,399	0,758	0,624	-0,075	-0,409	-0,654	-0,088
1,600	1,791	0,234	-0,020	-0,678	-0,283	0,727	0,539	-0,166	-0,397	-0,477	0,037
1,800	2,015	0,114	-0,073	-0,545	-0,184	0,674	0,453	-0,238	-0,372	-0,296	0,151
2,000	2,239	0,020	-0,103	-0,419	-0,102	0,604	0,368	-0,292	-0,335	-0,125	0,247
2,200	2,462	-0,050	-0,113	-0,300	-0,035	0,521	0,285	-0,328	-0,289	0,027	0,318
2,400	2,686	-0,100	-0,108	-0,189	0,018	0,429	0,205	-0,349	-0,237	0,151	0,361
2,600	2,910	-0,131	-0,090	-0,090	0,058	0,333	0,131	-0,355	-0,181	0,241	0,374
2,800	3,134	-0,146	-0,063	-0,004	0,087	0,237	0,064	-0,347	-0,124	0,295	0,358
3,000	3,358	-0,149	-0,031	0,068	0,104	0,146	0,006	-0,326	-0,068	0,315	0,316

Şekil 6.3. Boyutsuz katsayıları A ve B

Valid for Ground Level			Calculations per Pile Depth					
deflection	sand	Q (kN)	MOMENT	SLOPE	SHEAR	Soil Reaction	Deflection per depth	
y (m)	kh	0	M (kNm)	S	V (kN)	p (kN)	y (m)	y(mm)
0,001	31265,7	44,24	0,00	-0,0041206	220,88	0	0,0160	16,00
0,002	19246,3	66,12	7,85	-0,0041083	217,98	-0,000009	0,0158	15,76
0,003	14490,5	83,66	15,62	-0,004096	215,10	-0,000018	0,0155	15,52
0,004	11847,49	98,85	23,30	-0,0040836	212,23	-0,000026	0,0153	15,29
0,005	10134,19	112,50	30,92	-0,0040712	209,37	-0,000035	0,0151	15,05
0,006	8919,948	125,05	38,45	-0,0040587	206,53	-0,000043	0,0148	14,82
0,007	8007,548	136,75	46,07	-0,0039953	192,55	-0,000083	0,0137	13,72
0,008	7292,983	147,76	53,69	-0,0039305	178,92	-0,000118	0,0127	12,67
0,009	6715,81	158,21	61,31	-0,0038644	165,65	-0,000150	0,0117	11,69
0,010	6238,328	168,18	68,93	-0,0037971	152,72	-0,000179	0,0108	10,77
0,011	5835,705	177,74	76,55	-0,0037285	140,15	-0,000205	0,0099	9,91
0,012	5490,872	186,94	84,17	-0,0036588	127,92	-0,000227	0,0091	9,09
0,013	5191,679	195,82	91,79	-0,0035881	116,03	-0,000246	0,0083	8,33
0,014	4929,224	204,42	99,41	-0,0035163	104,48	-0,000263	0,0076	7,62
0,015	4696,824	212,77	107,03	-0,0034435	93,26	-0,000277	0,0070	6,96
0,016	4489,358	220,88	114,65	-0,0033954	71,82	-0,000298	0,0058	5,77
0,017	4302,828	228,79	122,27	-0,0031442	51,66	-0,000309	0,0047	4,73
0,018	4134,066	236,50	129,89	-0,0029903	32,77	-0,000313	0,0038	3,84
0,023	3482,24	272,63	171,41	-0,0028343	15,11	-0,000310	0,0031	3,08
0,028	3034,293	305,58	212,93	-0,0026767	-1,33	-0,000301	0,0024	2,44
0,033	2704,634	336,13	254,45	-0,002518	-16,60	-0,000287	0,0019	1,90
0,038	2450,302	364,79	295,97	-0,0023585	-30,71	-0,000269	0,0015	1,46
0,043	2247,192	391,90	337,49	-0,0021989	-43,70	-0,000248	0,0011	1,09
0,048	2080,651	417,72	379,01	-0,0020396	-55,60	-0,000224	0,0008	0,79
0,053	1941,221	442,43	420,53	-0,0018811	-66,43	-0,000198	0,0006	0,56
0,058	1822,504	466,18	462,05	-0,0014914	-89,02	-0,000128	0,0002	0,18
0,063	1720,005	489,09	503,57	-0,0011173	-105,55	-0,000060	0,0000	0,02

Şekil 6.4. Hesaplanan sonuçlar

6.1.1. Birimler

Analizde kullanılacak kazık ve zemin özelliklerinin birimleri kullanıcı girer. Bu özelliklerin hepsi tutarlı birimleri ile girilmeli, ve hesaplanan deplasman ve momentler de tutarlı birimlerle ifade edilir. Bu giriş birimleri ile, kazık deplasman değerleri metre olarak hesaplanmış olduğu fakat, milimetre olarak görüntülenir ve eğilme momentleri kilonewton metre olarak ifade edilmiştir.

6.1.2. Zemin mukavemeti

Yanal yük-deplasman tepkisini hesaplamak için, belirli bir kazık için, hangi zemin tipine gömüldüğü belirlenmesi gerekir. Zemin kil ya da kum ise, bu zemin

özelliklerinin tanımlanması için gereklidir. Kil elektronik tablosunda, zemin mukavemeti drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ile karakterizedir. Kum elektronik tablosunda, zemin mukavemeti görelî yoğunluk (D_r) ile karakterizedir.

6.1.3. Birim ağırlık

Kumun bağıl yoğunluğu ve kilin drenajsız kayma mukavemeti zemin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmış olduğu için, kum ve kilin birim ağırlığı analizlerde gerekli değildir.

6.1.4. Kazık özellikleri

Kazık dış çapı (ya da dairesel olmayan profiller için kazık genişliği), kullanıcı tarafından girilir. Dairesel boru kazıklar için kullanıcı iç çapı da girer, ve elektronik tablo atalet momentini hesaplar. Delme kazıklar ise, kullanıcı iç çapı için sıfır girer.

Ep kazık malzemenin elastisite modülüdür. Çelik için $E_s=200000000$ kN/m²'dir. Hiçbir veri mevcut değilse, beton elastisite modülü $E_c=30000000$ kN/m² olarak tahmin edilebilmektedir (Halliday, Resnick, Walker, 1996).

Kazık uzunluğu, analiz edilen kazıklar için k_{hmax} -Ortalama yöntemi uygun olup olmadığını belirlemek için gereklidir. Kazık uzunluğu (L) ve bağıl rijitlik faktörü (T) oranı 5'ten daha büyük olduğunda, kazık uzun bir kazık olarak kabul edilir. Bu, kum içindeki kazıklar için de geçerlidir ($L/T>5$), ancak kil içindeki kazıklar için bu oran 4'ten daha büyüktür, ($L/T>4$). Kazık L/T değeri, gösterilen minimum değerinden daha büyük olmadığı durumda, hesaplanan deplasmanlar çok küçük ve hesaplanan momentler çok büyük olma eğiliminde olacaktır.

6.1.5. Su düzeltme faktörü

Yeraltı suyunun derinliği kazıkların yanal yük-deplasman tepkisinin üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve aynı zamanda yatay yatak katsayısı modülü (k_h) değerine etkiler. Böylece, su zemin yüzeyinin altında mevcut ise, k_h değerini hesaplamak için,

katsayısı W_c (su düzeltme faktörü), dahil olması gerekmektedir. Kullanıcı zemin yüzeyinin altında yeraltı suyunun mesafesi girer ve program, Bölüm 2'de açıklanan Denklem (2.17) kullanarak, su düzeltme faktörü hesaplar. Elde edilen W_c değeri, yatay yatak katsayısı modülü (k_h) değerini düzeltmek için kullanılır.

6.1.6. Kazık grubunun geometri

Belirli bir kazık grubunda uygun olan bir grup katsayısını belirlemek amacıyla, satır sayısı ve satır arasındaki boşluğu (kazık çapları olarak ifade edilmiştir) girilir. Bunlar, kazık grubunu analiz için karakterize eder. Küçük kazık grupları için, aynı zamanda 4 ve 6 satır veya daha az olan kazık grubu için grup katsayıları hesaplanmaktadır. Bu grup katsayıları, yatay yatak katsayısı modülü (k_h) değerini düzeltmek için de kullanılır. Her satırda kazıkların sayısı gerekli değildir.

6.1.7. Hesaplanan sonuçlar

A_y ve B_y katsayıları, derinlik katsayısının (Z) bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Bunlar, kazık derinliğine göre yükü hesaplamak için kullanılır. Bu katsayılarının hesaplanan değerleri $Z=3,0$ 'e kadar kullanılabilir, veya kazık uzunluğu $3T$ 'den az olduğu durumda, sonrasında, hesaplama sırasında, denklemler hataları açıkça göstermektedirler.

6.2. Örnek Sonuçları

İki kazık testinin k_{hmax} -Ortalama yöntemiyle hesaplanan sonuçları, aşağıdaki şekillerde sunulacaktır. Bu kazık testleri, Bölüm 4'te ve Bölüm 5'te daha önce açıklanmıştır.

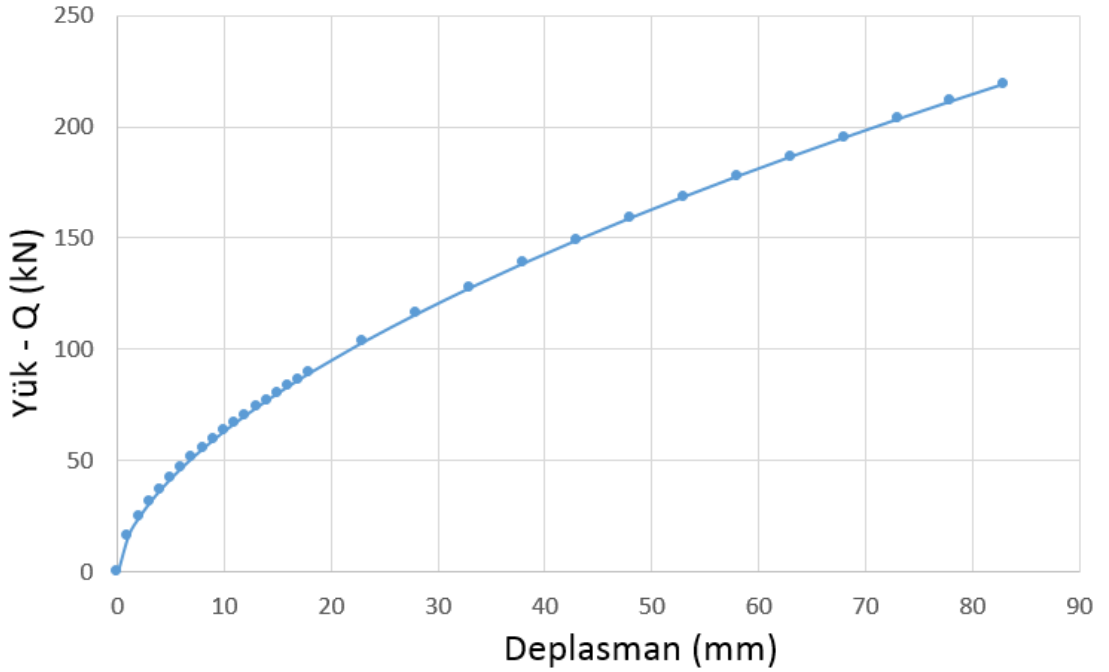
6.2.1. Kile gömülü kazık

Kazık ($D=0,4$ m, $L=12$ m) orta sert kile ($S_u=60$ kN/m²) gömülmüştür. Kazık rijitliği, $EI=38742$ kNm², yeraltı suyu zemin yüzeyinde rapor edilmiştir ve yanal yük zemin

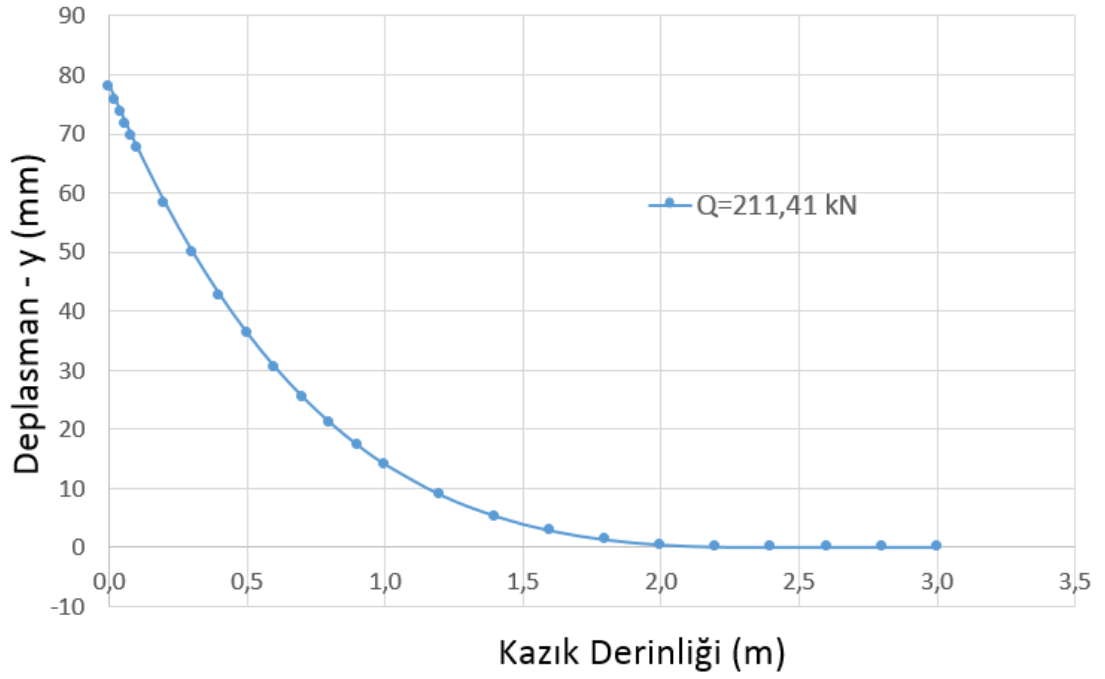
yüzeyinde uygulanmıştır. Bu kazık testi, Reuss ve diğ. (1992) tarafından analiz ve tarif edilmiştir.

Belirli bir deplasman değerleri (y) için, yatay yükler (Q) hesaplanabilir. Ayrıca, belirli bir yanal yük değeri (Q) için, boyutsuz A_y ve B_y katsayılarını kullanarak, kazık boyunca herhangi bir noktasında kazık deplasmanının (y) hesaplanması mümkündür (Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.).

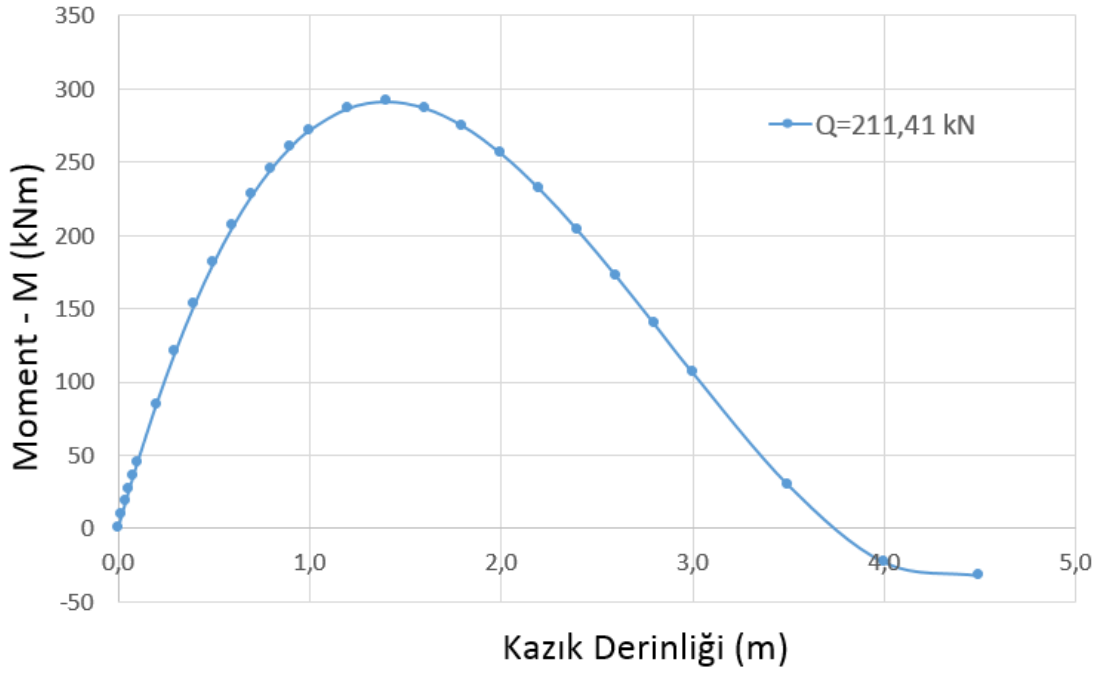
Buna ek olarak, belirli bir yatay yük (Q) için, kazık boyunca A ve B katsayıları kullanılarak, eğim, (S), moment (M), kayma (V) ve zemin reaksiyonu, (p) gibi diğer yükler de hesaplanabilirler. k_{hmax} -Ortalama çalışma kitabını kullanarak, yatay yük ($Q=211,41$ kN) ve ona göre bir deplasman değeri ($y=78$ mm) için, diğer yükler de hesaplanabilir ve aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır.



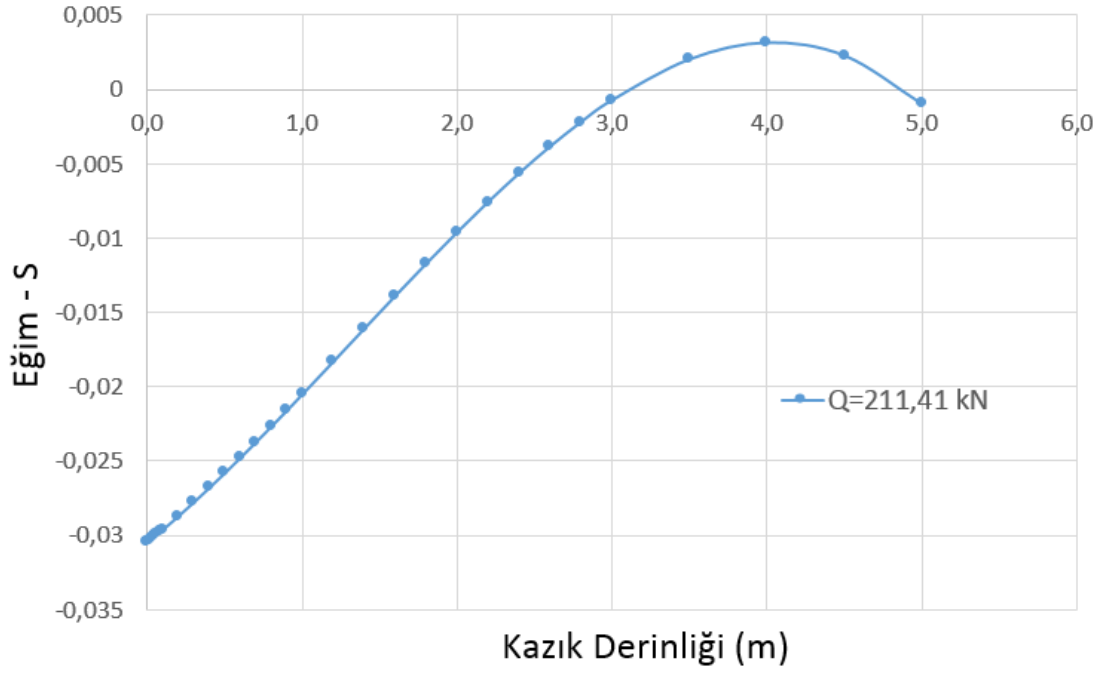
Şekil 6.5. Yanal yük – deplasman tepkisi ($D=0,4$ m, $L=12$ m)



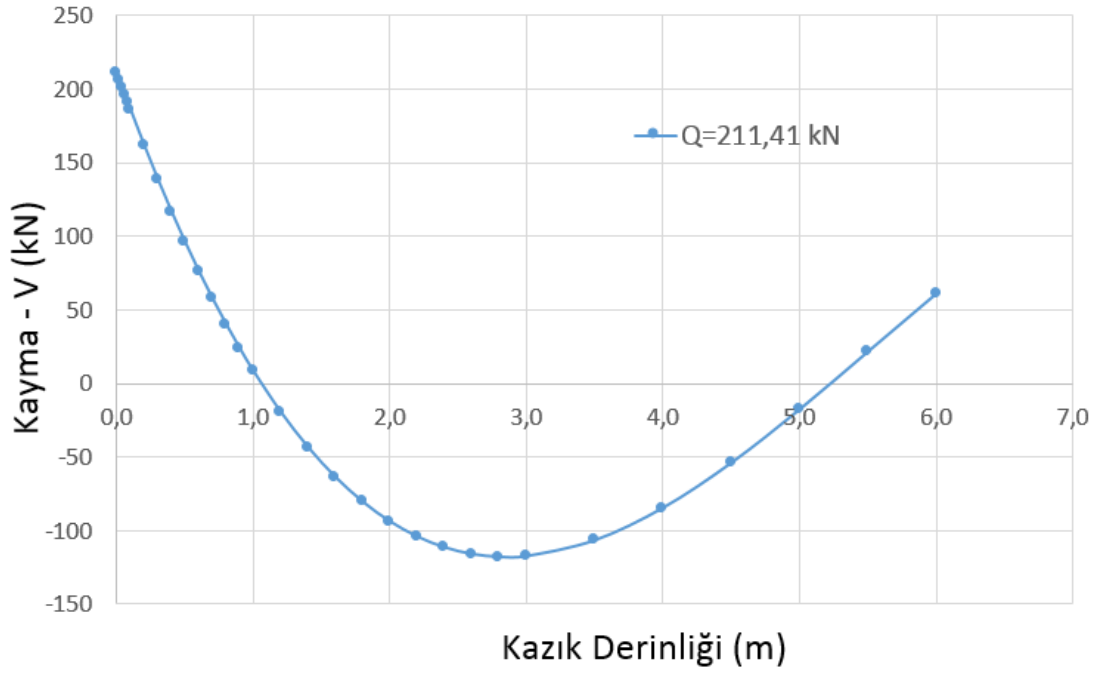
Şekil 6.6. Derinlik boyunca kazık deplasmanı ($D=0,4 \text{ m}$, $L=12 \text{ m}$)



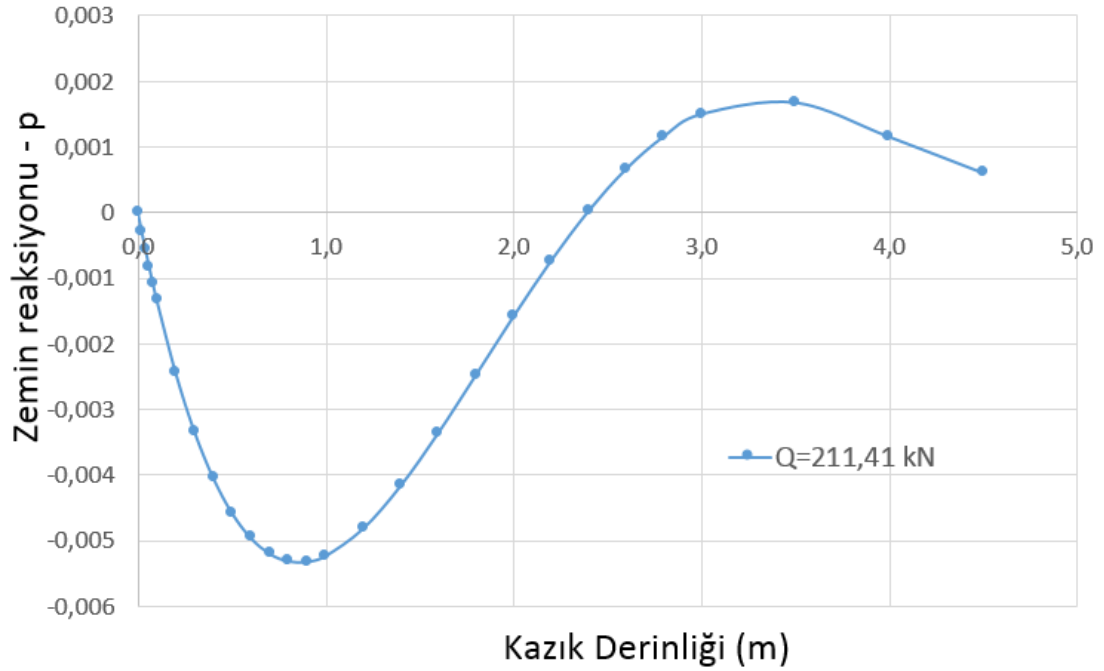
Şekil 6.7. Moment – kazık derinliği ($D=0,4 \text{ m}$, $L=12 \text{ m}$)



Şekil 6.8. Eğim – kazık derinliği (D=0,4 m, L=12 m)



Şekil 6.9. Kayma yük – kazık derinliği (D=0,4 m, L=12 m)



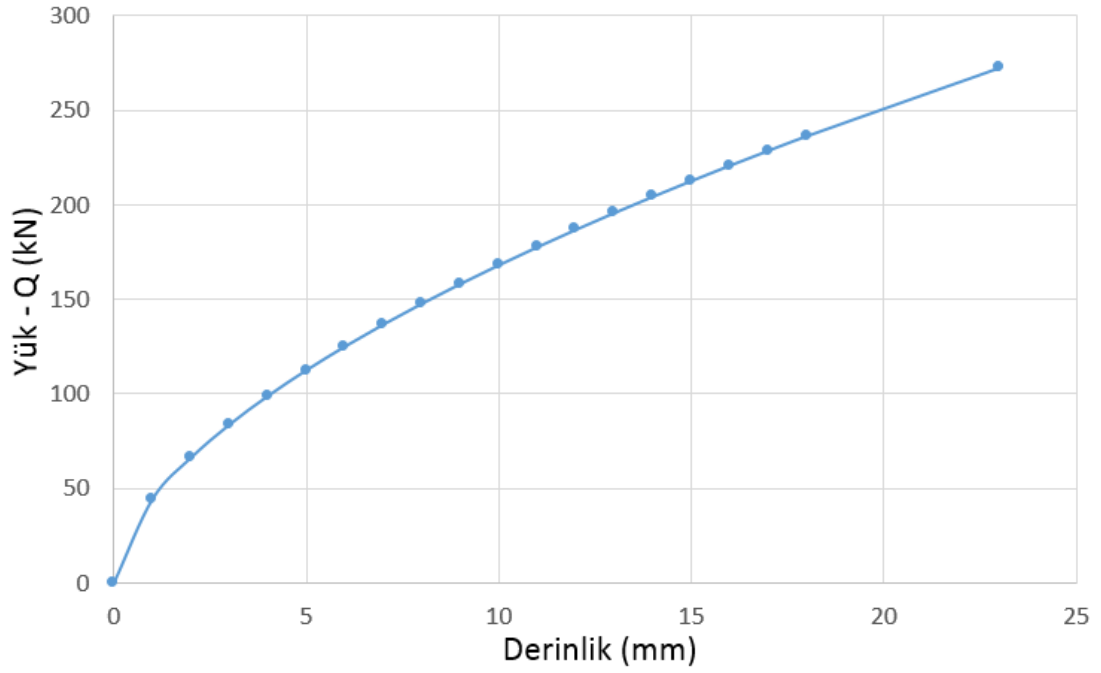
Şekil 6.10. Zemin reaksiyonu – kazık derinliği (D=0,4 m, L=12 m)

6.2.2. Kuma gömülü kazık

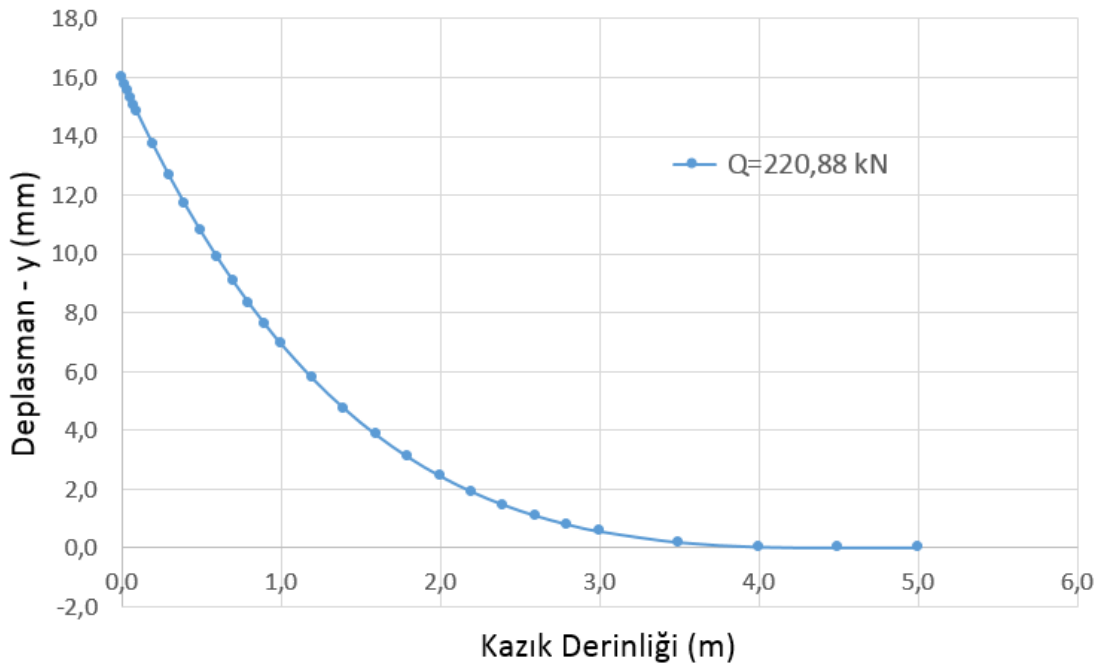
Kazık (D=0,406 m, L=16 m) orta yoğun kuma ($D_r=56\%$) gömülmüştür. Kazık rijitliği, $EI=688755 \text{ kNm}^2$ ve yeraltı suyu zemin yüzeyinde rapor edilmiştir. Bu test için, yanal yük zemin yüzeyinde uygulanmıştır. Bu kazık testi, Rollins ve diğ. (2005) tarafından analiz edilmiş ve tarif edilmiştir.

Belirli bir deplasman değerleri (y) için, yatay yükler (Q) hesaplanabilir. Ayrıca, belirli bir yanal yük değeri (Q) için, boyutsuz A_y ve B_y katsayıları kullanarak, kazık uzunluğu boyunca herhangi bir noktada kazık deplasmanı (y) hesaplamak mümkündür (Şekil 6.11. ve Şekil 6.12.).

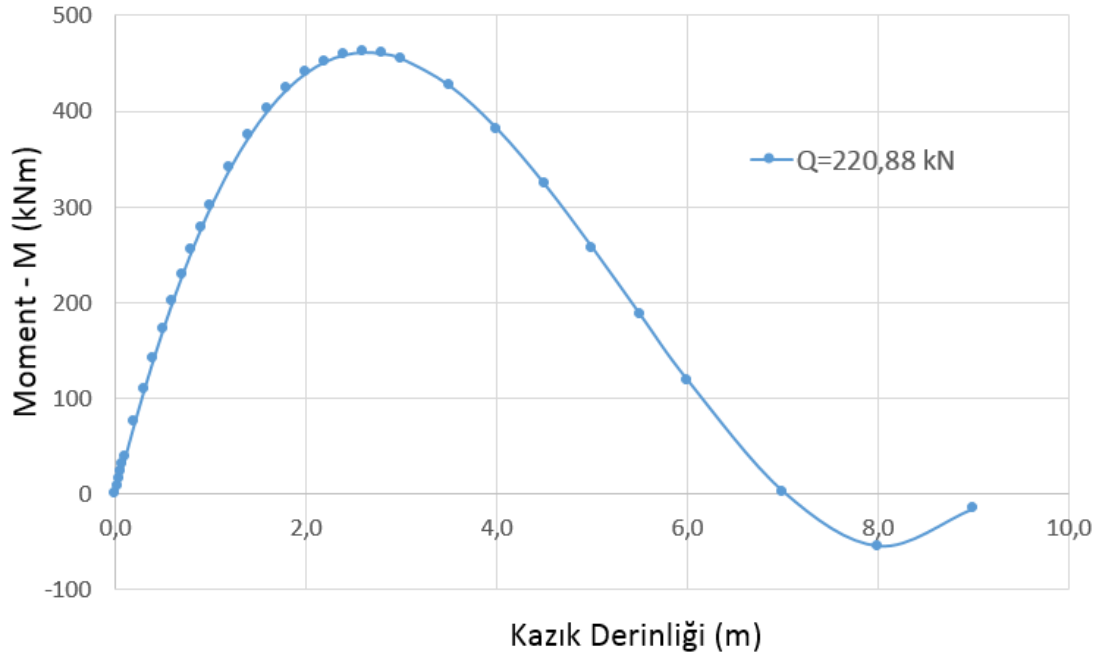
Buna ek olarak, belirli bir yatay yük (Q) için, kazık boyunca A ve B katsayıları kullanılarak, eğim, (S), moment (M), kayma (V) ve zemin reaksiyonu, (p) gibi diğer yükler de hesaplanabilir. k_{hmax} -Ortalama çalışma kitabını kullanılarak, yatay yük ($Q=220,88 \text{ kN}$) ve ona göre bir deplasman değeri ($y=16 \text{ mm}$) için, diğer yükler de hesaplanabilir ve aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır.



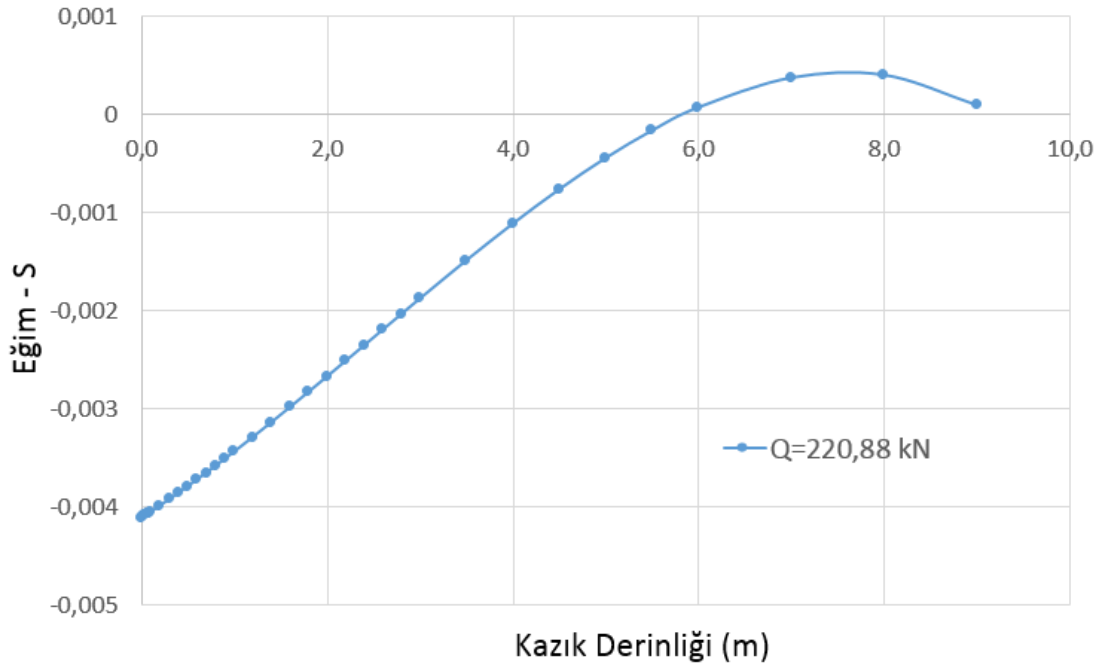
Şekil 6.11. Yanal yük – deplasman tepkisi (D=0,406 m, L=16 m)



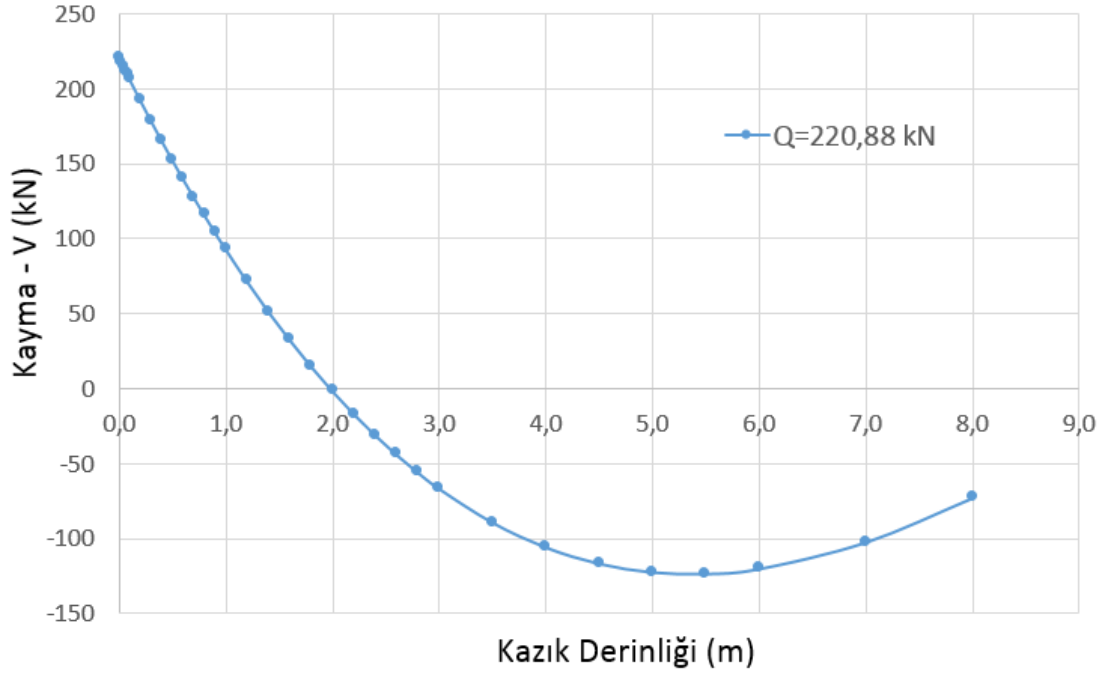
Şekil 6.12. Deplasman – kazık derinliği (D=0,406 m, L=16 m)



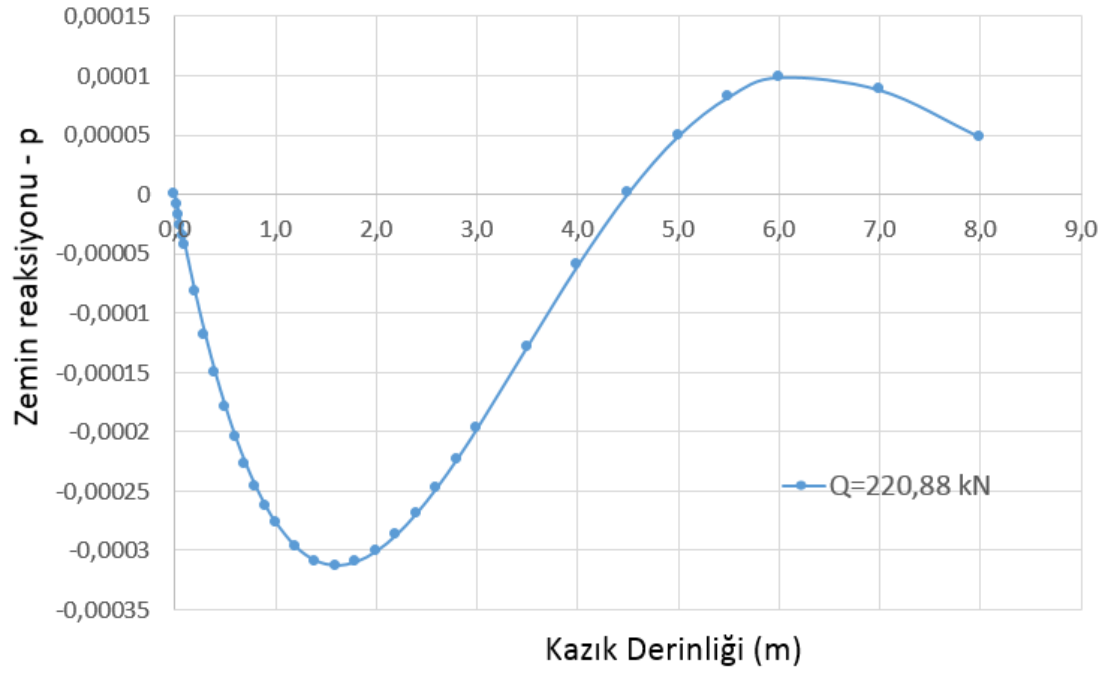
Şekil 6.13. Moment – kazık derinliği (D=0,406 m, L=16 m)



Şekil 6.14. Eğim – kazık derinliği (D=0,406 m, L=16 m)



Şekil 6.15. Kayma yük – kazık derinliği (D=0,406 m, L=16 m)



Şekil 6.16. Zemin reaksiyonu – kazık derinliği (D=0,406 m, L=16 m)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

$k_{hmax,ort}$ analiz yönteminin farklı zemin koşullarına uygulanabilirliği bu çalışmanın amaçlarından biriydi ve ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Aynı zamanda yöntemin uygulanabilirliğinin farklı kazık ve farklı yükleme durumları için göz önünde bulundurulmasında fayda vardır. Bu bölümün amacı, yöntemin uygulanabilirliği ve yöntemi kullanarak elde edilen sonuçları özetlemek ve üzerinde yorum yapmaktır.

Aşağıdaki sonuçlar bu araştırmadan elde edilmiştir:

- k_{hmax} -Ortalama yöntemi ($k_{hmax,ort}$), tekil kazık ve kazık gruplarının yanıl davranışının tahmin edilmesi için Kumar (1993) ve Prakash and Kumar (1996) tarafından önerilen kazık yönteminden türevlenip elde edilmiştir.
- Bu basit yöntem girdi parametreler olarak kazık çapı (D), kazığın elastisite modülü (E), atalet momenti (I) gibi kazık özellikleri ve drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ve bağıl yoğunluk (D_r) gibi zemin özellikleri gerektirmektedir. Aynı zamanda, kazıkların yanıl davranışının tahmin edilebilmesi yeraltı suyunun seviyesi belirlenmesi gerekmektedir.
- Yatay yatak katsayısı (k_h) kumların bağıl yoğunluğuna ve killerin drenajsız kayma mukavemetine oldukça bağlıdır. Yer altı suyu tablasının konumu da yatay yatak katsayısına etki etmektedir.
- Kumlar için $k_{hmax,ort}$ değerleri gerçekte kullanılabilmesi için farklı bağıl yoğunluklar için hesaplanmış, killer için ise, $k_{hmax,ort}$ değerleri farklı drenajsız kayma mukavemetleri için hesaplanmıştır.

- Üstelik, kazık tipi ve kazık çapının da $k_{hmax,ort}$ değerlerine küçük etkileri vardır, çünkü kazığın rijitliği (EI), boyutsuz a' ve b' katsayılarına etkileri vardır.
- $k_{hmax,ort}$ yaklaşımı, kazık grubunun eğilmesi ve maksimum momentini tahmin edebilme amacıyla tekil kazığın eğilmesini büyütme için kullanılabilir. Büyütme faktörleri grubun içinde kazık sayısına, kazıklar arası boşluklara ve grup katsayılarına bağlıdır. Grup katsayıları ise grubun boyutuna ve kazıklar arası boşluklara bağlıdır.
- Kumda ve kilde olan kazıklar için deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması çalışan yükler altında çoğu durum için oldukça büyük uyum göstermektedir. Az uyuma elde edildiği bazı durumlarda, analizde kullanılan zeminin özelliklerinin saptanması zor olduğu için uyumamaya neden olabilmektedir. Genel olarak, karşılaştırmalar makul bir uyum göstermiştir.
- Kumlarda olan kazıklar için, $k_{hmax,ort}$ yöntemi kullanarak elde edilen sonuçlar ölçülen sonuçlar ve tanıtılan başka yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile yakındır. Bu yöntemi kumlar için kullanarak elde edilen maksimum yük - deplasman çiziminin varyasyonu yaklaşık %22dir.
- Killerde olan kazıklar için, önerilen yöntem diğer yöntemlere oldukça yakın yükler tahmin etmekte, fakat çoğu durumda ölçülen sonuçlar %15 eksik değerlendirilmektedir, bu durumda yük-ötelenme sonuçlarında maksimum varyasyon yaklaşık %25dir.
- Önerilen yöntemin en büyük avantajı, kumlar için bağıl yoğunluğu ve killer için drenajsız kayma mukavemeti gibi sadece bu basit zemin parametreleri bilinip yük-ötelenme eğrilerini ve kazık derinliği başına düşen başka yükleri tahmin edebilmesidir.
- Önerilen yöntem daha mantıklıdır ve kullanılması çok kolaydır. Diğer yaklaşımlara göre k_{hmax} yaklaşımı kendi basitliğinden ve çok girdi veri gerektirmediğinden dolayı daha avantajlıdır.

- $k_{hmax,max}$ ve $k_{hmax,min}$ değerleri kullanarak, üst ve alt sınır hesaplamaları da mümkündür.

Bu çalışmada anlatılan k_{hmax} -Ortalama yöntemi, zemin hattı eğilmeleri çok iyi hassasiyetle ve eğilme momentleri iyi bir hassasiyetle tahmin etmek için kullanılabilir. Baş üstü işaretler için temellerin tasarımına dayanarak, eğilme moment en önemlisidir, çünkü eğilme momentine karşı dayanımı yetersiz ise temel çökecektir. Burada tanıtılan yöntem aynı zamanda yanal yükü etkisinden elde edilen momenti tahmin etmek için de uygulanabilmektedir.

Belli bir analiz yöntemin uygulanabilip uygulanamayacağı koşullar, kazık temeller ve kazıklardan desteklenen yapıların tasarımcıları önemli bir şekilde ilgilendirmektedir. 1. Bölümde yanal yüklenmiş kazıklar için anlatılan analiz yöntemlerden, bazıları çok dar bir zemin, kazık ve yük aralığında uygulanabilirken, diğerleri çok daha geniş bir aralığa güvenli bir şekilde uygulanabilmektedir. k_{hmax} -Ortalama analiz yöntemi, zemin, kazık ve yükleme durumunun çeşitliğine göre ortalarda bir yer almaktadır.

Genellikle, k_{hmax} -Ortalama yöntemi yanal yüklenmiş tek kazık ve kazık gruplarının davranışının değerlendirilmesinde uygulanabilmektedir. Bu araştırmada tanıtılan sonuçlara göre, herhangi bir değişiklik tavsiye edilememektedir.

7.2. İleri Çalışmalar İçin Öneriler

İzleyen öneriler yanal yüklenmiş kazıklar alanında, ileride yapılacak araştırmalara ilişkin yapılmıştır:

- Tam ölçek yanal yüklenmiş kazıkların davranışı hakkında sürekli bilgi edildiğine göre yöntem geliştirilebilir. En önemli gelişmeler, kazık etrafındaki zeminin davranışını daha hassas bir şekilde yansıtan zemin ölçütlerinin geliştirilmesini içermekte olacaktır.

- k_{hmax} -Ortalama yaklaşımı kullanılarak büyük çaplı kazıklar için elde edilen sonuçlar, ölçülen sonuçları çok farklı tahmin ettiğinden dolayı, farklı zeminlerde 80 ile 120cm arası büyük çaplı kazıklar için, kazık davranışına kazığın çapının etkisini belirleme amacıyla aletli deneyler yapılması gerekmektedir.

- EI kazık rijitliğine bağlı olan boyutsuz a' ve b' katsayılarının varyasyonunu değerlendirme amacıyla, kumlara ve killere gömülü kazıklar için daha fazla test sonuçları gerekir, aynı zamanda, bu katsayıları daha hassas bir şekilde değerlendirmek için daha kaliteli laboratuvar deneyleri gerekmektedir.

Kazıkların yanal kapasitesini hesaplamak için teorik çözümler mevcuttur. Fakat, tasarım parametrelerinin ve özellikle, destekleyen zeminin özelliklerinin seçilmesi tecrübe ve iyi bir mühendislik hükmü gerektirmektedir. Yanal yüklenmiş kazıkların testin kullanımının artışı ile büyük bir veri zenginliği mevcut olacaktır. Böylece önerilen yöntem gelişecek belki de yeni bir yönteme yol açabilecektir.

KAYNAKLAR

Ashour M., Norris G., Elfass S., Analysis of Laterally Loaded Long or Intermediate Drilled Shafts of Small or Large Diameter in Layered Soil, *Department of Civil & Environmental Engineering University of Nevada Reno*, CA04-0252, 182-213, 2008.

Basu D., Salgado R., Prezzi M., Analysis of Laterally Loaded Piles in Multilayered Soil Deposits, *Joint Transportation Research Program*, FHWA/IN/JTRP-2007/23, 6-64, 2008.

Brodback K. T., Moller M., Sorensen S. P. H., Augustesen A. H., Review of p-y relationships in cohesionless soil, *Aalborg University*, ISSN 1901-726X, 1-6, 2009.

Chang Briand K. F., Simplified Procedure for Analysis of Laterally Loaded Single Piles and Pile Groups, Master Thesis, University of Hawaii Library, Department of Civil Engineering, Honolulu, 2003.

Chore H. S., Ingle R. K., Sawant V. A., Non-linear analysis of pile groups subjected to lateral loads using 'p-y' curve, *Interaction and multiscale mechanics*, 2012, **5**(1), 57-73.

Clarke J. A., Duncan, M. J., Revision of the CLM Spreadsheet for Lateral Load Analyses of Deep Foundations, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, 3-21, 2001.

Elhakim A. F., El Khouly M. A. A., Awad R., Three dimensional modeling of laterally loaded pile groups resting in sand, *Housing and Building National Research Center*, DOI:10.1016/j.hbrcj.2014.08.002.

Gabr M. A., Borden R. H., Cho K. H., Clark S. C., Nixon J. B., P-y Curves for Laterally Loaded Drilled Shafts Embedded in Weathered Rock, *North Carolina State University*, NC 27695-7908, 8-39, 2002.

Guo W. D. and Zhu B. T., Nonlinear response of 20 laterally loaded piles in sand, *Australian Geomechanics*, 2010, **45**(2), 67-84.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker J., *Fundamentals of Physics*, 5th Ed., John Wiley & Sons Inc, New Jersey, 1997.

Juirnarongrit T., Ashford S. A., Effect of Pile Diameter on the Modulus of Subgrade Reaction, *Department of Structural Engineering School of Engineering University of California*, UCSD / SSRP-2001/22, 7-67, 2001.

Kramer S. L., Development of p-y Curves for Analysis of Laterally Loaded Piles in Western Washington, *Washington State Transportation Center*, WA-RD 153.1, 11-30, 45-49, 1998.

Kumar, S. Lalvani, L., Maher, O., Nonlinear response of single piles in sand subjected to lateral loads using k_{hmax} approach, *Geotechnical and Geological Engineering*, DOI 10.1007/s10706-004-2760-4.

Meyer B. J., Reese L. C., Analysis of Single Piles Under Lateral Loading, *Center for Transportation Research*, FHWA/TX-79/38+244-1, 115-127, 1979.

Pathak B., Analysis of Static Lateral Load Test of Battered Pile Group at I-10 Twin Span Bridge, Master Thesis, Graduate School of the Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College, Department of Civil and Environment Engineering, Rourkela, 2011.

Plasto N., Arsoy S., Basit Yöntemlerle Yanal Yüklenmiş Tekil Kazık ve Kazık Gruplarının Tasarlanması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 16 - 17 Ekim 2014.

Pradhan D. L., Development of P-Y Curves for Monopiles in Clay using Finite Element Model Plaxis 3D Foundation, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering, Oslo, 2006.

Prakash, S., Chen, M.H., Non-Linear Lateral Pile Deflection Prediction in Clays, *Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, St. Louis, March 9-12, 1998.

Prakash S., Kumar S., Nonlinear Lateral Pile Deflection Prediction in Sands, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1996, **122**(2), 130-138.

Rollins, K. M., Olsen, R. J., Egbert, J. J., Olsen, K. G., Jensen, D. H., Garrett, B. H., Response, Analysis and Design of Pile Groups Subjected to Static&Dynamic Lateral Loads, *Civil & Environmental Engineering Department Brigham Young University*, UT-03.03, 10-350, 2003.

Ruigrok J. A. T., Laterally Loaded Piles, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences Section of Geo-engineering, Department of Hydraulic Engineering, Delft, 2010.

Snyder J. L., Full-Scale Lateral-Load Tests of a 3x5 Pile Group in Soft Clays and Silts, Master Thesis, Brigham Young University, Department of Civil and Environmental Engineering, Provo, 2004.

URL-1: <http://tinyurl.com/oo2dac9/>, (Ziyaret tarihi: 09 Ocak 2015)

URL-2: <http://tinyurl.com/nzof9jz/>, (Ziyaret tarihi: 09 Ocak 2015)

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Plasto N., Arsoy S., Basit Yöntemlerle Yanal Yüklenmiş Tekil Kazık ve Kazık Gruplarının Tasarlanması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 16 - 17 Ekim 2014.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Bosna-Hersek'in Kakanj şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kakanj'da tamamladı. 2007 yılında girdiği Sarajevo Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2012 yılında Ankara Gazi Üniversitesinde 9 aylık Türkçe kursunu tamamlayarak iyi dereceli dil sertifikası aldı. 2012 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimini sürdürmektedir.