

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128572

KAZIKLARIN EKSENEL YÜK TAŞIMA
KAPASİTELERİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İnşaat Mühendisi Hüseyin GÖÇEK

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

128572

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN

İSTANBUL, 2001

Prof. Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	III
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ÖNSÖZ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. KAZIKLI TEMELLER	4
2.1 Kazıklı Temeller Ve Çeşitleri	4
2.1.1 Uç Kazıklar	5
2.1.2 Sürtünme Kazıkları (Yüzen Kazıklar)	5
2.1.3 Çekme Kazıkları	6
2.1.4 Ankraj Kazıkları	6
2.1.5 Kompaksiyon Kazıkları	6
2.1.6 Eğik Kazıklar	6
2.2 Kazık Tipi Seçimini Belirleyen Faktörler	8
2.3 Kazık Tasarımında Aşamalar	10
2.4 Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü	11
2.4.1 Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü	11
2.4.2 Tekil Kazıkların Taşıma Gücü	12
3. STATİK YÖNTEMLER İLE KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI	15
3.1 Kohezyonlu Zeminlerde	19
3.1.1 Çakma Kazıklar	19
3.1.1.1 Birim Uç Mukavemeti	19
3.1.1.2 Birim Çevre Sürtünmesi	21
3.1.2 Yerinde Dökme-Çakma Kazıklar	34
3.1.2.1 Birim Uç Mukavemeti	34
3.1.2.2 Birim Çevre Sürtünmesi	34
3.1.3 Yerinde Dökme Kazıklar (Fore Kazıkları)	35
3.1.3.1 Birim Uç Mukavemeti	35
3.1.3.2 Birim Çevre Sürtünmesi	35
3.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Taşıma Gücü	40
3.1.1 Çakma Kazıklar	40
3.2.1 Birim Uç Mukavemeti	40
3.2.1.2 Birim Çevre Sürtünmesi	51

3.1.1	Yerinde Dökme-Çakma Kazıkları	60
3.2.2.1	Birim Uç Mukavemeti	60
3.2.2.2	Birim Çevre Sürtünmesi	60
3.2.3	Yerinde Dökme Kazıklar (Sondaj Kazıklar)	60
3.2.3.1	Birim Uç Mukavemeti	60
3.2.3.2	Birim Çevre Sürtünmesi	61
4.	KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN HESABINDA KULLANILAN DİĞER YÖNTEMLER	63
4.1	Kazık Yükleme Deneyi	63
4.1.1	Yükleme Deneyinin Yapılması	63
4.2	Eksenel Kazık Yükleme Deneyleri	66
4.2.1	Yükleme Deneylerinin Amaçları	66
4.2.2	Kazık Yükleme Deneyleri	67
4.2.2.1	Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (SM Deneyleri)	67
4.2.2.2	Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (QM Deneyleri)	68
4.2.2.3	Sabit Penetrasyon Hızlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (CRP Deneyleri)	68
4.2.2.4	İsveç Çevrimli (Tekrarlı) Yükleme Deneyi Yöntemi	68
4.3	Dinamik Kazık Formülleri	70
4.3.1	Ana İlke ve Yapılan Kabuller	70
4.3.2	Kullanılmakta Olan Bazı Dinamik Kazık Formülleri	74
4.4	Yük-Oturma Eğrilerinden Göçme Yükünün Saptanması	79
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	87
5.1	Giriş	87
5.2	Zemin Özellikleri	87
5.3	Deney Düzeneği	88
5.3.1	Model Deney Tankı	88
5.3.2	Yağmurlama Düzeneği	88
5.3.3	Model Kazık	90
5.3.4	Model Deneyler	91
5.4.	Model Kazık Üzerinde Kalibrasyon Deneyleri	92
5.4.1	Model Kazık Boyunca Gerilmelerin Belirlenmesi	94
5.5	Model Kazık Boyunca Gerilmelerin Ampirik Olarak Hesabı	101
5.5.1	1 No' lu Deneyin Ampirik Eşitliklerle Değerlendirilmesi	101
5.5.2	2 No' lu Deneyin Ampirik Eşitliklerle Değerlendirilmesi	105
5.6	Kazık Başı Deplasmanlarının Değerlendirilmesi	108
5.7	Kazık Taşıma Yükünün Ampirik Olarak Tahmini	112
5.7.1	Kazık Tabanında Taşınan Yükün Ampirik Olarak Tahmini	112
5.7.2	Kazık Çevresinde Taşınan Yükün Ampirik Olarak Tahmini	114
5.7.3	Ampirik Eşitliklerle Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.	117
6.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	120

7.	SONUÇLAR	128
	KAYNAKLAR.....	129
	ÖZGEÇMİŞ	131



SİMGE LİSTESİ

A	Kazığın Enkesit Alanı
A_b	Kazık Ucunun Enkesit Alanı
A_s	Kazığın Zemin İçinde Kalan Çevresinin Alanı
B	Temel Genişliği
B_b	Kazık Şaftının Taban Çapı
B_s	Kazık Şaftının Çapı
C_a	Ortalama Birim Çevre Sürtünmesi
C_z	Z Derinliğindeki Kazık Şaftının Çevre Uzunluğu
C_N	Düzeltilme Faktörü
C	Zeminin Kohezyonu
C_1, C_2, C_3	Dinamik Kazık Formüllerindeki Kısalma Değerleri
C_u	Drenajsız Kayma Mukavemeti
C_m	Kazık Boyunca Belirlenen Ortalama Drenajsız Kayma Mukavemeti
D	Kazık Çapı
D_r	Relatif Sıklık
D	Derinlik Faktörü
E	Kazık Malzemesinin Elastisite Modülü
E_m	Menard Deformasyon Modülü
E_p	Zemin Modülü
E_s	Rijitlik Modülü
f_z	Kazık şaftından zemine doğru olan yük iletimi değeri
f_{cz}	z derinliğindeki çevre sürtünmesi nihai birim yük iletimi değeri
G	Kayma Modülü
G_s	Güvenlik Sayısı
G'_{vo}	Düşey Asal Efektif Gerilme
G'_{ho}	Yatay Asal Efektif Gerilme
G_m	Kazık Boyunca Belirlenen Ortalama Düşey Efektif Gerilme
G'_{vp}	Kazık Ucu Seviyesindeki Düşey Efektif Gerilme
G_s	Güvenlik Sayısı
H	Temel Uzunluğu
I_p	Plastisite İndeksi
K_s	Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
K_a	Aktif Toprak Basıncı Katsayısı
K_p	Pasif Toprak Basıncı Kat Sayısı
L	Kazık Uzunluğu
N	SPT darbe sayıları
N_c, N_g, N_γ	Taşıma Gücü Faktörleri
P	Kazığın Birim Uzunluğuna Gelen Zemin Reaksiyonu
P_o	Jeolojik Yük
P_f	Krip Basıncı
Pl	Limit Basıncı
Q	Tasarım Yüğü
Q_a	İzin Verilebilir Çalışma Gücü
Q_b	Nihai Uç Dayanımı Kapasitesi
Q_d	Tekil Kazığın Taşıma Kapasitesi
Q_s	Nihai Çevre Sürtünmesi Kapasitesi

$Q_{s, \max}$	Maksimum çevre sürtünmesi
$Q_{p, \max}$	Maksimum uç mukavemeti
q_T	Kazık başındaki nihai taşıma kapasitesi
q_a	İzin verilebilir taşıma basıncı
q_b	Nihai birim uç dayanımı gerilmesi
q_{c1}, q_{c2}, q_{c3}	CPT deneyindeki koni dirençleri
q_s	Nihai birim Çevre sürtünmesi
S	Tek bir kazığın işleme yükleri altındaki oturması
S_g	Kazık grubunun oturması
W_k	Kazık ağırlığı
W_p	Kazık, kazık başlığı ve kazıklara çevrelenen zemin bloğu ağırlığı
W	Kazık oturma değeri
W_2	Kazığın z derinliğinde, aşağıya doğru olan hareketi
W_b	Kazık ucunun oturma değeri
W_T	Kazık başının oturması
λ	Boyutsuz sürtünme katsayısı
z	Zemin yüzeyi altında herhangi bir derinlik
α	Adhezyon Faktörü
β	Kumlardaki Çevre Sürtünmesi Faktörü
γ	Zeminin Birim Hacim Ağırlığı
γ'	Zeminin Efektif Birim Hacim Ağırlığı
γ_1	Temel Tabanı Üstündeki Zeminin Birim Hacim Ağırlığı
γ_2	Temel Tabanı Altındaki Zeminin Birim Hacim Ağırlığı
γ_n	Su Seviyesi Üzerindeki Zeminin Birim Hacim Ağırlığı
γ_d	Zeminin Suyu Doygun Birim Hacim Ağırlığı
γ_w	Suyun Birim Hacim Ağırlığı
γ_a	Zeminin Su Altındaki Birim Hacim Ağırlığı
α_{11}	Kazık Teşkili Süresince Zeminin Örselenmesiyle İlgili Katsayı
α_{12}	Betondan Sızan Su Ve Uç Etkisiyle İlgili Katsayı
α_{13}	Yüzey Rötresiyle İlgili Katsayı
δ	Çevre Sürtünmesi Açısı
ν	Poisson Oranı
ε	Zeminin Eksenel Şekil Değiştirmesi
ϕ	Zeminin İçsel Sürtünme Açısı,
ϕ_a	Kazık Ve Zemin Arasındaki Sürtünme Açısı
ϕ'	Zeminin Efektif İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'_{ss}	Basit Kesme Deneylerindeki Ölçülen Zemin ve Kazık Arasındaki Sürtünme Açısı
ϕ_{Cu}	Zeminin Kritik Boşluk Oranına Karşılık Gelen Kayma Dayanımı Açısı
ϕ_{μ}	Zeminin Malzeme Kayma Sürtünme Açısı
τ_s	Kayma Gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kazıkların kullanımına göre sınıflandırılması	6
Şekil 2.2 Eksenel yüklü bir kazıkta çevre sürtünmesi ve uç direnci bileşenleri	13
Şekil 3.1 Farklı kazık türlerinde uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile kazık yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki	16
Şekil 3.2 Basınç kuvveti-oturma eğrisi	17
Şekil 3.3 Kazık başından şafta yük iletimi	18
Şekil 3.4 Kazıklar üzerinde basınç yükleri için göçme yüzeyleri	21
Şekil 3.5 Kazık yüzeyi ile temastaki kil zeminin negatif çevre sürtünmesi nedeniyle distorsiyonu	23
Şekil 3.6 Kazıktan katı kile yük aktarımı	23
Şekil 3.7 İleri deformasyonda kesme sonucu kilde maksimum ve kalıcı kesme mukavemeti	24
Şekil 3.8 Killerde kazık yüzeyine yapışarak aşağı taşınan zemin tabakası	24
Şekil 3.9 Killi zeminlere çakılan kazıklarda adhezyon faktörü için tasarım eğrileri	26
Şekil 3.10 Killerde sürtünme kazıklarının adhezyonu	27
Şekil 3.11 Kazığın zemine yerleştirilmesinden önce ve sonra kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu	30
Şekil 3.12 Adhezyon faktörünün mukavemet oranıyla değişimi	31
Şekil 3.13 Kil zeminlerde değişik kazık boyları için λ değerleri	33
Şekil 3.14 Etkifif düşey gerilmenin tayini	33
Şekil 3.15 Ucu genişletilmiş bir kazığın şaftı üzerindeki çevre sürtünmesi hesabı için efektif şaft uzunluğu	39
Şekil 3.16 Kazıklı temle altında değişik kabullere göre zemin göçme şekilleri	42
Şekil 3.17 Taşıma kapasitesi faktörleri	43
Şekil 3.18 Meyerhof'a göre kohezyonsuz bir zeminde bir kazığın göçme mekanizması	44
Şekil 3.19 Meyerhof'a göre taşıma kapasitesi faktörü N_q değerleri	45
Şekil 3.20 Kohezyonsuz zeminlerdeki bir çakma kazıkta çevre sürtünmesi, uç mukavemeti ve toplam taşıma gücünün çakma derinliğiyle değişimi	47
Şekil 3.21 Kazık çevresinde Kemerlenme olayının meydana gelişi	47
Şekil 3.22 Kohezyonsuz zeminlerdeki çakma kazıklarda gözlenen birim uç mukavemeti	48
Şekil 3.23 Yumuşak bir kil tabakasından geçip yüksek taşıma kapasiteli bir kum tabakasına çakılmış bir kazığın taşıma kapasitesi hesabı	49
Şekil 3.24 Tabakalaşmış zeminlerde bir kazığın taşıma kapasitesi	50
Şekil 3.25 N_q 'nın ϕ ile değişimi	51
Şekil 3.26 Nordlund tarafından çakma kazıklar için önerilen hacimsal deformasyon γ / ϕ bağıntısı	52
Şekil 3.27 K_s , Yanal toprak basıncı katsayısı değerleri	53
Şekil 3.28 K_s düzeltme faktörleri	54
Şekil 3.29 Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için birim çevre sürtünmesi –Relatif sıkılık ilişkisi	57

Şekil 4.1	Kazık yükleme deneyi yapılması.....	64
Şekil 4.2	Deney yöntemleri için gerekli zamanın kıyaslanması	69
Şekil 4.3	Farklı deney yöntemlerinden elde edilecek yükleme-oturma eğrilerinin karşılaştırılması	70
Şekil 4.4	Kazık çakılması.....	71
Şekil 4.5	Farklı kabullere göre dinamik direnç-reflü bağlantıları.....	72
Şekil 4.6	Kazık ve zeminin Elastik sıkışmaları.....	73
Şekil 4.7	Dinamik ve Statik dirençler arasındaki farklılıklar.....	73
Şekil 4.8	Davisson yöntemi ile göçme yükünün tahmini	80
Şekil 4.9	Chin yöntemi ile göçme yükünün tahmini	81
Şekil 4.10	De Beer yöntemi ile göçme yükünün tahmini.....	82
Şekil 4.11	Brinch Hansen % 90 kriteri ile göçme yükünün tahmini.....	82
Şekil 4.12	Brinch Hansen % 80 kriteri ile göçme yükünün tahmini.....	83
Şekil 4.13	Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün tahmini.....	84
Şekil 4.14	Fuller ve Hoy yöntemi ile göçme yükünün tahmini	85
Şekil 4.15	Vander Veen yöntemi ile göçme yükünün tahmini	86
Şekil 5.1	Kumun dane çapı dağılımı.....	88
Şekil 5.2	Yağmurlama düzeneği.....	89
Şekil 5.3	Yağmurlama düzeneği yan görünüşü	90
Şekil 5.4	Yükleme Aleti.....	91
Şekil 5.5 (a)	1 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölçere ait eksenel yöndeki ölçümler	92
Şekil 5.5 (b)	2 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölçere ait eksenel yöndeki ölçümler	93
Şekil 5.6 (a)	1 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölçere ait teta yönündeki ölçümler.....	93
Şekil 5.6 (b)	2 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölçere ait teta yönündeki ölçümler.....	94
Şekil 5.7 (a)	Model deney 1' e ait eksenel gerilmelerin kazık boyunca değişimi	97
Şekil 5.7 (b)	Model deney 2' ye ait eksenel gerilmelerin kazık boyunca değişimi	97
Şekil 5.8 (a)	Model deney 1' e ait eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi	98
Şekil 5.8 (b)	Model deney 2' ye ait eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi	98
Şekil 5.9 (a)	Model deney 1' de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi.	99
Şekil 5.9 (b)	Model deney 2' de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi.	99
Şekil 5.10 (a)	Model deney 1' e ait kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi	100
Şekil 5.10 (b)	Model deney 2' ye ait kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi	100
Şekil 5.11	Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1' de belirlenen eksenel gerilmenin kazık boyunca değişimi.....	103
Şekil 5.12	Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1' de belirlenen eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi.....	103

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kildeki çakma kazıkları için önerilen Adezyon değerleri	27
Çizelge 3.2 Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıkları için K_0 yanıl toprak basıncı katsayısı.....	55
Çizelge 3.3 Zeminin içsel sürtünme açısının (ϕ') fonksiyonu olarak ϕ_0 sürtünme açısı.....	55
Çizelge 3.4 Tomlinson tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri.....	59
Çizelge 3.5 Weeie tarafından önerilen q_s değerleri.....	59
Çizelge 3.6 Terzaghi – Peck tarafından önerilen q_s değerleri.....	59
Çizelge 3.7 Kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıkları için önerilen birim uç mukavemeti değerleri.....	61
Çizelge 4.1 Tokmağın tesirli düşüş yüksekliği yüzdesi.....	77
Çizelge 4.2 Darbe takozu ve yastığının elastik kısalması.....	78
Çizelge 4.3 Çarpma sayısının temsili değerleri.....	78
Çizelge 5.1 Kumun indeks özellikleri.....	87
Çizelge 5.2 (a) Kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak 1 no'lu model deneyden elde edilen σ_z ve $\Delta\tau$ gerilme değerleri	95
Çizelge 5.2 (b) Kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak 2 no'lu model deneyden elde edilen σ_z ve $\Delta\tau$ gerilme değerleri.....	96
Çizelge 5.3 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model Deney 1' de kazık boyunca belirlenen eksenel gerilmeler ve kayma gerilmeleri	102
Çizelge 5.4 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' de kazık boyunca belirlenen eksenel gerilmeler ve kayma gerilmeleri	105
Çizelge 5.5 Kazık tabanında taşınan yükün Navfac, Meyerhof ve Vesic yöntemleri ile hesaplanan değerleri	114
Çizelge 5.6 Kazık çevresinde taşınan yükün ampirik olarak değerleri	119
Çizelge 6.1 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelerle göre gerilmelerin karşılaştırılması.....	121
Çizelge 6.2 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelerle göre yüklerin karşılaştırılması.....	122
Çizelge 6.3 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelerle göre kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	124
Çizelge 6.4 0,20 kN. için deneyden elde edilen yük miktarları ile ampirik olarak hesaplanan yük miktarlarının karşılaştırılması.....	125
Çizelge 6.5 0.20 kN için deneyden elde edilen çevrede taşınan yük miktarı ile ampirik olarak hesaplanan çevrede taşınan yük miktarlarının karşılaştırılması	126
Çizelge 6.6 Chin, De Beer, Davisson ve Brinch-Hansen yöntemleri ile belirlenen kazık taşımayükü değerleri.....	127

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca benden değerli yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım, hocam Sayın Prof. Dr. Sönmez Yıldırım' a teşekkür ederim. Özellikle deneysel çalışmalarımda bana aydınlatıcı bilgiler veren Sayın Araş. Gör. Havvanur Kılıç' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında görüşlerini aldığım Sayın Öğr.Gör. Dr.Şükrü Özçoban' a ve laboratuvar deneyleriyle ilgili her tür sorumu içtenlikle cevaplayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet M. Berilgen' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Pelin Tohumcu, Sayın Araş.Gör. Murat Tonaroğlu ve Sayın Araş.Gör. Şenol Adatepe' ye teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamda deney düzeneğinin hazırlanması ve deney çalışmalarım esnasında yardımcı olan Sayın İnş. Müh. Sami Gültekin' e çok teşekkür ederim.

Bütün bu çalışmalarım sırasında her türlü ilgi ve yardımlarından dolayı teknisyen Sayın Erhan Erol' a ve Sayın Ali Yüksel' e ve emeği geçen herkese katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez yazımı sırasında yardımcı olan arkadaşlarım Sayın Y. Elektrik Müh. Ali Kılıç' a ve Sayın Y. Elektronik ve Haberleşme Müh. Sedat Eser' e çok teşekkür ederim.

ÖZET

Kazıklı temeller esas olarak, güvenli ve ekonomik bir yüzeysel temel teşkilinin olanaklı olmadığı hallerde tercih edilen bir derin temel çeşididir. Kazıklı temel sistemi düşünülürken, temel zemini özelliklerinin öncelikle bilinmesi ve diğer alternatiflerin de yeteri kadar incelenmiş olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile artan kazık imal olanakları sonucu; kazıklar, uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Kazıklı temellerin projelerndirilmesinde ilk karşılaşılan sorun, belirlenen zemin profili için bir kazığın emniyetle taşıyabileceği yükün bulunmasıdır. Kazık servis yükünün belirlenmesinde, zemin mekaniği ilkeleri uygulamasının büyük önemi olmakla beraber tecrübeye dayalı pratik bilgilerden de faydalanılmalıdır.

Kazıkların taşıma gücünün bulunmasında en güvenilir yol olan yükleme deneyleri, statik ve dinamik formüllere göre daha gerçekçi sonuçlar verirler. Kazık yükleme deneyinin amacı, kazığın nihai taşıma yükünü belirlemenin yanında, kazığın statik ve dinamik formüllerle bulunan servis yükünü taşıyıp taşıyamayacağını kontrol etmektir. Gerekli olan bütün bilgiler, kazığın yük-oturma diyagramından elde edilir.

Eksenel yüklü kazıkların düşey taşıma kapasitesini konu alan bu çalışmada öncelikle 1. ve 2. Bölümde kazıklar hakkında teorik bilgiler verilmeye çalışılmış ve kazık tipi seçimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Daha sonra 3. Bölümde statik yöntemler ile kazık taşıma gücü hesabı hakkında bilgiler verilerek kullanılan yöntemler kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için ayrı ayrı incelenmiştir. 4. Bölümde ise kazıkların taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında önemli rol oynayan kazık yükleme deneylerinden bahsedilmiştir. 5. Bölümde ise deneysel çalışmalara yer verilmiş olup laboratuvarda eksenel yükleme altındaki model kazığın taşıma kapasitesi ve oturma değerleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu bölümde model kazığa ait laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçların, ampirik formüllerden hesaplanan değerler ile teorik karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazık, temel, eksenel yük, taşıma kapasitesi, oturma.

ABSTRACT

Pile foundations are the deep foundations to transfer superstructure through weak compressible soil strata to stiffer or more compact soil or onto rocks. In the design of pile foundations, the main question is to evaluate the ultimate bearing capacity of a single pile for a given soil profile and pile type. In slightly cohesive or non-cohesive soils it is difficult to recover undisturbed samples and to conduct laboratory tests on these samples for determining the strength and deformation properties of the soils. The recommended correlations between the bearing capacity of axially loaded piles and the field tests such as SPT, CPT and MPT.

The accurate determination of pile bearing capacity is very important in the design of a piled foundation system in order to obtain a safe and economic structure. The estimation of a pile load capacity and settlement under a load is based on the results of field investigations, laboratory testing and empirical and semi empirical methods. These estimated values should then be confirmed by field pile load tests. It is possible to obtain information about the future behaviour of the project piles by performing load tests. Load test is a preferred system to determine the bearing capacity of various type of piles in all kinds of soil.

When the penetration rate is kept constant during a load test (the CRP method) the corresponding force is measured. The constant-rate-of-penetration method (CRP) is the reverse to the (ML) method. In the (CPR) test, the pile head is forced to settle at a predetermined rate, normally 0.02 in. / min. (0.5 mm/min) and the force that is required to achieve the penetration is recorded. The test is carried out to a total penetration of 2 in. or in. 3 in (50 mm. or 73 mm.) or to the maximum capacity of the reaction arrangement, which means that the test is completed within about 2 hr. – 3 hr. The CRP method has the advantage that a load test can be carried out rapidly and that the ultimate load for friction piles in cohesive soils is in general well defined. But it is not possible to get some information of the magnitude of the creep with the CRP method. The CPR test will provide some important information, when carried to failure from the shape of the load-movement curve, the behavior of the pile as an end-bearing, a friction-pile in sand with more or less end-bearing resistance, or a friction-pile in clay can be evaluated.

Keywords: Pile, foundation, bearing capacity, axial load, settlement.

BÖLÜM I

GİRİŞ

Kazıklar; zemin yüzeyine yakın tabakalar, üst yapıdan gelen yükleri göçmeden veya üst yapıya hasar verecek miktarda oturmaksızın taşıyabilecek bir yüzeysel temelin teşkiline uygun değilse, üst yapıdan gelen bu yükleri zemin profilinin daha derininde bulunan ve taşıyıcılık özellikleri daha yüksek olan tabakalara aktarmak için kullanılan ahşap, betonarme veya çelikten imal edilmiş yapı elemanlarıdır. Kazıklar, esas olarak, eksenel basınç yükleri taşırlar.

Kazıklar kullanım yerlerine göre çok çeşitli yüklere maruz kalabilmektedir. Kazıktaki tesirler; eksenel basınç, çekme, yatay kuvvet veya eğilme momentinin doğurduğu tesirlerdir. Bununla beraber, kazıkların rüzgar, deprem, dalga kuvvetleri gibi yatay veya suyun kaldırma kuvveti gibi çekme kuvvetlerine veya üst yapıya gelen yanal kuvvetler nedeniyle döndürme momentine maruz kaldığı yerleri de vardır.

Kazıklar pratikte genellikle, en az üç kazıktan oluşan kazık grupları şeklinde teşkil edilirler. Kazıklar tek başına ender olarak kullanılırlar. Bir kazığın taşıma kapasitesi ile kazık grubunun taşıma kapasitesi arasında doğrusal bir bağıntı mevcut değildir. Bu sebeple ideal olarak bir kazık yerine kazık grubunun taşıma kapasitesini belirlemek için deneyler yapılmalıdır. Ancak bu grubun taşıma kapasitesini belirlemek için deneyler yapılabilmelidir. Ancak bu deneyler, yükleme için çok yük gerektirdiği ve ekonomik olmadığı için genellikle uygulamada tek bir kazığın taşıma kapasitesi belirlenir ve bu sonucu kullanılacak kazık grubunun taşıma kapasitesinin tahmin edilmesine çalışılır. Zemin cinsine, kazığın yapılışına ve kazıklar arası mesafeye bağlı olarak kazık grubunun taşıma kapasitesi, tekil kazıkların taşıma kapasitesinden az olabildiği gibi çok da olabilmektedir.

Bir kazıklı temelin tasarımında, zemin profili sondajlarla hassas olarak belirlenmeli, zemin profilindeki çeşitli tabakaların mühendislik karakteristikleri bulunmalı ve bu çalışmaların sonucu olarak kazığın uç kazığı veya sürtünme kazığı tiplerinden hangisi olacağı seçilmelidir. Belirlenen zemin profili ve kazık tipine (çapı ve malzemesine) bağlı olarak tekil kazıklarla veya kazık grupları ile taşınabilecek yük kapasitesi hesaplanmalıdır.

Tekil bir kazığın taşıma kapasitesinin hesaplanması basit bir işlem olarak algılanmamalıdır. Taşıma kapasitesi hesaplanırken yaklaşım kabullerinin son derece hızla değişmesinin iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi, yüklenmiş kazıkların deney sonuçlarından elde edilen

teknik literatür yeterli değildir. Ölçüm sonuçları çoğunlukla şüpheli ve deney yöntemleri çoğu kez tutarsızdır. Arazideki zeminin özelliklerini elde etmek için çok sayıda yöntem kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle bu deneylerden elde edilen sonuçlar kaybolmuştur. Araştırmacıların, zemin deneyleri sonuçların yorumlamaları arasında tutarsızlık vardır. Üstelik taşıyıcı zemin ve etkilenen temel sistemi içindeki etkileşimi detaylı olarak ortaya çıkaran enstrümantasyon çok nadir olarak uygulanmıştır. İkinci neden olarak, kazık ve taşıyıcı zemin arasındaki etkileşimin çok karışık ve anlaşılması zor olduğu söylenebilir.

Kazıklı temeller projelendirilirken göçmeye karşı bir güvenliğin bulunduğu gösterilmelidir. Ayrıca kazığın eksenel yükler altındaki oturması veya yatay yükler, eğilme momenti etkisi altındaki yatay yer değiştirmesi de önemli proje kriterleridir.

Her cins zeminde ve çeşitli tipte kazıkların emniyetle taşıyabileceği yükün belirlenmesinde en güvenilir yol 'Kazık yükleme deneyleri'dir. Yükleme deneylerinin, sisteminin, yükün uygulanış şeklinin ve şekli değiştirmelerinin ölçümlerinin deney sonuçlarına çeşitli etkileri vardır. Güvenliği ve ekonomiyi birlikte dikkate alan çözümler günümüzün gereğidir.

Yükleme deneyi sırasında yükü uygulamada kullanılacak hidrolik pres, yükleme ve boşaltma yapısını kolaylıkla sağlamalıdır. Bu sayede toplam, elastik ve plastik oturmalar kolaylıkla elde edilebilir.

Kazık yükleme deneyi tek başına bir sonuç olarak dikkate alınmamalıdır. Deney yapılacak yerin ve kazığın seçimi, deneyin hazırlanması ve değerlendirme şekli arasındaki bağıntılar, yükün uygulanışı, ölçümlerin yapılacak değerlendirmeye uygun olması, başlangıçta dikkate alınması gereken hususlardır. Ancak bu şekilde yapılmış bir yükleme deneyinin model benzerliğinden veya yükleme deneyi kazığı ile inşaat kazığının aynı şekilde davranacağı söylenebilir.

Kazık yükleme deneyleri ile ilgili normlar (DIN-1054 ve ASTM-D-1143) yükleme deneylerinin yürütülmesi ile ilgili, çeşitli önerilerde bulunmakta ve oturma miktarları yönünden kısıtlamalar yapmaktadır. Bu kısıtlamalar kazığın genel emniyeti yönünden önemlidir. (Yetimoğlu,1988)

Bu tezde, kazıklı temel uygulamaları hakkında genel bir bilgi verildikten sonra eksenel yüklü kazıkların düşey taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler üzerinde durulmakta ve laboratuvar da 'Strain gauge' lerle donatılmış model bir kazığın yüklenmesi

sonucu elde edilen veriler ışığında tek bir kazığın taşıma kapasitesi için önerilen yöntemler tartışılmaktadır.



BÖLÜM 2

KAZIKLI TEMELLER

2.1 Kazıklı Temeller ve Çeşitleri

Kazıklar, zemin yüzeyine yakın, taşıma gücü açısından zayıf zemin tabakalarına gelen yükleri daha derinde bulunan ve taşıma gücü açısından daha kuvvetli olan tabakalara aktarmak için kullanılan yapı elemanlarıdır. Bir başka deyişle kazıklar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temeller ile güvenilir bir biçimde zemine aktarılmadığı durumlarda yükü, taşıyıcı özelliği yüksek olan ve zemin profilinde zemin yüzeyinden derinde yer alan tabakalara aktarmada kullanılan yapı elemanlarıdır. Kazıklar yükleri ekseriya eksenel basınç ile taşısalar da açık deniz platformlarında, rıhtım duvarlarında, sürekli ve aralıklı iksa duvarlarında ve şev stabilitesinin iyileştirilmesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında ise kazıklar; yanal toprak basıncı, dalga ve deprem kuvvetlerinin doğurduğu yatay yüklerin, eğilme momentlerinin etkisinde kalabildikleri gibi; suyun kaldırma kuvvetine benzer çekme kuvvetlerinin de etkisinde kalabilirler.

Suyla ilişkiye geçtiğinde kabaran veya ani çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerinin aktif zon diye tanımlanan bir bölgenin dışına aktarmak için kazıklardan yararlanılır. Köprü kenar ve orta ayakları erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı olarak yapılabilirler. Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol amacıyla kullanılabilir. Bunun da ötesinde kazıklar, zemin ıslahına yardımcı olarak ırmak ya da göl kenarlarındaki yumuşak veya gevşek zeminlerin sıkılaştırılmasında da kullanılırlar.

Kazıklı temel sisteminin geçerli bir çözüm olarak kabul edilebileceği haller ve gerekli oldukları bazı koşullar aşağıda sıralanmıştır:

- Yeterli taşıma gücüne sahip zemin tabakalarının yüzeysel bir temel sistemi için ekonomik olmayacak kadar derinde bulunması,
- Zemin profilindeki zemin tabakalarının fazla eğilimli olması,
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temelleri gibi büyük miktarda yatay yük aktaran yapılar. (Zemin, rüzgar ve deprem yükleri)
- Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketinin kontrol amacıyla kullanılabilirler.
- Kuleler, deniz platformları ve yer altı suyu altındaki radyeler kaldırma kuvvetleri etkisindedirler. Bu kuvvetlerin karşılanmasında kazıklı temeller düzenlenebilir.

- f) Suyla ilişkiye geçtiğinde kabaran veya ani çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerinin aktif zon diye tariflenebilecek bir bölgenin dışına aktarmak gerekebilir.
- g) Üniform olmayan küçük alanlarda yoğunlaşmış yükleri aktaran yapılar,
- h) Statik sistem bakımından farklı oturmalara karşı hassas olan yapılar .

Kullanılma yerlerine göre kazıklar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- a) Uç kazıkları,
- b) Sürtünme kazıkları (yüzen kazıklar),
- c) Çekme kazıkları,
- d) Ankraj kazıkları,
- e) Kompaksiyon (sıkıştırma kazıkları),
- f) Eğik kazıklar.

2.1.1 Uç Kazıkları

Uç kazıkları, üst yapıdan gelen yükleri su veya taşıma gücü açısından zayıf zemin tabakalarının altındaki sağlam, taşıma gücü yüksek zemin tabakalarına iletmek için kullanılan kazıklardır. Bu tür kazıklarda çevre sürtünmesinin etkisi gözönüne alınmaz. Kazığa gelen yükler kazık ucu vasıtasıyla sağlam zemine aktarılır.

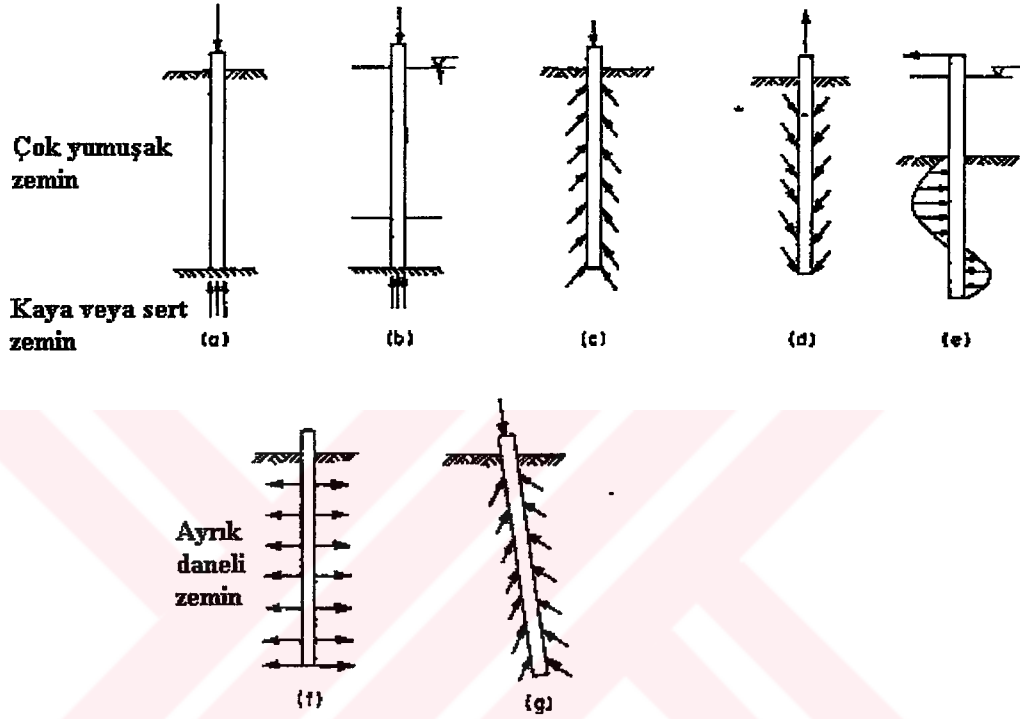
Taşıma gücü bulunmak üzere yüklenen düşey bir kazığın, zeminden gördüğü direnç uç direnci ve çevre sürtünmesi olarak ikiye ayrılabilir. Çevre sürtünmesi genelde yukarı doğru etkir ve pozitifdir. Buna karşılık zeminden bir kazığı çekip çıkarmak istersek bir dirençle karşılaşırız. Bu direnç çevre sürtünmesinden oluşur ve negatiftir. Uç kazıklarında pozitif çevre sürtünmesi dikkate alınmaz ama mutlaka dikkate alınması gereken büyük miktarda negatif çevre sürtünmesi olabilmektedir. Kazığın çevresindeki zeminin konsolidasyonu veya sıkıştırması zeminin kazıktan daha fazla oturmasına ve böylece kazığa negatif çevre sürtünmesi etkilemesine sebep olur. Negatif çevre sürtünmesi özellikle yumuşak ve orta katı kil, yumuşak silt, turba, bataklık gibi sıkışabilir zeminlerde hesaba katılmalıdır. (Yetimoğlu,1988)

2.1.2 Sürtünme Kazıkları (Yüzen Kazıklar)

Sürtünme kazıkları, üst yapıdan gelen yüklerin kazı çevresinde oluşan zemin sürtünmesi ile kısmen veya tamamen taşınması için kullanılan kazıklardır.

2.1.3 Çekme Kazıkları

Suyun kaldırma kuvveti yüzünden çekmeye, üst yapıya gelen kuvvetler yüzünden döndürme kuvvetlerine maruz kalan temel sistemlerinin güvenilir bir şekilde zemine tespitini sağlayan kazıklardır. Çakma kazıkları ve yerinde dökme kazıklar çekme kazıklar için uygun kazık türleridir.



Şekil 2.1 Kazıkların kullanımına göre sınıflandırılması (a,b) uç kazığı, (c) sürtünme kazığı, (d) çekme kazığı, (e) bağlama kazığı, (f) sıkıştırma kazığı, (g) eğik kazık.

2.1.4 Ankraj Kazıkları

Ankraj kazıkları yatay kuvvetlere karşı kullanılan kazıklardır. Bu kazıklar gemilerin iskeleeye çarpmasından, dalga kuvvetlerinden oluşan etkileri almakta kullanılmadıkları gibi palplanş perdelerini tespit etmekte de kullanılırlar.

2.1.5 Kompaksiyon Kazıkları

Kompaksiyon kazıklarının amacı zemin stabilizasyonudur. Kompaksiyon kazıkları ile zemin sıkıştırılarak zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amaçlanır.

2.1.6 Eğik Kazıklar

Eğik kazıklar üzerlerine gelen hem yatay hem de düşey kuvveti taşıyabilmek için tasarlanırlar.

Kazıklar yapım şekillerine göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Bazı araştırmacılar ve yönetmelikler yapım şekillerine göre kazıkları aşağıdaki üç sınıfta toplamışlardır:

- a) **Zeminde çok yer değiştirmeye neden olanlar:** İçi boş ama alt ucu kapalı kesitlerin veya içi dolu kesitlerin zemine çakılıp yerinde bırakılmalarıyla oluşturulurlar. İçi dolu kesitler ahşap veya hazır beton (normal donatılı veya öngermeli) kazıkları oluştururken içi boş kesitler çelik boru veya çelik kutu ile beton boru kazıklar olabilir ve içleri çakıldıktan sonra boş bırakılabilir veya betonla doldurulabilir. Bu kazıkların yapımı sırasında zemin yanlara itilerek yer değiştirir. Tüm hazır çakma veya yerinde dökme – çakma kazıklar geniş yer değiştirme kazıklarına örnektirler.
- b) **Zeminde az yer değiştirmeye neden olanlar:** H veya I kesitli ve açık uçla çakılmış kutu veya boru çelik kazıklar çakma sırasında uçlarında bir tıkaç oluşmuyorsa zeminde çok az yer değiştirmeye neden olurlar. Büyük çekme kuvvetleri taşınabilen çelik vida kazıklar da küçük yer değiştirme kazıklarına örnek olarak verilebilir .
- c) **Zeminde yer değiştirmeye neden olmayanlar:** Zemin kazılarak bir boşluk oluşturmak ve bu boşluğun betonlanmasıyla oluşturulan kazıklardır. Boşluk kenarlarının desteklenip desteklenmemesi, destekleniyorsa kalıcı mı yoksa geçici mi olduğu ,geçici ise bir kılıf yardımı ile yoksa sondaj çamuru ile yapıldığına göre değişik kazık türlerinden söz edilebilir. Genel olarak yerinde dökme kazıklar ve muhafaza borusu yardımıyla zemin kazılarak betonlanan kazıklar bu gruba girerler.

Kazıklar, yapım şekillerine göre şu şekilde de gruplandırılabilirler:

- a) Çakma kazıklar (ahşap, betonarme, çelik)
- b) Yerinde dökme-çakma kazıklar (beton, betonarme, kılıflı veya kılıfsız),
- c) Yerinde dökme sondaj kazıkları (fore kazıklar, beton veya betonarme, kılıflı veya kılıfsız)
- d) Karma kazıklar

Kazıklar imal edildiği malzemenin cinsine göre dört grupta toplanabilir:

- a) Ahşap kazıklar,
- b) Betonarme kazıklar,
- c) Karmaşık kazıklar (genellikle alt kısmı ahşap veya çelik üst kısmı betonarme olarak imal edilirler).
- d) Çelik kazıklar

2.2 Kazık Tipi Seçimini Belirleyen Faktörler

Yukarıdaki anılan bir çok kazık türünün birbirine göre olumlu ve olumsuz yanları vardır. Bir tasarımda bu özellikleri ile birlikte en elverişli çözüm için yapının yeri ve tipi, zemin ve yer altı suyu durumu, uzun sürede dayanıklılık ve genel maliyet gözönüne alınmalıdır.

Yurdumuzda yaygın kullanım alanı bulmuş bazı kazık türlerinin olumlu ve olumsuz yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Hazır beton çakma kazıklar yumuşak kil, silt ve turbalık gibi zeminlerde boğulma tehlikeli olmaksızın yerleştirilebilirler ve belli bir düzende çakılabilirler. Bu kazıklarda yer altı suyu kazık yapımını etkilemez ve kazık malzemesi önceden kalite kontrolüne olanak sağlar. Sonradan yerleştirilen diğer kazıklar kazığın yukarı doğru hareketine sebep olmuşsa tekrar çakılabilir. Kazık boyu istenilen boya göre ayarlanabilir. Bu nedenle özellikle deniz yapılarında da su derinliğinin geçilmesi daha kolaydır. Hazır beton çakma kazıkları bu olumlu yanlarının yanısıra boylarının kolayca değiştirilemeyeşi, çakma sırasında çevrede kabarma görülebilmesi büyük çaplarda ve sınırlı hacimlerde çakma zorlukları, zor çakma koşullarında kazıkta hasar olasılığı ve taşınmaları sırasında doğacak etkileri karşılamak amacı ile belki de gereksiz donatı konulma zorunluluğu olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

Fore kazık diye de anılan ve zeminin kazıldıktan sonra betonlanması ile oluşturulan kazıklarda zeminde kabarma olmayışı, kazık boyunun koşullara göre kolayca ayarlanabilmesi kazı sırasında zeminin geoteknik özelliklerini tekrar inceleyebilme olumlu yönler olarak sayılabilir. Fore kazıkların yumuşak kayaç ve killi zeminde son bulan uçları özel aygıtlarla genişletilebilir ve bu sayede taşıma kapasiteleri arttırılabilir. Uzun kazık boyları ve geniş çaplar sınırlı kazık yapım yeri koşullarında gerçekleştirilebilir. Donatı belirlenirken taşınma durumu ve çakma etkileri gibi durumların gözönüne alınması gerekmemektedir. Bütün bu olumlu yanların yanısıra yumuşak zeminde boğulma olasılığı, yer altı suyunun varlığında beton dökme zorlukları ve betonun kontrol edilemeyeşi, foraj sırasında granüler zeminlerin gevşemesi, yumuşak kayaçların ayrışması olasılığı, özellikle kazı tabanında zemindeki su akımı nedeniyle gevşeme ve kabarma olasılığı olumsuz ve dikkat edilmesi gereken taraflardır.

Sondaj kazıklarına ise inşaa sırasında gürültü, sarsıntı ve zemin kabarması minimumdur. Değişen zemin koşullarına göre boyları ayarlanabilir. Kazık çapı istendiği kadar büyük olabilir (3 m'ye kadar). İstenilen uzunlukta yapılabilirler ve çok geniş uç teşkil edilebilir. Tavan yüksekliği kazık yapımını ve boyunu etkilemez. Bütün bu olumlu yanların yanısıra

küçük çaplı kazıkların su altında dökülmesinin güç olması, akıcı zeminlerde kesit daralması tehlikesi olması, yapımından sonra beton durumunun incelenememesi, artezyen durumunda veya muhafaza borusu çıkarılan kazıklarda betonun dışarı çekilmesi olasılığı, su yapılarında kazık boyunun zemin dışında uzatılamaması, kohezyonsuz zeminlerde genişletilmiş ucun yapılamaması, sondaj sonucu zeminde gevşeme olma olasılığı ve kohezyonsuz zeminlerde grup kazıklarında çevrenin oturması olasılığı olumsuz ve dikkat edilmesi gereken taraflardır.

Ahşap kazıklar ise taşınması, yerleştirilmesi ve kesilmesi bakımından avantaj ve kolaylık sağlar. Göreceli olarak daha ekonomiktirler. Bu olumlu yanlarının yanısıra taşıma kapasitelerinin sınırlı oluşu, yeraltı suyunda kalan kazıkların çürüme tehlikesinin oluşu, mekanik aşınma, yangın, böcek veya kurtların tahribatı ile hasara uğrayabilmeleri; çakma sırasında kazık ucunun hasara uğraması ve ek yapımlarının güç oluşu olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

Çelik kazıklar taşınma ve çakılması bakımından kolaylık sağlayan türlerdir. İstenilen uzunlukta kolayca kesilebilirler. Sıkı zemin tabakalarına kolaylıkla çakılabilirler. Çakma sırasında yanıl zemin yer değıştirmeleri küçüktür. Eklenti yapımı göreceli olarak kolaydır. Bütün bu olumlu yanlarının yanısıra çakma sırasında kazık ucunun tahrip olması, ekonomik olmayışları, örselenmiş veya dolgu zeminlerde korozyon tehlikesinin oluşu ve çakma sırasında kolayca eksenden sapmaları olumsuz ve dikkat edilmesi gereken taraflarıdır.

Prefabrik beton kazıklar da ise aşınma veya çürüme tehlikesi yoktur. Ek yapımı kolaydır. Çakma öncesi beton kalitesi kontrol edilebilir. Göreceli olarak ucuzdurlar. Yer altı suyundan etkilenmezler. Bu olumlu yanlarının yanısıra prefabrik beton kazıklarının kesilmelerinde zorluk yaşanması, çakma sırasında kesilmelerinde zorluk yaşanması, çakma sırasında kazığın hasara uğrayabilmesi, çakma sırasında zeminin yer değıştirmesi, gürültü ve vibrasyonun sorunlar yaratması olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

Sonuç olarak kazık tipi seçimini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- a) Her kazık için belirlenen taşıma kapasitesi,
- b) Karşılaştırılmalı maliyet,
- c) İstenildiği takdirde kazık adetini arttırabilme,
- d) Kazık hazırlama hızı ve pratikliği,
- e) İnşaat alanına girebilme,
- f) İstenilen uzunlukta hazırlanabilme,

- g) Eldeki malzemeler ve bu malzemelerin kolay bulunabilmesi
- h) Sondaj aletlerinin mevcudiyeti,
- i) Çakma şartlarına ve yöntemlerine en uygun kazıklar,
- j) Zeminin en az örselenmesi
- k) Zeminde asit veya diğer zararlı maddeler bulunması,
- l) Eğik kazıkların bir açıda çakılabilme kolaylığı,
- m) Eğilme için direnç veya esneklik
- n) Su seviyesinin altında veya üzerinde çakabilme,
- o) Mühendisin geçmişteki deneyimleri ile sahip olduğu kişisel tercih hakkı.

2.3 Kazık Tasarımında Aşamalar

Kazıklı temellerde tasarım ve değerlendirme aşağıda gösterilen aşamalarda yapılır.

- a) Zemin tabakalarını ve onların mukavemet – sıkışma özellikleri saptamak için arazi ve laboratuvar deneyleri yapılır. Kumlu zeminlerde SPT, CPT ve presyometre deneyleri çokça başvurulan deney teknikleridir. Çakıllı sıkı zeminler ve zayıf kayalarda SPT ve CPT yapmanın ve örnek almanın zor olduğu koşullarda presyometre özellikle yararlıdır.
- b) Eldeki verilere göre kazık tipi seçilir. Seçim, yükün türü ve büyüklüğü, elverişli tabaka derinliği nedeniyle gerekli uzunluğun, geçilecek zemin yapısının, proje ömrünün etkili olduğu ekonomi gözönünde alınarak yapılır.
- c) Ölçülen zemin özelliklerini kullanarak dinamik veya statik olarak olası çözümler için taşıma gücü analitik olarak değerlendirilir. Bu aşamada kazığa gelen basınç yükleri, şişme yükleri, negatif çevre sürtünmesi, yatay yükler nedeniyle eğilme ve ötelenmeler ile eğik kazık gerekip gerekmediği değerlendirilir.
- d) Deney kazıkları üzerinde yükleme deneyleri yapılır ve statik ya da dinamik analiz sonuçları doğrulanır. Deneyler basınç, çekme veya yanal yükleme şeklinde olabilir.
- e) Kazık aralıkları saptanıp grup yanal ve düşey kapasitesi değerlendirilir. Değişik tiplerin ekonomik karşılaştırılması yapılır.
- f) Tek elemanda veya grupta oturma analizi yapılır. Oturmalar killi zeminlerdeki sürtünme kazıklarında, altta daha fazla sıkışabilir tabaka olması halinde tüm kazıklarda, zemin ve çok iyi kalite kaya dışında kayaya oturan ve ağır yük taşıyan uç kazıklarında kritik olabilir.
- g) Malzeme maliyetinin (uzunluk, çap ve yapının bir fonksiyonudur), sayıyı belirleyen taşıma gücünün, jeolojik koşullarının ve fiziksel verilerinin (civar yapılar, ekipman nakliyesi, engeller vs.) gözönüne alınması ile nihai karar verilir.

- h) Yapım sürekli denetlenir ve seçilen bazı kazıklarda yükleme deneyi yapılır. Çakma çelik ve beton kazıklarda çakım sırasında dinamik deneyler büyük çaplı beton kazıklarda bütünlük deneyleri yapılır.

2.4 Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü

2.4.1 Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü

Kullanılma amaçları ne olursa olsun kazıklardan beklenen, güven ile yük taşımalarıdır. Kazıklı temeller genellikle en az üç kazıktan oluşan kazık gruplarından oluşurlar. Bu yüzden pratikte önemli olan kazık grubunun taşıma gücünün belirlenmesidir. Kazık grubunun taşıma gücünün belirlenmesi ise tek bir kazığın taşıma gücünün bağlı olduğu faktörler bilinmelidir.

Kazığın taşıma gücü, kazığın göçmeden veya aşırı oturmalar göstermeden taşıyabileceği en büyük yük olarak tanımlanmaktadır. Kazık yükleme deneylerine ilişkin olarak taşıma gücüne nihai (sınır) yük de denilebilir. Proje yükü, nihai yükün bir güvenlik sayısına bölünmesiyle bulunabilir. Servis yükü ise tekil bir kazık için bulunan proje yükünün, kazıkların grup tesiri gözönüne alınarak küçültülmesi ile elde edilir. (Durlanık, 1995)

Bir kazığa gelen düşey yük kısmen kazığın uç direnci, kısmen de çevre sürtünmesi ile karşılanır. Kum içindeki tekil bir kazığın çevre sürtünmesi:

- a) Kumun sıkılığına,
- b) Kazığın şekline,
- c) Yüzey pürüzlülüğüne,
- d) Kazığın yerini doldurduğu kumun hacmine bağlıdır.

Kumlarda uç direnci de çevre sürtünmesi de derinlikle beraber artar. Homojen bir kum tabakasına kazık çakılırken, çevre sürtünmesi çakılmaya karşı koyacaktır. Kazığın aşağıya doğru hareketi kazık çevresindeki basıncı arttıracak ve böylece çevre sürtünmesi, taşıma gücünün yarısından da büyük olacaktır. Oysa kazık yukarı çekilirken oluşacak çevre sürtünmesi taşıma gücünün yarısından küçüktür.

Yumuşak kil veya plastik kil içindeki sürtünme kazığının uç direnci, çevre sürtünmesi yanında ihmal edilebilir. Tamamıyla zemin özelliklerine bağlı çevre sürtünmesi, yumuşak kil ve siltte zamana bağlı olarak bir miktar artar. Yumuşak bir kile çakılan kazık, çakılırken çevresindeki zemin halkasını örseler. Örselenmiş bölgede kayma direnci azalır. Bununla birlikte örselenen halkanın bir ay gibi kısa bir zamanda konsolide olması sonucu, kazık

çevresinde eskisinden daha sağlam bir bölge oluşur. Kazığa gelecek olan yapı yükleri, kazık çakıldıktan sonra birkaç ay geçmeden kazığa yüklenemeyeceğinden, kazık çakılması sırasında ortaya çıkan direnç azalması önemsizdir. Tecrübelerle dayanarak denilebilir ki; yumuşak kil ve plastik siltler içine çakılmış bir kazığın taşıma kapasitesi hesabında birim çevre sürtünmesi, drenajsız kayma mukavemeti veya serbest basınç dayanımının yarısına eşit alınabilir. Katı killerde durum yumuşak killerden farklıdır. Yumuşak kil kazık çevresini tamamen sarar ve adezyon kilin kayma direncine eşit olur. Oysa katı kilde kazık çakılırken kazıkla kil arasında kalacak boşluk ve zeminin örselenmesi yüzünden çevre sürtünmesi azalır. Çevre sürtünmesinin değeri, serbest basınç direncinin yarısından küçük olur.

Yükü, derinde bulunan sağlam zemin tabakalarına iletmek için uç kazıkları kullanılır. Kazık, yumuşak kil veya silt gibi tabakaların içinden geçiyorsa, negatif sürtünme nedeniyle kazık üzerine gelen yük artar. Eğer bu yük kazık ucu seviyesindeki zeminin taşıyabileceğinden daha büyük bir değere erişirse, oturma da çok büyük olur ve tehlike, haftalarca sürecektir bir kazık yükleme deneyiyle bile anlaşılmayabilir. Bu yüzden uç kazıklarında kazığın toplam taşıma gücünden çok, uç direncini bilmek daha önemlidir.

Kazık taşıma kapasitesinin ne kadarının çevre sürtünmesi ne kadarının uç dayanımı ile karşılandığı sadece zemin cinsi ve kazık boyutlarına değil, aynı zamanda kazığın imal ve yerine yerleştiriliş şekline bağlıdır. Ahşap kazıklar ve dışarıda hazırlanmış betonarme kazıklar bir tokmağın kazık başına düşürülmesiyle zemine çakılırken veya içi boş alt ucu çakma sırasında kapalı tutulan bir çelik boruyu zemine çakmak sonra borunun içini betonlayıp boruyu yukarı çekmektir. Böylece kazığın çakımı sırasındaki etki de azaltılmış olur. Sondaj deliğine beton dökülerek de kazık imal edilebilir

2.4.2 Tekil Kazıkların Taşıma Gücü

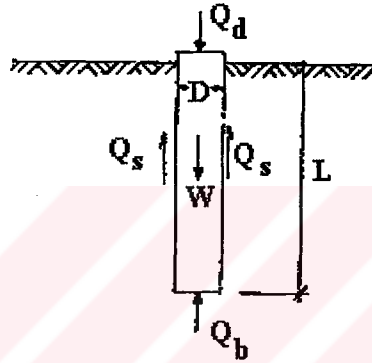
Bir kazığın göçmeden ve aşırı oturmalar göstermeden taşıyabileceği maksimum yük olan nihai taşıma kapasitesi (kazık taşıma gücü), kazığın yapılmasından önce belirlenen kohezyon ve kayma mukavemeti açısı gibi örselenmemiş zemin mukavemet parametrelerinin kullanıldığı statik formüllerle hesaplanabilmektedir. Eksenine paralel yüke maruz kalan bir kazık, bu yükü kısmen kazık shaftı boyunca oluşan kayma gerilmeleriyle ve kısmen de kazık ucunda meydana gelen normal gerilmelerle taşıyacaktır (Şekil 2.2). Çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin ayrı ayrı tayin edilmesi görüşü tüm statik formüllerin temelini oluşturur:

Tekil kazığın taşıma kapasitesi (Q_d), şu şekilde ifade edilebilir:

$$Q_d = Q_b + Q_s - W_k \quad (2.1)$$

Bu ifadede Q_b uç direncini, Q_s çevre sürtünmesi, W_k kazık ağırlığını göstermektedir.

Kazık yumuşak kil veya silt gibi üniform plastik bir zemin içinde bulunuyorsa, Q_b 'nin değeri Q_s yanında ihmal edilebilir. Bu tür kazıklara sürtünme kazığı denir. Öte yandan yükü, esas olarak, derindeki sağlam tabakaya aktarmak amacı ile kullanılan uç kazıkları için ise çoğu kez Q_s , Q_b 'nin yanında ihmal edilebilir.



Şekil 2.2 Eksenel yüklü bir kazıkta çevre sürtünmesi ve uç direnci bileşenleri

Genellikle, kazık ağırlığı (W_k), Q_d 'ye göre küçüktür ve bu terim çoğu kez (2.1) eşitliğinde ihmal olunur. Ancak derin sulardaki deniz yapılarında kazık uzunluğu oldukça büyük olacağından böyle durumlarda W_k 'yı gözönüne almak gereklidir.

Genel anlamda bir kazığın taşıma gücü, zemin cinsi ve karakteristiklerine, yeraltı suyu durumuna, kazığın taşıyıcı zemin tabakası içindeki uzunluğuna, kazık üzerindeki tabakaların kalınlığına, kazığın yapıldığı malzemeye, kazık şekli ve enkesit alanına, kazık ucu yapılışına, kazıkların uygulama şekline, kazıkların tanzimine ve aralığa bağlı olmakla beraber; negatif çevre sürtünmesinin de taşıma gücü üzerinde önemli etkisi vardır.

Sürtünme kazıklarında taşıma gücü çevre sürtünmesi ile sağlanır ve bu taşıma gücü özellikle ince kumlu, siltli ve killi zeminlerde, zamanla doğru orantılı olarak artar. Ayrıca kazık çevresindeki zeminin konsolide olarak oturması ve kazık ile zemin arasındaki adezyon, kazığın zemin kadar sıkışması, kazıkta negatif sürtünme denilen ilave bir düşey kuvvet ortaya çıkarır ki bu kuvvet taşıma gücünü azaltıcı yöndedir. Negatif çevre sürtünmesinin yapı

üzerindeki etkisi uygun kazıklar yapmak ve kazık çeperine bitüm kaplanarak engellenebilir (Durlanık, 1995). Kazıklı bir temelin yanında, taşıyıcı zemin üzerindeki yumuşak zemin tabakaları yayılı bir yük ile düzgün olmayan bir şekilde yüklenirse; bu yumuşak zeminin yatay hareketine sebep olabilir. Bu şekilde kazıklar eğilmeye de maruz kalırlar. Taşıma gücü üzerinde etkisi olan bir diğer faktör de dinamik zorlamalardır. Kazığın uygulanması sırasında oluşacak titreşimler hem taşıma gücünü azaltır, hem de oturmaları artırır.

Eksenel yüklü bir kazığın düşey taşıma kapasitesi, kazık malzemesi mukavemetine ve kazığın içinde yer alacağı zeminin mukavemetine bağlı olarak hesaplanır. Taşıma kapasitesi olarak bu değerlerden küçük olanı seçilir.

Eksenel yüklü kazıkların düşey taşıma kapasiteleri aşağıdaki yöntemlerde belirlenebilir.

- a) Statik yöntemler,
- b) Arazi deneyleri,
- c) Kazık yükleme deneyleri,
- d) Dinamik formüller,
- e) Dalga denklemleri.

Kazık yükleme deneyleri kazık taşıma gücünün belirlenmesi için, yerinde yapılan 1/1 ölçekli model deneylerdir. Kazığın içinde bulunduğu veya oturduğu tabakaların geoteknik özelliklerinden faydalanarak kazık taşıma gücünün hesaplanmasına yarayan ifadeler statik formüller denir. Kayma direnci, buna bağlı olarak taşıma gücü yüksek olan zeminlerde kazık penetrasyon miktarının az olmasına bakılarak kazığın zemine penetrasyon miktarından taşıma gücünü tahmin etmeye yarayan ifadeler ise dinamik formüllerdir.

Kum, çakıl gibi zeminlerde dinamik ve statik yükler altında oluşacak direnç her zaman aynı olacağından; statik yüke karşı zemin direnci, dinamik kazık formülleri ile oldukça güvenilir şekilde tahmin edilebilir. Oysa killi ve siltli zeminlerde, genellikle dinamik ve statik yükler altında zemin direnci oldukça farklı olur. Katı kil zeminlerde, dinamik formüller ile hesaplanacak taşıma gücü, statik taşıma gücünden çok küçük çıkar. İki değer eşit çıkması düşük bir olasılıktır.

BÖLÜM 3

STATİK YÖNTEMLER İLE KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Kazıkların taşıma gücü, zeminin ve kazığın özelliklerinden faydalanılarak hesaplanabilir. Bu amaçla statik kazık formülleri geliştirilmiştir. Kazık taşıma kapasitesi Q_d , iki bileşenden oluşur. Bu bileşenler uç direnci Q_b ve çevre sürtünmesi Q_s 'dir. Böylece kazığın toplam taşıma gücü:

$$Q_d = Q_b + Q_s \quad (3.1)$$

Şeklinde ifade edilmiştir. Kazığın ucunun oturduğu tabakanın taşıma gücünü q_b , kazık uç alanını A_b , kazığın birim yanal alanına gelen çevre sürtünmesini q_s ve kazığın zemin içinde kalan çevresinin alanını A_s ile gösterirsek formülü şu şekilde genişletebiliriz.

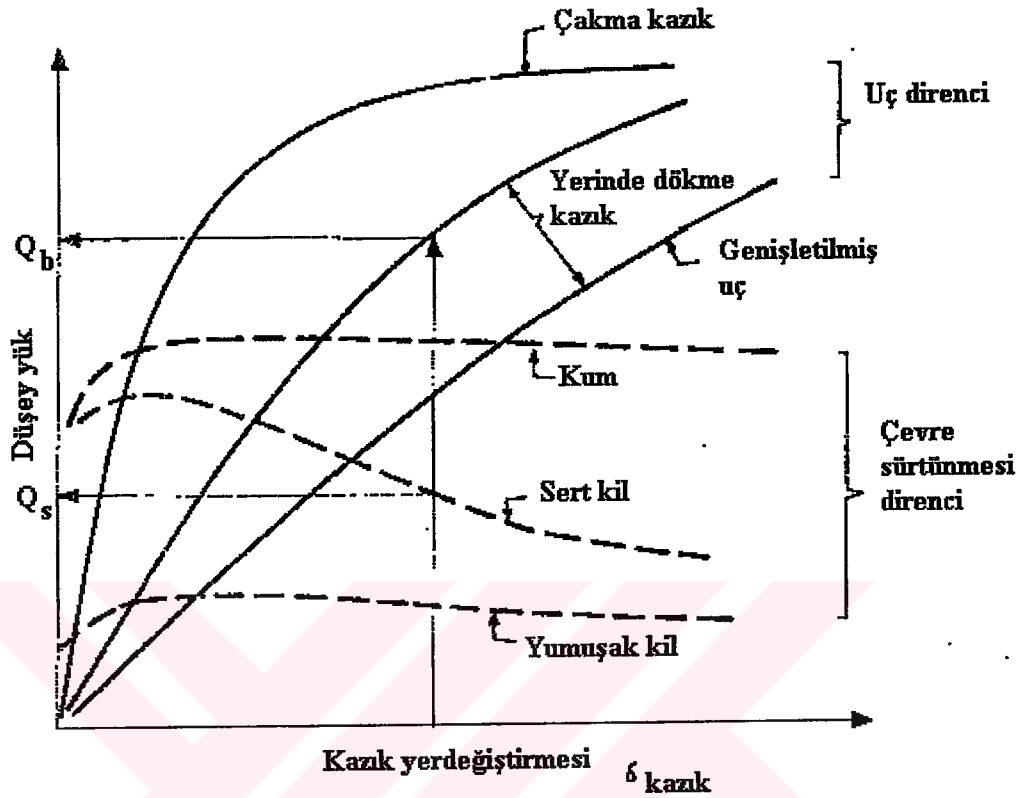
$$Q_d = q_b A_b + q_s A_s \quad (3.2)$$

Arazide çeşitli zemin tabakaları mevcut olduğundan q_s değeri her tabaka için ortalama olarak ayrı ayrı bulunur ve o tabaka içindeki kazık dilimin yanal alanı ile çarpılır. Taşıma gücünün güvenilir bir şekilde tahmin edilebilmesi için q_b ve q_s değerlerinin doğru olarak belirlenmiş olması gerekir. Çekme kazıklarının nihai çekme yükü pratikte Q_s 'e eşit kabul edilebilir.

Çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin göreceli büyüklüğü, kazık geometrisine ve zemin profiline bağlıdır. Yumuşak bir zemin tabakasından geçip sağlam bir tabakaya oturan uç kazıklarında taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını uç mukavemeti oluşturur. Kohezyonsuz zeminlerdeki yüzen (sürtünme) kazıklarına taşıma kapasitesi, çevre ve uç direnci arasında daha eşit dağılırken, kohezyonlu zeminlerde bir sürtüne kazığının çevre sürtünmesi ile taşıdığı yük taşıma kapasitesinin % 80-90'nı kadar olabilir (Fleming, 1985).

Uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile kazık eksenel yer değiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi kazık malzemesinden bağımsız olarak maksimum çevre sürtünmesini mobilize edecek yerdeğiştirme (δ_m), göreceli olarak çok küçüktür (2-5 mm) (Broms, 1981). % 0,5-2 kazık çapı bir oturmada maksimum çevre sürtünmesi direnci mobilize olurken, maksimum kazık uç mukavemetinin mobilize olması için kazık çapının % 5-10'u oranında bir oturma gereklidir. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde çakma nedeniyle kazık ucu altındaki zeminin sıkışması yüzünden maksimum uç

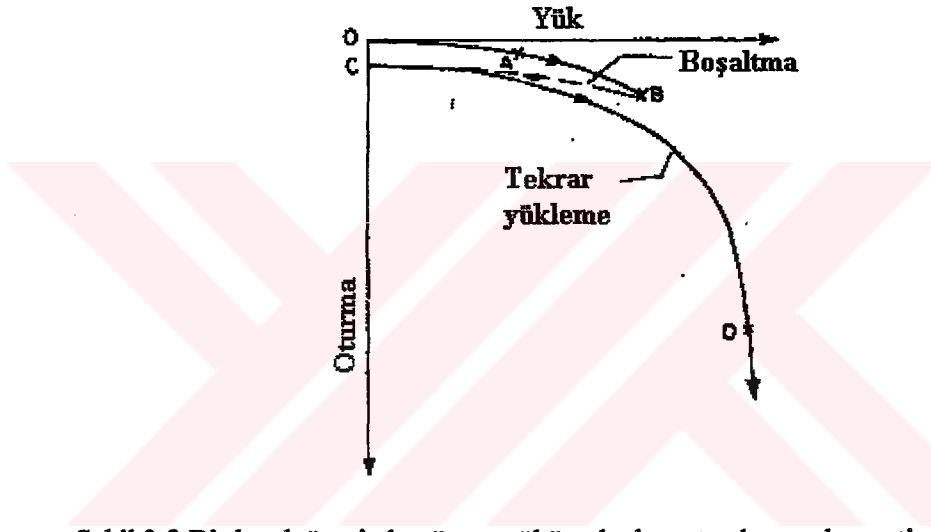
mukavemetini mobilize etmek için çakma kazıklara nazaran, yerinde dökme kazıklarda daha da büyük yerdeğiştirmeler (örneğin çapın % 30' u) gerekmektedir (Fleming, 1985).



Şekil 3.1 Farklı kazık türlerinde uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile kazık yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki (Broms, 1981).

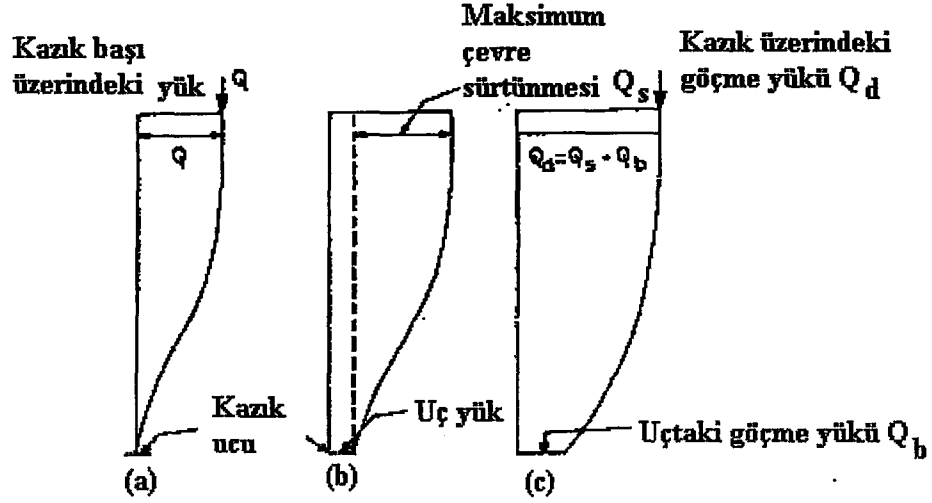
Kohezyonsuz zeminlerde ve katı killerde maksimum çevre sürtünmesi, yumuşak normal konsolide killerdekinden önemli derecede büyüktür. Maksimum çevre sürtünmesi aşıldığında, kohezyonsuz zeminler ve yumuşak killere için çevre sürtünmesi azalımı normal olarak çok küçüktür. Fakat katı killerde, maksimum uç mukavemeti mobilize olduğunda, çevre sürtünmesi direncinin maksimum çevre sürtünmesinden oldukça küçük olma riski vardır (ilerleyen göçme). Bu nedenle, katı killerde toplam taşıma kapasitesi, maksimum çevre sürtünmesi ($Q_{s,max}$) ve maksimum uç mukavemeti toplamından ($Q_{p,max}$) küçük olabilir. (Broms, 1981)

Eğer kazık gittikçe artan bir basınç kuvvetine maruz kalırsa, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bir yük-oturma eğrisi, Şekil 3.3’deki gibi her bir yükleme evresinde kazıktan zemine yük transferini gösteren diyagramlar elde olunur. Başlangıçta zemin-kazık sistemi elastik olarak davranır. Yani yük-oturma eğrisi üzerinde bir A noktasına kadar doğrusal bir ilişki vardır ve bu noktaya kadar herhangi bir kademede yük kaldırılırsa kazık eski haline geri döner. Böylece kazık A noktasına yüklendiğinde hemen hemen tüm yük kazık şaftındaki çevre sürtünmesiyle taşınır ve kazık ucuna yük transferi çok azdır veya hiç yoktur (Şekil 3-3a). Yük A noktasından ileriye arttırıldığında kazık-zemin arasında ve yakında kayma meydana gelir ve maksimum çevre sürtünmesi mobilize olur.



Şekil 3.2 Bir kazık üzerinde göçme yüküne kadar artan basınç kuvveti-oturma eğrisi (Tomlinson,1981).

Bu durumda, yük maksimum çevre sürtünmesiyle ve biraz da kazık uç mukavemetiyle taşınır (Şekil 3-3b). Eğer bu evrede yük boşaltılırsa kazık OC gibi bir kalıcı yerdeğiştirme yapar. Uç mukavemetinin tümünün mobilize edildiği evreye erişince (Şekil 3-2, D noktası) çevre sürtünmesindeki yük transferinde daha ileri bir artış olmaz (Şekil 3-3c) ve kazık herhangi bir yük artımı olmaksızın aşağı doğru batar veya yükteki küçük artırımlar, artan bir şekilde büyük oturmalara neden olur (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.3 Kazık başından şafta yük iletimi (Tomlinson, 1981).

- (a) Şekil 3-3 deki yük-oturma eğrisi üzerindeki A noktasında
- (b) Şekil 3-3 deki yük-oturma eğrisi üzerindeki B noktasında
- (c) Şekil 3-3 deki yük-oturma eğrisi üzerindeki C noktasında

Buraya kadar yapılan açıklamalar, kazığın nihai taşıma kapasitesinin statik formüllerle hesaplanabilmesi için (3.2) eşitliğindeki birim çevre sürtünmesi (q_s) ve birim uç mukavemeti (q_b) değerlerinin tahmin edilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Toplam taşıma kapasitesi, kazık çapı ve uzunluğunun değişik kombinasyonlarıyla elde edilebilir. Genelde, aynı çevre alanına sahip olmakla beraber, birkaç uzun narin kazık çok sayıda kısa kazıktan daha düşük oturmalarla neden olacak şekilde ve daha etkili olarak yükü taşıyabilseler de kazığın narinliği ekonomik nedenlerle veya eksenel kompresibilitesi veya çakma süresindeki stabilitesinden kaynaklanan bazı etmenlerle sınırlandırılabilir (Fleming, 1985).

Bundan sonra ara alt başlıklar altında, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıklarıyla kayaya oturan uç kazıklarının nihai taşıma kapasitesinin tahmin edilmesi incelenecek ve kazık davranışı gözönüne alındığında farklılık gösteren çakma kazıklar, yerinde dökme-çakma kazıklar ve sondaj kazıkları üzerinde durulacaktır. Ancak, bazı zemin türleri kohezyonlu veya kohezyonsuz ve kaya sınıflarına tam olarak uymazlar. Bu nedenle, belirlenen zemin profilleri için mevcut en uygun yöntem benimsenerek, kazık tasarımı yapılmalıdır. Statik formüllerin hemen hepsinde çevre sürtünmesinin yanal zeminin drenajlı kayma direnci açısı, efektif jeolojik yük ve kazık yerleştirme yöntemini hesaba katan bir faktörle modifiye edilmiş sükunetteki toprak basıncı katsayısı arasında sabit bir ilişkiyle

belirlenebileceğine, benzer şekilde kazık uç mukavemetinin de kazık ucu altındaki zeminin örselenmemiş kayma direncine dayalı klasik zemin mekaniği teorisiyle hesaplanabileceğine inanılır. Verilecek bağıntılar ampirik olup, yükleme deneyleriyle ölçülen taşıma gücü kullanılacak kazık uzunluğu ve çap hakkında ön bir bilgi verirler. Bu nedenle, mühendisin herhangi bir yükleme deneyi ile kontrol etmeksizin, uygun bir güvenlik faktörü seçip tasarımını konservatif değerlere dayandırıp dayandırmayacağına karar vermesi gerekir. Son tasarım daha kapsamlı arazi deneyleri ve kazık yükleme deneyleriyle yapılmalıdır.

3.1 Kohezyonlu Zeminlerde Taşıma Gücü

3.1.1 Çakma Kazıklar

3.1.1.1 Birim Uç Mukavemeti

Bir kazığın birim uç mukavemeti, Terzaghi (1943) tarafından yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı için verilen;

$$q_b = k_1 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + k_2 \gamma B \gamma_2 \quad (3.3)$$

eşitliğiyle hesaplanabilmektedir. Buradaki notasyonların anlamı,

- | | |
|----------------------|---|
| k_1, k_2 | : Temel tabanı şekline bağlı katsayılar, |
| N_c, N_q, N_γ | : Temel tabanı altındaki zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma kapasitesi faktörleri, |
| γ_1 | : Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı |
| γ_2 | : Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı |
| B | : Temel genişliği veya daire temel halinde çap, |
| c | : Temel tabanı altındaki zeminin kohezyonu' dur. |

Kazık birim uç direncinin hesabında, bu formül çok kullanılmakta ve araştırmalar buradaki katsayılar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Deney sonuçları dairesel kesitli temeller için k_1 ve k_2 'nin sırasıyla 1,3 ve 0,6 değerlerine eşit olacağını göstermiştir. Killerde $\phi=0$ (suya doymun kabulüyle) $N_\gamma = 0$, $N_q = 1$ ve $c = c_u$ (kilin drenajsız kayma mukavemeti) olduğundan, L uzunluğunda D çaplı bir kazık için (3.3) eşitliği;

$$q_b = 1,3 c_u N_c + \gamma_1 L \quad (3.4)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Kazık malzemesi birim hacim ağırlığı (γ_k) zemin birim hacim ağırlığına (γ_1) eşit kabul edilirse, kildeki bir sürtünme kazığının net birim uç mukavemeti;

$$q_{b_{net}} = (1,3 c_u N_c + \gamma_1 L) - \gamma_k L = 1,3 c_u N_c = c_u N_c^* \quad (3.5)$$

olur (Broms, 1981).

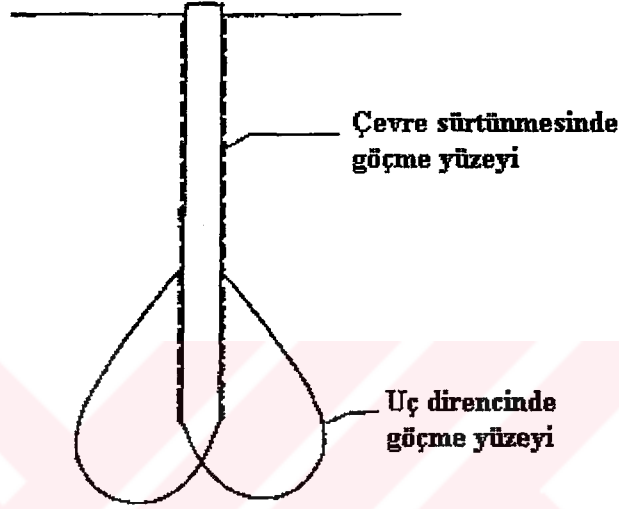
Eğer kazık çapı (D) yaklaşık 30 cm den küçük ve kazık uzunluğu 4D-5D den büyükse, $N_c^*=9$ olacağı kazık yükleme deneyleri ve teorik hesaplarla gösterilmiştir. N_c^* taşıma kapasitesi faktörünün değeri kazık çapının artımıyla azalır. Kazık çapı 30 cm ile 60 cm arasında ise $N_c^*=7$ ve çapı 60 cm'den büyük kazıklar için de $N_c^*=6$ tavsiye edilmektedir (Broms, 1981). Bazı araştırmacılar ise kazık ucunun taşıyıcı tabakaya 3D veya daha fazla girdiği yerlerde $N_c^*=9$, kazık ucunun taşıyıcı tabakaya tam değdiği yerlerde de $N_c^*=6$ alınmasını, arada bir penetrasyon miktarı için de N_c^* değerinin lineer bir enterpolasyonla bulunmasını önerirler. (Fleming, 1985).

Meyerhof (1973), kazığın taşıyıcı tabaka içine en az çapının 5 katı kadar çakıldığı durumlarda, Skempton da kazık boyunun çapından en az 2,5 kat büyük olduğu yerlerde pratik amaçlar için N_c^* taşıma kapasitesi faktörü değerinin yaklaşık 9 alınabileceğini teorik olarak göstermiştir (Tomlinson, 1981).

Kohezyonlu zeminlerdeki çakma kazıklarının birim uç mukavemeti (3.5) eşitliğiyle örselenmemiş drenajsız kohezyon değerini kullanarak hesaplamak tam anlamıyla doğru değildir. Kohezyonlu bir zemine kazık çakıldığında göçme yüzeyinin büyük bir kısmı Şekil 3-4 de gösterildiği gibi kazık ucu civarında olup, bu bölgedeki zemin kazık penetrasyonu ile örselenir. Uç altındaki zeminin yoğrulması nedeniyle örselenmemiş kohezyon değerini almak hatalı olabilir (Tomlinson, 1981).

Örneğin sert fisürlü kilin yoğrulmasıyla direnci artarken, yumuşak hassas kilin yoğrulmasıyla direnci azalmaktadır (Tomlinson, 1973). Ayrıca yumuşak killerde çakımın neden olduğu fazla boşluk suyu basınçları zamanla sönümleneceğinden kazığın uzun dönemde drenajlı uç mukavemeti, drenajsız kapasiteden oldukça büyük de olabilir (Fleming, 1985). Bu değişimlere rağmen hesaplarda c_u (drenajsız kohezyon) değerinin alınması genellikle güvenilir sonuçlar doğurur. Çünkü, taşıma gücü büyük oranda uç mukavemetine dayanan bir kazık yumuşak hassas bir kilde bitirilemeyeceği gibi, bu tip zeminde biten bir kazığın uç mukavemeti çevre sürtünmesi yanında önemsiz bir degerdedir (Tomlinson, 1973). Benzer

şekilde çevre sürtünmesiyle karşılaştırıldığında drenajlı uç direncini mobilize edecek gerekli oturmalar çoğu yapı için müsaade edilebilir sınırdan çok fazladır. İlerleyen göç nedeniyle aşırı hassas killerde uç direncini tamamıyla hesaba dahil etmek de önerilebilir (Broms, 1981). Bu nedenle, doğru kabul edilmeyen kohezyon nedeniyle hatalar pek önemli olmayıp, kohezyonlu zeminlerde kazıkların uç mukavemetinin (3.5) eşitliğiyle hesaplanması genel bir uygulama haline gelmiştir.



Şekil 3.4 Kazıklar üzerinde basınç yükleri için göçme yüzeyleri (Tomlinson, 1981)

3.1.1.2 Birim Çevre Sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerdeki sürtünme kazıklarının çevre sürtünmesi, toplam taşıma kapasitelerinin yüksek bir oranı olduğu için, bu tür zeminlerde çevre sürtünmesinin doğru tahmin edilmesi gerekir. Bu nedenle, araştırmalar bu yönde daha güvenilir yöntemler geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

a) Tomlinson Yöntemi

Tomlinson, nihai çevre sürtünmesi direnci için;

$$Q_s = \alpha \cdot S \cdot \bar{C}_u \quad A_s \quad (3.6)$$

Eşitliğini önermiştir (Tomlinson, 1973). Burada;

α : Adezyon faktörü,

$\bar{C}_u$: Kazık çevresini saran zemine ait örselenmiş ortalama drenajsız kohezyon,

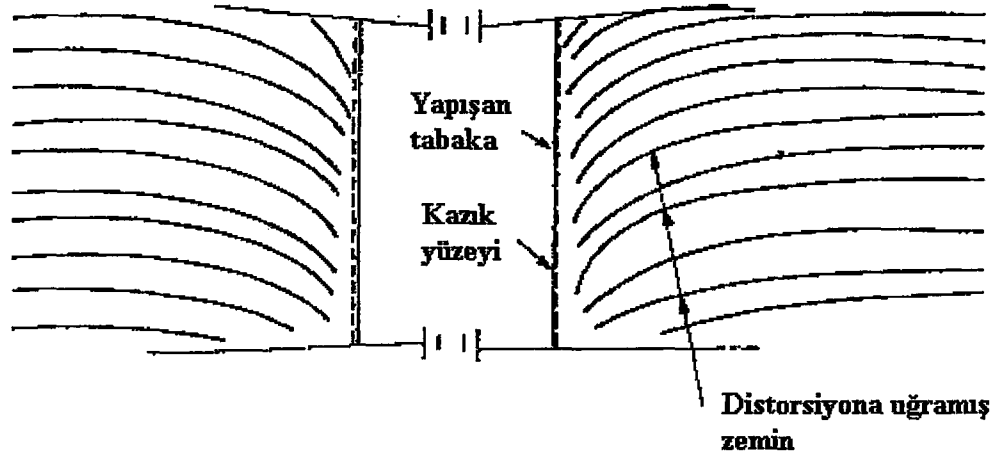
S : Şekil faktörü,

A_s : Zemin içerisinde kalan kazık yüzey alanıdır.

S şekil faktörü sabit kesitli kazıklarda 1, değişken kesitli kazıklarda (konik kazıklarda) ise 1,2 alınabilir (Tomlinson, 1981).

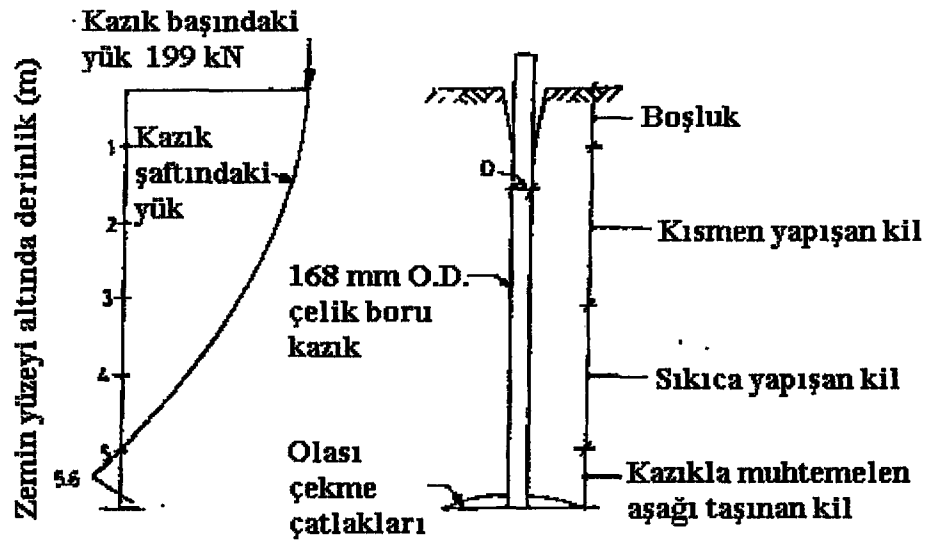
Kil zeminlerde teşkil edilen çakma kazıklardaki adezyon problemi Tomlinson tarafından incelenmiş ve α adezyon faktörünün kazık malzemesinden bağımsız olarak kısmen zeminin kohezyonuna ve kısmen de kazıkların içine çakıldığı taşıyıcı kil tabakası üzerindeki zeminin yapısına bağlı olduğu savunulmuştur. Tomlinson (1981), α adezyon faktörünün zemin kıvamıyla geniş bir dağılım gösterdiğini, çok yumuşak killer için 1 veya daha büyük bir değerden sert kıvama sahip killer için 0,2 değerine kadar düşebileceğini arazi deneyleriyle göstermiştir.

Katı bir kil içerisine çakılan kazıklarda, çakma başlangıcında zeminin kazıktan ayrılmasıyla, kazıkla zemin arasında 8 kazık çapı derinliğine kadar devam eden, bir yıl süreyle kapanmayabilen bir boşluk oluşabilir. Kazık çapının 8 ile 14-16 katı derinliğinde kil kısmen kazık yüzeyine yapışmakta, bu derinliğin altına ise 1-5 mm kalınlığında bir tabaka halinde kazık yüzeyine sıkıca yapışmakta ve kazık tarafından aşağıya taşınmaktadır. Böylece, göçme kazık ve zemin arasında değil, kazığın daha alt kısmında kazık yüzeyine yapışan tabaka ile kazık çevresinde yer alan ve kazığın oturması sonucu aşırı derecede kesilmiş ve distorsiyona uğramış zemin arasında olmaktadır (Şekil 3.5) (Tomlinson, 1973). Kazıktan zemine aktarılan yük transferi ise Şekil 3.6' da gösterilmiştir. Göçme bölgesindeki zeminin kayma mukavemetini kaybetmesi deformasyonun yüksek değerlerinde olacak ve bu durumda kalıcı kohezyon değeri, küçük deformasyon değerlerindeki yüksek değerlerine nazaran oldukça küçük değer alacaktır (Şekil 3.7).

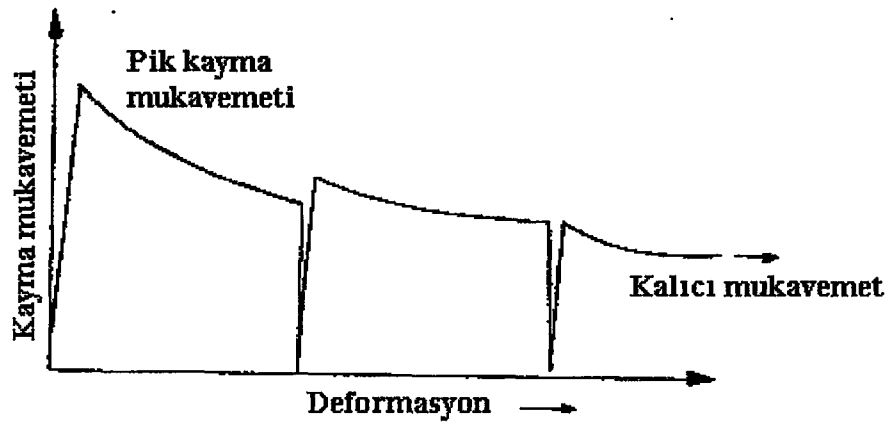


Şekil 3.5 Kazık yüzeyi ile temastaki kil zemininin negatif çevre sürtünmesi nedeniyle distorsiyonu (Tomlinson, 1973).

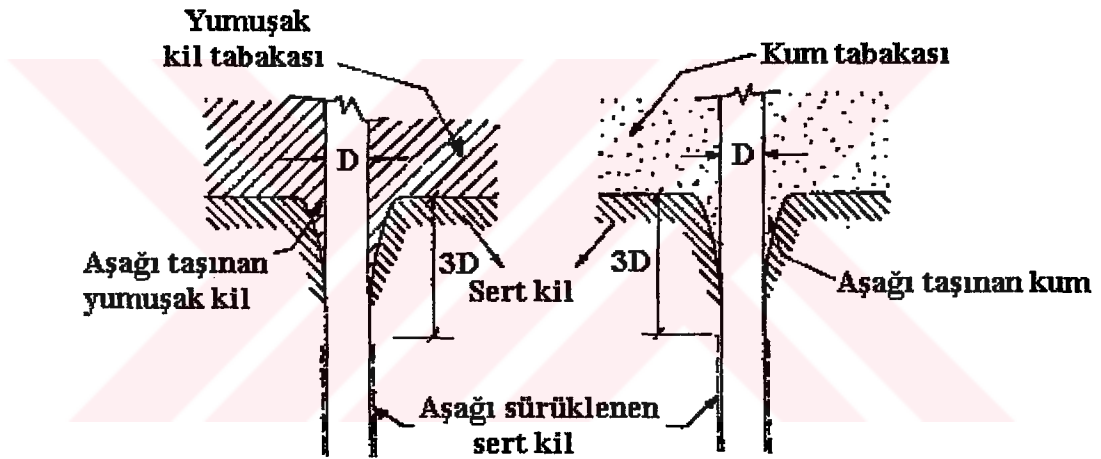
Tomlinson CIRIA projesiyle ilgili çalışmaları sırasında, kazıkların içine çakıldığı taşıyıcı kil tabakası üzerindeki, zemin tabakalarının α adezyon faktörüne etkilerini de araştırmıştır. Yumuşak kilden veya kumdan geçerek katı kile giren çakma kazıklarının, kazık şaftları üzerinde inceleme yapmış, her iki halde de yumuşak kil ve kumun, kazık çapının 3 katı derinliğine kadar katı kil içerisine girdiğini saptamıştır (Şekil 3.8). Kazık yüzeyine yapışıp kazıkla beraber hareket ederek katı kile giren yumuşak kil tabakası adezyon faktörünü azaltırken, kum tabakası artırmıştır (Tomlinson, 1973).



Şekil 3.6 Kazıktan katı kile yük aktarımı (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.7 İleri deformasyonda kesme sonucu kilde maksimum ve kalıcı kesme mukavemeti (Tomlinson, 1973).



Şekil 3.8 Kilerde kazık yüzeyine yapışarak aşağı taşınan zemin tabakası (Tomlinson, 1981).

Bu araştırma kazığın katı kil tabakasına penetrasyon miktarının adezyon faktörü üzerinde önemli etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Herhangi bir üst tabakadan geçmeden, doğrudan katı kile çakılan ve çakma boyunun az olduğu kazıklarda, kazıkla zemin arasında oluşan boşluklar nedeniyle adezyon faktörü çok düşük değer alabilir (Tomlinson, 1973).

Kazık çevresindeki aşağı taşınan tabakanın mukavemeti zeminin yanıl yükler tesiriyle konsolidasyonu sonucu yumuşak kile nazaran büyük olsa da, yumuşak kilden geçerek katı kile giren ve katı kil içerisindeki penetrasyonu az olan kazıklarda, çevredeki yumuşak kil tabakası nedeniyle adezyon faktörü düşüktür. Katı kil tabakasındaki kazık penetrasyonu

arttıkça üst tabaka koşullarının adezyon faktörüne etkisi azalır. Çok derin penetrasyonlarda kazık ve zemin arkasındaki boşluklar nedeniyle adezyon faktörünün azalması veya kazık çevresinde sürüklenen kum tabakası nedeniyle adezyon faktörünün artması, kazığın toplam çevre sürtünmesine göre çok küçük oranda olacaktır (Tomlinson, 1973). Ancak çok derin penetrasyonlarda kil tabakası kum veya kumlu çakıl ihtiva ederse, bunlar kil tabakası üstünde bir kum tabakası varmış gibi aynı şekilde adezyon faktörünü etkilerler ve çevre sürtünmesi tayininde hesaba katılabilirler (Tomlinson, 1981).

Tomlinson sert killer içine çakılan çakma kazıklarda α adezyon faktörü için Şekil 3.9'daki tasarım eğrilerini vermiştir. Yine Tomlinson tarafından bu eğrilerin geçerliliğini saptamak amacıyla bir seri kazık yükleme deneyi sonuçları, $N_c=9$ alınarak (3.5) eşitliğiyle hesaplanan uç mukavemeti ve bu eğrileri kullanarak hesaplanan çevre sürtünmesinden tahmin edilen toplam taşıma gücü değerleri karşılaştırılmış özellikle taşıyıcı kil tabakası üzerinde kum veya çakıl tabakasının bulunması halinde tahmin olunan taşıma gücü değerinin daha az olduğu gösterilmiştir. (Tomlinson, 1973). Tomlinson, daha sonraki yıllarda yayınlanan deney sonuçlarına dayanarak değişken kesitli kazıklarda konikleşmenin kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesini çok az etkilemesi nedeniyle S şekil faktörünü ihmal ederek (3.6) eşitliğini daha basit olarak

$$Q_s = \alpha \bar{C}_u A_s = C_a A_s \quad (3.7)$$

şeklinde vermiştir. Burada,

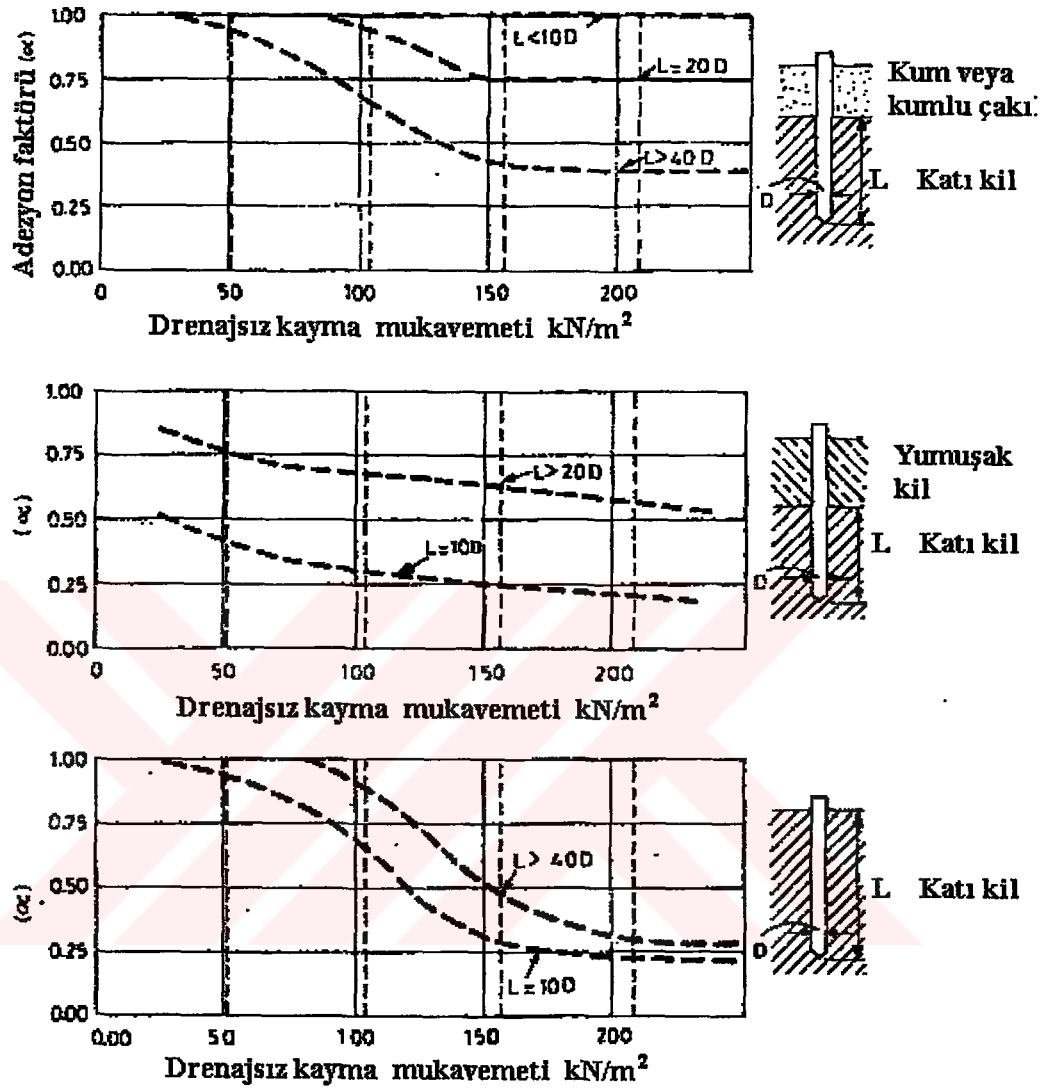
C_a : Ortalama birim çevre sürtünmesi (adezyon)' dur.

Bu nedenle, şekil 3.9'daki eğriler değişken kesitli kazıklara, açık uçlu çakılan çelik veya prekast beton kazıklara uygulanabilir (Tomlinson, 1981).

b) Broms Yöntemi

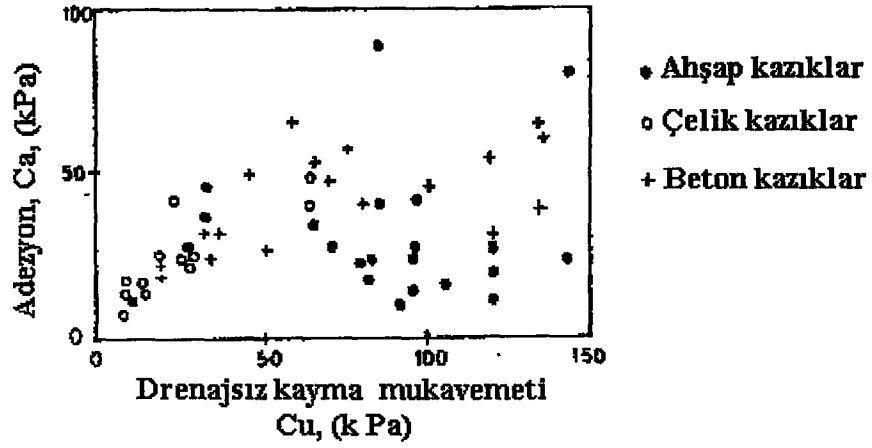
Tomlinson, kil zeminlerde teşkil edilen çakma kazıklarda α adezyon faktörünün kazık malzemesinden bağımsız olduğunu savunurken Broms (1981) ve Fellenius (1980) birim çevre sürtünmesinin kazık malzemesinden ve kazık şeklinden etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Fellenius, pürüzlü yüzeyli bir kazık civarındaki zemin, çakma süresince örseleneceğinden dolayı pürüzlü yüzeyli kazıklar için çevre sürtünmesinin (adezyonun) cilalı yüzeyli kazıklarındakinden küçük olacağını, eğer kazık yüzeyi çakımdan önce kuru ise ahşap kazıkların adezyonunun azalacağını dolayısıyla ıslanmış bir kazığın çevre sürtünmesinin

normal su muhtevasında bir kazığın çevre sürtünmesinden büyük olacağını göstermiştir (Broms, 1981).



Şekil 3.9 Killi zeminlere çakılan kazıklarda adhezyon faktörü için tasarım eğrileri (Tomlinson, 1981)

Broms, Şekil 3.10' da özetlenen kil zeminlere çakılan sürtünme kazıkları üzerinde yapılan yükleme deneyi sonuçlarından kazık malzemesinin ve kilin drenajsız kayma mukavemetinin bir fonksiyonu olarak çizelge 3.1'de gösterilen adhezyon değerlerini önermektedir.



Şekil 3.10 Killerde sürtünme kazıklarının adezyonu (Broms, 1981).

Çizelge 3.1 $c_u \leq 50$ kPa olduğunda kildeki çakma kazıklar için önerilen adezyon değerleri (Broms, 1981).

Kazık Cinsi	Adezyon (c_a)
Ahşap kazıklar (çakımdan 1 ay sonra)	$c_a = c_u$
Beton kazıklar (çakımdan 3 ay sonra)	$c_a = 0,8 c_u$
Çelik kazıklar (çakımdan 6 ay sonra)	$c_a = 0,5 c_u$

Broms tarafından önerilen adezyon değerleri ekli kazıklar için geçersiz olup, kilin kayma mukavemeti 50 kPa' ı geçerse tek parça kazıklar için de uygulanamaz (Broms, 1981). Kilin kayma mukavemeti 50 kN/m²' yi aştığında taşıma kapasitesi Broms' a göre kayma mukavemetinden bağımsız olacaktır. Bu durumda da ahşap ve beton kazıklar için adezyon genelde çelik kazıklarınkinden oldukça büyüktür. Adezyondaki bu fark muhtemelen çakım süresince kazıkla çevre zemin arasında boşluk yaratan kazık yanal vibrasyonundan ileri gelir. Kilin kayma mukavemeti büyükse kil, çakma kazık boyunca geri akmayacak ve boşluğu kapamayacaktır. Bu nedenle, çevre zeminle temas göreceli olarak düşük kayma mukavemetli (<50 kPa) killer gibi iyi olmayacaktır. Çevre sürtünmesi killerdeki tekrar konsolidasyon hızını etkileyen çatlaklar ve krip hızını etkileyen plastisite indeksi gibi faktörlerden de etkilenir (Broms, 1981).

Yükleme hızı 0,001 mm/dak ile 1 mm/dak aralığında olduğunda yükleme hızının her bir 10 kat artımı için kazık boyunca adezyon yaklaşık % 15-25 artar. Göreceli olarak ilk kayma mukavemeti düşük killeri için en büyük artım gözlenmiştir.

Çok uzun kazıklar için adezyonun, kazığın yüklendiğinde sıkışması nedeniyle, Çizelge 3.1'de verilen değerlerden küçük olabilme olasılığı vardır. Maksimum çevre sürtünmesini mobilize etmek için çok küçük bir düşey yer değiştirme gerekli olduğundan, önce zemin yüzeyine yakın çevre sürtünmesi mobilize olur. Aşırı hassas killerde adezyon, kazık ucunda maksimum çevre sürtünmesi mobilize edilmeden önce, kalıcı düşük değerine azalabilir. Eklentili kazıklarda eğer üst kısmın çapı veya kenarı alt kısmındakinden küçük ise, üst kısımdaki adezyon düşük olabilir. Bu nedenle taşıma kapasitesi hesabında üst kısmın adezyonu dahil edilmemelidir.

Çizelge 3.1'de verilen adezyon değerlerine erişmek için çakımdan sonra süre gereklidir. Beton kazıklar için 2-3 ay gerekli olabilirken, normalde ahşap kazıklar için 4 hafta yeterlidir. Normal konsolide killerde çelik kazıklar için yaklaşık 6 ay süre gereklidir. Çok aşırı konsolide killeri için 2-3 hafta gibi kısa bir süre gerekli olabilir. Plastisite indeksi düşük ($I_p < 50$) killerde, beton kazıklar için, taşıma kapasitesi maksimum değerine ulaşmadan önce 6 ay kadar bir süre gerekli olabilir.

Korozyona karşı koruma olarak kazıklar asfaltla kaplanmış ise, adezyon Çizelge 3.1'de verilen değerlerden oldukça küçük olur. Deney sonuçları uzun süreli yüklemelerde adezyonun, asfaltla kaplanmamış bir kazığın adezyonunun % 30-80'i olacağını göstermiştir.

c) Chandler, Burland, Clark ve Meyerhof Yöntemi

Yalın zemin mekaniği teorisinden hareketle killi zeminlerde teşkil edilen çakma kazıkların çevre sürtünmesinin hesabı için bir yöntem de, kazık shaftı üzerine etkiyen yatay efektif gerilme ile kazık-zemin arasındaki efektif yoğunlaşmış sürtünme açısıyla ilgilidir. Zeminde drenaj olduğu kabul edilip ve $c'=0$ olduğu söz önünde bulundurularak, birim çevre sürtünmesi için;

$$c_a = q_s = \sigma_{ho}' \tan \phi_a = \sigma_{vo}' K_o \tan \phi_a = \beta \sigma_{vo}' \quad (3.8)$$

eşitliği önerilmiştir. Bu eşitlik de,

σ_{vo}' , σ_{ho}' : Kazığın zemine yerleştirilmesiyle zemindeki gerilme durumunun değişmediği

varsayılarak, kazık yüklenmeden önce zemindeki düşey ve yatay asal efektif gerilmeler,

K_o : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı,

ϕ_a : Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısıdır.

Yumuşak killerde $\phi_a = \phi'$ kabulünü yapmak olağandır. Yumuşak, normal veya az aşırı konsolide killerde, Burland, Parry ve Swain

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (3.9)$$

ve

$$K = \frac{\cos^2 \phi'}{1 + \sin^2 \phi'} \quad (3.10)$$

arasında değişen K_o değerleri önermişlerdir (Fleming, 1981). $K_o = 1 - \sin \phi'$ alınır normal konsolide kiler için,

$$\beta = K_o \tan \phi' = (1 - \sin \phi') \tan \phi' \quad (3.11)$$

eşitliği yazılabilir. Yumuşak killerde $\phi' = 20^\circ - 30^\circ$ arasında değerler alır, dolayısıyla bu grup killeri için $\beta = 0,24 - 0,29$ aralığında değerler hesaplanır. Bu ise β nın kil cinsine fazla bağımlı olmadığını ve birim çevre sürtünmesi için;

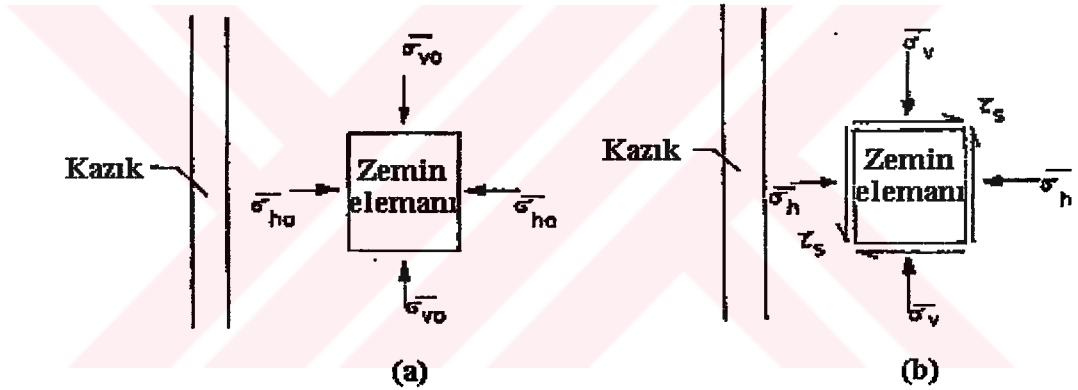
$$p_s = 0,3 \sigma_{vo}' \quad (3.12)$$

eşitliğinin kullanılabileceğini gösterir (Sağlam, 1980).

Katı killerde ($c_u > 50$ kPa) problemin çözümü yumuşak killeri kadar kolay değildir. K_o , sükunetteki toprak basıncı katsayısının değeri aşırı konsolidasyon oranının dolayısıyla derinliğin bir fonksiyonudur. Aşırı konsolide killerde $\beta = K_o \tan \phi_a$ faktörü için güvenilir bir değeri vermesi olanağı bugünkü bilgilerimiz dahilinde olanaksızdır. Katsayı, örneğin çakım sonrası kilin konsolidasyonu süresince kazık etrafındaki kemerlenmeden etkilenir. Muhtemelen yanal efektif gerilme artımı, konsolidasyon sonucu boşluk suyu basıncı düşümünden az olacaktır. Bu nedenle, kazık yükleme deneylerinin ekonomik olabileceği büyük işlerde, yükleme deneyleri önerilir (Broms, 1981).

(3.11) eşitliği gerek K_0 katsayısının kullanılması ve gerekse de kazığın zeminde teşkil edilmesi veya yüklenmesi sırasında geostatik efektif yatay gerilmenin değişmediğinin kabul edilmesi açısından tam anlamıyla doğru değildir. Kazığın zemine yerleştirilmesinde önce ve sonra, kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Geostatik gerilme durumuna karşı gelen Şekil 3.11 (a)’da σ_{ho}' ve σ_{vo}' yatay ve düşey efektif gerilmeleri asal gerilmelerdir. Kazığın zemine yerleştirilmesi ve yüklenmesi durumunda zemin elemanına etkiyen σ_h ve σ_v efektif gerilme değerleri ise, zemin elemanına etkiyen ve çevre sürtünmesine eşit olan τ_s kayma gerilmesi nedeniyle asal gerilmeler değildir. Sonuç olarak, bir yandan sükunetteki toprak basıncı durumundan söz edilirken, diğer yandan kazık shaftı boyunca çevre sürtünmesinin mobilize olduğunun düşünülmesi nedeniyle (3.11) eşitliği kavramsal olarak hatalıdır. Diğer bir deyişle, zeminin bir limit gerilme durumuna ilişkin maksimum ϕ' değeriyle, sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 , bir arada kullanılamaz.



Şekil 3.11 Kazığın zemine yerleştirilmesinden önce ve sonra kazığa bitişik bir zemin elemanındaki gerilme durumu (Sağlam, 1980).

$$q_s = 1,5 K_0 \sigma_{vo}' \tan \phi'_{ss} \quad (3.13)$$

eşitliğini önermiştir. Burada,

ϕ'_{ss} : Basit kesme deneylerinden ölçülen zemin ve kazık arasındaki sürtünme açısıdır (Fleming, 1985).

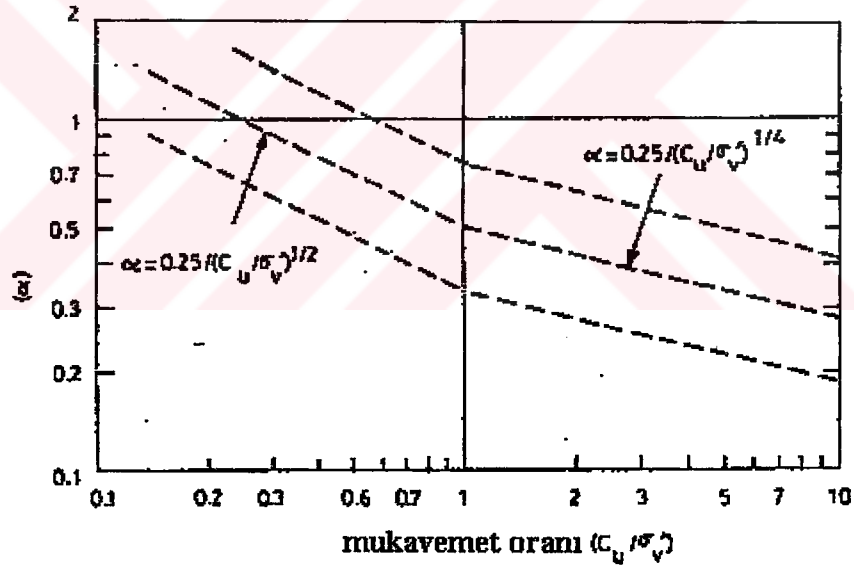
ϕ_{ss} üç eksenli basınç deneylerinden bulunan değerden biraz küçüktür.

Meyerhof da değişik aşırı konsolidasyon oranındaki killerdeki bir seri kazık yükleme deneyi sonuçlarından $\beta = q_s / \sqrt{\sigma_{v0}}$ oranı için ampirik bir ifade çıkarmıştır. İçsel sürtünme açısı ϕ'' nün tümünün kazık shaftında mobilize olduğunu kabul ederek, K_0 'ı da içine alacak şekilde

$$q_s = 1 \sim 2 \sigma_{ho}' = 1,5 \sigma_{ho}' \quad (3.14)$$

d) Randolph, Wroth, Kraft Sempole, Rigden Yöntemi

Çakma bir kazığın bitişigindeki zemin elemanlarının gerilme durumunu inceleme amacıyla yapılan çalışmalar, çevre sürtünmesinin yalnızca zeminin kayma mukavemetine değil onun geçmiş gerilme tarihçesine ve A.K.O'ya bağlı olacağını göstermiştir. Dolayısıyla gerek $\alpha = q_s / c_u$ ve gerekse de $\beta = q_s / \sigma_v'$ parametreleri farklı zeminler için c_u / σ_v' mukavemet oranını bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir (Fleming, 1985). Şekil 3.12'de çakma kazıklar üzerinde yapılan yükleme deneyi sonuçlarından elde olunan α değerleriyle ortalama yerinde mukavemet oranı dik eksen takımında gösterilmiştir.



Şekil 3.12 α 'nın mukavemet oranıyla değişimi (Fleming, 1985).

e) Vijayvergiya ve Focht Yöntemi

Killere çakılan kazıkların çevre sürtünmesi dirençlerinin belirlenmesinde diğer bir yaklaşım, çevre sürtünmesi, kilin drenajsız kohezyonunu ve efektif jeolojik gerilme arasında yarı-ampirik bir ilişki kurulmasıdır. Vijayvergiya ve Focht (1972) kazık yükleme deneyi verilerinden yararlanarak çevre sürtünmesi için

$$Q_s = \lambda (\bar{\sigma}_m + 2 \bar{C}_m) A_s \quad (3.15)$$

eşitliğini önermişlerdir (Vijayvergiya ve Focht 1972). Burada,

$\bar{\sigma}_m$: Kazık boyunca belirlenen ortalama düşey efektif gerilme,

$\bar{C}_m$: Kazık boyunca belirlenen ortalama drenajsız kayma mukavemeti,

λ : Ampirik boyutsuz sürtünme katsayısı

dır. Önerilen λ katsayıları şekil 3.13’de gösterilmiştir.

$\bar{\sigma}_m$ hesaplanırken yer altı suyunun var olup olmadığı incelenmelidir. Kazık yer altı suyu üstünde ise $\bar{\sigma}_m$, toplam efektif gerilmeye (σ_m) eşittir (Şekil 3.14a). Kazık ucu su seviyesinden h derinliğinde ise efektif jeolojik gerilme

$$\bar{\sigma}_m = \sigma_m - \gamma_w h \quad (3.16)$$

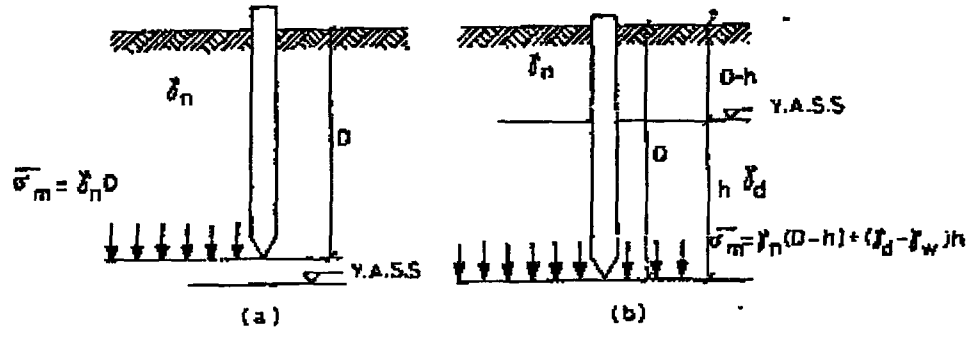
olup Şekil 3.14’deki şartlara göre

$$\sigma_m = [\gamma_n(D-h) + (\gamma_d - \gamma_w) h] \quad (3.17)$$

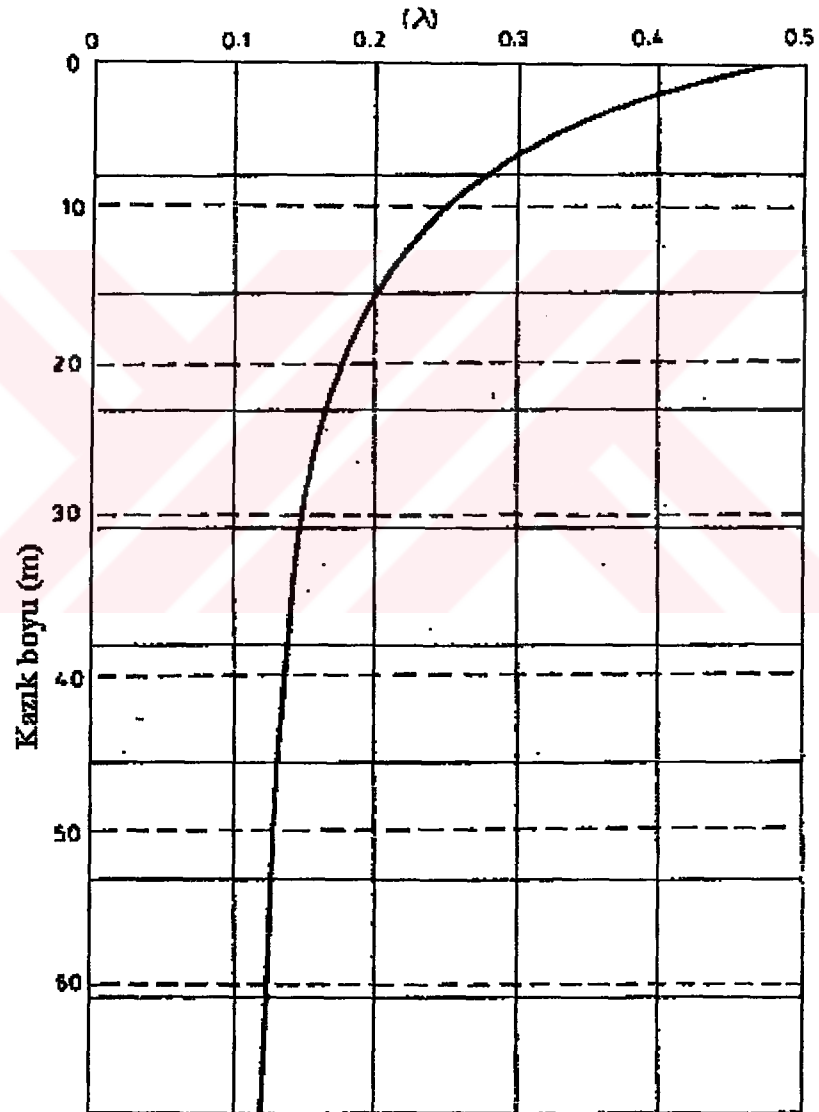
eşitliğiyle bulunur. Burada γ_n su seviyesi üzerindeki zeminin doğal birim hacim ağırlığı, γ_d zeminin suya doymun birim hacim ağırlığı ve γ_w suyun birim hacim ağırlığıdır.

Bu yöntemle hesaplanan çevre sürtünmesi, arazi deneylerinden elde edilen değerlere yakın olmakla beraber, (3.15) eşitliği olayın fiziki yönünden hatalıdır. Kazığın nihai çevre sürtünmesi hesaplanırken efektif gerilme ilkesi ve drenajsız kayma mukavemeti birlikte kullanılmaktadır.

Bu yöntem, katı killere kazık çakımında kazık-zemin arasında oluşacak boşluğu ve katı kil tabakası üzerinde yumuşak kil veya kum tabakası olması halinde kazıkla aşağı sürüklenecek bir tabakayı gözönüne almamaktadır. Bu nedenle, katı kil tabakası üzerinde yumuşak kil tabakasının olduğu yerlerde veya tamamıyla katı kil içerisinde çakılan kazıklarda kısa penetrasyonlar için, bu yöntem güvensiz değerler verirken, kum tabakasından geçip katı kile çakılan kazıklarda kısa penetrasyonlar için aşırı konservatif tahminler verir. Boşluk veya aşağı sürüklenme etkilerinin çok az veya hiç önemli olmadığı tabakalaşmamış killeri içerisine derin penetrasyonlarda yöntem oldukça güvenilir sonuçlar verir (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.13 Kil zeminlerde değişik kazık boyları için λ değerleri (Vijayvergiya ve Focht 1972).



Şekil 3.14 Efektif düşey gerilmenin tayini

kazıklarında adezyon faktörü olarak 0,44 ve 0,57 değerleri, ahşap çakma kazıklarda ise 0,53 ve 0,69 değerleri elde edilmiştir (Tomlinson, 1981).

3.1.3 Yerinde Dökme Kazıklar (Fore Kazıkları)

3.1.3.1 Birim Uç Mukavemeti

Kazık ucu ve çevresinde oluşan kırılma zonu (Şekil 3.4) içinde kil zeminin, kazık teşkiliyle fiziksel özelliklerinin değişmeyeceği kabul edilerek tüm pratik amaçlar için birim uç mukavemeti (3.5) eşitliğinden hesaplanabilir. Buradaki N_c^* taşıma kapasitesi faktörü 9 alınabilir. Ancak, Whitaker ve Cooke fisürlü yapıda bir kilin (Londra kili), geniş sondaj kazıklarının uç mukavemetini önemli derecede etkileyeceğini savunmuşlar ve eğer taşıma kapasitesi faktörü olarak 9 benimsenirse, ortalama kayma mukavemetinin c_u derinlik bağıntısındaki düşük değerlerden seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Reese, bentonit bulamacı kullanılması halinde birim uç direncinde uygun bir azalma kabul edilmesini gerekli görmektedir (Tomlinson, 1981).

3.1.3.2 Birim Çevre Sürtünmesi

Zeminde rotari burgu veya klape ile sondaj deliğinin açılması ve daha sonra bu deliğin betonlanması ile teşkil edilen sondaj kazıklarında, kazık inşasının çeşitli evrelerinde değişik etkiler vardır. Bu değişiklikler kazığın çevre sürtünmesini önemli ölçüde etkiler. Kazık için sondaj deliğinin açılması, delik çeperinde yanal gerilme boşalmasına, dolayısıyla kilin kabarmasına ve delik yüzeylerine doğru bir boşluk suyu akımının başlamasına neden olur. Fisürlü killerde fisürlerdeki su sondaj deliği çeperlerinden aşağı doğru akar ve kil zemini yumuşatır. Kil zeminin üstünde su taşıyan bir tabaka varsa ve sondaj deliğinin kaplaması iyi yapılmamışsa, delik tabanına doğru su kaçakları oluşur. Eğer sondaj kuyusu çeperlerini desteklemek amacıyla bentonit bulamacı kullanılırsa, delik yüzeylerindeki yanal gerilme boşalımıyla kilin yumuşaması yine söz konusu olacak fakat fisürlerden herhangi bir su akımı oluşmayacaktır. Sonuç olarak, sondaj kazıklarında daima kil zemininin kazık kil temas yüzeyinde yumuşaması söz konusudur. Sondaj deliğine yaş beton yerleştirilmesiyle betondan zemine bir su akımı başlama ve bu zeminin daha da yumuşamasına neden olur. Meyerhof ve Murdock (1973) Londra kilinde, kazık-zemin temas yüzeyinde, beton yerleştirici ve sondaj etkilerinde dolayı % 4' lük bir su muhtevası artımı kaydetmişlerdir (Tomlinson, 1981).

Killi zeminlerde teşkil edilen yerinde dökme kazığın birim çevre sürtünmesinin tahmini için geliştirilen yöntemler:

- a) Kilin drenajsız deneyle elde edilen kohezyonunun bir ampirik σ adezyon faktörüyle çarpımına dayalı toplam gerilme analizi ($q_s = \alpha c_u$)
- b) Kazık ve zemin arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonun olmayacağı kabulüyle düşey efektif gerilme (σ'_{vo}) ve içsel sürtünme açısı (ϕ') nın bir fonksiyonuna dayalı efektif gerilme yaklaşımı ($q_s = f(\sigma'_{vo}, \phi')$)

olarak iki kategoride toplanabilirler.

a) Toplam Gerilme Yaklaşımı

Sondaj yöntemlerindeki farklılıkların çevre sürtünmesinde farklılıklara neden olacağına inanılmakla beraber, adezyon faktörünün kontrolünde zemin şişmesinin ve betondan sızan suyun daha önemli olacağı kabul edilir (Tomlinson, 1981).

Skempton tarafından Londra kiline ait adezyon faktörlerini belirlemek amacıyla yapılan araştırma sonucu σ' nın 0,3 ile 0,6 arasında değiştiği gösterilmiş, proje maksatları için aşağıda verilen değerler önerilmiştir (Tomlinson, 1973).

- i- Sondaj ve beton yerleştirme işlemlerinin oldukça hızlı bir seride takip edildiği normal koşullarda genel amaçlar için ortalama değer 0,45
- ii- Aşırı fisürlü killerde teşkil edilen kısa kazıklarda 0,30
- iii- İnşaat süresinin uzamasının zeminin yumuşamasına neden olabileceği altı genişletilmiş kazıklarda 0,30

Bu değerler, kilin drenajsız mukavemetin (c_u), 220 kN/m² den küçük olması durumunda kabul edilebilir. Skempton, Londra kilinde mobilize olan gerçek birim çevre sürtünmesinin 96 kN/m² yi geçmediğini gözlemiş ve $c_u > 220$ kN/m² olması durumuyla birlikte yukarıda verilen bütün durumlarda hesaplanan birim çevre sürtünmesinin yaklaşık 100 kN/m² den büyük alınmamasını ve bu değer bir üst limit olarak kabul edilmemesini tavsiye etmiştir (Whitaker, 1979).

Broms, bu konuda deney sayısı oldukça sınırlı olduğundan daha konservatif davranılmasını ve aşırı konsolide killerde maksimum adezyonun 30 kPa ile sınırlandırılmasını önermektedir.

Çok yumuşak kiler için ($c_u = 10,0 - 15,0 \text{ kN/m}^2$) adezyon, drenajsız kayma mukavemetine eşit alınabilir (Broms, 1981).

O'Neill ve Reese sondaj deliğinin açılması ve betonlanması dolay, zeminin yumuşaması konusunda farklı kabuller yaparak ortalama adezyon faktörü için,

$$\alpha_{ort} = (\alpha_{11} \alpha_{12} \alpha_{13}) \alpha_2 \phi \quad (3.18)$$

eşitliğine önermişlerdir (Tomlinson, 1981). Bu eşitlik de:

α_{11} : Kazık teşkili süresince zeminin örselenmesiyle ilgili katsayısı

α_{12} : Betondan sızan su ve uç etkileriyle ilgili katsayı

α_{13} : Yüzey rötresiyle ilgili katsayı

α_2 : Bir adezyon faktörü

ϕ : Sondaj çamuru kullanımını içeren bir faktördür.

Beaumont kilinde yapılan araştırmalardan, O'Neill ve Reese (3.18) eşitliğinde aşağıdaki değerlerinin kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Tomlinson, 1981).

$\alpha_{11} = 0,65$ (silindirik kazıklarda)

$\alpha_{12} = \alpha_{13} = 1 - \frac{25}{L} \cdot 0,1$ (L feet biriminde kazık uzunluğu)

$\alpha_2 = 1,0$

$\phi = 0,6$ (kılıf veya bentonit kullanıldığında) veya $1,0$ (kuru bir kuyuda kazık teşkil edildiğinde).

Eğer bu değerler Londra kilinde bentonitsiz teşkil edilen 12 m. (40 ft.) uzunluğunda bir sondaj kazığına uygulanırsa;

$$\alpha_{ort} = 0,65 \left(1 - \frac{25}{40} 0,1\right)^2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,57$$

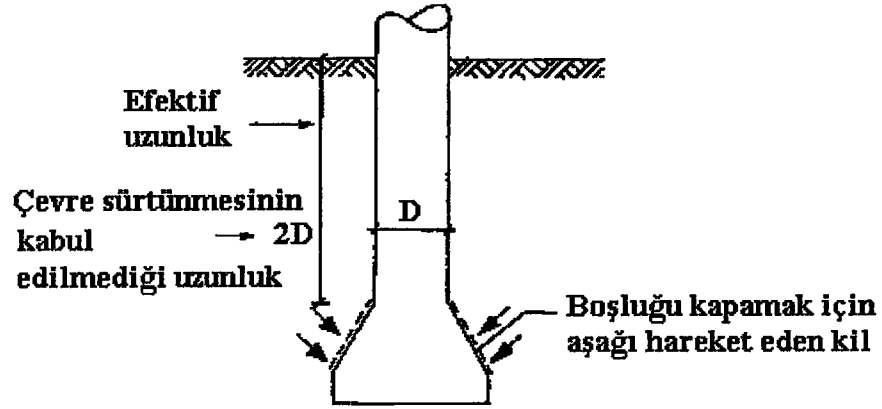
bulunur. Oysa, Londra kilinde σ için kabul edilen değer genellikle $0,45'$ dir. Sliwinski ve Fleming (1985), buzul kili içerisinde kuru ve bentonit bulamacı şaftlarda teşkil olunan kazıklarının adezyon faktörleri arasında herhangi bir fark olmadığını kaydetmişlerdir. Bu kanıta rağmen, eğer kilde kılıfsız bir deliği desteklemek için bentonit bulamacı kullanılması çevre sürtünmesini azaltmaz ise bu, bentonit bulamacı altında tremi borusuyla yerleştirilen

beton kolonunun yükselirken suyu çeperlerinden bentonit bulamacını tamamıyla sürükleyip dışarı atmış olması anlamını taşımaktadır. Bu durumun her zaman gerçekleşeceğini tasarlamak zordur. Bu nedenle, yükleme deneyleriyle daha büyük bir değer alabileceği kanıtlanmadıkça (3.18) eşitliğindeki ϕ faktörü için 0.8 değeri kullanılmalıdır (Tomlinson, 1981).

Londra ve Beaumont killeri dışında diğer kil türlerinde adhzyon faktörü için verilerin birkaç deney sonucuyla sınırlı olması ve bu değerlerin de büyük bir farklılık göstermesi nedeniyle, Tomlinson herhangi bir ön tecrübenin olmadığı killi zeminlerde yerinde dökülerek teşkil edilen kazıklarda yapılan kazık yükleme deneyleri daha yüksek bir değer vermedikçe, adhezyon faktörü olarak 0,3 değerinin alınmasını önermiştir (Tomlinson, 1973).

Fistürlü killerde teşkil olunan ucu genişletilmiş sondaj kazıklarında konik taban yüzeyi ile üstteki kil arasında bir boşluk oluşması nedeniyle kazık şaftının belli bir kısmı boyunca adezyon kaybı olabilir. Zamanla üstteki kil aşağı doğru çöküp bu boşluğu kapayabilir. Ancak, kemerlenme etkisiyle zemin yüzeyinde kazık ucuna tüm kil kalınlığının çökmesi engellenir. Olası aşağı sürüklenme kuvvetini kazık servis yüküne eklemek aşırı önlem olarak nitelendirilebilir. Fakat yine de Şekil 3.15’de gösterildiği gibi konik yüzey üstünde 2 kazık çapı yukarda bir uzunluk boyunca destekleyici etkiyi saymamak ek bir güvence olabilir.

Doğrusal şaftlı bir kazıkla karşılaştırıldığında, çevre sürtünmesinin 2 şaft çapı yükseklik boyunca sayılmaması ve kalan uzunluk üzerindeki çevre sürtünmesi için de adezyon faktörünün 0.3 alınması çoğu kere genişletilerek uçlu kazıkların tercih edilmemesine neden olur. Ancak oldukça sert veya katı tabaka servis yükünün tamamını uç mukavemetle tanışmasına olanak veriyorsa, ucu genişletilmiş kazıklar ekonomik olabilirler.



Şekil 3.15 Ucu genişlemiş bir kazığın şaftı üzerindeki çevre sürtünmesi hesabı için efektif şaft uzunluğu (Tomlinson, 1981).

b) Efektif gerilme yaklaşımı

Normal konsolide killerde, şaft kazısından sonra kazık gecikmeden inşa olunursa in-situ efektif gerilme halindeki çok düşük değişikliklere rağmen, toprak basıncı katsayısı K_0 alınarak sondaj kazıklarının birim çevre sürtünmesi (3.8) eşitliğiyle hesaplanabilir. Ancak (K_0) sükunetteki toprak basınca katsayısının büyük olduğu fazla aşırı konsolide killerde K_0 değeri % 20 küçültülerek yanal gerilme boşalımı gözönüne alınmalıdır. Alternatif olarak toprak basıncı katsayısı yerine $1+K_0/2$ değeri de alınabilir. Beton dökümündeki gecikmelerin yatay efektif gerilmeyi oldukça azaltabileceği unutulmamalıdır. Aşırı konsolide Londra kilindeki sondaj kazıkları üzerinde yapılan arazi deneyleri sondaj deliğinin açılmasıyla kazık teşkili arasında gecikmenin olduğu yerlerde, toprak basıncı katsayısının 1'in altında değerler aldığını göstermiştir (Fleming, 1985).

K_0 ' ın derinlikle değişiminin bilinmediği zemin tabakalarındaki sondaj kazıklarının tasarımında, ya sondaj deliğinin açılmasının neden olacağı gerilme boşalımı uygun bir faktörle gözönüne alınarak, çakma kazıklar için önerilen yöntemler, ya da doğrudan gerilme yöntemleri kullanılabilir. Bir sondaj kazığının birim çevre sürtünmesi, eş zemin koşullarında, bir çakma kazığının birim çevre sürtünmesinin yaklaşık % 70' i kadar tahmin olunabilir (Fleming, 1985). Ancak, K_0 değerinin küçük olduğu zeminlerde, muhafaza borusunun çakımı süresince yanal gerilmede biraz artış meydana geleceğinden bu rakam tutucu olabilir.

Efektif gerilme yaklaşımı, genel amaçlar için $\alpha=0,45$ ' e dayalı toplam gerilme analizlerinden önemli derecede küçük çevre sürtünmesi değerleri verebilir.

3.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Taşıma Gücü

3.2.1 Çakma Kazıklar

3.2.1.1 Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonsuz zeminlerde $c=0$ olacağından, Terzaghi tarafından yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı için verilen (3.3) eşitliği,

$$q_b = \gamma_1 L N_q + 0,6 N_\gamma D \gamma_2 \quad (3.19)$$

şeklinde basitleştirilebilir. Bu eşitlikte, taşıma kapasitesi faktörleri N_q ve N_γ yaklaşık aynı büyüklükte olup, kazıklar için uzunluk (L), çapla (D) karşılaştırıldığında çok büyük olacağı için eşitliğin sağ tarafındaki ikinci terim ihmal edilebilir. Böylece (3.19) eşitliği,

$$q_b = \gamma_1 L N_q = \sigma_{vp}' N_q \quad (3.20)$$

olarak yazılabilir.

σ_{vp}' , kazık ucu seviyesinde düşey efektif gerilmedir. Eğer yer altı su seviyesi zemin yüzeyinde ise zeminin birim hacim ağırlığı (γ_1) olarak, su altındaki birim hacim ağırlığı (γ_A) alınır.

Zemin yalnızca uygulanan yükü değil, kazık ağırlığını da taşıyacağından dolayı kazık ucunun net taşıma kapasitesi (q_b^{net}), nihai taşıma kapasitesiyle kazığın ağırlığı arasındaki farka eşittir. Yani,

$$q_{bnet} = \gamma_1 L N_q - \gamma_k L \quad (3.21)$$

dir. Burada kazık malzemesi birim hacim ağırlığı (γ_k), zeminin birim hacim ağırlığına (γ_1) eşit kabul edilirse, net birim uç direnci;

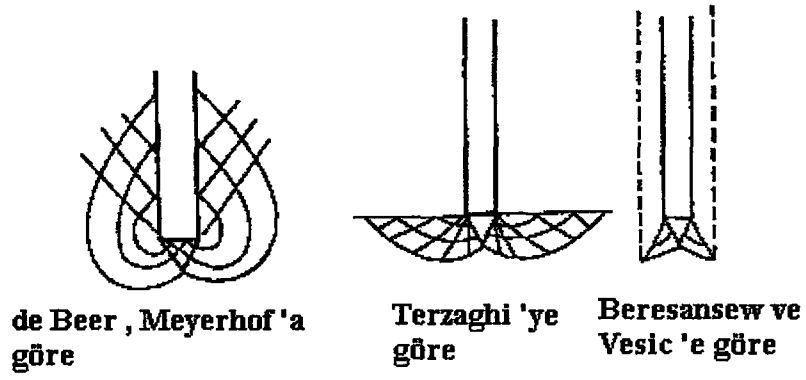
$$q_{bnet} = \gamma_1 L (N_q - 1) = \sigma_{vp}' (N_q - 1) \quad (3.22)$$

şeklinde yazılabilir.

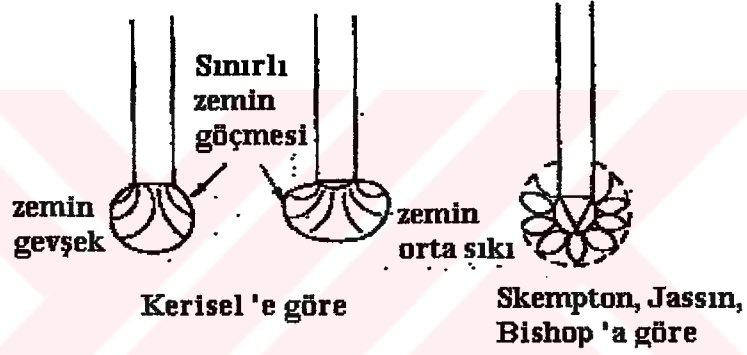
Bu eşitliklerdeki N_q boyutsuz taşıma gücü faktörü, zemin mekaniğinde kazığın zemine batması, diğer bir deyişle yük artışı olmadığı halde oturmanın artması ve yük-oturma eğrisinin

düşey bir form olması şeklinde tariflenen kazık göçmesiyle birlikte ele alınmalıdır. Terzaghi mühendislik anlamında kazık göçme yükünü, kazık çapının % 10' u kadar oturmaya neden olan yük olarak tariflemiştir. Şüphesiz bu kriter 30-35 cm çapındaki küçük çaplı kazıklar için geçerlidir ve büyük çaplı kazıklarda kullanılmaz (Tomlinson, 1973). N_q faktörü kazık uzunluğunun kazık çapına olan oranına ve zeminin kayma direnci açısına bağlıdır. Varsayılan göçme veya kırılma yüzeyinin şekli ve bölgesiyle değişiklik gösteren N_q taşıma kapasitesi faktörü plastisite teorisinden hesaplanabilir (Broms, 1981). Şekil 3.16'da değişik araştırmacılara ve değişik kabullere göre kazıklı temel altında göçme şekilleri Şekil 3.17' de ise önerilen N_q değerleri gösterilmektedir.



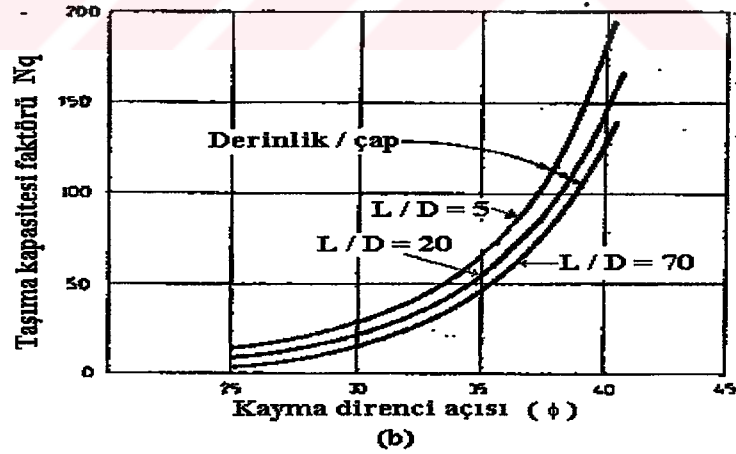
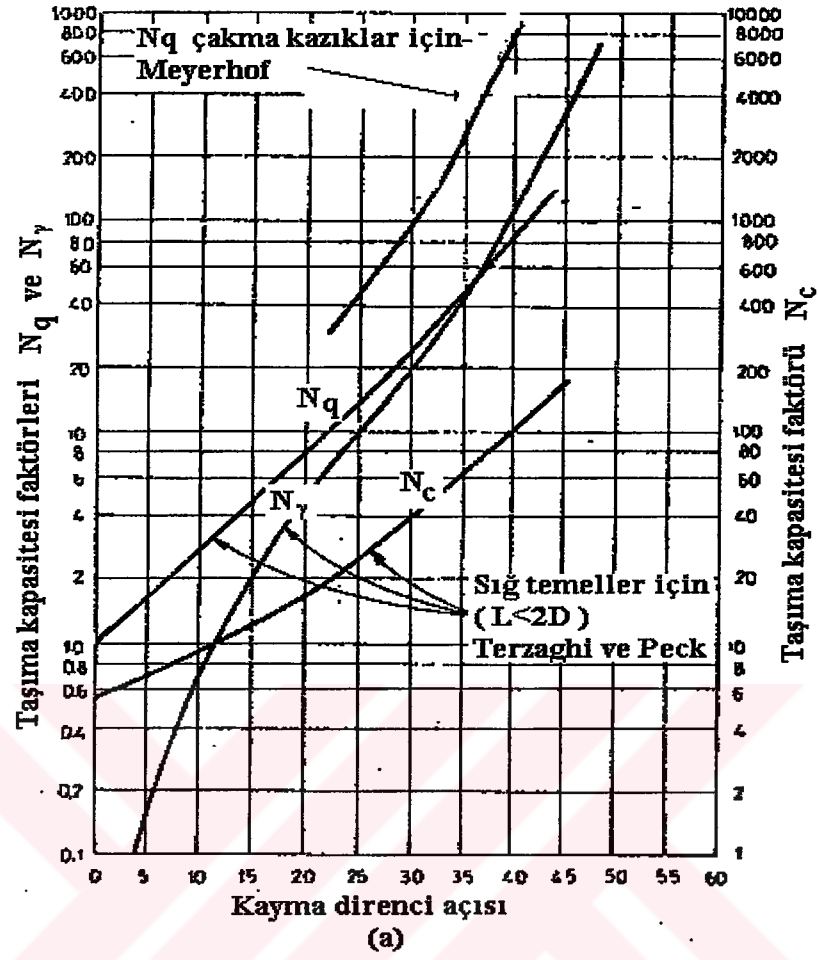


a) Zeminin rijid plastik ve sıkışmaz kabulüne göre göçme şekilleri



b) Sıkışabilir zeminde göçme şekilleri

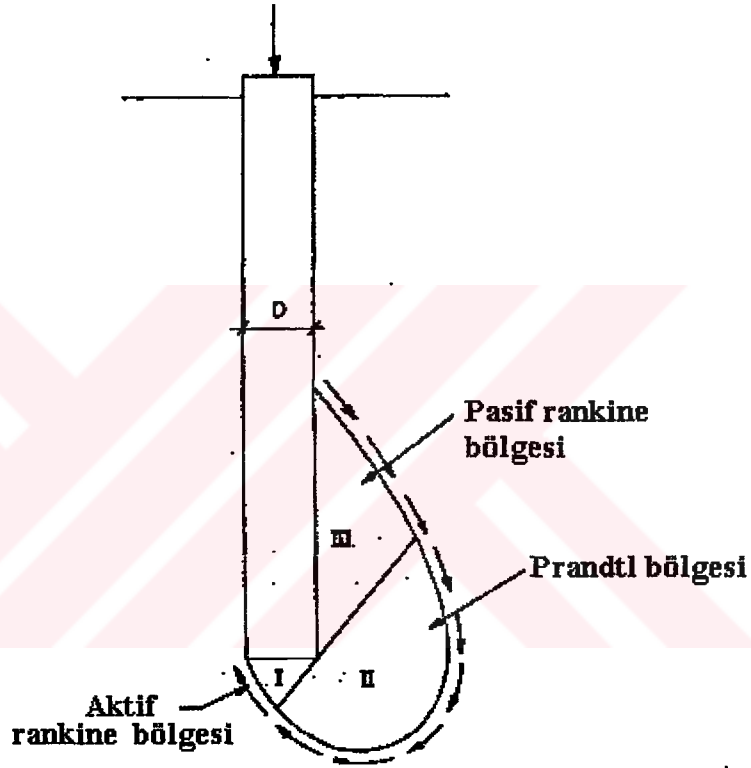
Şekil 3.16 Kazıklı temel altında değişik kabullere göre zemin göçme şekilleri (İncecik, 1979).



- a) Meyerhof, Terzaghi ve Peck'e göre N_c, N_q, N_γ değerleri
 b) Berezantsev'e göre N_q değerleri

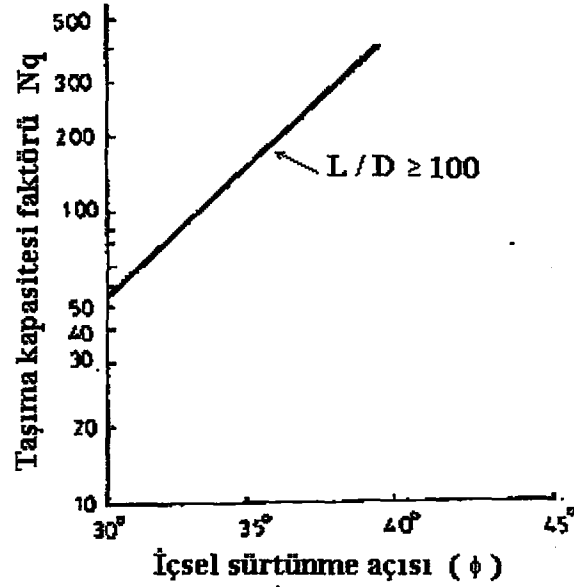
Şekil 3.17 Taşıma kapasitesi faktörleri (Tomlinson, 1981)

Meyerhof tarafından, nihai taşıma kapasitesini hesaplamak için kabul edilen göçme yüzeyi daha detaylı olarak Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Meyerhof, kazık ucu altında kazıkla beraber hareket eden bir zemin kamasının oluşacağını (Şekil 3.18 I. Bölge) ve bunun Prandtl bölgesi denilen bir bölgeyi kenara doğru iteceğini (Şekil 3.18 II. Bölge), Prandtl bölgesinin de üçgensel bir pasif rankine bölgesiyle yerdeğiştirdiğini kabul etmiştir. Hesaplanan N_q taşıma kapasitesi faktörü değerleri zeminin içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu olarak Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Meyerhof’a göre kohezyonsuz bir zeminde bir kazığın göçme mekanizması

Arazi ve laboratuvar deneyleri, taşıma kapasitesi faktörünün, Şekil 3.19’da verilen değerlerden oldukça küçük olabileceğini göstermiştir (Broms, 1981). Dolayısıyla eğer Meyerhof tarafından önerilen N_q değerleri kullanılarak hesaplanan kazık uç direncine (Q_b) normal 2-3 güvenlik faktörü uygulanırsa, servis yükünde aşırı oturmalar olabilir (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.19 Meyerhof'a göre taşıma kapasitesi faktörü N_q değerleri (Broms, 1981).

Terzaghi ve Peck tarafından önerilen N_q değerler ise genellikle sıg temellere uygulanırlar. Bazen kazık uç mukavemeti hesabında kullanılırlarsa da daha tutucu değerler verirler.

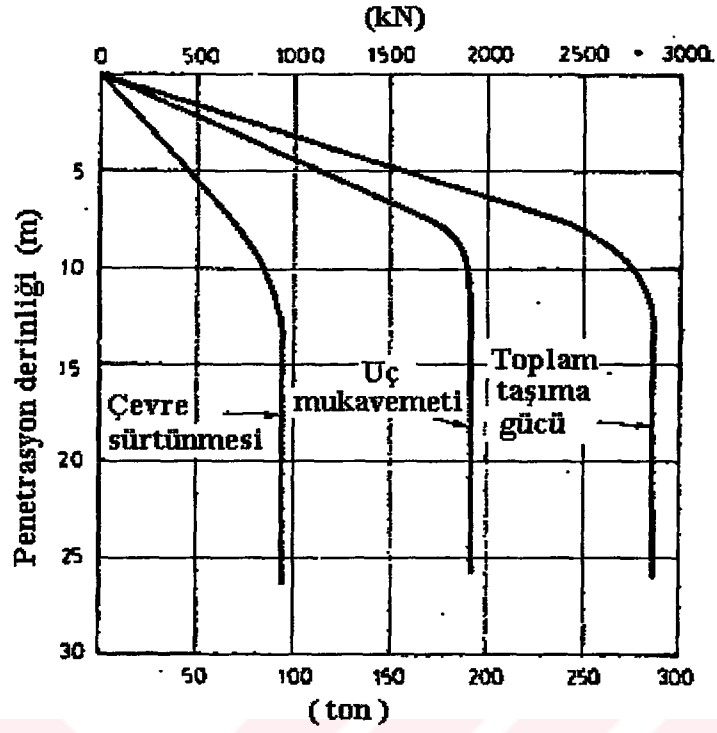
Nordlund ve Vesic, Terzaghi'nin pratik göçme kriterinin en iyi şekilde Berezantsev ve diğerleri tarafından N_q değerleriyle temsil edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu değerler çeşitli çakma boyu kazık çapı oranları için şekil 3.17 b' de verilmiştir.

(3.20) eşitliği üniform bir zeminde q_b birim uç mukavemeti ile çakma boyu arasında doğrusal bir bağıntı ifade etmektedir. Vesic tarafından yapılan araştırmalar ve kazık çakma sırasında karşılaşılan dirençlerin genel değerlendirilmesiyle bu lineer ilişkinin var olmadığı, çakma boyunun kazık çapının 10-20 katı arasındaki değerleri için birim uç mukavemetinin ve birim çevre sürtünmesinin maksimum bir değere eriştiği, zeminin relatif sıkılığının değişmesi halinde daha büyük çakma boyları için sabit kaldığı sonucuna varılmıştır (Şekil 3.20). Dolayısıyla çakma boyu 20 D'yi geçtiğinde birim uç mukavemeti (3.20) eşitliğiyle hesaplanamaz. Ancak bu kritik derinlik altında uç direncinin yaklaşık olarak derinlikten bağımsız olacağı kabul edilerek, kritik derinlik (20 D) altında nihai taşıma kapasitesi hesaplandığında, hesaplarda kritik derinlikteki (20 D) uç direnci kullanılabilir. Kritik derinlik altındaki birim uç mukavemetinin artması, Şekil 3.18'de gösterilen göçme yüzeylerini tamamıyla oluşmaması nedeniyle, zeminin kompressibilitesinin bir fonksiyonudur. Vesic bu etkiyi bir sertlik indeksi ile hesaba katar (Broms, 1981). Ayrıca uç ve çevre sürtünmesi

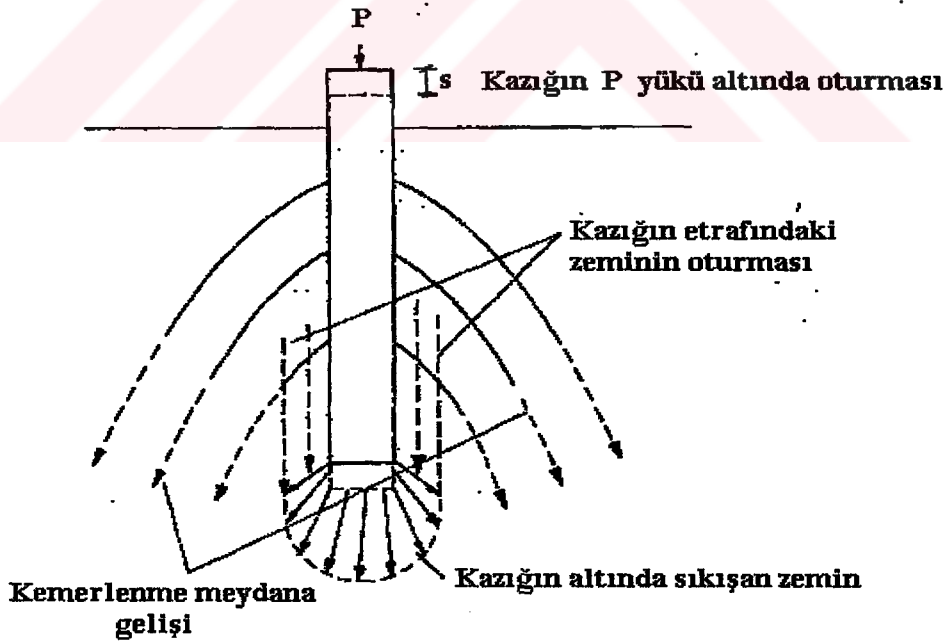
maksimum değerlerinin, zeminin relatif sıkılığına, kazık yerleştirme yöntemine zeminin minerolojisi ve ön konsolidasyon durumuna yani kazık teşkilinin bir sonucu olarak zemin deneciklerinin ezilme derecesine bağlı olduğu da Vesic tarafından gösterilmiştir (Tomlinson, 1981).

Franke de bir seri deney sonuçlarına dayanarak uç ve çevre sürtünmesi değerlerinin derinlik lineer olarak artmadığını ve çevre sürtünmesi dağılımında maksimum noktanın, tabanın çok üstünde olduğu ve sürtünmenin tabana doğru azaldığını ileri sürmüştür. Bu nedenle Franke'ye göre kum-çakıl zemine oturan kazıklarda rijid - plastik ortamda kayma yüzeyleri oluşması gerçeğe uymamaktadır. Bu görüşe göre daneli zeminlerde yüklenen kazık tabanı altındaki zemin sıkışmakta, bu sıkışma sonucu aşağıya çekilen kazığa sürtünme kuvvetleri mani olmakta ve bir kemerlenme meydana gelmektedir. Bu kemerlenme kazığın daha fazla oturmasına mani olarak kazığın taşınmasını sağlamaktadır (Şekil 3.21). Franke, bu kemerlenme sonucu kazığın uç gerilmesinin derinlikle artmadığını ileri sürmesine rağmen daha sonra yaptığı bazı deneylerde çevre sürtünmesi etkisini önleyerek, kazıkların yalnız uç kazığı gibi çalışmasını sağlamıştır. Değişik boydaki kazıkların taşıma güçlerinin lineer olarak artmadığı görülmüş ve kemerlenme olayının her durum için geçerli olmayacağı gösterilmiştir (İncecik, 1979).

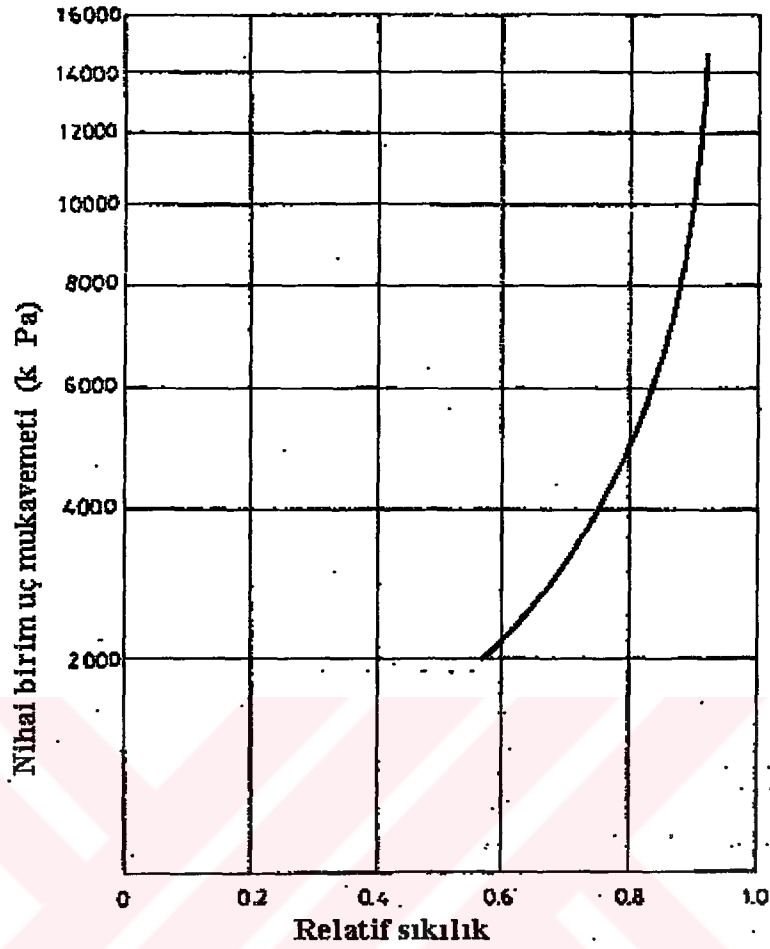
Vesic tarafından maksimum uç mukavemeti ile kohezyonsuz zeminin sıkılığı arasında bağıntı bulunduğu işaret edilmiştir. Gözlenen uç mukavemetleri ve relatif sıkılık değerleri Şekil 3.22' de verilmiştir. Bu eğri Berezantsev'in N_q değerleriyle elde edilen uç mukavemetlerini kontrol amacıyla kullanılabilir. Şekil 3.22 kazıkların kohezyonsuz zeminlere daha alttaki sıkı tabakaların dirençlerini mobilize edecek şekilde çakılması gerektiğini, gevşek ve sığ zeminlerde bu tip kazıkların ekonomik olmadığını ifade etmektedir.



Şekil 3.20 Kohezyonsuz zemindeki bir çakma kazıkta çevre sürtünmesi, uç mukavemeti ve toplam taşıma gücünün çakma derinliğiyle değişimi (Tomlinson, 1981)



Şekil 3.21 Kazık çevresinde kemerlenme olayının meydana geliş



Şekil 3.22 Kohezyonsuz zeminlerdeki çakma kazıklarda gözlenen birim uç mukavemeti (Tomlinson, 1973).

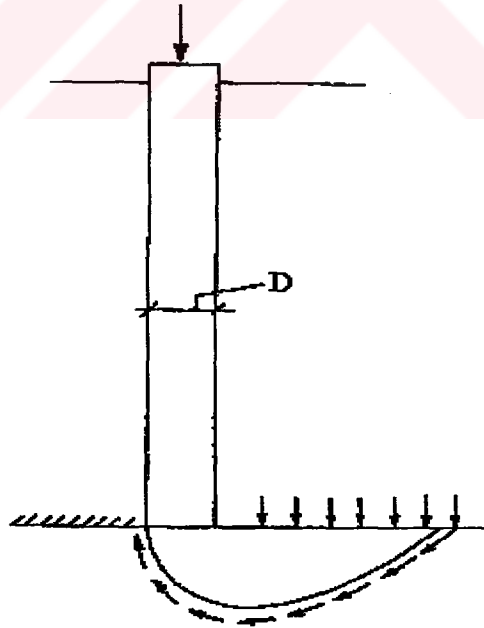
Pratikte genellikle kazık çakılması sırasında zeminin relatif sıkılığında meydana gelen artış dikkate alınmaz. Gerçekte, gevşek zeminlerde kazık çakılması sırasında bir miktar sıkışma olmaktadır ve bu nedenle gevşek zeminler için Şekil 3.22’ de verilen uç mukavemeti değerlerinin kullanılması ekonomik olmayabilir. Gevşek zeminin önemli derinliklere kadar devam ettiği bölgelerde, her metre veya her yarım metre için tokmak sayısı cinsinden kazık çakma direncinin bulunması ve çeşitli çakma derinliklerinde kazık yükleme deneylerinin yapılması, böylece en ekonomik kazık boyunun belirlenmesi gerekir. Yapılacak kazık yükleme deneyi sayısı kazıklı temel projesinin hacmine bağlı olarak saptanır.

Çakım sürecince zemin özelliklerinde meydana gelen değişiklikler kadar içsel sürtünme açısının (ϕ') tayinindeki güçlüklerden de dolayı (3.20) eşitliğinden hesaplanan uç direnci kesin değildir. İçsel sürtünme açısı (ϕ'), normal olarak drenajlı kesme kutusu deneyinden tayin edilir, fakat zeminin ortalama dane çapı boyutunda, derecelenme ve relatif sıkılığundan,

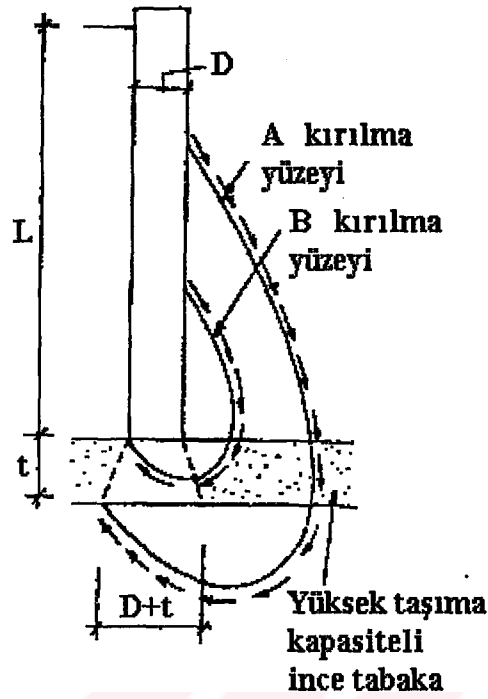
kum daneciklerini köşeselliğinden de tayin edilebilir. Çakımdan dolayı meydana gelen sıkışmadan zemin içsel sürtünme açısı ve porozitesi etkilenecektir. Porozitenin % 5 civarında bir azalımı, içsel sürtünme açısının yaklaşık % 5' lik bir artımına neden olacaktır. Bu N_q taşıma kapasitesi faktörü değerini ve kazığın uç direncini yaklaşık iki katına çıkaracaktır. Taşıma kapasitesini etkileyen bir diğer faktör de normal basıncın artımıyla oluşan içsel sürtünme açısından azalımdır. Normal basıncın on kat artımında içsel sürtünme açısı 3-5 derece civarında azalır ve taşıma kapasitesi yaklaşık % 50 düşer.

Kazıklar genellikle şekil 3.23' de gösterildiği gibi bir kil tabakasından geçip, yüksek taşıma kapasiteli taşıyıcı bir kum veya çakıl tabakasına çakılabilirler. Kazık uç mukavemeti ve taşıma kapasitesi faktörleri N_q , yüzeye yakın bir sığ temelinkine karşı gelecektir. Eğer hesaplarda Brezantsev ve diğerleri tarafından önerilen değerler kullanılmışsa, bu durumda uç direnci büyük tahmin edilecektir (Broms, 1981).

Bir ilave genel durum da şekil 3.24'te gösterildiği gibi kazığın bir sıkı kum tabakasına çakılması halidir. Bu durumda, göçme A veya B kırılma yüzeyleri boyunca oluşabilir. A kırılma yüzeyi boyunca nihai taşıma kapasitesi $(D+t)$ çapında ve $(L+t)$ uzunluğunda bir kazığinkine karşı gelecektir. Burada t , sıkı tabaka kalınlığına eşittir (Broms, 1981).

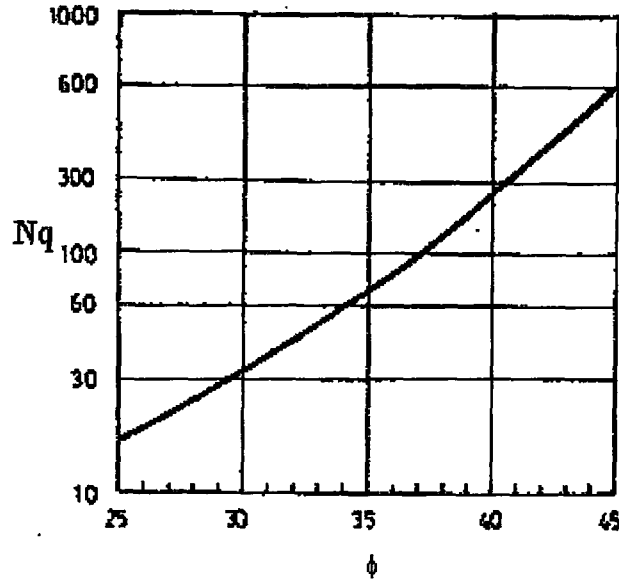


Şekil 3.23 Yumuşak bir kil tabakasından geçip yüksek taşıma kapasiteli bir kum tabakasına çakılmış bir kazığın taşıma kapasitesi hesabı (Broms, 1981).



Şekil 3.24 Tabakalaşmış zeminlerde bir kazığın taşıma kapasitesi

Çakım süresince zemin özelliklerinde meydana gelen değişiklikler ve ϕ 'nün tayinindeki belirsizliklere rağmen kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklarının birim uç mukavemeti (3.20) eşitliğiyle hesaplanabilir. Bu eşitlikteki N_q olarak Berezantzev ve diğerleri tarafından derin dairesel temeller için önerilen Şekil 3.25' deki değerler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak hesaplanan birim uç mukavemetinin bir maksimumla sınırlandırılması önerilir. Coyle ve Castello sıkı temiz kumlarda birim uç mukavemetinin (15 MN/m^2) kadar yüksek olacağını belirtse de Tomlinson daha tutucu olarak bu limit değerini $10,7 \text{ MN/m}^2$ olarak alınmasını tavsiye eder (Fleming, 1985). Uç direncini belirli bir maksimum değerle sınırlandırmanın iki nedeni olabilir. Birincisi muhtemelen kazık etrafındaki zeminde yatay çatlaklar oluşturabilen, kazık ucu üstünde zeminin kemerleşmesi olayı, ikincisi tokmak darbelerinden dolayı uç altındaki zemin daneciklerinin ezilerek özelliklerini kaybetmesidir (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.25 N_q 'nin ϕ ' ile değişimi (Fleming, 1985).

Kohezyonsuz bir zemin içine çakılmış bir kazığın taşıma kapasitesinin büyük bir kısmı uç direnciyle sağlanacağı için en ekonomik penetrasyon derinliği maksimum uç mukavemetin mobilize olduğu derinliktir.

3.2.1.2. Birim Çevre Sürtünmesi

Genel olarak kohezyonsuz zeminlere çakılan kazıkların çevre sürtünmesinin hesabında aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

a) Nordlund Yöntemi

Bu yöntemde, nihai çevre sürtünmesi için ;

$$Q_s = \sum_{d=0}^{d=D} K_s p_d \sin \delta C_d d \quad (3.23)$$

eşitliği önerilmektedir (Tomlinson, 1981). Burada,

K_s : Kazık şekline, birim boy için hacim değişimine, kazık cinsine ve zeminin kayma direncine bağlı boyutsuz bir katsayı

d : Çevre sürtünmesi hesabı esas alınan kazık boyu

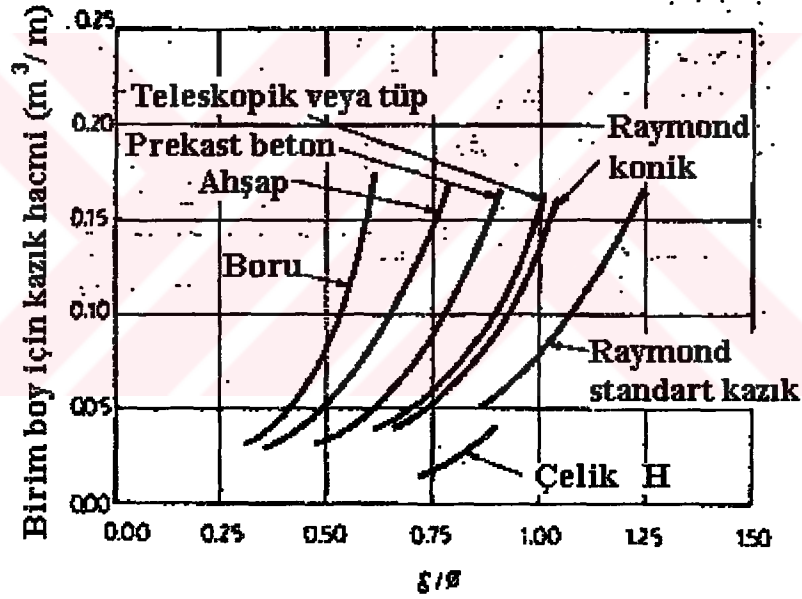
P_d : (d) derinliği için ortalama efektif düşey gerilme

δ : Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

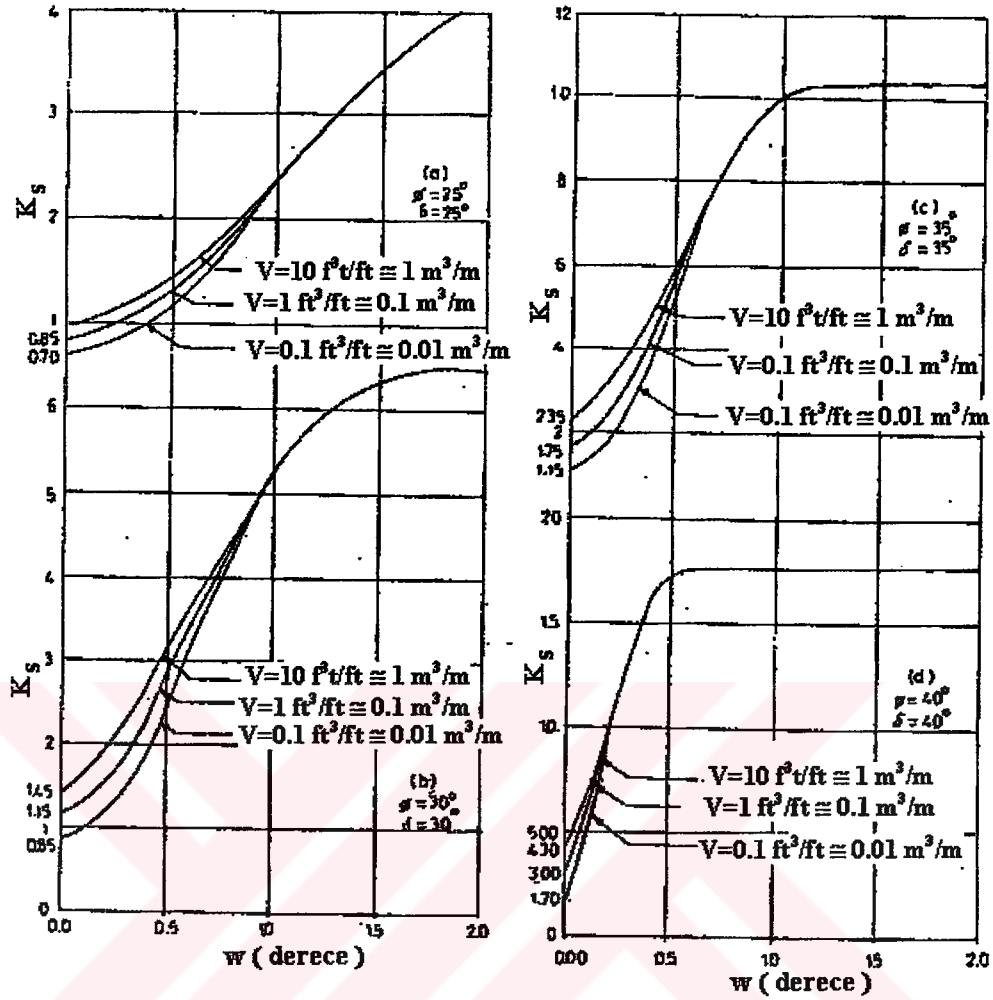
C_d : (d) derinliği boyunca minimum kazık çevresini göstermektedir.

Nordlund yönteminin kullanımında izlenilmesi gereken sıra aşağıdaki gibidir.

- 1- Farklı zemin karakteristiklerine göre kazık shaft uzunluğu boyunca kısımlara ayrılır.
- 2- Her bir kısım için zeminde meydana gelen hacim değişmesi/kazık birim uzunluğu oranı elde edilir. (Gittikçe incelen konik kazıklar için (V) minimum en kesit üzerinden; H-kazıkları için ise bürüt enkesit üzerinden hesaplanır).
- 3- δ / ϕ oranı Şekil 3.26' den belirlenir (ϕ değerleri SPT veya CPT deney sonuçlarından elde edilir).
- 4- Şekil 3.27' den konik kazıklar için K_s elde edilir.



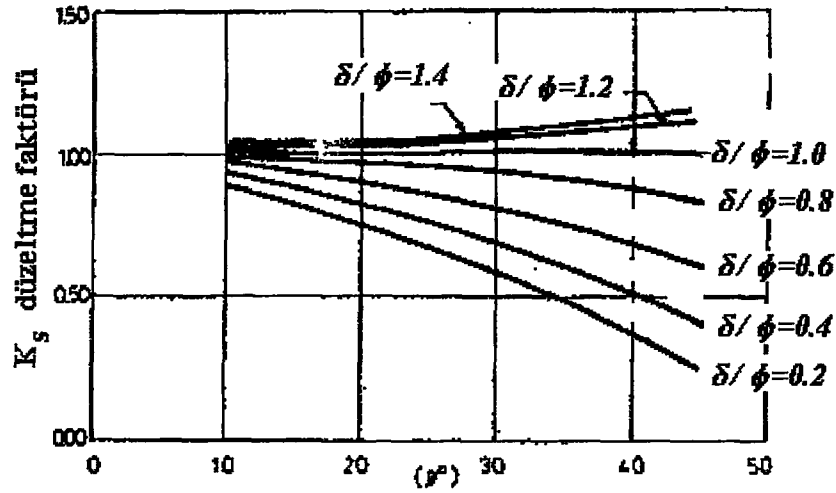
Şekil 3.26 Nordlund tarafından çakma kazıklar için önerilen hacimsel deformasyon δ / ϕ bağıntısı (Tomlinson, 1981).



Şekil 3.27 K_s , yanal toprak basıncı katsayısı değerleri (Tomlinson, 1981).

- 5- Şekil 3.28'den δ / ϕ ve ϕ ye bağlı olarak K_s düzeltme faktörü saptanır (Çünkü, 3.27'de $\delta / \phi = 1$ kabul edilmektedir).
- 6- Düzeltilmiş K_s değeri $\sin \delta$, p_d , c_d , ve d ile çarpılır. d , çevre sürtünmesi hesabı için gözönüne alınan kazık kısmının uzunluğudur.
- 7- Kalan kısımlar için 2'den 6'ya kadar ki işlemler tekrarlanır.
- 8- Her bir uzunluk için elde olunan çevre sürtünmesi değerleri toplanarak kazık shaftı boyunca nihai çevre sürtünmesi (Q_s) hesaplanır (Tomlinson, 1981).

Nordlund yöntemi, Raymond tipi konik kazıklar için geliştirilmiştir. Sözü edilen kazıklarda güvenilir sonuçlar vermekle beraber basit kesitli kısa ve orta boylu kazıklarda fazla konservatif, uzun sabit kesitli kazıklarda ise güvenilir olmayan sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.28 K_s düzeltme faktörleri (Tomlinson, 1981).

b) Broms Yöntemi

Broms tarafından önerilen yöntem kavram bakımından Nordlund yönteminin benzeri olup, daha basittir. Birim çevre sürtünmesi;

$$Q_s = \frac{1}{2} K_o L \gamma \tan \phi_a A_s = K_o \bar{\sigma}_v \tan \phi_a A_s \quad (3.24)$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır (Broms, 1981). Bu eşitlik de

K_o : Kazığın yapıldığı malzeme ve zeminin kayma direncine bağlı bir faktör

ϕ_a : Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

Q_s : Toplam çevre sürtünmesi

γ : Kazığı çevreleyen zeminin ortalama birim hacim ağırlığı

L : Kazık ucunun zemin yüzeyinden derinliği

A_s : Minimum kazık çevresi

$\bar{\sigma}_v$: ortalama efektif düşey gerilme ($\bar{\sigma}_v = \frac{1}{2} \gamma L$)

dır. K_o katsayısının, kazığın şekline ve çevre zeminin relatif sıkılığına bağlı olarak aldığı değerler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kohezyonsuz zeminlerde sürtünme kazıkları için K_0 yanıl toprak basıncı katsayısı (Broms, 1981).

Kazık Tipi	Düşük Relatif Sıkılık $D_r=0$	Yüksek Relatif Sıkılık $D_r=1$
Küçük Yer değıştirme Kazıkları	0.5	1.0
Yer değıştirme Kazıkları	1.0	2.0
Konik Kazıklar	1.5	4.0

Daha küçük yer değıştirme kazıkları (çelik H-kazıkları) için K_0 katsayısı sükunetteki yanıl toprak basıncı katsayısına yakın değerler alacaktır. Genellikle K_0 zeminin relatif sıkılığının artması, dolayısıyla porozite veya boşluk oranının azalmasıyla artar. Özellikle, çevre zeminin relatif sıkılığı yüksek ve kazık konik olduğunda kazık etrafındaki bölgesi kemerlenme nedeniyle ahşap veya prekast beton kazıklar için K_0 büyük olabilir. (Zeminin relatif sıkılığını düşükse kazığın toplam taşıma kapasitesinin büyük kısmı çevre sürtünmesiyle karşılanır) (Broms, 1981).

Sürtünme açısı (ϕ_a), Potyondy, Broms ve Silberman tarafından araştırılmış ve cilalanmış bir çelik yüzeyi ile ince-orta kum arasında sürtünme açısının, zeminin relatif sıkılığından bağımsız olarak $23^\circ - 25^\circ$ olacağı bulunmuştur. Önerilen sürtünme açısı değerleri çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Zeminin içsel sürtünme açısının (ϕ') fonksiyonu olarak ϕ_a sürtünme açısı (Broms, 1981).

Kazık Tipi	ϕ_a
Çelik kazıklar	20°
Beton kazıklar	$0,5 \phi'$
Ahşap kazıklar	$0,7 \phi'$

Broms (1981) tarafından önerilen yöntem de Nordlund yönteminde olduğu gibi kısa ve orta boydaki kazıklar için tutucu, uzun kazıklar için ise güvenilir olmayan değerler vermektedir.

Vesic, bir seri kazık yükleme deneyi sonuçlarından, uç dirençte olduğu gibi, kohezyonsuz zeminlere çakılan kazıklarda çakma boyunun kazık çapının 10-20 katı arasındaki değerlerinde

birim çevre sürtünmesi maksimum değerine eriştiği ve daha büyük çakma boyları için sabit kaldığını belirtmiştir (Şekil 3.20). Oysa (3.23) ve (3.24) eşitlikleri üniform kayma direncine sahip bir zeminde çakma boyunun artışı ile orantılı olarak çevre sürtünmesinin artacağını ifade etmektedir.

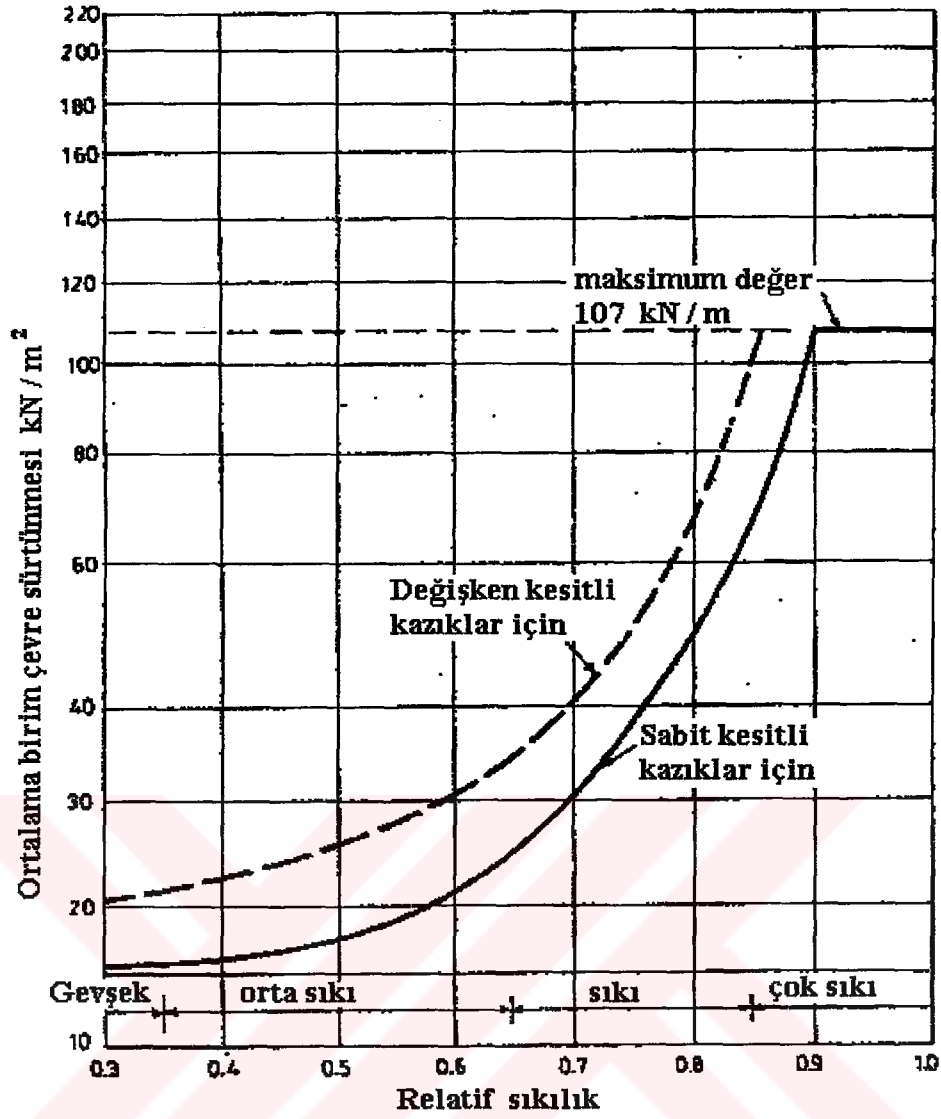
Daha yüksek çevre sürtünmesi ve uç mukavemetinin meydana gelmemesi önceden de belirtildiği gibi, kazık çevresindeki zeminde deformasyonu izleyen ortaya çıkan iç gerilmeler, bazı durumlarda kazık deliğinde alt kısmını saran zeminde yatay çekme çatlaklarının oluşması ve bu bölgedeki zeminin kazık tarafından alt tabakalara taşınması, sonuçta kazık ucundaki efektif gerilmenin azalması gibi nedenlerden kaynaklanabileceği belirtilmektedir.

Kritik 20 D (5-10 m) derinliğinden daha yüksek derinliklerde birim çevre sürtünmesinin yaklaşık sabit kalacağı kabul edilerek, 20 D' den büyük derinliklerde birim çevre direnci 20 D deki değer olarak alınabilir. Daha küçük çakma boyları için sabit kesitli kazıklarda Broms veya Nordlund yöntemi, konik kazıklarda ise Nordlund yöntemi kullanılabilir.

Meyerhof, Broms ve Nordlund yöntemiyle hesaplanan birim çevre sürtünmesinin 100 kN/m^2 , Tomlinson 107 kN/m^2 lik bir maksimumla sınırlandırılmasını önerirler (Tomlinson, 1973). Mc Clenland (1970) maksimum birim çevre sürtünmesini 20 kN/m^2 olarak önermiştir. Bazı araştırmacılar ise birim çevre sürtünmesi değerinin $K_p \text{ tg} \delta$ ile sınırlandırılmasını tavsiye eder. Burada K_p pasif toprak basıncı katsayısıdır. Çevre sürtünmesi hesabı için verilen ifadeler, yerindeki boşluk oranı yüksek çimentolaşmış kumlarda veya kırılabilir kumlarda dikkatle kullanılmalıdır. Kazık yerleştirme süresince ortaya çıkan boşluk suyu basınçlarının sönmülmesinden sonra kazık etrafındaki normal efektif gerilme muhtemelen $K_a \sigma_v'$ ne yaklaşır. Burada K_a olup aktif toprak basıncı katsayısıdır.

c) Tomlinson Yöntemi

Kohezyonsuz zeminlerde çakma boyunun kazık çapının 20 katından büyük olması halinde projelendirme maksatları için Tomlinson bir seri kazık yükleme deneleri sonuçlarından elde olunan Şekil 3.29 daki ortalama birim çevre sürtünmesi – relatif sıkılık bağıntısının kullanılmasını önermiştir .



Şekil 3.29 Kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıkları için birim çevre sürtünmesi – relatif sıkılık ilişkisi (Tomlinson, 1981).

Tomlinson, ortalama birim çevre sürtünmesinin Şekil 3.29' dan, birim uç mukavemetinde Berezantsev N_q katsayılarından hesaplanarak tahmin olunan taşıma kapasitesinin 2 güvenlik faktörüne bölümünden elde olunacak servis yükünde herhangi bir göçmenin meydana gelmeyeceğini bir takım yükleme deneylerine dayanarak ileri sürmektedir. Tomlinson, bu şekilde tahmin olunan kapasitenin aşırı tutucu olacağı ve bunun da çevre sürtünmesinden değil uç direncinin tahmininden kaynaklandığını savunmaktadır (Tomlinson, 1981).

Şekli 3.29' da görülebileceği gibi değişken kesitli kazıklar için gözlenen ortalama birim çevre sürtünmesi değerleri, sabit kesitli kazıklara nazaran genellikle daha yüksektir. Bu nedenle, Nordlund yönteminin uygulanmasından önce, değişken kesitli kazıkların yaklaşık çevre sürtünmesini tahmin etmek için Şekil 3.29' daki eğri kullanılabilir.

d) Fleming, Weltman, Randolph ve Elson Yöntemi (1985)

Vesic, yaptığı bir seri deneysel araştırmalar sonucu kohezyonsuz zeminlerde çakma kazıklar için q_b (birim uç mukavemeti) / q_s (birim çevre sürtünmesi) oranını 50 ile 200 değerleri arasında kalacağını ileri sürmüştür. Yukarıda adı geçen araştırmacılar ise Vesic'in bu görüşüne dayanarak, (3.23) ve (3.24) eşitliklerindeki K yanal toprak basıncı katsayısı değerlerinin N_q ' ya bağlı olarak değişeceğini kabul etmenin daha rasyonel olacağı gerekçesiyle tüm çakma kazıklar için;

$$K = N_q / 50 \quad (3.25)$$

eşitliğini önermişlerdir (Fleming, 1985). Bu ifade düşük gerilme seviyelerinde K için 1,5 , daha büyük derinliklerde ise 1 veya daha da düşük değerler verir. Ortalama olarak $K=1,2$ değeri alınabilir.

Kazık çeperi ile kum arasında herhangi bir dilatasyon beklenilmediği için, kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı, kritik durum sürtünme açısı ϕ'_{cv} olarak alınabilir. Dolayısıyla birim çevre sürtünmesi,

$$q_s = \frac{N_q}{50} \bar{\sigma}_v \tan \phi'_{cv} \quad (3.26)$$

eşitliğiyle tahmin edilebilir (Fleming, 1985).

(3.26) eşitliğinin belirttiği q_b/q_s oranı $50/\tan \phi'_{cv}$ olup, Vesic tarafından ifade edilen oranla genel olarak aynıdır.

f) Diğer Yöntemler

Kum zeminlerde kazık çakılmadan önce sükunetdeki toprak basıncı katsayısı (K_0) yaklaşık olarak 0,5 alınabilir. Ancak kazık çakılması ile toprak basıncı katsayısının değeri, kumda kazık çakılmadan önceki sükunetteki toprak basıncı katsayısına, kumun başlangıçtaki porozitesine, kazığın yerini aldığı kum hacmine, kazığın şekline, çakma dışında kazığın yerleştirilmesi için uygulanan kuvvetin yükleme veya çekme olmasına bağlı olarak değişir.

Çevre sürtünmesi açısı (δ veya ϕ_a) olarak da çelik kazıklarda kumun kayma sürtünmesi açısı (ϕ_μ) yani $\delta = \phi_{cv}$ alınabilir. ϕ_{cv} 'nın hesaplanması için Caquot,

$$t_g \phi_{cv} = \frac{\pi}{2} \text{tg } \phi_\mu \quad (3.27)$$

eşitliğini önermiştir (Toğrol, 1970).

Bu şekilde doğru olarak tahmin edilen K katsayısı ve δ sürtünme açısı değerleri kullanılarak birim çevre sürtünmesi (3.24) eşitliğiyle hesaplanabilir.

Çizelge 3.4 Tomlinson tarafından önerilen çevre sürtünmesi değerleri (Ülker, 1978).

Relatif Sıkılık	q_s (10 kPa)
Gevşek kumlarda	1-4
Sıkı kumlarda	3-7

Çizelge 3.5 Weele tarafından önerilen q_s (Ülker, 1978).

Zemin Cinsi	q_s (10 kPa)
Üst tabaka dolaylarındaki kum ve dolgular	3
Kil tabakası altındaki kumlar	20
Derinde bulunan killi kumlar	8

Çizelge 3.6 Terzaghi – Peck tarafından önerilen q_s değerleri (Ordemir, 1984).

Zemin Cinsi	q_s (10 kPa)
Gevşek kum	0,25
Sıkı kum	1,00
Yumuşak kil veya silt	0,10-0,30
Kumlu silt	0,20-0,50
Sert kil	0,40-1,00

3.2.2 Yerinde Dökme-Çakma Kazıklar

3.2.2.1 Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen yerinde dökme-çakma kazıkların uç mukavemeti, kazığın bu yöntemle teşkili sırasında kazık ucundaki zemin gevşemeyeceğinden dolayı, çakma kazıklar için verilen yöntemlerle hesaplanabilir. Gevşek – orta sıkı kum ve çakıl zeminlerde genişletilmiş bir taban meydana getirilmesi kazığın uç mukavemetini önemli ölçüde artırır. Sıkı zeminlerde ise genişletilmiş tabandan dolayı uç mukavemeti artımı pek önemli olmayabilir. Çünkü genişletme şaft çapını fazla arttırmaz ve ayrıca kazık betonundaki basınç gerilmelerini güvenlik limitleri dahilinde tutmak gerekliliği nedeniyle uç mukavemetin tümünün kullanılması mümkün olmayabilir.

3.2.2.2 Birim Çevre Sürtünmesi

Bu yöntemle teşkil edilen kazıklarda, kaplama borusunun geri çekilme sırasında, betonun vibrasyonu sağlanarak gevşeyen şaft etrafındaki zeminin tekrar sıkışması temin edilirse, birim çevre sürtünmesi çakma kazıklar gibi hesaplanır (Tomlinson, 1981). Kuru betonun kazık şaftında tokmaklandığı yerlerde K değeri 1,2' ye kadar arttırılabilirken eğer şaft içerisine yaş beton yerleştirilirse K=1 alınmalıdır (Fleming, 1985).

3.2.3 Yerinde Dökme Kazıklar (Sondaj Kazıkları)

3.2.3.1 Birim Uç Mukavemeti

Kohezyonsuz zeminlerde yerinde dökme kazığın teşkili sırasında kazık ucu altındaki zeminin oldukça gevşemesi uç mukavemetinde belirgin bir azalmaya sebep olur. Bu durumda, çakma kazıkların birim uç direncini hesaplamak için verilen eşitliklerde kullanılan N_q faktörleri düşük relatif sıkılığa yani gevşek zeminin ϕ kayma direnci açısına ($\phi = 28-30^\circ$) karşılık gelen değerler olarak belirlenir. Ters yönde sirkülasyon yöntemiyle rotari delgi yapılması ve kazık çukur duvarlarının desteklenmesi amacıyla bentonit çamuru kullanılması, zeminin gevşemesini ve bunun sonucu olarak uç mukavemetin azalmasını önleyeceğinden, bu yöntemle kazık teşkilinde uç direnci örselenmemiş zeminin kayma direnci açısı kullanılarak hesaplanabilir. Ancak kazık ucu altında bentonit kalmasının etkileri gözönüne alınmalı ve bentonit tekniğinin yeterli bir uç mukavemeti verdiğini kanıtlamak için yükleme deneyleri yapılmalıdır. Eğer kazık ucu altında bulamaç kalmasının kaçınılmaz olduğuna dair belirtiler varsa özel yöntemlerle örneğin, enjeksiyon yapılarak bulamacı uzaklaştırma yollarına gidilmelidir.

Touma ve Reese yaptıkları bir seri deneysel araştırma sonucu çapı 600 mm ye eşit veya daha geniş, uzunluğu 10 kazık çapından daha büyük sondaj kazıklarında kazık çapının % 5' i oranında bir oturma için Tablo 3.7 de verilen birim uç taşıma gücü değerlerini önermişlerdir.

Çizelge 3.7 Kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıkları için önerilen birim uç taşıma gücü değerleri (Tomlinson, 1981).

Sıklık	Uç direnç q_b (kN/m ²)
Gevşek kumlar	0
Orta-sıkı kumlar	1530
Sıkı kumlar	3830

3.2.3.2 Birim Çevre Sürtünmesi

Kazık shaftında zeminin kazılması sırasında doğan emme kuvvetleri nedeniyle sıkı kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazığı teşkili, kazık yanal zeminini gevşetir. Beton dökülürken gerilme seviyesinde biraz artış olsa da kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıklarının birim çevre sürtünmesi, çakma kazıklarının birim çevre sürtünmesinin hesabında verilen eşitliklerde kullanılan sürtünme katsayıları, gevşek zeminin ϕ kayma direnci açısına karşı gelen değerler alınarak belirlenmelidir.

Sondaj kazıklarında bentonit bulamacı kullanılması her ne kadar zeminin gevşemesi sonucu uç direncin azalmasını önlemek ise de çevre sürtünmesini azaltmaktadır. Sliwinski ve Fleming (1985) kohezyonsuz zeminlerde bentonit bulamacı kullanılarak teşkil edilen sondaj kazıklarında, bir sürtünme katsayısı ve efektif yanal basıncın çarpımından hesaplanan birim çevre sürtünmesinin % 10-30 oranında azaltılmasını önerirler. Broms ve Hill (1981) tarafından kaydedilen deney sonuçları ise bentonit bulamacı kullanılması halinde çevre sürtünmesinin, bentonit bulamacı kullanılmaksızın elde olunan çevre sürtünmesinin yalnızca % 35'i olduğunu göstermektedir. Reese ve Touma tarafından yapılan araştırmalar bu gözlemlerin aksine bentonit bulamacı kullanılarak ya da kullanılmayarak üniform ince-orta kum zeminlerde teşkil olunan sondaj kazıkların birim çevre sürtünmelerinde her hangi bir farkın olmayacağı sonucunu vermektedir.

Touma ve Reese, 600 mm veya daha büyük çaplı yerinde dökme sondaj kazıklarının tasarımında, yanal toprak basıncı katsayısının (K veya K_0) 0,7 ve kazık-zemin arasındaki

sürtünme açısı (δ veya ϕ_a) için de zeminin efektif kayma dirence açısı (ϕ') alınarak birim çevre sürtünmesinin hesaplanabileceğini ileri sürmektedir.

Birim çevre sürtünmesi hesaplarındaki K yanıl toprak basıncı katsayısı, sürekli burgu ile teşkil edilmiş sondaj kazıkları için kumlu zeminlerde 0,9, silt ve siltli kumlarda 0,7 arasında değişik değerler alırken, pratikte sondaj kazıklarında yaygın olarak $K=0,7$ değeri benimsenmektedir.

Sondaj kazığının yapılması sırasında zeminin gevşemesi, aynı zemin koşullarında aynı büyüklükte bir çakma kazıkla karşılaştırıldığında önemli derecede çevre ve uç direncinin azalmasına neden olacağı için, inşasındaki potansiyel güçlüklerle beraber düşük kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıkları ekonomik olmayabilir. Bununla beraber, kazık teknolojisindeki gelişmeler sonucu büyük çaplı kazıkların kullanımının hızla artması ve genellikle 60-200 cm çapındaki sondaj kazıklarının yeni makinalarla çok kısa bir zamanda teşkil edilebilmesi sonucu yerinde dökme kazıklar son zamanlarda çakma kazıklara tercih edilmektedir.

BÖLÜM 4

KAZIK TAŞIMA GÜCÜNÜN HESABINDA KULLANILAN DİĞER YÖNTEMLER

4.1 Kazık Yükleme Deneyi

Her cins zeminde, çeşitli tipteki kazıkların taşıma kapasitelerinin bu yöntemle bulunması, diğer yöntemlere oranla daha güvenilir bir yoldur. Yükleme deneyinin dikkat ve özenle teknik ilkelere uygun olarak yapılması halinde kazığın gelecekteki davranışı hakkında gerçeğe oldukça yakın bilgi edinilebilir. Yükleme deneyleri ek harcamalar gerektirmekte olup, önemli işlerde ekonomik durumu birlikte ele alan optimum çözümler için yapılmalarında büyük yararlar vardır.

4.1.1 Yükleme Deneyinin Yapılması

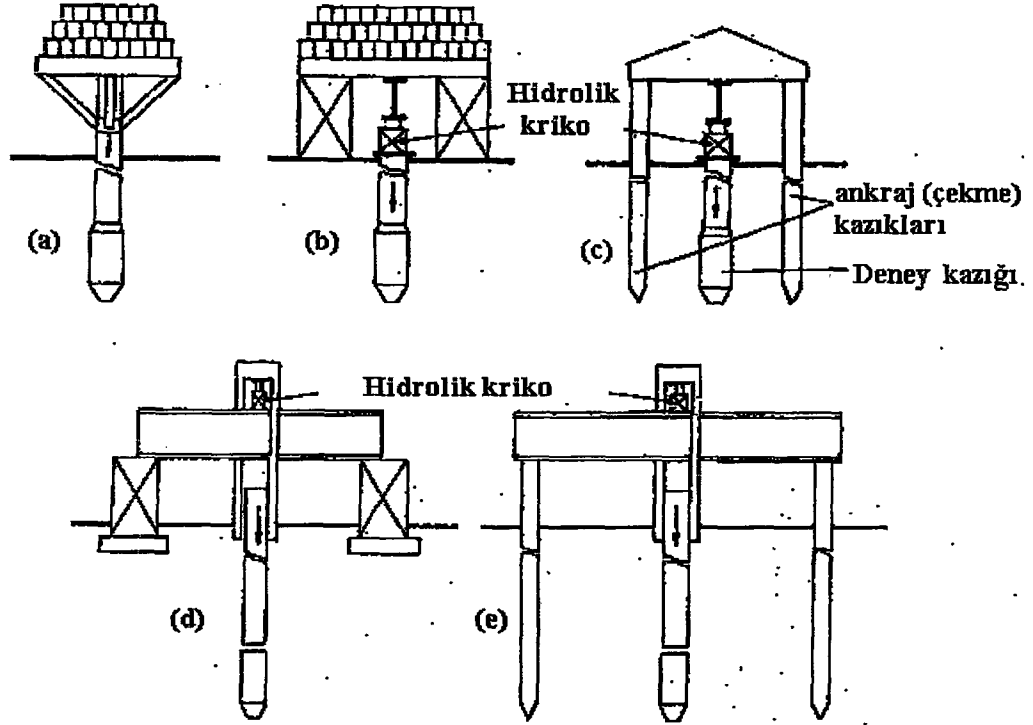
Yükleme deneyleri, yüklemenin cinsine göre;

- 1- Basınç deneyi
- 2- Çekme deneyi
- 3- Yanal yükleme deneyi

olmak üzere üç türlü yapılabilmektedir. Bu bölümde esas olarak basınç deneyleri üzerinde durulacaktır.

Basınç deneyleri,

- (a) Kazık başına kurulan bir platformun (yükleme başlığının) doğrudan doğruya yüklenmesi ile
- (b) Mevcut bir yapıdan reaksiyon alarak hidrolik krikö ile,
- (c) Daha önce çakılmış kazıklardan reaksiyon alarak,
- (d) Bir kaldırma kolu vasıtası ile kazığı yükleyerek yapılır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kazık Yükleme Deneyi Yapılması; (a) Yükleme Platformu ile, (b) bir platformdan reaksiyon alarak, (c) önceden çakılmış kazıklardan reaksiyon alarak (d,e) bir kaldıraç kolu vasıtası ile.

Uygulamadaki kazık yükleme deneyleri genel olarak iki amaca yöneliktir.

- Öngörülen servis yükünün, güvenlik katsayısı ile çarpımından ortaya çıkan değere kadar kazığın yüklenmesi,
- Kazığın, zemin ve imal edildiği malzeme özelliklerine uygun maksimum taşıma gücü değerini bulacak şekilde yüklenmesi.

Kazık Yükleme Deneyleri;

- Arazide inşaat kazıklarından ayrı olarak teşkil edilmiş, projede kullanılacak kazıklarla aynı tip ve boyutlardaki deney kazıkları üzerinde,
- Mevcut inşaat kazıkları üzerinde,

yapılabilir.

Deney kazığı inşa edilmesi ve bu kazık etrafında ankraj kazıklarının teşkili ek harcamalar gerektirse de, inşaatın başında deney kazıkları üzerinde yapılacak yükleme deneyleri ile

kazığın, zemin ve imal edildiği malzeme özelliklerine uygun maksimum taşıma gücü tayin edilebilir ve böylece servis yüklerine uygun çakma şekli belirlenerek ekonomi sağlanabilir.

Yükleme deneyi bir inşaat kazığı üzerinde yapılacak ve çevredeki kazıklar çekme kuvveti alacak şekilde özel olarak hazırlanmış ise yükleme sistemi ölü yük uygulaması şeklinde yapılır. Ölü yükün sağlanmasında şantiye koşullarına göre özel profil demirler, çimento veya kum torbaları, beton bloklar kullanılabilir. Doğrudan doğruya (ölü yük) yükleme başlığının, zemin göçmesi gibi bir tehlike sırasında devrilmesini önlemek amacıyla dört köşesine emniyet mesnetleri yapılmalıdır (Şekil 4.1a).

Hidrolik krikolar ile yapılan yüklemeler (Şekil 4.1.b-c-d-e) daha emniyetlidir. Yükün tam olarak aksenal etkimesi yükleme sistemi ile kuvvet ölçme aletleri arasında yerleştirilen küresel bir mafsalla sağlanır. Yük istenilen hızla uygulanıp, boşaltılabilir.

Yükleme sistemi çekme kazıkları kullanılması şeklinde yapılacaksa (şekil 4.1 c) çekme kazıkları yüksek bırakılarak üzerlerine çelik kirişler getirilmeli ve deney kazığı ile çekme kazıkları arasında en az 1.5 m uzaklık bırakılmalıdır. DIN 1054, çekme kazıklarının deney kazığından çapın 4 katı veya minimum 2.5 m uzaklıkta olmasını önermektedir.

Kazık başlığına etkiyen kuvvet hidrolik presler veya manometreler ile ölçülebilir. Kazık başlığı aksenal yer değiştirmelerinin ölçümün de ise 0.01 mm hassaslıkta ekstansometreler veya en az 1 mm hassaslıktaki nivolar kullanılabilmektedir. Yükleme deneyinin başarı ile yürütülebilmesi için gerek kuvvet ve gerekse şekil değiştirme ölçüm aletleri yağmur, rüzgar, ısı değişimi gibi dış etkilere karşı koruma altına alınmalıdırlar.

Yükleme deneyi zamanının seçiminde önemli bir husus kazık çakım veya imalinden sonra geçecek süredir. TS 3167, çakma kazıklar için çakımdan, kohezyonsuz zeminlerde en az 3 gün, kohezyonlu zeminlerde ise 21 gün beklemeden sora kazığın yüklenilmesini öngörür. Bazı araştırmacılar ise kil zeminlerde çakımdan sonra ahşap kazıklar için 3 hafta, beton ve çelik kazıklar içinde 12 hafta bekleme süresi önerirler. Yerinde dökme kazıklar üzerinde yapılacak yükleme deneyleri için bekleme süresi DIN-4014 Bölüm 13.7'de en az 28 gün olarak belirlenmiştir.

Kazık teşkilinden sonra kazık yükleme deneyine başlanılabilmesi için belli bir süre beklenilmesinde amaç, kohezyonlu zeminlerde kazık teşkiliyle yoğrulup örselenen çevre zeminin konsolidasyon veya tiksotropi sonucu kayma mukavemeti artımına, kohezyonsuz

zeminlerde ise kazık çakılması sırasında çevre zemindeki sıkışma nedeniyle doğan yatay yöndeki iç gerilmelerin sönümlenip statik dengenin yeniden oluşmasına olanak tanımaktadır.

Bir kazığın taşıma kapasitesi yerine bir kazık grubunun taşıma kapasitesinin belirlenmesi her ne kadar arzulansa da çok fazla yük gerektirdiği ve pahalı olduğu için yükleme deneyi çoğu kez kazık toplam sayısından bağımsız olarak 1 deney kazığı üzerinde uygulanır. Deney sayısını belirlemede zemin özellikleri kazık uzunlukları, servis yüklerinin değişkenliği, bina şekli ve yüksekliği ile ekonomi büyük rol oynar.

4.2 Eksenel Kazık Yükleme Deneyleri

4.2.1 Yükleme Deneylerinin Amaçları

Yükleme deneylerinin üç değişik amacı olabilir.

1. Bir tasarımda sözleşme önerisi deney kazığı tasarımındaki varsayımları doğrulamak amacıyla yapılır. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak en uygun kazık tipi ve boyu belirlenir. Tasarım için yapılacak kazıkların davranışı tahmin edilebilir ve denetlemelerde kriter konulabilir.
2. Sözleşme içerisinde deney kazığı bir önceki aşamadaki bulguları doğrular niteliktedir. En az iki tane yapılarak asıl tasarım kazıklarının denetlenmesinde karşılaştırılacak verilerin tek olmamasına çalışılmalıdır. Birinci aşama kazıkların yapılmaması halinde mutlaka göçme yüküne kadar yüklenmelidirler.
3. Tasarımın asıl kazıklar üzerinde kanıtlama deneyleri genellikle tasarım yükünün 1.5 katına kadar yüklenerek yapılır. Bu deneyden amaç yapımcının kullandığı teknikle kusursuz bir kazık inşaa olunduğunun gösterilmesidir. Oturmalar için belli limit değerleri vardır, böylece temelin oturmalarının belli sınırlar içinde kalacağından emin olunur. Kazık deneyler için çok kullanılan ama çoğu kez karıştırılan bazı terimler aşağıdaki gibi açıklanabilir.
 - a) Nihai taşıma gücü Q_u : Zemin direncinin tümüyle mobilize olduğu yüküdür. Aynı zamanda kazık tabanı çapının belirli bir yüzdesinde düşey harekete yol açan yük değeri olarak da tanımlanabilir.
 - b) Tasarım yükü: $DL=Q_u/F$ Negatif çevre sürtünmesi yükü olmaksızın tek bir kazığa güvenle yüklenebilecek yüküdür.
 - c) İzin verilebilir yük: $AL=DL R_f$ Tasarım yükünde negatif sürtünme, kazık aralığına bağlı grup etkisi, izin verilebilir oturma, kazık ucu altında özelliği farklı zemindeki taşıma gücü

gözönüne alınarak yapılacak azaltma ile birlikte bir kazığa gelmesine izin verilecek yük anlamındadır. Formüldeki R_f azaltma faktörünü tanımlamaktadır.

- d) Kazığa gelen yük: Bir kazığa teorik olarak gelmesi hesaplanan yüküdür ve izin verilebilir yükü aşmamalıdır. Bu terim yerine kullanılan çalışma yükü terimi çoğu kez kavram karmaşası yaratmaktadır.
- e) Kanıtlama yükü: Genellikle tasarım yükünün % 150' si olarak kabul edilir.

4.2.2 Kazık Yükleme Deneyleri

ASTM D1143 – 81' de çok sayıda kazık yükleme deneyi yöntemi tanımlanmıştır. Literatürde mevcut kazık yükleme deneyi yöntemleri, Joshi ve Sharma (1987) tarafından dört ana başlık altında toplanmıştır.

- 1) Yavaş adımlı yükleme deneyi yöntemleri (SM deneyleri)
- 2) Hızlı adımlı yükleme deneyi yöntemleri (QM deneyleri)
- 3) Sabit penetrasyon hızlı yükleme deneyi yöntemleri (CRP deneyleri)
- 4) İsveç çevrimli (tekrarlı) yükleme deneyi yöntemi (SC deneyleri)

4.2.2.1 Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (SM Deneyleri)

Bu deney yöntemi ASTM D1143-81 (1989)' da önerilmiştir ve aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- a) Toplam kazık yükü sekiz eşit parçaya ayrılır. (Tasarım yükü %200 kabul edilirse yükleme kademeleri %25, %50 % 75, %100, %125, %150 %175, %200 olacaktır)
- b) Her bir yükleme kademesi, en fazla iki saat olmak üzere, kazığın oturması saatte 0.25 mm'den küçük olana kadar devam ettirilir
- c) % 200 tasarım yükü kademesi 24 saat sürdürülür.
- d) Yükleme kademesi için gerekli bekleme süresinden sonra her bir saatte bir yükün % 25'i boşaltılır.
- e) Yükleme yapıldıktan sonra ve boşaldıktan sonra tasarım yükünün % 50' si yükleme kademeleri arasında 20 dakika olacak şekilde yeniden yüklenir.
- f) Kazık göçmesine sebep olacak tasarım yükü %10' luk yükleme kademeleriyle, yükleme kademeleri arasında 20 dakika olacak şekilde boşatılır.

Bu deney yöntemi yaygın olarak ASTM' nin standart deney yöntemi adı altında bilinir ve özellikle kazığın yerleştiği bölgede ön incelemenin yapıldığı durumlarda kullanılır. Yavaş

adımlı yükleme deneyi yönteminin en büyük dezavantajı çok uzun süreye ihtiyaç duymasındır (Genellikle deney süresi 40-70 saat arasında değişir ve bazen 70 saatten de fazla olabilir.)

4.2.2.2 Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (QM Deneyleri)

Bu deney yöntemi Newyork Ulaşım Bölümü, Ulusal Otoyol İdaresi ve ASTM 1143-81 tarafından önerilmiştir. Yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- a) Kazık tasarım yükü 20 parçaya ayrılır. (Yüklemeler her adımda tasarım yükünün % 15' i kadar arttırılacaktır.)
- b) Her bir yükleme kademesi 5 dakika devam ettirilir ve 2.5 dakikada bir okuma alınır.
- c) Yükleme adımlarında krikoya, istenilen yüke ulaşmaya kadar yük ilave edilir.
- d) Toplam yük, her kademedeki yükün dörtte biri kaldırılmak üzere, 5 dakikalık sürelerde boşaltılır.

Bu deney yöntemi hızlı ve ekonomiktir. Deney süresi 3-5 saat gibi kısa bir süreyi kapsamaktadır. Deney drenajsız duruma oldukça uygun sonuçlar verir. Yöntem hızlı bir yöntem olduğu için oturma tahmini yapılamaz.

4.2.2.3 Sabit Penetrasyon Hızlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (CRP Deneyleri)

İsveç Kazık Komisyonu, Newyork Ulaşım Bölümü ve ASTM D1143-81 tarafından önerilen bu yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- a) Kazık başına dakikada 1.25 mm hareket oluşturacak kuvvet uygulanır.
- b) Penetrasyon için gerekli kuvvet kaydedilir.
- c) Toplam penetrasyon 50-75 mm. olana kadar deneye devam edilir.

Yöntem oldukça hızlı ve ekonomiktir. 2-3 saat gibi kısa bir süre içinde deney sona erdirilebilir. Sabit giriş hızlı yükleme deneyi yöntemi sürtünme kazıkları için son derece pratiktir ama uç kazıklarında kazık ucunun sert bir zemin tabakasında olması durumunda penetrasyon için büyük kuvvet uygulamasını gerektirmektedir.

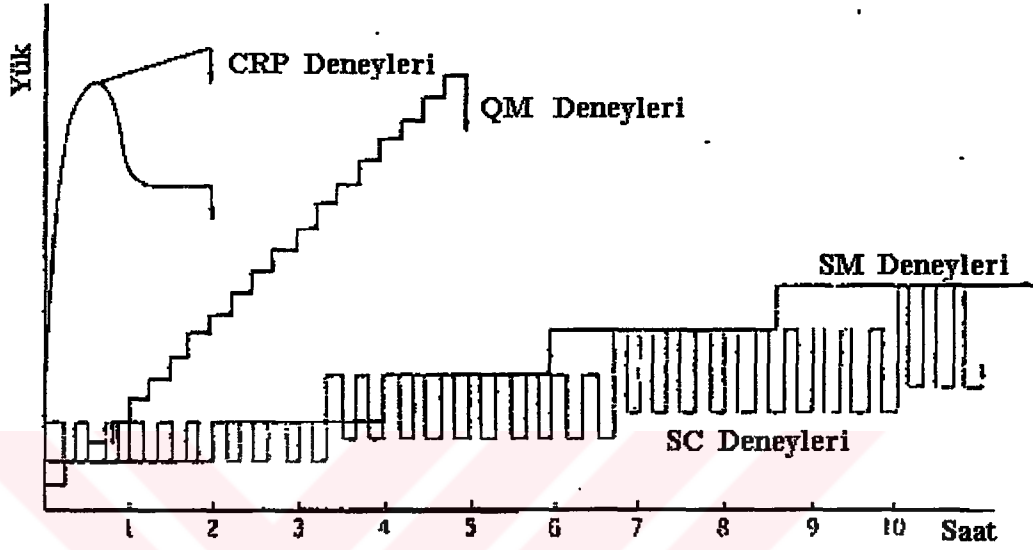
4.2.2.4 İsveç Çevrimli Yükleme Deneyi Yöntemi (SC Deneyleri)

İsveç Kazık Komisyonu tarafından önerilen bu yöntem aşağıdaki adımlarla özetlenebilir.

- a) Tasarım yükünün üçte bir kazığa yüklenir.
- b) Tasarım yükünün altıda biri boşaltılır ve bu yükleme boşaltma işlemi 20 kez tekrar edilir.

- c) a şıkında bahsedilen yük % 50 arttırılır ve b şıkında tanımlanan işlem tekrar edilir.
 d) Göçme durumuna kadar yüklemeye devam edilir.

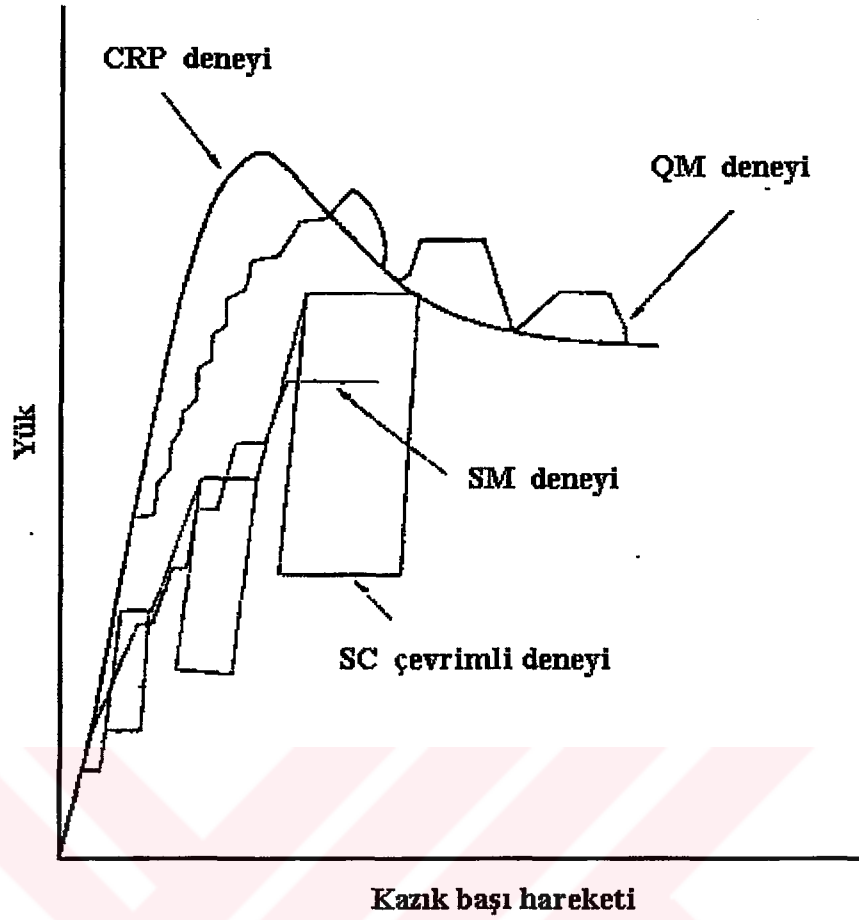
Kazığın tekrarlı yükler altında davranışı normalden çok farklı olmakta ve deney oldukça fazla vakit almaktadır. Bu yüzden bu yöntem tekrarlı yüklerin önem kazandığı özel projelerde kullanılmalıdır.



Şekil 4.2 Deney yöntemleri için gerekli zamanın kıyaslanması.

Şekil 4.3'den de görülebileceği gibi SM ve SC deneyleri en yavaş deneyler ve CRP deneyi ise en hızlı deneydir.

Şekilden de görüleceği gibi CRP deney yöntemleri kullanılarak bulunacak yükleme-oturma eğrisi ile QM deneyi yöntemleri kullanılarak bulunmuş eğrinin göçme durumundan önceki şekli uyuşmaktadır. SM deneyi yöntemleri basit oluşu nedeniyle Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalıcı-oturmalar kolayca hesaplanmakta ve hatta çalışma yükü altında kazığın beklenen oturması yaklaşık olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 4.3 Farklı deney yöntemlerinde elde edilecek yükleme-oturma eğrilerinin karşılaştırılması (Toğrol, 1970).

4.3 Dinamik Kazık Formülleri

4.3.1 Ana İlke ve Yapılan Kabuller

Kazık çakılması sırasında harcanan enerjinin korunumu ilkesinden hareketle, kazığın zemine girme miktarı ve çakmaya karşı gösterdiği dinamik dirençten kazığın taşıyabileceği statik yük tahmin edilmeye çalışılır (Şekil 4.4). Dinamik kazık taşıma gücü genel denklemi;

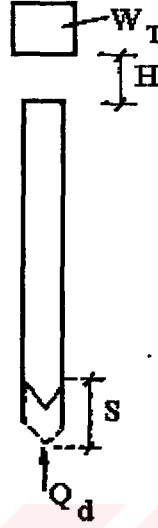
$$W_T \cdot H = Q_d \cdot S + E \quad (4.1)$$

şeklindedir. Burada,

Q_d : Kazığın çakmaya karşı gösterdiği dinamik direnç,

S : Bir tokmak darbesi altında kazığın zemine girme miktarı,

- E : Toplam enerji kaybı,
 W_T : Tokmak ağırlığı
H : Tokmak düşüm yüksekliği' dir.



Şekil 4.4 Kazık çakılması

Uygulamada refü olarak adlandırılan S miktarı ile Q_d direnci arasında Şekil 4.5' de şematik olarak gösterilen ilişkilere dayanarak yapılan kabuller şunlardır (Peynircioğlu, 1973).

Kabul I: Bu kabulde Q_d ve S değerleri çakım sırasında sabittir. (Şekil 4.5a). Bu hal için taşıma gücü,

$$W_T \cdot H = Q_d \cdot S \quad (4.2)$$

denkleminde bulunur.

Kabul II: Q_d giriş sırasında bir Q_d' değerinden başlayarak büyür ve bir Q_d'' değerine varır. S refü miktarı ise önce S' maksimum değerine çıkar, sonra bir S nihai değerine iner. (Şekil 4.5 b). Bu kabul kum zeminlerde yapılır.

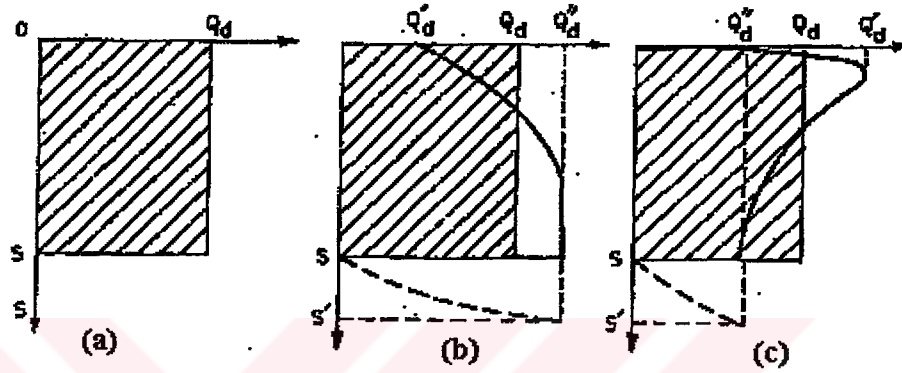
Kabul III: Q_d giriş sırasında belli bir Q_d' gibi değerden başlayarak küçülür ve Q_d'' değerini alır. S refü miktarı önce S' değerini alır, sonra küçülerek S değerine iner (Şekil 4.5.c). Bu kabul kil zeminlerde yapılır.

II. ve III. Kabullere göre (4.2) denklemi,

$$W_T \cdot H = C Q_d \cdot S + E \quad (4.3)$$

olarak yeniden düzenlenir. Burada,

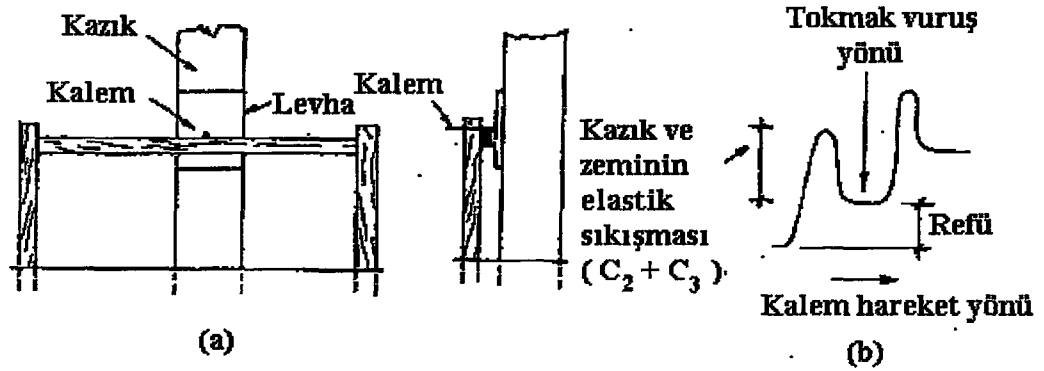
C: Q_d dinamik direncinin değiştiğini gösteren bir katsayıdır.



Şekil 4.5 Farklı kabullere göre dinamik direnç-refü bağıntıları (Peynircioğlu, 1973).

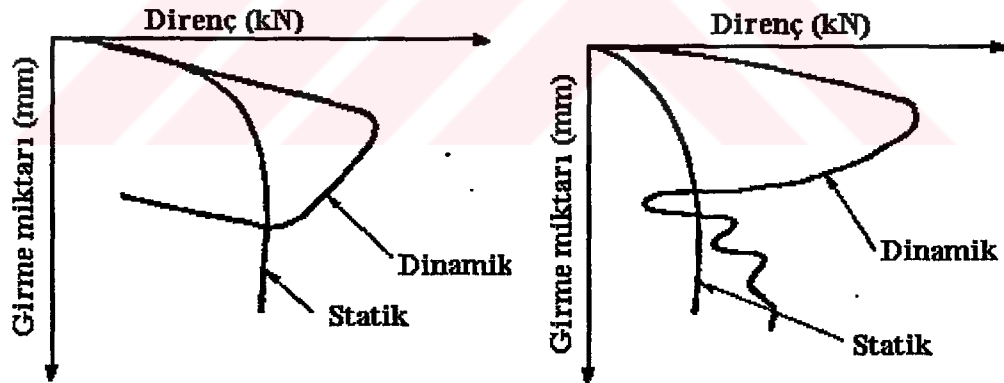
Bir çok dinamik kazık formülleri arasında tek önemli fark, enerji kayıpları için yapılan kabullerin sınıf ve değerlerindedir.

Kazık ve zeminin sıkışması çakma sırasında tayin olunabilir (Şekil 4.6). Bazı dinamik kazık formüllerinde bütün enerji kayıpları hesaba katılmaz. Örneğin, basit formüllerde kazık ağırlığının ihmal, uygulanan çakma enerjisinin küçük hallerinde, direnç değerinin hatalı bulunmasına neden olur. Diğer bazı formüllerde ise kazık tarafından alınan enerji ihmal olduğundan, hafif bir tokmakla çakılan ağır kazıklarda refü oldukça küçük olacak ve direnç yanlış hesaplanacaktır (Capper, 1984).



Şekil 4.6 Kazık ve zeminin elastik sıkışmaları (Chellis, 1961).

Dinamik kazık formüllerinde yapılan diğer önemli bir kabul de Q_d dinamik direncinin kazığın statik taşıma gücüne eşit olduğudur. Gerçekte statik kuvvetlere bağlı olarak elde olunan gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ile dinamik kuvvetler ve özellikle çarpma için olan bağıntılar çok farklıdır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Dinamik ve statik dirençler arasındaki farklılıklar

Dinamik kazık formüller ile yalnız kazık ucunun taşıyabileceği yük tahmin edilebilir. Bu formüllerde kazık boyu, dolayısıyla çevre sürtünmesi gözönüne alınmaz. Oysa yumuşak silt ve killere çakılmış yüzen kazıkların taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını çevre sürtünmesi oluşturur. Ayrıca, ince kum, suya doygun katı kil ve silt zeminlerde çakma süresince kazık ucuna yakın bölgede oluşan yüksek artık boşluk suyu basınçları nedeniyle statik nihai mukavemet, kazık çakma formülleriyle hesaplanan kazık penetrasyon direncinden oldukça düşük olabilir.

Dinamik kazık formülleri ile taşıma gücü hesaplarında büyük güvenlik katsayısı seçimi ise büyük projelerde kazık taşıma kapasitesinin yükleme deneyleri ile belirlenmesi gerekliliğini göstermektedir.

4.3.2 Kullanılmakta olan bazı dinamik kazık formülleri

-Sanders Formülü

Enerji kaybı düşünülmeyle verilmiş en basit dinamik kazık formüllerinden birisidir.

$$Q_d = \frac{W_T \cdot H}{S} \quad (4.4)$$

Bu formül kullanılırken güvenlik katsayısı G_s olarak 8 alınmalıdır (Toğrol, 1970).

-Eytelwein Formülü

Bu formülde taşıma gücü,

$$Q_d = \frac{W_T \cdot H}{S(1 + \frac{k}{W_T})} \quad (4.5)$$

olarak verilmiştir. Güvenlik sayısı 6 alınmalıdır. (Toğrol, 1970).

-Engineering News Formülü

Yaygın olarak kullanılan dinamik kazık formüllerinden birisidir. Kabul III' deki gibi bir iş diyagramına dayanılarak, taşıma gücü,

$$Q_d = \frac{W_T \cdot H}{S + C} \quad (4.6)$$

eşitliği ile verilmiştir (Peynircioğlu, 1973). Burada C değeri için serbest düşüşlü tokmalarda 2.5 cm, buharlı tokmalarda 0.25 cm alınarak enerji kayıpları hesaba katılmış olur. Bu formülde güvenlik sayısının 6 alınarak kazık emin taşıma gücünün hesaplanması önerilmektedir (Kumbasar, 1985).

-Brix Formülü

Kazık taşıma gücü,

$$Q_d = \frac{1}{5} \frac{H W_k W_T^2}{(W_k + W_T)^2} \quad (4.7)$$

olup, bu formülde alınacak güvenlik sayısı 4 ila 5 dir (Kumbasar, 1985).

-Gow Formülü

Engineering New Formülünden çıkarılmış olup, ifadesi

$$Q_d = \frac{W_T H}{S + C(W_k / W_T)} \quad (4.8)$$

dır (Toğrol, 1970).

-Hollanda Formülü

Kazık taşıma gücü,

$$Q_d = \frac{1}{5} \frac{H W_T^2}{W_k + W_T} \quad (4.9)$$

ile verilir. Güvenlik sayısı 6 olarak alınır (Kumbasar, 1985).

-Danimarka Formülü

Çakma sırasında enerji kaybının tamamına kazığın elastik kışalmasının neden olduğu kabul edilerek,

$$Q_d = \frac{W_T H}{S + \frac{1}{2} C_2} \quad (4.10)$$

ile verilir. Buradan kazığın elastik kışalması,

$$C_2 = \sqrt{\frac{2 W_T H L}{A E}} \quad (4.11)$$

olarak hesaplanabilir. Güvenlik sayısı olarak 3 kullanılmaktadır (Toğrol, 1970).

- Janbu Formülü

$$Q_d = \frac{W_T H}{K_u S} \quad (4.12)$$

olup, burada,

$$K_u = C_d \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda_E}{C_d}} \right) \quad (4.13)$$

$$\lambda_e = \frac{W_T H L}{A E S^2} \quad (4.14)$$

$$C_d = 0.75 + 0.15 \frac{W_k}{K W_T} \quad (4.15)$$

olarak tanımlanmıştır. Güvenlik sayısı 3 alınmalıdır (Toğrol, 1970).

-Hiley Formülü

Newton'un çarpma teorisi ile kazık-tokmak sistemi arasında kazığın geri sıçraması, zeminin kazığa tatbik ettiği ankastrelik, şekil değiştirmeler gibi uygulamada ortaya çıkan farklı durumun çeşitli ampirik katsayılarla düzeltilmeye çalışıldığı dinamik kazık formülleri arasında Hiley formülü ile hayli modifiye edilmiş bir ifadedir. Bu formülde kazık taşıma gücü,

$$Q_d = \frac{\lambda W_T H}{S + \frac{1}{2}(C_1 + C_2 + C_3)} \frac{W_T + \bar{e}^2 W_k}{W_T + W_k} \quad (5.16)$$

dir. Tokmağın etki katsayısı, λ hakkında çizelge 4.1 deki değerler kullanılabilir. Çizelge 4.2, kazık başındaki darbe takozu ve yastığının C_1 elastik kısalması, Çizelge 4.3 ise e çarpma sayısı değerleri hakkında değerler verilmektedir. Standart bir küre H yüksekliğinden bir yüzeye düşürülünce h kadar zıplarsa, çarpma sayısı $\bar{e} = \sqrt{h/H}$ dır. Tokmak malzemesinden yapılmış bir cismin kazık malzemesinden yapılmış bir yatay düzleme çarptığı zaman zıplama miktarı deneyle bulunarak, $\bar{e}$ belirlenebilir. Çakma sırasında kazık ve zeminin elastik sıkışmaları (C_2 ve C_3) ölçülmezse, tecrübeye dayanılarak hazırlanmış tablolardan faydalanılır.

Bu formüllerde kullanılan notasyonların anlamları:

- A : Kazık kesit alanı
 W_k : Kazık ağırlığı
 W_T : Tokmak ağırlığı
 H : Düşüş yüksekliği
 L : Kazık boyu
 E : Kazık malzemesinin elastisite modülü
 S : Refü
 C : Enerji kayıplarını ifade eden bir katsayı
 C_1 : Kazık başındaki darbe takozu ve yastığının kısılması
 C_2 : Kazığın elastik kısılması
 C_3 : Zeminin elastik kısılması
 λ : Tokmağın etki katsayısı
 $\bar{e}$: Çarpma sayısı
 Q_d : Kazığın çarpmaya karşı dinamik direnci

Çizelge 4.1 Tokmağın etki katsayısı (Toğrol, 1970).

Tokmak Cinsi	λ (%)
Serbest düşüşlü	
Mandalın açılması ile düşen	1.00
Halat ve sürtünmeli vinçli	0.75
Tek tesirli şahmerdan	0.75-0.85
Çift tesirli şahmerdan	0.85
Dizel şahmerdan	1.00

Çizelge 4.2 Darbe takozu ve yastığının elastik kısalması (Chellis, 1961).

Kazık cinsi	C ₁ (cm)			
	Çakma sırasında kazık başına gelen gerilme			
	Q/A	(100 kPa)		
	35	70	105	140
Çelik kazıklar veya borular				
Doğrudan kazık kazık başına	0	0	0	0
Ahşap takozlu, çelik örtülü başlıklı	0,10	0,20	0,30	0,40
1 cm kalınlığında iki çelik levha arasında				
½ cm kalınlığında fiber contalı başlıkla	0,05	0,10	0,15	0,20
Betonarme kazık				
Kazık başında 1-2 cm kalınlığında bir altlık ile	0,06	0,13	0,20	0,25
Kazık başlığı içinde 7.5-10 cm kalınlığında	0,18+	0,38+	0,56+	0,75+
yastık + darbe takozu	0,136	0,25	0,38	0,50
Ahşap kazık				
Doğrudan kazık başına	0,13	0,25	0,38	0,50

Çizelge 4.3. Çarpma sayısının temsili değerleri (Toğrol, 1970).

Malzeme	$\bar{e}$
Harabolmuş ahşap	0
Ucu bozulmamış ahşap kazık	0,25
Sağlam ahşap yastıklı çelik kazık	0,32-40
Çelik başlıklı çelik veya beton kazık	0,50
Başlıksız beton kazık üstüne dökme demir tokmakla vurulması halinde	0,40

4.4. Yük - Oturma Eğrilerinden Göçme Yükünün Saptanması

Bir kazığın göçme yükü, ulaşılan yükte oturmaların hızla gerçekleşmesi veya başka bir deyişle kazığın batması olarak tanımlanabilir. Kazık yükleme deneyleri yorumlarından göçme yükünün bulunması için kullanılan yöntemler şu şekilde toplanabilir.

1. Kazık başının toplam oturmasını sınırlayan kriterler.

- a) 25.4 mm. (Hollanda, New York)
- b) Kazık ucu çapının %10' u. (İngiltere)
- c) Kazık elastik oturması + $D / 30$. (Kanada)

2. Plastik oturmayı sınırlamak.

- a) 6.4 mm. (AASHTO, New York State, Louisiana)
- b) 12.6 mm. (Boston)

3. Plastik/elastik oturmalar oranını sınırlamak.

- a) 1.5 (Danimarka)

4. Oturma / birim yük oranını sınırlamak.

- a) Toplam 0.25 mm. / ton . (California, Chicago)
- b) Artış 0.65 mm. / ton. (Ohio)
- c) Artış 1.26 mm. / ton . (Raymond Int.)

5. Plastik oturma / birim yük oranını sınırlamak.

- a) Toplam 0.25 mm. / ton . (New York City)
- b) Artış 0.08 mm. / ton. (Raymond Int.)

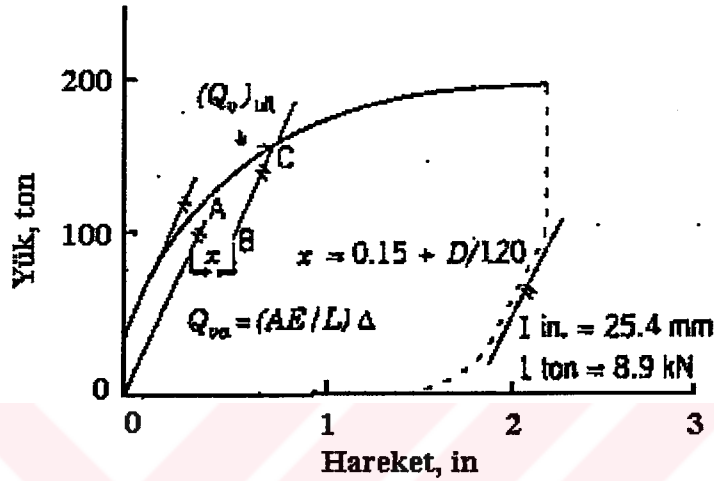
6. Yükleme - oturma eğrisinin yorumuna dayalı yöntemler.

- a) Davisson Yöntemi (1972)

Davisson Yöntemi kullanılarak göçme yükünü hesaplayabilmek için aşağıdaki adımlar izlenir (Joshi 1987, Fellinius, 1980)

- 1. şekil 4.8' deki yük oturma eğrisi çizilir.

2. Q_{va} 'nın uygulama yükünü ifade ettiği yerde kazığın $\Delta = Q_{va} \cdot L / A \cdot E$ elastik oturması elde edilir. Formüldeki L kazık uzunluğunu, A kazığın en kesit alanını, E kazık malzemesinin elastisite modülünü ifade etmektedir.
3. Δ , elastik oturma değerinden yararlanarak OA doğrusu çizilir. Buna $x = 0,15 + D/120$ (Birimler inç) uzaklıkta BC paraleli çizilir.
4. BC doğrusu ile eğrinin kesişim noktası göçme yükünü verecektir.



Şekil. 4.8 Davisson yöntemi ile göçme yükünün tahmini

Bu yöntem çakma kazıklar için önerilmiş olup QM türü yüklemeler için tercih edilmektedir. Asıl olumlu yanı BC' nin başlangıçta çizilebilmesi ve tasarım kazıkta kanıtlama kriteri olarak kullanılabilmesidir. Bu yöntemin SM, QM, CRP deney yöntemlerinin üçü içinde kullanılabileceği Navfac 1986 tarafından önerilmektedir.

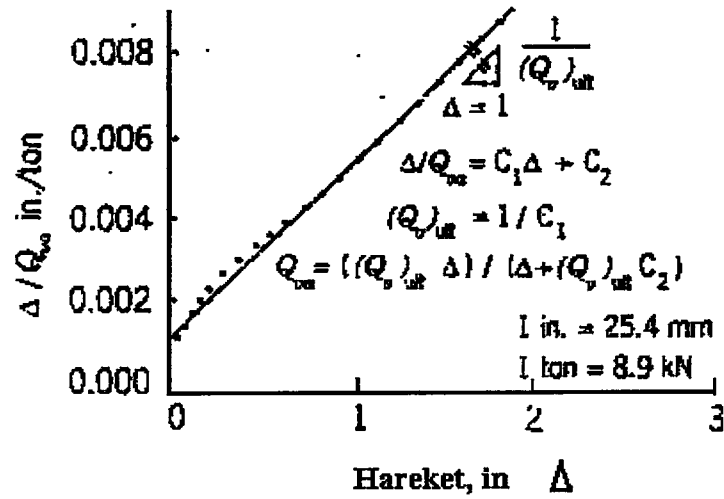
b) Chin Yöntemi (1970-1971)

Şekil 4.9' da ifade edilen bu yöntem aşağıdaki gibi özetlenebilir (Joshi, 1987, Fellinius 1980).

1. Uygulanan yük Q_{va} ile kazık başı deplasmanı Δ değerleri kullanılarak $\Delta - \Delta / Q_{va}$ eğrisi çizilir.
2. Eğrinin doğrusallaştığı kesimde:

$$\Delta / Q_{va} = C_2 + C_1 \cdot \Delta \quad (4.17)$$

yazılırsa $1 / C_1$ değeri nihai taşıma gücüdür.



Şekil 4.9 Chin yöntemi ile göçme yükünün tahmini

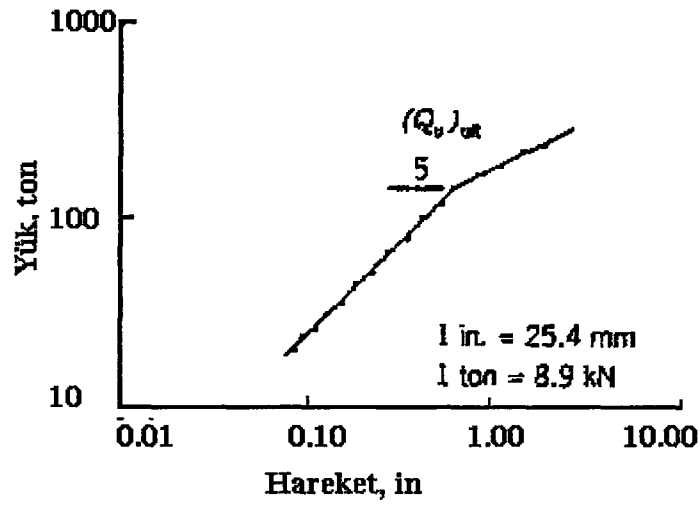
Yöntem hiperbolik bir eğri var sayılmakta olup QM ve SM yükleme yöntemlerinin ikisi içinde uygundur. Noktaların Davisson limitini aşmıyaya kadar bir doğru üzerine düşmeyeceği gözönüne alınmalıdır. Yöntemin geçerliliği için sabit zaman aralıkları kullanılmalıdır.

c) De Beer Yöntemi (1967)

Aşağıdaki gibi özetlenebilecek yöntem, şekil 4.10 ile ifade edilmiştir (Joshi 1987, Fellinius 1980).

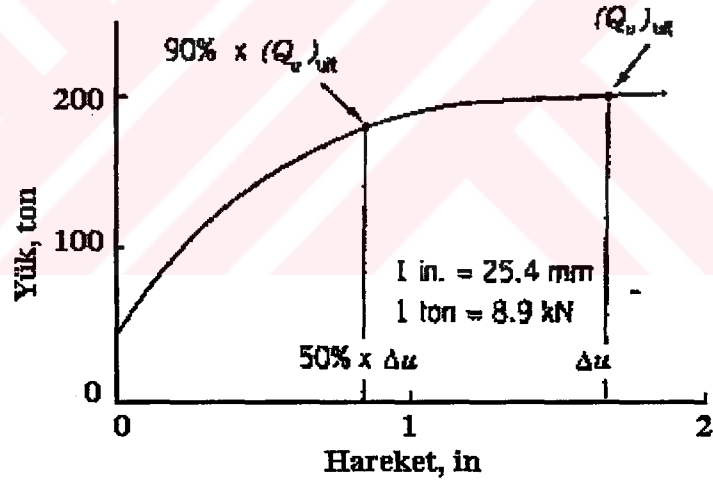
1. Logaritmik ekseninde yük-oturma eğrisi çizilir
2. Oluşacak iki doğrunun başlangıç ve sonuç kesimlerinin kesim noktası göçme yükü olarak tanımlanır.

Bu yöntem genellikle SM yükleme deneyi yöntemleri için önerilmektedir.



Şekil 4.10 De Beer yöntemi ile göçme yükünün tahmini

d) Brinch Hansen % 90 kriteri (1963)



Şekil 4.11 Brinch Hansen % 90 kriteri ile göçme yükünün tahmini

Bu bir deneme yanılma yöntemidir ve bu yöntemin yorumlanması Şekil 4.11' de gösterilmiştir. Yöntemin esasları aşağıdaki gibi verilebilir (Joshi 1987, Fellinius 1980)

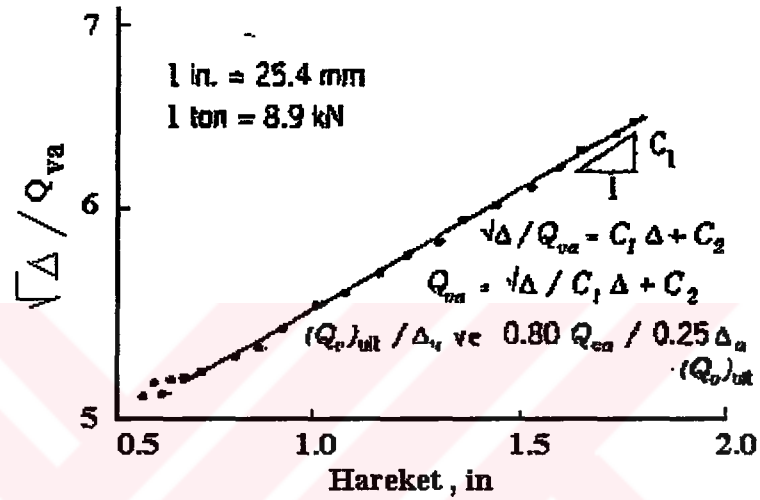
1. Yük-oturma eğrisi çizilir.
2. Bu yöntem CRP deney yöntemiyle yükleme durumu için en uygun sonuçları vermekte olup, göçme yükü, öyle bir değerdedir ki bu yükün % 90' ına eşit yükte kazık başı hareketi, göçme yükü olarak tanımlanan $(Q_v)_{ult}$ yükündeki kazık başı hareketinin % 50' sine eşittir.

e) Brinch Hansen % 80 kriteri (1963)

Şekil 4.12' de ifade edilen bu kriter aşağıdaki adımlar izlenerek özetlenebilir (Joshi 1987, Fellinius 1980).

1. Q_{va} 'nın yükü, Δ 'nın oturmayı ifade ettiği durumda $\sqrt{\Delta} / Q_{va} - \Delta$ eğrisi çizilir.
2. Eğrinin doğrusallaştığı kesim

$$\sqrt{\Delta} / Q_{va} = C_1 \cdot \Delta + C_2 \quad (4.18)$$



Şekil 4.12 Brinch Hansen % 80 kriteri ile göçme yükünün tahmini

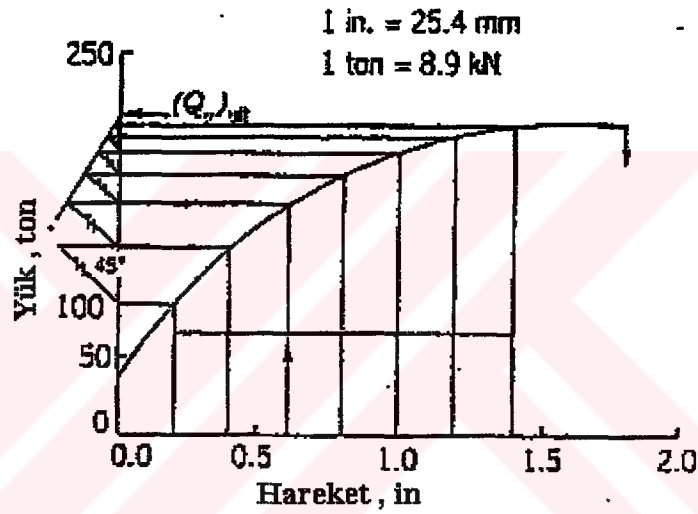
olarak yazılırsa göçme yükü $(Q_v)_{ult} = 1 / \{ 2(C_1 C_2)^{1/2} \}$ göçmede kazık başı hareketi $\Delta_v = C_2 / C_1$ formulleri kullanılarak belirlenir.

Yöntem yük-oturma eğrisinin yaklaşık olarak parabolik olduğunu varsaymakta olup hemen QM hemde SM yükleme yöntemleri için uygulanabilir. Göçme kriteri zımbalama türü göçme ile uyum içerisindedir. Yüklemeden önce hesaplama ve eğri oluşturma olanağı yoktur. Boşaltma çevrimleri içeren yüklemeler için veya zımbalama türü göçme mekanizması olmayan hallerde uygun değildir.

f) Mazurkiewicz Yöntemi (1972)

Şekil 4.13' de tanımlanan yöntem aşağıdaki gibi özetlenebilir (Joshi 1987, Fellinius 1980).

1. Yük-oturma eğrisi çizilir.
2. Eşit aralıklarla bölünmüş Δ ekseninden eğri kestirilip, bu noktalardan yatay doğrular çizilir.
3. Bu yatayların ordinatı kestiği yerde 45° açı yapan doğrular çizilip bir sonraki yatay doğruyla kestirilir.
4. Kesişme noktaları bir doğru üzerinde olup, uzantıları ordinatı göçme yükünde keser.



Şekil 4.13 Mazurkiewicz yöntemi ile göçme yükünün tahmini

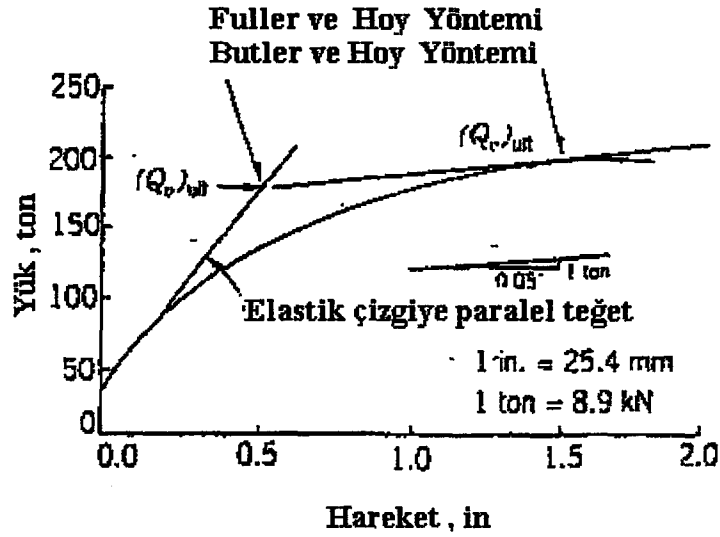
Kesişim noktaları bazen bir doğru üzerinde bulunmayabilir . Bu durumda noktalar arasından yaklaşık bir doğru geçirilir. Bu yöntemde yük - oturma eğrisinin yaklaşık olarak bir parabol olduğu varsayılmıştır. Mazurkiewicz yöntemi, Brinch Hansen %80 kriterine benzer sonuçlar vermektedir.

g) Fuller ve Hoy Yöntemi (1970)

Fuller ve Hoy yönteminin hesap esasları şu şekilde özetlenebilir (Joshi 1987, Fellinius 1980).

1. Şekil 4.14 'de görülen yük - oturma eğrisi çizilir..

2. Yük - oturma eğrisinin eğiminin 0.05 in / ton olduğu yerden çizilen doğrunun eğriyi kestiği nokta göçme yükü değerini vermektedir.



Şekil 4.14 Fuller ve Hoy yöntemi ile göçme yükünün tahmini

Bu yöntem özellikle QM deneyleri için uygundur. Yöntemin en büyük dezavantajı uzun kazıklarda sözkonusudur. Uzun kazıklar büyük miktarda elastik deplasman yapacaklar ve 0.05 in / ton oranı kısa sürede gerçekleşecektir.

h) Butler ve Hoy Yöntemi

Şekil 4.14 'de ifade edilen yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır (Joshi 1987, Fellinius 1980).

1. Yük-oturma eğrisi çizilir.
2. Eğrinin başlangıçtaki düz kısmının teğeti ile eğimi 0.05 in / ton olan doğrunun kesim noktası göçme yükünü verecektir.

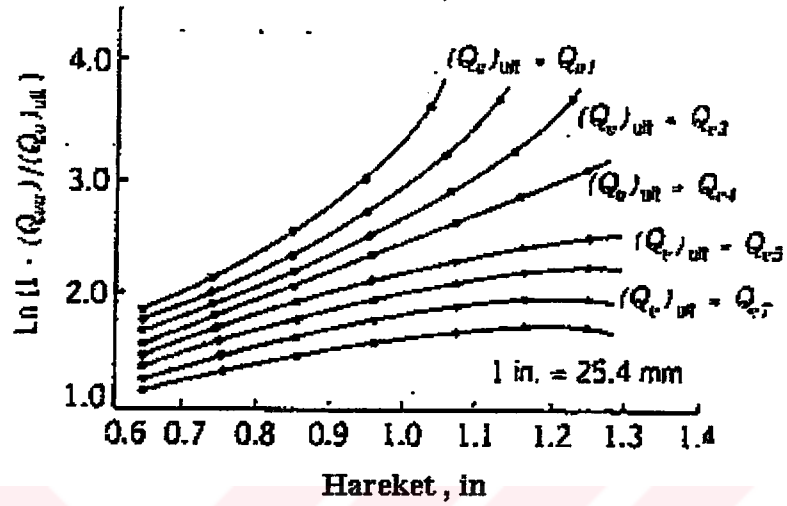
Yöntem zellikle QM deneyleri için uygun sonuçlar vermektedir.

i) Vander Veen Yöntemi (1953)

Vander Veen Yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir (Joshi 1987, Fellinius 1980).

1. $(Q_v)_{ult}$ nihai yükü varsayılır.

2. Farklı Q_{va} yüklerinden oluşacak oturma ve bu Q_{va} değerleri dikkate alınarak $\ln\{(1 - Q_{va})/(Q_v)_{ult}\} - \Delta$ eğrileri çizilir.
3. Çizilen eğriler düz bir çizgi haline gelmeye başlar. Bu andaki yük değeri Q_{va} , göçme yüküdür.



Şekil 4.15 Vander Veen Yöntemi ile Göçme Yükünün Tahmini

Vander Veen Yönteminin en büyük dezavantajı göçme yükünün hesaplanması için çok fazla zaman harcanmasıdır.

Joshi ve Sharma (1986) beş ayrı SM yüklemesi için göçme yükünü değişik yöntemler kullanarak yorumlamışlardır. Sonuçta

- Fore ve çan uçlu kazıklarda Fuller ve Hoy yeteri kadar doğrulukla göçme yükünü tahmin etmişlerdir.
- Franki kazıkları içinb Davisson, Butler ve Hoy, Fuller ve Hoy daha başarılı sonuçlar vermektedir.
- Çakma H kazıklarda Brinch Hansen % 90 kriteri ile Fuller ve Hoy ile Butler ve Hoy daha doğru sonuçlar vermiştir. Fellinius (1980) CRP ile yüklemde Fuller ve Hoy, Brinch Hansen % 90 ve Vander Veen yöntemlerinin daha başarılı olduğunu ileri sürmektedir. Genelde Davisson tutucu, Chin gerçekten fazla göçme yükü etme eğilimindedir ve Fuller – Hoy genellikle iyi bir tahmin yöntemidir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Giriş

Bu çalışmada, granüler zeminlerde aksenal yüklü kazıkların laboratuvar koşullarında modellenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple laboratuvarda kazıkların aksenal yüklenmesi için bir model geliştirilmiş ve bu model deney düzeneğinde bir seri deneyler yapılmıştır. Bu bölümde model düzeneğe kazıkların aksenal yüklenmesi için yapılan çalışmalardan ve model deneylerde kullanılan kum zeminin indeks özellikleri ile nümerik hesaplarda yararlanılması düşünülen mekanik parametrelerin elde edildiği mukavemet deneyleri anlatılacaktır.

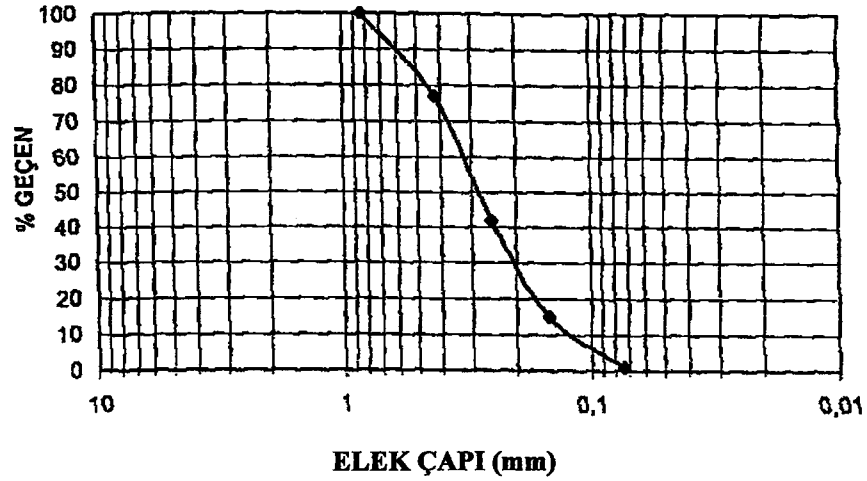
5.2 Zemin Özellikleri

Model deneylerde kullanılmak üzere kum bir zemin tercih edilmiş olup, bu kumun maksimum ve minimum dane çapları 0.5 ~ 0.05 mm arasında değişmektedir. İçerisinde kuvars danelerinin fazla olduğu bu kum Şile yöresinden alınmıştır. Dane çapı aralığı, kullanılan kum yağmurlama düzeneğinin verimli çalışmasına göre seçilmiştir. Kumun dane çapı dağılımı Şekil 5.1’de verilmiştir. Buradan görüleceği üzere kullanılan kum üniform bir kum olup USC (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması)’ye göre kötü derecelenmiş bir kumdur (SP). Bu kuma ait zemin özellikleri ise Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Kumun indeks özellikleri (Berilgen, 1996)

C_u	3
C_c	1.33
G_s	2.65
e_{max}	0.8
e_{min}	0.5
ϕ	40°
γ	19 kN/m ³

DANE ÇAPI DAĞILIMI



Şekil 5.1 Kumun dane çapı dağılımı

5.3 Deney düzeneği

Bu çalışmada düşey kazıkların aksel yüklenme durumundaki davranışının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle laboratuvarında benzer bir çalışma için daha önce geliştirilen, kum tankı ve yağmurlama düzeneği kullanılarak model deney düzeneği düşey yüklenme durumu için yeniden düzenlenmiştir.

5.3.1 Model Deney Tankı:

Model deneyler için 70 cm x 95 cm x 75 cm (genişlik x uzunluk x yükseklik) boyutlarında bir model tankı içerisinde yapılmıştır. Model tankı, çelik profiller ile imal edilmiş olup kenarları cam kaplıdır. Böylece hem kenar sürtünmeleri azaltılmış hemde kumun yerleştirilmesi ve deney sırasında hareketi gözlemlenebilen bir düzenek elde edilmiştir.

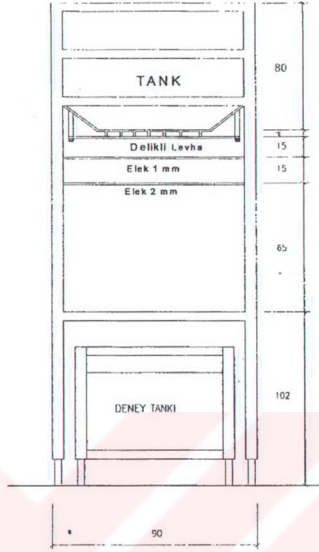
5.3.2 Yağmurlama Düzeneği:

Kum, tank içerisine bir yağmurlama düzeneği yardımıyla yerleştirilmiştir (Şekil 5.2) ve Şekil 5.3). Bu işlemin amacı tüm deneylerde aynı boşluk oranına sahip ve tank içinde üniform olarak yerleştirilmiş bir kum yatağı elde etmektir. Tank içine kum yerleştirilmesi için literatürde yer alan bir çok kum serme tekniğinden en uygun olarak yağmurlama tekniği görülmektedir (Steenfelt, 1973). Bu yüzden bu tez çalışması sırasında, Danimarka Geoteknik Enstitüsü tarafından geliştirilen bir kum yağmurlama düzeneği örnek alınmış ve ülke koşullarına göre gerekli değişiklikler yapılarak imal edilmiş olan yağmurlama düzeneği kullanılmıştır. Yağmurlama düzeneği Fotoğrafı Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 90 cm x 100 cm 80 cm (genişlik x uzunluk x yükseklik) boyutlarında ve zeminden 210 cm yükseklikte tekerlekli bir aksam üzerine monte edilmiş bir tank, bu tankın altında yer alan ve bir elektrik

motoru yardımıyla açılıp kapanan iki delikli plakadan ve bunların altında 15 cm aralıklarla yerleştirilmiş iki elekten meydana gelmektedir. Bu eleklerin aralıkları 1 mm olup kumun bunlar vasıtasıyla saçılması (yağmurlanması) sağlanmaktadır. Bu eleklerden altta olanın model tankı üstünden yüksekliği 80 cm dir. Ayrıca yağmurlama işlemi sırasında meydana gelen hava akımının yağmurlama işlemini bozmasını önlemek için düzenek çevresi bir örtüyle kaplanmıştır.



Şekil 5.2 Yağmurlama düzeneği



Şekil 5.3 Yağmurlama düzeneği yan görünüşü

5.3.3 Model Kazık:

Deneylerde 22 mm çapında içi boş kesitli alüminyum boru kullanılmış olup et kalınlığı 1.25 mm dir. Model kazık boyu 75 cm dir. Yüklemeler sırasında kazıkta meydana gelen deformasyonları ölçmek amacıyla belirli aralıklarla yedi adet şekil değiştirme ölçer (strain gauge) yapılandırılmıştır. Şekil değiştirme ölçerler alüminyum boru üzerinde aksel ve teğetsel doğrultuda meydana gelen deformasyonları ölçmeye olanak tanımaktadır. Bunlar tek sıra halinde boru üzerinde alttan itibaren ilki kazık ucundan 3.5 cm yukarda ve diğer altı tanesi 10 cm arayla kazık başına doğru yerleştirilmiştir. (Zemin yüzeyinden itibaren 1 no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.065 m.' de, 2. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.165 m.' de, 3. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.265 m.' de, 4. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.365 m.' de, 5. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.465 m.' de, 6. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.565 m.' de, 7. no.' lu şekil değiştirme ölçer 0.665 m.' de) Model kazığı zemin içerisinde deneylere tabii tutulmadan önce üzerinde kalibrasyon deneyleri yapılmıştır.

5.3.4 Model Deneyler:

Model kazık öncelikle tankın içine sabitlenerek tank tabanından 10 cm. yukarıya yerleştirilmiştir. Daha sonra yağmurlama düzeneği çalıştırılarak tankın içi kazık başından 5 cm. kalıncaya kadar kumla doldurulmuştur. Kazık yükleme deneylerini yapabilmek için kum tankı yükleme frame' inin (yükleme aleti) altına getirilerek 0,45 mm/dakika sabit hızla model kazık aksel olarak yüklenmiştir. Aksel olarak yükün kazığa aktarılabilmesi için model kazık üzerine kazık başlığı yaptırılmıştır. Model kazık üzerine yapıştırılan şekil değiştirme ölçerler, kazık başlığının içinden çıkarak şekil değiştirme ölçer aletine bağlanmıştır. Deneyler sırasında 0,0.4,0.8,0.16 ve 0.20 kN' lık yükler uygulanarak, sırasıyla herbir yükleme aşamasında şekil değiştirme ölçer aletinden ölçümler alınmıştır. Ayrıca yükleme deneyi sırasında kazık başı hareketini ölçmek için, kazık başına yerdeğiştirme ölçer yerleştirilerek, kazık başı deplasmanları ölçülmüştür. Kazık yükleme deneyleri çok sayıda tekrarlanarak bunlardan iki adedi seçilerek değerlendirilmiştir. Herbir deneyde tank boşaltılarak, tankın içi tekrar doldurulmuştur.

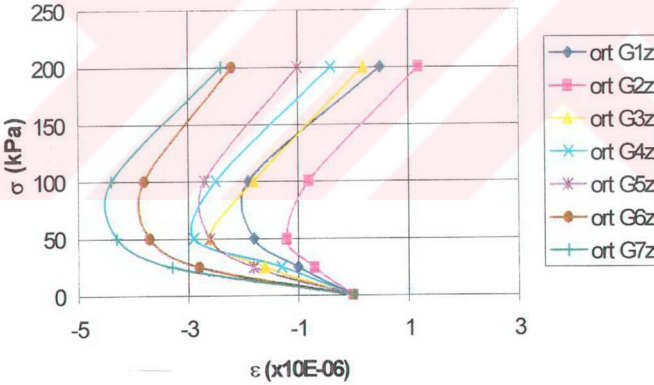


Şekil 5.4 Yükleme aleti

5.4 Model Kazık Üzerinde Kalibrasyon Deneyleri

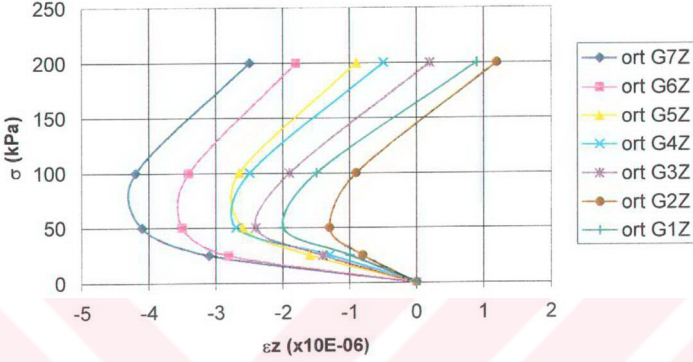
Deneylerde kullanılacak alüminyum boru üzerine eksenel ve çevre basıncı etkileri ayrı ayrı uygulanarak süperpoze edilmiştir. Bu deneylerde hücre basıncı 200 kPa.' a kadar uygulanmıştır. Bu deneylerde çevre basıncı ve eksenel basınç altında şekil değiştirme ölçerlerde ölçülen eksenel şekil değiştirme (ϵ_z) ve teğetsel şekil değiştirme (ϵ_θ) değerleri kullanılarak eksenel gerilme (σ_z) ve kayma gerilmesi ($\Delta\tau$) değerleri belirlenmiştir. Kalibrasyon deneylerinde 7 adet strain gauge (şekil değiştirme ölçerin) herbirinde 8 adet deney yapılarak herbir şekil değiştirme ölçere ait ortalama kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir. Deneyler iki kez tekrarlanmıştır ve sonuçları Şekil 5.5' de eksenel yönde belirlenen ortalama kalibrasyon eğrileri, Şekil 5.6' da ise radyal yönde belirlenen ortalama kalibrasyon eğrileri verilmiştir.

1 no' lu Kalibrasyon Deneyine Ait Eksenel Yöndeki Sonuçlar



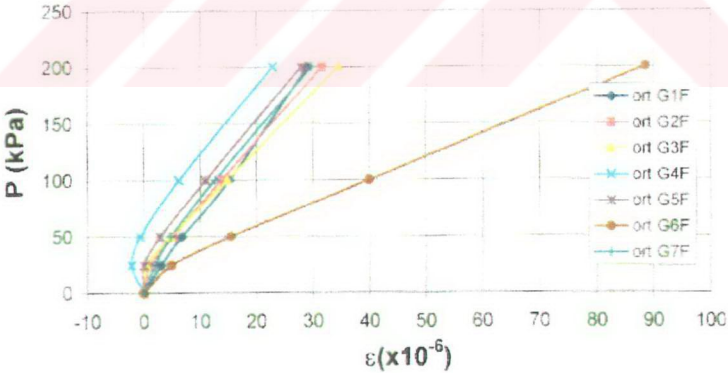
Şekil 5.5 (a) 1 no' lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölçere ait eksenel yöndeki ölçümler

2 No'lu Kalibrasyon Deneyine Ait Eksenel Yöndeki Sonuçlar



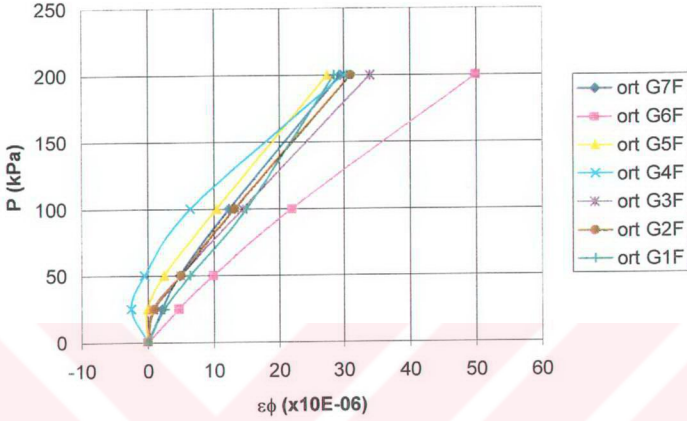
Şekil 5.5 (b) 2 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölççere ait eksenel yöndeki ölçümler

1 No' lu Kalibrasyon Deneyine Ait Teta Yönündeki Sonuçlar



Şekil 5.6 (a) 1 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölççere ait teta yönündeki ölçümler

2 No'lu Kalibrasyon Deneyine Ait Teta Yönündeki Sonuçlar



Şekil 5.6 (b) 2 no'lu kalibrasyon deneyinde her şekil değiştirme ölççere ait teta yönündeki ölçümler

Model kazık üzerindeki şekil değiştirme ölççerlerin yerleştirildiği noktalardaki eksenel ve kayma gerilmelerini belirlemek için Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 da verilen ortalama kalibrasyon eğrilerinin eğiminden yararlanılmıştır.

5.4.1 Model Kazık Boyunca Gerilmelerin Belirlenmesi

Ortalama kalibrasyon eğrilerinin eğimi bulunduğundan sonra, laboratuvar deneyi sonuçlarında elde edilen eksenel şekil değiştirme (ε_z) ve teğetsel şekil değiştirme (ε_ϕ) değerleri ile arasında orantı kurularak eksenel gerilme değerleri (σ_z) ve kayma gerilmeleri ($\Delta\tau$) hesaplanmıştır. Hesap sonuçları Çizelge 5.2' de verilmiştir. Çizelge 5.2 (a)' da 1 no' lu model deneyden elde edilen gerilme değerleri, Çizelge 5.2 (b)' de ise 2 no' lu model deneyden elde edilen gerilme değerleri verilmiştir.

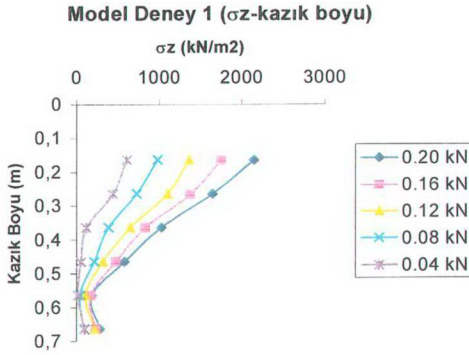
Çizelge 5.2 (a) Kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak 1 no'lu model deneyden elde edilen σ_z ve $\Delta\tau$ gerilme değerleri

	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	ε_z (x10E-06) (%)	ε_ϕ (x10E-06) (%)	Eğim ($\varepsilon_z - P$)	Model Deney 1 σ_z (kN/m ²)	Model Deney 1 P (kN)	Eğim ($\varepsilon_\phi - P$)	Model Deney 1 $\Delta\tau$ (kN/m ²)
0,20 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	50,5	-55	2,35	2148,9	0,175	2,25	-220
	0,265	3	37	-40	2,25	1644,4	0,134	2,25	-160
	0,365	4	21,5	-23	2,1	1023,8	0,083	2,25	-92
	0,465	5	12,7	-12	2,2	577,27	0,047	2,25	-48
	0,565	6	4	-2	2,2	181,82	0,015	2,25	-8
	0,665	7	6,36	-3,5	2,25	282,67	0,023	2,25	-14
0,16 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	41,1	-46	2,35	1748,9	0,143	2,25	-184
	0,265	3	31	-36	2,25	1377,8	0,112	2,25	-144
	0,365	4	17,4	-20	2,1	828,57	0,068	2,25	-80
	0,465	5	10,4	-11	2,2	472,73	0,039	2,25	-44
	0,565	6	3,79	-1	2,2	172,27	0,014	2,25	-4
	0,665	7	5,23	-3,5	2,25	232,44	0,019	2,25	-14
0,12 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	32	-37	2,35	1361,7	0,111	2,25	-148
	0,265	3	24,7	-31	2,25	1097,8	0,089	2,25	-124
	0,365	4	13,6	-16	2,1	647,62	0,053	2,25	-64
	0,465	5	7,04	-7	2,2	320	0,026	2,25	-28
	0,565	6	2,48	-1	2,2	112,73	0,009	2,25	-4
	0,665	7	4,99	-5	2,25	221,78	0,018	2,25	-20
0,08 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	23	-28,5	2,35	978,72	0,080	2,25	-114
	0,265	3	16,33	-21	2,25	725,78	0,059	2,25	-84
	0,365	4	8,08	-9,5	2,1	384,76	0,031	2,25	-38
	0,465	5	4,64	-5	2,2	210,91	0,017	2,25	-20
	0,565	6	0,9	-2	2,2	40,91	0,003	2,25	-8
	0,665	7	2,17	-1	2,25	96,44	0,008	2,25	-4
0,04 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	13,5	-20	2,35	608,09	0,050	2,25	-80
	0,265	3	9,88	-15	2,25	439,11	0,036	2,25	-60
	0,365	4	2,57	-3	2,1	122,38	0,010	2,25	-12
	0,465	5	1,21	-1	2,2	55	0,004	2,25	-4
	0,565	6	0,476	0	2,2	21,64	0,002	2,25	0
	0,665	7	2,287	-1	2,25	101,64	0,008	2,25	-4

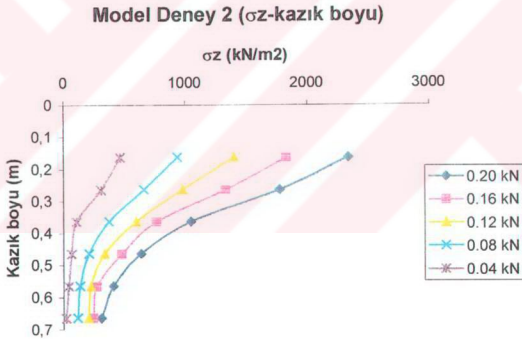
Çizelge 5.2 (b) Kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak 2 no'lu model deneyden elde edilen σ_z ve $\Delta\tau$ gerilme değerleri

	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	ε_z (x10E-06) (%)	ε_ϕ (x10E-06) (%)	Eğim ($\varepsilon_z - P$)	Model Deney 2 σ_z (kN/m ²)	Model Deney 2 P (kN)	Eğim ($\varepsilon_\phi - P$)	Model deney 2 $\Delta\tau$ (kN/m ²)
0,20 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	48,3	-53	2,35	2055,32	0,1675	2,25	-212
	0,265	3	34,1	-39	2,25	1515,56	0,1235	2,25	-156
	0,365	4	24	-30	2,1	1142,86	0,0931	2,25	-120
	0,465	5	16,1	-20	2,2	731,82	0,0596	2,25	-80
	0,565	6	13,8	-18	2,2	627,27	0,0511	2,25	-72
	0,665	7	8,7	-9,2	2,25	386,67	0,0315	2,25	-36,8
0,16 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	39,4	-44	2,35	1676,60	0,1366	2,25	-176
	0,265	3	30,2	-36	2,25	1342,22	0,1094	2,25	-144
	0,365	4	18,5	-22	2,1	880,95	0,0718	2,25	-88
	0,465	5	11,1	-11,7	2,2	504,55	0,0411	2,25	-46,8
	0,565	6	8,2	-8,2	2,2	372,73	0,0304	2,25	-32,8
	0,665	7	6	-5,5	2,25	266,67	0,0217	2,25	-22
0,12 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	30,7	-35,5	2,35	1306,38	0,1065	2,25	-142
	0,265	3	24	-29,3	2,25	1066,67	0,0869	2,25	-117,2
	0,365	4	14,2	-16,8	2,1	676,19	0,0551	2,25	-67,2
	0,465	5	8	-7,9	2,2	363,64	0,0296	2,25	-31,6
	0,565	6	6,5	-6,9	2,2	295,45	0,0241	2,25	-27,6
	0,665	7	4,9	-5	2,25	217,78	0,0177	2,25	-20
0,08 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	22,8	-28,8	2,35	970,21	0,0791	2,25	-115,2
	0,265	3	17,6	-22,8	2,25	782,22	0,0637	2,25	-91,2
	0,365	4	9	-9,3	2,1	428,57	0,0349	2,25	-37,2
	0,465	5	5,2	-4,8	2,2	236,36	0,0193	2,25	-19,2
	0,565	6	4	-3,9	2,2	181,82	0,0148	2,25	-15,6
	0,665	7	2,9	-2,5	2,25	128,89	0,0105	2,25	-10
0,04 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	14,6	-19,6	2,35	621,28	0,0506	2,25	-78,4
	0,265	3	11	-14,8	2,25	488,89	0,0398	2,25	-59,2
	0,365	4	4,9	-5,5	2,1	233,33	0,0190	2,25	-22
	0,465	5	2,9	-3,5	2,2	131,82	0,0107	2,25	-14
	0,565	6	2	-2,4	2,2	90,91	0,0074	2,25	-9,6
	0,665	7	1	-0,85	2,25	44,44	0,0036	2,25	-3,4

Şekil 5.7 (a) ve Şekil 5.7 (b)' de sırasıyla Model Deney 1 ve Model Deney 2' den belirlenen aksel gerilme değerlerinin kazık boyunca değişimi farklı yük kademeleri için gösterilmiştir. Bu eğrilerde aksel gerilme değerleri beklenildiği üzere kazık başından ucuna doğru azaldığı açıktır.

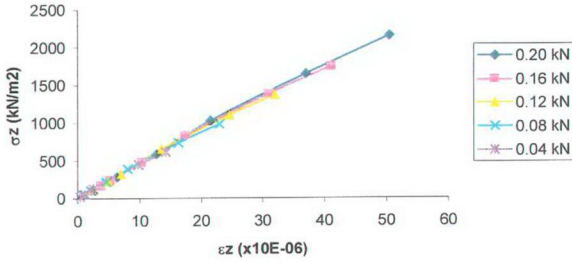


Şekil 5.7 (a) Model deney 1' e ait eksenel gerilmelerin kazık boyunca değişimi

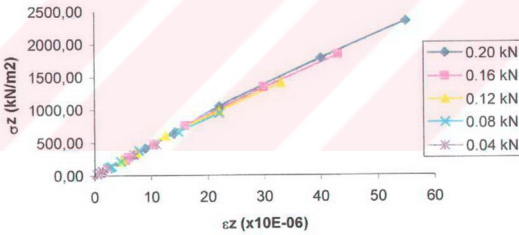


Şekil 5.7 (b) Model deney 2' ye ait eksenel gerilmelerin kazık boyunca değişimi

Şekil 5.8 (a) ve Şekil 5.8 (b) de Model Deney 1 ve 2 için beş adet yükleme aşamasında (0,20 kN, 0,16 kN, 0,12 kN, 0,08 kN, 0, 4 kN.' lık yüklemeler) belirlenen eksenel şekil değiştirme ile eksenel gerilme arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu beş yükleme kademesi için ayrı ayrı çizilen beş eğrinin ortalamasından elastisite modülü hesaplanmıştır. Model Deney 1' den $E=4.35 \times 10^7$ kN/m² olarak belirlenmiştir. Model Deney 2' den $E=4.3 \times 10^7$ kN/m² olduğu bulunmuştur. Bu değerler literatürde alüminyum için önerilen ($E=6.78 \times 10^7$ kN/m²) değerden daha düşüktür.

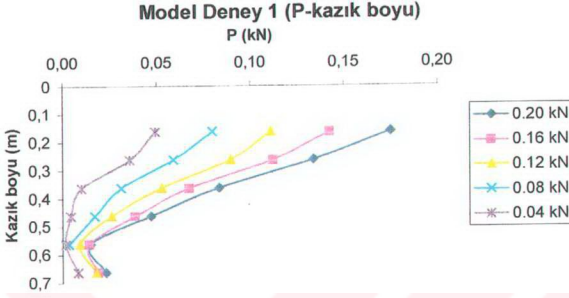
Model Deney 1 ($\sigma_z - \epsilon_z$)

Şekil 5.8 (a) Model deney 1' e ait eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi

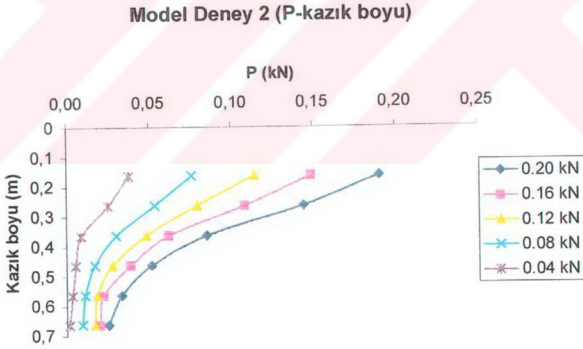
Model Deney 2 ($\epsilon_z - \sigma_z$)

Şekil 5.8 (b) Model deney 2' ye ait eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi

Şekil 5.9 (a) ve Şekil 5.9 (b)' de Model Deney 1 ve 2' de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi boyunca değişimi gösterilmiştir

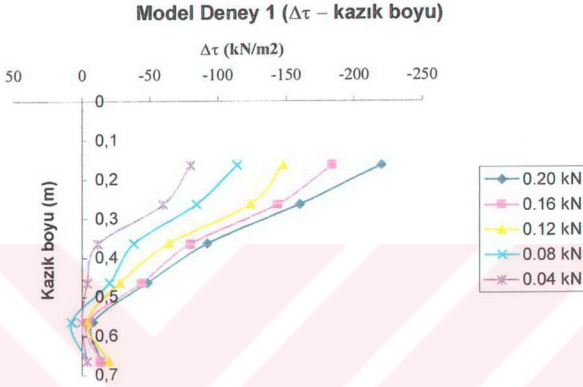


Şekil 5.9 (a) Model deney 1' de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi.

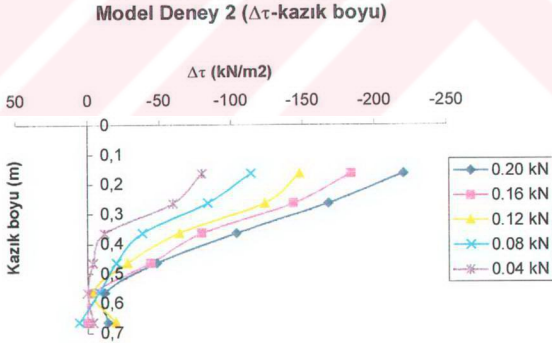


Şekil 5.9 (b) Model deney 2' de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi.

Şekil 5.10 (a) ve Şekil 5.10 (b)' de Model Deney 1 ve 2 için kayma gerilmesinin kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. Bu eğride de kazık başından kazık ucuna doğru kayma gerilmesi değerlerinin azaldığı açıktır.



Şekil 5.10 (a) Model deney 1' e ait kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi



Şekil 5.10 (b) Model deney 2' ye ait kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi

Kalibrasyon deneyleri sonucunda belirlenen kalibrasyon eğrilerinin eğimi kullanılarak Model Deney 1 ve Model Deney 2' den elde edilen gerilmelerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

5.5. Model Kazık Boyunca Gerilmelerin Ampirik Olarak Hesabı

Deneylerde ölçülen şekil değiştirme değerlerini gerilme değerlerine dönüştürmek için elastisite teorisi literatüründe yeralan silindirik kabukların gerilme-şekil değiştirme ilişkisini veren formülde radyal şekil değiştirmeler (ϵ_r)=0 alınırsa :

$$\sigma_z = \frac{E}{[(1+\nu) \times (1-2 \times \nu)]} \times [(1-\nu) \times \epsilon_z + \nu \times \epsilon_\phi] \quad (5.1)$$

elde olunur. Bu eşitlikte ν Poisson Oranı, ϵ_z eksenel şekil değiştirme, ϵ_ϕ teğetsel şekil değiştirme ve E elastisite modülüdür. Bu şekilde elde olunan eksenel gerilme değerlerinden yararlanılarak kazık boyunca kayma gerilmeleri değişimi:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\sigma_z \times A}{\pi \times D \times \Delta L} \quad (5.2)$$

bağıntısından elde olunur. Burada $\Delta\sigma_z$ kazık boyunca eksenel gerilme değişimini, A enkesit alanını, D enkesit çapını, ΔL ise gerilme değişimi gözönüne alınan uzunluk değerleridir (Berilgen, 1996).

5.5.1 1 No' lu Deneyin Ampirik Eşitliklerle Değerlendirilmesi

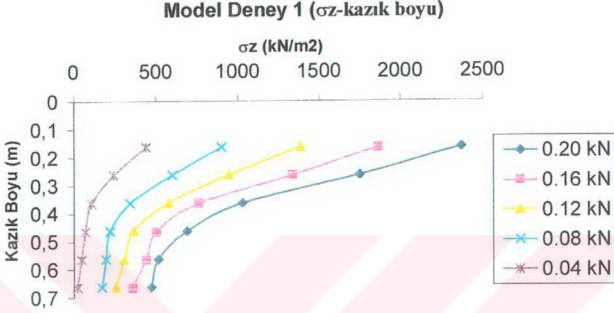
5.3.4' de belirtildiği gibi yapılan deneylerden eksenel şekil değiştirme (ϵ_z) ve teğetsel şekil değiştirme (ϵ_ϕ) değerleri okunmuştur.

Çizelge 5.3' de kazık yükleme deneyinden okunan şekil değiştirme değerlerinin, 5.1 ve 5.2 eşitliklerinde yerine yazılarak eksenel gerilme (σ_z) ve kayma gerilmesi ($\Delta\tau$) değerleri belirlenmiştir. Bu formüllerde alimünyumun elastisite modülü $E_a=6.78 \times 10^7$ kN/m², Poisson oranı $\nu=0.33$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5.3 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model Deney 1' de kazık boyunca belirlenen eksenel gerilmeler ve kayma gerilmeleri

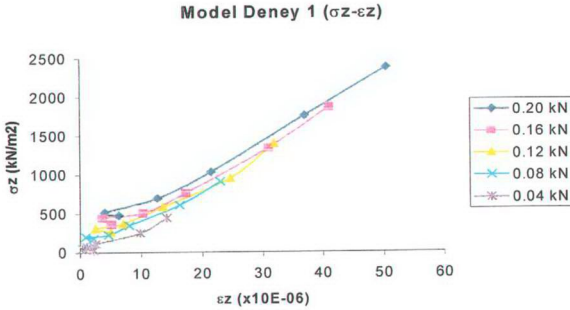
	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	ΔL (m)	ε_z ($\times 10E-06$) (%)	ε_ϕ ($\times 10E-06$) (%)	Model Deney 1 σ_z (kN/m^2)	Model Deney 1 $\Delta \sigma_z$ (kN/m^2)	Model Deney 1 $\Delta \tau$ (kN/m^2)	Model Deney 1 P (kN)
0,20 kN									
	0,065	1							
	0,165	2	0,1	50,5	-55	2369,12	-2369,12	28	0,193
	0,265	3	0,1	37	-40	1751,09	-618,03	7	0,143
	0,365	4	0,1	21,5	-23	1030,05	-721,03	9	0,084
	0,465	5	0,1	12,7	-12	690,13	-339,92	4	0,056
	0,565	6	0,1	4	-2	309,02	-381,12	2	0,025
	0,665	7	0,1	6,36	-3,5	474,85	165,84	0	0,039
0,16 kN									
	0,065	1	0,065						
	0,165	2	0,1	41,1	-46	1864,39	-1864,39	22	0,152
	0,265	3	0,1	31	-36	1339,07	-525,33	6	0,109
	0,365	4	0,1	17,4	-20	762,24	-576,83	7	0,062
	0,465	5	0,1	10,4	-11	504,72	-257,51	3	0,041
	0,565	6	0,1	3,79	-1	338,89	-165,84	1	0,028
	0,665	7	0,1	5,23	-3,5	358,46	19,57	1	0,029
0,12 kN									
	0,065	1	0,065						
	0,165	2	0,1	32	-37	1390,57	-1390,57	16	0,113
	0,265	3	0,1	24,7	-31	947,65	-442,92	5	0,077
	0,365	4	0,1	13,6	-16	576,83	-370,82	4	0,047
	0,465	5	0,1	7,04	-7	364,64	-212,19	2	0,030
	0,565	6	0,1	2,48	-1	203,95	-160,69	1	0,017
	0,665	7	0,1	4,99	-5	256,48	52,53	1	0,021
0,08 kN									
	0,065	1	0,065						
	0,165	2	0,1	23	-28,5	901,29	-901,29	18	0,073
	0,265	3	0,1	16,33	-21	600,52	-300,77	6	0,049
	0,365	4	0,1	8,08	-9,5	343,01	-257,51	5	0,028
	0,465	5	0,1	4,64	-5	220,43	-122,58	2	0,018
	0,565	6	0,1	0,9	-2	-10,30	-230,73	0	-0,001
	0,665	7	0,1	2,17	-1	172,02	182,32	0	0,014
0,04 kN									
	0,065	1	0,065						
	0,165	2	0,1	14,29	-20	441,89	-441,89	14	0,036
	0,265	3	0,1	9,88	-15	245,15	-196,74	6	0,020
	0,365	4	0,1	2,57	-3	110,22	-134,94	4	0,009
	0,465	5	0,1	1,21	-1	73,13	-37,08	1	0,006
	0,565	6	0,1	0,476	0	49,03	-24,10	0	0,004
	0,665	7	0,1	2,287	-1	25,50	-23,53	0	0,002

Şekil 5.11' de kazık yükleme deneylerinden belirlenen eksenel gerilmenin kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. Deney sonuçları beş farklı yükleme kademesinde verilmiştir. Kalibrasyon deney sonuçlarının kullanıldığı yorumlara benzer olarak bu deneylerde de eksenel gerilme kazık başından ucuna doğru azaldığı görülmektedir.



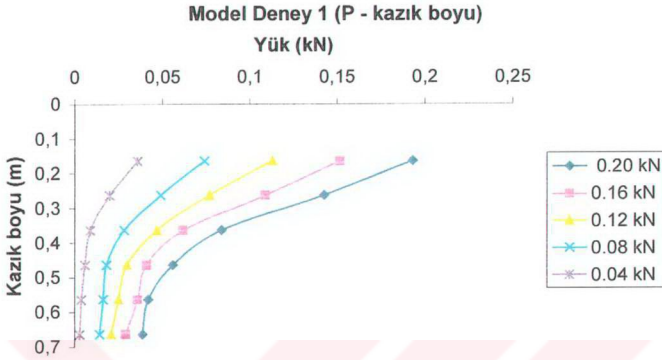
Şekil 5.11 Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1' de belirlenen eksenel gerilmenin kazık boyunca değişimi.

Şekil 5.12' de eksenel gerilme (σ_z) ile eksenel şekil değiştirme (ϵ_z) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu beş yükleme kademesi için ayrı ayrı çizilen beş eğrinin ortalamasından elastisite modülü hesaplanmıştır ve $E=8.857 \times 10^7$ kN/m² bulunmuştur. Bu değer ampirik eşitliklerde varsayılan değerden biraz daha yüksektir.



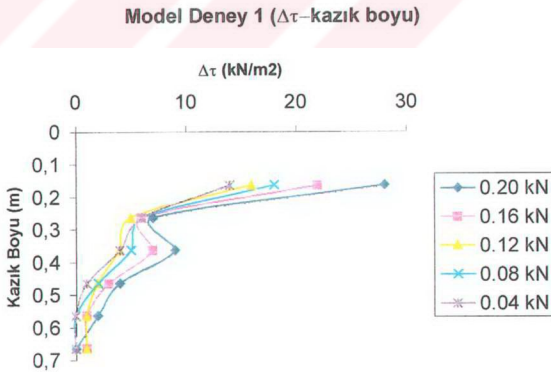
Şekil 5.12 Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1' de belirlenen eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi

Şekil 5.13’de de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1’ de belirlenen yükün kazık boyunca değişimi

Şekil 5.14’ de de kayma gerilmesinin kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. Bu eğride de kazık başından kazık ucuna doğru kayma gerilmesi değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.14 Ampirik eşitlikler kullanılarak model deney 1’ de elde edilen kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi

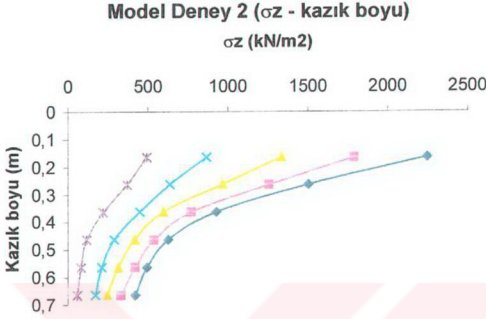
5.5.2 2 No' lu Deneyin Ampirik Eşitliklerle Değerlendirilmesi

Model Deney 2' nin yapılabilmesi için öncelikle tankın içi 5.3.4.' de belirtildiği gibi boşaltılıp tekrar yağmurlama düzeneğinin altına yerleştirilerek doldurulmuştur. Model Deney 2' nin sonuçları 5.5.1' de yapılan Model Deney 1' in. sonuçları ile karşılaştırıldığında benzer değerleri yansıtmaktadır. Çizelge 5.4' de Model Deney 2' ye ait eksenel gerilme ve kayma gerilmesi değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' de kazık boyunca belirlenen eksenel gerilmeler ve kayma gerilmeleri

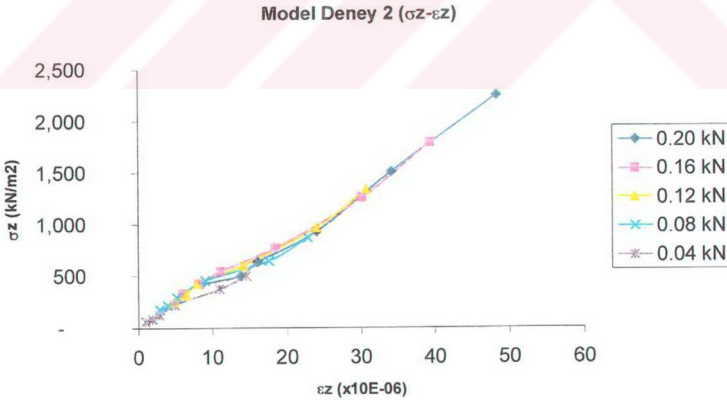
	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	ΔL (m)	ε_z ($\times 10E-06$) (%)	ε_ϕ ($\times 10E-06$) (%)	Model Deney 2 σ_z (kN/m ²)	Model Deney 2 $\Delta \sigma_z$ (kN/m ²)	Model Deney 2 $\Delta \tau$ (kN/m ²)	Model Deney 2 P (kN)
0,20 kN	0,065	1							
	0,165	2	0,1	48,3	-53	2.246	2.246	-26	0,183
	0,265	3	0,1	34,1	-39	1.504	742	-9	0,123
	0,365	4	0,1	24	-30	927	577	-7	0,076
	0,465	5	0,1	16,1	-20	628	299	-4	0,051
	0,565	6	0,1	13,8	-18	494	134	-2	0,040
	0,665	7	0,1	8,7	-9,2	422	72	-1	0,034
0,16 kN									
	0,065	1	0,065						-
	0,165	2	0,1	39,4	-44	1.792	1.792	-21	0,146
	0,265	3	0,1	30,2	-36	1.257	536	-6	0,102
	0,365	4	0,1	18,5	-22	773	484	-6	0,063
	0,465	5	0,1	11,1	-11,7	541	232	-3	0,044
	0,565	6	0,1	8,2	-8,2	422	118	-1	0,034
	0,665	7	0,1	6	-5,5	335	88	-1	0,027
0,12 kN									
	0,065	1	0,065						-
	0,165	2	0,1	30,7	-35,5	1.334	1.334	-16	0,109
	0,265	3	0,1	24	-29,3	963	371	-4	0,078
	0,365	4	0,1	14,2	-16,8	597	366	-4	0,049
	0,465	5	0,1	8	-7,9	417	180	-2	0,034
	0,565	6	0,1	6,5	-6,9	314	103	-1	0,026
	0,665	7	0,1	4,9	-5	247	67	-1	0,020
0,08 kN									
	0,065	1	0,065						-
	0,165	2	0,1	22,8	-28,8	865	865	-10	0,071
	0,265	3	0,1	17,6	-22,8	639	227	-3	0,052
	0,365	4	0,1	9	-9,3	448	191	-2	0,037
	0,465	5	0,1	5,2	-4,8	288	160	-2	0,024
	0,565	6	0,1	4	-3,9	211	77	-1	0,017
	0,665	7	0,1	2,9	-2,5	170	41	0	0,014
0,04 kN									
	0,065	1	0,065						-
	0,165	2	0,1	14,6	-19,6	494	494	-6	0,040
	0,265	3	0,1	11	-14,8	371	124	-1	0,030
	0,365	4	0,1	4,9	-5,5	221	149	-2	0,018
	0,465	5	0,1	2,9	-3,5	118	103	-1	0,010
	0,565	6	0,1	2	-2,4	82	36	0	0,007
	0,665	7	0,1	1	-0,85	59	23	0	0,005

Şekil 5.15' de 2. no' lu deneyden elde edilen eksenel gerilmelerin kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. 5.5.1' deki Model Deney 1' deki gibi eksenel gerilme kazık başından ucuna doğru azalmaktadır.



Şekil 5.15 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' de belirlenen eksenel gerilmenin kazık boyunca değişimi.

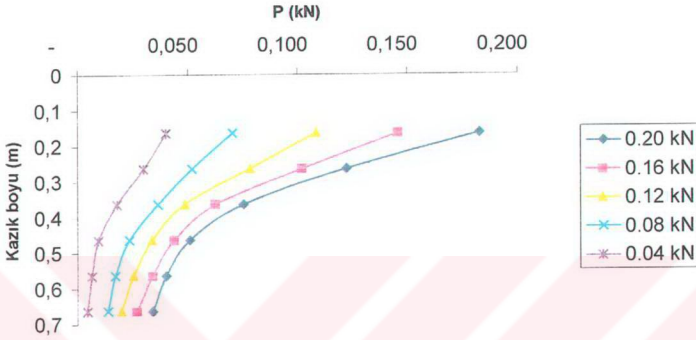
Şekil 5.16' da Model Deney 2'den elde edilen eksenel gerilme ile eksenel şekil değiştirme arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.16 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' de elde edilen eksenel gerilmelerin şekil değiştirmelere göre değişimi.

Şekil 5.17' de de uygulanan yükün kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. 5.5.1' de bahsedilen Model Deney 1' deki gibi uygulanan yük kazık başından ucuna doğru azalmıştır.

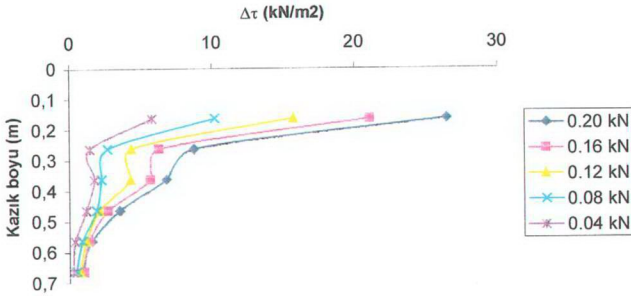
Model Deney 2 (P- kazık boyu)



Şekil 5.17 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' den belirlenen yükün kazık boyunca değişimi

Şekil 5.18' de Model Deney 2'den elde edilen kayma gerilmesinin kazık boyunca değişimi gösterilmiştir. 5.5.1' de bahsedilen Model Deney 1' deki gibi kayma gerilmesi kazık başından kazık ucuna doğru azalmaktadır.

Model Deney 2 ($\Delta\tau$ -kazık boyu)

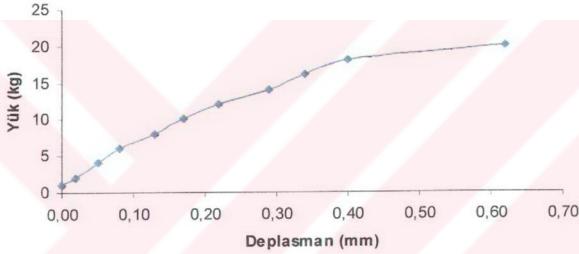


Şekil 5.18 Ampirik eşitlikler kullanılarak Model deney 2' den elde edilen kayma gerilmelerinin kazık boyunca değişimi

5.6 Kazık Başı Deplasmanlarının Değerlendirilmesi

5.3.4’ de belirtildiği gibi deneylerin yapımı sırasında kazık başı deplasmanları da ölçülmüştür. Şekil 5.19’ da 1 no’ lu deneyden ölçülen kazık başı deplasmanlarının yük ile değişimi gösterilmiştir. Bölüm 4.5’ de açıklanan Chin, De Beer, Brinch-Hansen ve Davisson yöntemleri kullanılarak nihai kazık taşıma yükü (Q_{ult}) bu yöntemlerden belirlenmiş ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. 1 ve 2 no’ lu deneylerde kazık başı deplasman ölçümleri birbirine çok yakın çıktığı için sadece 1 no’ lu deney değerlendirilmiştir.

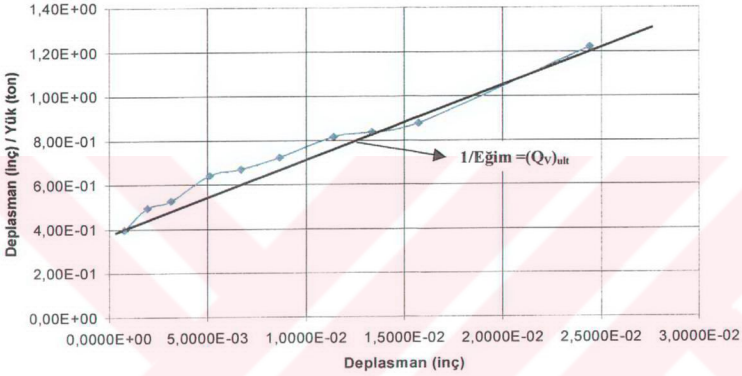
Kazık başı deplasmanları



Şekil 5.19 Kazık yükleme deneylerinden elde edilen kazık başı deplasmanları

Şekil 5.20’ de 1 no’ lu deney sonuçlarının Chin yöntemine uygulanması sonucunda belirlenen deplasman/yük – deplasman grafiği gösterilmiştir. Buradan $Q_{ult} = 0.267$ kN olarak hesaplanmıştır.

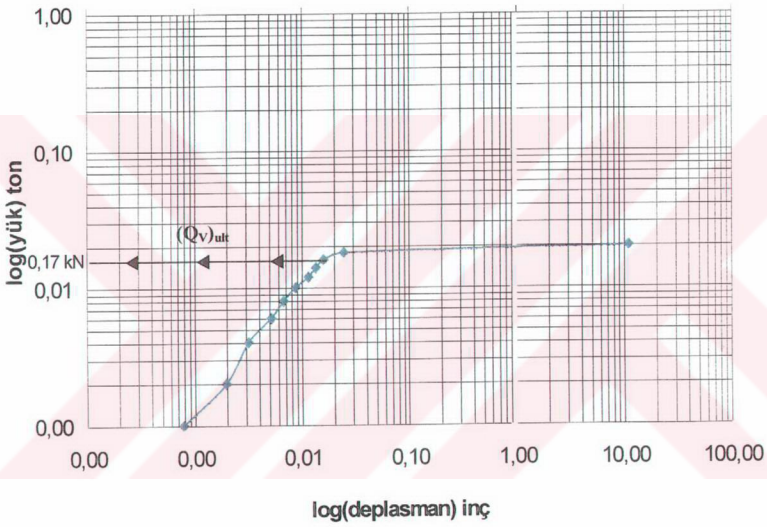
Chin Yöntemi



Şekil 5.20 Chin yöntemi ile nihai kazık taşıma yükünün belirlenmesi

Şekil 5.21' de da 1 no' lu deney sonuçlarının De Beer yöntemine uygulanması sonucu deplasman-yük grafiği çizilerek $Q_{ult} = 0.17 \text{ kN}$ olarak belirlenmiştir.

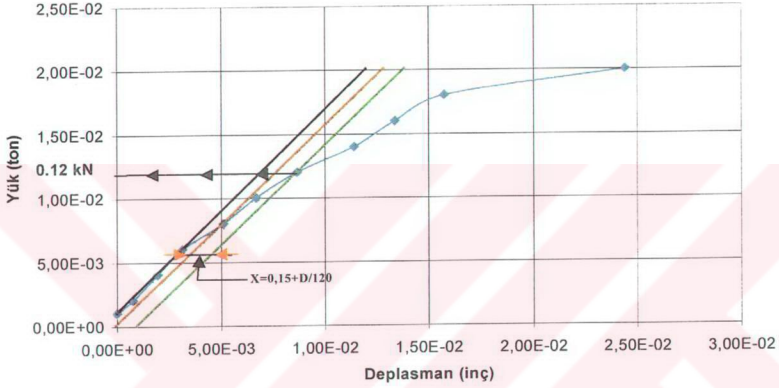
De Beer Yöntemi



Şekil 5.21 De Beer Yöntemi ile nihai kazık taşıma yükünün belirlenmesi

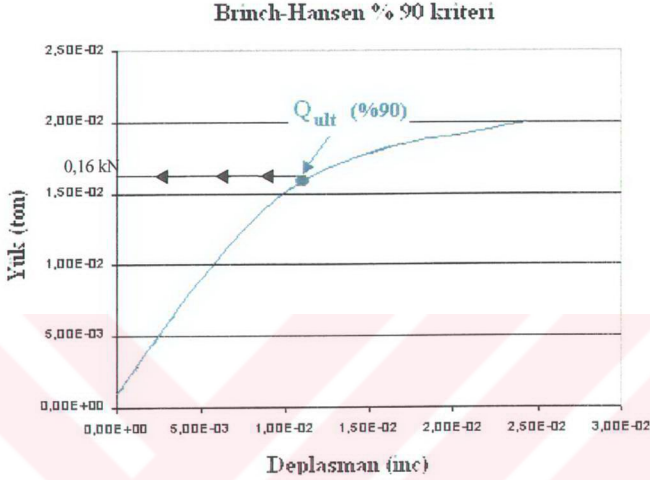
Şekil 5.22' de de 1 no' lu deney sonuçlarının Davisson yöntemine uygulanması sonucu deplasman-yük grafiği çizilmiş ve buradan da $Q_{ult} = 0.12 \text{ kN}$ olarak hesaplanmıştır.

Davisson Yöntemi



Şekil 5.22 Davisson Yöntemi ile nihai kazık taşıma yükünün belirlenmesi

Şekil 5.23’ de de 1 no’ lu deney sonuçlarının Brinch-Hansen %90 kriterine uygulanarak $Q_{ult}=0.16$ kN olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 5.23 Brinch-Hansen %90 kriteri ile nihai kazık taşıma yükünün belirlenmesi

5.7 Kazık Taşıma Yükünün Ampirik Olarak Tahmini

5.7.1 Kazık Tabanında Taşınan Yükün Ampirik Olarak Tahmini

Deneyde kullanılan kum için $\phi=40^\circ$ ve $\phi=30^\circ$, $\gamma=19$ kN/m³ olarak alınmıştır. Ayrıca alüminyum model kazığın dış çapı ($D_{dış}=22$ mm.), iç çapıda ($D_{iç}=19.50$ mm.)’ dir. Navfac, Meyerhof ve Vesic yöntemleri kullanılarak kazık ucunda (Q_p) ve çevresinde taşınan yük(Q_s)ampirik olarak hesaplanmıştır.

Kazık tabanında taşınan yükün $\phi=40^\circ$ alınarak ampirik olarak hesaplanması

$$D_{dış}=22 \text{ mm} \quad \phi=40^\circ \quad D_{iç}=19.5 \text{ mm} \quad \gamma_n=19 \text{ kN/m}^3$$

1) NAVFAC YÖNTEMİ : (Q_p)

$$Q_p = \sigma'_p \times N_q \times A_p \quad \phi=40^\circ \quad N_q=64.2 \text{ alınmıştır}$$

$$A_p = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.022^2}{4} = 3.7994 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma'_p = H \times \gamma_n = 0.7 \times 19 = 13.3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 13.3 \times 64.2 \times 3.7994 \times 10^{-4} \quad Q_p = 0.32 \text{ kN} \quad Q_p = 320 \text{ N} = 32 \text{ kg}$$

2) MEYERHOF YÖNTEMİ

$$\phi = 40^\circ \quad N_q = 350$$

$$Q_p = \sigma'_{vp} \times N_q \times A_p$$

$$\sigma'_{vp} = H \times \gamma_n = 0.33 \times 19 = 6.27 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 6.27 \times 350 \times 3.7994 \times 10^{-4} = 0.833 \text{ kN}$$

$$\text{Limit değeri : } q_L = 50 \times N_q^* \times \tan \phi$$

$$q_L = 50 \times 350 \times \tan 40 = 14684 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{ve } Q_p = 3.7994 \times 10^{-4} \times 14684 = 5.58 \text{ kN}$$

$$Q_p = 0.833 \text{ kN} = 833 \text{ N} = 83.3 \text{ kg}$$

3) VESIC YÖNTEMİ

$$\text{Tablodan } N_\sigma = 120$$

$$K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 40 = 0.357$$

$$Q_p = \sigma'_0 \times N'_\sigma \times A_p$$

$$q' = 0.33 \times 19 = 6.27 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_0 = \left(\frac{1 + 2 \times K_0}{3} \right) \times q' = \left(\frac{1 + 2 \times 0.357}{3} \right) \times 6.27 = 3.582 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 3.7994 \times 10^{-4} \times 3.582 \times 120 = 0.163 \text{ kN} = 163 \text{ N} = 16.3 \text{ kg}$$

Kazık tabanında taşınan yükün $\phi = 30^\circ$ için ampirik olarak hesaplanması

$$D_{diş} = 22 \text{ mm}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$D_{iç} = 19.5 \text{ mm}$$

$$\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$$

1) NAVFAC YÖNTEMİ : (Q_p)

$$Q_p = \sigma'_{vp} \times N_q \times A_p$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$N_q = 21 \text{ alınmıştır}$$

$$A_p = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.022^2}{4} = 3.7994 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma'_{vp} = H \times \gamma_n = 0.7 \times 19 = 13.3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 13.3 \times 21 \times 3.7994 \times 10^{-4}$$

$$Q_p = 0.106 \text{ kN}$$

$$Q_p = 106 \text{ N} = 10.6 \text{ kg}$$

2) MEYERHOF YÖNTEMİ

$$\phi = 30^\circ$$

$$N_q = 60 \text{ alınmıştır}$$

$$Q_p = \sigma'_{vp} \times N_q \times A_p$$

$$\sigma'_{vp} = H \times \gamma_n = 0.33 \times 19 = 6.27 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 6.27 \times 60 \times 3.7994 \times 10^{-4} = 0.143 \text{ kN}$$

$$\text{Limit değeri : } q_L = 50 \times N_q^* \times \tan \phi$$

$$q_L = 50 \times 60 \times \tan 30 = 1732 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{ve } Q_p = 3.7994 \times 10^{-4} \times 1732 = 0.658 \text{ kN}$$

$$Q_p = 0.143 \text{ kN} = 143 \text{ N} = 14.3 \text{ kg}$$

3) VESIC YÖNTEMİ

$$\text{Tablodan } N_{\sigma}^* = 46.2 \quad K_0 = 1 - \sin\phi = 1 - \sin 30 = 0.5$$

$$Q_p = \sigma_0' \times N_{\sigma}^* \times A_p \quad \dot{q} = 0.33 \times 19 = 6.27 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_0' = \left(\frac{1 + 2 \times K_0}{3} \right) \times \dot{q} = \left(\frac{1 + 2 \times 0.5}{3} \right) \times 6.27 = 4.18 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 3.7994 \times 10^{-4} \times 4.18 \times 46.2 = 0.0733 \text{ kN} = 73.3 \text{ N} = 7.33 \text{ kg}$$

Herbir yöntemle göre hesaplanan kazık tabanında taşınan yükün değerleri aşağıda belirtilmiştir.

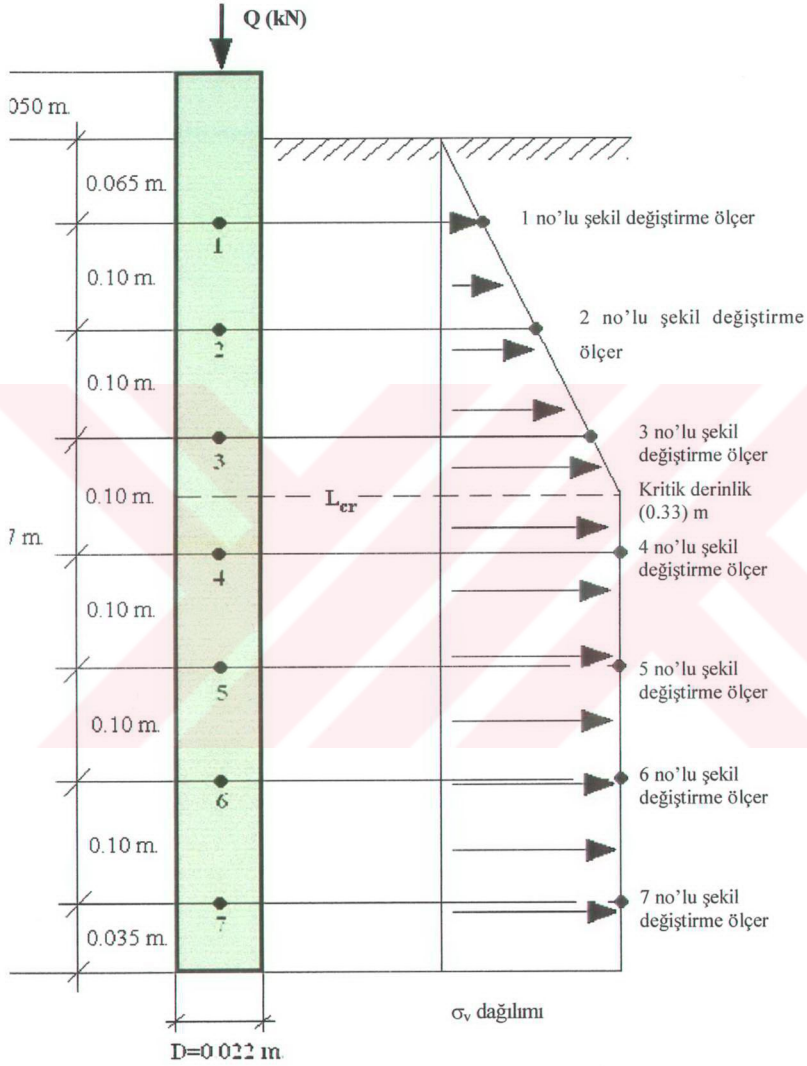
Çizelge 5.5 Kazık tabanında taşınan yükün Navfac, Meyerhof ve Vesic yöntemleri ile hesaplanan değerleri

Yöntem	Tabanda Taşınan Yük Q _p (kN)	
	φ=30°	φ=40°
NAVFAC	0.106	0.320
MEYERHOF	0.143	0.833
VESIC	0.073	0.163

5.4.1' de Model Deney 1 için kazık tabanında taşınan yük 0.023 kN, Model Deney 2' de ise kazık tabanında taşınan yük 0.0315 kN olarak hesaplanmıştır. φ=30° için tahmin edilen kazık tabanında taşınan yük değerlerinin Model Deney sonuçlarından elde edilen yük değerleri ile uyumlu olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç yağmurlama ile elde edilen kötü derecelenmiş kumda beklenebilecek içsel sürtünme açısının 40° yerine 30°'ye daha yakın olmasının bu uyumu sağladığına inanılmaktadır.

5.7.2 Kazık Çevresinde Taşınan Yükün Ampirik Olarak Tahmini

Şekil 5.23' de model kazık ve üzerine yerleştirilen şekil değiştirme ölçer noktalarının yerleri gösterilmiştir. 15D kritik derinlik kavramıda gözönüne alınarak düşey gerilme değişimi de gösterilmiştir. Herbir şekil değiştirme ölçere (Strain-Gauge) karşılık gelen derinliklerdeki birim alandaki çevre sürtünmesi değerleri de hesaplanmıştır.



Şekil 5.24 Model kazık boyunca düşey gerilmenin derinlik ile değişimi

Yanal Kapasitenin 15 D'ye kadar artıp sonra sabit kaldığı varsayılırsa ($\phi=40^\circ$ için):

$$Q_{s_1} = 2 \times \pi \times r \times 15 \times D \times K \times \sigma'_{v_1} \times \tan \delta$$

$$L' = 15 \times D = 15 \times 0.022 = 0.33 \text{ m.}$$

$$\sigma'_{v_1} = \frac{15 \times D \times \gamma_n}{2}$$

$$\sigma'_{v_1} = \frac{15 \times 0.022 \times 19}{2} = 3.135 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s_1} = \frac{2 \times \pi \times r \times 15 \times 0.022 \times 1.4 \times 15 \times 0.022 \times 19 \times \tan 26.66^\circ}{2}$$

$$Q_{s_1} = 0.05025 \text{ kN} = 50.25 \text{ N} = 5.025 \text{ kg}$$

$$Q_{s_2} = 2 \times \pi \times r \times [L - L'] \times [K \times 15 \times D \times \gamma \times \tan 26.66^\circ]$$

$$Q_{s_2} = 2 \times \pi \times r \times [0.70 - 0.33] \times [1.4 \times 15 \times 0.022 \times 19 \times \tan 26.66^\circ]$$

$$Q_{s_2} = 0.1126 \text{ kN} = 112.6 \text{ N} = 11.26 \text{ kg}$$

$$Q_s = Q_{s_1} + Q_{s_2} = 5.025 \text{ kg} + 11.26 \text{ kg} = 16.285 \text{ kg}$$

Yanal Kapasitenin 15 D'ye kadar artıp sonra sabit kaldığı varsayılırsa ($\phi=30^\circ$ için):

$$Q_{s_1} = 2 \times \pi \times r \times 15 \times D \times K \times \sigma'_{v_1} \times \tan \delta$$

$$L' = 15 \times D = 15 \times 0.022 = 0.33 \text{ m.}$$

$$\sigma'_{v_1} = \frac{15 \times D \times \gamma_n}{2}$$

$$\sigma'_{v_1} = \frac{15 \times 0.022 \times 19}{2} = 3.135 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s_1} = \frac{2 \times \pi \times r \times 15 \times 0.022 \times 1.4 \times 15 \times 0.022 \times 19 \times \tan 20^\circ}{2}$$

$$Q_{s_1} = 0.0364 \text{ kN} = 36.4 \text{ N} = 3.64 \text{ kg}$$

$$Q_{s_2} = 2 \times \pi \times r \times [L - L'] \times [K \times 15 \times D \times \gamma \times \tan 20^\circ]$$

$$Q_{s_2} = 2 \times \pi \times r \times [0.70 - 0.33] \times [1.4 \times 15 \times 0.022 \times 19 \times \tan 20^\circ]$$

$$Q_{s_2} = 0.0816 \text{ kN} = 81.6 \text{ N} = 8.16 \text{ kg}$$

$$Q_s = Q_{s_1} + Q_{s_2} = 3.64 \text{ kg} + 8.16 \text{ kg} = 11.8 \text{ kg}$$

5.7.3 Ampirik Eşitliklerle Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.

$\phi = 40^\circ$ Zeminin içsel sürtünme açısı

$D = 0.022$ m Kazığın çapı

Kritik derinlik $L_{cr} = 15D$ alınmıştır $L_{cr} = 15 \times 0.022 = 0.33$ m

$\gamma_n = 19$ kN/m³ Zeminin doğal birim hacim ağırlığı

σ_v = Zeminin düşey efektif gerilmesi

f = Birim alandaki çevre sürtünmesi

K = Yanal itki katsayısı

δ = Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı $\delta = 2/3\phi = 2/3 \times 40^\circ = 26.66^\circ$

Q_s = Yanal alanda taşınan yük

$\pi \times D \times \Delta L$ = Yanal alan

ΔL = Şekil değiştirme ölçerler arasındaki mesafe $\Delta L = 0.10$ m

p = Şekil değiştirme ölçerlerde okunması gereken yük değeri

P = Uygulanan yük değeri $P = 0.2$ kN

$$\sigma_v = \gamma_n \times h$$

$$f = \sigma_v \times K \times \tan \delta$$

$$Q_s = f \times \pi \times D \times \Delta L$$

$$p = P - Q_s$$

$\phi = 40^\circ$ için

1 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.0165 = 1.235 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 1.235 \times 1.5 \times \tan 26.66^\circ = 0.93 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 0.93 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0064 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0064 = 0.1936 \text{ kN}$$

2 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.165 = 3.135 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 3.135 \times 1.5 \times \tan 26.66^\circ = 2.36 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 2.36 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0163 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0163 = 0.183 \text{ kN}$$

3 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.265 = 5.035 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 5.035 \times 1.5 \times \tan 26.66^\circ = 3.791 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 3.791 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0262 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0262 = 0.173 \text{ kN}$$

4 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.365 = 6.935 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 6.935 \times 1.5 \times \tan 26.66^\circ = 5.223 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 5.223 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.036 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.036 = 0.164 \text{ kN}$$

5,6 ve 7 no'lu şekil değiştirme ölçerleri, kritik derinlikten (L_{cr}) sonra yer aldıkları ve bu derinlikten sonra düşey efektif gerilme (σ_v) değerleri sabit kabul edildiği için yük kayıpları 4 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değerleri ile aynı kabul edilmiştir.

$\phi=30^\circ$ için

1 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.0165 = 1.235 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 1.235 \times 1.5 \times \tan 20^\circ = 0.674 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 0.674 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.00465 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.00465 = 0.195 \text{ kN}$$

2 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.165 = 3.135 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 3.135 \times 1.5 \times \tan 20^\circ = 1.711 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 1.711 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0118 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0118 = 0.188 \text{ kN}$$

3 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.265 = 5.035 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 5.035 \times 1.5 \times \tan 20^\circ = 2.75 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 2.75 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0189 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0189 = 0.181 \text{ kN}$$

4 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değeri:

$$\sigma_v = 19 \times 0.365 = 6.935 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 6.935 \times 1.5 \times \tan 20^\circ = 3.786 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = 3.786 \times 3.14 \times 0.022 \times 0.1 = 0.0261 \text{ kN}$$

$$p = 0.2 - 0.0261 = 0.174 \text{ kN}$$

5,6 ve 7 no'lu şekil değiştirme ölçerleri, kritik derinlikten (L_{cr}) sonra yer aldıkları ve bu derinlikten sonra düşey efektif gerilme (σ_v) değerleri sabit kabul edildiği için yük kayıpları 4 no'lu şekil değiştirme ölçerdeki yük kaybı değerleri ile aynı kabul edilmiştir.

Çizelge 5.6 Kazık çevresinde taşınan yükün ampirik olarak değerleri

Şekil Değiştirme Ölçer No.	Düşey efektif gerilme (σ_v) (kN/m ²)	Birim alandaki çevre sürtünmesi (f) (kN/m ²)		Yanal alanda taşınan yük (ΔQ_s) (kN/m ²)	
		$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
1	1,235	0,674	0,93	0,0046	0,0064
2	3,135	1,711	2,36	0,0118	0,0163
3	5,035	2,75	3,791	0,0189	0,0262
4	6,935	3,786	5,223	0,0261	0,036
5	6,935	3,786	5,223	0,0261	0,036
6	6,935	3,786	5,223	0,0261	0,036
7	6,935	3,786	5,223	0,0261	0,036

Bu hesaplarda yanal itki katsayısı $K=1.5$, $\phi=40^\circ$ için $\delta=(2/3) \phi$, $\delta=26,66^\circ$ ve $\phi=30^\circ$ için $\delta=(2/3) \phi$, $\delta=20^\circ$ olarak alınmıştır.

5.7.2' de kritik derinlik kavramı kullanılarak hesaplanan kazığın çevresinde taşınan yük değerleri $\phi=40^\circ$ için $Q_s=0.162 \text{ kN}$, $\phi=30^\circ$ için $Q_s=0.118 \text{ kN}$ bulunmuştur.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 5.7' de kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak Model Deney 1 ve 2' den elde edilen düşey gerilme-kazık boyu ilişkisi ile Şekil 5.11' ve Şekil 5.15' de ampirik eşitlikler kullanılarak Model Deney 1 ve 2' den belirlenen düşey gerilme-kazık boyu ilişkisi karşılaştırıldığında herikisinde de kazık başından ucuna doğru düşey gerilmenin azaldığı görülmüştür. Uygulanan yüke karşılık, deneylerden ölçülenlere bakıldığında derinlik boyunca uygulanan yükte kayıplar meydana geldiği gözlenmiştir. Çizelge 6.1' de Model Deney sonuçlarının kalibrasyon eğrileri ve ampirik eşitlikler kullanılarak değerlendirilmesi sonucu belirlenen yük ve gerilmelerin kazık boyunca değişimi verilmiştir ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Çizelge 6.1 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelere göre gerilmelerin karşılaştırılması

	Derinlik (m)	Şekil Değişime Ölçer No.	ε_z ($\times 10^{-6}$) (%)	ε_ϕ ($\times 10^{-6}$) (%)	Kalibrasyon Eğrilerine Göre Değerlendirilen Model Deney 1 σ_z (kN/m^2)	Ampirik İfadelere Göre Değerlendirilen Model Deney 1 σ_z (kN/m^2)
0,20 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	50,5	-55	2148,94	2369,12
	0,265	3	37	-40	1644,44	1751,09
	0,365	4	21,5	-23	1023,81	1030,05
	0,465	5	12,7	-12	577,27	690,13
	0,565	6	4	-2	181,82	515,03
	0,665	7	6,36	-3,5	282,67	474,85
0,16 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	41,1	-46	1748,94	1864,39
	0,265	3	31	-36	1377,78	1339,07
	0,365	4	17,4	-20	828,57	762,24
	0,465	5	10,4	-11	472,73	504,72
	0,565	6	3,79	-1	172,27	441,89
	0,665	7	5,23	-3,5	232,44	358,46
0,12 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	32	-37	1361,70	1390,57
	0,265	3	24,7	-31	1097,78	947,65
	0,365	4	13,6	-16	647,62	576,83
	0,465	5	7,04	-7	320,00	364,64
	0,565	6	2,48	-1	112,73	306,95
	0,665	7	4,99	-5	221,78	256,48
0,08 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	23	-28,5	978,72	901,29
	0,265	3	16,3	-21	725,78	600,52
	0,365	4	8,08	-9,5	384,76	343,01
	0,465	5	4,64	-5	210,91	220,43
	0,565	6	0,9	-2	40,91	195,71
	0,665	7	2,17	-1	96,44	172,02
0,04 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	14,3	-20	608,09	441,89
	0,265	3	9,88	-15	439,11	245,15
	0,365	4	2,57	-3	122,38	110,22
	0,465	5	1,21	-1	55,00	73,13
	0,565	6	0,48	0	21,64	49,03
	0,665	7	2,29	-1	101,64	25,50

Şekil 5.8' de verilen kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak Model Deneylerden elde edilen düşey gerilme (σ_z)-eksenel şekil değiştirme (ε_z) ilişkisi ile Şekil 5.12 ve Şekil 5.16' da ampirik eşitlikler kullanılarak Model Deneylerden belirlenen düşey gerilme (σ_z)-eksenel şekil

değiştirme (ε_z) ilişkisi karşılaştırıldığında, heriki eğriden elde edilen elastisite modülü değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.2 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelere göre yüklerin karşılaştırılması

	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	ε_z ($\times 10E-06$) (%)	ε_ϕ ($\times 10E-06$) (%)	Kalibrasyon Eğrilerine Göre Değerlendirilen Model Deney 1 P (kN)	Ampirik İfadelere Göre Değerlendirilen Model Deney 1 P (kN)
0,20 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	50,5	-55	0,175	0,193
	0,265	3	37	-40	0,134	0,143
	0,365	4	21,5	-23	0,083	0,084
	0,465	5	12,7	-12	0,047	0,056
	0,565	6	4	-2	0,015	0,042
	0,665	7	6,36	-3,5	0,023	0,039
0,16 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	41,1	-46	0,143	0,152
	0,265	3	31	-36	0,112	0,109
	0,365	4	17,4	-20	0,068	0,062
	0,465	5	10,4	-11	0,039	0,041
	0,565	6	3,79	-1	0,014	0,036
	0,665	7	5,23	-3,5	0,019	0,029
0,12 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	32	-37	0,111	0,113
	0,265	3	24,7	-31	0,089	0,077
	0,365	4	13,6	-16	0,053	0,047
	0,465	5	7,04	-7	0,026	0,03
	0,565	6	2,48	-1	0,009	0,025
	0,665	7	4,99	-5	0,018	0,021
0,08 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	23	-28,5	0,08	0,074
	0,265	3	16,3	-21	0,059	0,049
	0,365	4	8,08	-9,5	0,031	0,028
	0,465	5	4,64	-5	0,017	0,018
	0,565	6	0,9	-2	0,003	0,016
	0,665	7	2,17	-1	0,008	0,014
0,04 kN						
	0,065	1				
	0,165	2	14,3	-20	0,05	0,036
	0,265	3	9,88	-15	0,036	0,02
	0,365	4	2,57	-3	0,01	0,009
	0,465	5	1,21	-1	0,004	0,006
	0,565	6	0,48	0	0,002	0,004
	0,665	7	2,29	-1	0,008	0,003

Şekil 5.9’ da verilen kalibrasyon eğrilerinin eğimleri kullanılarak Model Deneylerden elde edilen P (yük)-Kazık boyu ilişkisi ile Şekil 5.13’ ve Şekil 5.17’ de ampirik eşitlikler kullanılarak Model Deneylerden belirlenen P (yük)-Kazık boyu ilişkisi karşılaştırıldığında herikisinde de kazık başından ucuna doğru yükün azaldığı görülmüştür. Çizelge 6.2’ de Model Deney sonuçlarının kalibrasyon eğrileri ve ampirik eşitlikler kullanılarak değerlendirilmesi sonucu yüklerin kazık boyunca değişimi verilmiştir

Şekil 5.10 ile Şekil 5.14 ve Şekil 5.18’ de gösterilen sırasıyla kalibrasyon eğrilerinin eğimleri ve ampirik eşitlikler kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi değerlerinin kazık boyunca değişimlerini birbiriyle uyumlu olmadığı Çizelge 6.3’ de görülmektedir.



Çizelge 6.3 Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerine ve ampirik ifadelere göre kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.

	Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	$\varepsilon\phi$ ($\times 10E-06$) (%)	Kalibrasyon Eğrilerine Göre Değerlendirilen Model Deney 1 $\Delta\tau$ (kN/m^2)	Ampirik İfadelere Göre Değerlendirilen Model Deney 1 $\Delta\tau$ (kN/m^2)
0,20 kN					
	0,065	1			
	0,165	2	-55	220	28
	0,265	3	-40	160	7
	0,365	4	-23	92	9
	0,465	5	-12	48	4
	0,565	6	-2	8	2
	0,665	7	-3,5	14	0
0,16 kN					
	0,065	1			
	0,165	2	-46	184	22
	0,265	3	-36	144	6
	0,365	4	-20	80	7
	0,465	5	-11	44	3
	0,565	6	-1	4	1
	0,665	7	-3,5	14	1
0,12 kN					
	0,065	1			
	0,165	2	-37	148	16
	0,265	3	-31	124	5
	0,365	4	-16	64	4
	0,465	5	-7	28	2
	0,565	6	-1	4	1
	0,665	7	-5	20	1
0,08 kN					
	0,065	1			
	0,165	2	-28,5	114	18
	0,265	3	-21	84	6
	0,365	4	-9,5	38	5
	0,465	5	-5	20	2
	0,565	6	-2	8	0
	0,665	7	-1	4	0
0,04 kN					
	0,065	1			
	0,165	2	-20	80	14
	0,265	3	-15	60	6
	0,365	4	-3	12	4
	0,465	5	-1	4	1
	0,565	6	0	0	0
	0,665	7	-1	4	0

Şekil 5.24' de model kazık boyunca düşey gerilmenin derinlikle değişiminden herbir şekil değiştirme ölçerdeki yük kayıpları hesaplanmıştır. Bu yük kayıpları uygulanan düşey yükten çıkarılarak kazık boyunca meydana gelen gerilmenin değişimi belirlenmiştir. Çizelge 6.4' de

bu ampirik hesaplarla Model Deney 1 ve 2' de hesaplanan herbir şekil değiştirme ölçerdeki yük miktarları karşılaştırılmıştır. Yalnız bu karşılaştırmalar yapılarak yükün değişimi gözönüne alınamamıştır.

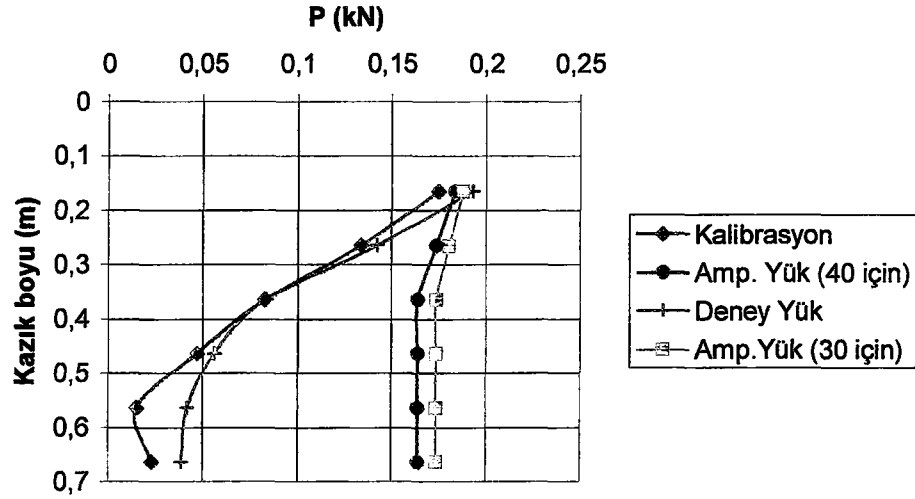
Çizelge 6.4 0,20 kN. için deneyden elde edilen yük miktarları ile ampirik olarak hesaplanan yük miktarlarının karşılaştırılması

Derinlik (m)	Şekil Değiştirme Ölçer No.	Deneylerden elde edilen yük miktarı (P) kN		Ampirik olarak hesaplanan yük miktarı (P) kN		Q _s ' in Ampirik Olarak Hesabı	
		Model Deney 1	Model Deney 2	Model Deney 1	Model Deney 2	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
0,065	1						
0,165	2	0,175	0,1675	0,193	0,183	0.188	0,183
0,265	3	0,134	0,1235	0,143	0,123	0.181	0,173
0,365	4	0,083	0,0931	0,084	0,076	0.174	0,164
0,465	5	0,047	0,0596	0,056	0,051	0.174	0,164
0,565	6	0,015	0,0511	0,025	0,040	0.174	0,164
0,665	7	0,023	0,0315	0,039	0,034	0.174	0,164

Şekil 5.25' te kalibrasyon eğrilerinin eğiminden yararlanarak bulunan Yük-Kazık boyu ilişkisinin ampirik eşitlikler kullanılarak belirlenen Yük-Kazık boyu ilişkisi ile uyumlu olduğu ve eğrilerin birbirine yakın çıktığı gözlenmiştir. Şekil 5.24' te model kazık boyunca düşey gerilmenin kritik derinlikten sonra sabit olduğu varsayıldığı için bu hesaplardan elde edilen eğrilerin diğer eğrilerden farklı çıktığı gözlenmiştir.

Model deneylerde, küçük boyutlu kazıklarda kritik derinlik kavramı kullanılarak çevrede taşınan yükün ampirik olarak hesabı ile deneylerden elde edilen yükler karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu olmadığı görülmüştür. Bu sonuç küçük boyutlu model kazıklarda kritik derinlik kavramının geçersiz olacağı şeklinde yorumlanmaktadır.

P-Kazık Boyu Karşılaştırması



Şekil 6.1 0.20 kN. için deneyden elde edilen yük miktarları ile ampirik olarak hesaplanan yük miktarlarının karşılaştırılması

Çizelge 6.5 0.20 kN için deneyden elde edilen çevrede taşınan yük miktarı ile ampirik olarak hesaplanan çevrede taşınan yük miktarlarının karşılaştırılması

	Kalibrasyon deneylerinden elde edilen çevrede taşınan Yük miktarı		Ampirik eşitliklerden elde edilen çevrede taşınan Yük miktarı		Q _s	
	Model Deney 1	Model Deney 2	Model Deney 1	Model Deney 2	φ=30°	φ=40°
7 no' lu şekil değiştirme ölçerinde okunan yük değeri Q _p	0.023	0.0315	0.039	0.034		
Çevrede taşınan yük değeri Q _s =0.20-Q _p	0.177	0.169	0.161	0.166	0.118	0.162

Çizelge 6.5' de 0.20 kN için deneyden elde edilen çevrede taşınan yük miktarı ile ampirik olarak hesaplanan çevrede taşınan yük miktarları karşılaştırıldığında birbiriyle uyumlu çıktığı gözlenmiştir.

Kazık yükleme deneylerinden belirlenen kazık başı deplasmanları kullanılarak hesaplanan nihai kazık taşıma yükü Q_{ult} değerleri Çizelge 6.6' da verilmiştir.

Çizelge 6.6 Chin, De Beer, Davisson ve Brinch-Hansen yöntemleri ile belirlenen kazık taşımayükü değerleri

Yöntemler	Q_{ult} (kN)
Chin	0,267
De Beer	0,17
Davisson	0,12
Brinch-Hansen	0,16

Kazık yükleme deneylerinde maksimum 0,20 kN yük altında kazık yüklenmiştir. Çizelge 6.4' da belirtilen yöntemlerle belirlenen nihai taşıma yükü değerleri (Q_{ult}) ile deneyde uygulanan maksimum yük karşılaştırıldığında;

De Beer, Brinch-Hansen ve Davisson yöntemlerinden belirlenen nihai taşıma yüklerinin deneyde uygulanan ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Kalibrasyon eğimlerinin eğimleri kullanılarak model deneylerden belirlenen düşey gerilme-kazık boyu, düşey gerilme-eksenel şekil değiştirme ve uygulanan yük-kazık boyu ilişkilerinin, ampirik eşitlikler kullanılarak model deneylerden belirlenen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Düşey gerilmelerin her iki durumda da kazık başından ucuna doğru azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan yük' te kazık başından ucuna doğru çevre sürtünmesi nedeniyle azaldığı belirlenmiştir. Kayma gerilmesi değerlerinin kazık boyunca değişimleri ise birbiri ile uyumlu olmadığı gözlenmiştir.

Kazık başı deplasmanlarından De Beer, Davisson ve Brinch-Hansen %90 yöntemleri kullanılarak elde edilen kazık nihai taşıma yükü değerlerinin uyumlu ve birbirine yakın olduğu görülmüştür. Chin yönteminden hesaplanan değer ise diğer yöntemlerle uyumlu olmadığı görülmüştür.

Kalibrasyon eğrilerinin eğimlerinden yararlanılarak ve ampirik eşitlikler kullanılarak hesaplanan model deneylerde kazığın çevresinde taşınan yük değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak kazığın küçük boyutlu olmasından dolayı kritik derinlik kavramı kullanılarak ampirik olarak hesaplanan çevrede taşınan yükün uyumlu olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Berilgen, M.M., (1996), Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Broms, B.B., (1981), Precast Piling Practice, Thomas Telford Ltd., London
- Capper, P.L., Cassie, W.F., (1984), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çevirenler; Kumbasar, V., Kip, F., Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- Chellis, B.S., (1961), Pile Foundations, Mc Craw-Hill Book Company Inc., London.
- Durlanık, N., (1995), Kazıkların Eksenel ve Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Fellinius, B.H., (1980) The analysis of Results from Routine Pile Load Tests, Ground Engineering, pp.19-31
- Fleming, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.F., Elson, W.K., (1985), Piling Engineering, John Wiley and Sons, New York
- İncecik, M., (1979), Yerinde Dökme Kazıklarda Taşıma Gücü Tayini ve İlgili Yönetmelikler, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin, Cilt 1, Sayı 1, İstanbul, sf. 34-51.
- Joshi, R.C. and Sharma H.D., (1987), Prediction of Ultimate Pile Capacity from Load Tests on Bored and Belled, Expanded Base Compacted and Driven Piles, Proc. Int. Symp. On Prediction and Performance in Geotech. Engineering, pp.135-144, Calgary Alberta, Canada
- Kumbasar, V., KİP, F., (1985), Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- Meyerhof, C.G., (1963), Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles, Proc. American Society of Civil Engineers, vol.85, No.SM6
- Meyerhof, C.G., (1976), Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, J. Geotech. Eng. Div. ASCE, vol.102, No.GT3, pp.197-228
- Ordemir, R., (1984), Pile Foundations, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Ankara
- Peynircioğlu, H., (1973), Kazıklı Temeller Sempozyum Sunuş Tebliği, Kazıklı Temeller Sempozyumu, İ.M.O., Teknik Bülten, Ankara, sf. 7-15.
- Reese, L.C. and Seed, H.H.B., (1955), Pressure Distribution Along Friction Piles, Proc. American Society for Testing and Materials, vol.55
- Reese, L.C., (1964), Load Versus Settlement for an Axially Loaded Pile, Proc. Symposium on on Bearing Capacity of Piles, Part2, Central Building Research Institute, Roorkee, India
- Sağlam, A., (1980), Açık-Deniz Kazıklarının Tasarımı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin, Cilt2, Sayı 2, İstanbul, sf.69-84

Steenfelt, J.S., (1973), "Sand Laying Techniques", Technical Report, Danish Geotechnical Institute.

Toğrol, E., (1970), Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları No.1, İstanbul

Toğrol, E., (1973), Kazık Yükleme Deneyleri, Kazıklı Temeller Sempozyumu, İ.M.O Teknik Bülten, ankara, sf.95-101.

Tomlinson, M.J. (1971), Some Effects of Pile Driving on Skin Friction, Behavior of Piles Conference, Institution of Civil Engineers

Tomlinson, M.J. (1973), Predicting The Carrying Capacity of A Pile, Kazıklı Temeller Sempozyumu, İ.M.O. Teknik Bülten, Ankara, sf. 61-74

Tomlinson, M.J. (1981), Pile Design and Construction Practice, Viewpoint Publication, London.

Touma, F.T. and Reese, L.C., (1972), The Behavior of Axially Loaded Drilled Shafts in Sand, Research Report No.176-1, Center for Highway Reseach, The University of Texas at Austin

Ülker, R., (1978), Kazık TaşımaGücü ve Yükleme Deneyleri, Profesörlük Tezi.

Vesic, A.S., (1975), Principles of Pile Foundation Design, Soil Mechanics Series, No.38, School of Engineering, Duke University

Vijayvergiya, V.N., Focht, J.A., (1972), A New Way to Predict Capacity of Giles in Clay, 4 th. Offshore Technology Conf., Houston, OTC 1718, Vol.2, sf. 865-874

Whitaker, T., (1970), The Design of Piled Foundations, Pergaman Press Ltd., London.

Yetimoğlu, T., (1988), Eksenel Yüklü Kazıkların Düşey Taşıma Kapasitesi, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Yıldırım, S., (1995), Kazıklı Temellerin Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilimdalı, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 30.11.1976

Doğum yeri İstanbul

İlkokul 1982-1987 Lütüfî Banat İlkokulu

Ortaokul 1987-1990 Gaziosmanpaşa Ortaokulu

Lise 1990-1993 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 1993-1997 Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı

