

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI TEMELLER VE
NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ ANALİZLERİNİN BİLGİSAYAR
PROGRAMI KULLANILARAK DESTEKLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zeynep Merve Özbey
(501061315)**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

**Programı : Zemin Mekaniği ve Geoteknik
Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN

KASIM 2009

ÖNSÖZ

Tez konusu seçilme aşamasında ve çalışmalarım sırasında tezimin ilerlemesinde hiçbir yardımını esirgemeyen, engin bilgisi, göstermiş olduğu ilgi ve katkılarından dolayı tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN'a, tezimin gelişmesindeki yardımından dolayı Sayın Müge İNANIR'a ve bana zamanını ayıran Mustafa KOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yoğun tez çalışması sırasında benden yardımlarını ve sabrını esirgemeyen aileme ve her an yanımda olan nişanlım Ahmet Ürkmez'e şükranlarımı sunarım.

Kasım 2009

Zeynep Merve Özbey

Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. KAZIKLI TEMELLER	3
2.1 Kazık kullanımını gerektiren durumlar	3
2.2 Kazıklı Temellerin Tarihi Gelişimi	4
2.3 Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması	5
2.4 Kazık Tipi Seçimine Etkiyen Faktörler	7
2.5 Kazıklı Temellerin Dayanımı.....	7
2.5.1 Ahşap kazıkların dayanımı.....	7
2.5.2 Çelik/ çelik kazıklar - betonarme çeliği/donatıların dayanımı.....	8
2.5.2.1 Çelik kazıklarda korozyon karşı alınacak başlıca tedbirler	9
2.5.3 Beton – betonarme kazıkların dayanımı	9
2.5.3.1 Sülfat etkisi	9
2.5.3.2 Klorür etkisi	11
2.5.3.3 Asitli (pH <7) suların etkisi	11
2.5.3.4 Alkali ortamın etkisi	12
2.5.3.5 Deniz suyunun etkisi	12
2.6 Kazık Taşıma Gücü.....	13
2.6.1 Zemin gerilmelerinin kullanıldığı statik analizler.....	14
2.6.1.1 Kohezyonsuz zeminlerde tekil kazığın taşıma gücü	14
2.6.1.2 Kohezyonlu zeminlerde tekil kazığın taşıma gücü	18
Uç taşıma kapasitesi	18
Sürtünme kapasitesi	18
Taşıma kapasitesi faktörü.....	20
Efektif kazık uzunluğu	20
2.6.2 Standart arazi deneyleri kullanılarak ampirik hesap yöntemleri.....	21
2.6.2.1 Standart penetrasyon deneyi değerleri	21
Mayerhof(1976)'a göre kazık uç taşıma gücü kapasitesi.....	21
Mayerhof(1976)'a göre kazık çevre sürtünme kapasitesi	21
2.6.2.2 Statik koni penetrasyon deneyi değerleri	22
Mayerhof(1976)'a göre kazık uç taşıma gücü kapasitesi.....	22
Mayerhof(1976)'a göre gömülü yüzeyde sürtünme kapasitesi.....	23
2.6.2.3 Presyometre deney değerleri.....	23
Kazık uç taşıma gücü kapasitesi	23
Çevre sürtünmesi kapasitesi.....	25

2.6.3 Dinamik çakma direnci	25
2.6.3.1 Kazık çakma formülleri.....	25
2.6.3.2 Dalga eşitliği yöntemi	27
Kazık ucunda zemin direnci.....	29
Kazık çevresinde zemin direnci	29
2.6.4 Kazık yükleme deneyleri.....	29
2.6.4.1 Düşey yükleme	29
Ölçüm prosedürleri.....	32
Yavaş hızlı yükleme test yöntemi (SM).....	33
Hızlı yükleme test yöntemi (QM)	33
Sabit penetrasyon yöntemi (CRP).....	33
İsveç dairesel test yöntemi (SC).....	33
2.6.4.2 Kazık çekme deneyleri	35
2.7 Kazık Gruplarının Taşıma Gücü	36
2.7.1 Grup kazıklarının hesap esasları	39
2.7.2 Grup kazıklarının yerleştirilme esasları	40
2.7.3 Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının taşıma gücü	43
2.7.4 Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının taşıma gücü	44
2.7.5 Kazık gruplarının altında yer alan zemin tabakalarında meydana gelen gerilmeler	51
2.7.6 Kazık gruplarında oturma.....	52
3. KAZIKLARDA ÇEVRE SÜRTÜNMESİ.....	55
3.1 Çakma Kazıklarda Kazık Çevresi Zemin Davranışı	56
3.1.1 Killerin davranışı.....	56
3.1.2 Kumların davranışı	57
3.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Teşkil Edilen Kazıklarda Çevre Sürtünmesi	57
3.2.1 Beta (β) yöntemi.....	59
3.3 Kohezyonlu Zeminlerde Teşkil Edilen Kazıklarda Çevre Sürtünmesi	61
3.3.1 Alfa (α) yöntemi	61
3.3.2 Lamda(λ)yöntemi	64
3.3.3 Beta (β) yöntemi.....	66
4. KAZIKLARDA OTURMA	69
4.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Tekil Kazık Oturması.....	69
4.1.1 Yarı amprik yöntem	69
4.1.2 Amprik yöntem	71
4.1.3 Kazık yükleme deneyleri.....	71
4.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Gruplarında Oturma.....	71
4.3 Kohezyonlu Zeminlerde Tekil Kazık Oturması	74
4.4 Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Gruplarında Oturma.....	74
5. KAZIKLARDA NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ	79
5.1 Negatif Çevre Sürtünmesinin Belirlenmesi.....	81
5.2 Negatif Çevre Sürtünmesinin Kazık Boyunca Dağılımı	82
5.2.1 Kayaya soketlenen kazıklarda negatif çevre sürtünmesi.....	82
5.2.2 Kohezyonsuz zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi	83
5.2.3 Kohezyonlu zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi.....	84
5.3 Negatif Çevre Sürtünmesinin Hesaplanması.....	87
5.3.1 Nötr noktanın tayini	87
5.3.2 Negatif çevre sürtünmesinin kazık taşıma kapasitesi hesabına dahil edilmesi yöntemleri	92

5.3.3 Negatif çevre sürtünmesi hesap yöntemleri	92
5.3.3.1 Terzaghi – Peck’in negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışmaları	93
5.3.3.2 Bjerrum’un negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışması	94
5.3.3.3 Broms’un negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışması	94
5.3.3.4 Negatif çevre sürtünmesi hesabında Beta (β) yöntemleri	95
5.3.3.5 Poulos ve Mattes yöntemi	97
5.3.3.6 Vesic No yöntemi	99
5.3.3.7 Van der Veau (1986) yöntemi	99
5.4 Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltma Yöntemleri	100
5.4.1 Kazık boyutları ile ilgili çalışmalar	100
5.4.2 Kazık yüzeyinin kaplanması ile ilgili çalışmalar	101
5.4.3 Koruyucu kazık uygulaması ile ilgili çalışmalar	106
6. PLAXİS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI.....	107
6.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	107
6.1.1 Kullanılan kavramlar	108
6.1.1.1 Rijitlik matrisi	108
6.1.1.2 Toplam rijitlik matrisi	108
6.1.1.3 Gerilme durumu	109
6.1.1.4 Şekil değiştirme ve kinematik durumu	109
6.1.1.5 Lineer izotropik elastisite	110
6.1.1.6 Düzlem şekil değiştirme durumu	111
6.1.1.7 Düzlem gerilme durumu	111
6.2 Plaxis Programının Özellikleri	112
6.2.1 Programın genel özellikleri	112
6.2.2 Programın kullanım esasları	113
6.2.3 Kullanılan yapısal modeller	115
7. SONLU ELEMANLAR PROGRAMI İLE YAPILAN ANALİZLER	117
7.1 Plaxis 3D Foundation Programı ile Modelleme Yapılması	117
7.1.1 Sonlu Elemanlar Ağı	118
7.2 Kazık Grubunun Negatif Çevre Sürtünmesi Analizi	118
7.2.1 Analizlerde Kullanılan Kazık ve Zemin Parametreleri	120
7.2.2 Analiz Sırasınca Hesap Adımları	121
7.3 Analiz Sonuçları ve Bulgular	122
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	123
KAYNAKLAR	131
EK A.1.	135
A.1.1 Kazık aralık değişimleri ve çevre zeminde oturma değerleri	136
A.1.2 Kazık çap değişimleri ve çevre zeminde oturma değerleri	142
EK A.2.	147
A.2.1 Kazık aralık değişimleri ve çevre zeminde oturma değerleri	148
EK A.3	157
A.3. Kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	158
EK B.1.	177
B.1.1 Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesi üzerine etkisi (kuvvet cinsinden)	178
EK B.2.	187
B.2. Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	188
EK C.1.	207

C.1.1 Kazık ap değişiminin negatif evre sürtünmesi üzerine etkisi (gerilme cinsinden).....	208
EK C.2.	217
C.2. Kazık ap değişiminin negatif evre sürtünmesine etkisi	218

KISALTMALAR

pH	: Power of Hydrogen (hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması)
TS	: Türk Standartları
NAVFAC,DM	: Foundations and Earth Structures Design Manual
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
CPT	: Cone Penetration Test (Koni Penetrasyon Testi)
SM	: Yavaş Hızlı Test Yöntemi
QM	: Hızlı Yükleme Test Yöntemi
CRP	: Sabit Hızlı Penetrasyon Test Yöntemi
SC	: İsveç Dairesel Test Yöntemi
API	: American Petroleum Institute (Amerikan Petrol Enstitüsü)
PI	: (Plasticity Index) Plastisite İndeksi

SEMBOL LİSTESİ

A	: Kazık grubu alanı
A_{uç}	: Kazık uç alanı
A_p	: Kazık uç alanı
A_p	: Kazık kesit alanı
a	: Adezyon faktörü
a_i	: Drenajsız kohezyon değerine bağlı adezyon katsayısı
a_s	: Kuyu boyunca meydana gelen çevre sürtünmesine bağlı bir katsayı
b	: Kazık grubunda kazıklar arası minimum mesafe
B	: Kazık çapı
β	: Sürtünme katsayısı
C	: Ek penetrasyon
c	: Kazık çevresi
c_a	: Kazık ve zemin arasındaki birim adezyon
C_c	: Konsolidasyon katsayısı
C_p	: Amprik katsayı
c_u	: Drenajsız kohezyon değeri
C_u	: Kilin kazık uç seviyesindeki minimum drenajsız kayma gerilmesi
c	: Ortalama drenajsız dayanım
D	: Çap
D_e	: Kazık gruplarının etki derinliği
D_e'	: Tekil kazığın etki derinliği
D_f	: Gömülü kazık uzunluğu
D_f	: Taşıyıcı tabakanın efektif derinliği
D_r	: Rölatif sıkılık
ΔE	: Enerji kaybı
ΔH	: Konsolidasyon oturması
ΔH₁	: Geri basınç zonunda uygulanan yüke bağlı oturma
ΔH₂	: Bakir eğri zonunda uygulanan yüke bağlı oturma
Δσ'_v	: Tabakanın orta noktasında kazık yükünden artırılmış basınç
e₀	: Zeminin nihai boşluk suyu basıncı
E_p	: Kazık elastisite modülü
E_s	: Kazık eliyastiklik modülü
F_s	: Güvenlik sayısı
f_s	: Çevre sürtünmesi
f_n	: Negatif yönde meydana gelen stres
Φ'_r	: Örselenmiş kilin efektif içsel sürtünme açısı
Ø'	: Efektif kayma mukavemeti açısı
Ø'_a	: Kazık zemin arasındaki drenajlı sürtünme açısı
Ø'_e	: Efektif kayma mukavemeti açısı
Ø'_i	: Kazık – zemin arası içsel sürtünme açısı
γ	: Kayma deformasyon hızı

γ'	: Zeminin efektif brim hacim ağırlığı
γ_f'	: Dolgunun efektif brim hacim ağırlığı
G_e	: Grup etkisi
H_f	: Dolgunun yüksekliği
I_N	: Etki katsayısı
j	: Gömülü kazık boyunca bulunan tabaka sayısı
K	: Yatay toprak basıncı katsayısı
K	: Negatif çevre sürtünmesi için etki katsayısı değeri
K	: Kaplama sıcaklığına bağlı bir sabit
K'	: Efektif yatay toprak basıncı katsayısı
K_s	: Toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı
k_q	: Taşıma gücü kapasitesi
l	: Sürtünme kuvveti katsayısı
L	: Kazık uzunluğu
L_e	: Efektif kazık uzunluğu
L_1	: Nötr nokta derinliği
ζ	: Koşul katsayısı
λ	: Sürtünme kuvveti katsayısı
λ	: Negatif çevre sürtünmesi katsayısı
N_c, N_γ, N_q	: Taşıma gücü katsayıları
N	: SPT darbe sayısı
\bar{N}	: Kazık ucu yakınında yapılan SPT testidüzeltilmiş ortalama değeri
n	: Kazık sayısı
μ	: Sürtünme katsayısı
μ	: Viskozite
η	: Azaltma faktörü
ν_s	: Zemin poisson oranı
P_e	: Konsolidasyon basıncı
P_L	: Nihai basınç
p	: Kazık çevresi
p	: Net temel basıncı
P	: Düşey kuvvet
P_n	: Kazıkta meydana gelen negatif çevre sürtünmesi yükü
P_0	: Zemin ağırlığı
P_0	: Ortalama zemin efektif kuvveti
P_{ser}	: İzin verilen serivis yükü
Q_ζ	: Gömülü yüzeyde sürtünme kapasitesi
Q_c	: Statik koni penetrasyon değeri
Q_{dyn}	: Zeminin kazık çakımı sırasındaki dinamik direnci
Q_f	: Kazık çevre sürtünme kapasitesi
Q_{fa}	: Çalışma stres alanında kazık ucuna nakledilen gerçek çevre sürtünmesi
Q_p	: Kohezyonsuz zeminler için taşıma gücü
Q_p	: Tekil bir kazıktaki nihai nokta yük
Q_n	: Düşey yönde çekim kuvveti
Q_n	: Toplam negative çevre sürtünmesi
Q_{nf}	: Negatif çevre sürtünmesi kuvveti
Q_{nf}^m	: Maksimum negatif çevre sürtünmesi

Q_{pa}	: Çalışma stres alanında kazık ucuna nakledilen gerçek uç veya nokta yük
$Q_{uç}$: Uç taşıma kapasitesi
$(Q_{vG})_{ult}$: Kazık grubunun nihai taşıma gücü
$(Q_v)_{ult}$: Tekil kazığın nihai taşıma gücü kapasitesi
Q_t	: Kazık taşıma gücü (kazık ucunun girdiği sağlam tabakada meydana gelen pozitif çevre sürtünmesi de dahil olmak üzere)
q_{all}	: İzin verilebilir zemin basıncı
q_p	: Nihai uç taşıma gücü kapasitesi
q_u	: Serbest basınç direnci
$q_{uç}$: Uç mukavemeti
q_s	: Uniform sürşarj yükü
q_0	: Kazık uç derinliğindeki yatay stres
q_0	: Sürşarj yükü
R_u	: Sabit bir yük altında ulaşılan göçme değeri
σ_h	: Yatay zemin gerilmesi
σ_h'	: Kazık boyunca normal efektif stres
σ_{hl}'	: 1 derinliğindeki kazık elemanı üzerindeki normal efektif stress
σ_v	: Düşey zemin gerilmesi
σ_v'	: Kazık ucundaki efektif jeolojik yük
σ_{vl}'	: 1 derinliğindeki kazık elemanı üzerindeki efektif düşey basınç
σ'_{v0}	: Kazığın varlığı ihmal edilerek hesaplanan üst tabakanın efektif gerilmesi
σ'_x	: Yatay efektif stres
σ'_{z0}	: Düşey efektif stres
δ	: Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı
s	: Şekil faktörü
S_e	: Kazığın elastik sıkışması
S_G	: Kazık başına tekil kazığın yüklendiği kadaryük düşen grup kazıklarında oturma değeri
S_p	: Kuyu boyunca yük transferinin neden olduğu oturma
S_s	: Kazık çevresinin düşey deformasyonuna bağlı oturma
S_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
S_t	: Tekil kazık için toplam kazık başı oturması
T_a	: Zemin ile kazık arasında meydana gelen kayma gerilmesi limit değeri
T_{act}	: Birim negatif çevre sürtünmesi
τ_s	: Kazık yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti
u	: Boşluk suyu basıncı
X	: Yükleme oranı faktörü
X_v	: Hesap katsayısı
X_m	: Hesap katsayısı
Z	: Derinlik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bulunduğu koşullara göre kazıkta meydana gelen korozyon miktarları.8	
Çizelge 2.2 : Doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerler	11
Çizelge 2.3 : Aside maruz kalan betonlarda alınması gereken tedbirler	12
Çizelge 2.4 : Betona zararlı maddeler.....	13
Çizelge 2.5 : Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklarda taşıma gücü faktörleri	16
Çizelge 2.6 : N_q ve Φ^0 değerleri	16
Çizelge 2.7 : Çeşitli kazık derinliği – genişliği oranına (Df/B) göre N_c değerleri....	19
Çizelge 2.8 : Çeşitli kazık çaplarına göre N_c değerleri	20
Çizelge 2.9 : Çakma ve gömülü kazıkların efektif kazık uzunluğu (L_e).....	20
Çizelge 2.10 : SPT darbe sayısı (N) ve rölatif sıkılık (D_r) ilişkisi	22
Çizelge 2.11 : Killerde SPT sayısı (N), serbest basınç direnci (q_u), ve kıvam ilişkisi	22
Çizelge 2.12 : Temel kazık çakma formülleri	27
Çizelge 2.13 : Kazık ara mesafesi (S) değerleri	42
Çizelge 2.14 : Kazık ara mesafesi (S) değerleri	43
Çizelge 2.15 : Çeşitli kazık aralıklarına göre grup etkisi değerleri	45
Çizelge 2.16 : Tasarımda kullanılacak K değerleri	49
Çizelge 3.1 : Kazık ile zemin arasında meydana gelen sürtünme açısı değerleri (δ).58	
Çizelge 3.2 : İçsel sürtünme açısı değerinin malzeme türüne göre değişimi.....	59
Çizelge 3.3 : Drenajsız kohezyon değerlerine bağlı adezyon katsayıları	64
Çizelge 3.4 : Kazık yükleme deneylerinden elde edilmiş Beta katsayıları (β).....	67
Çizelge 3.5 : Fellenius (2006)'a göre Beta katsayıları(β) değerleri	68
Çizelge 4.1 : C_p katsayısının tipik değerleri (Vesic, 1977)	71
Çizelge 5.1 : Kil zeminde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	94
Çizelge 5.2 : $K \cdot \tan \phi_a$ eşitliği için önerilen değerler	95
Çizelge 5.3 : Garlanger tarafından önerilen Beta katsayıları.....	97
Çizelge 5.4 : Eslami – Fellenius (1977) tarafından önerilen Beta değerleri.....	97
Çizelge 5.5 : Vesic No (1977) değerleri	99
Çizelge 7.1 : Zemin ve kazık malzeme özellikleri	121
Çizelge 8.1 : “1” numaralı kazıkta kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	125
Çizelge 8.2 : “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri	128
Çizelge A.2.1 : “1” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri	148
Çizelge A.2.2 : “2” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri	149
Çizelge A.2.3 : “3” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri	150

Çizelge A.2.4 : “6” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	151
Çizelge A.2.5 : “7” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	152
Çizelge A.2.6 : “8” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	153
Çizelge A.2.7 : “11” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	154
Çizelge A.2.8 : “12” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	155
Çizelge A.2.9 : “13” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri.....	156
Çizelge B.1.1 : “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	178
Çizelge B.1.2 : “2” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	179
Çizelge B.1.3 : “3” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	180
Çizelge B.1.4 : “6” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	181
Çizelge B.1.5 : “7” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	182
Çizelge B.1.6 : “8” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	183
Çizelge B.1.7 : “11” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	184
Çizelge B.1.8 : “12” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	185
Çizelge B.1.9 : “13” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (kuvvet cinsinden).....	186
Çizelge C.1.1 : “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	208
Çizelge C.1.2 : “2” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	209
Çizelge C.1.3 : “3” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	210
Çizelge C.1.4 : “6” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	211
Çizelge C.1.5 : “7” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	212
Çizelge C.1.6 : “8” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	213
Çizelge C.1.7 : “11” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	214
Çizelge C.1.8 : “12” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	215
Çizelge C.1.9 : “13” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri (gerilme cinsinden)	216

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : c_a/S_u değerinin çakma kazıklarda kazık tipine göre değişimi.....	19
Şekil 2.2 : Presyometre testinden elde edilen değerlerle tasarımı yapılan kazıkların taşıma gücü kapasite faktörü K_0 değerleri.....	24
Şekil 2.3 : Kazılarda presyometre metodu ile elde edilen nihai çevre sürtünmesi (τ_f)	25
Şekil 2.4 : Kazık çakma formülleri gerisindeki ana kavram	26
Şekil 2.5 : Dalga eşitliği yöntemi; kazığın teşkil yöntemi ve modeli diğer kısımları	28
Şekil 2.6 : Ahşap kafes ve ağırlık kutusu kullanarak düşey kazık yükleme deneyi....	30
Şekil 2.7 : Kazık yükleme deneyi ekipmaları.....	31
Şekil 2.8 : Kazık boyunca gerilme ölçen sistemler a) Sayaçlı gerilme ölçer b)Elektrikli gerilme ölçer	32
Şekil 2.9 : Çeşitli test yöntemlerinin zamana bağlı karşılaştırılması.....	34
Şekil 2.10 : Kazık yükleme deneylerinde Q - δ eğrileri	34
Şekil 2.11 : Kazık çekme deneyinin giriş ve reaksiyon girişi arasındahidrolik krikol kullanılarak uygulanması	35
Şekil 2.12 : Sürtünme kazığının çevreleyen gerilmeler ve kazık grubuna bu gerilmelerin toplam etkisi.....	37
Şekil 2.13 : Tekil kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması	37
Şekil 2.14 : Kazık grubunun kayma göçmesi	38
Şekil 2.15 : Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımlarının karşılaştırılması, a) yüzeysel temel, b) mini sürtünme kazıkları, c) uzun sürtünme kazıkları	39
Şekil 2.16 : Tipik kazık grubu örnekleri a)Tekil temel b) Temel duvarlar.....	41
Şekil 2.17 : Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıkların taşıma gücü kapasitesi a)Plan b) Kesit.....	44
Şekil 2.18 : Killer için grup etkinliği	47
Şekil 2.19 : Kazık grubunun blok temel davranışı	50
Şekil 2.20 : Taşıma gücü katsayısı, N_c değeri.....	50
Şekil 2.21 : Dikdörtgen kazık grupları için şekil faktörü	51
Şekil 2.22 : Zemin gerilmelerinin değerlendirilmesi için Mindlin çözümü kazık-zemin sistemleri.....	52
Şekil 3.1 : Fore kazıklar için β ve \emptyset arasındaki ilişki.....	61
Şekil 3.2 : İnce daneli zeminler için α_u değerleri	63
Şekil 3.3 : Sürtünme kuvveti katsayısı (λ).....	65
Şekil 3.4 : Killerde plastisite indisine karşılık gelen beta katsayıları.....	68
Şekil 4.1 : Kazık grubunun ve tekil kazığın etki derinliği.....	72

Şekil 4.2 : Killerde teşkil edilen sürtünme kazıklarında stres dağılımı a)plan b)kesit	75
Şekil 5.1 : Sağlam tabakaya mesnetlenmiş yumuşak tabaka içinde teşkil edilen kazıklar a) aniden v kazık iamaladı sırasında gelişen çevre sürtünmesi b) negatif çevre sürtünmesi	80
Şekil 5.2 : Kazıkların sıkışmayan taşıyıcı tabakaya soketlenmesi halinde negatif çevre sürtünmesi dağılımı	82
Şekil 5.3 : Granüler zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi dağılımı.....	83
Şekil 5.4 : Dolgu ve sıkışabilir kil zeminden oluşan zemin profilinde negatif çevre sürtünmesi dağılımı	85
Şekil 5.5 : Nötr noktaya göre negatif çevre sürtünmesi dağılımı (efektif kuvvetler prensibine dayalı yöntemler için).....	88
Şekil 5.6 : Nötr noktaya göre negatif çevre sürtünmesi dağılımı (drenajsız kayma muakvemeti prensibine dayalı yöntemler için)	88
Şekil 5.7 : Nötr Noktanın tayini ve oturma profilleri (yüzen kazılarda).....	89
Şekil 5.8 : Sürtünme kazığında nötr noktanın tayini	90
Şekil 5.9 : Negatif çevre sürtünmesi için etki katsayısı.....	98
Şekil 5.10 : a) Uç kazığı b) Sürtünme kazığı	101
Şekil 5.11 : Kayma gerilmesi, kayma deformasyon hızı,viskozite ve sıcaklık ilişkisi	102
Şekil 5.12 : Koruyucu kazıklar yardımıyla negatif çevre sürtünmesinin azaltılması	106
Şekil 6.1 : Sonlu elemanlar modeli.....	107
Şekil 6.2 : Zemin elemanında düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleşimi.....	113
Şekil 6.3 : 3D Katı sürekli ortam elemanındaki pozitif gerilme yönleri.....	113
Şekil 6.4 : Sonlu elemanlar ağının oluşturulması	114
Şekil 6.5 : Mohr – Coulomb yapısal modeli.....	116
Şekil 7.1 : (5x5) kazık grubu modelinin yatay ve düşey yönde oluşturulan sonlu elemanlar ağı	118
Şekil 7.2 : Analizlerde kullanılan kazık ara mesafeleri	119
Şekil 7.3 : Analizlerde seçilen kazıklar	122
Şekil 8.1 : “1” numaralı kazıkta kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	126
Şekil 8.2 : “1” Numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	129
Şekil A.1.1 : $\phi = 450$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.....	136
Şekil A.1.2 : $\phi = 450$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.....	137
Şekil A.1.3 : $\phi = 450$ mm çap ve 3D kazık aralığı için kazık grubu çevresi oturma değerleri.....	137
Şekil A.1.4 : $\phi = 450$ mm çap ve 4D kazık aralığı için oturma değerleri.....	138
Şekil A.1.5 : $\phi = 450$ mm çap ve 4D kazık aralığı için oturma değerleri.....	149
Şekil A.1.6 : $\phi = 450$ mm çap ve 5D kazık aralığı için oturma değerleri.....	140
Şekil A.1.7 : $\phi = 450$ mm çap ve 5D kazık aralığı için oturma değerleri.....	141

Şekil A.1.8 : $\phi = 450$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri	142
Şekil A.1.9 : $\phi = 650$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri	143
Şekil A.1.10 : $\phi = 850$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri	144
Şekil A.1.11 : $\phi_t = 1000$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri	145
Şekil A.3.1 : “1” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	158
Şekil A.3.2 : “1” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	159
Şekil A.3.3 : “2” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	160
Şekil A.3.4 : “2” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	161
Şekil A.3.5 : “3” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	162
Şekil A.3.6 : “3” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	163
Şekil A.3.7 : “6” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	164
Şekil A.3.8 : “6” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	165
Şekil A.3.9 : “7” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	166
Şekil A.3.10 : “7” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	167
Şekil A.3.11 : “8” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	168
Şekil A.3.12 : “8” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	169
Şekil A.3.13 : “11” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	170
Şekil A.3.14 : “11” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	171
Şekil A.3.15 : “12” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	172
Şekil A.3.16 : “12” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	173
Şekil A.3.17 : “13” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	174
Şekil A.3.18 : “13” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	175
Şekil B.2.1 : “1” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	188
Şekil B.2.2 : “1” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	189
Şekil B.2.3 : “2” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	190
Şekil B.2.4 : “2” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	191

Şekil B.2.5 : “3” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	192
Şekil B.2.6 : “3” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	193
Şekil B.2.7 : “6” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	194
Şekil B.2.8 : “6” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	195
Şekil B.2.9 : “7” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı.....	196
Şekil B.2.10 : “7” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	197
Şekil B.2.11 : “8” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	198
Şekil B.2.12 : “8” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi	199
Şekil B.2.13 : “11” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	200
Şekil B.2.14 : “11” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi.....	201
Şekil B.2.15 : “12” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	202
Şekil B.2.16 : “12” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi.....	203
Şekil B.2.17 : “13” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı	204
Şekil B.2.18 : “13” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi.....	205

KAZIKLI TEMELLER VE NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ ANALİZLERİNİN BİLGİSAYAR PROGRAMI KULLANILARAK DESTEKLENMESİ

ÖZET

Kazıklı temeller, problemlı zeminlerde taşıyıcı tabakanın temel çukuru kazılamayacak kadar derinde olduğu ve yüzeysel temellerin ekonomik olmadığı durumlarda kullanılan temel sistemleridir. Zemin tabakalarının taşıma gücü kapasitelerine göre tercih edilen ve boyutlandırılan kazıklar, üst yapıdan gelecek olan yükün aktarılış şekline göre uç kazığı ve sürtünme kazığı olarak adlandırılmaktadırlar. Uç kazıklarında üst yapıdan aktarılacak olan yük uç direnci sayesinde sağlam tabaya iletilirken, sürtünme kazıkları teşkili söz konusu olduğunda üst yapıdan aktarılacak olan yük kazık ve çevre zemin arasında oluşacak evre sürtünmesi yardımıyla karşılanmaktadır. Fakat sürtünme kazığı teşkili gerektiği ve kazık teşkil edilecek zeminin henüz konsolidasyonunu tamamlamamış durumda olması halinde zemin kendi ağırlığı altında veya bu zemin üzerine bir dolgu teşkili ya da yapı inşası durumunda kazık çevresindeki zemin ağırlık altında belli bir miktar oturma meydana getirecektir. Bu oturma neticesinde sürtünme kazıklarındaki oturma zemin oturmasından daha az olduğu takdirde meydana gelecek olan sürtünme kazıklara projede öngörülenin aksine ters yönde tesir edecek ve negatif çevre sürtünmesinin gelişmesine neden olacaktır. Bu daha sonradan ortaya çıkan negatif yöndeki yük, proje aşamasında kazığın taşınması öngörülen servis yükü değerine dahi ulaşabileceğinden oldukça olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir. Uç kazıklarında ise kazık sağlam tabakaya soketleneceğinden oturma söz konusu olmamakla birlikte, çevre zeminde meydana gelecek oturmalar neticesinde oluşacak negatif çevre sürtünmesi kazık boyunca etkili olmaktadır. Sürtünme kazıklarında ise bu durum kazığın da bir miktar oturma sağlaması ile negatif çevre sürtünmesinin kazığın alt kısımlarında sönümlenmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada konsolidasyonunu tamamlamamış zeminlerde teşkil edilen kazıklarda kazık taşıma gücüne zıt yönde etki ederek kazıkların taşıma kapasitesinin azalmasına neden olan hatta ve hatta bu yüke maruz kalan kazıklarda hasara neden olacak kadar yüksek değerlere ulaşabilen negatif çevre sürtünmesi problemi ve bu probleme yaklaşım yöntemleri tanıtılmakta, bu problemin neden olduğu unsurları azaltma yöntemleri ve mevcut hesap yöntemleri irdelenmektedir. Negatif çevre sürtünmesi üzerine geliştirilmiş yaklaşımlar karşılaştırılmakta ve pratikte kullanım açısından bu yöntemlerin içinden en uygunu belirlenmeye çalışılmıştır. Tezdeki veriler doğrultusunda uygun bir zemin modeli üzerinde PLAXIS 3D FOUNDATION sonlu elemanlar analiz programıyla kazıklarda negatif çevre sürtünmesi üzerinde çeşitli aralık ve çap değişimlerinin kazık gruplarında kazık boyunca meydana gelen negatif çevre sürtünmeleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmış, bu olguyu etkileyen faktörler gözlenmiştir.

PILED FOUNDATIONS AND SUPPORTING THE ANALYSIS OF NEGATIVE SKIN FRICTION BY A COMPUTER PROGRAM

SUMMARY

Pile foundations, are the foundation systems that used in the situation of the firm layer lying too deep for carrying the loads coming from the structure and when the shallow foundations are not possible for the construction. The piles that preferred and designed for the carrying capacity of the soil, are classified by the load transferred from the structure overlying, as the end bearing piles and friction piles. The end bearing piles carry the loads are transferred from the structure and transpire the loads to the soil layer. The friction piles also carry the loads by the difference of the friction which occurs between pile and soil. If the friction pile is constructed into the unconsolidated soil profile, the settlement will occur under its own weight or by the construction of a fill etc. By the end of this settlement, if the settlement that occurs in the friction piles is less than the settlement of the soil surrounding the pile, this will cause the appearance of negative skin friction pile around the pile by the time. This negative load may reach to the pile's work load there it may occur problems. In the case that end bearing piles constructed into the bedrock, the surrounding soil settles and the negative skin friction effects on the whole pile. But for the occasion of friction piles, the pile also settles with the soil and the negative skin friction reduces to the tip of the pile.

In this thesis, the problem of "Negative Skin Friction on Piles" is investigated in detail. Solutions and calculations methods on this subject are presented and the minimization of this problem is provided. In the light of the foregoing the negative skin friction problem is studied with the program of finite elements method of PLAXIS 3D FOUNDATION and the fact that effect this phenomenon under the conditions of different types of pile diameters and the pile spacings, is studied.

1 . GİRİŞ

Geçmiş dönemlerde yapı teşkilinde daha çok problemsiz zeminlerin tercih edildiği yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Günümüzde ise şehirlerde yapılaşmanın giderek artması neticesinde yerleşim alanlarına duyulan ihtiyaç da bu oranda artmakta ve bu nedenle mevcut alanların yapı teşkili açısından taşıma gücünün problem meydana getireceği durumda olmaları halinde bile değerlendirilmeleri artık zorunlu bir hal almıştır. Yine yapılaşmanın artması nedeniyle dar alanlardan mümkün mertebede fazlaca yararlanma gerekliliği de yüksek yapıların teşkil edilmesine yol açmıştır. Bu yüksek yapıların yol açtığı ağır temel yükleri kazıklı temel sistemleri ile taşıyıcı tabakaya veya taşıma kapasitesi yüksek zeminlere iletilmektedir. Bunu sonucu olarak da kazıklı temel sistemleri gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Yüzeysel temel sistemlerinin üst yapıdan aktarılan yükleri güvenle taşıyamadığı hallerde de ve aşırı oturmaların meydana gelebileceği hallerde üst yapı yüklerinin taşıyıcı sistemler ile taşıma gücü yüksek tabakalara aktarılması gerekmektedir. Bu sistemlerin ana unsurunu meydana getiren kazıklar betonarme, ahşap ve çelik olabilmektedirler. Kayaya ve taşıma gücü yüksek zemin tabakalarına oturan kazıklar “uç kazıkları” olarak adlandırılırlar. Fakat taşıyıcı tabakanın çok derinde olması halinde bu yapılar sürtünme kazığı olarak teşkil edilmekte ve üst yapıdan aktarılan yükler çevre sürtünmesi vasıtası ile taşınmaktadırlar.

Kazıklı temellerin tasarım aşamasında ayrıntılı bir geoteknik etüd yapılmalı, bu çalışma sonucunda zemin yapısına oldukça hakim olunması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilecek olan zemin mühendislik özellikleri kazıklı temel sistemlerinin proje aşamasında oldukça büyük öneme sahiptir.

Kazıklar uygulamada tekil kazık olarak değil de grup olarak teşkil edilirler. Ancak tekil kazık uygulaması özel durumlar için söz konusudur. Kazık gruplarını meydana

getiren kazıkların sayıları ve konumları önceden yapılan mühendislik hesaplarının sonucunda elde edilen verilere göre belirlenmektedir.

Henüz konsolidasyonunu tamamlamamış zeminlerde teşkil edilecek olan kazıklar, taşıması düşünülen üst yapı yükünün yanı sıra zeminde meydana gelecek olan oturma ve adezyon etkisiyle çevresinde yer alan zemini de taşımak durumunda kalmaktadır. Kazığın taşımak durumunda kaldığı bu ekstra yük “negatif çevre sürtünmesi” olarak adlandırılmaktadır. Kazıkların projelendirilme aşamasında, mühendislik özellikleri araştırılan zeminin yumuşak olduğu ve henüz konsolidasyonunu tamamıyla gerçekleştirmediği saptandığında bu tür bir zemine uygulanacak olan kazık sistemi için yapılacak hesaplamalarda, kazık taşıma gücüne olumsuz yönde etki edecek olan negatif çevre sürtünmesi değerinin önemle net olarak hesaplanması gerekmektedir.

Bu tezin kapsamı içinde, negatif çevre sürtünmesinin hangi koşullar altında meydana geldiğinin incelenmesi, daha sonra da bu olumsuz etkiyi saptamak ve minimum değere indirmek için bugüne dek ortaya konulmuş teorik ve deneysel çalışmaların incelenmesi bulunmaktadır. Tezin amacı ise, negatif çevre sürtünmesi hesap yöntemlerinin tanıtılması ve bir zemin modeli üzerinde PLAXIS 3D Foundation sonlu elemanlar analiz programıyla farklı kazık çapları ve aralıklarının kazık grubunda meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değişimlerinin incelenmesidir.

2 . KAZIKLI TEMELLER

Taşıyıcı tabakanın temel çukuru kazılamayacak kadar derinde olduğu ve yüzeysel temellerin ekonomik olmadığı durumlarda kazıklı temellerin kullanılması yolu en uygun çözümdür.

2.1 Kazık Kullanımını Gerektiren Durumlar

Üst yapıdan kaynaklanan büyük miktarlarda temel yüklerinin aktarılacağı taşıma gücünün yeterli olmadığı zeminlerde, taşıyıcı tabakanın derinde bulunduğu ve yüzeysel temellerin ekonomik olmadığı hallerde kazıklı temellerin uygulanması tercih edilir. Ana kayanın çok derinde olduğu hallerde sürtünme kazıkları uygulanır ve çevre zeminin sürtünmesinden faydalanılır.

İstinad yapıları ya da derin kazı gerektiren durumlarda yatay yükleri karşılama amacıyla kazık kullanımı önemli faydalar sağlamaktadır.

Şişen ya da çöken zeminlerde, üst yapıdan gelen yükleri aktif zonun aşağısına iletmek amacıyla, oyulma ve boşalma olasılığı bulunan zemin ve kaya ortamlarını desteklemek amacıyla da kullanılmaktadır. Bunu yanı sıra özellikle derin kazılarda su derinliğini geçmek amacıyla da kazık kullanımına başvurulmaktadır.

Köprü ayaklarında, yüzeysel temellerin çevresinin ayrışma zonu etkisi altında kalacağı hallerde ayrışma zonunun altına inmek amacıyla kullanılır.

2.2 Kazıklı Temellerin Tarihi Gelişimi

İnşaat mühendisliğinin gelişmesinden çok önce insanlar en uygun temel ortamının kaya olduğunu algılamışlar ve özellikle ağır yapı temellerinin ana kayaya indirilmesini kural edinmişlerdir. Ana kayanın bulunamadığı durumlarda “sağlam zemin”in bulunması amacıyla temel çukuru olabildiğince derin kazılmıştır.

Zeminin temel altında yeterli taşıma gücü oluşturamadığı sorunlu durumlarda binanın konumunun değiştirilmesi de çağlar boyunca standart uygulama olarak kabul edilmiştir. Ancak örneğin Çin’de, eski çağlarda zayıf zeminlerin iyileştirilmesi için ortama bambu çubuklar kakılması vb. bilgiler bulunmaktadır.

Ahşap kazıklar mühendislik tarihinin en eski yapı elemanlarından biridir. Eldeki bilgiler Neolitik Çağ’da (12000 yıl önce) bugünkü İsviçre’de insanların saldırganlardan korunmak için sığ göllerin ortasına ağaç kazık çakarak barınaklarını bunların üzerine oluşturduklarını göstermektedir. Bir diğer deyişle, ahşap kazıklar belki de yüzeysel temellerden daha eski bir geçmişe sahiptir.

Dünyanın ilk mühendislik toplumu olarak nitelendirilebilecek Roma İmparatorluğunda kazıkların özellikle köprü yapımında yoğun olarak kullandığı bilinmektedir. [1]

Çağdaş Venedik (Venezia) kentinin anıtsal yapıları da on binlerce ahşap kazık üzerine oturmakta, bunların yapımına yerli halkın ilk çağlarda Vandallardan korunmak için Po Nehri deltası bataklıklarına sığınmalarının neden olduğu bilinmektedir.

İspanyol işgalciler Güney Amerika’ya ilk gittiklerinde orada insanların Maracaibo Gölü kenarlarındaki bataklıklarda kazıklar üzerindeki kulübelerde yaşadıklarını görmüş ve Venedik’e benzeterek bu ülkeye Venez’uela adını vermişlerdir.

Amsterdam’da neredeyse tüm binalar 15-20m boyunda ahşap kazıklara oturtulmuştur.

Teknik anlamda temellerin inşaat mühendisliğinin ilk kitabı olan Vitruvius’un M.Ö. 40 yıllarında yazmış olduğu De Architectura III. Ve IV. Bölüm’lerde ilk kez ele alınmış olduğunu söyleyebiliriz. Bu belgede temel kazısı, kazık uygulaması, hatta temel zemini iyileştirmesi ile ilgili birçok kural geliştirilmiştir. Kamu binaları, tapınaklar ve konut temelleri ayrı ayrı ele alınmıştır. [1]

Osmanlı İmparatorluğu döneminde de temel sistemleri uygulamalarına rastlanmaktadır. Sorunlu zemin üzerinde ve yapımı uzun yıllar sürmüş olan (1597-1661) İstanbul Yeni Camii temelleri için gerçekleştirilmiş bir araştırmada burada yayılı temel ve kısa kazık uygulaması yapıldığı hakkında bilgiler toplanmıştır.

Ahşap kazık dönemini yine çakma ancak demir ve çelik kazıklar izlemiştir. Çelik kazıklar günümüzde de ABD başta olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme kazıklar önce hazır çakma, sonra delme-yerinde dökme tipler olarak geliştirilmiştir. Bunların arasında 1897'de A.A.Raymond ve 1908'de E. Frankignoul tarafından geliştirilen beton ve betonarme tipler bugün de kullanılmaktadır. [1]

2.3 Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması

Amaç ve uygulama yöntemleri birçok farklı kazık türünün bulunması kazıkların alt gruplar halinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu sınıflandırmalara sırasıyla aşağıda değinilmiştir.

Uygulama amacına göre kazıklar;

- Uç kazıları
- Sürtünme kazıkları
- Çekme kazıkları
- Ankraj kazıkları
- Kompaksiyon kazıkları
- Eğik kazıklar

İmal edildiği malzemeye göre kazıklar;

- Ahşap kazıklar
- Betonarme kazıklar
- Kompozit kazıklar (genellikle alt kısmı ahşap veya çelik, üst kısmı beton)
- Çelik kazıklar

Yer değiştirmesine göre kazıklar;

- Geniş yer değiştirme kazıkları (İnşa sırasında zemini yana iterek yer değiştirmesine sebep olan tüm hazır, çakma ve yerinde dökme kazıklar)
- Kuk yer değiştirme kazıkları (H veya I kesitli veya açık uçlu boru elik kazıklar ya da burgu kazıklar)
- Yer değiştirme kazıkları (Geleneksel yerinde dökme kazıklar veya muhafaza borusu yardımıyla betonlanan kazıklar)

Uygulama yöntemine göre kazıklar;

- Düz/ burgulu delme
- Sürekli burgulu delme
- Çakma
- Vidalama
- Enjeksiyonlu

Yapım sırasında şafta bağlanan destek durumuna göre kazıklar;

- Yok
- Geçici kaplama borusu
- Kalıcı kaplama borusu
- Sondaj amuru
- Çimento enjeksiyonu

Uç-baş biçimine göre kazıklar;

- Düz
- Genişletilmiş (ampul/dğme)

Betonun sağlanmasına göre kazıklar;

- Basma
- Dökme
- Dövme

olarak sınıflandırılabilir. [1]

2.4 Kazık Tipi Seçimine Etkiyen Faktörler

Ekonomik unsurlar, zeminin durumu, yapının niteliği kazık uygulanması aşamasında bizi bu unsurlar altında en uygun kazık tipi seçimine yöneltmektedir. Bu hususta öncelikle ekonomi kazık tipi seçiminde önemli bir faktördür. Kazığın piyasada kullanım yaygınlığı, malzemenin kolaylıkla elde edilebilirliği önem taşır.

Kazık boyu önemlidir. Boyların eşit ya da değişken olması hallerinde uygulanabilirliği denetlenmelidir. Örneğin sağlam tabaka kotunun değişiklik gösterdiği durumlarda kazık boylarının farklılık göstermesi gerekecektir.

Mevcut zemin şartlarında kazık tiplerinin taşıyacağı yük belirlenir buna göre tasarım yapılır.

Kazık tipi, çakma şartlarına ve yöntemine uygun olmalıdır. Örneğin; çevrede vibrasyon oluşumunun istenmediği durumlarda yerinde dökme kazıkların çakma kazıklara tercihi ve yüksekliğin kısıtlı olduğu durumlarda Tubex kazıkların diğerlerine tercih edilmesi verilebilir. [5]

Kazık başlarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyete alınması, gerekirse kazık sayısının artırılabilme özelliği, eski yapıya ilave yapılması halinde önceden yapılmış kazıların tipi, eğik kazık gerektiği hallerde kazığın belli açıda teşkil edilebilme kolaylığı, Uygulanacak tip için yüklenici ve işverenin tecrübesi.

2.5 Kazıklı Temellerin Dayanımı

Kazıklı temeller, zeminde doğal olarak oluşan sülfat ve klor iyonu, dolgu malzemesindeki endüstri atıklarında bulunan korozyon oluşturucu maddeler, bitkilerin bozulması sonucu yeraltı suyunda bulunan veya erimiş karbondioksit gibi agresif ortamlarda hızlı bir şekilde tahrip olabilmektedir.

2.5.1 Ahşap kazıkların dayanımı

Ahşap malzeme, eski temel inşaatlarında temel atlı ızgaralarında ve bilhassa kazık olarak yaygın şekilde kullanılmıştır. Devamlı su seviyesi altında kalan ahşap kazıkların servis ömürleri pratik olarak sonsuzdur. (500-1000 yıl fonksiyonlarını gören kazıklar tespit edilmiştir. Ayrıca ahşap gemi batıklarının deniz dibinde binlerce yıl korunduklarını hatırlayalım).

Ahşap kazıklar yer altı su seviyesinin indirilmesi/inmesi ile kısa sürede çürüyebilmektedir. Bu durum bilhassa ıslanma kuruma zonlarında, gel-git olayının hakim olduğu yerlerde veya iskelelerde bariz şekilde görüldüğü gibi su seviyesi hava temas zonunda (dalga ile rüzgar ile su seviyesi metre mertebelerinde değişebilir) kısa sürede çürümeler meydana gelir.

Ahşap ne kadar yüksek yoğunluğa sahipse o ölçüde dayanıklıdır (yüksek rakımda yavaş yavaş büyüyen cinsler, örneğin meşe ve köknar. Örneğin çabuk büyüyen düşük yoğunluklu kavak ağacından elde edilen ahşap dayanıksızdır).

Ahşap kazıkların çürümemesi, ahşabı tahrip eden mantar teşekkülünü önlemek, ahşaba zarar veren böcek ve burğu kurtlarını engellemek için ahşaba kreozot tatbik edilir. [3]

2.5.2 Çelik/ çelik kazıklar - betonarme çeliği/donatıların dayanımı

Çelik kazıklar eğer örselenmiş/dolgu zemine çakılmışlarsa (veya deniz ortamında ise) korozyon problemi ile karşı karşıyadır. Bunun sebebi örselenmiş zeminde daha çok oksijen bulunmasıdır.

Çelik kazıklar (ve betonarme kazıkların donatıları), örselenmemiş zemine çakılmışlarsa ve devamlı yer altı su seviyesi altında iseler önemli bir korozyon problemi ile karşılaşmaz.

Deniz suyu içinde veya pH'ı 7 den çok küçük veya çok büyük olan (fazla asidik veya bazik) sularla temasta bulunan çelik kazıklar da korozyona maruzdur. Çizelge 2.1.'de bulunduğu koşullara göre kazıkta meydana gelen korozyon miktarları verilmiştir. [3]

Çizelge 2.1: Bulduğu koşullara göre kazıkta meydana gelen korozyon miktarları

Havada	2.5 ile 10.0 mm/100 yıl
Zemin içinde	0.5 ile 7.5mm/100 yıl
Su içinde	5.0 ile 25.0 mm/100 yıl
Zemin içinde ortalama Bir değer olarak	1.0 mm/100 yıl Verilebilmektedir

2.5.2.1 Çelik kazıklarda korozyona karşı alınacak başlıca tedbirler;

- Yüksek nitelikli çelik kullanmak,
- Paslanma göz önüne alınarak daha kalın profil seçilmesi,
- Koruma amaçlı kaplama yapılması, (kaplama metalik tip –galvaniz- veya boya olabilir)
- Deniz yapılarında kullanılan ve zemine gömülü kazıklarda katodik koruma yapmak (karışık ve pahalı bir yöntemdir). [3]

2.5.3 Beton- betonarme kazıkların dayanımı

Kazıklar/kazık başlıkları, temeller, zemine gömülü yapı elemanlarında;

2.5.3.1 Sülfat etkisi

Yer altı suyunda sülfat iyonlarının bulunması ve bu suların portland çimentosu ile teması halinde hidrate olmuş kalsiyum alüminatın, kalsiyum sülfat şekline dönüşmesi ile sülfat etkisi meydana gelir. Bu reaksiyon sonucu kristaller oluşur ve minerallerin moleküler hacimlerinde artış meydana gelir ve sertleşmiş betonda genişleme ve bunu takiben, betonda kılcal çatlaklar, çatlamlar, yüzeyde soyulma, dökülme oluşur. Olayın ilerlemesi ile beton dağılır ve niteliğini kaybeder.

Magnezyum sülfat en zararlı etkiye sahip olan sülfattır. Genellikle gübre olarak kullanılan amonyum sülfatın da çimentoya ciddi biçimde olumsuz etkisi bulunmaktadır.

Hareketli, basınçlı sülfatlı sular, statik sülfatlı sulara göre çok daha tehlikelidir. Çizelge 2.2. 'de doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerleri verilmiştir. [3]

Hava, oksijen ve su korozyonu besleyen ana unsurlar olmakla birlikte, oksijen yetersizliği olduğu durumlarda sülfat azaltıcı bakterilerin etkisi ile korozyon meydana gelebilir. Bu durum genellikle geçirgenliği değişkenlik gösteren silt ve killerde, nehir yataklarındaki kirlenmiş sularda meydana gelmektedir.

Şeyl ve turbalık alanlarda piritlerin (FeS_2) oksidasyonu sonucu zeminde ve yer altı suyunda sülfürik asit oluşumu meydana gelebilir. Bu durum bakır işlemeciliğinin yapıldığı fabrika sızıntı sularından da kaynaklanabilmektedir.

Sülfatlı sularla temastaki beton/betonarme temellerin, yapı elemanlarının, kazıkların sülfatlı suların zararlı etkisinden korunması için başlıca alınacak tedbirler şunlardır;

- Beton, nitelikli, yoğun, gözeneksiz, geçirimsizliği düşük olmalıdır.
- Sülfata dayanıklı çimento kullanılır. Minimum dozaj 390 kg/m^3 (çimento miktarı artırılır) ve su çimento oranı 0.40-0.45 seçilir. (su/çimento oranı düşük seçilir, gerekirse akışkanlandırıcı/yüksek akışkanlandırıcı katkı maddesi kullanılır). Özellikle jips (Ca SO_4) 'lı arazilerde dikkat edilmelidir.
- Betonun dış yüzüne bitümlü ve/veya plastik malzemelerle izolasyon yapılır.
- Kazıkların korunması metal plakalarla da yapılabilir ancak pahalı bir yöntem olması sebebiyle fazla tercih edilmez.
- Bitüm emdirilmiş cam lifi örtüsü ile kazık korunabilir fakat çakıllı zeminlerde kazık sürülme sırasında örtünün yırtılma riski doğmaktadır.
- Bitümlü kaplanmış hazır kazıklar da kullanılabilir.

Sülfat taşıyan killi topraklarda (zemin kuru, yer altı su seviyesi derinde), eğer yer altı su seviyesi ve su yoksa bir problem olmadığı söylenebilir. Ancak fabrika işletme, proses suları, sızıntı suları v.b. kaynaklar düşünülerek tedbir alınması uygundur.

Düşük sülfat konsantrasyonlarında nitelikli bir beton yeterli olabilir.

Sudaki sülfat konsantrasyonu milyonda (1000000'da) 200 ile 400 kısım ise orta derecede zararlı bir sülfat etkisi söz konusudur. Bu durumda portland çimentosu, sülfata dayanıklı çimento, bazı hallerde çimento %25 oranında puzolonik malzeme ile değiştirilerek kullanılır ama öncelikle çimento miktarı artırılır, su/çimento oranı düşük tutulur ve gözeneksiz yoğun bir beton imali amaçlanır. [3]

Sülfat konsantrasyonu milyonda 1500 kısım civarında ise sülfata dayanıklı çimento kullanılması zaruridir.

Sülfat konsantrasyonu milyonda 5000 kısım üzerinde ise sülfatlı suları betondan uzak tutma çarelerine başvurulur. Bu çare de izolasyon yapılmasıdır.

Çizelge 2.2 : Doğadaki suların zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerler (TS3440)

İncelenen Özellik	Zararlı Etkinlik Derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli
pH değeri	6.5-5.5	5.5.-4.5	< 4.5
Sülfat (mg/l)	200-400	600-3000	>3000

Not: sudaki sülfat miktarı yönetmeliklerde, gr/l, mg/l,100000de kısım, 1000000'da kısım olarak gösterilmektedir. [3]

2.5.3.2 Klorür etkisi

Klorürler Ortadoğu ülkeleri zeminlerinde ve endüstriyel atıklarla kirlenmiş ortamlarda bulunabilirler. Klorür çözeltilerinden beton genellikle zarar görmez ancak betonarme donatıları düşük klorür konsantrasyonlarında dahi, önemli korozyona maruzdurlar. Donatının korozyonu sonucu betonda dökülme ve patlama oluşur. Bu bakımdan donatı yüksek yoğunluklu betondan oluşmuş, kalınlığı artırılmış, pas payı (50 mm veya daha fazla) ile korunabilir. Diğer çözümler olarak, paslanmaz çelik, galvanize veya epoksi kaplanmış donatı kullanılması uygundur. Daha ileri bir adım olarak kazık çeperi cidarında, temel ve/veya yapı elemanı çeperinde koruyucu kaplama/membran uygulaması yapılabilir.

Yüksek tuzluluk oranı olan (> %3 Akdeniz, Ege Denizi'nde olduğu gibi) sularda kullanılacak betonarme kazıkların donatılarında korozyon problemi oluşacağından kazık çeperinde bir kaplama yapılması tavsiye olunmaktadır. [3]

2.5.3.3 Asitli (pH < 7) suların etkisi

Asidik ortamlarda, bataklıklarda ve endüstriyel olarak kirlenmiş bölgelerde karşılaşabiliriz.

Nitelikli, yoğun beton imali ile yani düşük su/çimento oranlı (akışkanlandırıcı /yüksek akışkanlandırıcı katkı maddesi ilavesi ile), geçirimsizliği düşük beton ile önemli koruma sağlanır.

Yoğun endüstriyel kirlenmenin olduğu yerlerde kazık imalinde kazık çeperlerine izolasyon uygulamak gerekebilir. Ortamın pH < 6 ise orta derecede zararlı, pH< 3.5 ise çok zararlı olduğu kabul edilir.

Çok zararlı asidik ortamda bulunan temellerin/kazıkların imalinde sülfata dayanıklı çimento (390 kg/m³ dozajda), düşük su/çimento oranında (0.50) nitelikli bir beton

imal edilmeli ilave olarak da izolasyon yapılmalıdır. Çizelge 2.3.'te aside maruz kalan betonlarda alınması gereken tedbirler sıralanmıştır. [3]

Çizelge 2.3: Aside maruz kalan betonlarda alınması gereken tedbirler

Yer altı suyunun pH değeri	Gerekli koruma
5-7	Özel bir tedbir gerektirmez
3.5-7	Çimento miktarı artırılır, Özel çimento ve kireçtaşı agrega kullanılır
< 3.5	Hareketli yer altı suyu veya basınçlı su Varsa izolasyon yapılmalıdır.

2.5.3.4 Alkali ortamın etkisi

Portland çimentosunun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksit betonda zaten alkali bir ortam oluşturur (pH = 12.5). Bu sebeple beton/betonarme kazığın bulunduğu zeminin alkali olmasının betona zararlı bir etkisi yoktur. Ancak alkali-agrega reaksiyonu açısından bir inceleme yapılması uygundur. [3]

2.5.3.5 Deniz suyunun etkisi

Deniz suyunda sülfat ve klorür iyonunun bulunmasına rağmen deneyimler portland çimentosu ile yapılmış kaliteli betonların pek zarara uğramadığını göstermektedir. Deniz suyunun betonarmede kullanılan donatıları paslandırıcı etkisi bulunduğundan, betonarmede nitelikli beton kullanılmalı ve pas payı 50 mm veya daha fazla seçilmelidir. Deniz suyu betonarme betonu teşkilinde donatılarda korozyon meydana getireceğinden kullanılmamalıdır. Ancak kütle betonlarında (donatısız) kullanılabilir.[3]

Betonarme elemanların /temellerin (özellikle iskele kazıklarında olduğu gibi) değişken su seviyesinin, ıslanma-kurumanın, dalga etkisi ile don tesirinin görülebileceği kısımlarda ilave tedbir alınması uygundur. [3]

Tüm bu etkenlerin ışığında Çizelge 2.4.'te betona zararlı maddeler verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Betona zararlı maddeler

Zararlı madde	Etkisi
İnorganik asitler (pH<7) (sülfürik, nitrik, hidroklorik asitler)	Betonu bozabilir/ayrıştırabilir. (konsantrasyona bağlı olarak)
Organik asitler (pH<7) (asetik, , laktik – formik, hümik- asitler)	Betonu ayrıştırabilir. Genellikle ayrışma hızı yavaştır.
Alkaliler (pH>7) (sodyum ve potasyum hidroksitler)	Yüksek konsantrasyonlu alkaliler betonu ayrıştırabilir.
Bitkisel ve hayvansal yağlar (zeytinyağı, balıkyacağı, keten tohumu yağı)	Bağlayıcılığı azaltır.
Mineral yağları ve kömür katranı distile ürünleri (hafif ve ağır yağlar, parafin)	Eğer düşük viskozitede iseler bu maddeler betonu bozabilir.
Organik malzemeler (çöp sahalarında, atık depolarında)	Eğer hidroliz sonucu kireç uzaklaşırsa beton bozulabilir.

2.6 Kazık Taşıma Gücü

Kazıklar genellikle grup olarak teşkil edilirler. Fakat, izin verilebilir yük ya da tasarım yükü genellikle tek kazık için saptanır. Bina yüklerini taşıyan kazıklar genellikle kolonlardan gelen düşey eksenel yüklere göre boyutlandırılırlar. Kazığın en önemli taşıyıcı özelliği, çapı D olan ve $D_f = L$ derinliğe oturtulmuş bir yüzeysel temele benzer olarak ucunda taşıma gücünün uyanmasıdır. Taşıma gücü; bir kazığın göçme ve aşırı oturma yapmadan taşıyabileceği en fazla yük miktarı olarak tanımlanır. Kazıklar düşey yükler altında ve çekmeye maruz bırakıldığı durumlar halinde incelenir. Kazık taşıma gücünün belirlenebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Çakma ve fore kazıklar için geçerli, olan çoğu olumlu özellik yerinde dökme kazıklarda da elde edilebilmektedir. Teorik olarak bu tip kazıklarda da taşıma gücü hesabı aynı şekilde yapılmaktadır. Yalnızca ucu genişletilmiş kazıklarda (soğan başı), kazık ucunun geniş olması sebebiyle taban alanının (A_b) hesabı dikkatle yapılmalıdır.

Kazık düşey taşıma gücünün hesabı için çok sayıda ampirik veya ampirik olmayan yöntemlerden bahsetmek mümkündür. Genelde kazık taşıma gücünün belirlenmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılır;

1. Zemin gerilmelerinin kullanıldığı statik analizler
2. Standart arazi deneylerinin kullanıldığı ampirik analizler
 - a) Standart penetrasyon deneyi değerleri

- b) Koni penetrasyon deneyi değerleri
 - c) Presyometre deneyleri
3. Dinamik akma direnci
- a) Kazık akma formülleri ile
 - b) Dalga eşitliği ile
4. Kazık yikleme deneyleri
- a) Düşey yikleme
 - b) ekme
 - c) Yatay yükler
 - d) Dinamik yükler [2]

Bu yöntemler içinde kazık yikleme deneyleri en pahalı yöntem olmasına karşın gerçek değere en yakın sonucu vermesi açısından en tercih edilen yöntemdir. Bu tezde kazık yikleme deneylerinden konuyla alakalı olarak düşey yikleme ve çekme deneylerinden bahsedilecektir.

Kazık kapasitesinin diğer bir bileşeni, L boyunda bir silindir veya prizmanın çevresindeki iri daneli zeminle sürtünmesi yada adezyon denilen kile yapışması sonucu belirlenir.

2.6.1 Zemin gerilmelerinin kullanıldığı statik analizler

Zemin gerilmelerinin kullanıldığı statik analizler kohezyonlu zeminlerde ve kohezyonsuz gerilmelerde yapılmak üzere aşağıda sıralanmıştır.

2.6.1.1 Kohezyonsuz zeminlerde tekil kazığın taşıma gücü

Statik kazık formülleri, yüzeysel temelerde uygulanan kırılma hipotezine dayanmaktadır. Formüller; kazık ucunun yük altında göstereceği direnç ile kazık yüzeyi-evre zemin temas alanında sürtünme direncinin toplamı esasına dayanır.

Kazıkların taşıma gücü zeminin ilksel gerilmelerine ve deformasyon karakteristiklerine bağlıdır. Zemin koşullarının değişmesi, boyutsuz ampirik bir değer olan N_q 'nun değişmesine ve dolayısıyla da evre sürtünmesi (f_s)'nin değişmesine yol açacaktır.

Kohezyonsuz zeminler için taşıma gücü;

$$Q_{uç} = A_{uç} \gamma D_f N_q \quad (2.1)$$

$$Q_{uç} = A_{uç} \sigma_v' N_q \quad (2.2)$$

$\sigma_v' =$ Kazık ucundaki efektif jeolojik yük

Büyük ölçekli deneyler ve arazi araştırmaları gösteriyor ki uç direnci ve çevre sürtünmesi kritik bir derinliğe (D_c) kadar artmakta, bu derinliğin ötesinde bu değerler sabit kalmaktadır. Bu kritik derinlik üzerine Mayerhof (1976) yaptığı bir araştırmada kazık derinliği ve genişlik oranı (D_f/B) 2'den 40'a kadar değişen 33 tespit kazığı üzerinde çalışmalar yapmıştır. Aynı şekilde Coyle ve Castello (1981) kazık derinlik- genişlik oranının 11 ile 57 arasında değiştiği 16 test kazığı üzerinde çalışmalar yapmıştır. [2]

N_q değeri ;

1. D_f/B oranına;
2. Taşıyıcı tabakanın içsel sürtünme açısına;
3. Kazık teşkil metoduna bağlıdır.

Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma kapasitelerinin değişiminin çeşitli araştırmacılarca değerlendirilmesi Çizelge 2.5.'te gösterilmektedir. Mayerhof (1976) ve Coyle- Castello (1981)'ya göre tasarım amaçlı olarak Çizelge 2.6.'deki değerler kullanılabilir.

Çizelge 2.5: Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklarda taşıma gücü faktörleri (Coyle ve Castello (1981))

	Çeşitli efektif içsel sürtünme açlarına(δ') göre N_q değerleri				
	25	30	35	40	45
Teoriler ^a					
De Beer (1945)	59	155	380	1150	4000
Mayerhorf (1953) Çakma kazıklar	38	89	255	880	4000
Caquot-Kreisel (1956)	26	55	140	350	1050
Brinch Hansen (1961)	23	46	115	350	1650
Skempton, Yassin ve Gibson (1953)	46	66	110	220	570
Brinch Hansen (1951)	32	54	97	190	400
Berezantsev (1961)	16	33	75	186	-----
Vesic (1963)	15	28	58	130	315
Vesic (1972): $I_r = 60^b$ $I_r = 200^b$	2	27	40	59	85
Terzaghi (1943)	29	46	72	110	165
Genel kesme	12,7	22,5	41,4	81,3	173,3
Bölgesel kesme	5,6	8,3	12,6	20,5	35,1

a = Vesic tarafından belirtilmiş çeşitli referanslar

b = Rijitlik faktörü

Çizelge 2.6: N_q ve Φ^0 değerleri ^a

Φ^0	20	25	28	30	32	34	36	38	40	42	45
N_q (çakma)	8	12	20	25	35	45	60	80	120	160	230
N_q (kazma)	4	5	8	12	17	22	30	40	60	80	115

a = bu değerler Mayerhorf (1976) eğrilerinden elde edilmiştir.

Kazıkta sürtünme kapasitesinin (Q_f) belirlenebilmesi için f_s değerine ihtiyaç vardır. Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere ve temel zemin mekaniği prensiplerince f_s aşağıdaki gibi yazılabilir; [2]

$$f_s = c_a + \sigma_h' \tan \delta \quad (2.3)$$

c_a = Birim adezyon

δ = Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı

σ_h' = Kazık boyunca normal efektif stres

Kohezyonsuz zeminler için $c_a = 0$ olacağından;

$$f_s = \sigma_h' \tan \delta$$

$$K_s = \sigma_{hl}' \sigma_{vl}'$$

K_s = Toprak basıncı katsayısı

σ_{vl}' = l derinliğinde kazık elemanı üzerindeki efektif düşey basınç

σ_{hl}' = l derinliğinde kazık elemanı üzerindeki normal efektif stres

Bu durumda;

$$f_s = K_s \sigma_{vl}' \tan \delta \text{ olur.}$$

Kazıktaki çevre sürtünme kapasitesi ise;

$$Qf = pK_s \tan \delta \sum_{L=0}^{L=L} \sigma_{vl}' \Delta L \quad (2.4)$$

Çoğu tasarım hallerinde $\delta = 2/3 \phi$ 'dir.

Analiz sonuçları gösteriyor ki K_s ve çevre sürtünmesi değerleri kazık çakımı sırasında yer değiştiren zemin miktarı ile artmaktadır. Bu durumda küçük oranda yer değiştirmeye yol açan kazıklar örneğin H tipi kazıklarda ve yer değiştirmesi hemen hemen hiç olmayan gömülü tip kazıklarda K_s değeri, diğer büyük oranda yer değiştirmeye sebebiyet veren kazıklarinkine göre çok daha düşüktür (Mayerhof, 1976). [2]

Sonuç olarak nihai kazık taşıma gücü;

$$Q_{son} = Q_{uç} + Q_{ç} = A_{uç} + \sigma_v' N_q + pK_s \tan \delta \sum_{L=0}^{L=L} \sigma_{vl}' \Delta L \quad (2.5)$$

Olarak belirtilmektedir.

$A_{uç}$ = Kazık uç alanı

σ_v' = Kazık ucundaki efektif jeolojik yük

σ_{vl}' = l derinliğinde kazık elemanı üzerindeki efektif düşey basınç

p = Kazık çevresi

K_s = Toprak basıncı katsayısı

N_q = Taşıma gücü kapasitesi faktörü

$\delta = 2/3 \phi$

L = Kazık uzunluğu

2.6.1.2 Kohezyonlu zeminlerde tekil kazığın taşıma gücü

Uç taşıma kapasitesi ($Q_{uç}$)

Kohezyonlu zeminlerde kısa dönemde kazıkların taşıma gücü kapasitelerinin belirlenmesi kritiktir çünkü kilin direnci zamanla artacak ya da uzun dönemde gerilme geri kazanılacaktır şu halde kilde teşkil edilen kazıkların taşıma gücü hesabında $\phi = 0$ kavramı uygulanmaktadır. Buna göre;

$$Q_{uç} = A_{uç} [c_u N_c + \gamma D_f N_q]$$

$$N_c = \text{Taşıma gücü faktörü} \quad (2.6)$$

Drenajsız gerilme $S_u = c_u = c$ ve $\phi = 0$ (bu kavramda toplam stres parametreleri kullanılır.)

$N_q = 1$ $N_\gamma = 0$ taşıma kapasitesi faktörleri

Bu halde;

$$Q_{uç} = A_{uç} c_u N_c \quad (2.7)$$

olur. [2]

Uzun kazıklar için Mayerhof, L/B oranının büyük olması halinde N_q değerinin Terzaghi'nin sığ temeller için verdiği değer 2-3 katı olduğunu göstermiştir.

Sürtünme kapasitesi (Q_f)

Tekrar $\phi = 0$ yöntemi kullanılarak kazık çevre sürtünme kapasitesi; [2]

$$f_s = c + \sigma_h \tan \delta \quad (2.8)$$

$c = c_a =$ kazık ve zemin arasındaki adezyon, $\delta = 2/3 \phi = 0$

$$f_s = c_a$$

Bu halde;

$$Q_f = p \sum_{L=0}^{L=L_e} c_a \Delta L \quad (2.9)$$

olur.

Tüm bu denklemler gözden geçirildiğinde formül;

$$Q_{son} = A_{uç} c_u N_c + p \sum_{L=0}^{L=L_e} c_a \Delta L \quad (2.10)$$

halini alır.

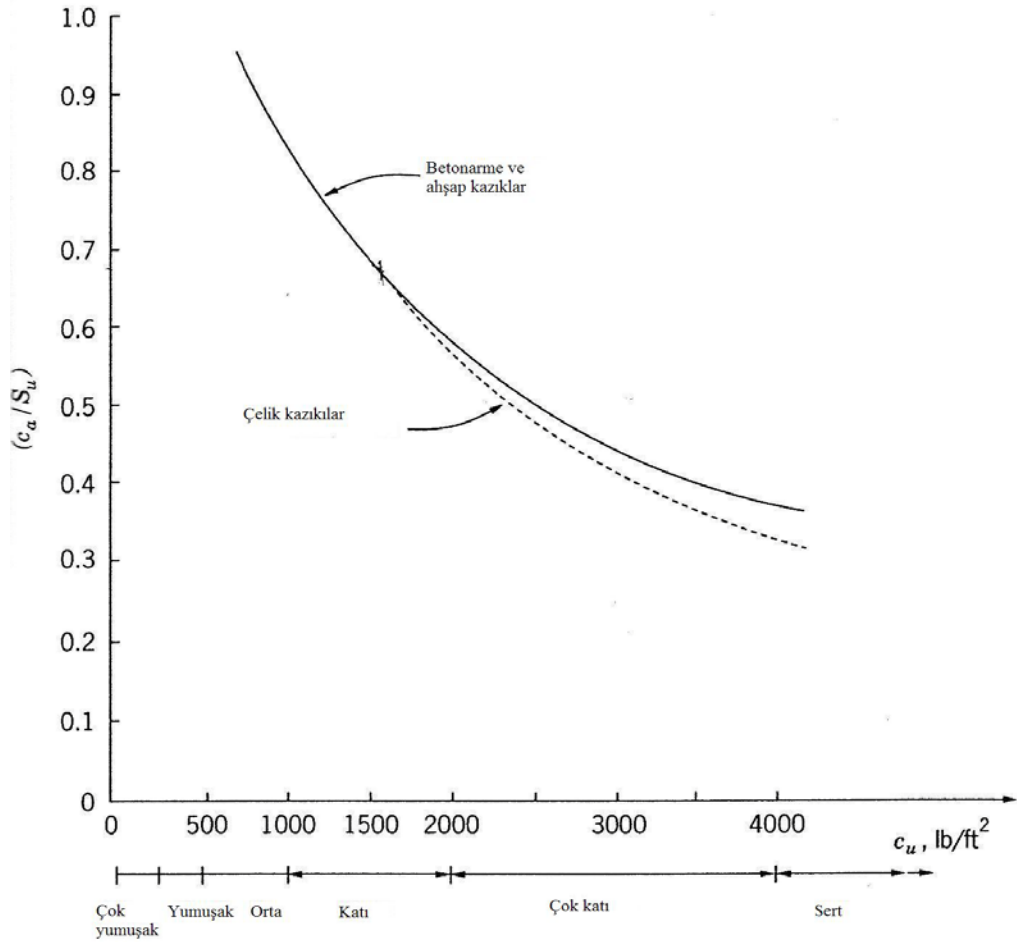
$A_{uç}$ = Kazık uç alanı

C_u = Kilin kazık uç seviyesindeki minimum drenajsız kayma gerilmesi

N_c = Taşıma gücü faktörü (Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'den elde edilir.)

p = Çevre

c_a = Kazık- zemin adezyonu (Şekil 2.1. den elde edilir).



Şekil 2. 1 : c_a / S_u değerinin çakma kazıklarda kazık tipine göre değişimi.

Çizelge 2.7 : Çeşitli kazık derinliği – genişliği oranına (D_f / B) göre N_c değerleri

D_f / B	N_c
0	6,2
1	7,8
2	8,5
≥ 4	9

(Bu değerler Foundations and Earth Structures Design Manual NAVFAC,DM 7.2, 1982 'deki grafiklerden alınmıştır.)

Çizelge 2.8 : Çeşitli kazık çaplarına göre N_c değerleri (Canadian Foundation Engineering Design Manual, 1985)

Çakma kazık taban çapı	N_c
0,5m'den az	9
0,5- 1m	7
1m'den büyük	6

Taşıma kapasitesi faktörü (N_c)

Çizelge 2.7.'de gösterildiği üzere kazık derinlik-çap oranı arttıkça N_c değeri de artmaktadır. Ancak bu değer artış $N_c = 9$ ve kazık derinlik-çap oranı ≥ 4 olduğu duruma kadar sürmektedir. Çoğu halde kazık derinlik-çap oranı 4'ten büyük olacağından $N_c = 9$ değeri kullanılabilir. [2]

Mayerhof'a göre; kazığın zemine minimum çapının beş katı kadar penetrasyonu halinde $N_c = 9$ alınabilmektedir. Bu değer, kazığın sağlam zemine penetrasyon etmeden sadece üzerine basması durumunda; en fazla 6 olur.

Efektif kazık uzunluğu (L_e)

Kazığın sürtünme kapasitesine katkıda bulunan bir uzunluktur. Bu değer kazığın gömülü derinlik değerinden farklı olabilmektedir. Bu durumun sebebi insan etkileri, makinelerin etkileri ve mevsimsel olarak genleşme ve büzüşmeler nedeniyle kazığın üst bölgelerinde zeminle çok yakın bir kontak içerisinde bulunmayışıdır. Çoğu hallerde bu mesafe 1m ile 1.5m arasında değişebilmektedir. Çizelge 2.9'da efektif kazık uzunluğu değerinin saptanması için Tomlinson (1977) ve Sharma (1984)'nin çalışmaları doğrultusunda veriler görülmektedir. [2]

Çizelge 2.9 : Çakma ve gömülü kazıkların efektif kazık uzunluğu (L_e)

Kazık çeşidi	L_e
Çakma ve düz foraj	L- (sezona bağlı değişim)
Foraj ve çan şeklinde	L- (sezona bağlı değişim + 2* kazık şaftı çapı)

2.6.2 Standart arazi deneyleri kullanılarak ampirik hesap yöntemleri

Arazi deneylerine bağı olarak kazık taşıma gücü kapasitesinin belirlenmesinde 3 farklı yöntem kullanılır; [2]

1. Standart penetrasyon deneyi değerleri
2. Koni penetrasyon deneyi değerleri
3. Presyometre deneyleri

2.6.2.1 Standart penetrasyon deneyi değerleri

Bu yöntem yalnızca kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıkların taşıma gücü kapasitesi hesabında yol gösterici niteliğindedir.

Mayerhof (1976)'a göre kazık uç taşıma gücü kapasitesi;

Kum için;

$$Q_p = (0,4\bar{N}/B)D_f A_p \leq 4\bar{N}A_p \quad (2.11)$$

Kohezyonsuz veya plastik olmayan silt için;

$$Q_p = (0,4\bar{N}/B)D_f A_p \leq 3\bar{N}A_p \quad (2.12)$$

Q_p = ton değerindedir. Bu değer kN elde edebilmek için 8.9'luk bir dönüştürme değeri ile çarpılır.

\bar{N} = Kazık ucu yakınında yapılan Standart Penetrasyon Testi düzeltilmiş ortalama değeridir ve aşağıdaki gibi elde edilir; [2]

$$\bar{N} = C_N N$$

$$C_N = 0,77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'v}; \quad \sigma'v \geq 0,25tsf \quad (2.13)$$

Mayerhof (1976)'a göre Kazık çevre sürtünme kapasitesi;

$$Q_\phi = (f_s)(\text{çevre})(\text{gömülü uzunluk})$$

Çakma kazıklar için bu değer (Mayerhof, 1976,1983):

$$f_s = \bar{N}/50 \leq 1tsf \quad (2.14)$$

f_s = ton/ft² değerindedir. Bu değer kN/m² elde edebilmek için 95.8'lik bir dönüştürme değeri ile çarpılır. [2]

SPT (N) değerleri kullanılarak Zemin sıkılığı (D_r) ve serbest basınç direnci (q_u) hakkında fikir edinmek mümkündür. Çizelge 2.10 ve 2.11 'de bu değerlerin kullanım aralığı görülmektedir.

Çizelge 2.10 : SPT darbe sayısı (N) ve Relatif Sıkılık ilişkisi (D_r)

Sıkılık	Çok gevşek	Gevşek	Orta	Sıkı	Çok Sıkı	
D_r	0	0.15	0.35	0.65	0.85	1.00
N	0	4	10	30	50	

Çizelge 2.11: Killerde SPT sayısı (N), Serbest Basınç Direnci (q_u) ve Kıvam İlişkisi

Kıvam	Çok yumuşak	Yumuşak	Orta	Katı	Çok Katı	Sert
N	2	4	8	15		
q_u	0.25	0.5	1.0	2		
	30					
	4					

Skempton'a göre serbest basınç değerinin (q_u) elde edilmesiyle negatif çevre sürtünmesi hesabında da kullanılan drenajsız kohezyon değeri (c_u) aşağıdaki şekilde elde edilir; [6]

$$c_u = q_u / 2 \quad (2.15)$$

2.6.2.2 Statik koni penetrasyon deneyi değerleri

Mayerhof (1976)'a göre Kazık uç taşıma gücü kapasitesi;

Mayerhof (1976)'a göre kazıkların nihai uç taşıma gücü statik koni direnci değeri ile hesaplanabilir;

$$Q_{uç} = A_{uç} / q_c \quad (2.16)$$

Bu değer kazığın sadece daneli zemine, kazık genişliğinin 10 katı kadar derinlikte gömüldüğü durumlarda kullanılabilir. Daha sığ hallerde bu formül kullanılamaz. (Mayerhof 1976 Foundations and Earth Structures Design Manual 7.2-1982) [2]

Koni Penetrasyon deneyi (CPT) sonucunda bulunan uç mukavemeti ($q_{uç}$) ve SPT darbe sayısı (N) arasında bir ilişki vardır ve aşağıdaki haller için kullanılabilir; [6]

İri daneli kohezyonsuz zeminlerde : $q_{uç} = 6 \cdot N_{30}$

İnce daneli kohezyonsuz zeminlerde : $q_{uç} = 3.5 \cdot N_{30}$

Ortalama olarak; $q_{uç} = 4 \cdot N_{30}$ değeri de kullanılabilir.

Mayerhof (1976)'a göre gömülü yüzeyde sürtünme kapasitesi;

Çakma kazıklar için Q_{ζ} değeri aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$Q_{\zeta} = (f_s)(\zeta\text{evre})(\text{gömülü uzunluk}) \quad (2.17)$$

f_s değeri yaklaşık olarak, bölgedeki koni penetrasyon aletinin sürtünme direnci değeri olarak verilebilir. (Mayerhof, 1976)

Vesic (1970-1975) rölatif sıklığa bağlı olarak kazık yüzeyinde oluşacak sürtünme kuvvetinin hesabı için bir formül önermiştir. Vesic'in önerdiği bu 2.18'de verilen formül bir alt limit elde edilmesini sağlamakta, hatta yapılmış olan birçok kazık yükleme deneyinde elde edilen ortalama değer hesaplanan değerlere göre %50 fazla çıkmaktadır.

$$\tau_s = X_v * 10^{1,54 * D_r^{0,4}} \quad (2.18)$$

X_v = hesap katsayısı

D_r =zemin sıklığı

(X_v , büyük çakma kazıklarda = 8

Fore kazıklar, açık ağızlı borular, H profilli kazıklarda =2.5) [14]

Mayerhof (1956, 1976) SPT verilerine dayanarak kazık yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetleri hesabı için (2.19)'da verilen formülü önermiştir;

$$\tau_s = X_m * N_{55} \quad (2.19)$$

X_m =Hesap katsayısı

N_{55} = Ortalama SPT darbe sayısı

(X_m ; Büyük çakma kazıklarda = 2

Küçük kazıklarda = 1 [8]

2.6.2.3 Presyometre deney değerleri

Kazık uç taşıma gücü kapasitesi;

Presyometre deneyinden elde edilen limit basınçlar olan P_L ve P_0 değerleri ile kazık uç taşıma gücü kapasitesi belirlenebilir.

$$Q_{uç} = A_p [q_0 + K_q (P_L - P_0)] \quad (2.20)$$

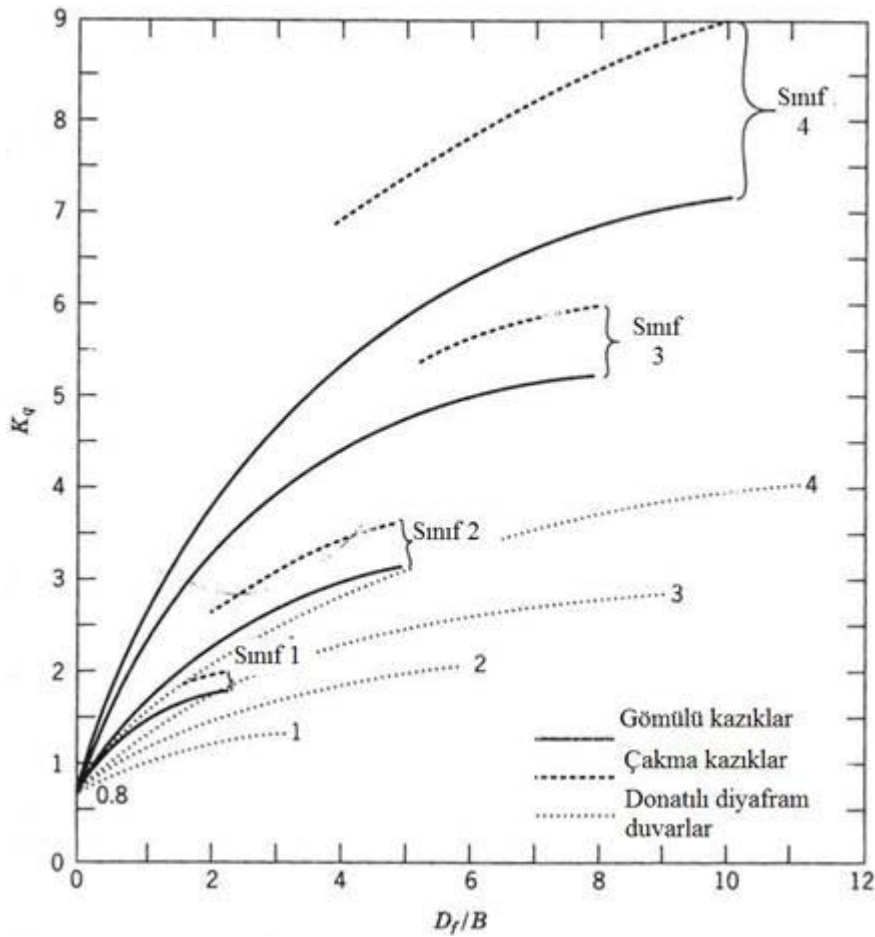
$Q_{uç}$ = Nihai uç taşıma gücü kapasitesi

A_p = Kazık uç alanı

q_0 = Kazık uç derinliğindeki yatay stres

k_q = Şekil 2.2 den elde edilen taşıma gücü kapasitesi

Bu eğride birinci sınıf diye tabir edilen eğri silt ve killeri, ikinci sınıf diye tabir edilen eğri sert kil, sıkı silt, gevşek kum ve yumuşak veya ayrıışmış kayaları, üçüncü sınıf olarak tabir edilen eğri kum, çakıl ve kayaları ve dördüncü sınıf olarak tabir edilen eğri de çok sıkı kum ve çakılları temsil etmektedir. [2]



Şekil 2.2 : Presyometre testinden elde edilen değerlerle tasarımı yapılan kazıkların taşıma gücü faktörü K_q değerleri. (Canadian Foundation Engineering Manual, 1978)

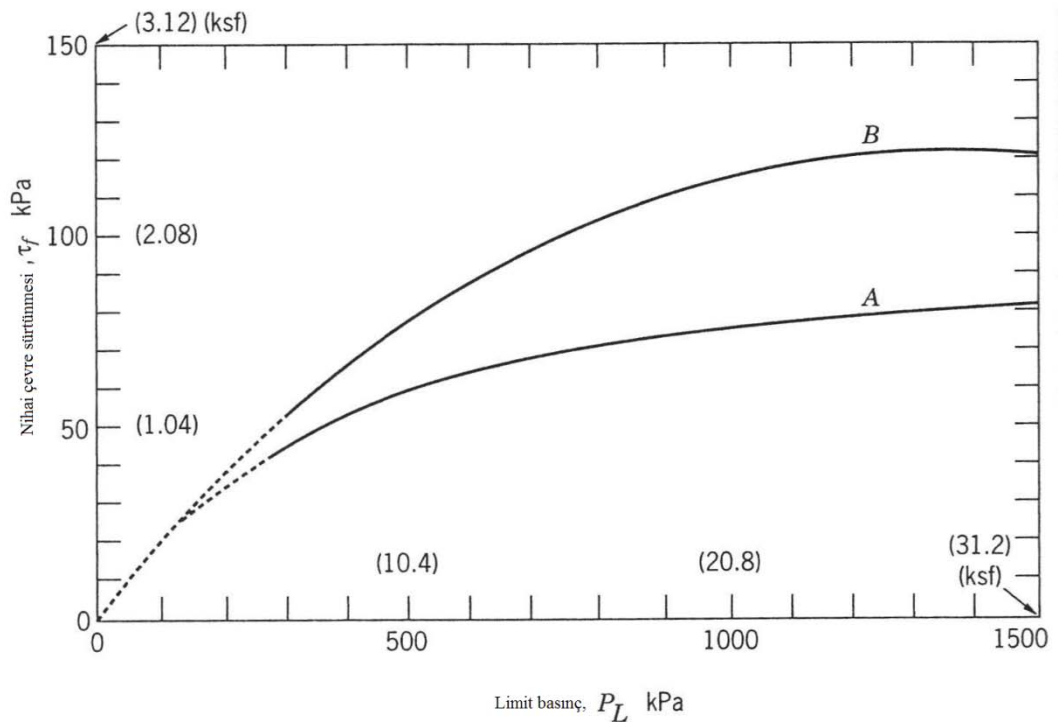
Çevre sürünme kapasitesi (Q_f)

Nihai çevre sürtünmesi aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir;

τ_{fs} nihai çevre sürtünmesi nihai basınca (P_L) bağlıdır ve Şekil 2.3 ile belirlenebilir.

Kohezif zeminlerde gömülü kazıklar için A eğrisi direkt olarak ahşap ve beton kazıklar için kullanılabilir. Yer değiştirmesiz çelik kazıklar için bu değerler 0.5 ile çarpılır. B eğrisi beton yer değiştirme kazıklarında kullanılır. Nihai çevre sürtünme değeri izin verilebilir çevre sürtünmesi değerine ulaştığında güvenlik faktörü 2 alınır.

[2]



Şekil 2.3 : Kazıklarda presyometre metodu ile elde edilen nihai çevre sürtünmesi, τ_f

2.6.3 Dinamik çakma direnci

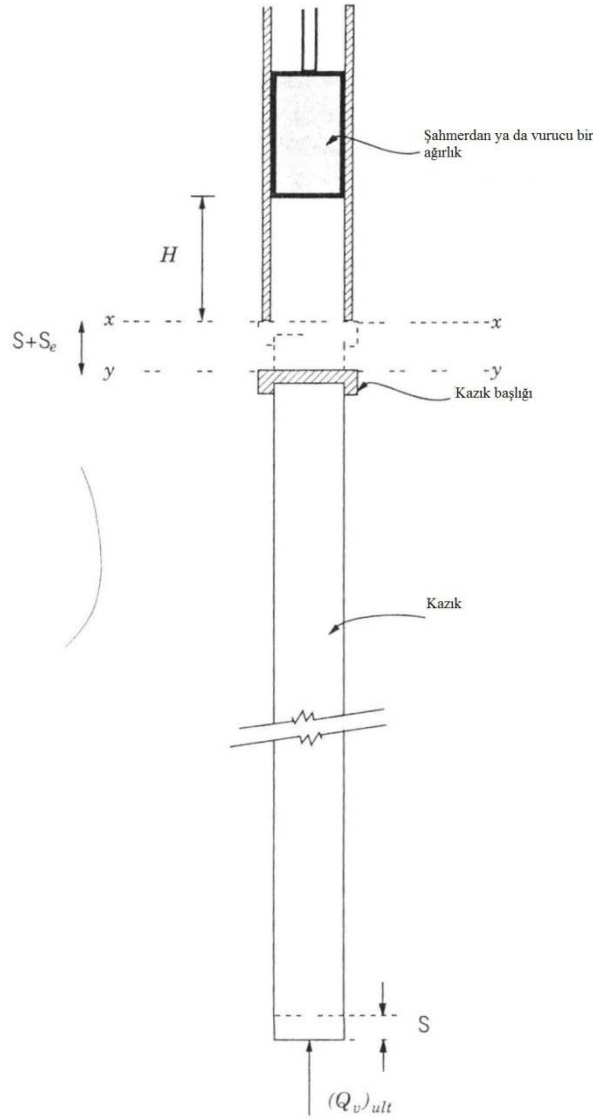
Kazık taşıma gücü kapasitesinin dinamik yöntemlerle hesaplanabilmesi iki şekilde olur;

- Kazık Çakma formülleri
- Dalga eşitliği yöntemi

2.6.3.1 Kazık çakma formülleri

Ahşap, çelik veya betonarme kazık zemine bir şahmerdanla çakılır. Bu çakma günümüzde çoğunlukla dizel tipi tek ya da iki zamanlı çekiçlerle yapılmakta, kazık başına uygulanan enerji de önemli ölçüde artmış bulunmaktadır.

Bugün de kullanılmakta olan dinamik formüller bir kazığın son taşıma gücünün çakma sırasında kazık başına uygulanan enerjinin fonksiyonu olduğu, ayrıca bu enerjinin vuruş sırasında doğrudan kazığa aktarıldığı varsayımlarından kaynaklanmıştır. Şekil 2.4 kazık çakma formüllerinin arkasındaki temel durumu göstermektedir.



Şekil 2.4 : Kazık çakma formülleri gerisindeki ana kavram.

Kazık başlığı $S+S_e$ mesafesinde hareket ediyor. İş, düşen bir şahmerdan yardımıyla yapılıyor ve kazığın S değeri kadar penetrasyonu sağlanıyor. [2]

$$WH = Q_{dyn} S + \Delta E \quad (2.21)$$

Q_{dyn} = Zeminin kazık çakımı sırasındaki dinamik direnci

ΔE = Enerji kaybı

S_e = Kazığın elastik sıkışması

Enerji kaybının "0" olduğu düşünülürse; C = Ek penetrasyon

$$WH = WH = Q_{dyn} S + Q_{dyn} C \quad (2.22)$$

$$Q_{dyn} = WH / (S+C) \quad (2.23)$$

Çizelge 2.12'de izin verilebilir kazık taşıma kapasiteleri için bir rehber oluşturacak formüller verilmiştir.

Çizelge 2.12 : Temel kazık çakma formülleri

Temel kazık çakma formülleri		
Serbest düşen çekiç için	Tekil davranan çekiç için	Çift davranan farklı çekiçler için
	$(Qu)_{all} = \frac{2WH}{S + 0,1}$	$(Qu)_{all} = \frac{2E}{S + 1}$
$(Qu)_{all} = \frac{2WH}{S + 1}$		
	$(Qu)_{all} = \frac{2WH}{S + 0,1 \frac{W_D}{W}}$	$(Qu)_{all} = \frac{2E}{S + 0,1 \frac{W_D}{W}}$

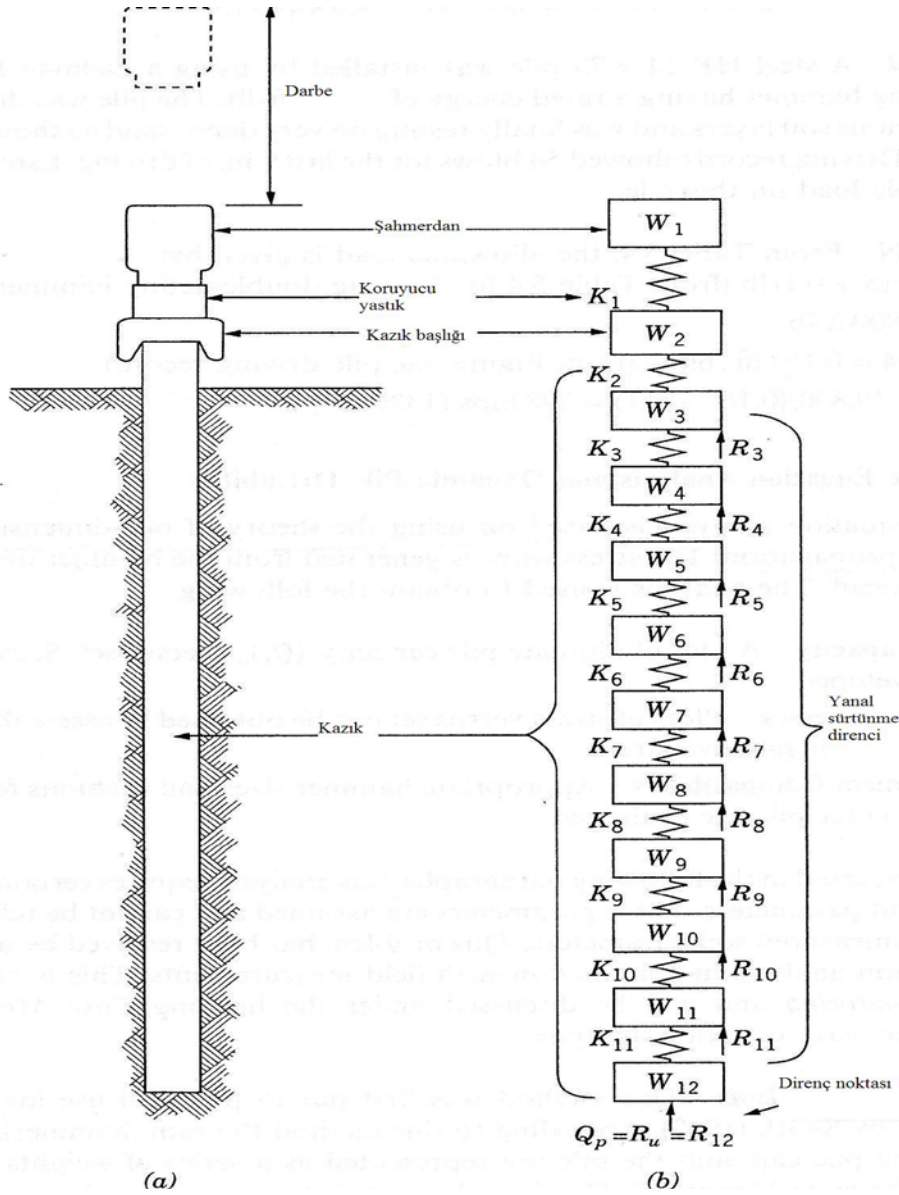
2.6.3.2 Dalga eşitliği yöntemi

Kazık iki doğrultulu bir yay ve bir amortisör ile modellenmektedir. Şekil 2.5'te bu kazık dinamik modellemesi görülmektedir. Yükleme olduğunda yay q boy yer değiştirmesine kadar direnir ve bu noktada tamamen plastik davranışa geçer.

Bu yöntem tek eksenli dalga yayılması teorisi esasına dayanmaktadır. Stres dalgaları kazık başlığına çekiç inmesi ile sağlanır. Gerilme dalgası çekicinin her vuruşunda kazık ucuna gider ve ötelenmeler oluşturur. Uçtan yansıdıktan sonra dalga geriye dönerken enerjisini yitirir. Bu analizle aşağıdaki veriler elde edilir; [2]

1. Kazık kapasitesi: Nihai kazık taşıma gücü kapasitesi ile ilgili değerler, S penetrasyon noktası değerleri elde edilir.

2. Çakma stresleri
3. Teçhizat uygunluğu: Uygun çekiç ve yastık seçimi



Sekil 2.5 : Dalga eşitliği yöntemi ; kazığın teşkil yöntemi ve modelin diğer kısımları.

Bu yöntemde çekiç, başlık, kazık başlığı ve kazık bir seri ağırlık olarak düşünülmüştür (Smith, 1962). Stres dalgalarının ΔL boyundaki kazık elemanından Δt süresince mümkün olduğunca çabuk geçebilmesi için süre oldukça kısa seçilir. Analizlerde aşağıdaki değerler kullanılabilir;

1. Çelik kazık: $\Delta L = 8-10\text{ft}$ $\Delta t = 0.00025$ sn.
2. Beton kazık : $\Delta L = 8-10\text{ft}$ $\Delta t = 0.00033$ sn.
3. Ahşap kazık: $\Delta L = 8-10\text{ft}$ $\Delta t = 0.00025$ sn.

Kazık ucunda zemin direnci

Kazığa bir yük uygulandığı ve bu yük altında zeminin belli bir mesafe elastik olarak sıkıştığı varsayılır. Bu mesafe titreşim (Q) olarak tanımlanır. Daha sonra zemin sabit bir yük altında göçme değerine (R_u) ulaşır. Viskoz sönüm (J) olarak adlandırılan faktör ise kazık ucundaki taşıma kapasitesini direkt olarak vermese dahi, kazık ucundaki R_{12} direnci vermektedir. [2]

$$Q = R_u = R_{12} \quad (2.24)$$

Kazık çevresinde zemin direnci

Uç taşıma gücü olan J değerini kullanmaktansa çevre direnci faktörü olan J' değeri kullanılır. Kazık çakımı sırasında kazık ucundaki zeminde yer değiştirme olduğu gibi bu yer değiştirme kazık çevresindeki bölgede de gözlenir. Fakat kazık çevresindeki J' değeri kazık ucundaki J değerine göre daha küçüktür. [2]

2.6.4 Kazık yükleme deneyleri

Büyük projelerde gerekli sayıda kazık imalatından sonra bunlardan belirli sayıda olanları statik veya dinamik yükleme yöntemleri ile denetlenir.

Kazık yükleme deneyleri

1. Düşey yükleme
2. Çekme
3. Yatay yükler
4. Dinamik yükler

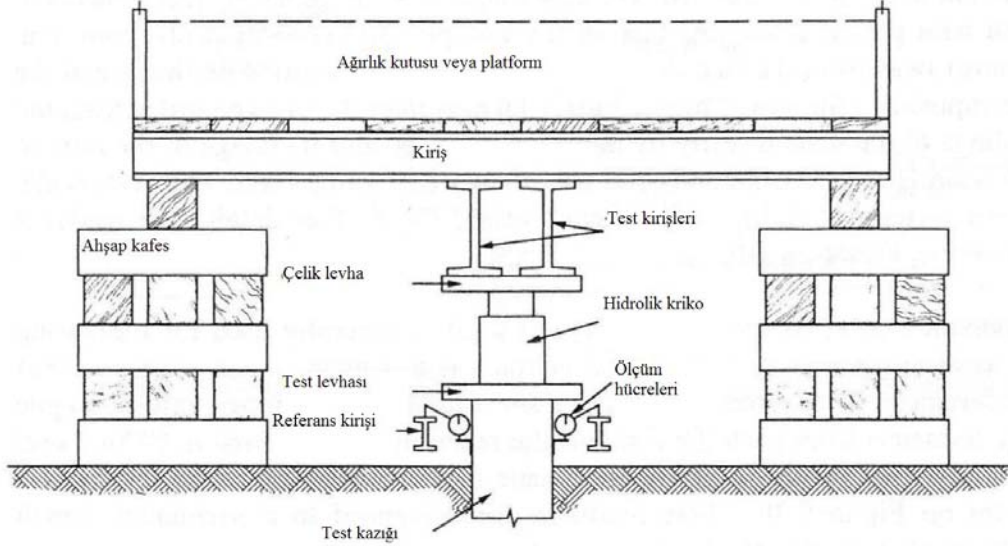
Bu tezde kazık yükleme deneylerinden tez konusuyla alakalı olarak düşey yükleme ve çekme deneylerinden bahsedilecektir.

2.6.4.1 Düşey yükleme

Kazık yükleme deneyleri, pratikte iki alternatif halinde yapılabilir;

1. Test kazığı; kazığın göçmeye karşı direnci test edilir.
2. Gerçek bir kazık üzerinde test; kazığın arazide tasarım yüklerinin iki katına çıkarılmasıyla dayanımının ölçülmesi esasına dayanır. Şekil 2.6'da tipik bir kazık yükleme deneyi görülmektedir. [2]

Şekil 2.7’de kazık yükleme deneyi ekipmanlarının tipik bir örneği görülmektedir. Statik deney, deney kazığının başına ölü yük uygulayarak Şekil 2.7’de görüldüğü gibi iki veya dört kazıktan çekme kuvveti sağlayarak yükleme yolu ile yapılır. [1]

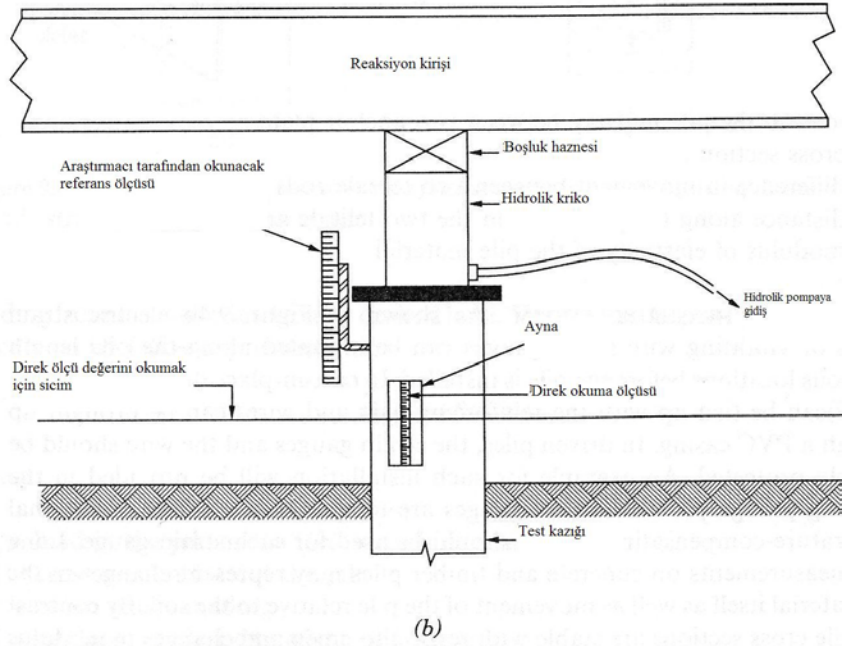
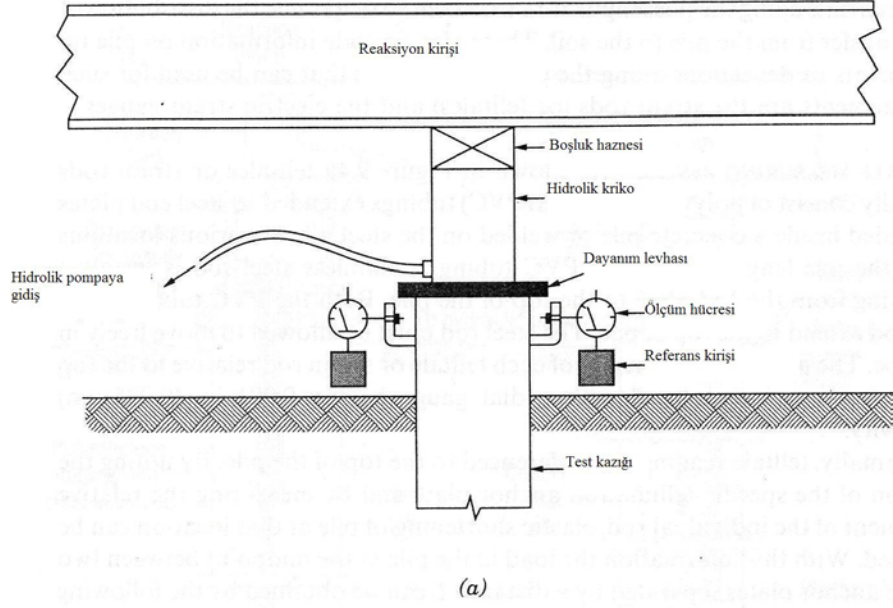


Şekil 2. 6 : Ahşap kafes ve ağırlık kutusu kullanarak düşey kazık yükleme deneyi.

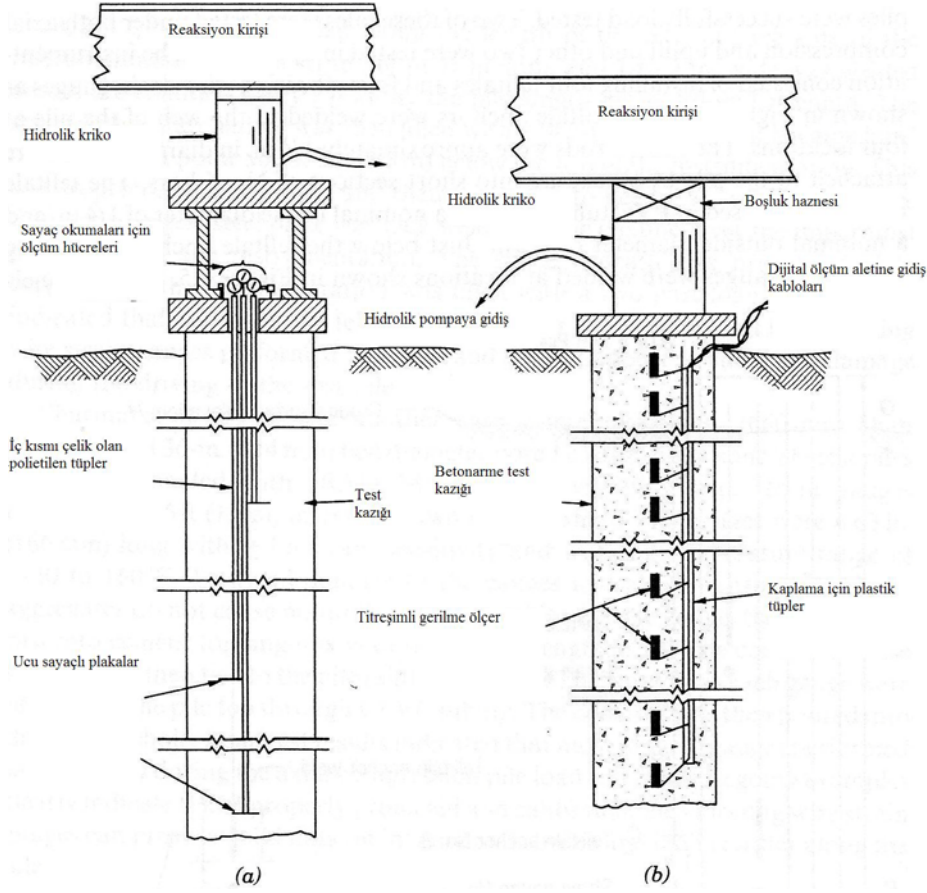
Ölçüm birimleri;

- Ölçü hücresi
- Tel
- Ayna
- Ölçüm cetveli
- Ölçü terazisi
- Sayaç [2]

Bu ölçüm birimlerini şekil 2.7 ve 2.8’ de görmek mümkündür.



Şekil 2.7: Kazık yükleme deneyi ekipmanları



Şekil 2.8 : Kazık boyunca gerilme ölçen sistemler; a) Sayaçlı b) Elektrikli gerilme ölçer

Şekil 2.8’de de görülebileceği gibi sayaçlı ve elektrikli ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Genelde sayaçlı ölçümlerde referans noktası kazığın tepe noktasıdır. Elektrikli ölçüm sistemleri ısıya duyarlıdır ve ısı önleyici hücreler kullanmak gerekir. [2]

Kazık yükleme deneyi yük kontrollü ve penetrasyon kontrollü olarak iki ana yoldan gerçekleştirilir. Bu ölçüm prosedürlerine aşağıda değinilmiştir.

Ölçüm prosedürleri

1. Yavaş hızlı yükleme test yöntemi (SM)
2. Hızlı yükleme test yöntemi (QM)
3. Sabit hızlı penetrasyon test yöntemi. (CRP)
4. İsveç dairesel test yöntemi (SC)

Yavaş hızlı yükleme test yöntemi (SM)

Kazık eşit artımlarla 8 aralık halinde (tasarım yükünün %25'i, 50'si, 75'i, 100'ü, 125'i, 175'i, 200'ü) %200 değere kadar yüklenir. Oturma miktarı 0,025mm/h değerine azalana kadar yük miktarı korunur. %200'lük yük 24 saat boyunca korunur. Gerekli süre sonunda, 1 saatlik aralıklarla %25lik azaltma değerleri halinde yükler kaldırılır. Bu şekilde yükleme yapıldıktan ve kaldırıldıktan sonra, kazık test yüküne kadar tasarım yükünün %50 'si değerine kadar kademeli olarak tekrar yüklenir. Bu yükleme işlemi her yük artımı arasında 20 dakika olacak şekilde uygulanır. Daha sonra yük, her kademe için 20 dakika aralıklarla tasarım yükünün %10 değeri kademelerle göçme durumuna kadar artırılır. Genelde bu testin süresi 40 ila 70 saat sürer hatta daha fazla da olabilir. [2]

Hızlı yükleme test yöntemi (QM)

Kazık tasarım yükünün 3 katı değerine kadar 20 kademe halinde yüklenir. (her kademe tasarım yükünün %15'i olacak şekilde) her yük 5 dk boyunca korunur ve her 2.5 dk.'da bir okuma alınır. Test yüküne erişene dek sürekli bir atışla yük eklenmeye devam edilir. 5 dk. bir aralıktan sonra yükün hepsi 4 kademe halinde ve her kademe arasında 5 dk geçecek şekilde kaldırılır. Bu yöntem hızlı ve ekonomiktir. Süresi 3 ila 5 saattir. Genelde drenajsız koşulları temsil eder. Hızlı yöntem olması nedeniyle oturma problemlerinde kullanılamaz. Bu nedenle negatif çevre sürtünmesi hesabı için de uygun bir yöntem olamamaktadır. [2]

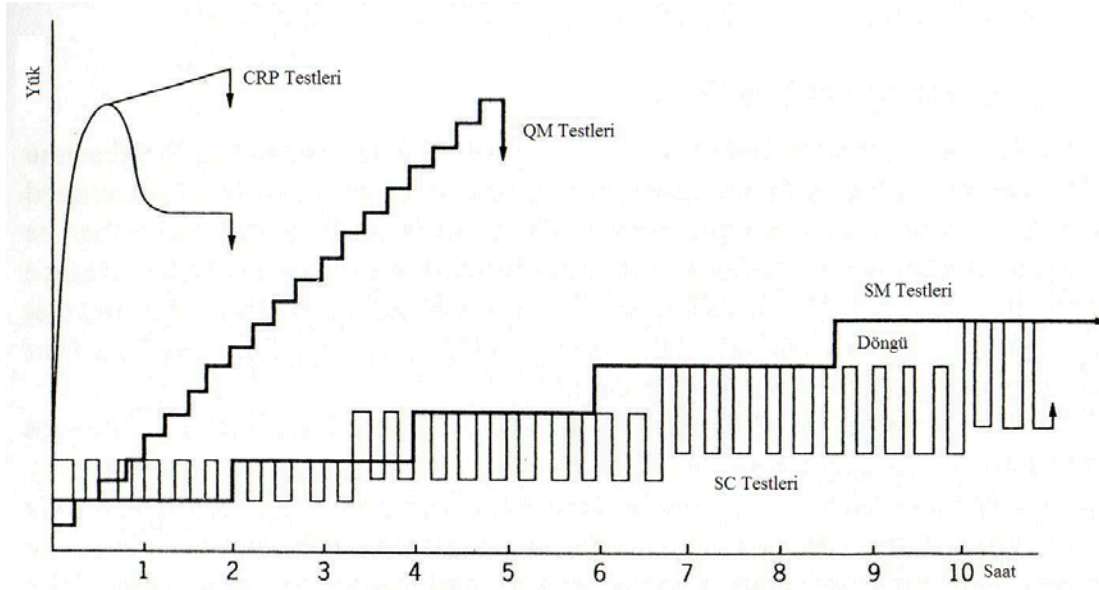
Sabit hızlı penetrasyon yöntemi (CRP)

Kazık başlığı dakikada 1.25mm oturmaya zorlanır. Bu penetrasyonu sağlayan yük not edilir. Teste penetrasyon 50-75mm'ye ulaşıncaya kadar devam edilir. Bu yöntemin esas avantajı hızlı ve ekonomik olmasıdır. Bu yöntem sürtünme kazıkları için uygun bir yöntemdir fakat uç kazıkları için sağlam tabakaya penetrasyonu sağlamada büyük kuvvetler gerekeceğinden uygun değildir. [2]

İsveç dairesel test yöntemi (SC)

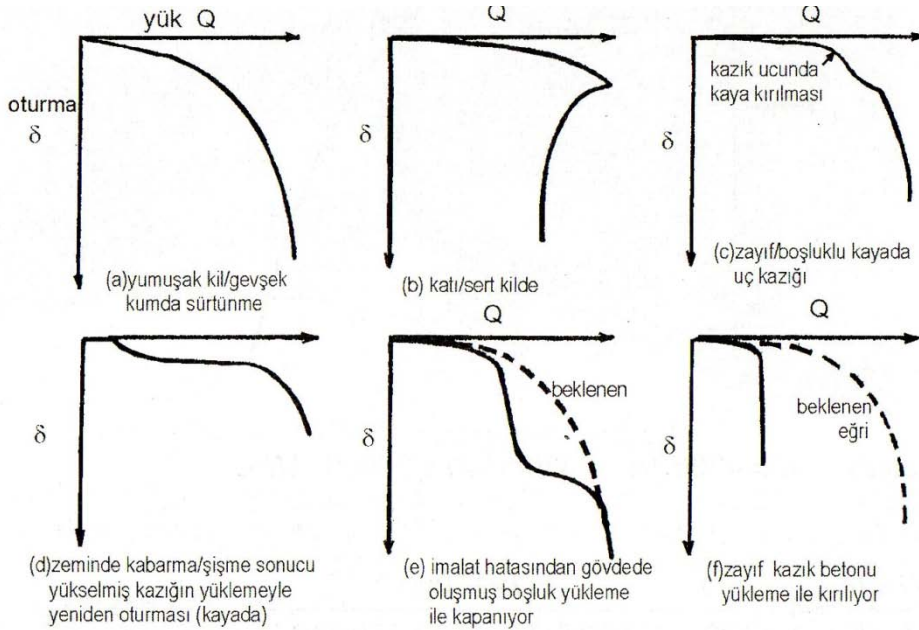
Kazık tasarım yükünün 1/3 değerine kadar yüklenir. Daha sonra tasarım yükünün 1/6 değerine kadar yük kaldırılır. Bu yükleme ve yükü kaldırma işlemi 20 kez tekrarlanır. Yük en başta yüklenen değer %50'si değerine çıkarılır ve bu şekilde 20 kez tekrarlama işlemi devam edilir. Bu işlemler kazık göçene dek tekrarlanır.

Şekil 2.9 bu test yöntemlerinin karşılaştırmasını göstermektedir. Şekle göre SM ve SC en yavaş hızlı test yöntemidir. [2]



Şekil 2.9 : Çeşitli test yöntemlerinin zamana bağlı karşılaştırılması (Fellenius (1975)).

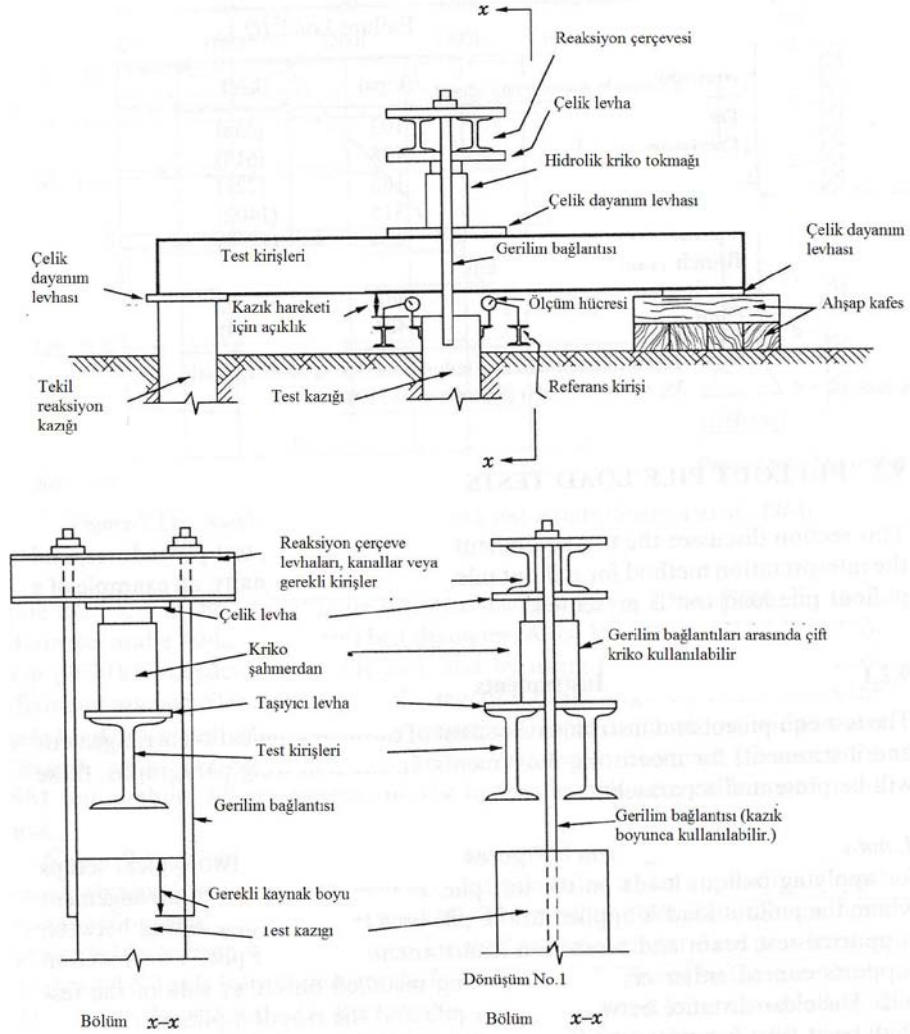
Sonuçta kazık yükleme deneylerinden elde edilen veriler ışığında yük-oturma eğrileri çizilir ve bu yük-oturma eğrilerinin yorumuna geçilir. Kazık –zemin /kaya etkileşimini yorumlamak başarılı bir kazık boyutlandırmasında önemlidir. Şekil 2.10’da deneylerden elde edilebilecek olası eğriler gösterilmiştir. [1]



Şekil 2.10: Kazık yükleme deneylerinde Q-δ Eğrileri

2.6.4.2 Kazık çekme deneyleri

Şekil 2.11'de kazık çekme deneyi ekipmanı ve uygulaması gösterilmektedir. Deneye başlamadan önce, hidrolik kriko, hidrolik pompa kontrol edilmeli basınç ölçüm hücresinin kalibrasyonu yapılmalıdır. [2]



Şekil 2.11 : Kazık çekme deneyinin kiriş ve reaksiyon kirişi arasında hidrolik kriko kullanılarak uygulanması.

Düşey hareket ölçümleri her kazık yükleme deneyinde yapılmaktadır. Gerilme artımı ölçümleri kazık boyunca yük transferinin dağılımını ölçmek için yapılır ve özel projelerde kullanılır.

Kazık çekme deneylerinde düşey hareket ölçümleri birincil ve ikincil sistemlerden oluşur. Ölçüm hücreleri, kablo, ayna ve skala birincil sistemde kullanılırken araştırmacının belirlediği seviye de ikincil sistem veya kontrol sistemi olarak kullanılır. Ölçüm hücreleri yere sıkıca sabitlenmiş ve test kazığından ve reaksiyon

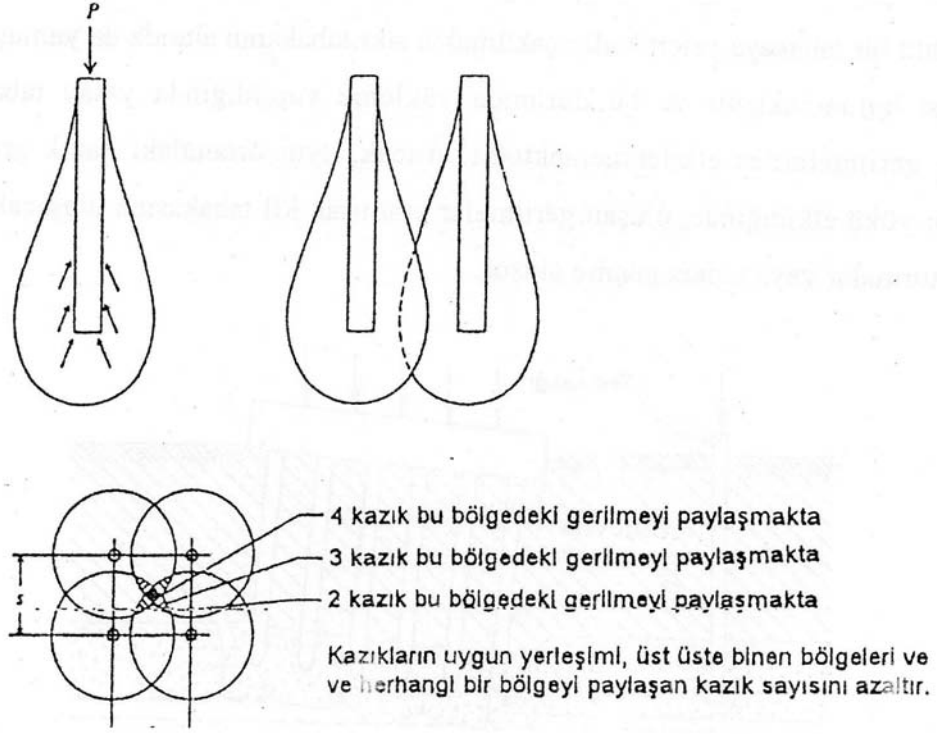
kazığından kazıktan en az 2.5m uzakta bulunan referans kirişlerinin üzerine yerleştirilir.

Kazık uzunluğu boyunca gerilme artışını ölçme, kazıktan zemine yük transferi dağılımının belirlenmesine dayanır. [2]

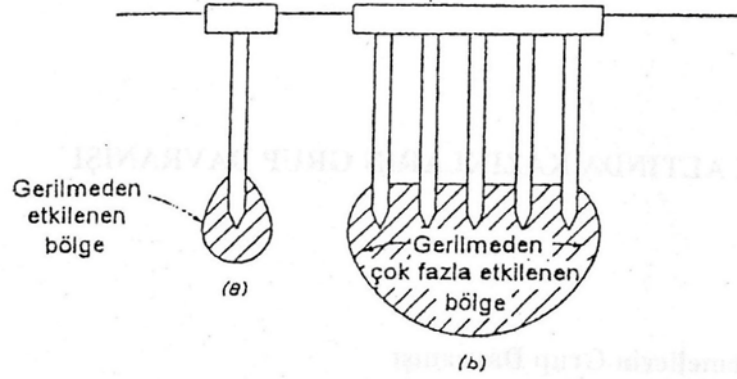
2.7 Kazık Gruplarının Taşıma Gücü

Kazıklı temeller çoğu hallerde grup olarak, yakın mesafelerde donatılı bir kazık başlığı ile veya diğer birleştirme sistemleri ile imal edilir. Ekonomik olarak ve pratik olması açısından optimum kazık aralığı kazık çapının 3-3.5 katı arasında değişmektedir. Genellikle kazıklar kazık shaft genişliğinin 3 katından az olmamak şartı ile yerleştirilir. Bunun sebebi ise; kazıkların imalatı sırasında birbirine müdahalesinden kaçınmaktır. [2]

Kazık grupları düşey yüke maruz kaldıklarında taşıma kapasitesi, grubu meydana getiren kazıkların tekil taşıma kapasitelerinin toplamından daha az olmaktadır. Bu durum grup etkisinden meydana gelmektedir (Şekil 2.12). Kazık aralıklarının sık olması durumunda zemine aktarılan gerilmeler birbirleri ile çakışacak bunun sonucunda da taşıma kapasitesinde azalma meydana gelecektir. Bunun dışında, elastik oturma ve konsolidasyon oturmaları kazık gruplarında tek kazıklara göre her zaman daha fazla olmaktadır. Bu durum, kazık grubunun alttaki zemin ya da taşıyıcı tabakada oluşan gerilme etki bölgesinin tekil kazığa göre daha geniş ve derin alana yayılmış olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.13).



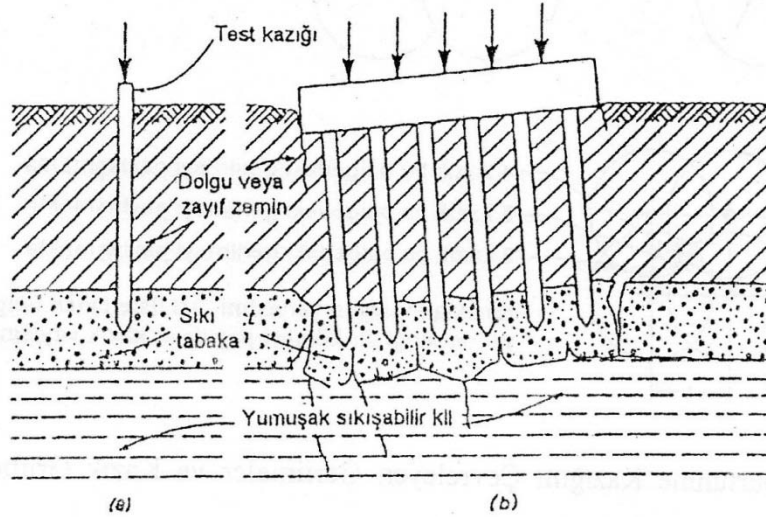
Şekil 2. 12 : Sürtünme kazığını çevreleyen gerilmeler ve kazık grubuna bu gerilmelerin toplam etkisi [32]



Şekil 2. 13 : Tekil kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması [33]

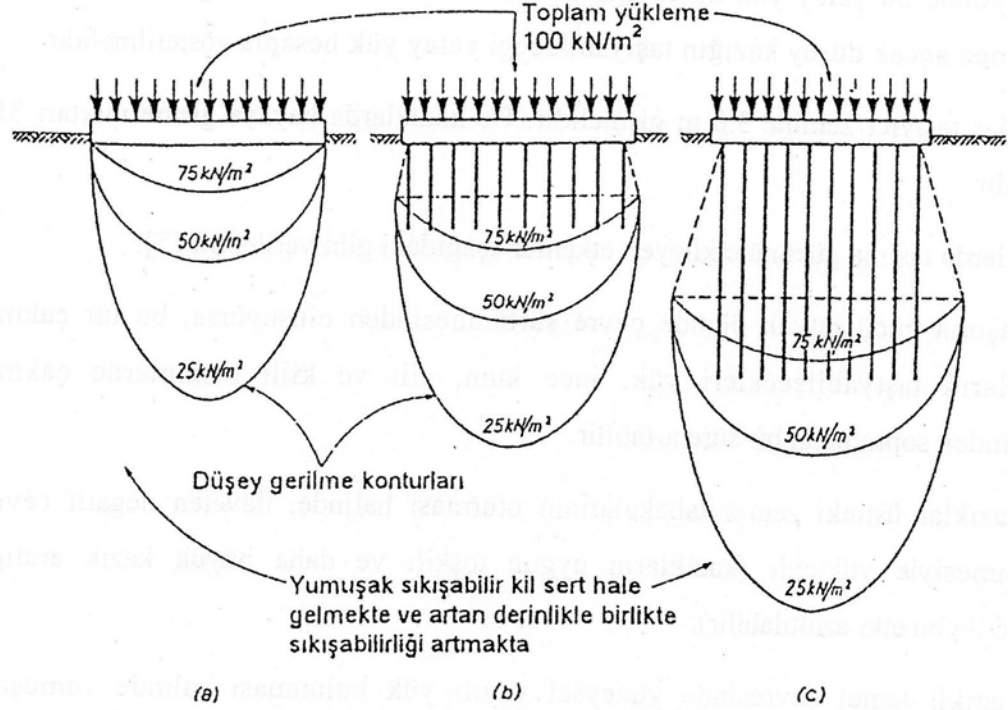
Kazıklı radye temellerin ideal olarak tasarımlarında kazıkların uygun aralıklarla yerleştirilmesi ile birlikte radyenin de optimum kalınlıkta imal edilmesi gerekmektedir. Kazıklar arası mesafe radyenin ekonomik olarak çözülebileceği uzaklıkta olması gerektiği gibi kazıkların birbirlerini etkileyip taşıma kapasitesinin azalmayacağı kadar bir uzaklıkta da olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra killi

zeminlerde kazık grupları blok göçmesine karşı da tahkik edilmelidir. Şekil 2.14.b’de bu duruma tipik bir örnek görülebilmektedir. Şekil 2.14.a’da tekil kazık altında da yumuşak bir tabakanın yer aldığı sağlam ya da sıkı tabakaya yeterli miktarda çakılmaktadır. Bu halde yükleme yapıldığında yatay tabakalar oluşan gerilmelerde etkilenmemekle birlikte, oluşan gerilmeler kil tabakasına ulaşacak ve aşırı oturmalar veya toptan göçme meydana gelecektir.



Şekil 2. 14 : Kazık grubunun kayma göçmesi [33]

Kazıklar üst yapıdan aktarılabacak olan yükleri alttaki sağlam zemin tabakalarına iletmek için kullanılan temel çeşitleridir. Yüzeysel temeller ile aralarındaki bu temel fark, gerilme dağılımlarıyla da dikkati çekmektedir (Şekil 2.15). Burada radyenin hemen altında yer alan zeminde örselenme meydana gelmediği için, aynı yük etkisindeki kazık grubuna göre daha az oturma meydana gelebilir.



Şekil 2.15 : Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımlarının karşılaştırılması; a) yüzeysel temel, b) mini sürtünme kazıkları, c) uzun sürtünme kazıkları [33]

2.7.1 Grup kazıklarının hesap esasları

Üstyapıdan gelen ve belirlenmiş olan yüklerin belirli bir emniyetle kazıklara ve sonuç olarak da zemine aktarılması kazıklı temel hesabını meydana getirir. Yapılan hesapla,

- Kazık grubunu oluşturan her kazığa gelen yük elde edilir.
- Maksimum kazık yükünün, kazığın servis yüküne uygun olduğu gösterilir.
- Kazık başlığının boyutlandırması yapılır.
- Kazık grubunun stabilitesi tahkik edilir.
- Meydana gelecek olan oturmaların izin verilen değerlerde olduğu gösterilir.

Kazık yüklerinin belirlenmesinde şu hususlar etkilidir: [34]

- Zemin özellikleri
- Kazık tipi
- Yükün çevre sürtünmesi ya da uç dayanımına iletilmesi

Kazık grubuna etkimekte olan yatay yük, düşey yükün %3'ünden az olmuyor ve en fazla %5'ini geçmiyorsa, bu yatay yük düşey kazıklar tarafından alınabilir ve eğik

kazığa gerek duyulmaz ancak düşey kazığın taşıyabileceği yatay yük hesapla gösterilmelidir. Kazıklar taşıyıcı zemine 3m girmelidir. Uç kazıklarında kayaya girme miktarı 3D kadardır.

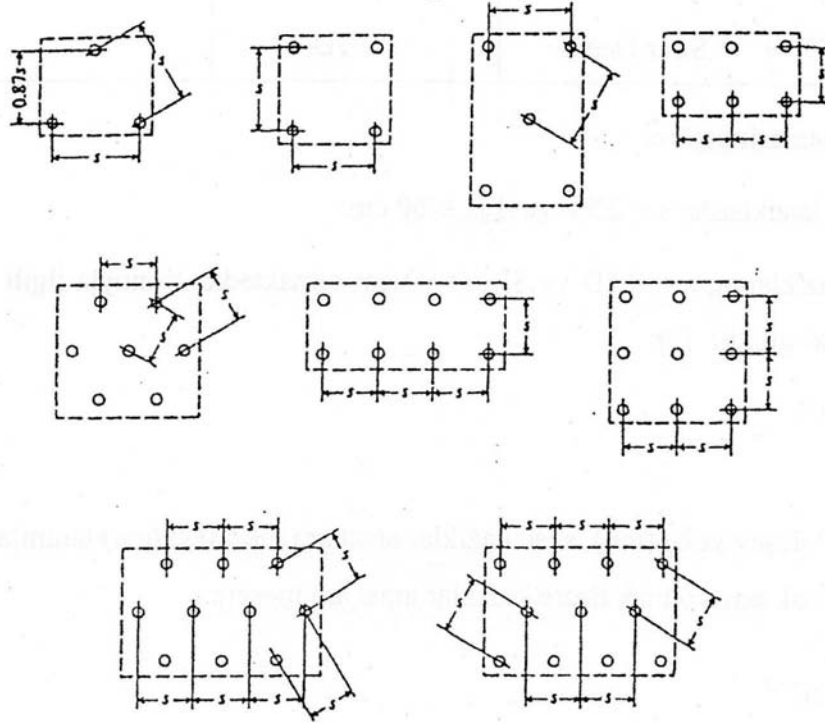
Kazıklarda taşıma kapasitesine etkiyen faktörler aşağıdaki gibi verilebilir; [34]

- Taşıma kapasitesi büyük oranda çevre sürtünmesinden oluşuyorsa, bu tür çakma kazıkların taşıyabilecekleri yük, ince kum, silt ve killi zeminlerde çakma işleminden sonra uzun bir süre artabilir.
- Kazıklar, üstteki zemin tabakalarında oturma meydana gelmesi durumunda, ilaveten negatif çevre sürtünmesi ile yüklenir.
- Kazıklı temel çevresinde yüzeysel yayılı yük bulunması durumunda yumuşak zeminlerde yatay hareketler meydana gelebilir ve kazıklarda ilave eğilme zorlamaları ortaya çıkabilir.
- Büyük titreşim ve sallantılar gibi dinamik zorlamaların etkisi, kazık taşıma kapasitesinde azalma meydana getirir.

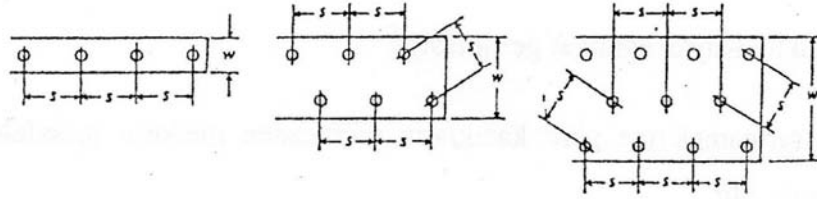
2.7.2 Grup kazıklarının yerleştirilme esasları

Grup kazıkların yerleştirilmesi ile ilgili unsurlar aşağıda sıralanmıştır; [34]

- Kazıkların grup halinde teşkilinde, plandaki küçük alan boşluk maliyetini azaltır ve büyük yük halinde gerekli kazık miktarının yerleştirilebilmesine imkan sağlar.
- Zemin açısından mesafenin azalması zararlıdır.
- İmalat esnasında kazıklar plandaki yerlerinden sapma gösterebilir, bu duruma izin verilebilmelidir.
- Bir ya da iki kazıklı gruplarda eksantrisite önemli boyutlara ulaşabilir, grubun en az üç kazıktan oluşması tercih edilmelidir. Şekil 2.16’te tipik kazık grupları yerleşimleri ve örnekleri görülmektedir.
- Normal yükleme halinde grupta bir kenarda basınç diğer kenarda çekme kazığı olmasından sakınılmalıdır.
- Oturma yönünden, uç kazıklarında farkı yükler önemli olmamakla beraber, yumuşak zeminlerde teşkil edilen sürtünme kazıklarında kazık yükleri arasındaki eşitsizlik minimum değerde tutulmalıdır.



(a)



(b)

Şekil 2. 16 : Tipik kazık grubu örnekleri a)Tekil temel b) Temel duvarlar [34]

Grup içerisindeki kazıkların ara mesafeleri Çizelge 2.13'te çeşitli şartnamelerle verilmektedir.

Çizelge 2.13 : Kazık ara mesafesi (S) değerleri [34]

Şartname	Kazık Tipi	Sürtünme Kazıkları	Uç Kazıkları
Amerikan Şartnamesi	Dairesel Kazık	$s = 2 D$	$s = D + 30 \text{ cm}$
	Köşeli Kazık	$s = 2 \times \text{köşegen uz.}$	$s = \text{köşegen uz.} + 30 \text{ cm}$
	Min. s	$\geq 76 \text{ cm}$	
İngiliz Şartnamesi	Dairesel Kazık	$s = 3 D$	$S = 2 D$
	Kare Kesitli Kazık	$s = 4 \times \text{kenar uz.}$	
	Min .s	$\geq 106 \text{ cm}$	$\geq 76 \text{ cm}$
Alman Şartnamesi	Tüm Kazıklarda	$\geq 4 D$	$S = 2 D$
	Sınır Değer	$S = 3 D$	

Japon şartnamesine göre,

Çakma kazıklarda;

$$s = 2.5 D \text{ ve } s_{\min} \geq 60 \text{ cm}$$

Fore kazıklarda;

$$s = 2.5 D \text{ ve } s_{\min} \geq 90 \text{ cm}$$

olmaktadır. Konuyla ilgili bağıntılar ise aşağıda (2.24), (2.25), (2.26), ve (2.27) eşitlikleri ile verilmektedir; [34]

$$s = \left(\frac{2.5 P}{100} \right)^{1/2} \quad (2.24)$$

P = Düşey yük (ton),

s = Kazıklar arası ara mesafe (cm)

Ayrıca L kazık boyu olmak üzere kazıklar arası ara mesafe (2.25), (2.26) ve (2.27) eşitlikleri ile verilmiştir;

$$s = 1.08 \cdot (L \cdot D)^{1/2} \quad (2.25)$$

$$s = L/10 \quad (2.26)$$

$$s = (\text{Kazık yükü} / \text{Kayan emniyet gerilmesi})^{1/2} \quad (2.27)$$

İsveç kazık şartnamelerine göre kazıkların merkezden merkeze mesafeleri Çizelge 2.14'te verilmektedir.

Çizelge 2.14 : Kazık ara mesafesi (S) değerleri [33]

Tahmin Edilen Kazık Boyu	Uç ve Sürtünme Kazıkları		Kohezyon Kazıkları	
	Dairesel	Kare	Dairesel	Kare
< 10 m	3D	3.4B	4D	4.5B
10-25 m	4D	4.5B	5D	4.5B
>25 m	5D	5.6B	6D	6.8B

Not : B = Kare temelin kenar uzunluğudur. Ayrıca tüm durumlarda $S_{\min} = 80 \text{ cm}$ 'dir.

2.7.3 Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının taşıma gücü

Henüz bugüne dek kabul edilmiş rasyonel bir yaklaşım bulunmamakla beraber, aşağıdaki kriterler kazık gruplarının taşıma gücü hesabında, kazık merkez mesafeleri kazık çapının en az 3 katı olduğu hallerde kullanılabilir bu durum (2.28) eşitliğinde verilmiştir (Vesic, 1977);

$$(Q_p)G = nQ_p \quad (2.28)$$

$(Q_p)G$ kazık ucundaki nihai nokta yük

Q_p = Tekil bir kazıktaki nihai nokta yük

n = Kazık sayısı

Bir kazık grubunun nihai çevre sürtünmesi, göreceli küçük bir alanda imal edilme nedeniyle artan kompaksiyona ve yanıl sıkışmaya maruz kalan tekil kazıkların çere sürtünmeleri toplamından büyük olabilir.

Bu artış hakkında kazık yükleme deneyleri yapılmadan bir şey söylemek çok zordur. Fakat şu sonuca varmak mümkündür; kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen grup kazıklarının nihai taşıma gücü kapasiteleri en azından tekil kazıkların taşıma gücü kapasiteleri toplamına eşittir. Ancak, kohezyonsuz zeminlerde kazıkların grup etkisi gruptaki oturmayı artırır. [2]

2.7.4 Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının taşıma gücü

Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarında genel olarak aşağıdaki (2.29) bağıntısı geçerlidir;

$$(Q_{vG})_{ult} \neq n (Q_v)_{ult} \quad (2.29)$$

$(Q_v)_{ult}$ = Tekil kazığın nihai taşıma gücü

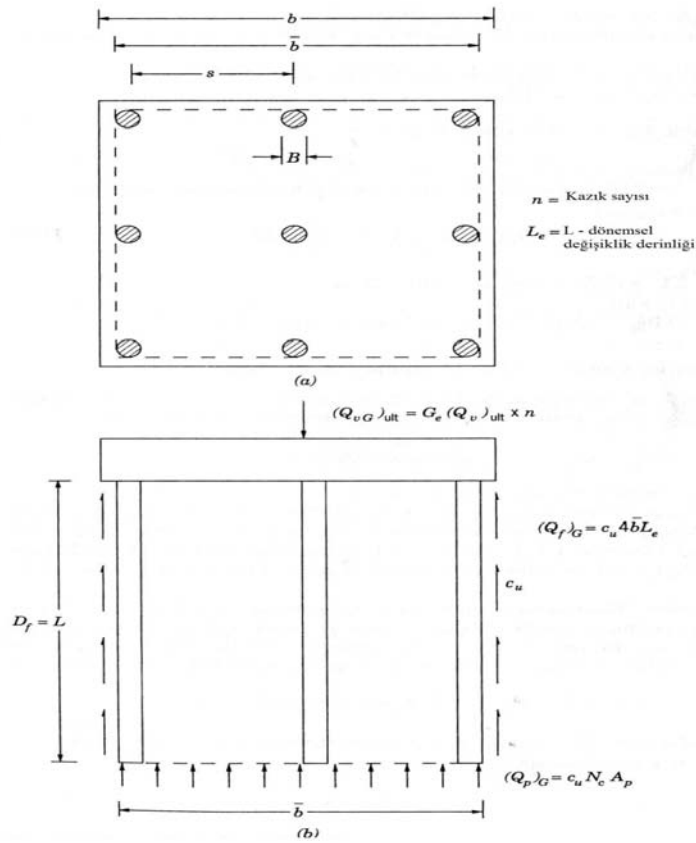
$(Q_{vG})_{ult}$ = Kazık grubunun nihai taşıma gücü

n = Kazık grubunu oluşturan kazık sayısı

Pratikte; kazık grubunun nihai taşıma gücü $(Q_{vG})_{ult}$ aşağıdaki değerlerden küçük olanı alınarak belirlenebilir;

Grup etkisi

Hayali bir alanda zemin içine gömülerek kazık grubunun blok göçmesi ve tabandaki taşıma gücü Şekil 2.17’de gösterilmektedir. [2]



Şekil 2.17: Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıkların taşıma gücü kapasitesi, (a) Plan (b) Kesit

Şekil 2.17'deki grup kazıklarının nihai taşıma gücü hesabı ağıdaki (2.30) eşitliği gibi yapılabilir;

$$(Q_{vG})_{ult} = C_u \cdot N_c (b^2) + 4C_u (b)L_e \quad (2.30)$$

Tekil etki

Eğer ortamda grup etkisi yoksa grubun alacağı toplam yük, (2.31) eşitliğine görüldüğü üzere tekil kazığın alacağı yükün kazık sayısı ile çarpımına eşittir.

$$(Q_{vG})_{ult} = n (Q_v)_{ult} \quad (2.31)$$

Kazıklar yeterince yakın mesafelerde teşkil edildiğinde grubun etkisindeki toplam yük tekil kazıklarınkinden daha düşüktür. Grubun nihai taşıma gücü kapasitesinin toplam tekil kazık taşıma gücü kapasitesine oranı grup etkisi olarak adlandırılır. Bu değer (2.32) ve (2.33) eşitliklerinde belirtilmiştir. (G_e);

$$G_e = (Q_{vG})_{ult} / [n * (Q_v)_{ult}] \quad (2.32)$$

$$(Q_{vG})_{ult} = G_e * n * (Q_v)_{ult} \quad (2.33)$$

Grup etkisi değeri;

1. Zemin parametrelerine,
2. Kazık grubu boyutu ve şekline,
3. Kazık uzunluğuna,
4. Kazık aralığına bağlıdır. (Whitaker, 1957; Kreisel, 1967)

Çizelge 2.1'te kazık aralıklarına göre grup etkisi değerleri verilmiştir. Bu değerler Whitaker (1957) deneysel verilerine göre ve Foundations and Earth Structures Design Manual, DM-7.2 (1982) grafiklerine göre belirlenmiştir. [2]

Çizelge 2.15 : Çeşitli kazık aralıklarına göre grup etkisi değerleri.

Kazık aralığı	3B	4B	5B	6B	8B
Grup Etkisi (G_e)	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0

Bir grup içerisinde yer alan tek bir kazığın davranışının kendisine komşu olan kazıkların davranışı ve grubun geometrisinden etkilendiği Şekil 2.12'de belirtilmiştir. Kazıklar arası bu etkileşim “*grup etkisi*” olarak adlandırılmaktadır. Kazık-zemin–kazık etkileşiminin genelde yerleştirme etkisi ve mekanik yükleme etkisi olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır.

Grup etkisi, E_g hakkında farklı varsayımlar bulunmaktadır. E_g , grup taşıma kapasitesinin, kazık sayısı ile kazık tekil kazık taşıma kapasitesi çarpımına oranı olarak ifade edilmektedir.

Gevşek kumlarda yapılan model deneyler gösteriyor ki; çakma kazık grubunun taşıma gücü, tekil kazıklar taşıma kapasitelerine oranı olarak tarif edilen grup etkinliği, daima $E_g > 1$ dir ve maksimum değer s/D (s kazık merkezleri arası mesafedir) oranının 2 olduğu durumlar için elde edilmektedir. Gruptaki kazık sayısı arttıkça grup etkinliği de artmaktadır. Sıkı kumlarda ise $E_g > 1$ olmakla birlikte dilatans nedeni ile $E_g < 1$ durumu söz konusu olabilir. Aynı sonuç fore kazıklar veya su jeti ile yerleştirilen kazıklar için de söz konusudur. Günümüzde yaygın olan kullanım ise, kumda çakma kazıklarda güvenli bir varsayımla üst sınır için $E_g = 1$ almak, fore kazıklar için $E_g = 0.67$ kabul edilmektedir.

Killi zeminlerde yapılan model deneyler gösteriyor ki grup etkinliği $E_g < 1$ olmakta ve kare gruplarda $s/D < 2$ oldukça blok göçme eğilimi göstermektedir. Günümüzde blok göçme meydana gelmedikçe ve kazık çakılması sonucu meydana gelen boşluk basıncının sönmülmesi için yük uygulanmasından önce yeterli süre bırakıldığı durumlarda $E_g = 1$ almak eğilimi vardır.

Vesic'e göre, günümüz pratiğinde grup kapasitesi fazla tahimn edilmekte, blok göçmesi meydana gelmeksizin kazıkların tek tek zemine gömülmeleri gözlenmektedir. Blok göçme olasılığının kontrol edilmesinin yanı sıra s/D için $E_g = 0.7$ alınıp $s/D = 8$ için $E_g = 1$ 'e artırılmalıdır.

Değişik grup etkinlik eşitliklerinde etkinlik, kazıklar arası uzaklığa bağlı olmakla beraber, kazık-zemin durumunu gözetmeksizin daima $E_g < 1$ değerini vermektedir. Bu eşitliklerden bazıları aşağıda sıralanmaktadır [33];

1) Converse- Labarre

Bu yöntem aşağıdaki (2.34) eşitliği ile açıklanmıştır.

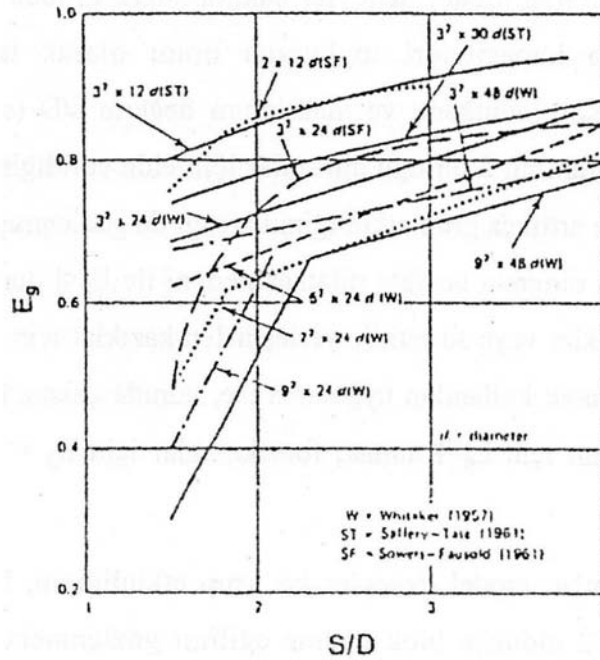
$$E_g = 1 - \frac{\xi}{90} \cdot \left(\frac{(n-1).m + (m-1).n}{m.n} \right) \quad (2.34)$$

m : Kazık sıra sayısı

n : Bir sıradaki kazık sayısı

ξ : $\text{Arctan}(D/s)$

- 2) Fiel, kazık sayısına göre $E_g = 0.72 - 0.94$ alınmasını önermektedir.
- 3) Whiteaker, deneysel model sonuçları doğrultusunda 3x3 ve 9x9'lu gruplar için s/D 'nin değişik değerlerine göre etkinlik sayısı vermektedir. NAVFAC, bu eğrilerin kil zeminler için uygulamasını Şekil 2.18'de verildiği şekliyle önermektedir.



Şekil 2.18 : Killer için grup etkinliği [35]

- 4) Poulos ve Davis

Bu yöntem aşağıdaki (2.35) eşitliği ile verilmiştir.

$$\frac{1}{E_g^2} = \frac{(m.n)^2 \cdot Q_0^2}{Q_B^2} \quad (2.35)$$

Q_0 = Tekil kazığın nihai yük taşıma kapasitesi

Q_B = Kazık grubu yerine düşünülecek eşdeğer büyük kazığın nihai yük taşıma kapasitesi (Blok göçmesine karşı taşıma kapasitesi).

Bu konuyla alakalı çeşitli eşitlikler karşılaştırıldığında elde edilen grup etkinliği değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu söylenebilir. Grup etkisinin hesaplanabilmesi için matematik bir model bulunmayışı ve yapılan yaklaşımların sadece kazık gruplarının geometrilerine göre olması, zemin ve zaman faktörlerinin, kazık başlığı – zemin ilişkisinin ve kazık yerleştirme sırasının grup etkisine olan katkılarının ihmal ediliyor olması nedeniyle bu sonuç ortaya çıkmaktadır. İhmal

edilen bu etkenlerin bir kısmını hesaba alan bir yaklaşım aşağıda ifade edilmiştir.
[35]

Grup etkisinin sadece kazık çevresinde taşınan yükte göz önüne alınması gerektiği düşünülerek (2.36), (2.37), (2.38) ve (2.39) eşitlikleri verilmiştir;

$$Q_g = \sum Q_p + E_s \cdot \sum Q_s \quad (2.36)$$

Q_g : Grubun taşıyabileceği toplam yük

Q_0 : Tekil kazığın taşıyabileceği yük

Q_p ve Q_s : Çevredeki tekil azık yükü

E_s , geometrik etkinlik E_s' ve etkinlik faktörü K 'nin çarpımı ile elde edilmektedir ve aşağıdaki (2.37) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$E_s = E_s' \cdot K \quad (2.37)$$

$$E_g = \frac{Q_g}{\sum Q_0} = 1 - (1 - E_s' \cdot K) \cdot \frac{\sum Q_s}{\sum Q_0} \quad (2.38)$$

Denklemden yer alan $\frac{\sum Q_s}{\sum Q_0} = \rho$ olarak alınır ve bu oran da sürtünme faktörü olarak ifade edilirse grup etkisi;

$$E_g = 1 - (1 - E_s' \cdot K) \cdot \rho \quad (2.39)$$

denklemini elde olunur.

Uç kazıkları için $\rho = 0$ olup $E_s = 1$ değerlerini vermektedir. Bu durum ise pratikte karşılaşılan durumla uyum halindedir. Eşitlikte kazık başlığının etkisi ihmal edilmelidir. Geometrik etkinlik E_s' olup çevresi, tekil kazıkların çevrelerinin toplamın oranı olarak ifade edilir;

$$E_s' = \frac{P_g}{\sum P_0} = 2 \cdot \frac{[(n-1) \cdot s + D][(m-1) \cdot s + D]}{\pi \cdot m \cdot n \cdot D} \quad (2.40)$$

Geometrik etkinliğin tipik değeri 0.6 ile 2.5 arasındadır. Killi zeminlerde değerinin 0.6'dan büyük olması beklenir fakat tam sürtünme kazıklarında $\rho = 1$ 'dir.

Grup etkileşim faktörü K ise kazığın yerleştirilme yöntemi, kazık aralığı ve zemin cinsine bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Kazık yerleştirilmesine bağlı olan dayanım artış ve azalışları bu sayı ile modellenebilir. Sıkı kohezyonsuz veya sert kohezyonlu zeminlerde yüksek, gevşek ve yumuşak zeminlerde ise düşük değerler

beklenmektedir. Orta sıkı kumlarda bu değer 2-3 olarak önerilmektedir. Tasarım aşamasında kullanılacak olan K değerleri Çizelge 2.16’te yer almaktadır.

Çizelge 2.16 : Tasarımda kullanılacak K değerleri [35]

Zemin Türü	ρ	s/D	K
Gevşek Kum	0.1-0.2	2	3.00-7.00
		4	2.00-4.00
		6	1.00-2.00
Orta Sıkı Kum	0.2-0.3	2	2.00-4.00
		4	1.00-3.00
		6	1.00
Yumuşak Kil	0.8-0.9	2	1.10-1.70
		4	0.70-0.90
		6	0.50-0.60
Orta Sıkı Kil	0.6-0.7	2	1.50-1.70
		4	0.75-0.80
		6	0.50

K için alt sınır değerleri az sayıda kazıklardan oluşan grup, üst sınır değerleri çoklu kazık grupları için uygundur. Değerlerin çakma veya itme yoluyla yerleştirilen kazıklar için uygun olduğu, fore kazıklarda ise önemli farklılıklar doğabileceği özellikle vurgulanmalıdır. Hem kil hem kumda çakılmış gruplar için alınan ölçüm sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmada yöntemin oldukça uyum sağladığı belirtilmektedir.

Kazık başlığının kumlu zeminlerde zeminle teması halinde grubun taşıyacağı yükler büyük katkısı olabilir. Bununla beraber böyle bir kapasitenin mobilize olması başlığın kazıklardan daha fazla hareket etmesini gerektirebilir. Poulos ve Davis kazıklardan başlık ucuna kadar olan mesafenin yarısını genişlik olarak kabul eden şerit bir temelin taşıma gücünün pratik maksatlar için göz önüne alınabileceğini belirtmişlerdir.

Kazık grubunun tamamen yumuşak bir kil içinde sonlanacaksa (bu durum pek istenen bir durum değildir) grubun toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı hesaplanmalıdır. Grubun çevrelediği blok zeminin Şekil 2.18 nihai kapasitesi (2.41) denklemi ile hesaplanabilir;

$$Q = 2 \cdot D \cdot (B + L) \cdot \bar{c} + c_b \cdot s \cdot N_c \cdot B \cdot L \quad (2.41)$$

D : Kazıkların yüzeyden itibaren derinliği

B : Toplam genişlik

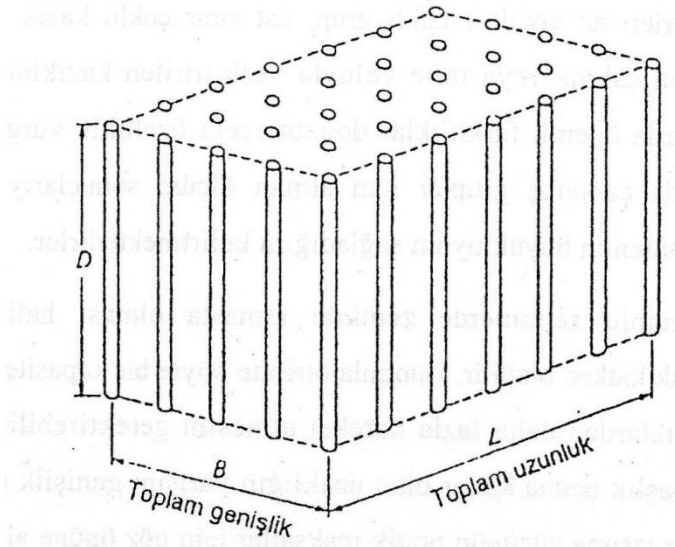
L : Toplam uzunluk

\bar{c} : Kazık boyunca yer alan kilin ortalama kohezyon değeri

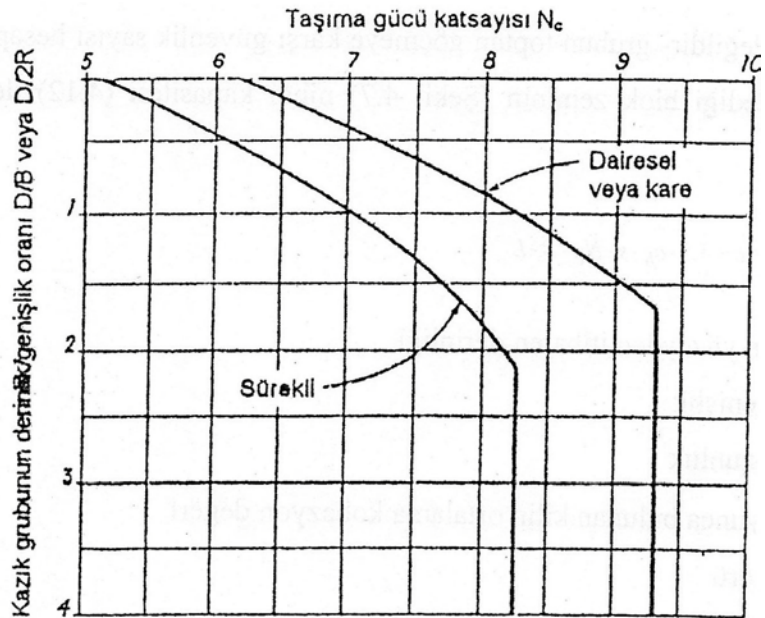
s : Şekil faktörü

N_c : Taşıma gücü katsayısı

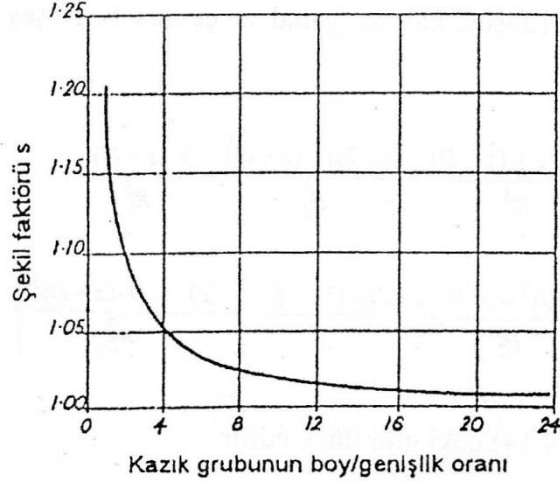
N_c değerleri Şekil 2.20'den, s değerleri ise şekil 2.21'den elde edilir.



Şekil 2. 19 : Kazık grubunun blok temel davranışı [33]



Şekil 2. 20 : Taşıma gücü katsayısı, N_c değeri [33]



Şekil 2.21 : Dikdörtgen kazık grupları için şekil faktörü [33]

2.7.5. Kazık gruplarının altında yer alan zemin tabakalarında meydana gelen gerilmeler

Kazık gruplarının altında yer alan zemin tabakalarının dayanım ve oturmalarını tahmin etmek güçtür. Bu durumun nedenleri ise aşağıda sıralanmıştır; [32]

- Kazık başlığının etkisi;
Kazık başlığı genellikle şişen zeminler hariç, zemin ile direkt temas halindedir. Bu temas, kazık-zemin etkileşimini oldukça belirsiz bir halde getirmektedir.
- Kazık boyunca oluşan sürtünme etkisinin tam bilinmemesi, bu nedenle de kazık ucundaki yükün bulunamaması,
- Komşu kazıkların gerilmelerinin çakışmaları nedeniyle değerlendirmenin güçleşmesi,
- Çakma kazıkların çevre zemini etkilemeleri,
- Konsolidasyon, tiksotropi, değişken yükler ve yer altı suyu seviyesinin değişimi gibi zamana bağlı etkilerin meydana gelmesi.

Kazık gruplarının altındaki zeminde meydana gelen gerilmelerin hesaplanabilmesi için bir analitik yöntem Geddes tarafından önerilmiştir. Geddes bu yöntemi Mindli'nin elastik katılar içindeki tekil yük çözümünün üzerine uyarlanarak elde edilmiştir. Boussinesq analizinde olduğu gibi bu yöntem, zemini yarı sonsuz, izotropik, homojen ve elastik kabul etmektedir. Geddes bu yöntem için 3 durum geliştirmiştir. Şekil 2.21'de de görülen bu her durum için dört gerilme elde edilebilir (düşey, kayma, yanal ve çevresel). Düşey gerilme(2.42) denklemi ile ifade edilebilir.

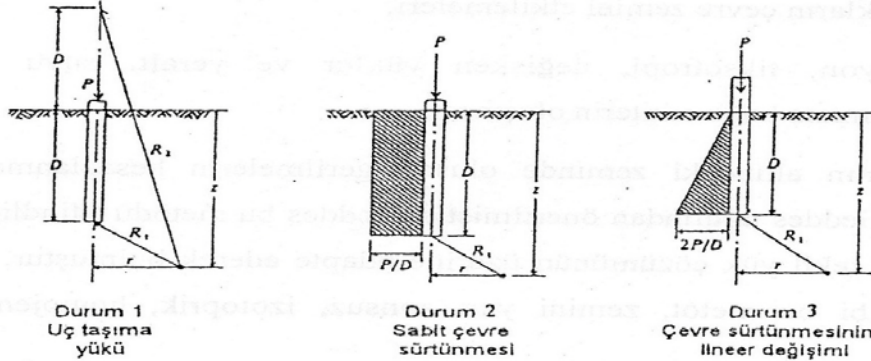
$$\sigma_z = \frac{P}{8\pi(1-\mu)} \left\{ -\frac{(1-2\mu) \cdot (z-D)}{R_1^3} + \frac{(1-2\mu) \cdot (z-D)}{R_2^3} + \frac{3 \cdot (z-D)^3}{R_1^5} - \left[\frac{3 \cdot (3-4\mu) \cdot z \cdot (z+D)^2 - 3 \cdot D \cdot (z+D) \cdot (5z-D)}{R_2^5} \right] - \frac{30 \cdot z \cdot D \cdot (z+D)^3}{R_2^7} \right\} \quad (2.42)$$

Kayma dayanımı ise (7.14) eşitliği ile verilmiştir;

$$\tau = \frac{P_r}{8(1-\mu)} \left\{ -\frac{(1-2\mu)}{R_2^5} + \frac{(1-2\mu)}{R_2^3} - \frac{3 \cdot (z-D)^3}{R_1^5} - \left[\frac{3 \cdot (3-4\mu) \cdot z \cdot (z+D) - 3 \cdot D \cdot (3z+D)}{R_2^5} \right] - \frac{30 \cdot z \cdot D \cdot (z+D)^2}{R_2^7} \right\} \quad (2.43)$$

$$R_1^2 = r^2 + (z-D)^2 \quad R_2^2 = r^2 + (z+D)^2 \quad (2.44)$$

Bu yöntem kazık ucunun altında yer alan zeminde konsolidasyon (veya elastik) oturma hesabı için düşey gerilme profilini elde etmede tavsiye edilmektedir. Bu tip problemlerde zeminin ağırlığını hesaba dahil etmek mümkün olamamaktadır. Bununla birlikte hesaplar yer değiştirmelerin zemin ağırlığından kaynaklandığını göstermektedir. Bu yöntemde kazık ucundaki zemin gerilmeleri oturmaya neden olmaktadır.



Şekil 2.22 : Zemin gerilmelerinin değerlendirilmesi için Mindlin çözümü kazık-zemin sistemleri [32]

2.7.6. Kazık gruplarında oturma

Fazla miktarda kazık barındıran bir kazık grubu söz konusu olduğunda, aynı kazık yüklerinde az sayıda kazık barındıran bir gruba göre daha fazla oturma değerleri gösterdiği, herhangi bir sayıda kazık grubunun da tekil kazık grubuna göre daha fazla değerde oturma gösterdiği pratikte gözlenmektedir. Bu gözlem, elastik oturmalar için de konsolidasyon oturmaları için de geçerlidir.

Killi zeminlerde teşkil edilmiş bir grubun oturmasının zaman, zemin örselenmesi ve ölçek farklılıkları nedeniyle tekil kazığın oturmasından yola çıkılarak hesaplanamayacağı açıktır. Bu nedenle kazık grubunun yükü zemine nasıl aktardığı konusunda varsayım yapılmakta ve bu transferin gerçekleştiği yerde fiktif bir temel varsayılarak oturması hesaplanmaktadır. Literatürde aşağıdaki varsayımların kullanıldığı görülmektedir. [35]

- Kazık boyunun 2/3L aşağısında kazıklarca çevrelenen fiktif bir temel
- Yüzeiden itibaren 4 düşey 1 yatay açıyla genişleyen ve yine 2/3L de bir fiktif temel
- Kazıkların ucunda kazıkların çevrelediği fiktif bir temel
- Kazık ucunda daha geniş alanlı fiktif bir temel

Zemine yer değiştirici kazıklarda ilk iki önerinin daha uygun bir çözüm olacağını zira üçüncü çözüme göre daha fazla oturma değeri vereceğini ve bunun kazık çakımı ile ilgili örselenmeyi de göz önünde bulunduracağını da söylemek mümkündür. Fore kazıklar özellikle yakın aralıklı teşkil edilmiş iseler, üçüncü varsayım daha geçerli sonuçlar verecektir.

Granüler zeminlerde killerdeki duruma benzer bazı yöntemler oturmaları hesaplamada olanaklı ise de genellikle bu yol izlenmeyip grup oturması tekil kazık oturma sonucuna göre belirlenebilmektedir. Bu konuda önerilen (2.45) ve (2.46) eşitlikleri kullanılabilir.

$$\frac{S_g}{S} = \left(\frac{4B+3}{B+4} \right)^2 \quad (2.45)$$

$$\frac{S_g}{S} = \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (2.46)$$

S : Tekil kazığın çalışma yükünde sahip olduğu oturma değeri

B : Grup genişliği

S_g : Grup oturması

(2.45) eşitliği NAVFAC ve Canadian Foundation Design Manual tarafından da önerilmektedir. Eşitliğin hem kumlar hem de killerin elastik oturma hesabında kullanılabilmesi belirtilmektedir. Killi zeminlerde önceden açıklanan fiktif temelin konsolidasyon oturma değerinin bu değere eklenmesi gerektiği de ortadadır. Kum ve çakıllar için ampirik olarak (2.47) eşitliği önerilmektedir.

$$\frac{S_g}{S} = \frac{0,92 q \sqrt{BI}}{\bar{N}} \quad q = \frac{Q_g}{A.B} \quad (2.47)$$

N: Kazık ucundan kazık grubunun genişliği B kadar alta uzanan bölgede düzeltilmiş SPT darbe sayısı

I : Etki faktörü (2.48) eşitliği ile belirtilmiştir

$$I = 1 - \frac{L}{8B} \geq 0.5 \quad (2.48)$$

Bu değer siltli kumlar için tahmin edilen oturma değerinin iki katı alınmalıdır. Koni deneyi sonuçlarından ise (2.49) denklemi ile yararlanılabilmektedir.

$$S_g = \frac{q.B.I}{2q_0} \quad (2.49)$$

Hesap aşaması sırasında kullanılacak olan tüm bu yöntemlerin üniform zemin koşullarını kabul ettiği de göz önüne alınmalıdır.

3. KAZIKLARDA ÇEVRE SÜRTÜNMESİ

Kazıklarda meydana gelen çevre sürtünmesi, Coulomb hipotezinden elde edilen (3.1) bağıntısı ile efektif gerilmeler cinsinden hesap edilir.

$$\tau_s = \sigma'_{v0} * K_0 * \tan\delta + C_a \quad (3.1)$$

τ_s : Çevre Sürtünmesi

σ'_{v0} : Kazığın varlığı ihmal edilerek hesaplanan efektif üst tabaka gerilmesi

K_0 = Sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı

δ = Kazık ile zemin arası sürtünme açısı

C_a = Kazık çevresindeki zeminin adezyonu

Çakma kazıklarda, çakma işlemi sırasında zeminde yoğrulma olacağından (3.1) eşitliğindeki C_a terimi sıfır kabul edilir.

Yumuşak kilde efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') ile kazık-zemin arası sürtünme açısı (δ) eşit kabul edilebilir. Eğer normal konsolide bir kil söz konusu ise;

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (3.2)$$

veya

$$K_0 = 0.97 - 0.94 * \sin \phi' \quad (3.3)$$

eşitlikleri söz konusu olur.

K_0 değeri (3.1) eşitliğine yerleştirilirse;

$$\tau_s = \sigma'_{v0} * (1 - \sin \phi') * \tan\delta \quad (3.4)$$

eşitliği elde edilir. [28]

3.1 Çakma kazıklarda kazık çevresi zemin davranışı

3.1.1 Killerin davranışı

Killerde kazık çakımının etkileri:

1. Kazığı çevreleyen zeminin yeniden biçimlenmesi ya da yer değiştirmesi.
2. Kazık yakınındaki zeminde stres değişimleri.
3. Kazık çevresindeki boşluk suyu basıncında dağılıma.
4. Uzun süreli hallerde zeminde stresin geri kazanımı.

Kazık çakılması sırasında aynı hacimde zemin yer değiştirir. Kilin yer değiştirmeye harcanan gerilmesi küçük bir miktar çevre sürtünmesine neden olur. Kazık çakımı sırasında kil zemin sıkışmaz bunun nedeni ise hızlı yükleme altında kilin sıkışmamasıdır. Bu nedenle yüzeyde kabarmalar meydana gelir. Toplam jeolojik yük (zemin yükü + boşluk suyu basıncı) sabittir. Daha sonra kaybedilen zemin yükü, boşluk suyu basıncına eklenir ve aşırı hidrostatik basınç doğar. Zeminin kazık dışına ötelenmesi ne kadar azsa, boşluk suyu basıncındaki artış da o kadar azdır. Zamanla zeminde sızıntı başlar, aşırı yüksek basınçtan alçak basınca yani kazıktan uzağa ve yukarı doğru bir akış meydana gelir, bunu takiben konsolidasyon gerçekleşir. Konsolidasyon sırasında su dışı akış gösterirken kilde kazığa doğru bir hareket gözlenir ve kilde hacim azalması meydana gelir. Suyun bu uzaklaşması ile çevre sürtünmesi koşulları sağlanır. Açılan şaftın kaplanması iyi yapılmadığı takdirde, şaft tabanına doğru su akımı meydana gelir. Bu halde imal edilecek kazık ile kil zeminin temas yüzeyinde yumuşama meydana gelir ve bu yumuşama neticesinde istenilen sürtünme kuvvetinin oluşması engellenebilir. Eğer kazık yumuşaksa, yüzeydeki kesme direnci kazığın az ötesindeki kilin kesme direncinden daha azdır. Kazık, çakımından birkaç hafta sonra çekilirse kazıkla beraber büyük miktarda kil zemin yüzeye gelir. Çakım esnasında boşluk suyu basıncı azalırken zemin gerilmesi artar. Kazıkta nihai yük kapasitesi artışı ile boşluk suyu basıncının zamana bağlı azalması oldukça benzerlik gösterir. Kazık yüzeyindeki boşluk suyu basıncı, efektif jeolojik yüke eşit hatta büyük olabilir. Kazıktan uzaklaştıkça bu değer azalır. Drenajsız mukavemet dokuz ayda orijinal değerine gelir. [2]

Çakma kazıklarda killi zeminlerde, zeminin yumuşak veya sert kil olmasına bağlı olarak kazıkta meydana gelecek çevre sürtünmesi de farklılık göstermektedir. Yumuşak kilde zeminin tiksotropi özelliği nedeniyle çevre sürtünmesinde zamanla artış gözlenir. Sert killerde ise durum daha farklı olmak üzere; çakma işlemi sonrasında ortaya çıkan çatlaklar sonucu boşluk suyu basıncında önemli miktarda sönümlenmeler gözlenir ve çevre sürtünmesinde de zamanla önemli miktarlarda artış gözlenmez. [10]

Killi zeminlerde teşkil edilen sürtünme kazıklarında çevre sürtünmesi, en fazla kilin kayma dayanımı kadar olabilmektedir. Kazık yüzeyi ile zemin arasında meydana gelen adezyon zeminin kayma dayanımından büyük olduğu taktirde bile kazığa zemin dayanımını aşacak derecede bir yük uygulandığında, zemin kazığın zeminle temas yüzeyine yakın bir mesafede kendi içinde yırtılır ve kazığın göçmesine sebebiyet verir. [11]

3.1.2 Kumların davranışı

Kazık çakımı sırasında kumda sıkılaşma ve yatay basınç ile sürtünme açısından artış gözlenir. Çakma sırasında zemin yana itilir, kazığa etki eden yatay strete artış gözlenir.

3.2 Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklarda çevre sürtünmesi

Kum zeminde kohezyon değeri $C_a = 0$ dır. Bu nedenle (3.1) eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\tau_s = \sigma'_{vo} * K_0 * \tan \delta \quad (3.5)$$

Kazık ile zemin arasında meydana gelen sürtünme açısı (δ) Çizelge 3.1.'den faydalanılarak elde edilebilir.

Çizelge 3.1 : Kazık ile zemin arasında meydana gelen sürtünme açısı (δ) değerleri [11]

Kazık- Zemin Temas Durumu	Kazık – Zemin Arası Sürtünme Açısı (δ)
Pürüzsüz ve Kaplanmış Çelik – Kum	0.5 δ' – 0.7 δ'
Kaba (Ondüleli) Çelik – Kum	0.7 δ' – 0.9 δ'
Önceden Dökülmüş Beton –Kum	0.8 δ' – 1.0 δ'
Yerinde Dökülmüş Beton – Kum	1.0 δ'
Ahşap – Kum	0.8 δ' – 0.9 δ'
Zemin içinde Boru Bırakılan Kazıklar	0.7 δ' – 0.85 δ'

Amerikan Petrol Enstitüsü de (API) kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen derin kazıkların çevre sürtünmesi hesabı yapılırken (3.5) formülünün kullanılmasını tavsiye etmektedir. [12]

Bu eşitlikte, meydana gelen çevre sürtünmesinin derinlik arttıkça artacağı öngörülmesine rağmen yapılan deneyler bu durumun pratikte daha farklı olduğunu göstermiş ve bunun sonucunda da bir kritik derinlik kavramı (D_c) ortaya çıkmıştır. [12] Esas sorun bu kritik derinliğin nerede meydana geldiğidir. Bilim adamlarına göre; bu kritik derinlik, kazık çapının 10 ila 40 katı kadar bir derinlikten sonra sabit kalmaktadır. Fakat çok tabakalı zeminlerde bu durum net bir biçimde ifade edilmemiştir.

Çeşitli kaynaklara göre ise, kritik derinliği kum zeminlerde imal edilen kazıklarda kazık çapının 10 ila 20 katı kadar bir derinlikte yer aldığı belirtilmekte kum zeminin sıklığına göre kritik derinlik değerlerinin değişimi aşağıdaki eşitliklerle verilmektedir. [11]

Gevşek kumlar için;

$$D_c = 10 * B \quad (3.6)$$

Orta sıkı kumlar için;

$$D_c = 15 * B \quad (3.7)$$

Sıkı kumlar için;

$$D_c = 20 * B \quad (3.8)$$

Birçok kaynağın kritik derinlik kavramının kullanılmasını tavsiye etmesine karşın, Fellenius (1995), bu yöntemin yanlış bir düşünce olduğunu ve bu durumun da test sonuçlarının yanlış yorumlanmasından kaynaklandığını belirtmiştir. [13]

3.2.1 Beta (β) yöntemi

Bu yöntem efektif stres analizine dayanmakla birlikte esasında iri daneli zeminlerde kısa ve uzun dönemli kazık yük taşıma kapasitesini belirleme amaçlı kullanılmaktadır.

Bu yöntem Burland (1973) tarafından ilk olarak çakma kazıklar için önerilmiştir. [14] Burland, kazık imalatı sırasında kazık shaftı çevresindeki zeminde bulunan kohezyon etkisinin yok olduğunu kabul etmektedir. Yer altı su seviyesinin düşmesi ile sıkışma meydana gelir ve bu sıkışmanın doğurduğu hacim azalması nedeniyle kazık çevresindeki efektif kuvvet kazık imal edilmeden önceki düşey efektif kuvvete en azından eşittir. Yine Burland (1973)'e göre; imal edilen kazığın yükleme sırasında kayma gerilmesinde oluşan asıl değişim, kazık shaftı ile zemin arasındaki ince bir yüzeyde çok hızlı bir drenajın oluşmasına ve kazık imalatı ile kazığın yüklenmesi arasında kalan zaman zarfında yine bu ince yüzeyde hızlı bir drenaj oluşmasına bağlıdır. Hesap yönteminde kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısına (δ) dolayısıyla bir kayma mukavemeti açısına (\emptyset) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle Bowles, bu yöntemi kohezyonsuz zeminler için önermektedir. [14]

Bu yaklaşım ile (3.5) eşitliği elde edilir. Buradan da yola çıkılarak; (3.13) ve (3.14) eşitlikleri elde edilir.

Kazık shaftında çevre sürtünmesi Coulomb'un sürtünme kanunu kullanılarak aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır;

$$f_s = \mu \sigma'_x = \sigma'_x \tan \emptyset'_i \quad (3.9)$$

μ = Sürtünme katsayısı,

σ'_x = Yatay efektif stres,

\emptyset'_i = Kazık- zemin arası içsel sürtünme açısı

Kazık imal malzemesine göre \emptyset'_i değerleri Çizelge 3.2. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : İçsel Sürtünme açısı değerinin malzeme türüne göre değişimi

Malzeme	Çelik	Beton	Ahşap
\emptyset'_i	$\frac{2}{3}\emptyset'_{cs} - 0.8\emptyset'_{cs}$	$0.9\emptyset'_{cs} - 1.0\emptyset'_{cs}$	$0.8\emptyset'_{cs} - 1.0\emptyset'_{cs}$

Bu durumda çevre sürtünmesi aşağıdaki (3.10) eşitliği ile belirlenir;

$$Q_f = \sum_{i=1}^j (\sigma'_x)_i \tan \emptyset'_i * (\text{çevre})_i * (\text{uzunluk})_i \quad (3.10)$$

Yatay efektif stres bir K katsayısı ile düşey efektif stres (σ'_z) orantılı hale gelir. Şu halde (3.12) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$Q_f = \sum_{i=1}^j K (\sigma'_x)_i \tan \phi'_i * (\text{çevre})_i * (\text{uzunluk})_i \quad (3.11)$$

K ve $\tan \phi'_i$ katsayıları yerine β faktörünü yerleştirirsek;

$$Q_f = \sum_{i=1}^j \beta_i (\sigma'_x)_i * (\text{çevre})_i * (\text{uzunluk})_i \quad (3.12)$$

β katsayısı için pek çok ifade öne sürülmüştür. Bunlardan ince daneli zeminler için (Burland, 1973) aşağıdaki ifade kullanılmaktadır.

$$\beta = K \tan \phi'_i = K_0^{oc} \tan \phi'_i = (1 - \sin \phi'_{cs}) (OCR)^{0.5} \tan \phi'_i \quad (3.13)$$

$$\beta = K_0 \tan \delta \quad (3.14)$$

Zemin üzerine üniform sürşarj yükü etkitildiğinde ise yük formüle ilave edilerek (3.15) eşitliği elde olunur. [9]

$$\tau_s = \beta * (\sigma'_{v0} + q_s) \quad (3.15)$$

τ_s = Çevre sürtünmesi

σ'_{v0} = Kazığın varlığı ihmal edilerek hesaplanan üst tabakanın efektif gerilmesi

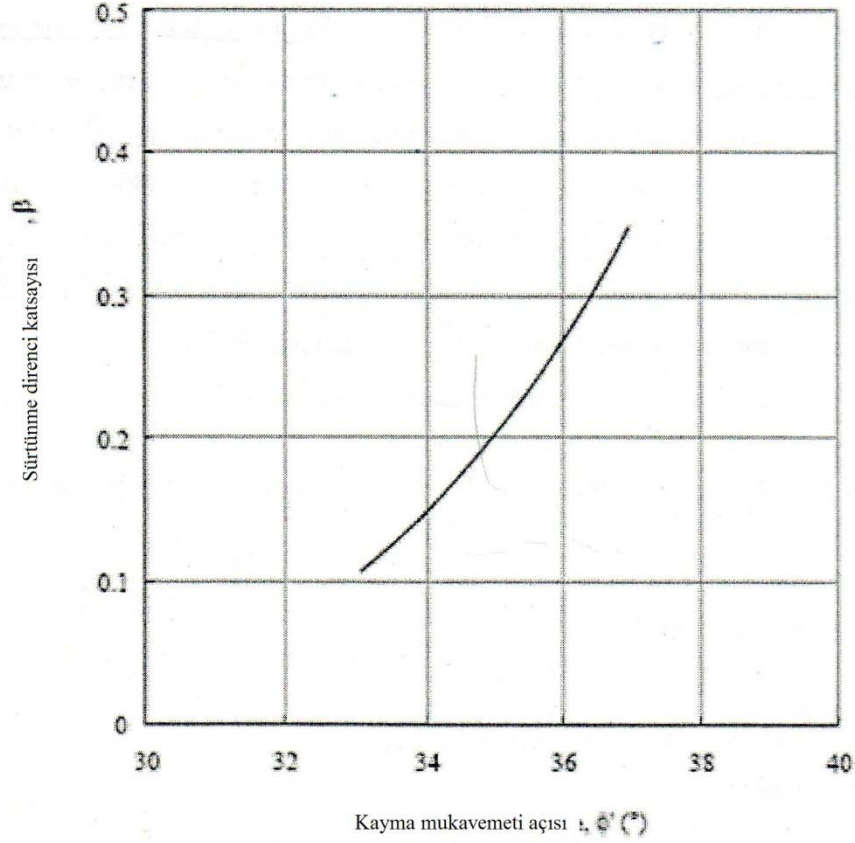
K_0 = Sükunetteki yatak toprak basıncı katsayısı ($K_0 = 1 - \sin \phi$)

δ = Kazık ile zemin arasında meydana gelen sürtünme açısı

β = Sürtünme katsayısı

q_s = Üniform Sürşarj yükü

Bu zamana dek çeşitli bilim adamları bu konu üzerinde çalışmalarını sürdürmüş bir çok kazık yükleme deneyi sonunda geri hesaplama yöntemi ile beta katsayıları üzerinde analiz yapmışlardır. Mayerhof'un 1976'da fore kazıklar için iri daneli zeminlerde yaptığı çalışmayı geliştiren Poulos ve Davis, 1980'de ampirik hesaplamalar için şekil 3.1'de verilen grafiği sunmuşlardır. [28]



Şekil 3.1 : Fore kazıklar için β ve ϕ arasındaki ilişki (PouolosDavis- 1980) [4]

3.3 Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıklarda çevre sürtünmesi

Önceki bölümlerde de değinildiği üzere kazık imalatı sırasında kazığın teşkil edildiği ince daneli zeminde yatay olarak yer değiştirme meydana gelir. Bu sebeple kazık çevresinde ve altında yer alan zeminde örselenme meydana gelmektedir. Örselenmenin sonucu olarak, kohezyonlu ve sert zeminlerde zemin yüzünde kabarma meydana gelirken, konsolidasyonunu henüz tamamlamamış yumuşak zeminlerde ise konsolidasyon oturması meydana gelmektedir.

Aşağıda kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıklarda birim çevre sürtünmesi hesabı için kullanılmakta olan başlıca yöntemler sunulmaktadır. [28]

3.3.1 Alfa (α) yöntemi

Bu yöntem toplam stres analizine dayanmaktadır ve ince daneli zeminlerde teşkil edilen gömülü kazıkların kısa dönemli yüklemelerinde kullanılmaktadır.

α yönteminde, kazık shaftı boyunca bir α_u katsayısı, drenajsız kayma mukavemeti (S_u) ve adeziv veya çevre sürtünmesi stresi (f_s) arasında bağlantı kurmak amacıyla

kullanılmaktadır. Kazığın gömülü uzunluğu boyunca çevre sürtünmesi, (3.16) eşitliğinde de verildiği üzere adeziv veya çevre sürtünmesi stresinin $f_s = \alpha_u S_u$ ve shaft alanının (çevre x gömülü uzunluk) bir ürünüdür.

$$Q_f = \sum_{i=1}^j (\alpha_u)_i (S_u)_i \times (\text{çevre})_i \times (\text{uzunluk})_i \quad (3.16)$$

j = Gömülü kazık boyunca bulunan tabaka sayısı

Homojen bir zeminde teşkil edilen üniform kesitli Silindirik bir kazık için ise aşağıdaki (3.17) eşitliği söz konusudur.

$$Q_f = \alpha_u s S_u \pi D L \quad (3.17)$$

s = Şekil faktörü (yerinde dökme kazıklarda kullanılmaz).

D= çap

L = Kazığın gömülü uzunluğu

Kazıklarda çevre sürtünmesini bulmak için kullanılan α_u değeri deney sonuçlarının tartışmalı değerlendirilmesine bağlıdır. α_u değerini belirlemek için model kazıklarda yapılan pek çok deney üniform yerleşmiş zeminler üzerinde yapılmıştır. Bu laboratuvar deneylerinde ortaya çıkan ana problemler aşağıda sıralanmıştır;

- Laboratuvar model test kazıklarından elde edilen deney sonuçlarının arazi koşullarına adapte edilmesi zordur.
- Arazideki zemin tipleri, laboratuvarda hazırlanan üniform zemin koşullarına kıyasla genellikle üniform olmayan tiptedir.
- Arazide kazık imalatı α_u değerine laboratuvarda tam olarak aynı değer elde edilemeyecek şekilde etki eder.

Gerçek kazıklarda eksiksiz bir arazi deneyi tercih edilir fakat bu deneyler pahalı olmakla beraber uygulanabilirliği sadece deneyin yapıldığı alanla kısıtlıdır. Koni penetrasyon deneyi ve SPT'den elde edilen sonuçlar α_u değerine bağlanabilir fakat bu değerler statik korelasyonlarla bulunmaktadır. Randolph ve Murphy (1985)'nin öne sürdüğü üzere f_s değeri aşağıdaki (3.18) ve (3.19) eşitliklerinden en küçük değeri veren eşitlik kullanılarak elde edilebilmektedir.

$$f_s = 0.5 \sqrt{S_u \sigma'_{z0}} \quad (3.18)$$

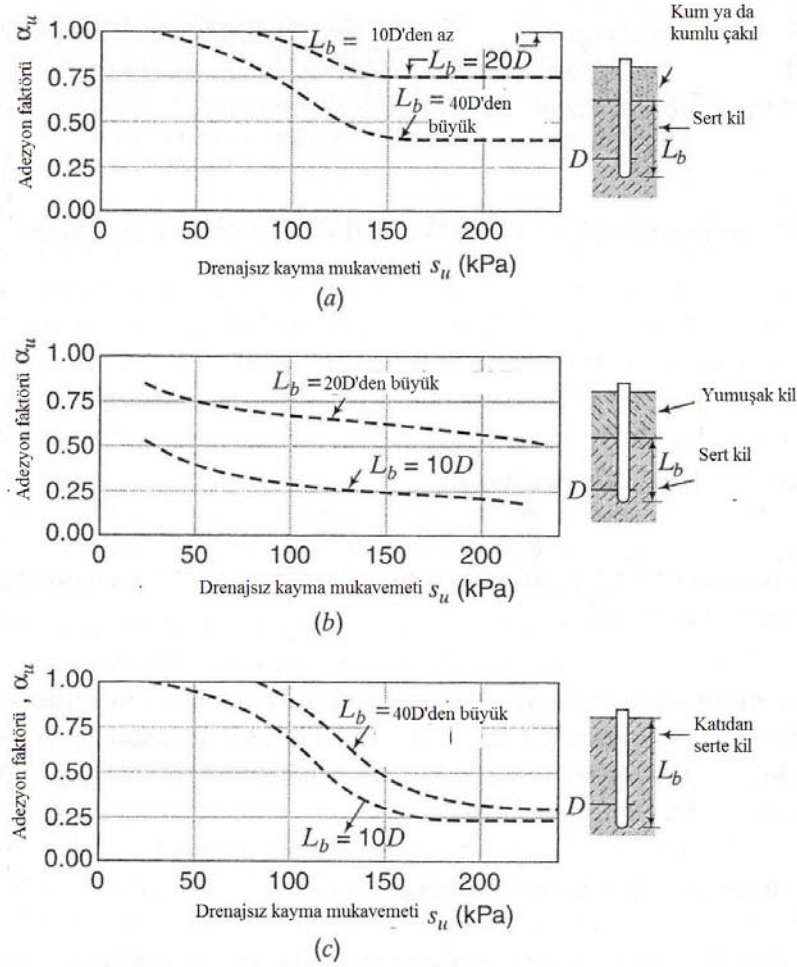
$$f_s = 0.5 S_u^{0.75} (\sigma'_{z0})^{0.25} \quad (3.19)$$

S_u = Drenajsız kayma mukavemeti.

σ'_{z0} = Düşey efektif stres.

Amerikan Petrol Enstitüsü de (API) (3.18) ve (3.19) eşitliklerini kabul etmiştir. Tomlinson (1987) α_u değerinin Şekil 3.2'de ölçülen arazi değerlerine bağlı olduğunu ileri sürmüştür. [9]

Tomlinson (1971)'a göre bu yöntemin ana prensibi kohezyonlu zeminlerde fore kazıklar için yapılacak çevre sürtünmesi (f_s) hesabında kilin drenajsız kayma mukavemetine (S_u) bir (α) azaltma faktörünün etkilmesidir. Bunu sebebi kazığa yakın kesimlerdeki kil zeminde örselenme meydana gelmesi ve yerinde dökülen kazıklarda meydana geldiği üzere kilin gevşemesi, örselenmeden dolayı kazık zemin etkileşiminin (adezyon) zayıflamasıdır. Kazık imalatı sonrasında meydana gelen bu değişiklikler sonucu çevre sürtünmesi de etkilenmektedir.



Şekil 3.2 : İnce daneli zeminler için α_u değerleri (Tomlinson 1987)

Bazı kaynaklarda ise adezyon faktörü hesabında, kilin drenajsız kohezyon değerinin 25kN/m^2 ile 90kN/m^2 arasında olması halinde 3.20 denkleminin kullanılması gerektiği, daha büyük değerler için Çizelge 3.3'te verilen değerlerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. [11]

$$\alpha_i = 1 - 0.00615 (c_{ui} - 25) \quad (3.20)$$

Çizelge 3.3 : Drenajsız kohezyon değerlerine bağlı adezyon katsayıları

C_{ui} değeri	α_i değeri
90	0.60
100	0.58
150	0.42
200	0.35

Çakma kazıklar için kazık teşkili esnasında zeminde örselenme meydana geleceğinden kritik hal drenajsız kayma mukavemeti kullanılabilir.

Gömülü derinlik boyunca çevre sürtünmesinde azalma gözlenir. Kolk ve Van der Velde (1996) tarafından gömülme için aşağıdaki (3.21) eşitliği ile bir hesap yaklaşımı öne sürülmüştür. [9]

$$f_s = 0.55 S_u^{0.7} (\sigma'_{z0})^{0.3} (40/L/D)^{0.2} \quad (3.21)$$

3.3.2 Lamda (λ) yöntemi

Bu yöntem, Vijayvergia ve Focht (1972) 'un diğer ampirik yöntemlere benzer şekilde çeşitli kazık yükleme deneylerinin geri hesaplanması sonucu ortaya koydukları bir yöntemdir. Bu yöntemin aşırı konsolide killerde teşkil edilecek kazıkların dizaynı için elde edilen çevre sürtünmesi değeri ile kazık yükleme sonucunda elde edilen değer arasında %10'luk bir yanılma ile sonuç verdiği belirtilmektedir. [14] Bu yöntemin ilk gelişimi Amerika Birleşik Devletleri'nde kıyıda uzakta teşkil edilen petrol istasyonlarının aşırı konsolide kil zeminlere oturtulması ile başlamıştır. Daha sonraları bu yöntem başka ülkelerde de uygulanmış, başarılı sonuçlar vermiştir.

(3.22) eşitliğinde de görüldüğü üzere bu yöntem alfa (α) ve beta (β) yönteminin (drenajsız kohezyon ve efektif kuvvet etkileri olmak üzere) tüm etkilerini içermektedir.

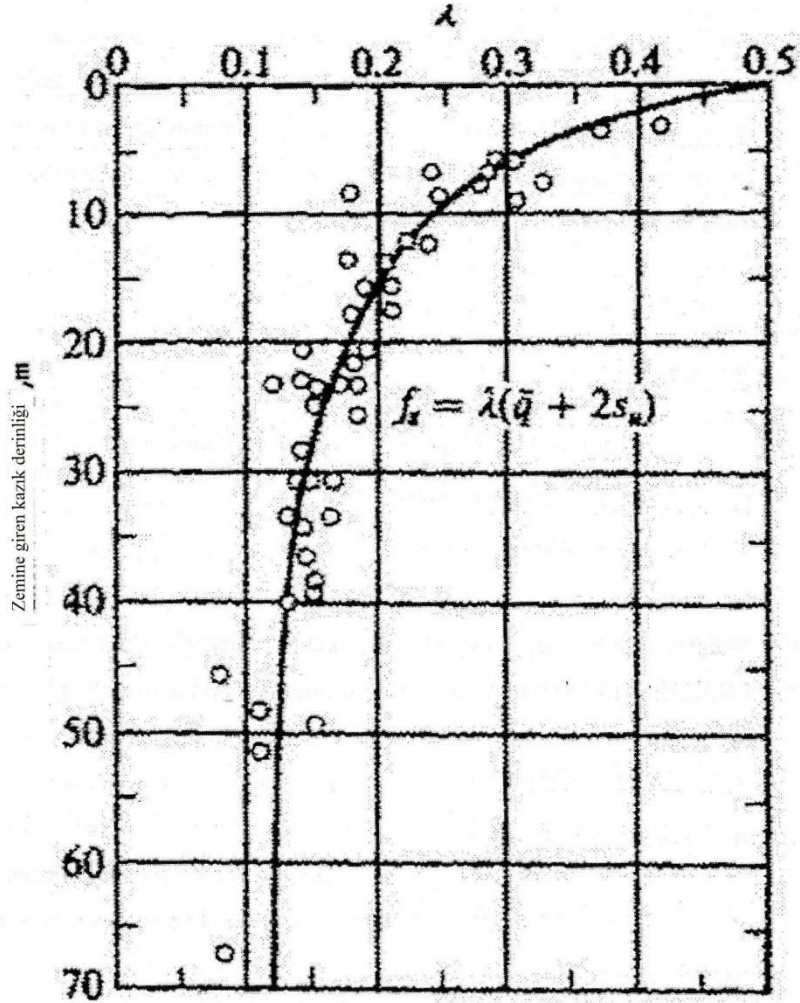
$$\tau_s = \lambda (\sigma'_{vo} + 2* c_u) \quad (3.22)$$

τ_s = Çevre sürtünmesi

σ'_{vo} = Kazığın varlığı ihmal edilerek hesaplanan ortalama düşey efektif gerilme

c_u = Ortalama drenajsız dayanım ($\emptyset = 0$ hali)

λ = sürtünme kuvveti katsayısı (Şekil 3.3'ten elde edilir.)



Şekil 3.3 : Sürtünme kuvveti katsayısı (λ) (Vijayvergia ve Focht – 1972) [6]

Lamda yöntemi 15 metreden kısa kazıklarda, normal konsolide ve aşırı konsolide killerde yüksek değerler vermektedir. En küçük lamda değeri 0.4'tür. Bu yöntemdeki ana unsur, kazık imalatı sırasında zeminin üst kısımlarının daha fazla etkiye maruz kalması nedeniyle kazık sürtünmesine olan katkılarının alt tabakalara göre daha az olmasıdır. [14]

3.3.3 Beta (β) yöntemi

Bu yöntem, efektif stres analizine dayanmaktadır ve ince daneli zeminlerde uzun dönemli kazık yük taşıma kapasitesini belirleme amacıyla kullanılmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıkların çevre sürtünmesini belirlemede de bu yöntemden bahsedilmiştir. Bowles (1996) tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilmiştir. Yine bu yöntem aynı zamanda da Burland (1973) tarafından sert killerde de önerilmiştir. Sert killerde kazık imalatı sırasında kazık çevresindeki kilde örselenme meydana gelmesi ve bu örselenme nedeniyle oluşan kılcal boşluklardan boşluk suyunun hızlı drenajı nedeniyle kazığın çevre direncinin efektif gerilmeler cinsinden ele alınması önerilmiştir. [15] Bu yöntemde göre kazık çevresinde meydana gelen birim sürtünme (3.23) ve onu takiben (3.24) eşitliğinde belirtilmiştir.

$$f = \sigma'_v * \beta \quad (3.23)$$

$$\beta = K * \tan \Phi'_r \quad (3.24)$$

Φ'_r = Örselenmiş kilin efektif (drenajlı) içsel sürtünme açısı

K = Yanal Toprak basıncı katsayısı

σ'_v = Düşey efektif gerilme

Yanal toprak basıncı katsayısı (K) değeri, (3.2) ve (3.3) eşitlikleri (3.22) ifadesinde yerine konulursa, normal konsolide killer için (3.25) eşitliği, aşırı konsolide killer için (3.26) eşitliği elde edilir. [11]

$$f = (1 - \sin \Phi'_r) * \tan \Phi' * \sigma'_v \quad (3.25)$$

$$f = (1 - \sin \Phi'_r) * \tan \Phi'_r * \sqrt{OCR} * \sigma'_v \quad (3.26)$$

Çizelge 3.4'te arazi kazık yükleme deneyleri sonuçlarından elde edilen değerlerin geriye dönük analizleri yapılmasıyla β katsayıları için verilen bazı değerler yer almaktadır. [11]

Çizelge 3.4: Kazık yükleme deneylerinden elde edilmiş Beta katsayıları (β) [11]

	Su içeriği	(PI)	Direnç (kPa)	β
Katı Kil	23	35-55	120	0.44
Katı Kil	25	20-60	120	0.62
Masif Şeyl	15	7-16	500	0.64
Katı Kil	-	-	110	0.52
Katı Kil	19	36-46	140	0.30

Burland ve Twine (1989), aşırı konsolide killerde teşkil edilen fore kazıklar üzerinde yaptıkları bir çok deneyin sonucunda, kazık çevre sürtünmesi değerinin efektif kuvvetlerce hesaplanmasında kullanılan kayma mukavemeti açılarının, örselenmiş kilin drenajlı içsel sürtünme açısına karşılık geldiğini veya çok yakın olduğunu kanıtlamışlardır. [15]

Kohezyonlu zeminlerde drenajsız durumu göz önünde bulunduran yöntemler ile efektif kuvvetler cinsinden hesaplanmasını sağlayan yöntemlerin hepsi kullanılabilir. Drenajsız durum için hesap yapan ampirik yöntemler kazık imalatının yapılacağı bölge zemininde yapılmış olan doğru test sonuçları sayesinde doğru sonuç verebilir. Kazıkların imalat sonrası kazı, yer altı u seviyesinde değişme gibi önemli zemin gerilmesi değişikliklerine maruz kalması durumunda, efektif kuvvet yöntemiyle hesabın yapılması, gerilmelerin değişmesi nedeniyle yanal toprak basıncı katsayısındaki değişimlerin de hesaba katılmasının sağlanması açısından önerilmektedir. [15]

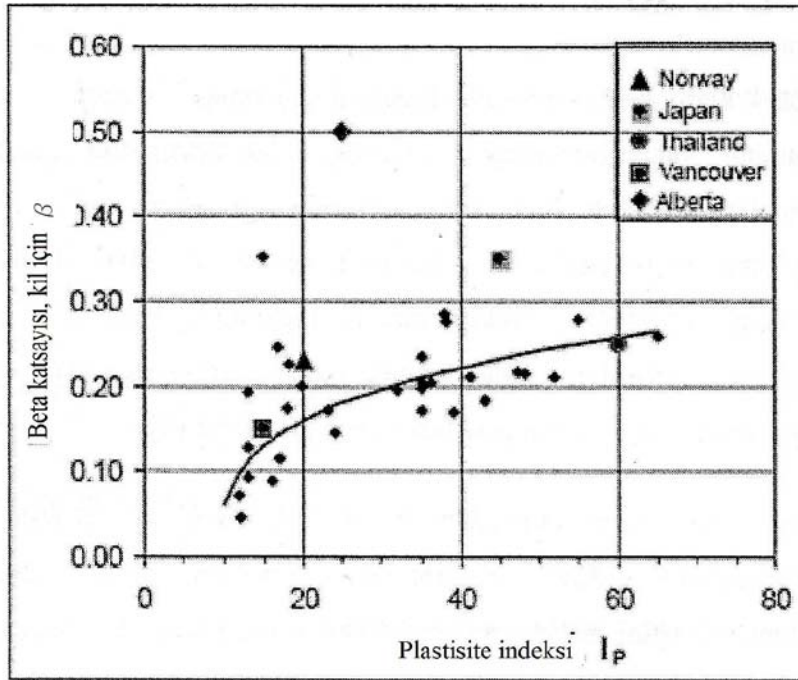
Fellenius (2006) da efektif kuvvetler cinsinden hesaba dayanan bu yöntemi önermekle beraber bazı durumlarda da formülün içine efektif kohezyonun da eklenebileceğini belirtmektedir. Bunu yanı sıra, çakma kazıklarda bu efektif kohezyonun hesaba dahil edilemeyeceğini fakat yerinde imal edilen fore kazıklarda bu efektif kohezyon değerinin hesaba dahil edilmesinin kullanışlı olabileceğini belirtmiştir. [13]

Fellenius (2006), Burland'ın önerdiği bu beta katsayılarının (β) zeminin derecelenmesine, mineralojik kompozisyonuna, birim hacim ağırlığına, istifleme dönemine (yaşına) ve serbest basınç dayanımına göre değiştiğini belirtmiştir. Çizelge 3.5'te bu değerler belirtilmektedir. [13]

Çizelge 3.5 : Fellenius (2006)'a göre Beta katsayıları (β) değerleri

Zemin tipi	Phi (Φ)	Beta (β)
Kil	25-30	0.15-0.35
Silt	28-34	0.25-0.50
Kum	32-40	0.30-0.90
Çakıl	35-45	0.35-0.80

Fellenius (2006), Beta Katsayılarının (β) çok farklı değerlerde önerilebildiğini, bu farklılığın öneren kişilerin yaptıkları incelemelerin uygulandıkları zemin durumlarının farklılığından kaynaklandığını belirtmiş, farklı değerlerde birkaç Beta (β) değer grafiği sunmuştur. Bunlardan biri de şekil 3.4'te görülen kil zeminlerde plastisite indeksine karşılık gelen Beta (β) değerlerini vermektedir. [13]



Şekil 3.4 : Killerde Plastisite indeksine karşılık gelen beta katsayıları (Clausen et al (2005) Fellenius (2006)) [13]

4. KAZIKLARDA OTURMA

4.1 Kohezyonsuz Zeminlerde Tekil Kazık Oturması

Kazıklı temellerin oturma tahmini biraz karmaşıktır bunun sebepleri;

1. Kazık teşkili sırasında yönleme bağlı olarak meydana gelen stresin çalkantı ve değişiklik göstermesi,
2. Kazıktan zemine aktarılan yük miktarı dağılımının kesin olmayışıdır.

Vesic, 1977; Sahrma ve Joshi, 1988; çevre sürtünmesinin meydana gelmesi için yer değiştirmenin 10mm'yi geçmeyeceğini bulmuşlardır. Kazık uç direncini meydana getirecek yer değiştirmenin büyük olması gerektiği gibi bu durum zemin tipine ve kazık çeşidi ve boyutuna bağlıdır. Bu halde nihai çevre sürtünmesi uç sürtünmesinden çok daha erken meydana gelir. Buna ek olarak yük transfer mekanizması kazık uzunluğuna ve yük aşamalarına bağlıdır. Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıklarda oturma miktarının belirlenebilmesi için üç yöntem önerilmiştir; [2]

1. Yarı-ampirik yöntem
2. Ampirik yöntem
3. Kazık yükleme deneyleri

4.1.1 Yarı Ampirik Yöntem

Vesic, 1977 'e göre tasarım amaçlarına yönelik olarak kazık oturması aşağıdaki (4.1) eşitliği ile üç parça halinde gösterilebilir;

$$S_t = S_s + S_p + S_{ps} \quad (4.1)$$

S_t = Tekil kazık için toplam kazık başı oturması

S_s = Kazık çevresinin düşey deformasyonuna bağlı oturma

S_p = Kuyu boyunca yük transferinin neden olduğu oturma

Bu üç faktör ayrı ayrı değerlendirilir ve bir araya getirilirse, aşağıdaki (4.2) eşitliği halini alır.

$$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s Q_{fa})L / (A_p E_p) \quad (4.2)$$

Q_{pa} = Çalışma stres alanında kazık ucuna nakledilen gerçek uç veya nokta yük

Q_{fa} = Çalışma stres alanında kazık ucuna nakledilen gerçek çevre sürtünmesi

L = kazık uzunluğu

A_p = Kazık kesit alanı

E_p = Kazığın elastisite modülü

α_s = Kuyu boyunca meydana gelen çevre sürtünmesine bağlı bir katsayı

Çevre sürtünmesi dağılımı şekli deney sırasında kuyudaki sürtünmenin monitöre aktarılması ile mümkün olabilmektedir. Vesic (1977), üniform veya parabolik çevre sürtünmesi dağılımı için $\alpha_s = 0.5$ üçgen çevre sürtünmesi dağılımı için $\alpha_s = 0.67$ değerlerini önermiştir.

Aşağıdaki denklemler zemin özellikleri ve nihai uç direnci (q_p) arasında teorik analizlere ve ampirik korelasyonlara bağlı olarak Vesic (1977) tarafından oluşturulmuştur C_p değerleri Çizelge 4.1'den alınabilir. [2] (4.3) ve (4.4) eşitlikleri yardımıyla (4.5) eşitliği elde edilir.

$$S_p = C_p Q_{pa} / (B q_p) \quad (4.3)$$

$$S_{ps} = C_s Q_{fa} / (D_f q_p) \quad (4.4)$$

C_p = Ampirik katsayı

$$C_s = 0.93 + 0.16 \sqrt{D_f / B} \cdot C_p \quad (4.5)$$

Q_{pa} = Çalışma şartları altında veya izin verilebilir halde net nokta yük

Q_{fa} = Çalışma şartları altında veya izin verilebilir halde kazık shaft yükü

q_p = Nihai uç taşıma gücü kapasitesi (kuvvet/alan)

B = Kazık çapı

$D_f = L$ = Gömülü kazık uzunluğu

Çizelge 4.1 : C_p katsayısının tipik değerleri (Vesic, 1977)

Zemin tipi	Çakma kazıklar	Gömülü kazıklar
Kum(sıkıdan gevşeye)	0.02-0.04	0.09-0.18
Kil (sertten yumuşağa)	0.02-0.03	0.03-0.06
Silt (sıkıdan gevşeye)	0.03-0.05	0.09-0.12

Bu hesap yönteminde, kazık ucunun altındaki taşıyıcı tabakanın en azından 10 kazık çapı kadar altında olduğu var sayılmaktadır. [2]

4.1.2 Ampirik yöntem

Yer değiştirme kazıklarında oturma aşağıdaki (4.6) bağıntısı ile hesap edilebilir (Vesic, 1970); [2]

$$S_t = \frac{B}{100} + (Q_{va}L)(A_p E_p) \quad (4.6)$$

S_t = Kazık başlığında oturma

B = Kazık çapı

Q_{va} = Uygulanan kazık yükü

A_p = Kazık kesitinin alanı

L = kazık uzunluğu

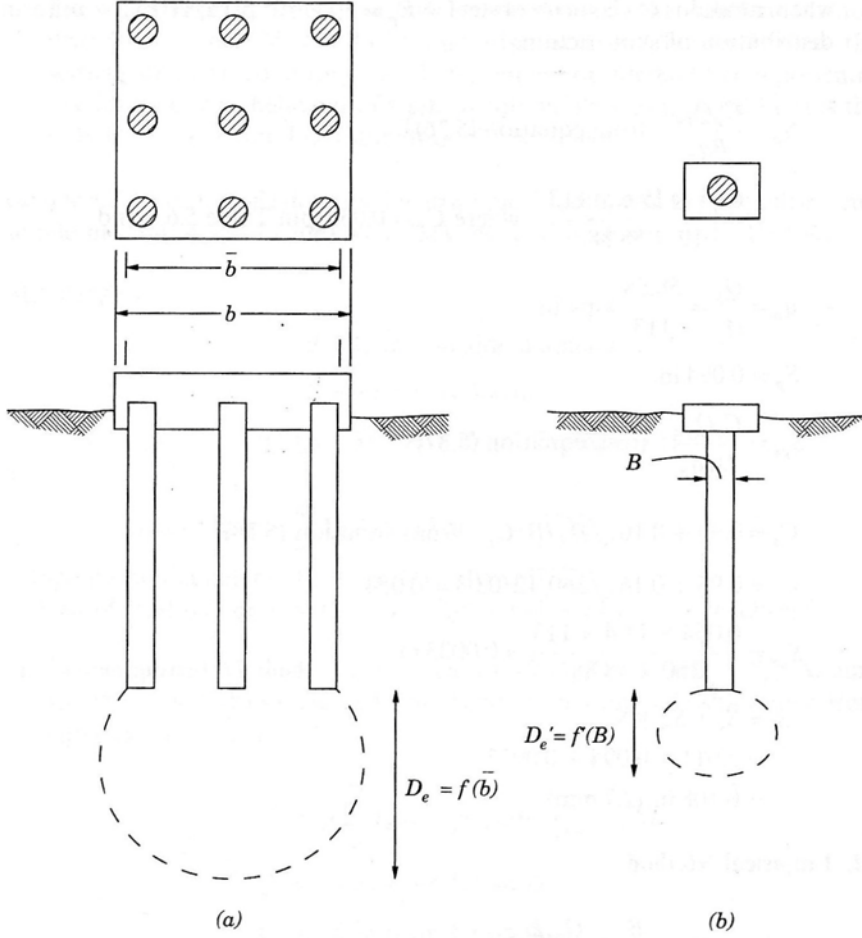
E_p = Kazığın elastisite modülü

4.1.3 Kazık yükleme deneyleri

Eğer kazık yükleme deneyleri ASTM D1143-81'e göre yapılırsa yükleme sırasındaki oturma değerleri kazığın uzun dönem davranışlarında temsilci olabilir.

4.2 Kohezyonsuz Zeminlerde Kazık Gruplarında Oturma

Kazık başına eşit yük verilmesi halinde ve kazık gruplarının etki derinliğinin (D_e) tekil kazığın etki derinliğine (D_e') kıyaslandığı halde (Şekil 4.1) kazık grubunun oturma değeri (S_G) normal olarak tekil bir kazığın oturma değerinden (S_t) daha büyüktür. [2]



Şekil 4.1 : Kazık grubunun ve tekil kazığın etki derinliği, a) Kazık grubunda oturma için etki derinliği, b) Tekil kazıkta oturma için etki derinliği

Kazık gruplarının oturma hesabı için genel bir teori mevcut olmamakla beraber, birçok büyük yaklaşımlarla ampirik ya da yarı ampirik yöntem geliştirilmiştir.

Tasarım amaçlı olarak, bu yöntemlerin en basiti aşağıdaki (4.7) bağıntısında yer almaktadır (Veisic, 1977); [2]

$$S_G = S_t \sqrt{(b/B)} \quad (4.7)$$

S_G = Kazık başına tekil kazığın yüklendiği kadar yük düşen grup kazıklarında oturma değeri

S_t = Kazık yükleme deneylerinden elde edilmiş tekil kazık için oturma değeri

b = Kazık grubunda, kazıklar arası mesafe (minimum)

B = Kazık çapı

Kazık gruplarında oturmanın belirlenmesi için benzer bir ampirik yaklaşım da Skempton (1953) tarafından sunulmuştur. Fakat bu yöntem pratikte pek kullanılmamaktadır. (4.7) eşitliği kazık gruplarında yükleme deneyleri verileri yokluğunda mühendislik pratiğinde kullanılabilir. Aynı zamanda da kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının oturma hesabında da kullanılmaktadır. (Foundation and Earth Structures Design Manual DM 7-2, 1982 ve Canadian Foundation Engineering Manual, 1985) [2]

Mayerhof (1976) kohezyonsuz zeminlerde teşkil edilen kazıklı temellerin toplam oturma hesabında standart penetrasyon deney verilerini (N) ve statik koni penetrasyon deney verilerini (q_c) kullanmıştır;

1. Standart penetrasyon deneyi değerleri (N)'ne bağlı olarak (4.8) bağıntısında verilmiştir;

$$S_G = 2p \sqrt{(bI/N)} \quad (4.8)$$

p = net temel basıncı (ton/cm²)

b = kazık grubu aralığı, (cm)

N = ortalama düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi değerleri (0,3 m'den düşüş değerleri)

$$I = [1 - D_f/8b] \geq 0.5 \quad (4.9)$$

D_f = Taşıyıcı tabakanın efektif derinliği = Kazık uzunluğu

2. Statik koni penetrasyon deneyi değerleri (q_c)'ne bağlı olarak (4.10) bağıntısında verilmiştir;

$$S_G = pbl/(2qc) \quad (4.10)$$

Tüm bu yaklaşımlar etki derinliğindeki zeminin üniform olduğu heler için geçerlidir. Bu yöntemlerin hiç birisi kazık grupları oturma hesabında titiz bir yaklaşım göstermemektedir. Sadece kazık yükleme deneyleri oturma yaklaşımları için güvenilir sonuçlar vermektedir. [2]

4.3 Kohezyonlu Zeminlerde Tekil Kazık Oturması

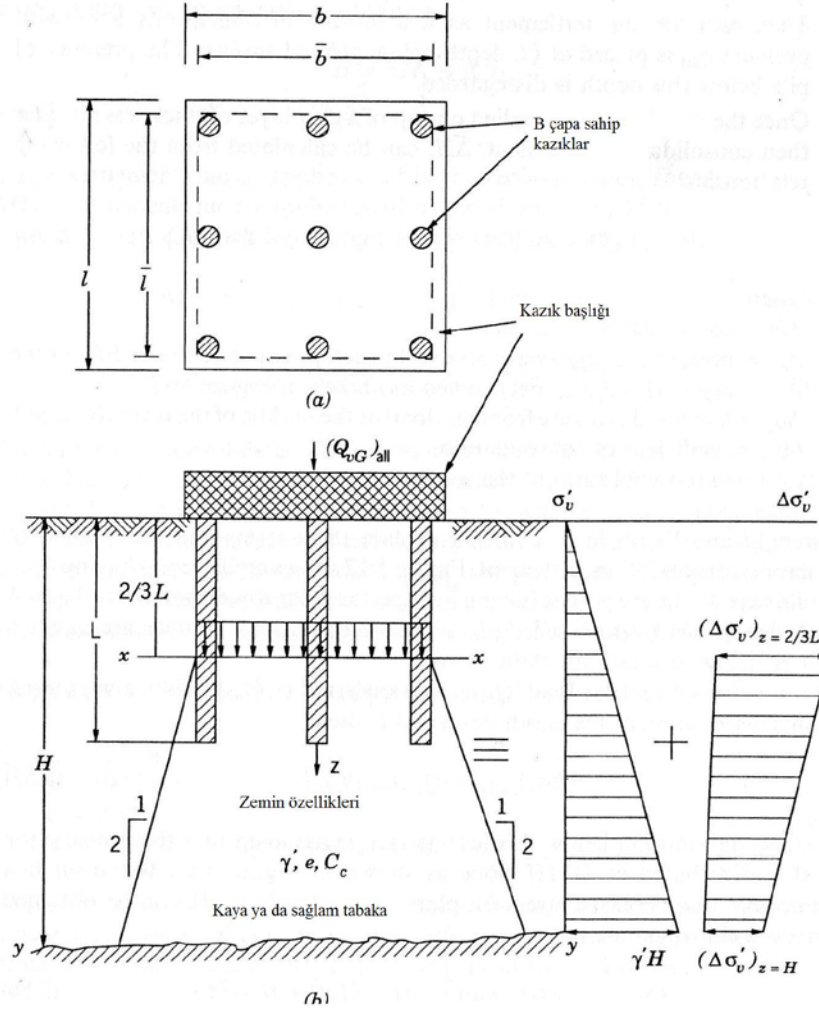
Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazıklarda oturma öncelikle aşağıdaki iki temel etkenin toplamından oluşmaktadır;

1. Yük uygulandığında kısa dönemli oturma
2. Yüklerin dağılmaya başlamasıyla aşırı boşluk suyu basıncında azalmayla beraber dereceli olarak meydana gelen uzun dönemli konsolidasyon oturması.

Genellikle, kısa dönemli oturma kohezyonlu zeminin elastik sıkışmasından meydana gelir. Oturmanın bu parçası, kısmi doygun ve aşırı konsolide doygun zeminlerde toplam oturmanın önemli bir kısmını meydana getirir. Aşırı konsolide zeminler, geçmiş efektif jeolojik yükleri şu anki jeolojik yüklerinden büyük olan zeminlerdir. Burada kısa dönem oturma hesaplarında kohezyonsuz zeminlerde oturma hesabı kullanılabilir. [2]

4.4 Kohezyonlu Zeminlerde Kazık Gruplarında Oturma

Kohezyonlu zeminlerde teşkil edilen kazık gruplarının oturma hali biraz karmaşıktır. Şekil 4.2'te bu durum için basit bir yöntem gösterilmektedir. [2]



Şekil 4.2: Kilerde teşkil edilen sürtünme kazıklarında stres dağılımı, a) plan b) kesit

Bu yaklaşım aşağıdaki kabullere bağlıdır:

1. İzin verilebilir zemin basıncı $= q_{all} = (Q_{vG})_{all} / (b' * l')$ b' ve l' kazık grubunun kazık ucundaki mesafeleridir.
2. İzin verilebilir zemin basıncı (q_{all}) yüzeyden $(2/3)L$ kadar aşağıya transfer edilir. Bu derinliğin altındaki oturmaların küçük olduğu varsayılır ve ihmal edilir.
3. Bu şekilde $b * l$ ölçülerine sahip bir temelin, izin verilebilir zemin basıncının yüzeyden $(2/3)L$ kadar aşağıya transfer olduğu halde oturma hesabı belirlenir.
4. Öncelikle q_{all} basıncı kilin üst katmanına, $(H - 2/3L)$ kadar bir kalınlığa uygulanır, daha sonra da konsolidasyon oturması ΔH aşağıdaki (4.11) eşitliğinden hesaplanır.

$$\Delta H = \left[\frac{C_c}{1+e_0} \right] \left[H - \frac{2}{3L} \right] * \log_{10} \left[\frac{\sigma'_{v} + \Delta \sigma'_{v}}{\sigma'_{v}} \right] \quad (4.11)$$

ΔH = Konsolidasyon oturması

σ'_v = Tabakanın orta noktasında (H-2/3L) Şekil 15'te de gösterilmiş olan efektif jeolojik yük.

$\Delta\sigma'_v$ = Tabakanın orta noktasında (H-2/3L) kazık yükünden artırılmış basınç.

C_c =Konsolidasyon katsayısı.

e_0 = Zeminin nihai boşluk suyu basıncı

Şekil 5.2'de b x l boyutlara sahip kazık grubu alanı görülmektedir. 9 adet kazıktan oluşan kazık grubunda her bir kazığın boyu L'dir. Kazık grubunun oluşturduğu dikdörtgen alan b' x l' olarak gösterilmiştir. Alttaki taşıyıcı tabakaya kadar olan mesafe H kil'dir. [2]

Eğer $(Q_{vG})_{all}$ yükünün yüzeyden 2/3L kadar mesafeye kadar etkidiği varsayılırsa bu derinlikte (x x) artırılmış stres (4.12) eşitliğinde verilmiştir;

$$(\Delta\sigma'_v)_{z=\frac{2}{3}L} = \frac{(Q_{vG})_{all}}{b' * l'} \quad (4.12)$$

Bu derinlik (x x) altında stres dağılımı, 2V:1H eğrisinde dağıldığı varsayılmaktadır. Bu yaklaşıma göre; yy tabakasında z = H derinliğinde artırılmış stres aşağıdaki(4.13) bağıntısı ile bulunur;

$$(\Delta\sigma'_v)_{z=H} = (Q_{vG})_{all} / (b' + H - \frac{2}{3}L)(l' + H - \frac{2}{3}L) \quad (4.13)$$

xx ve yy arasındaki herhangi bir mesafede stres artışları interpolasyon yöntemiyle bulunabilir. Bu kazık grubunun konsolidasyon oturmasının bağlı olduğu uygulanan yük; $(Q_{vG})_{all}$ 4.9 eşitliğinden elde edilebilir. Bu eşitlikte σ'_v o anki efektif düşey basınç, $\Delta\sigma'_v$ (4.12) ve (4.13) eşitliklerinden elde edilebilir. C_c ve e_0 laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin parametreleri, H ise kil tabakasının kalınlığıdır. Fakat (4.10) eşitliği yalnızca normal konsolide killerde kullanılabilir. Aşırı konsolide killer için oturma hesabı (4.14) eşitliğinde olduğu üzere oturma'nın iki bileşene ayrılması ile bulunur; [2]

$$H = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (4.14)$$

ΔH_1 = Geri basınç zonunda uygulanan yüke bağlı oturma.

ΔH_2 = Bakir eğri zonunda uygulanan yüke bağlı oturma.

ΔH_1 ve ΔH_2 de aşağıdaki (4.15) ve (4.16) bağıntıları ile belirlenir;

$$\Delta H_1 = [C_r/(1 + e_0)][H - 2/3L]\log_{10}[P_c/\sigma'_v] \quad (4.15)$$

$$\Delta H_2 = [C_c/(1 + e_0)] [H - 2/3L]\log_{10} [(\sigma'_v + \Delta\sigma'_v)/P'_c] \quad (4.16)$$

Yüksek derecede aşırı konsolide killer için, uzun dönemli konsolidasyon oturmaları söz konusu değildir. Bu nedenle sadece kısa dönem oturmaları hesaplanmaktadır. Bunun nedeni; P_c değerlerinin çok yüksek olması, $\Delta\sigma'_v$ değerine bağlı ek basıncın konsolidasyon oluşmamasıdır.

Zeminler konsolide olmamışsa, kendi ağırlıkları altında otururlar ve kazık shaftında aşağı doğru bir kuvvet halinde tesir eder. [2]

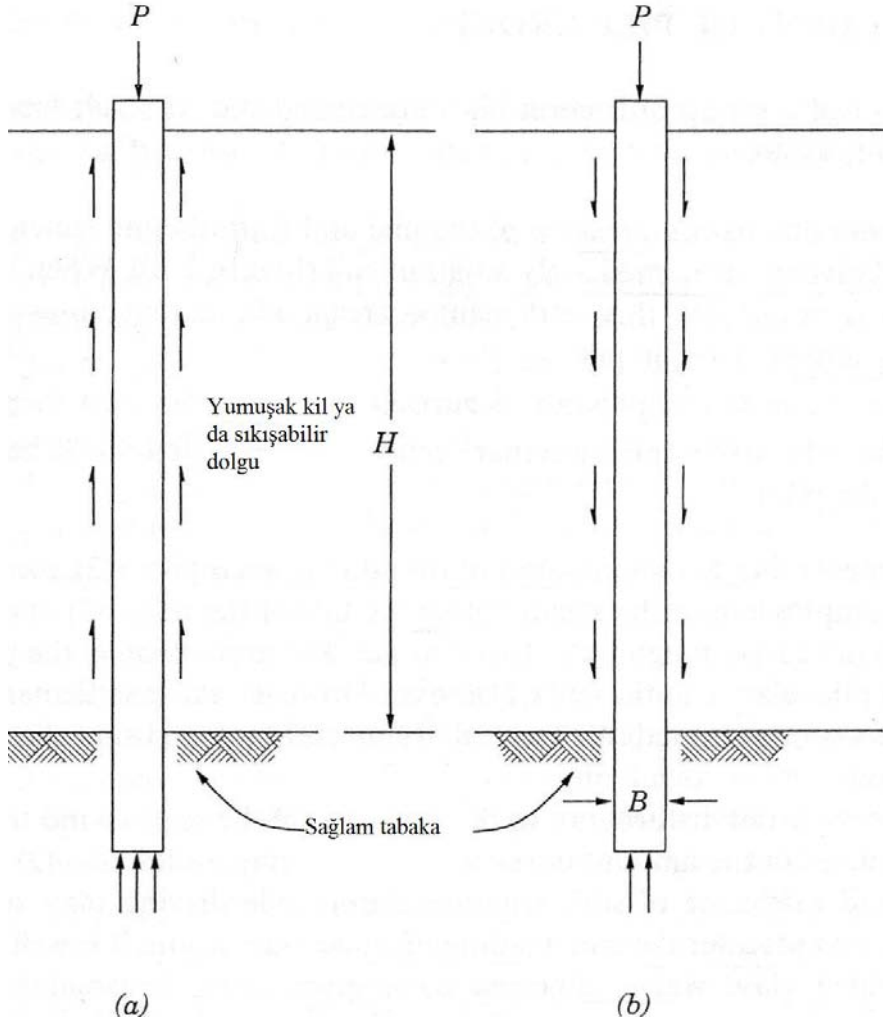
5 . KAZIKLARDA NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ

Üst yapıdan temele aktarılacak yüklerin fazla olduğu durumlarda, yapının üzerine inşa edileceği zeminin taşıma gücü yetersiz kalabilmektedir. Bu halde yük kazılar aracılığı ile sağlam zemine transfer edilir. Bunun mümkün olmadığı hallerde, zemin kazıklı temellerle desteklenir, yapı yükü kazıklara taşıtılır. Uç kazığı ve sürtünme kazığı olarak sınıflandırılan kazıklar önceki bölümlerde anlatıldığı üzere bir takım kazık formülleri ile hesaplanır ebatları tespit edilir. [28]

Kazığın yumuşak kil zemine veya henüz yeni yerleştirilmiş dolgu zemine teşkil edilmesi halinde ve kazık ucunun sağlam zemine dayanması halinde kazığın yüklenmeye başladığı andan itibaren hem kazıkta hem de zeminde oturma meydana gelecektir. Yükleme sırasında ve sonrasında uygulanan yükün belirli bir miktarı kazık – zemin arasında meydana gelen adezyon tarafından emilmektedir. Bu durum Şekil 5.1.a’da gösterilmektedir. Fakat yumuşak kilin konsolidasyonunun ilerlemesiyle birlikte tüm yük kazık ucuna doğru iletilir. [2]

Dolgu söz konusu olduğunda ise dolgunun oturma değeri kazığın oturma değerinden büyük olabilmektedir. Kazıklar, genellikle derin dolguların mevcut olduğu arazilerde teşkil edilen yapıları desteklemek amacıyla gereklidirler. Bu kazıklar dolgu içinden geçirilerek bu tabakaların altındaki doğal taşıyıcı tabaka veya kayaya soketlenmiş kazıklardır. Dolgu boyunca kazık şaftında meydana gelecek çevre sürtünmesinin yol açacağı sıkıştırıcı kuvvetler için bir destekleyici sistem bulunmadığı varsayılmaktadır. Bunun nedeni dolgunun, kendi ağırlığı altında sıkışmasıyla ya da yukarıdaki zeminin ağırlığı altında sıkışmasıyla ya da dolgu alanı üzerine yerleştirilmiş sürşarj yükü neticesinde aşağı doğru hareketidir. Bu aşağı doğru hareket düşey yönde çekim kuvvetlerinin doğmasına neden olur ki bu durum kazık şaftında meydana gelen *negatif çevre sürtünmesi* olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda dolgunun sıkışabilir bir tabaka üzerine yerleştirilmesini takiben doğal

zemin konsolidasyona başlamakta ve kazığa ters yönde düşey hareket meydana gelmektedir. Bunun sonucunda shaft uzunluğu boyunca dolgu ve doğal zemin içerisinde kazık- zemin arasında negatif çevre sürtünmesi meydana gelmektedir. (Şekil 5.1.b)



Şekil 5.1 : Sağlam tabakaya mesnetlenmiş yumuşak tabaka içinde teşkil edilen kazıklar; a) Aniden ve kazık imalatı sırasında gelişen çevre sürtünmesi, b) Negatif çevre sürtünmesi

Kohezyonlu ve yumuşak kıvamlı zeminlerde ve gevşek dolgu tabakalarında meydana gelen en önemli sorun, negatif çevre sürtünmesinin bu tür zeminlerde zamanla meydana gelmesidir. Bu nedenle bu tür zeminlerde kazıkların taşıma gücüne sürtünme kuvvetlerinin katkıda bulunacağı beklenmemelidir; tam tersi, konsolidasyon oturması nedeniyle negatif çevre sürtünmesi kazıklara olumsuz yönde etki ederek, kazıklarca taşınacak yapı yüküne ilave bir yüke neden olacak ve kazıkların taşıma gücünün azalmasına hatta hasar görmesine yol açacaktır.

Bu sıralanan bilgiler ışında negatif çevre sürtünmesinin başlıca sebeplerini özetlemek gerekirse; [16]

1. Kendi ağırlığı altında henüz konsolidasyonunu tamamlamamış yumuşak zeminlerde kazık teşkili,
2. Yer altı su tablasının aşağı çekilmesi,
3. Sıkışabilen bir zemin tabakasında herhangi bir sebeple ilave boşluk suyu basıncı ortaya çıkması, boşluk suyu basıncında artış,
4. Sıkışabilen bir zemin tabakası içine kazık imal edilmesi ve bu zemin tabakasının üzerinde yeni bir dolgu oluşturulması veya granüler bir zemin tabakası üzerine sıkışabilir bir dolgu teşkili ve bu zemin yapısının içine kazık imalatı,
5. Kazıklı temele komşu alanda dolgu yapılması,
6. Mevcut kazıklı temel yanında kazık çakılması, olarak sıralanabilir.

Negatif çevre sürtünmesinin başlıca nedenlerinden anlaşıldığı üzere bu olgu bazı faktörlere bağlıdır. Bu faktörler aşağıda sıralanmıştır;

1. Kazık özellikleri: Cins, en kesit, yüzey durumu, uzunluk, teşkil edilme metodu v.b.
2. Zemin özellikleri: Zeminin cinsi, sıkışabilirliği, tabaka kalınlığı, zeminin gerilme tarihçesi, taşıyıcı tabakanın kıvamı, dayanımı, cinsi v.b.
3. Zemin hareketleri ve bunlara yol açan etmenler.
4. Kazıkların teşkil edilme süreleri. [17]

5.1 Negatif çevre sürtünmesinin belirlenmesi

Negatif çevre sürtünmesi önceki bölümlerde de değinildiği üzere, yakın çevrede yapılan inşaatlardan, komşu bölgelerdeki kazık çakımının yol açtığı çevre basıncı artışlarından, uzak mesafelerde su seviyesinde meydana gelen alçalmayla zeminde oluşacak efektif gerilme artışı nedeniyle kazık çevresindeki zeminin oturması nedeniyle meydana gelebilir. [28]

Bu durumlar meydana geldiği sırada, kazığın tasarım yüklerini olduğu kadar zeminden gelecek bu yükleri de kaldırabiliyor nitelikte olması gerekmektedir. Aynı zamanda kazıklı temel çevresine bir dolgu yerleştirilmesi halinde kazığın bu gelen ek yükü de taşıyabilirliği araştırılmalıdır. Negatif çevre sürtünmesine bağlı yükler, bu değerlerin pozitif çevre sürtünmesinden büyük değerlere ulaştığı hallerde genellikle

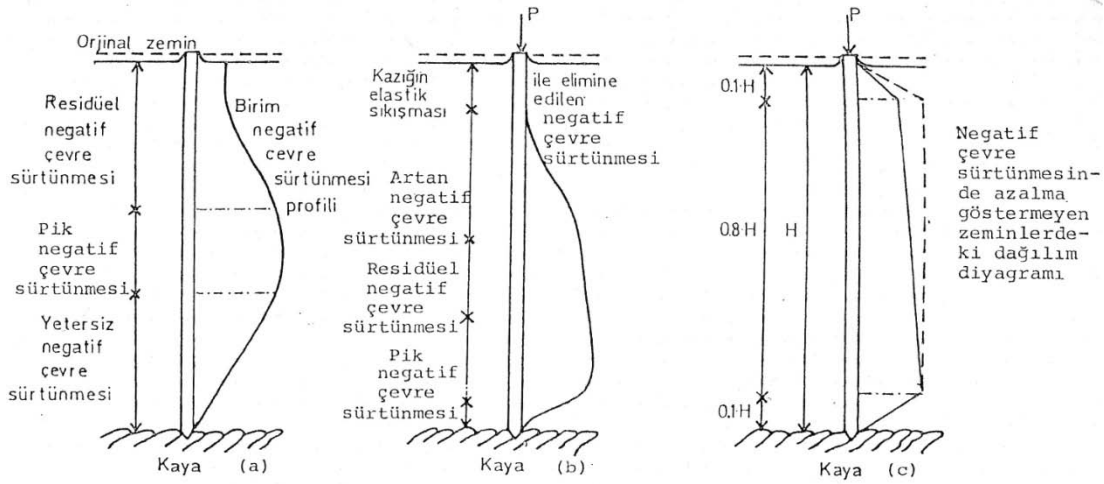
büyük değerlerde olabilir. Bu nedenden ötürü kazıklarda meydana gelebilecek göçme hali pek de ender rastlanan bir durum değildir (Taylor 1948). [2]

Negatif çevre sürtünmesinden kaynaklanan ilave yükler kazık ile zemin oturmasının eşit olduğu nokta olarak belirtilen *nötr nokta*nın yerinin saptanması ile belli bir oranda tespit edilir. Uç kazıklarında elastik kısalma göz önüne alınmadığı halde kazığın oturması da söz konusu olmadığından negatif çevre sürtünmesi kazık boyunca meydana gelmektedir. Oysa ki sürtünme kazıklarında durum farklıdır. Kazığın bir miktar oturma yapması, kazığın alt kısımlarında meydana gelen negatif çevre sürtünmesinin yok olmasına neden olur. [28]

5.2 Negatif Çevre Sürtünmesinin Kazık Boyunca Dağılımı

5.2.1 Kayaya soketlenen kazıklarda negatif çevre sürtünmesi

Kayaya soketlenmiş veya sadece kayaya oturan kazıklarda kazık shaftı çevresindeki zeminin oturması halinde kazıkta oturma söz konusu olmadığından, kazık üzerinde ortaya çıkacak negatif çevre sürtünmesi kuvvetleri kazığın taşıyacağı yapı yükleriyle beraber kazık ucuna aktarılacaktır. Yüklenmemiş kazıkta shaft boyunca negatif çevre sürtünmesi dağılımı Şekil 5.2.a'da görülebilmektedir.



a. Kazık yüklenmemiş halde

b. Kazık yüklenmiş halde

c. Yüklenmiş kazıkta idealize edilmiş diyagram

Şekil 5.2 : Kazıkların sıkışamayan taşıyıcı tabakaya soketlenmesi halinde negatif çevre sürtünmesi dağılımı

Bu durumda kazığın üst kısmında negatif çevre sürtünmesi tamamıyla mobilize olmaktadır. Fakat kazığın alt kısımlarına doğru zemin yükünün artmasıyla birlikte

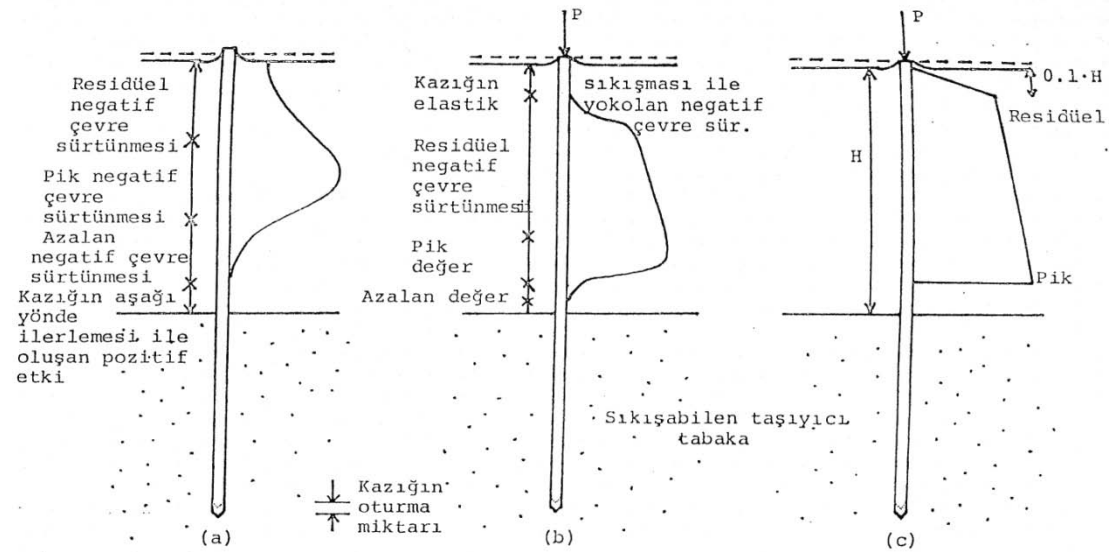
daha büyük değerlerde negatif çevre sürtünmesi meydana gelmektedir. Ancak kayanın hemen üstünde yer alan zeminde oturma değerinin sıfır olması nedeniyle kazığın bu uç noktasındaki negatif çevre sürtünmesi değeri de sıfırdır. [18]

Kazık yüklendiğinde, elastik sıkışma nedeniyle kazıkta zemin içine doğru bir miktar hareket meydana gelir. Elastik sıkışma kazığın üst kısımlarında maksimum değere ulaşır ve kazık üst kısımlarda zeminin içine daha fazla girer. Bu nedenle bu kısımda negatif çevre sürtünmesi değeri azalır hatta sıfırlanır. Bunu izleyen durumda şekil 5.2.b’de görüldüğü üzere negatif çevre sürtünmesi dağılımında bir artış meydana gelir. Kazık ucundaki oturma miktarının sıfır olması nedeniyle yine bu bölgeye negatif çevre sürtünmesi sıfırlanır.

Negatif çevre sürtünmesinin Tomlinson (1981) tarafından idealize edilmiş diagramı Şekil 5.2.c.’de görülmektedir.

5.2.2 Kohezyonsuz zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi

Sıkışabilen kalın bir dolgu tabakasının içinden geçirilerek taşıyıcı zemin olarak kabul edilen kum- çakıl istifi içerisinde son bulan kazık Şekil 5.3’te gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Granüler zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi dağılımı, Tomlinson, (1981) [18]

Negatif çevre sürtünmesi bu şekilde bir zemin profilinde granüler zemin üzerinde yer alan, sıkışabilen üst tabaka içinde meydana gelecektir. Yüklenmemiş kazıkta meydana gelen negatif çevre sürtünmesi dağılımı Şekil 5.3.a’da gösterilmektedir. Yüklenmeyi takiben kazıkta elastik kısılma meydana gelmektedir. Şekil 5.3.b’de bu durumda meydana gelen negatif çevre sürtünmesi dağılımı gösterilmektedir. Negatif

çevre sürtünmesinin Tomlinson (1981) tarafından idealize edilmiş diyagramı Şekil 5.3. c.'de görülmektedir.

β yöntemine benzer şekilde, (5.1) eşitliğinde görüldüğü üzere negatif yönde meydana gelen stres;

$$f_n = K' \sigma'_o \tan \delta \quad (5.1)$$

olarak verilir.

K' = Yatay toprak basıncı katsayısı ($K = 1 - \sin \phi$)

σ'_o = Herhangi bir derinlikteki düşey efektif stres $z = \gamma'_f z$

γ'_f = Dolgunun efektif birim hacim ağırlığı

δ = zemin – kazık sürtünme açısı $\approx 0.5 - 0.7 \phi'$

Bu halde, kazık üzerindeki toplam düşey yönlü çekim kuvveti (5.2) eşitliğinde verilmektedir.

$$Q_n = \int_0^{H_f} (p K' \gamma'_f \tan \delta) z dz = \frac{p K' \gamma'_f \tan \delta}{2} \quad (5.2)$$

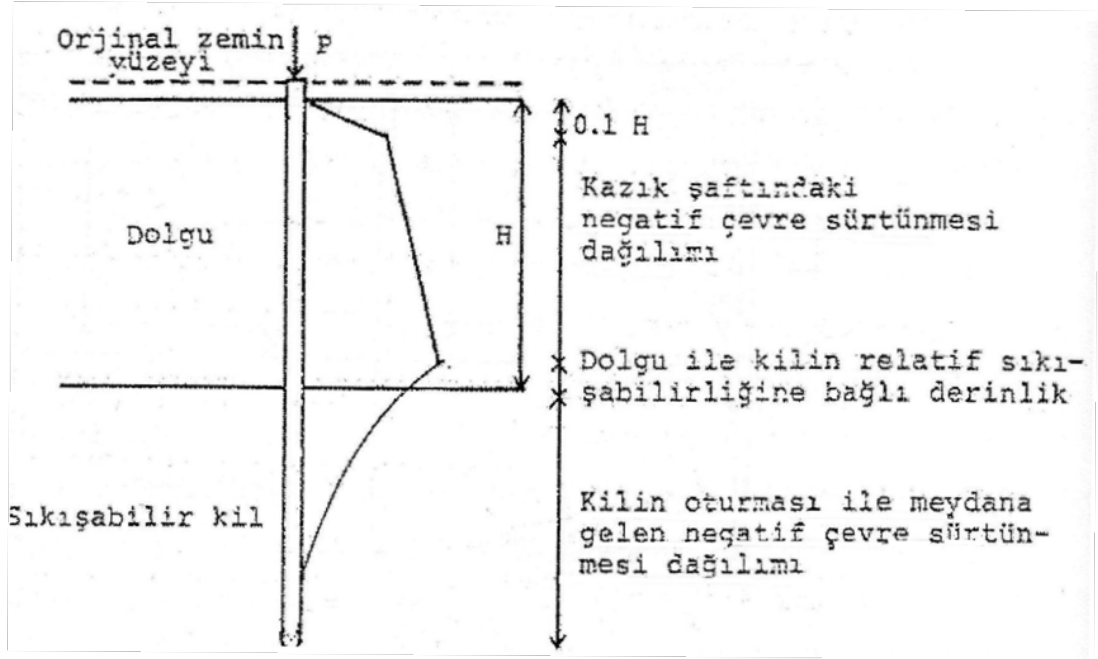
H_f = Dolgunun yüksekliği

Eğer dolgu yeraltı su seviyesinin üzerinde ise efektif birim hacim ağırlık değeri γ'_f birim hacim ağırlık değeri ile değiştirilmelidir. [19]

Kendi ağırlığı altında konsolidasyonunu tamamlamış eski dolgularda, zemin yüzeyinde sürşarj yüklemesi yapılmamışsa, negatif çevre sürtünmesi ihmal edilebilir.

5.2.3 Kohezyonlu zemine giren kazıklarda negatif çevre sürtünmesi

Sıkışabilir bir kil tabakası ve üzerinde göreceli olarak teşkil edilen kalın bir dolgu tabakası içinde teşkil edilen kazıktaki negatif çevre sürtünmesi durumu Şekil 5.4'te gösterilmektedir. [18]



Şekil 5.4. Dolgu ve sıkışabilir kil zeminden oluşan zemin profilinde negatif çevre sürtünmesi dağılımı, Tomlinson (1981)

Sıkışabilir kil tabakasının oturması halinde üstte yer alan granüler dolgu da bu oturmayı takip edecek ve kazık yüzeyinde negatif çevre sürtünmesine neden olacağından, dolgunun kohezyonlu ya da kohezyonsuz olması negatif çevre sürtünmesi dağılımını fazla etkilemez.

Üstteki dolgu zeminin kohezyonlu olması halinde dolgu zemin de kendi ağırlığı altında uzun sürebilecek bir zaman diliminde konsolidasyonunu tamamlayacaktır. Alttaki yumuşak kil tabakası ise hem kendi ağırlığı altında hem de ilave dolgu yük altında konsolidasyonunu tamamlayacaktır. Bu oturmanın fazla olması halinde negatif çevre sürtünmesi değeri sıfırlanır ve tekrar pozitif çevre sürtünmesine geçiş olur.

Kazık üzerindeki negatif çevre stresi $z = 0$ 'dan $z = L_1$ mesafesine kadar gözlenebilmektedir. Bu derinliğe nötr derinlik adı verilmektedir. (Vesic 1977) Nötr derinlik Bowles (1982)'a göre aşağıdaki (5.3) eşitliği ile verilmektedir;

$$L_1 = \frac{(L - H_f)}{L_1} \left[\frac{L - H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'} \right] - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'} \quad (5.3)$$

γ'_f = Dolgunun efektif birim hacim ağırlığı

γ' = Kil zeminin efektif birim hacim ağırlığı

Uç kazıkları için nötr derinliğin kazık ucunda olduğu varsayılmaktadır.

Öncelikle L_1 değeri belirlenir, daha sonra düşey yönde çekim kuvveti (5.4) ile (5.5.) eşitliği izlenerek elde edilir.

Bu sistemde; $\sigma'_o = \gamma'_f H_f + \gamma' z$

$$Q_n = \int_0^{L_1} p f_n dz = \int_0^{L_1} p K' (\gamma'_f H_f + \gamma' z) \tan \delta dz \quad (5.4)$$

$$Q_n = (p K' \gamma'_f H_f \tan \delta) L_1 + \frac{L_1^2 p K' \gamma' \tan \delta}{2} \quad (5.5)$$

[19]

Literatürde negatif çevre sürtünmesiyle ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmakla beraber Bjerjum et al. (1969)'un bu konu üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda Norveç Osla limanında Sorenga'da bir test kazığı üzerinde yapılan deneylerde düşey çekim kuvvetinin bilgisayar destekli olarak ölçümlendirildiğini belirtmiştir. Bjerrum et al. (1969)'un çalışması aynı zamanda kazığın 40m ana kayaya ulaştırılması sırasında Wong ve Teh (1995) tarafından da tartışılmıştır.

Kazığı çevreleyen zeminin herhangi bir nedenle oturması halinde, kazık tasarımı esnasında dikkate alınan pozitif çevre sürtünmesinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Uç mukavemeti önemsenmeyecek derecede az olan veya hiç olmayan sürtünme kazıkları çevre zeminle birlikte oturmaktadır. Bu oturmayı takiben kazık çevresindeki zemin oturmasına devam eder ve kazığa oranla belli bir derinliğe kadar oturma değeri kazıktan fazla olabilmektedir. Bu derinlik *nötr nokta* olarak ifade edilir. Bu nötr nokta üzerinde sürtünme negatif yönde kazığın taşıma gücünü azaltarak kazığa etkimektedir. Bu noktanın altında ise sürtünme pozitif yönde etki ederek kazık taşıma gücüne katkıda bulunmaktadır.

Uç kazığında ise, çevre zeminin hemen tamamı düşey yönde oturmaktadır. Bu nedenle oturma miktarına bağlı olarak çevre sürtünmesinde önce bir azalma daha sonra işaret değişikliği ile ters yönde etki görülmektedir. Bu halde, kazık çevresi boyunca, negatif çevre sürtünmesi kazığa ilave bir yük olarak etkimektedir. Kazığa etkileyen bu ilave yük bazı özel hallerde üst yapıdan kazığa etkileyen yükten daha büyük olabilmektedir. Büyüklüğü tam olarak belirlenemeyen bu kuvvet, kazık tasarımı esnasında ihmal edilmesi halinde kazık ucunda yapısal göçme veya zemin göçmesi ile kazıkta aşırı oturmaya yol açabilir. [16]

Negatif çevre sürtünmesinin, kazık zemin arasındaki göreceli yer değiştirmeye bağlı olarak arttığı önceki bölümlerde belirtilmiştir. Sürtünme kazıklarında zemin

oturmasının kazık oturmasından 6mm kadar fazla olduğu durumda negatif çevre sürtünmesi değeri maksimum değerine ulaşmakta, artan oturma değerinde sabit kalmaktadır. Uç kazıklarında ise, kazık imalatı akabinde zemin yüzeyinde meydana gelecek 2.5cm dolayındaki bir zemin – kazık oturma farkı kazık shaftı boyunca maksimum değerde negatif çevre sürtünmesinin mobilize olması için yeterlidir. [16] Fellenius (1971)'a göre bu değer sürtünme kazıklarında yaklaşık 6mm olarak belirtilmiştir. [20] Vesic ise, 15mmlik bir göreceli oturmanın maksimum negatif çevre sürtünmesi değerinin sağlanması için yeterli olduğunu belirtmiştir. [8] Walker ve Darvall (1973), 3m bir sürşarj yükünün kazıkların çevresine yerleştirilmesiyle zeminde 35mm değere ulaşan bir oturmanın oluşmasıyla kazıklarda 18m derinliğe kadar etkili olan negatif çevre sürtünmesinin maksimum değerine ulaştığını belirtmişlerdir. Bjerin (1977), kazık başlığından 12cm uzakta ölçülen 5 mm'lik bir oturmanın 25 m derinlikte negatif çevre sürtünmesinin maksimum değere ulaşmasına neden olduğunu göstermiştir. Bu değer kazık başından 5 m mesafede 8 mm olarak tespit edilmiştir. Bozozuk (1981) ise, 5 mm'lik bir göreceli zemin oturması ile 20 m derinlikte etkili olan negatif çevre sürtünmesi değerine ulaşıldığını belirtmiştir.

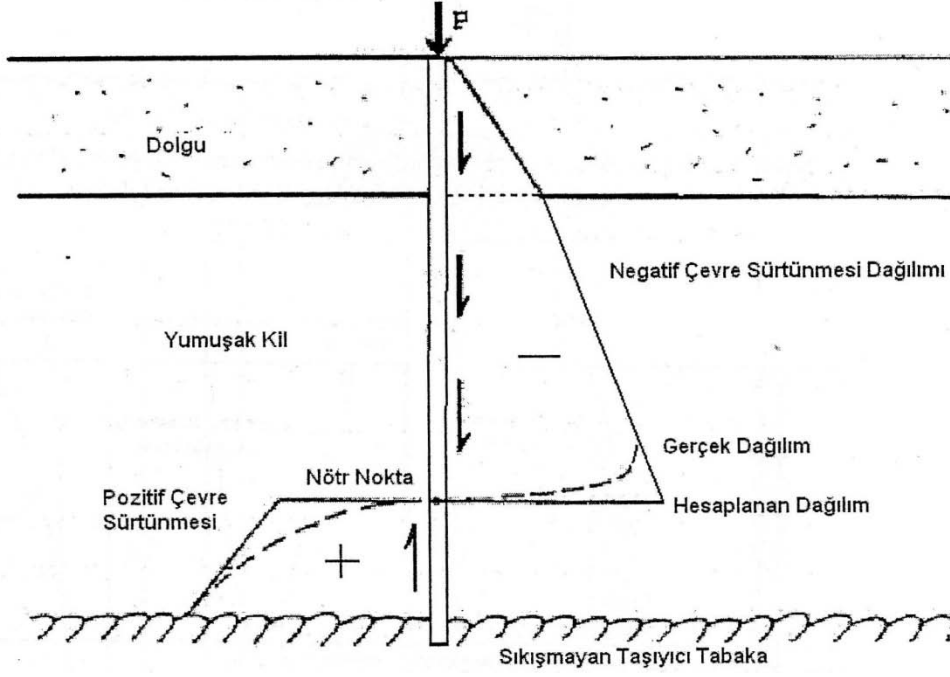
5.3 Negatif Çevre Sürtünmesinin Hesaplanması

Negatif çevre sürtünmesinin hesaplanması karışık bir problem olmakla beraber aşağıdaki faktörlere bağlıdır; [18]

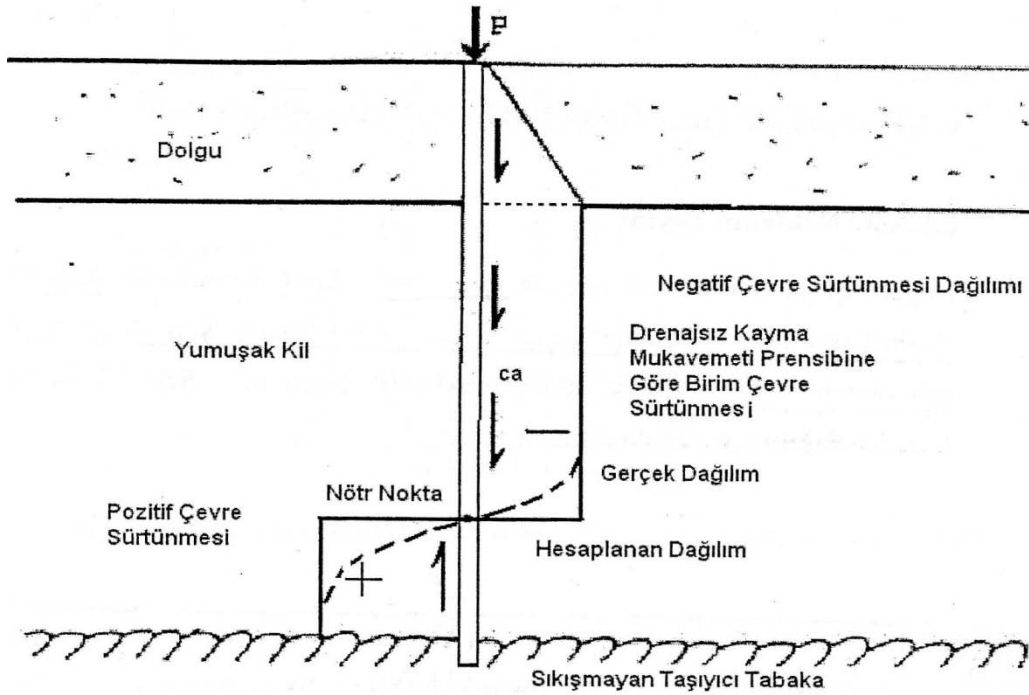
1. Dolgu ve kazık shaftı arasında meydana gelen göreceli hareket.
2. Sıkışabilir tabaka ile kazık shaftı arasında meydana gelen göreceli hareket.
3. Kazığın çalışma yükü altında elastik sıkışması.
4. Sıkışabilir tabakanın konsolidasyon oranları. [18]

5.3.1 Nötr noktanın tayini

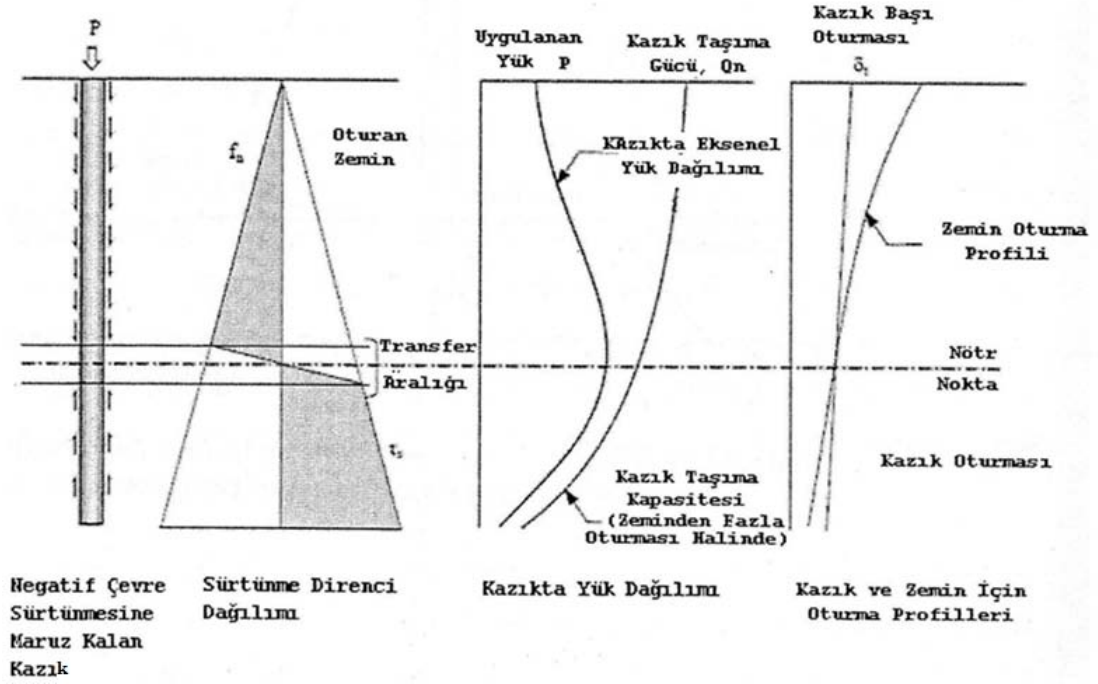
Daha önceki bölümlerde de değinildiği üzere *nötr nokta* kazık ile zeminin konsolidasyon oturmasının eşit olduğu nokta olarak belirtilmektedir. Şekil 5.5, Şekil 5.6. Şekil 5.7 Şekil 5.8'de nötr nokta ile ilgili önerilen dağılımlar görülmektedir.



Şekil 5.5 : Nötr noktaya göre negatif çevre sürtünmesi dağılımı (efektif kuvvetler prensibine dayalı yöntemler için) (Broms, 1981) [21]



Şekil 5.6: Nötr noktaya göre negatif çevre sürtünmesi dağılımı (drenajsız kayma mukavemeti prensibine dayalı yöntemler için) (Broms, 1981) [21]



Şekil 5.7 : Nötr Noktanın tayini ve oturma profilleri (yüzen kazılarda) [15]

Bowles (1996) yüzen kazıklarda nötr noktanın tayini için Şekil 5.7'den faydalanarak (5.6) denklemini önermiştir.

$$L_1 = \frac{L}{L_1} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{q_0}{\gamma'} \right) - \frac{2q_0}{\gamma'} \quad (5.6)$$

L_1 = Nötr nokta derinliği

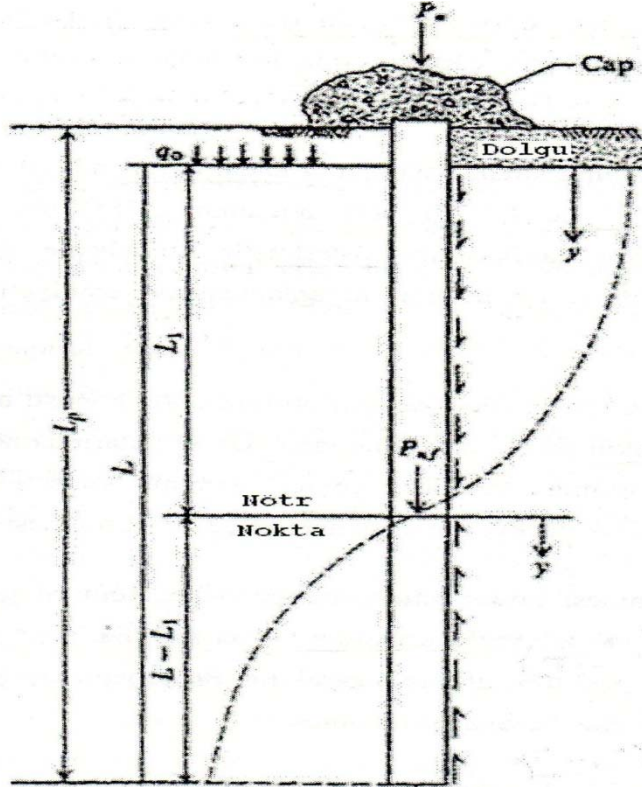
q_0 = Sürşarj yükü

γ' = Zemin efektif birim hacim ağırlığı

Sürşarj yükünün olmadığı halde; ($q_0 = 0$) (5.6) denklemi (5.7) denklemine dönüşür;

$$L_1 = \frac{L}{\sqrt{2}} \quad (5.7)$$

Bu denklemleri bir şekil üzerinde açıklamak gerekirse Şekil 5.8 açıklayıcı olabilir;



Şekil 5.8: Sürtünme kazığında nötr noktanın tayini [14]

Nötr noktanın ampirik olarak da tayini yapılmıştır. Bu hususta yapılmış olan en yeni çalışma Matyas ve Santamarina (1994)'ya aittir. Bu çalışma çok fazla kabul içermesi nedeniyle taraflarından yayımlanmamış olmasına karşın çalışma sonucunda nötr noktanın kazık boyunun yarısı ($L/2$) ile kazık ucundan $1/3$ kadar yukarıda ($L/3$) olan mesafe arasında bir noktada olduğu neticesine varılmıştır. Şu halde, hesap aşamasında negatif çevre sürtünmesinin önem taşıdığı durumlarda emniyetli yönde kalmak için kazık ucundan $L/3$ mesafesinin seçilmesi mantıklı görülmektedir. [14]

Elimizde yeterince kazık yükleme deney verisi olduğu halde ise, nötr noktanın hesabını yapmamız tavsiye olunur. Bowles önermiş olduğu (5.6) denklemi ile nötr noktanın bulunmasını ve daha sonra bu noktada aksenal yükün hesap edilmesini önermektedir. Aynı hesabın $0.6L$ ile $0.67L$ derinlikte de yapılarak, kazığın bu yükleri taşıyıp taşıyamayacağı kontrolünün yapılması gerektiğini ve bu kontrolün de güvenlik sayılarının 2 ile 3 arasında alınarak yapılacağını belirtmiştir. Kazığın bu noktalarda aşırı yüklemeye maruz kaldığı durumlarda, kazık çapının bir miktar artırılmasıyla kontrolün tekrar edilmesini önermektedir.

Endo (1969), nötr noktanın kazık üzerinde $0.75L$ derinliğinde yer aldığını belirtmektedir. Fakat Vesic (1977), nötr noktanın, $0.75L$ değerinin aşağısında veya

yukarısında bir noktada yer alabileceğini göstermiştir. Bu nedenle oturmanın meydana geldiği tüm yüzeyde negatif çevre sürtünmesinin hesaplanmasının emniyetli bir yol olduğu belirtilmektedir. [2]

Uç kazıkları söz konusu olduğunda, kazıkta herhangi bir oturma söz konusu olmadığından, nötr nokta kazık ucuna yakın bir yerlerde konumlanır. Bu nedenle nötr nokta hesabına uç kazıklarında gerek görülmemektedir. negatif çevre sürtünmesi hesabı, kazık çevresi zeminin konsolidasyon oturmasına maruz kalacak tüm yüzeyi boyunca yapılır.

Negatif çevre sürtünmesi hesap aşamasında, göz önünde tutulması gereken iki temel unsur bulunmaktadır. Kazık yerleşiminin sık aralıklarla yapılması halinde, negatif çevre sürtünmesi tüm grup üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle aşağıdaki iki inceleme yapılmalı ve elde edilen sonuçlardan büyük olan değer hesaba katılmalıdır.

1. Grup halinde teşkil edilmiş olan kazıklarda toplan negatif çevre sürtünmesi, Şekil 5.7'de gösterildiği üzere her bir kazığa gelecek olan negatif çevre sürtünmelerinin toplamıyla (5.8) eşitliği ile elde edilir. [14]

$$Q_n = \sum Q_{nf} \quad (5.8)$$

2. Kazık aralarındaki zemin ağırlığı hesaba dahil edilir. [14]

$$Q_n = f_s * L_f * P_g + \gamma * L_f * A \quad (5.9)$$

Q_n = Toplan negatif çevre sürtünmesi

f_s = Kazık grubu çevresinde etkiyen birim negatif çevre sürtünmesi

L_f = Kazık grubu derinliği

P_g = Kazık grubu çevresi

γ = Kazık grubu arasındaki zeminin birim hacim ağırlığı

A = Kazık grubu alanı

5.3.2 Negatif çevre sürtünmesinin kazık taşıma kapasitesi hesabına dahil edilmesi yöntemleri

Negatif çevre sürtünmesinin kazık taşıma gücü hesabına etkilmesi esnasında farklı yöntemler izlenmektedir.

Fellenius'a göre, kazık tasarımı yapılırken birleştirilmiş yük tayini yönteminde izin verilen yük yani tasarım yükünün hesaplanmasında negatif çevre sürtünmesi hesaba dahil edilmez. Fakat, kazığın taşıyabileceği en yüksek değerde yük ve kazığın yapısal yeterliliğinin belirlenmesinde nötr noktada en büyük değer oluşacaktır. Bu değer, ölü yük ile negatif çevre sürtünmesinin toplamından elde edilmektedir. Bu maksimum yüke karşı kazık taşıma gücünün yeterli olması gerekmektedir. Kazığın maksimum taşıyabileceği yük hesabında hareketli yükler hesaba dahil edilmemektedir. [22]

Amerikan Deniz Kuvvetleri Mühendislik Ofisi ise negatif çevre sürtünmesi hesabında, hareketli yük ve negatif çevre sürtünmesi beraber değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. İlki ölü yük ve negatif çevre sürtünmesi toplamı, ikincisi ise ölü yük ve hareketli yük olmak üzere iki çeşit yükleme durumu kontrol edilmelidir. Aynı kaynak, pek çok hesaplamada negatif çevre sürtünmesi ile birlikte ölü ve hareketli yüklerin de beraber hesaplanarak toplamalarının servis yükü olarak değerlendirildiğini fakat bunun aşırı emniyetli bir hesap yöntemi olduğu belirtilmektedir. [12]

Pratikte ise genel olarak, fazla emniyetli olduğu iddia edilse dahi, Tomlinson (1981)'un da önerdiği üzere kazık servis yükü, kazığın emniyetli taşıyabileceği yük ile negatif çevre sürtünmesi farkı ile tespit edilmektedir. [18]

5.3.3 Negatif çevre sürtünmesi hesap yöntemleri

Uzun zamandan beri pek çok bilim adamı negatif çevre sürtünmesi ve hesap yöntemleri üzerine çeşitli araştırmalar yapmış ve hesap yöntemleri geliştirmişlerdir. Analitik hesap yöntemi ile farklı idealize durumlar için çözümler, pek çok kazık yükleme deneyi sonuçlarının geri hesaplama yöntemi ile değerlendirilmesi sayesinde önerilen ampirik çözümler bulunmaktadır. Bunların yanı sıra son yıllarda karmaşık sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bilgisayar programları yardımıyla çeşitli nümerik araştırmalar sonucu elde olunan karşılaştırmalı sonuçlar yer almaktadır.

Negatif çevre sürtünmesinin hesabı, pozitif çevre sürtünmesi hesabı ile aynı mantığı içermektedir. Önerilen tüm çözümlerin, Coulomb kırılma hipotezine dayanması nedeniyle daha önce bahsedilen efektif kuvvetler ve drenajsız kohezyon mantıklarına dayanan alfa-beta-lamda yöntemleri, negatif çevre sürtünmesi hesabından kullanılabilir. [12]

Bu yöntemlerin yanı sıra aşağıda anlatılacak olan yöntemler de yer almaktadır. Kazıların rijit olduğu varsayılarak hesap yapan çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçlar çoğu halde tasarımcının zorlanacağı kadar yüksek çıkmaktadır. Uç kazıklarının sıkışabilirlikleri göz önünde bulundurulduğu halde uç basıncının azalığı bilinmektedir. [11]

5.3.3.1 Terzaghi – Peck’in negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışmaları

Terzaghi ve Peck (1967) yaptıkları uç kazıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmada kazığa verdikleri maksimum değerde kuvveti kazık boyunca elde edilen limit kayma kuvvetlerinin toplamından hesap etmişlerdir. Tekil bir kazık söz konusu olduğunda, herhangi bir z derinliğinde P düşey kuvveti aşağıdaki (5.10) ifadesi ile belirtilmektedir;

$$P = \int_0^L T_a \cdot c \cdot dz \quad (5.10)$$

T_a = Zemin ile kazık arasında meydana gelen kayma gerilmesi limit değeri

c = Kazık çevresi ($\pi \cdot d$)

T_a Coulomb kırılma hipotezinde elde edilmekle beraber aşağıdaki (5.11) formülü ile ifade edilmektedir;

$$T_a = c'_a + \sigma'_v * K_s * \tan \theta'_a \quad (5.11)$$

c'_a = Drenajlı kazık zemin adezyonu

K_s = Yatak toprak basıncı katsayısı

σ'_v = Efektif düşey gerilme

θ'_a = Kazık zemin arasındaki (drenajlı) sürtünme açısı

5.3.3.2 Bjerrum'un negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışması

Bjerrum (1969), negatif çevre sürtünmesinin kilin kayma mukavemeti ile ilgili olmadığını belirtmiş ve bu doğrultuda aşağıdaki (5.12) bağıntısını öne sürmüştür;

$$T_{act} = K * p_0 * \tan \emptyset_e + X * P_e \quad (5.12)$$

T_{act} = Birim negatif çevre sürtünmesi

K = Yatay toprak basıncı katsayısı

p_0 = Efektif jeolojik yük

\emptyset_e = Efektif kayma mukavemeti açısı

X = Yükleme oranı faktörü

P_e = Konsolidasyon basıncı

İlk terim yükleme oranına bağlı olmakla beraber sürtünme direncini vermektedir. İkinci terim kohezyonu temsil eder ve kazık ile zemin arasındaki göreceli hareketin çok düşük miktarlarda olması nedeniyle sıfır kabul edilmektedir. Bu eşitlik sayesinde Bjerrum, negatif çevre sürtünmesini Çizelge 5.1'de görüldüğü haliyle hesaplamıştır.

Çizelge 5.1: Kil zeminde meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değerleri[18]

Kil Cinsi	\emptyset_e	K	Birim Negatif Çevre Sürtünmesi
Siltli	30	0.45	$0.25 * P_0$
Düşük Plastisiteli	20	0.50	$0.20 * P_0$
Plastik	15	0.55	$0.15 * P_0$
Yüksek Plastisiteli	10	0.60	$0.10 * P_0$

5.3.3.3 Broms'un negatif çevre sürtünmesi ile ilgili çalışması

Broms (1981), yaptığı çalışmalar neticesinde, kazık çevresindeki zeminde düşey yer değiştirmenin kazığa oranla 5-10 mm'den fazla olması durumunda kazık yüzeyi ile zemin arasında meydana gelecek adezyonun aşağıdaki (5.13) eşitliği ile hesaplanabileceğini ileri sürmüştür;

$$c_a = \sigma'_v * K * \tan \emptyset'_a \quad (5.13)$$

c_a = Kazık ile zemin arasında meydana gelen adezyon

σ'_v = Efektif üst tabaka gerilmesi

$K * \tan \phi_a'$ ifadesi kazığa etki eden yatay toprak basıncı ve çevre zemininin oturmasına bağlıdır. Oturma hızının 10mm/sene dolaylarında olması halinde farklı zemin türleri için tavsiye olunan $K * \tan \phi_a'$ değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2: $K * \tan \phi_a'$ eşitliği için önerilen değerler [21]

Zemin Cinsi	$K \tan \phi_a'$
Kaya Dolgu	0.40
Kum, Çakıl	0.35
Silt, normal Konsolide Kil (WL<50)	0.30
Normal Konsolide Kil (WL>50)	0.20

Bazı ülkelerde tüm zeminler için bu değer sabit olarak kullanılır. Örneğin Kanada'da bu değer $K * \tan \phi_a' = 0.25$ sabit değeri kullanılmaktadır. [16]

5.3.3.4 Negatif Çevre Sürtünmesi Hesabında Beta (β) Yöntemleri

Negatif çevre sürtünmesinin hesaplanması daha önceki bölümlerde de açıklandığı üzere pozitif çevre sürtünmesi hesabı ile aynı mantığa dayanmaktadır. Daha önceki bölümlerde değinilen beta (β) yöntemi negatif çevre sürtünmesi hesabında da kullanılmaktadır. Bu hesap yöntemini pek çok bilim adamı incelemiş ve geliştirmiştir.

Hagerty ve Garlenger (1972), yapmış oldukları çalışmada Zeevaert (1959)'in açıklamasına dayanarak negatif çevre sürtünmesi üzerine ampirik bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Zeevaert (1959), zemin mekaniğinde oldukça sık kullanılan efektif yatay ve düşey zemin yüklerinin ilişkilendirilmesinde, konsolidasyon oturması sonucu zemin ağırlığının bir kısmının kazık-zemin temas yüzeyinde kazık tarafından taşınacağını ileri sürmektedir. Bu nedenle zemin ağırlığı hesap aşamasında bir azaltma faktörü (α) ile çarpılmaktadır. [20] Bu durum (5.14) ve (5.15) eşitlikleri ile belirtilmiştir. Eşitliklerden yola çıkarak (5.16), (5.17) ve (5.18) bağıntıları elde edilir.

$$\sigma_h = K * \sigma_v \quad (5.14)$$

$$\sigma_v = \alpha * p_0 \quad (5.15)$$

$$f_s = \alpha * K * p_0 * \tan \phi \quad (5.16)$$

$$f_s = \beta * p_0 \quad (5.17)$$

$$p_0 = \sum(\gamma * z) - u \quad (5.18)$$

σ_h = Yatay zemin gerilmesi

K = Yanal toprak basıncı katsayısı

σ_v = Düşey zemin gerilmesi

f_s = Birim sürtünme kuvveti

α = Adezyon faktörü

p_0 = Zemin ağırlığı

\emptyset = Zemin kayma mukavemet açısı

γ = Zemin birim hacim ağırlığı

u = Boşluk suyu basıncı

Bu yöntemde göreceli oturmanın 6mm'den büyük olduğu kabul edilmektedir. [20]

Kazık yapımını takiben kazık boyuna bağlı olmakla birlikte zemin yüzeyinde 2.5-5.0cm dolayında oturma meydana gelmesi durumunda negatif çevre sürtünmesi en yüksek değerine ulaşmaktadır. Yüzey oturmalarının daha düşük değerlerde olduğu hallerde bu yöntemle yapılan hesaplamalarda elde olunan negatif çevre sürtünmesi gerçek değerinden daha büyük sonuçlar vermektedir. [23]

Uygulamada tek bir kazık ender olarak kullanılmaktadır. Bu bir tek kazık için geliştirilen yöntemle, kazık grubunda meydana gelecek toplam negatif çevre sürtünmesi kuvvetinin hesaplanması hatalı sonuçlar verecektir. Kazık ara mesafelerinin kazık çapının 8-10 katı olması halinde yapılan hata önemsizdir. [16] Uygulamada ise kazık ara mesafeleri genellikle kazık çapının 3-5 katı civarında seçilmektedir. Bu halde özellikle çok sayıda kazığın oluşturduğu grup kazıklarında kazıklar arası gerilme etkileşimi doğmaktadır. Bununla beraber kazık gerilme alanlarında oluşacak etkileşimin negatif çevre sürtünmesi üzerine etkisinin ne şekilde olacağı bilinmemekle birlikte böyle bir durum gerçekleştiği halde kazık grubunda beta (β) yöntemi ile hesaplanan negatif çevre sürtünmesi kuvvetinin gerçek değerden daha büyük olacağı varsayılmaktadır. Diğer bir ifade ile beta yöntemi sayesinde negatif çevre sürtünmesinin üst değeri de hesaplanabilmektedir. [16] Çizelge 5.3'te Garlanger tarafından önerilen ampirik beta katsayıları verilmiştir.

Çizelge 5.3: Garlenger tarafından önerilen Beta katsayıları

Zemin Cinsi	β
Kum	0.35-0.50
Silt	0.25-0.35
Kil	0.20-0.25

Önceki konularda da değinildiği üzere Şekil 3.1’de Poulos ve Davis(1980)’in, Mayerhof (1976)’un verdiği değerleri geliştirerek önerdikleri beta katsayıları verilmiştir.

Bjerum (1969) beta katsayılarının 0.2-0.3 arasında olduğunu ileri sürmüştür, Bjerrin ise orta yumuşak ve katı kıvamda olan killerde bu değer 0.20-0.25 arasında değiştiğini belirtmiştir. [24]

Eslami ise, Fellenius’un önerdiği beta katsayıları değerlerini beraber geliştirmeleri sonucunda aşağıdaki çizelge 5.4.’te ortaya çıkmıştır.[25]

Çizelge 5.4 : Eslami-Fellenius (1997) tarafından önerilen Beta değerleri [25]

Zemin türü	β	Eslami-Fellenius(1997) Sınıflaması
Kil	0.23-0.40	Yumuşak hassas killer
		Kil
Silt	0.27-0.50	Siltli kil, sert kil ve silt
		Kumlu silt ve silt
Kum	0.30-0.80	Sıkı kum ya da siltli kum
		Kum-kumlu çakıl

Negatif çevre sürtünmesi hesabı için buraya kadar verilen bağıntılar, kazıkların rijid olduğu varsayımına dayanarak çözüm üretmektedirler. Bu nedenle çoğu halde tasarımcıyı sıkıntıya sokabilecek kadar büyük değerler vermektedir. Bu nedenle Poulos ve Mattes kazık sıkışabilirliğini de göz önünde bulundurarak aşağıda belirtilen yöntemi öne sürmüşlerdir.

5.3.3.5 Poulos ve Mattes yöntemi

Uç kazıklarının sıkışabilirliği göz önünde alındığında uç basıncının azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle Poulos ve Mattes (1969), dairesel tekil bir uç kazığını ele almışlar ve bu uç kazığında negatif çevre sürtünmesi hesabı için öne sürdükleri analitik metoda kazık sıkışmasını da hesaba dahil etmişlerdir. [10] Kazık ucunun tam rijid bir zemine girdiği ve kazık çevresinde yer alan zeminin homojen, izotropik ve elastik bir malzeme olduğu kabul edilmiştir. [26] Bu yaklaşım kazık başında, çevre

zemininin S_0 kadar bir oturma meydana geldiği ve oturma miktarının kazık boyunca doğrusal olarak azaldığını ve tabanda sıfırlandığını belirtmektedir. Çözümde iki farklı poisson oranı ile farklı kazık narinlik oranları (l/d) kullanılmıştır. Gerekli görülen ara değerler enterpole edilerek tespit edilebilirler. [11] Kazıkta meydana gelecek negatif çevre sürtünmesinden kaynaklanan yük (5.19) eşitliğinde verilmiştir.

$$P_n = I_N * E_S * S_0 * L \quad (5.19)$$

P_n = Kazıkta meydana gelecek negatif çevre sürtünmesi yükü

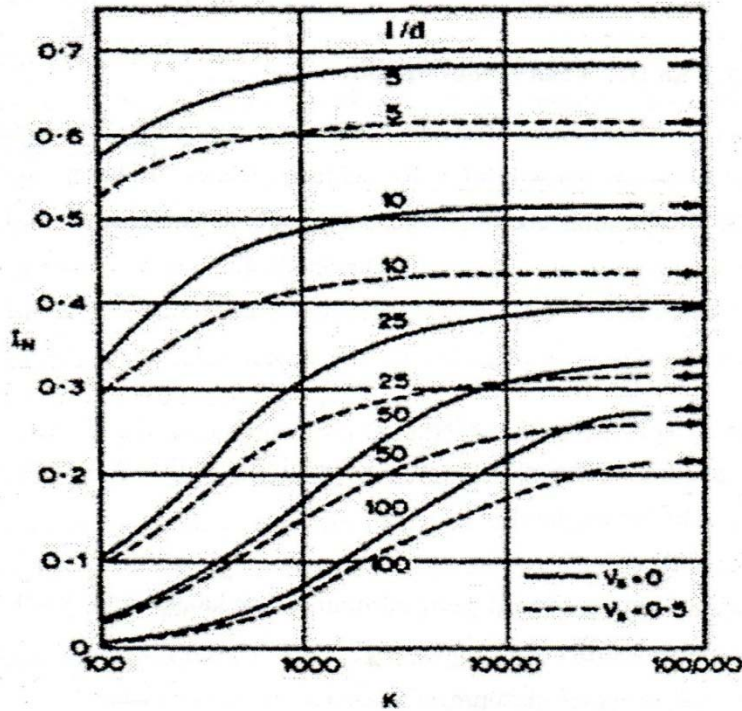
I_N = Etki katsayısı (Şekil 8.4.'ten ele olunur)

E_S = Kazık elastiklik modülü

L = Kazık boyu

ν_s = Zemin poisson oranı

Negatif çevre sürtünmesi için etki katsayısı değeri de Şekil 5.9.'dan elde edilmekte ve (5.20) bağıntısı ile verilmektedir.



Şekil 5.9 : Negatif çevre sürtünmesi için etki katsayısı

$$K = \frac{\text{Kazık elastisite modülü (} E_k \text{)}}{\text{Zemin elastisite modülü (} E_s \text{)}} * \text{Kazık kesit alanı} \quad (5.20)$$

5.3.3.6 Vesic No yöntemi

Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için Vesic (1977) tarafından önerilen ve ampirik değerlerden oluşan bu yöntem Çizelge 5.5'te verilmektedir. [2] bu yöntemde göre oluşacak negatif çevre sürtünmesi kuvvetinin bağıntısı (5.21) eşitliği ile verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Vesic (1977) No Değerleri [2]

Zemin ve Kazık Durumu	No
Kaplama Yapılmamış Kazıklar	
Silt ve Kilden Oluşan Yumuşak Zemin	0.15-0.30
Gevşek Kum	0.30-0.80
Zift veya Bentonit Kaplı Kazıklar	0.01-0.05

$$Q_{nf} = N_0 * p_0 * A \quad (5.21)$$

Q_{nf} = Negatif çevre sürtünmesi kuvveti

N_0 = Vesic faktörü

P_0 = Ortalama zemin efektif kuvveti

A = Kazık yüzey alanı

5.3.3.7 Van der Veau (1986) yöntemi

Bu yöntemde, negatif çevre sürtünmesi hesabı esnasında kazık oturmasının hesaplara dahil edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu yöntemde genel bir hesap formülü sunulmakla birlikte, kazık oturmasının etkisinin de dahil olduğu formül ile, kazık için kullanılacak (5.22) eşitliği ile temsil edilmiş servis yükü sonuç olarak verilebilmektedir. [26]

$$P_{ser} = \frac{Q_t}{F_s} - \lambda Q_{nf}^m \quad (5.22)$$

P_{ser} = İzin verilen servis yükü

Q_t = Kazık taşıma gücü (kazık ucunun girdiği sağlam tabakada meydana gelen pozitif çevre sürtünmesi de dahil olmak üzere)

F_s = Güvenlik sayısı

Q_{nf}^m = Maksimum negatif çevre sürtünmesi (uç kazıklarında kazık tüm tabaka boyunca hesap edilmektedir)

λ = Negatif çevre sürtünmesi katsayısı

Negatif çevre sürtünmesi katsayısı λ , başka iki katsayının çarpımı ile elde edilmektedir. Bu katsayılar η azaltma faktörü ve ζ koşul katsayılarıdır. Bu katsayılar (5.23) ve (5.24) eşitlikleri ile belirtilmiştir.

$$\lambda = \eta * \zeta \quad (5.23)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + K_0 * \tan \emptyset'} \quad (5.24)$$

K_0 = Sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı (1-sin \emptyset')

\emptyset' = Efektif kayma mukavemeti açısı

Bu katsayı 0.7 ile 0.9 arasında değişmekle birlikte, kazık yüzeyi çevresi zeminin efektif jeolojik yükünü azaltmak için kullanılmaktadır. Diğer yandan, ζ koşul katsayısı ise, kazık çevresindeki konsolidasyon nedeniyle sıkışan zemine göre kazığın göreceli oturmasıyla ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı, yumuşak zeminleri geçerek orta ve çok sıkı kumlar için 0.5 ile 1.0 arasında bir değer almaktadır. [26]

5.4 Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltma Yöntemleri

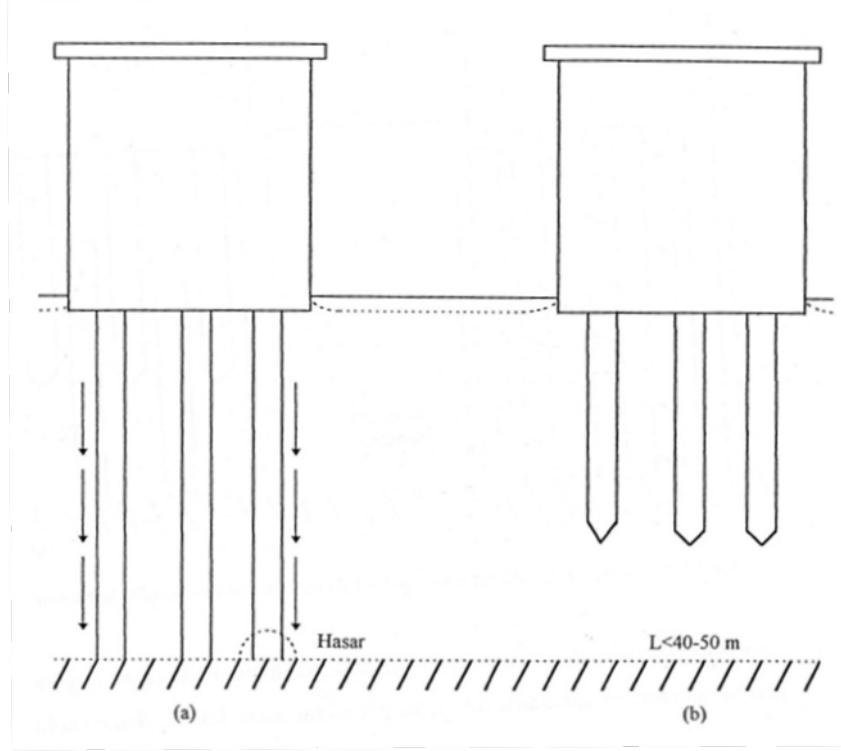
Kazıklarda taşıma gücünde olumsuz etkilere neden olan negatif çevre sürtünmesini azaltmaya yönelik çalışmalar zeminden çok kazıklar üzerinde yapılmaktadır.

5.4.1 Kazık boyutları ile ilgili çalışmalar;

Kazıklar üzerinde negatif çevre sürtünmesinin etkisini azaltabilmek için uygulanabilecek ilk yöntem kazık boyutları üzerinde yapılacak değişikliklerdir. Bu değişiklikler, kazık çapının değiştirilmesi, kazığın geniş uçlu imal edilmesi ve kazık boyunun değiştirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Dünyada bu konu üzerinde pek çok çalışma ve uygulama yer almaktadır. Hollanda'da bir kısım yapıların temel inşasında geniş uçlu kazıkların kullanıldığı bilinmektedir.

Kazık boyunun 40-50 m'yi aştığı durumlarda, aşırı miktarlara ulaşan negatif çevre sürtünmesi kazık ucunda Şekil 5.10'da görüldüğü gibi hasarlar meydana getirebilir. Bu problemin engellenmesi için sürtünme kazığı seçimi yoluna gidilebilir. Bu işlemler yapılırken oturmalar üst sınır değerleri altında kalacak şekilde tayin edilmelidir. Bunun yanı sıra yapının oturma değeri ile zeminin oturma değerinin eşit olması istenir.



Şekil 5.10 : a) Uç kazığı b) Sürtünme kazığı

5.4.2 Kazık yüzeyinin kaplanması ile ilgili çalışmalar;

Asfaltla kazık yüzeyinin kaplanması pratik olarak negatif çevre sürtünmesini azaltıcı bir etkiye sahip olmakla beraber, asfalt kalınlığı çelik kazıklarda en az 1 mm, yüzeyinin pürüzlü olması nedeniyle betonarme kazıklarda 2 mm olarak belirlenmiştir. Fakat asfalt kaplama kazık çakımı esnasında zarar görebilmektedir. Bunu önlemek için, geniş uçlu, asfalt sürülmüş kazıklar tercih edilmektedir.

Bir diğer yöntem ise kazık dışına koruyucu bir eleman geçirilmesi ve kazık ile koruyucu eleman arasının viskoz bir malzeme ile doldurularak bu olumsuz etkinin azaltılmasıdır. Fakat bu yöntemin uygulanması pratikte zor olması nedeniyle bilim adamlarını daha farklı çalışmalara yönlendirmiştir.

Bu çalışmaların başında bitüm kaplı kazıklar gelmektedir. Bazı hallerde kazık servis yükü oldukça yüksek olmasına karşın, oturma ve benzeri sınırlamalar yüzünden bu değeri oldukça küçük bir kısmının kullanılabilirdiği görülmüştür. Negatif çevre sürtünmesinin etkili olduğu hallerde bitüm kullanıldığında, kullanılan malzemenin, maliyeti %15- 50 oranında artırmasına karşın kazık taşıma gücünde %500 gibi artışlar sağladığı için diğer ekonomi yöntemlere göre daha tercih edilebilir bir yöntemdir. [8]

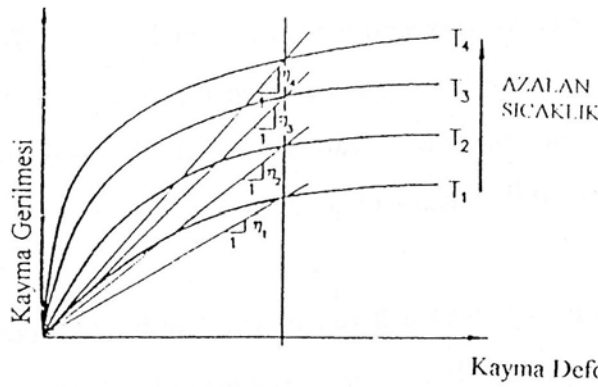
Bitüm, petrolün rafine edilmesinden elde olunan, yüksek moleküler ağırlığı olan hidrokarbonlardan oluşmuş koyu renkli bağlayıcı grubuna ait bir maddedir. Davranışı zeminden oldukça farklı olan bu malzeme, nonlinear viskoz bir yapısı vardır ve kaymaya tepkisi (5.25)'te verilmiş eşitlikte görülmektedir.

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (5.25)$$

μ = Viskozite

$\dot{\gamma}$ = Kayma deformasyon hızı

Kayma gerilmesi deformasyon hızıyla doğru orantılı olarak artmakla birlikte viskozite nonlinear bir değişim gösterdiğinden Şekil 5.11'de de gösterildiği üzere viskoziteyle ters orantılı olarak değişir.



Şekil 5.11 : Kayma gerilmesi, kayma deformasyon hızı, viskozite ve sıcaklık ilişkisi

Bjerrum (1969), negatif çevre sürtünmesini azaltmak amacıyla farklı zemin koşullarında, bitüm kaplanmış ve kaplanmamış çeşitli kazıklar üzerinde yaptığı bir çok araştırma ve deney yapmıştır. Bu deney iki farklı bölgede, uzun çelik kazıkların kullanılmasıyla ve ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde kazıklar iki grup halinde deneye tabi tutulmuşlardır. Birinci grup kazıklar, herhangi bir takviye yapılmayan normal ve geniş uçlu kazıklar; ikinci grup kazıklar ise, bitümle kaplanmış, geniş uçlu bentonit bulamacı ile oluşturulmuş kazıklardır. Bu ikinci grup kazıklarda bentonit kullanımının amacı, çakma esnasında kazık çevresindeki bitüm kaplamanın zarar görmesinin engellenmesidir. Deney sırasında yapılan gözlem ve yapılan hesaplamalar sonucunda; bitümle kaplı kazıklarda düşey yöndeki ekstra kuvvetlerde %90 oranında azalma görülmektedir. Bununla beraber, bitümsüz ve sadece bentonit bulamacı içinde imal edilen kazıkların bu kuvvetlere %15 oranında bir dayanım gösterdiği görülmektedir. Buradan bitümün negatif çevre sürtünmesini

%75 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra bentonit kullanmadan imal edilen geniş uçlu, bitüm kaplı kazıklarda negatif çevre sürtünmesinde %30 oranında bir azalma elde edilmiştir.

Broms, Mesz ve Rink (1969) yaptıkları çalışmalarda, 1cm bitümle kaplayarak kullandıkları kazıklarda, bentonit bulamacı ile imalat yapıldığından negatif çevre sürtünmesinde %90 oranında bir azalma elde etmişlerdir. Bu araştırmacılar deney sonunda kazıklar arası mesafenin de negatif çevre sürtünmesinin etkidiğini saptamışlardır. Buna göre deneylerinde kazıklar arası mesafe detaylı olarak ele alınmış, kazıkların fazla yakın çakılması halinde negatif çevre sürtünmesinin sebep olduğu düşey kuvvetlerde %85 oranında azalma elde etmişlerdir. Fakat kazıkların 1.8m ara ile çakılması halinde ise bu azalmanın %50 dolaylarında kaldığını belirlemişlerdir.

Claessen ve Horvat da yaptıkları çalışmalarda kazığın bitümle kaplanmasını esas almışlardır. 380 x 450 mm boyutlarında bir prefabrik kazık üzerine 10 mm bitüm sürülerek yapılan deneyde kaplanmamış kazıktaki 1600 – 1700kN'luk değere karşın 24m boyundaki kazıkta 750kN'luk bir azalma saptamışlardır. Bununla beraber kazığın uç kısmındaki bitüm kaplamanın kazığın uç taşıma kapasitesine etkidiğini ve uç mukavemetini azalttığını belirlemişlerdir. Bu problemten kaçınmak için buldukları çözüm ise, kazığın çapı ya da genişliğinin on katı kadar bir uzunluk boyunca alt kısmının bitümle kaplanmasıdır. Sonuç olarak kazığın uç mukavemetinin bitümden etkilenmesi engellenmiş olmaktadır.

İngiliz araştırmacılar Gammage, Mitchrll ve Cherill, Kintburry bölgesinde yaptıkları deneylerle, 20 m kireç dolgu boyunca çakılan hazır beton kazıklarda negatif çevre sürtünmesinin azaltılması amacıyla kullanılan bitüm kaplamanın ne kadar başarılı sonuçlar verebileceğini araştırmışlardır [7].

Dolgunun oturmasına bağlı olarak bitüm kaplama üzerine binecek olan yük miktarı Colas İnşaat Malzemeleri tarafından verilen aşağıdaki (5.26) eşitliğinde görülmektedir.

$$-K * Zemin Oturma hızı (mm)/Kaplama Kalınlığı (mm) \quad (5.26)$$

K = Kaplama sıcaklığına bağlı bir sabit

İngiltere'de genellikle 10⁰C olan zemin sıcaklığı için genellikle K = 5 değeri kullanılmaktadır. (5.26) eşitliğine dayanarak K = 5 alındığında 8mm kaplamanın 1

kN/m² değeri verebilmesi için 1600 mm/yıl'lık bir oturma hızına ihtiyaç duyulmakla birlikte araştırmacılar güvenli tarafta kalabilmek için başlangıç olarak 10kN/m² 'lik bir negatif çevre sürtünme direnci belirlemişlerdir. Bu değer ise kaplamasız bir kazık için tahmin edilen değerden %80 daha azdır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar K sabitinin 2-3 arası bir değer aldığını ve kaplamanın inşaat firmasının öngördüğünden daha etkili olduğunu göstermiştir.

Briaud ve Tucker Amerikan Devlet otoyollar ve Ulaşım Merkezleri Birliği tarafından finanse edilen geniş kapsamlı bir araştırmada değişik tipteki bitümlerin negatif çevre sürtünmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Buna göre düşük viskoziteye sahip bitümler yumuşak yüksek viskoziteye sahip olan bitümler ise sert olarak tanımlanırlar. Araştırmada en yumuşaktan en serte kadar farklı viskozite değerlerine sahip bitümler kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında Edmonton Kanada'Da ve New Orleans'da toplam 14 adet birebir ölçekli deney yapılmıştır. Yapılan deneyler bazı bitüm türlerinin negatif çevre sürtünmesini azaltıcı etkide olduğunu bazılarının ise etkili olmadığı göstermiştir.

Briaud yaptığı çalışmalar sonunda elde ettiği tecrübelerine dayanarak iyi kalitede bir bitümün taşınması gereken özellikleri dört şarta bağlamıştır;

1. Bitüm depolanması sırasında kendi ağırlığı altında aşırtı deformasyonlar yapmamalıdır.
2. Kazık çakımı sırasında meydana gelen dinamik gerilmeler meydana gelmektedir. Bu dinamik gerilmeler altında aşırı deformasyonlar oluşmamalıdır.
3. Zeminde oturma meydana geldiği esnada bitüm düşük kayma mukavemeti değeri vermemelidir.
4. Bitüm zemin danelerinin meydana getireceği etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır.

Briaud yukarıda sıralanan ilk üç şart için viskoziteye bağlı kriterler vermiştir. Dördüncü şart için viskozitenin yanı sıra efektif yatay gerilme ve zemin D₅₀ değerinin bilinmesi gerekmektedir.

Hava sıcaklığının yüksek değerler ulaştığı bölgelerde bitüm kaplamanın tüm kriterleri sağlaması mümkün olmayabilmektedir. Bu hallerde çalışma zamanını yaz aylarından kış aylarına almak ya da çalışılan ortamda sıcaklık düşürülmesine

gidilmelidir. Bitüm uygulanmasında Briud da bazı tavsiyelerde bulunmuştur. Aşağıda bu tavsiyeler bitüm uygulaması sırasında ipucu vermesi açısından sıralanmıştır.

Kazık yüzeyleri temiz, kuru ve yağsız olmalıdır bunun yanı sıra zayıf adeziv maddeler bulunmamalıdır. Çelik kazıklar pas ve gevşeklik sınırlarının altında olmalı, ahşap kazıklarda ise bir maden kömürü katranı olan krezotla kaplanma halinde bu maddenin bitümü ayrıştırıcı özelliği nedeniyle kaplamaya tabi tutulmaması gerekmektedir. CCA ile işlenen ya da bir işleme tabi tutulmamış ahşap kazıklar bitümle kaplanabilmektedir.

Uygulama esnasında ilk aşamada kazık yüzeyi bir primer madde ile kaplanır. Bitüm üretici firma başka bir ürün önermediği halde, RC – 30 (ASTM D41) gibi bir primer malzeme kullanılabilir. Primer uygulaması esnasında hava ve kazık sıcaklığının 15⁰C 'den yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Soğuk havalarda uygulama yapılması gerekli hallerde ise, bu işlem kapalı alanlarda yapılmalıdır. Bitüm, uygulama için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır. Bu işlem esnasında ısının gazların yanma sıcaklığına ulaşmamasına dikkat edilmeli, nefes almak için gerekli ekipman giyilmiş olmalıdır. Uygulamada, bir kovada, ya da su dökerek uygulama ile fişkırtma ve kaplamanın sonuna kadar fırçalama uygun bir yöntemdir. Farklı bir durum gerekmedikçe bitüm kaplama kalınlığı 10 mm olmalıdır. Kalınlığı kontrol etmek için çelik bir kablo prob olarak kullanılabilir.

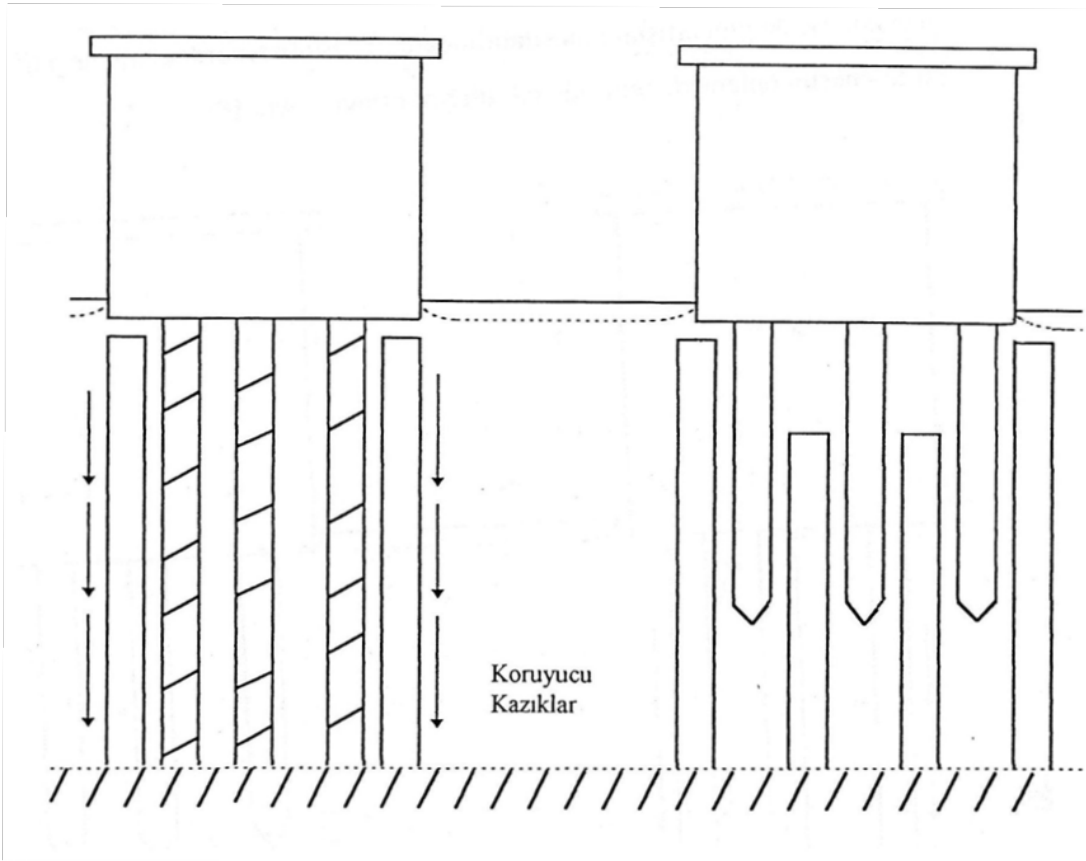
Bitüm kaplama uygulanırken nötr noktaya bir sürtünme azaltıcı yerleştirilir ve kaplama ancak nötr noktaya kadar uygulanır. Ayrıca çelik kazıkların ekli imal edilmesi halinde her iki uçta yaklaşık 0.3 m'lik kısma kaynak sırasında uçucu maddelerin yanmalarını önlemek için bitüm kaplama yapılmaz.

Bitümle kaplanmış kazıkların kaldırılması esnasında kaldırma kancalarını kullanılması uygundur. Böylelikle diğer yöntemlerde olduğu gibi kaplamaya zarar verilmemiş ve kazığın kayması halinde tehlikeli durumların oluşması önlenmiş olunur. Depolama esnasında kazıkların birbirlerine yapışmaması kalaslarla ayrılarak sağlanmalı, kazıkları direkt güneş ışığına maruz kalmaları engellenmelidir. Soğuk havalarda, kaplamada yüzey bozulmasına, çatlamasına ve aşınmasına karşı direkt ve keskin etkilerden uzak durulmalıdır.

Bitümün önceden açıklana özelliklerinin yanı sıra içerdiği hidrokarbonların toksik ve kanserojen etkileri nedeniyle zemine ve yeraltısuyuna olumsuz etkileri olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tehlike zemin ve yeraltısuyuna geçen malzemenin oran ve konsantrasyonuna bağlıdır. Bu değerler saptanarak, normal değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Briaud ve Tucker gerçekleştirdikleri araştırma kapsamında bu konu üzerinde de çalışmalar yapmışlar ve bitüm uygulamasının bu konuda bir olumsuzluk teşkil etmediğini ortaya koymuşlardır. [4]

5.4.3 Koruyucu kazık uygulaması ile ilgili yapılan çalışmalar

Pratikte negatif çevre sürtünmesi tam olarak elimine edilememekle beraber bu amaçla kazık sistemlerinde yapılan harcamalar kazık maliyetiyle aynı değerlere ulaşabilmektedir. Bu hallede en ucuz ve en pratik yol (şekil 5.12)'de de görüldüğü üzere uç kazıklarında kazık çevresine, sürtünme kazıklarında ise kazık aralarına koruyucu kazıklar yerleştirilmesiyle negatif çevre sürtünmesinin azaltılmasıdır. [27]

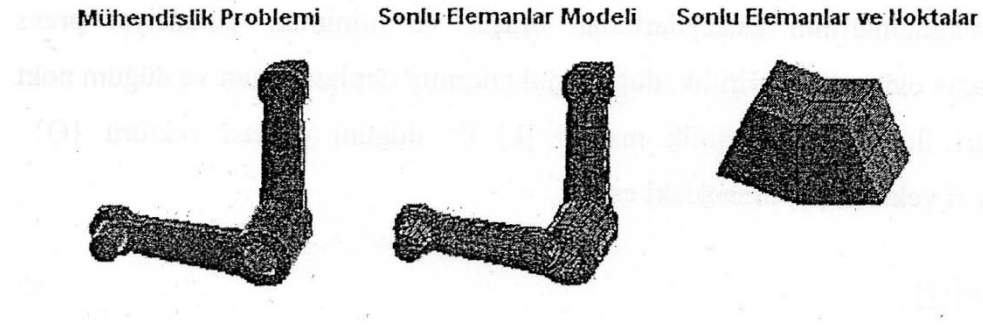


Şekil 5.12 : Koruyucu kazıklar yardımıyla negatif çevre sürtünmesinin azaltılması.

6 . PLAXİS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

6.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, tekrar eden çok sayıda işlemler ile mühendislerin karşılaştığı taşıyıcı sistemlerin karmaşık ve zor mekanik problemlerini kabul edilebilir bir yaklaşımla çözebilen sayısal bir çözüm yöntemidir. Bu yöntem yapıların yük altındaki davranışlarının tespiti amacıyla ufak parçalara ayrılması ve bu parçaların yapısal davranışlarından sistemin yapısal davranışının belirlenmesine geçme esasına dayanır. Yapıyı oluşturan her bir parça eleman olarak adlandırılır. Bu elemanların şekli, elemanların düğüm noktalarının koordinatlarının belirlenmesiyle elde olunur. Burada yapıyı oluşturan elemanların davranışlarının tanımlanabilmesi için geliştirilen bağıntılar tüm sisteme uygulanarak matris tekniği ile bilinmeyenlere ulaşılır.



Şekil 6.1 Sonlu elemanlar modeli [29]

Geoteknik mühendisliğinde bu yöntem yükleme, gerilme – şekil değiştirme, akım, konsolidasyon, taşıma gücü, zemin dinamiği veya genel olarak dinamik davranış, malzeme çeşitliliği olan problemlerde yaygın olarak kullanılabilir. [30]

Sonlu elemanlar yöntemi aynı amaca yönelik diğer yöntemlere nazaran taşıyıcı elemanların mekanik problemlerinin çözümlerinin modellenmesinde kullanıcılara pek çok olanak sağlamaktadır. Bu olanaklar aşağıda sıralanmıştır. [30]

- Sonlu elemanlar yöntemi, geometrisi karmaşık taşıyıcı elemanların çözümünü, incelenmesini olanaklı hale getirir.

- Taşıyıcı elemanda çözüm ortamı alt bölgelere ayrılarak ve değişik sonlu elemanlar kullanılarak bazı bölgeleri daha ayrıntılı ve hassas hesaplama olanağı sağlar.
- Sonlu elemanlar yöntemi, değişik ve farklı malzeme özellikleri olan sistemleri çözümüleme olanağı sağlar.
- Noktadan noktaya değişen izotropik, anizotropik, ortotropik, lineer ve nonlinear malzeme özellikli, değişken kesitli taşıyıcı elamanları, sürekli – süreksiz değişken yükler altında hesaplama olanağı sağlar.
- Sistemin temel denklemlerinin kurulması akabinde sonlu elemanlar yönteminin en önemli olanaklarından biri olan sınır şartları oldukça basit işlemler ile temel denklemlere dahil edilme olanağı sağlar.

6.1.1 Kullanılan kavramlar

6.1.1.1 Rijitlik matrisi

Rijitlik matrisi bir elemanın malzeme ve geometrik özelliklerinden türetilen denge denklemlerinin katsayılarından oluşur ve minimum potansiyel prensibi kullanılarak elde edilir. Rijitlik düğüm noktalarının deplasmanları ve düğüm noktası kuvvetleri ile ilgilidir. Rijitlik matrisi $[k]$ ile düğüm noktası vektörü $\{Q\}$ ve deplasman vektörü $\{q\}$ arasındaki eşitlik (6.1) denkleminde verilmiştir.

$$[k]\{q\} = \{Q\} \quad (6.1)$$

6.1.1.2 Toplam rijitlik matrisi

Toplam rijitlik matrisi, bütün ortam için eleman rijitlik matrisinden kurulan global rijitlik matrisidir. Bu matris, tek eleman düğüm noktası kuvvet vektörlerinin kullanıldığı toplam kuvvet ya da yük vektörlerini kapsar. Toplam rijitlik matrisi $[k]$, toplam yük vektörü $\{R\}$ ve düğüm noktası deplasman vektörü $\{r\}$ arasındaki ilişki (6.2) eşitliğinde verilmiştir.

$$[k]\{r\} = \{R\} \quad (6.2)$$

6.1.1.3 Gerilme durumu

Sürekli bir ortamda bir noktadaki gerilme durumu, altı bileşenden meydana gelir ve bu bileşenler matris hesabında (6.3) eşitliğindeki gerilme vektörü ile ifade edilir.

$$\{\sigma\}^T = \{\sigma_x \sigma_y \sigma_z \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx}\} \quad (6.3)$$

$$\{\sigma^T\} = \text{Gerilme vektörü}$$

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z = \text{Normal gerilme bileşenleri}$$

$$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx} = \text{Kayma gerilmesi bileşenleri}$$

Üzerinde kayma gerilmeleri bulunmayan üç düzlem vardır, bu düzlemler “asal düzlemler” olarak adlandırılırlar. Koordinat eksenleri asal düzlemlere uygun seçildiklerinde, gerilme vektörü (6.4) eşitliğindeki hainli alır;

$$\{\sigma\}^T = \{\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 0 0 0\} \quad (6.4)$$

Koordinat eksenleri ile değişmeyen gerilme invariantları, gerilme bileşenleri cinsinden (6.5), (6.6), (6.7) eşitliklerinde verildiği şekilde ifade edilirler.

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (6.5)$$

$$J_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 \\ = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1 \quad (6.6)$$

$$J_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2 \tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 \quad (6.7)$$

6.1.1.4 Şekil değiştirme ve kinematik durumu

Şekil değiştirme vektörü de gerilme vektöründe olduğu gibi altı bileşene sahiptir ve (6.8) eşitliği ile ifade edilir.

$$\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z \gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx}\} \quad (6.8)$$

$$\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z = \text{Şekil değiştirme}$$

$$\gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx} = \text{Şekil değiştirme}$$

Gerilme halinde olduğu gibi, kayma şekil değiştirme bileşenlerinin sıfır olduğu, aralarındaki dik açının sabit kaldığı üç asal düzlem vardır ve koordinat eksenlerinin uygun seçildiği halde şekil değiştirme vektörü (6.9) eşitliği ile ifade edilir.

$$\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \varepsilon_3 \ 0 \ 0 \ 0\} \quad (6.9)$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 =$ Asal şekil değiştirmeler

Koordinat eksenlerine bağlı olmayan şekil değiştirme invariantları (6.10), (6.11), (6.12) eşitlikleri ile verilmiştir.

$$I_1 = \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \quad (6.10)$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \\ &= \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \varepsilon_3 \varepsilon_1 \end{aligned} \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z + \frac{1}{4} (\gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx} - \varepsilon_x \gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y \gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z \gamma_{xy}^2) \\ &= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (6.12)$$

6.1.1.5 Lineer izotropik elastisite

Genelleştirilmiş Hooke Kanunu'nda en basit hal, malzemenin lineer, izotropik ve elastik olduğu haldir. İzotropik malzemede, bünyedeki her düzlem malzeme davranışının simetri düzlemidir. Bu durum şekil değiştirmeler cinsinden (6.13) eşitliği ile ifade edilir.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ & & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{2(1+\nu)}{E} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{2(1+\nu)}{E} & 0 \\ & & & & & \frac{2(1+\nu)}{E} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad (6.13)$$

Bu durum gerilme cinsinden ise (6.14) eşitliği ile verilir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (6.14)$$

6.1.1.6 Düzlem şekil değiştirme durumu

Sistemin bir boyutu boyunca geometrisi ve yükleme şartları önemli derecede değişmiyorsa bu durum düzlem şekil değiştirme durumu olarak adlandırılmaktadır. Şerit temeller, tüne, boru gibi uzun silindirler, destek duvarları, barajlar, tipik düzlem şekil değiştirme problemleridir. Düzlem şekil değiştirme şartında z yönündeki (6.15) eşitliğindeki şekil değiştirme bileşenleri sıfır olur.

$$\epsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 \quad (6.15)$$

Daha sona da gerilme – şekil değiştirme bağıntıları (6.16) ve (6.17) eşitlikleri hali alırlar.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (6.16)$$

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y) \quad (6.17)$$

6.1.1.7 Düzlem gerilme durumu

Sistemin bir boyutu çok küçük ise ve bu yönde yük taşıyorsa düzlem gerilme problemleri ortaya çıkar. Kendi düzleminde yüklenen ince plak örneği tipik bir örnek olarak verilebilir. Düzlem gerilme şartı (6.18) eşitliği ile verilmektedir.

$$\sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (6.18)$$

Bu duruma göre gerilme şekil değiştirme bağıntıları (6.19) ve (6.20) eşitlikleriyle verilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (6.19)$$

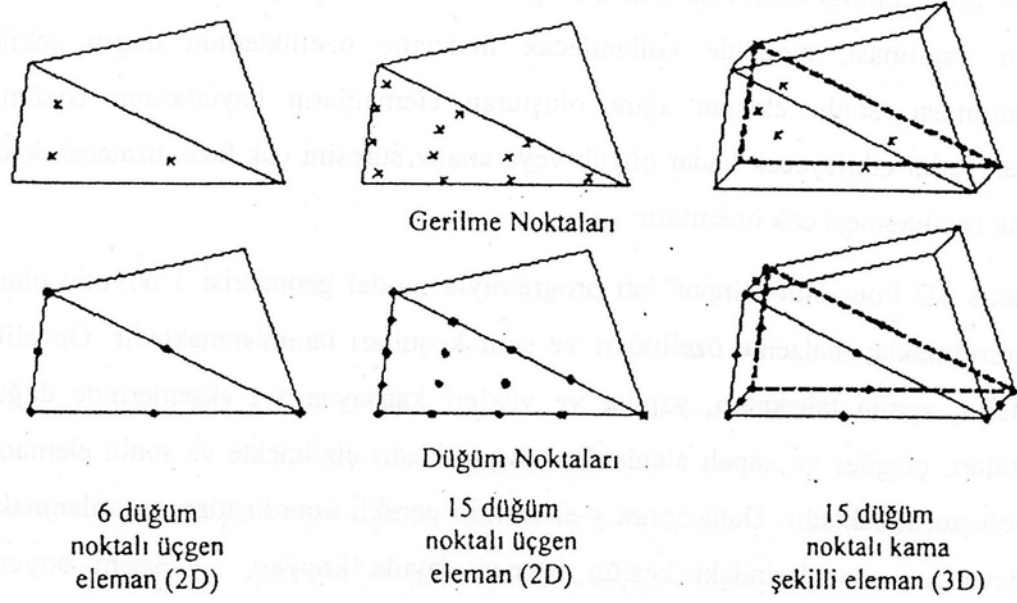
$$\varepsilon_2 = \frac{\nu}{1-\nu} (\varepsilon_x \varepsilon_y) \quad (6.20)$$

6.2 Plaxis 3D Foundation Programının Özellikleri

6.2.1 Programın genel özellikleri [31]

“Plaxis 3D Foundation” özellikle temel sistemlerindeki yer değiştirme ve taşıma gücü problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek, üç boyutlu olarak çözümlenmesi için geliştirilmiş ticari bir yazılımdır. Zemin veya kayanın doğrusal olmayan, zamana bağlı ve yönlere göre farklılık gösterme özellikleri ileri yapısal modellerle temsil edilebilmektedir. Bunun yanı sıra zeminin çok fazlı yapısı temsil edilebilmekte, statik boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir. Yapı – zemin etkileşimi, sıfır kalınlıklı özel ara yüzey elemanları (interface) ile otomatik olarak modellenebilmektedir.

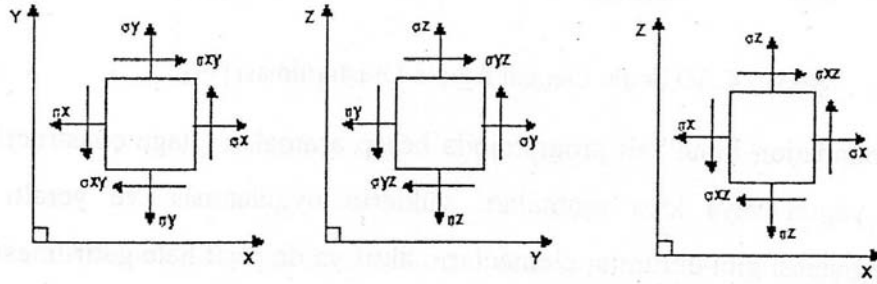
Yazılımda istenilen kesitin zemin tabakaları, yapılar, yapım aşamaları (hesap aşamaları), yükler ve sınır şartları grafik olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca kesitin düzgün olmayan elemanlardan oluşan iki boyutlu sonlu eleman ağı otomatik olarak oluşturulmaktadır. İstenirse oluşturulan bu iki boyutlu eleman ağı, kesitin tümü için ya da sadece bölgesel olarak eleman boyutu ayarlaması seçeneği ile sıkılaştırılabilmektedir. 6 düğüm noktalı üçgen elemanlardan oluşan sonlu elemanlar ağı y- ekseninde doğrusal uzatılarak modelin tümü için üç boyutlu sonlu eleman ağı tamamlanmaktadır. Sonlu elemanlar ağında, gerilme ve yer değiştirmelerin hesaplanması için 15 düğüm noktalı elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2 Zemin elemanında düğümlerin ve gerilme noktalarının yerleşimi [31]

İki boyutlu analizde kullanılan 15 düğüm noktalı üçgen elemanların oluşturacağı üç boyutlu elemanlar, çok büyük kapasiteli bilgisayarlar ile çözülebileceği ve çözüm süresinin kabul edilmez şekilde uzun olacağından kullanılmamaktadır.

3D katı sürekli ortam elemanlara ait pozitif gerilme yönleri Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



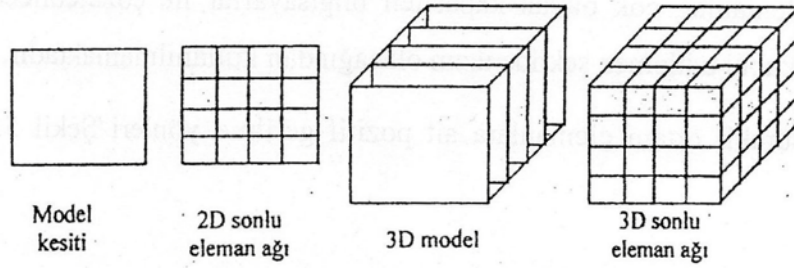
Şekil 6.3 3D katı sürekli ortam elemanındaki pozitif gerilme yönleri [29]

6.2.2 Plaxis 3D Foundation programının kullanım esasları [30]

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar programı birbirleri ile girişimli 4 ayrı alt programdan oluşmaktadır. Bunlar, problemin geometrisinin oluşturularak modelin sonlu elemanlara bölüldüğü ve probleme ait malzemenin, sınır koşullarının, yük durumlarının atandığı INPUT veri girişi programı, oluşturulan modele ait hesaplamaların yapıldığı CALCULATIONS analiz programı, hesaplamalardan elde edilen sonuçların görüldüğü OUTPUT veri çıkışı programı ve sonuçların grafiksel

olarak görülebildiği CURVES grafik programıdır. Plaxis 3D Foundation programında modellemenin doğru yapılması, modelde kullanılacak malzeme özelliklerinin doğru şekilde kullanılması, sonlu eleman ağını oluşturan elemanların boyutlarının çözümün hassasiyetini etkileyecek kadar büyük veya analiz süresini çok fazla uzatacak kadar küçük seçilmemesi oldukça önemlidir.

“Plaxis INPUT” alt programıyla model geometrisi 3 boyutlu olarak oluşturulmakta; malzeme özellikleri ve sınır koşulları tanımlanmaktadır. Öncelikle modelin; zemin tabakaları, yapılar ve yükleri kapsayan x – z ekseninde düğüm noktaları, çizgiler ve kapalı alanlardan oluşan kesiti çizilmekte ve sonlu elemanlar ağı oluşturulmaktadır. Daha sonra y- ekseninin gerekli koordinatları tanımlanmakta, böylece x – z eksenlerindeki kesitin istenen sayıda kopyası, y- eksenini boyunca düzlemleri oluşturmaktadır. Düzlemler arasında kalan hacimler de dilimleri oluşturmaktadır. Şekil 6.4’te bu yapı verilmektedir.



Şekil 6.4 Solu elemanlar ağının oluşturulması [31]

“Plaxis Input” alt programında hesap aşamaları (stage construction) seçeneği ile yapım veya kazı aşamaları, yüklerin uygulanması veya yer altı su seviyesinin değişmesi gibi durumlar elemanların aktif ya da pasif hale getirilmesiyle temsil edilebildiğinden gerilme ve yer değiştirmeler kolaylıkla gerçeğe yakın olarak tahmin edilebilmektedir.

Ayrıca programda yer alan otomatik yük artırımı (automatic load stepping) özelliği ile plastik hesap adımlarında en uygun yük artışları sağlanırken, “yay uzunluk kontrolü” (arc length control) özelliği ile göçme yükü tam olarak hesaplanabilmektedir.

6.2.3 Kullanılan yapısal modeller

Kazıkların modellenmesinde zemin elasto – plastik, kazık ise elastik olarak alınmıştır. Elasto – plastik durum için Mohr – Coulomb ve Pekleşen Zemin (Hardening Soil) yapısal modelleri mevcuttur. Bu çalışmada zemin Mohr – Coulomb yapısal modeline göre modellenmiş, kazık ise lineer izotropik olarak kabul edilmiştir. Mohr - Coulomb yapısal modeline ait en önemli zemin parametreleri elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), zemin birim hacim ağırlığı (γ), zemin kohezyonu (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ)'dır.

Mohr – Coulomb'da yapısal modeli şekil 6.5'te görülmekte olup, Coulomb sürtünme yasasının genelleştirilmiş hali olup (6.21) eşitliği ile verilir.

$$F(\sigma, K) = \tau - (c - \sigma_n \tan \phi) = 0 \quad (6.22)$$

Burada

τ : Kayma dayanımı

σ_n : Normal gerilme

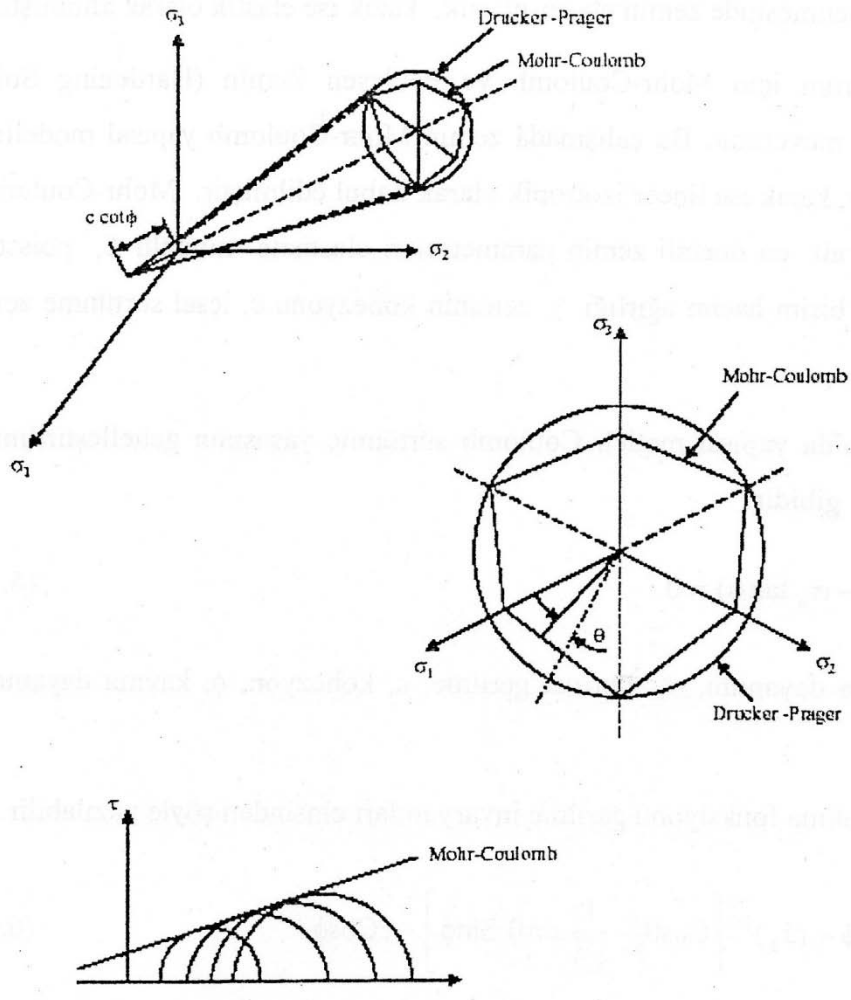
c : Kohezyon

ϕ : Kayma dayanımı açısı

Mohr – Coulomb akma fonksiyonu gerilme invariantları cinsinden (6.23) eşitliği ile belirtilir.

$$F(\sigma, K) = \sigma_n \sin \phi + (J_2)^{1/2} \left[\cos \theta - \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \theta \cdot \sin \phi \right] - c \cos \phi \quad (6.23)$$

Bu eşitlikte hem c hem de ϕ yer değiştirme pekleşme parametresi K'ya bağlıdır.



Şekil 6.5 Mohr – Coulomb yapısal modeli [31]

7 . SONLU ELEMANLAR PROGRAMI İLE YAPILAN ANALİZLER

7.1 Plaxis 3D Foundation Programı ile Modelleme Yapılması

Kazık gruplarında negatif çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımını ve kazık çap ve aralık değişimlerinin etkisini irdelemek amacıyla kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, kazık – zemin modeli, sonlu elemanlar ağı, geometri, malzeme, sınır koşulları ve yükleme çeşitlerini içermektedir. Modellemede YASS -26.00 m’de çalışmaya etki etmeyecek bir derinlikte modellenmiştir. Kazık grubu, kazık başlığı ve zemin modellemesi INPUT alt programında yapılmıştır. Hazırlanan modelleme CALCULATIONS alt programı ile analiz edilerek çözülmüş ve değerler OUTPUT programında elde edilmiştir.

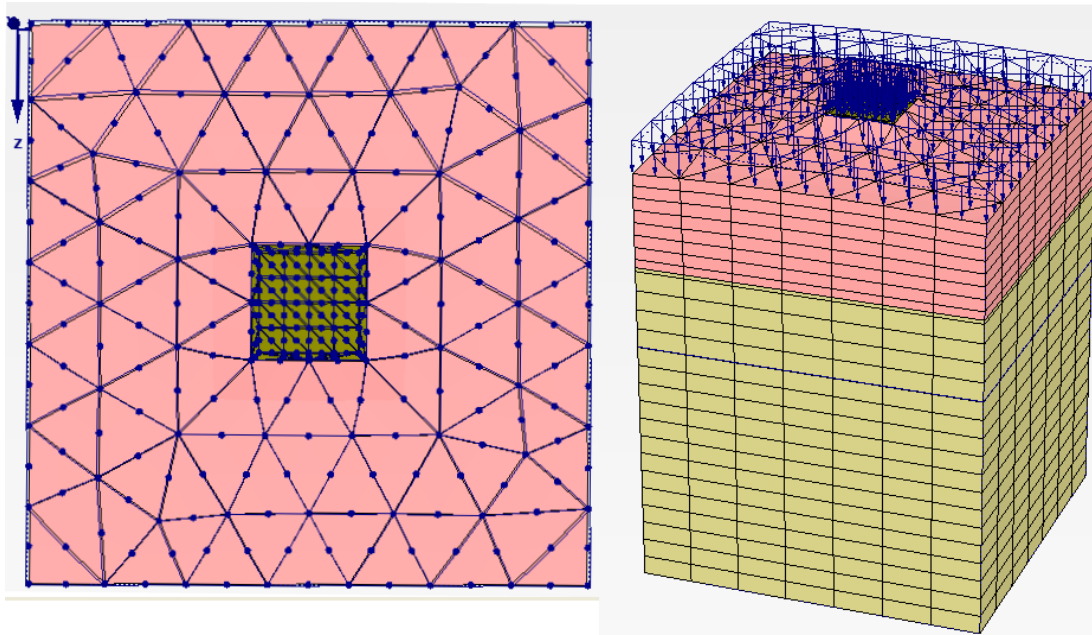
Analizler iki aşamadan oluşmaktadır ve PLAXIS 3D FOUNDATION sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuştur. İlk aşamada L=17 m uzunluğundaki 25 adet kazıktan oluşan (5X5) kazık grubu üzerindeki, S kazık aralığı olmak üzere $(4S+D)^2$ alanına sahip kare kazık başlığına 100kN/m^2 düşey yük uygulanmıştır. Kazık başlığını çevreleyen zemine uygulanan aynı değerde düşey yük etkisi altında yumuşak zeminde meydana gelen oturmalar sonucu oluşan negatif çevre sürtünmesi ve yine bu koşullar altında kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise yine aynı yük ve zemin koşulları altında L=17 m uzunluğunda kazıklar arasındaki mesafe $S = 3D$ olmak üzere 25 adet kazıktan oluşan kazık grubundaki (5X5) kazıklarda çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi incelenmiştir.

7.1.1 Sonlu Elemanlar Ağı

x, y, ve z eksenlerinde yapılan çözümler sonucunda sonlu eleman ağı boyutları tüm kazık çapları için belirlendi. Sınırlarda değişim olmayacak şekilde x ve z eksenlerinde kazık çapının yaklaşık 40 katı, y ekseninde kazık boyunun yaklaşık 3 katı olarak belirlenmiş ve yatayda 45 m, düşeyde 55 m olarak modellenmiştir.

Program kapsamında simetriden yararlanılmaması nedeniyle sonuçlar 25 adet kazıktan oluşan (5X5) kazık grubunun diğer kazıkların simetrisi olan, 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 ve 13 numaralı kazıklar üzerinde değerlendirilmiştir (Şekil 7.3).

Sonlu elemanlar ağının sıklaştırılmasıyla elemanların boyutları arasında düzgün oranlar elde edilene dek yatayda ve düşeyde “sıkı” (fine) ağ ile sonuçlarda gerçeğe en yakın değerlerin elde edileceği sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Bu sonlu elemanlar ağı Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1 : (5x5) Kazık grubu modelinin yatay ve düşey yönde oluşturulan sonlu elemanlar ağı

7.2 Kazık Grubunun Negatif Çevre Sürtünmesi Analizi

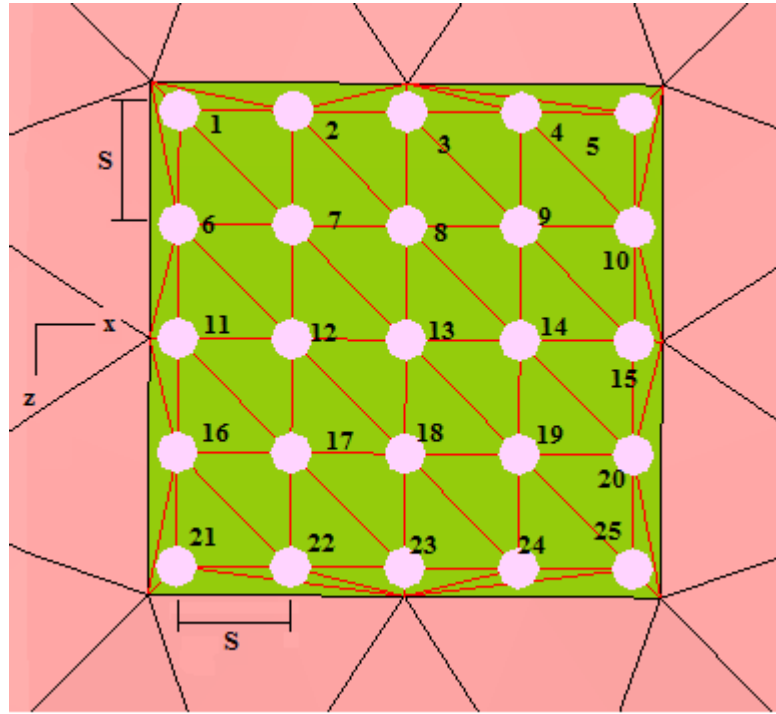
Sonlu elemanlar programı ile modellenen bir geoteknik problemin basitleştirilmesi için bazı kabuller yapılmaktadır. Bu noktada önemli olan modelin gerçek probleme uygunluğudur. Diğer bir deyişle problemin modellenmesi, uygun elemanlar, iyi bir

sonlu elemanlar ağı ve doğru zemin parametrelerinin kullanılması ile mümkün olabilmektedir.

Plaxis 3D Foundation programıyla modellenen bu çalışmada önceden belirlenen zemin parametreleri ve $L = 17$ m boyunda, 25 adet kazıktan oluşan (5X5) kazık grubu oluşturularak kazık ve kazık başlığının önceden belirlenen özellikleri programa tanıtılmıştır.

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kazık aralıkları değişiminin kazık grubunu oluşturan kazıklar boyunca meydana gelen negatif çevre sürtünmesine etkisini incelemek amacıyla sırasıyla modelleme aşamasında kazık çapı $\phi = 450$ mm 'de sabit tutularak ve zemin parametrelere de aynen korunarak $S = 3D$, $S = 4D$ ve

$S = 5D$ kazık aralıkları için negatif çevre sürtünmesi değişimleri incelenmiştir. Analizlerde kullanılan kazık aralıklarından 3D kazık aralığı Şekil 7.2'de gösterilmektedir.



Şekil 7.2 : $S = 3D$ aralık için 5X5 kazık grubu tasarımı

Çalışmanın ikinci aşamasında kazık ve zemin parametreleri sabit tutularak kazık çapları değişiminin kazık grubunu oluşturan her bir kazık boyunca meydana gelen negatif çevre sürtünmesine etkisi incelenmiştir. Bu aşamada 3D kazık aralığı için

sırasıyla $\phi = 450$ mm, $\phi = 650$ mm, $\phi = 800$ mm ve $\phi = 1000$ mm olmak üzere dört farklı kazık çapta kazık tasarlanmıştır.

7.2.1 Analizlerde Kullanılan Kazık ve Zemin Parametreleri

Modellemede zemin parametrelerini doğru olarak seçilmesi oldukça önemlidir. Kazıkların modellenmesi aşamasında Elastisite modülü (E) ve poisson oranının (μ) sonuçlar üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Poulos'a göre zemin elastisite modülü taşıma gücü ve yük dağılımını oldukça fazla değiştirmektedir. Poisson oranının 0.5'e yakın değerde olması suya doymun bir zemin davranışını vermektedir. Analizlerde Çizelge 7.1'de verilen zemin ve kazık için malzeme özellikleri kullanılmıştır.

Çizelge 7.1 : Zemin ve kazık malzeme özellikleri

ZEMİN MALZEME ÖZELLİKLERİ		ZEMİN MALZEME ÖZELLİKLERİ		KAZIK MALZEME ÖZELLİKLERİ	
Derinlik (m)	15.5	Derinlik (m)	39.5	E (kN/m ²)	3.000E+07
Zemin Sınıfı	Yumuşak Kil	Zemin Sınıfı	Çok Sıkı Kum	γ_n (kN/m ³)	3.50
Malzeme Tipi	Drenajsız	Malzeme Tipi	Drenajsız	Malzeme Tipi	Masif, dairesel
γ_n (kN/m ³)	7.00	γ_n (kN/m ³)	12.00	KAZIK BAŞLIĞI MALZEME ÖZELLİKLERİ	
$\gamma_{ndoygun}$ (kN/m ³)	17.00	$\gamma_{ndoygun}$ (kN/m ³)	20.00	d (m)	0.50
E (kN/m ²)	1000	E (kN/m ²)	2.400E+05	γ (kN/m ³)	25.00
ν	0.34	ν	0.30	ν_{12}	0.20
c' (kPa)	10	c' (kPa)	1.000E-04	G ₁₂	1.250E+07
k	0.00	k	1.00		
ϕ^0	18	ϕ^0	38		
R _{inter}	1.00	R _{inter}	1.00		
		YASS	-26.00 m		

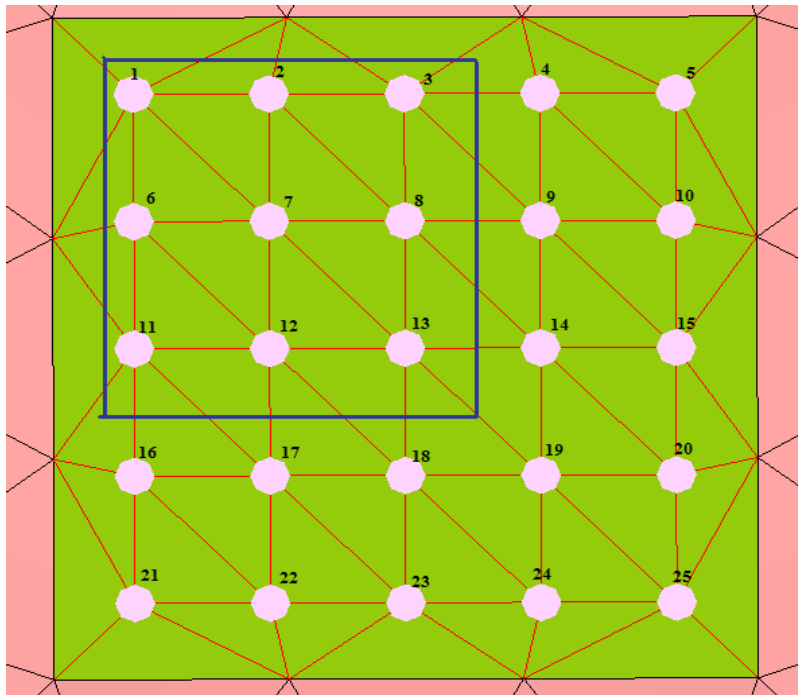
7.2.2 Analiz Sırasınca Hesap Adımları

İlk aşamada geometri ve sınır koşullarının tanımlanmasını takiben; kazık, kazık başlığı ve zemin özellikleri tanımlandıktan sonra yayılı yüklerin uygulanacağı yerler belirlendi ve zeminin kendi ağırlığı ile yüklenmesine izin verildi ve deplasmanlar sıfırlandı. İkinci aşamada elemanlara kazık ve kazık başlığı malzeme özellikleri atandı ve bu unsurlar altında zeminde meydana gelen deplasmanlar sıfırlandı. Üçüncü aşamada $(4S + D)^2$ alanındaki kazık başlığına 100kN/m² yük uygulandı ve

bunun sonucunda meydana gelen deplasmanlar da sıfırlanarak son aşamaya geçildi. Son aşamada kazık grubu çevresinde yer alan kil zemine de 100kN/m^2 yük uygulandı ve bu yük altında kilin oturması sağlandı. Yükleme programın zeminin elasto-plastik davranışını dikkate alarak otomatik yük artırımı yapma özelliği kullanarak yapıldı.

7.3 Analiz Sonuçları ve Bulgular

Analizler yumuşak kil zemin içinden geçen ve çok sıkı kum zemine soketlenen $L = 17\text{ m}$ uzunluğundaki grup kazıklarında yapıldı. Kazıkların konumu, ve çalışmada seçilen kazıklar Şekil 7.3'te verilmiştir. Çalışma kazık aralık değişiminin kazık boyunca meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değişimine ve 25 adet kazıktan oluşan kazık grubundaki (5X5) her bir kazığın birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek, kazık çap değişiminin de kazık boyunca negatif çevre sürtünmesi değişimini ve grup içindeki kazıkların birbirine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Hesap aşamasını takiben programın OUTPUT aşamasında her bir kazık için negatif çevre sürtünmesi değerleri elde edilmiş ve elde edilen tüm değerler birbirlerine göre yorumlanmıştır. Elde edilen değerler ve yapılan yorumlamalar ışığında kazık aralık değişiminin ve çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi Ek A.3, B.2, ve C.2 'de görülen grafiklere dökülmüştür.



Şekil 7.3 : Analizlerde seçilen kazıklar.

8 . SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, günümüzde pahalı olmasına rağmen oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan derin temel elemanlarından kazıkların, uygulanacakları zemin türüne göre karşılaşılabilecek olan bir problemi incelenmiştir.

“*Negatif çevre sürtünmesi problemi*” çalışmamızın ana konusunu meydana getirmektedir. Çalışmada kazıkların imalatını takiben henüz konsolidasyonunu tamamlamamış zemin tabakalarında oturmalar meydana gelmesinin ardından kazıklarda oluşan negatif çevre sürtünmesi ve kazık aralık- çap değişimlerinin oturma sonrası meydana gelen negatif çevre sürtünmesine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanması öncesinde, sırasıyla kazıklı temellerin tanıtımı yapılmış, dayanımlarından bahsedilmiş, taşıma güçlerinin eldesi için uygulanan arazi deneylerine değinilmiş, taşıma gücü hesapları tekil ve grup kazıkları için irdelenmiş ve bu hesaplamalardaki ana faktörlerden olan kazığın uygulandığı zeminde oluşan sürtünme direncinin hesaplanmasına geniş yer verilmiştir. Daha sonra negatif çevre sürtünmesi problemi detaylı bir şekilde tarif edilmiş, negatif çevre sürtünmesi yöntemleri açıklanarak negatif çevre sürtünmesini azaltma yöntemleri anlatılmıştır.

Son olarak sonlu elemanlar programı Plaxis 3D Foundation programına değinilmiştir. Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile zemin problemlerinin çözümünde oldukça büyük kolaylıklar elde edilmekte ve problemin basitleştirilmesi için birtakım kabuller yapılabilmektedir. Bilgisayar ortamında gerçeğe en yakın şekilde modellenen problemin analizi, statik kazık formüllerinde uygulanan bir takım kabuller ve ihmal edilen değerlerin hesaba katılması ile çözüm sağlanabilmektedir. Uygulanan bu sonlu elemanlar yöntemi ile farklı yapı elemanları için, farklı sınır koşulları, malzeme özellikleri ve yapı yükleri tanımlanabilmektedir. Sonlu elemanlar programı Plaxis 3D Foundation kullanılarak taşıyıcı zemine giren 25 adet (5x5) grup kazığına gelen negatif çevre sürtünmesi analizi yapılmıştır. Bu analiz, yumuşak kil zemin içinde ilerleyerek 15.5’nci metrede çok sıkı kum zemine soketlenen 17m uzunluğundaki kazıklar üzerinde yapılmıştır. Kazık başlığı ve kazık başlığını çevreleyen zemine sırayla ve her bir aşamada deplasmanlar sıfırlanarak 100kN/m^2 yük uygulanmıştır. Zemine uygulanan yük

sonucunda zeminde oturma meydana gelmiş bu oturma neticesinde de kazıklarda negatif çevre sürtünmesi meydana gelmiştir. Zeminde meydana gelen oturma değerleri kazık aralıklarına bağlı olarak değişse de modelin köşelerinde ortalama olarak 700×10^{-3} m değerindedir. Yük altında deformasyon modelleri Ek A1'de sıralanmaktadır. Analiz, kazık çaplarının $\phi = 450$ mm olduğu halde değişken kazık aralıkları için devam ettirilmiştir. 3D, 4D ve 5D kazık aralıkları için yapılan çalışmada kazık çapları sabit tutulmuş ve kazık aralıkları değişimlerinin gruptaki her bir kazık için kazık boyunca gözlenen negatif çevre sürtünmesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

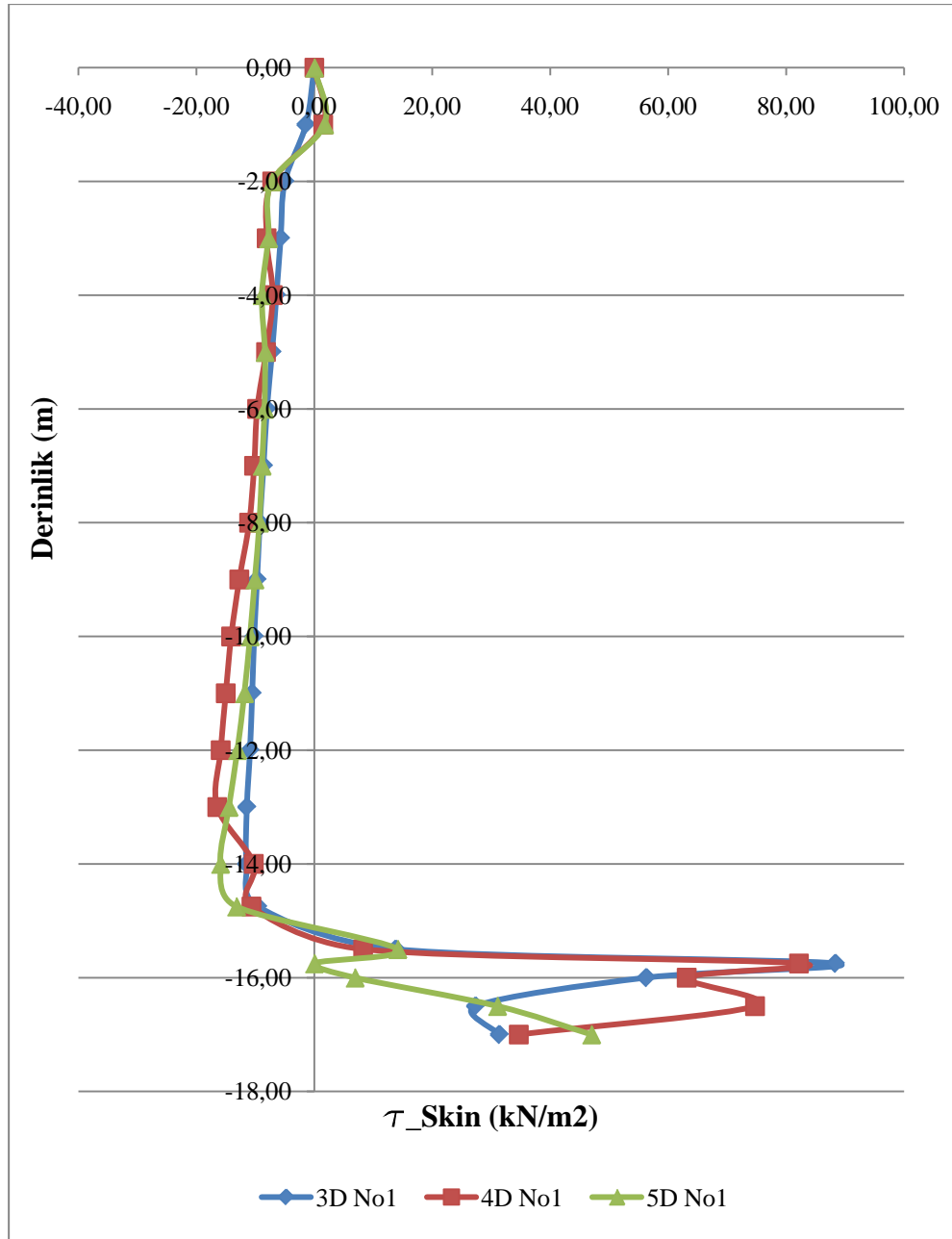
Ek A2'de görüldüğü üzere çalışma bu aşamada sadece gerilme cinsinden değerlendirilmiştir. 1 numaralı köşe kazıkta negatif çevre sürtünmesi yüzeyden 15.5 m derinliğe, yani yumuşak kil tabakasının sonlandığı ve çok sıkı kum tabakanın başladığı noktaya kadar gözlenmektedir. Simetrikler kontrol edilerek kazık boyunca -2.00 m ile -15.50 m arasında negatif çevre sürtünmesinin gözlendiği 2 ve 6 numaralı kazıkların birbirleri ile aynı negatif çevre sürtünmesi değerlerini verecekleri öngörülmüş ve grafiklerden de anlaşıldığı üzere doğrulanmıştır. Yine aynı şekilde 3 ve 11 numaralı kazıklarda -6.00 ile -15.50 m arasında aynı noktalarda negatif çevre sürtünmesi gözlenmektedir. 1, 3 ve 11 numaralı kazıklarda kazık aralığının artması ile birlikte kazık boyunca gözlenen negatif çevre sürtünmelerinde önce artış daha sonra kazık çapının artmasıyla azalma gözlenmiştir. Bu iki kazık da aynı negatif çevre sürtünmesi değerlerini vermektedir. 7, 8, 12 ve 13 numaralı kazıklarda ise kazık çapı artışıyla orantılı olarak kazık boyunca gözlenen negatif çevre sürtünmesi değerlerinde de artış gözlenmektedir. Yine bu kazıklarda (7, 8, 12, 13 numaralı kazıklar) -8.00 ile -15.50 m arasında negatif çevre sürtünmesi gözlenmektedir.

Bu durumda elde edilen veriler ışığında, kazık grubunda dışta kalan kazıklarda kazık aralığının artmasıyla birlikte kazık boyunca gözlenen negatif çevre sürtünmesi değerlerinde önce artış sonra azalma gözlenmektedir. Kazık grubunda içte kalan kazıklarda kazık aralığında meydana gelen artışla orantılı olarak kazık boyunca gözlenen negatif çevre sürtünmesi değerlerinde artış gözlenmektedir. Kazıklar arasında “blok halindeki zemin davranışı” görülmektedir.

Kazık aralık artışının negatif çevre sürtünmesine etkileri Şekil 8.1'de ve Çizelge 8.1'de “1” numaralı kazık için gösterilmiştir. Diğer modelleri için hazırlanan veriler eklerde sunulmuştur.

Çizelge 8.1 : “1” numaralı kazıkta kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi

		3D		4D		5D	
		No1		No1		No1	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		-1.42		1.51		1.71	
-2.00		-4.99		-7.14		-7.19	
-3.00		-5.71		-8.09		-7.80	
-4.00		-6.43		-7.06		-8.89	
-5.00		-7.16		-8.20		-8.37	
-6.00		-8.04		-9.70		-8.45	
-7.00		-8.61		-10.21		-8.88	
-8.00		-9.24		-11.05		-9.31	
-9.00		-9.70		-12.73		-10.10	
-10.00		-10.20		-14.11		-10.91	
-11.00		-10.53		-15.02		-11.87	
-12.00		-10.90		-15.88		-13.05	
-13.00		-11.44		-16.47		-14.49	
-14.00		-11.47		-10.26		-15.93	
-14.75		-9.58		-10.66		-13.21	
-15.50		13.80		8.27		14.13	
-15.75		88.34		82.18		0.00	
-16.00		56.29		63.13		6.88	
-16.50		27.34		74.72		31.03	
-17.00		31.37		34.66		46.98	



Şekil 8.1 : “1” numaralı kazıkta kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi

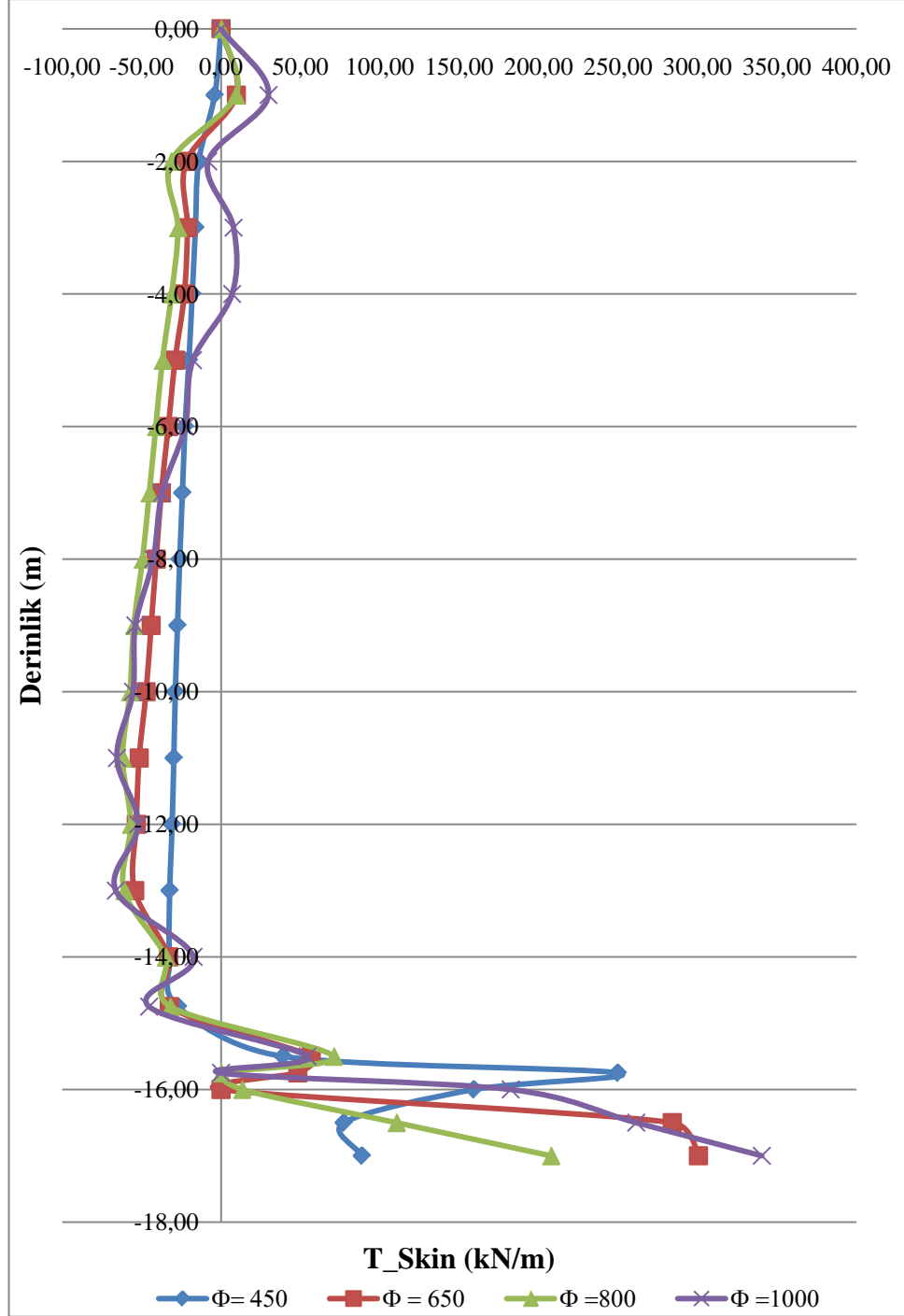
Çalışma bir ileri aşamaya taşınarak kazık çap değişimlerinin negatif çevre sürtünmesi üzerine etkilerini incelemek amacıyla kazık çapları sırasıyla $\phi = 450\text{mm}$, $\phi = 650\text{mm}$, $\phi = 800\text{mm}$ ve $\phi = 1000\text{mm}$ olmak üzere değiştirilerek ve 3D kazık aralığı sabit tutularak çalışma tamamlanmıştır. Ek A1’de kazık çap değişimlerine göre oturma değerleri verilmiştir. Ek C1, C2 B1 ve B2 de verilen çizelge ve grafiklerde görüldüğü üzere, çalışma hem kuvvet hem de gerilme cinsinden değerlendirilmektedir. Bu aşamada da 1 numaralı kazıkta, yüzeyden -15,50 m derinliğe kadar, 2 ve 6 numaralı kazıklarda -2.00 ila -15.50 m arasında, 3 ve 11 numaralı kazıklarda -6.00 ila -15.50

m arasında, 7, 8, 12 ve 13 numaralı kazıklarda -8.00 ila -15.50 m arasında negatif çevre sürtünmesi gözlenmektedir.

Ek C1 ve C2 'de verilen tablo ve grafiklerde de görüldüğü üzere, kazık boyunca meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değerleri kuvvet cinsinden ele alındığı halde, kazık çapıyla orantılı bir artış göstermektedir. Fakat bu negatif çevre sürtünmesi değerleri gerilme cinsinden ele alındığı takdirde 2, 6, 3 ve 11 numaralı kazıklarda kazık çap değeri artışıyla birlikte bir azalma göstermektedir. 7, 8, 12 ve 13 numaralı kazıklarda ise kazık çap değeri artışıyla birlikte negatif çevre sürtünmesi değerlerinde önce artış gözlenmiş daha sonra değerlerde azalma elde edilmiştir. 1 numaralı köşe kazıkta ise, $\phi = 650$ mm çapındaki kazıkta gözlenen negatif çevre sürtünmesi en büyük değeri vermektedir. Diğer kazıklar için elde edilen negatif çevre sürtünmesi değerleri irdelendiğinde görülmektedir ki, $\phi = 800$ mm çapa sahip kazıkta meydana gelen negatif çevre sürtünmesi değeri, $\phi = 650$ mm çapındaki kazıkta gözlenen negatif çevre sürtünmesi değerinden daha düşük olmaktadır. Bunu takiben $\phi = 450$ mm çapındaki kazıkta gözlenen negatif çevre sürtünmesi değeri gelmekte, son olarak en küçük negatif çevre sürtünme değerine sahip $\phi = 1000$ mm çapındaki kazık gelmektedir. "1" numaralı kazık için kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi Çizelge 8.2 ve Şekil 8.2 'de gösterilmektedir. Diğer kazıklara ait veri ve grafikler eklerde sunulmuştur.

Çizelge 8.2 : “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No1		Φ=450		Φ=650		Φ=800		Φ=1000
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		-4.01		9.63		9.26		29.86
-2.00		-14.10		-21.80		-31.52		-8.11
-3.00		-16.13		-21.16		-27.17		7.89
-4.00		-18.17		-23.08		-31.16		6.98
-5.00		-20.25		-28.93		-36.89		-17.74
-6.00		-22.73		-33.18		-41.08		-22.61
-7.00		-24.34		-37.62		-45.17		-37.09
-8.00		-26.04		-40.82		-49.45		-42.69
-9.00		-27.43		-44.00		-54.92		-53.95
-10.00		-28.83		-47.19		-57.38		-55.42
-11.00		-29.78		-51.54		-61.99		-65.55
-12.00		-30.83		-53.38		-56.85		-52.12
-13.00		-32.33		-54.38		-61.01		-66.26
-14.00		-32.41		-32.99		-34.93		-17.34
-14.75		-27.09		-32.57		-32.06		-45.25
-15.50		39.03		56.74		70.91		54.42
-15.75		249.74		48.31		0.00		0.00
-16.00		159.14		0.00		13.13		182.34
-16.50		77.30		284.07		110.40		261.37
-17.00		88.68		300.54		207.67		340.41



Şekil 8.2. : “1” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı

Tüm modellerde her bir kazıkta 15.5 m sonrası kazığın yumuşak kil zeminden çıkıp çok sıkı kum zemine girdiği noktadan itibaren kazıkta negatif çevre sürtünmesinin işaret değiştirerek pozitif yönde arttığı gözlenmektedir. Bazı noktalarda sıkı kum zeminde kazıkta meydana gelen çevre sürtünmesinde elde olunan negatif ve sıfıra yakın değerler kazık ucunda meydana gelen deplasmanlardan ve çok sıkı kum zeminden gelen yüksek gerilmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Modellerde görülüyor ki grupta iç kısımda konumlanan kazıklarda grubun dışında kalan kazıklara nazaran, daha az bölgede negatif çevre sürtünmesi gözlenmektedir. Bu da bizi negatif çevre sürtünmesini önleme yöntemlerinden koruyucu kazık uygulamasına götürür. Grup kazığının dışında kalan bölgede koruyucu kazık uygulamasına geçilirse negatif çevre sürtünmesi oldukça azaltılabilir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda bu model temel alınarak, farklı zemin değerleri için kazıklarda meydana gelebilecek negatif çevre sürtünmesi değerleri karşılaştırılabilir. Yine ileriki çalışmalarda kazıklarda negatif çevre sürtünmesi önleme yöntemlerinden olan bitümle kaplama ve koruyucu kazık kullanma v.b. olguların kazık gruplarında meydana gelen negatif çevre sürtünmesine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Önalp, A., Sert, S.**, 2006. Geoteknik bilgisi III Bina Temelleri, İstanbul
- [2] **Prekash, S., Sharma, H.D.**, 1990. Pile Foundation in Engineering Practice, Wiley, John & Sons, Incorporated.
- [3] **Aksoy, İ.H.**, 2007. Temel İnşaatında Kullanılan Malzemelerin Dayanıklılığı, İ.T.Ü., Temel inşaatı II. Ders Notları.
- [4] **Yeung, A.T., Viswanathan, R., Briaud, J.L.**, 1996. Field Investigation of Potential Contamination by Bitumen Coated Piles, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, September 1996. sf.1020-1024.
- [5] **Egeli, İ., Özer, A.**, 1990. Funtex Metodları ile Yerinde Dökme Betonarme Kazık Yapımı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi*.
- [6] **Kumbasar, V., Kip, F.**, 1999. Zemin Mekaniği Problemleri, İstanbul
- [7] **Flewing, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.P., Elson, W.K.**, 1985. Piling Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [8] **Us Army Corps of Engineers**, 1991. Design of Pile Foundations, Engineer Manual 1110-2-2906, Washington.
- [9] **Budhu, M.** 2007. Foundations and Earth Retaining Structures, University of Arizona.
- [10] **Tomlinson, M.J.**, 1973. İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Bülten, Yıl 4, Sayı 12-13, İstanbul, s. 75-94
- [11] **Birand, A.**, 2001. Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi Mühendislik Mimarlık Yayınları, Ankara.
- [12] **U.S. Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC)**, 1982. Deep Foundations-piles, Washington Navy Yard, s. 177-191
- [13] **Fellenius, B.H.**, 2006. Basics of Foundation Design, Electronic Edition,
URL -1 <<http://www.fellenius.net>>
- [14] **Bowles, E.J.**, 1996. Foundation Analysis and Design, 5th Edition, Singapore, s. 891-910.
- [15] **Hogkong Hükümeti İnşaat Mühendisliği Departmanı Geoteknik Mühendisliği Ofisi**, 2006. *Foundation Design and Construction Geo Publication*, Sayı: 1/2006, Washington.
- [16] **Türkiye İnşaat Mühendisliği 11. Teknik Kongresi**, 1991. Bildiriler Kitabı 1.Cilt, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

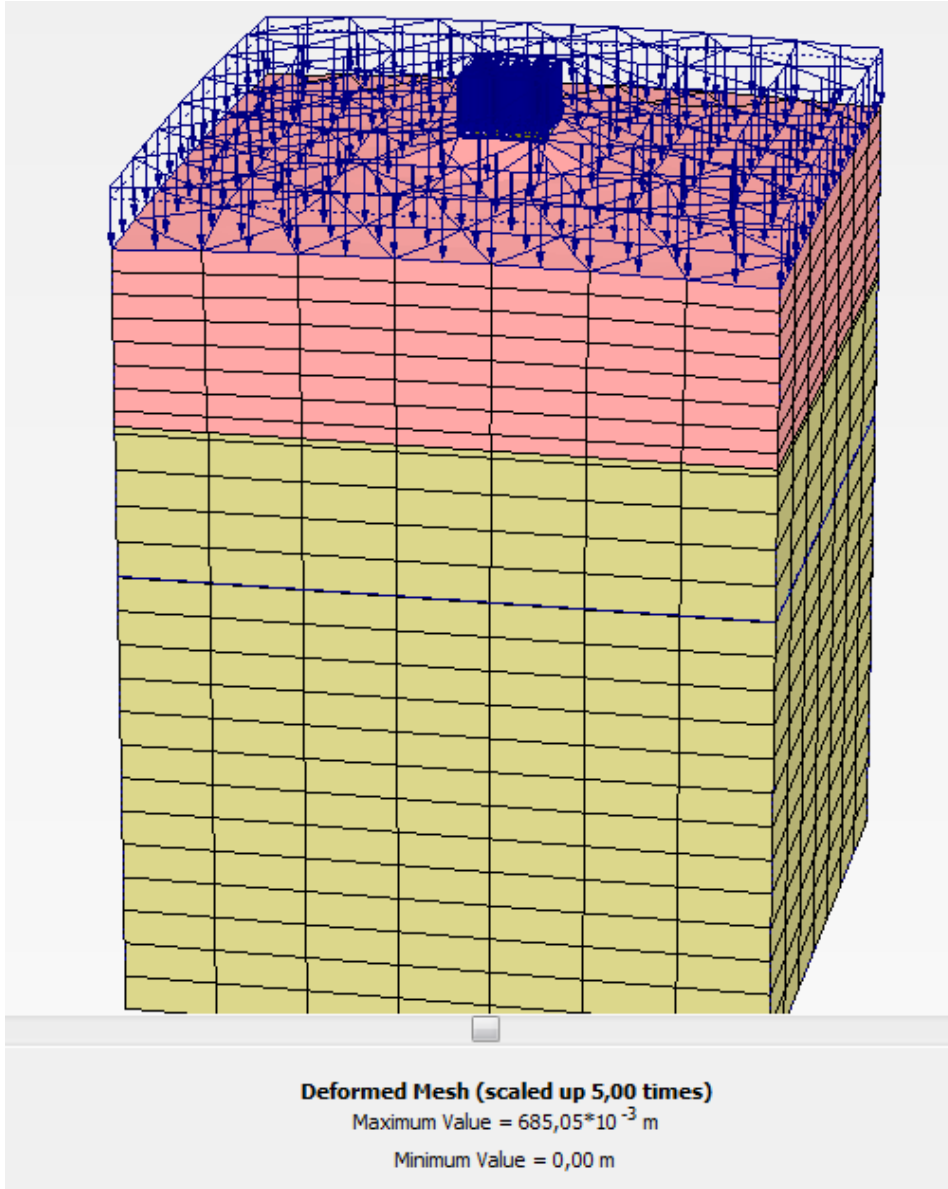
- [17] **Pouols, H.G., Davis, E.H.**, 1980. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons Inc., New York.
- [18] **Tomlinson, M.J., Woodward, J.**, 2008. Pile Design and Construction Practice Fifth Edition, London.
- [19] **Dasi B.M.**, 2004. Principles of Foundation Engineering Fifth Edition, California State University, USA.
- [20] **Lambe, T.W., Garlanger, J.E., Leifer, S.A.**, 1974. Prediction and Field Evaluation of Downdrag Forces on a Single Pil, M.I.T. Soil Publication, No:339.
- [21] **Broms, B.B.**, 1981. Precast Piling Practice, Thomas Telford Ltd., London.
- [22] **Fellenius, B.H.**, 1998. Recent Advances In The Design of Piles for Axial Loads, Dragloads, Downdrag and Settlement, ASCE and Port of NY&NJ Seminar, Urkkada Tech.Ltd., Ottawa, Ontario.
- [23] **Baligh, M.M., Vivatrat, V.**, 1975. A Manual on Prediction Pile Downdrag on Endbearing Piles, M.I.T. Research Report R75-38.
- [24] **Fellenius, B.H.**, 1984. Negative Skin Friction and Settlement of Piles, Second International Seminar, Nanyang Technological Institute, Singapore.
- [25] **Korean Geotechnical Society Journal**, 2007. Comparative Study Between Design Methods and Pile Load Tests for Bearing Capacity of Driven PHC Piles in the Nakdong River Delta, **Vol:23**, No:3.
- [26] **Sharif, A.**, 1998. Negative Skin Friction on Single Piles in Clay Subjected to Direct and Indirect Loading, *MS Thesis*, Concordia University, Canada.
- [27] **Şenol, A.**, 1991. Kazıklarda Negatif Çevre Sürtünmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Buğday, Y.**, 2008. Kazıklarda Negatif Çevre Sürtünmesi Hakkında Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **FEA LTD.**, Element Reference Manual.
- [30] **Kurtay, T.**, 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.
- [31] **Plaxis**, Reference & Material Models Manual.
- [32] **Bowles, E.J.**, 1988. Foundation Analysis and Design, Mc Graw Hill.
- [33] **Tomlinson M.J.**, 1994. Pile Design and Construction Practice, E&FN Spon, London.

[34] **Özkan, M.T., Sağlamer, A.**, 1995. Kazıklı Temeller, *Dünya İnşaat Dergisi*, 131/7, 34-38.

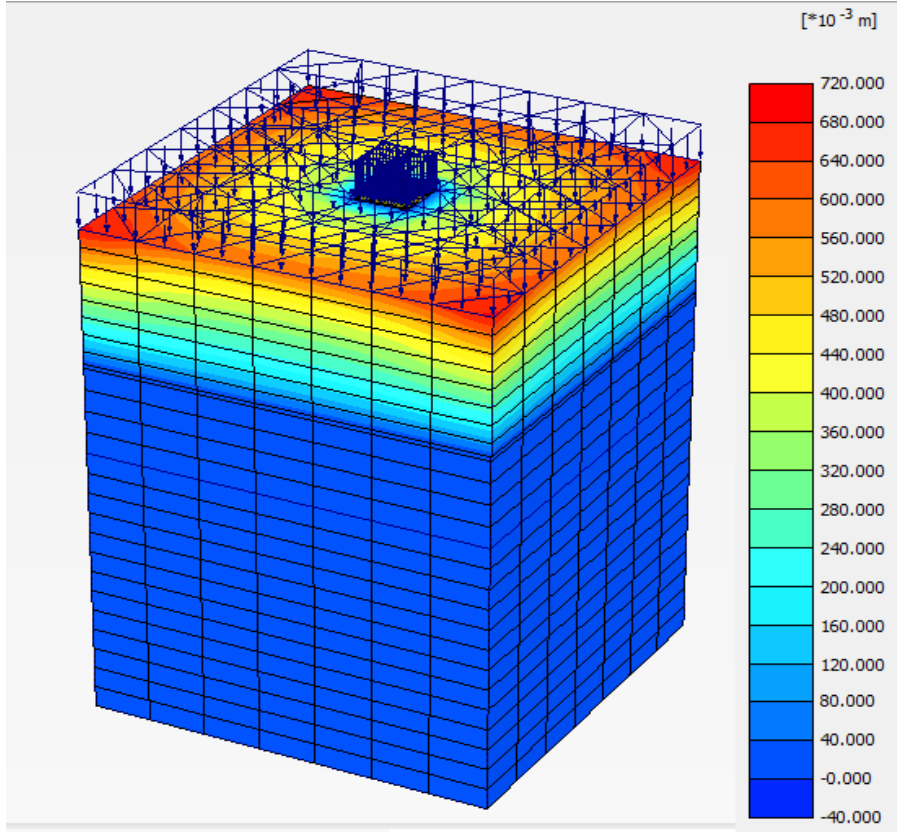
[35] **Yıldırım, S. Özaydın K.**, 1994. Derin Temeller *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, s. 684-758.

EKA1

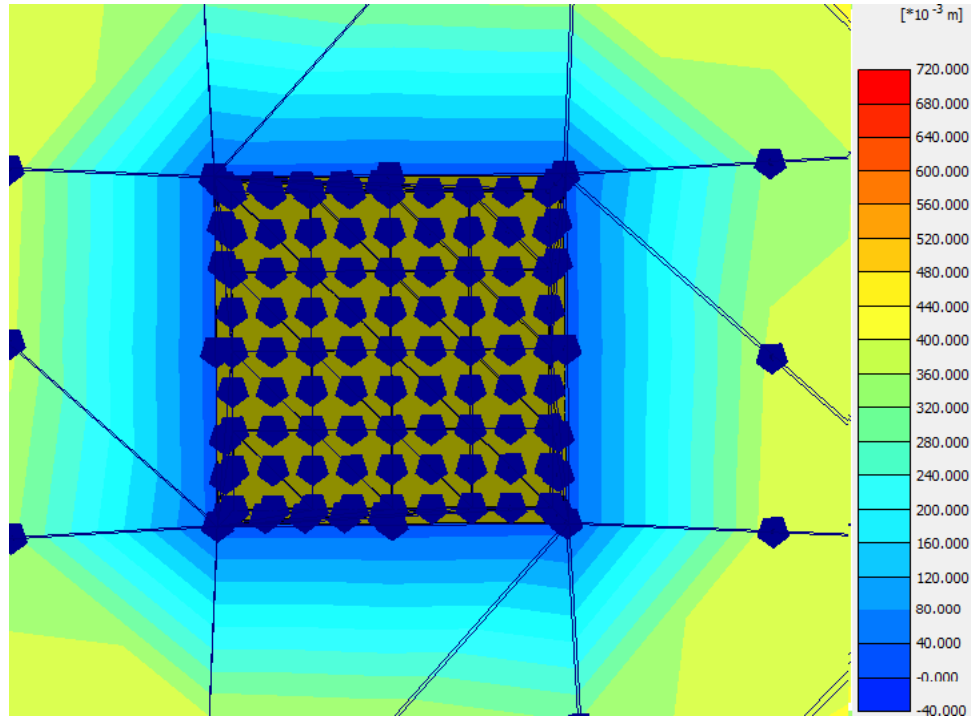
A.1.1 Kazık aralık değişimleri ve çevre zeminde oturma değerleri



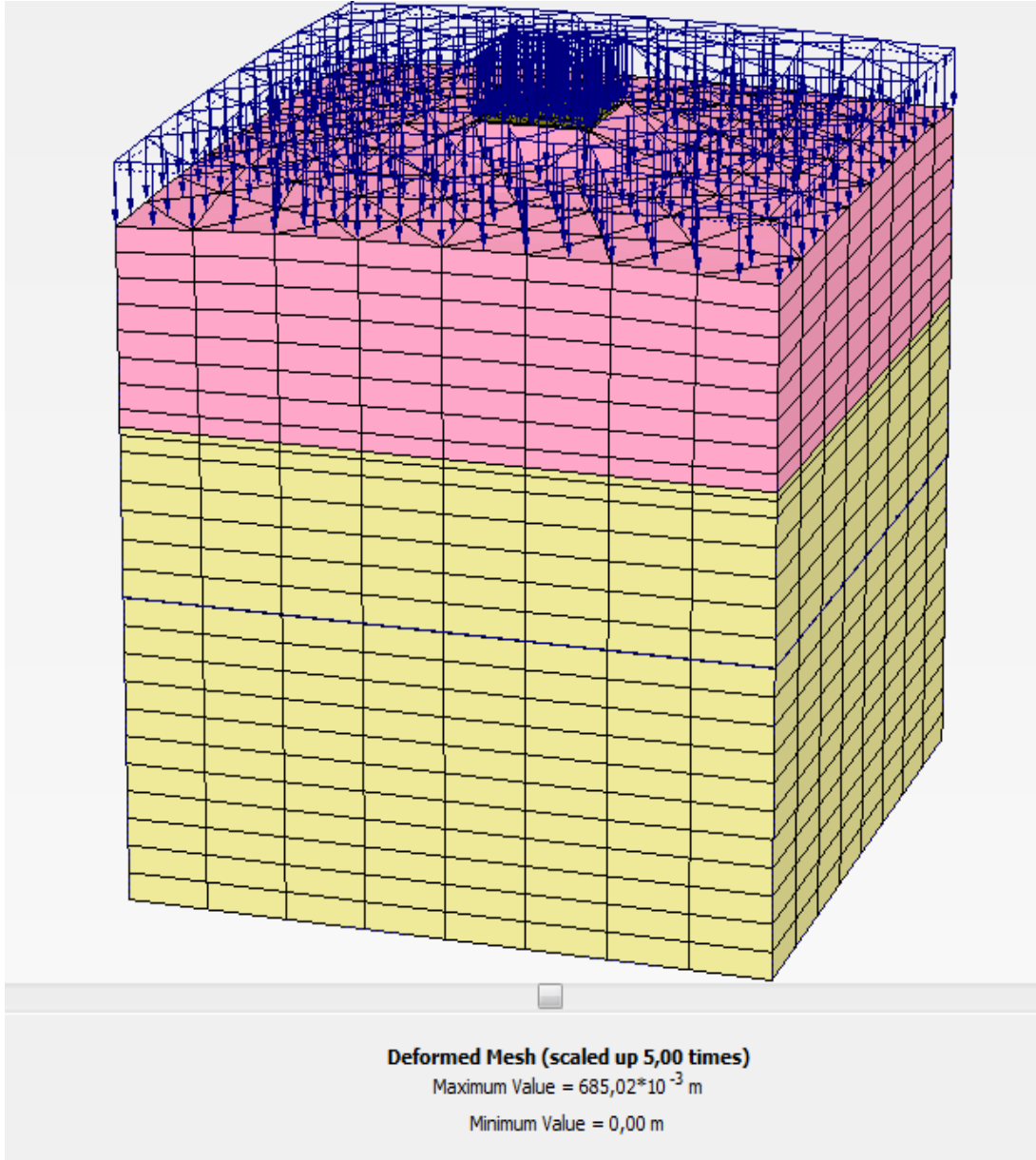
Şekil A.1.1 : $\phi=450$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.



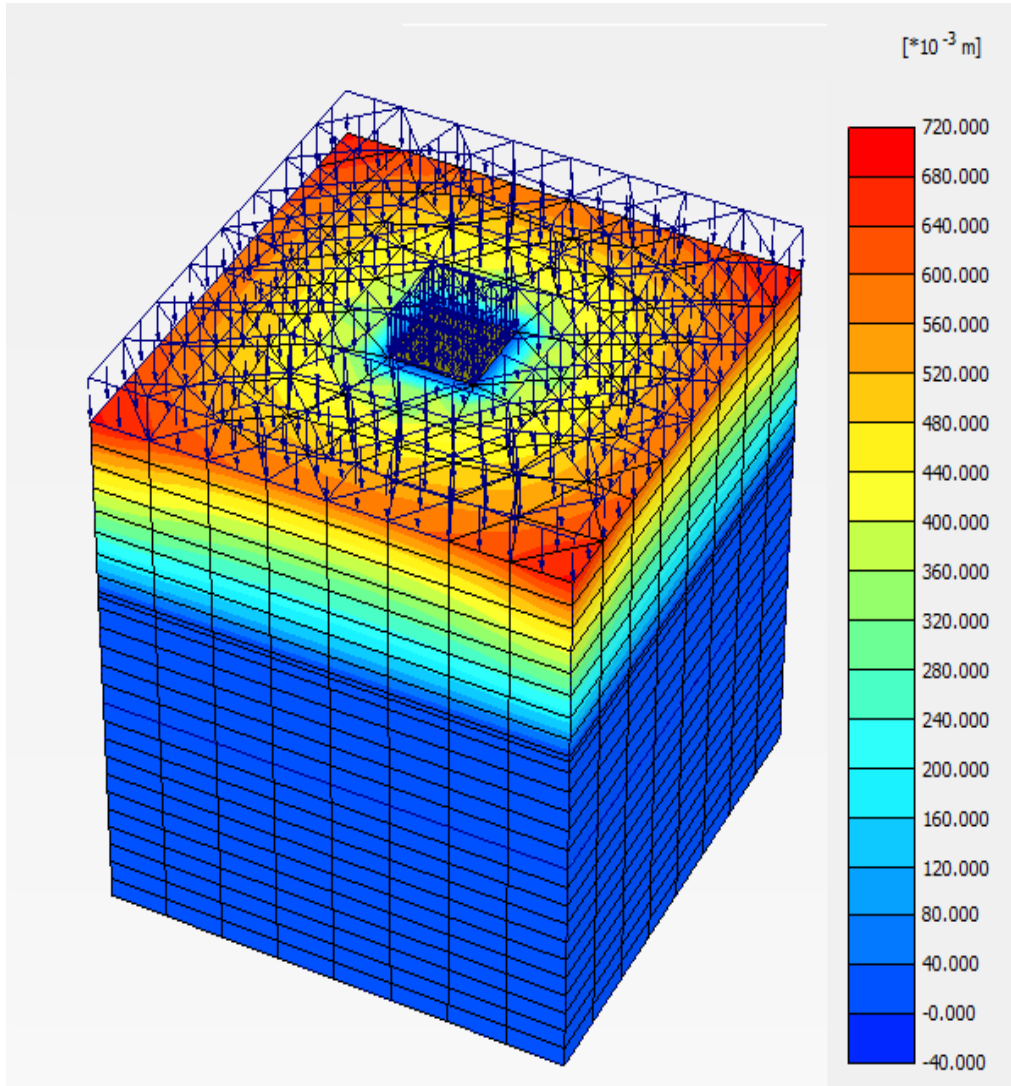
Şekil A.1.2 : $\phi = 450\text{mm}$ çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.



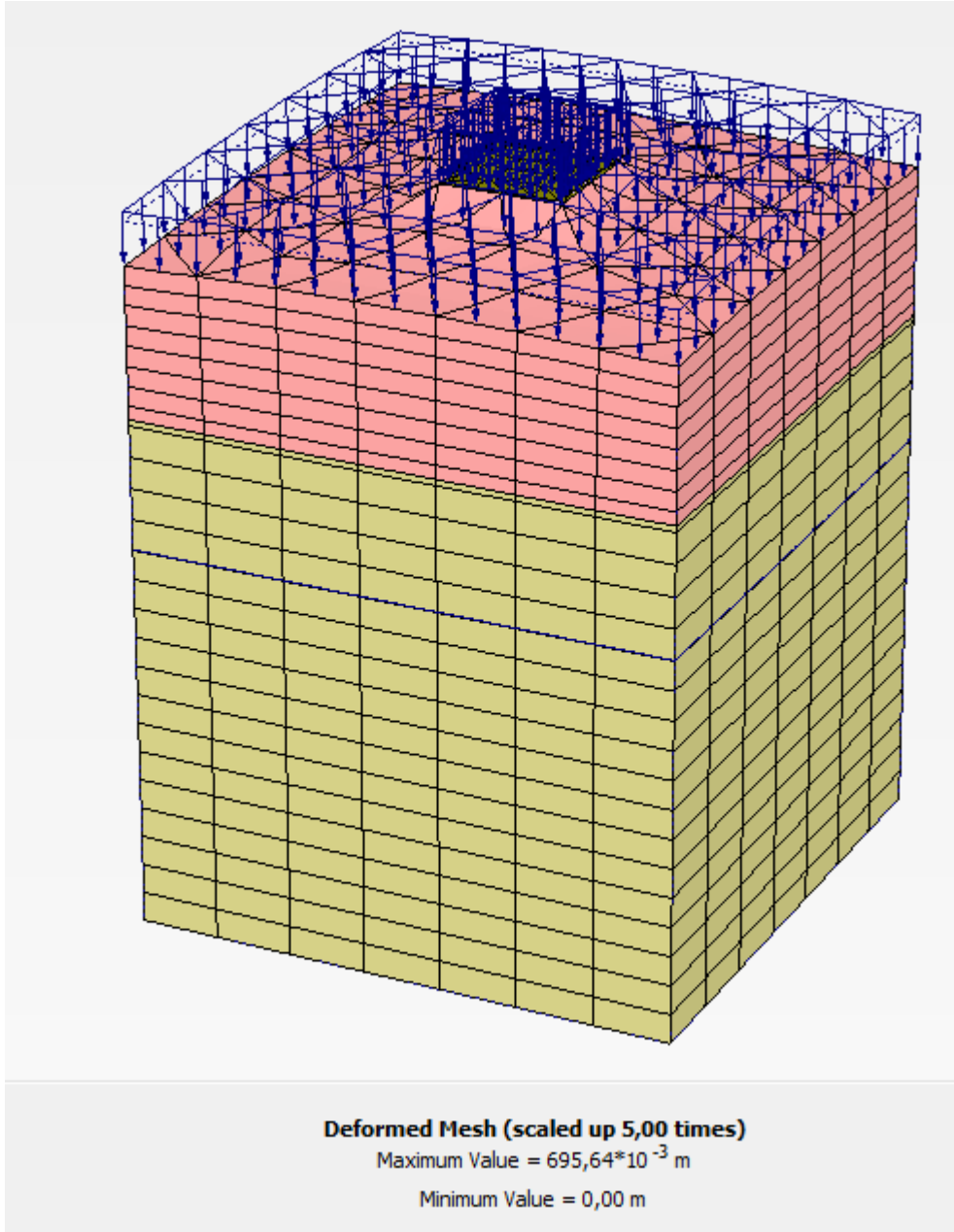
Şekil A.1.3 : $\phi = 450\text{mm}$ çap ve 3D kazık aralığı için kazık grubu çevresi oturma değerleri.



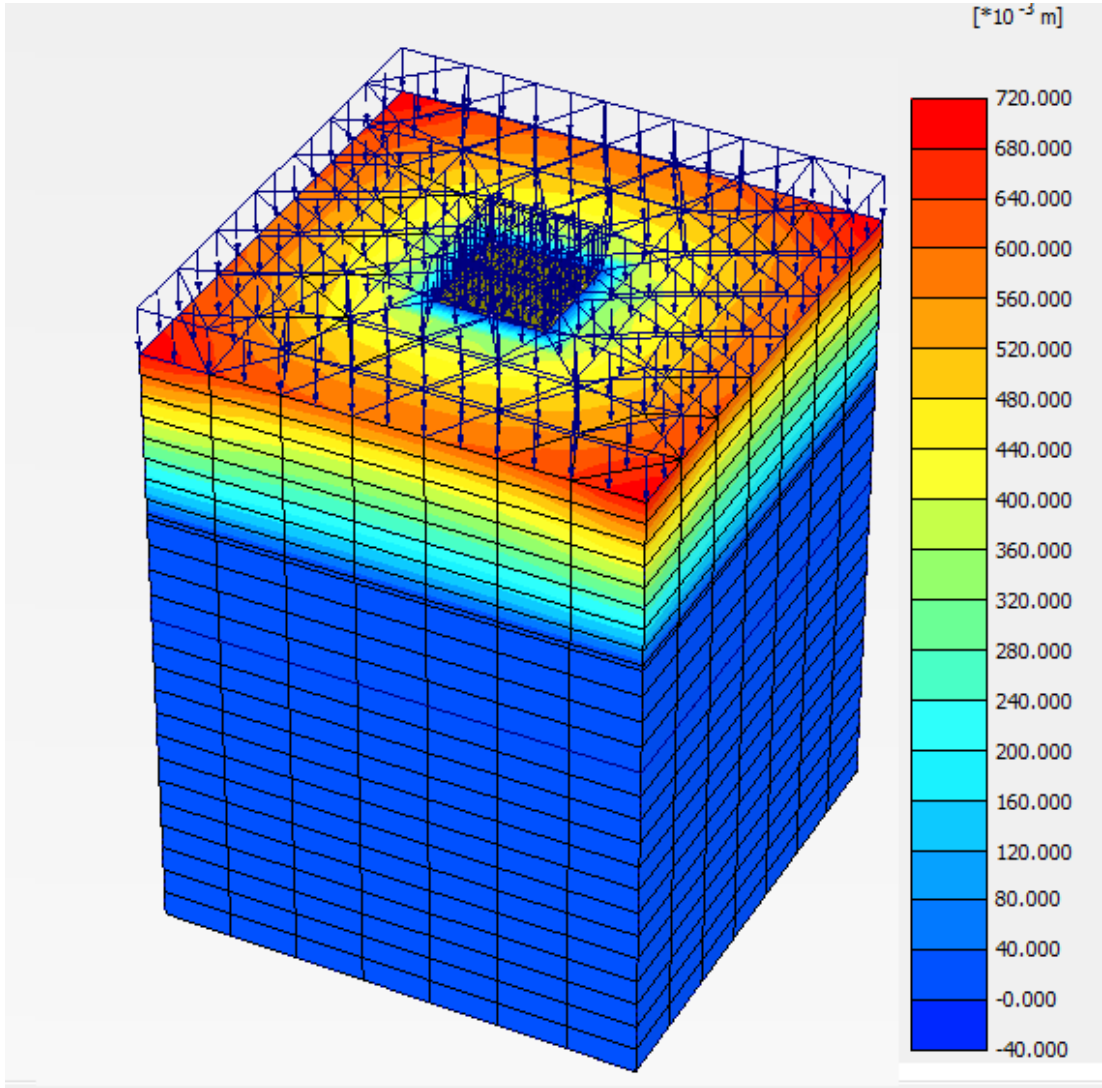
Şekil A.1.4 : $\phi=450$ mm çap ve 4D kazık aralığı için oturma değerleri.



Şekil A.1.5 : $\phi=450$ mm çap ve 4D kazık aralığı için oturma değerleri.

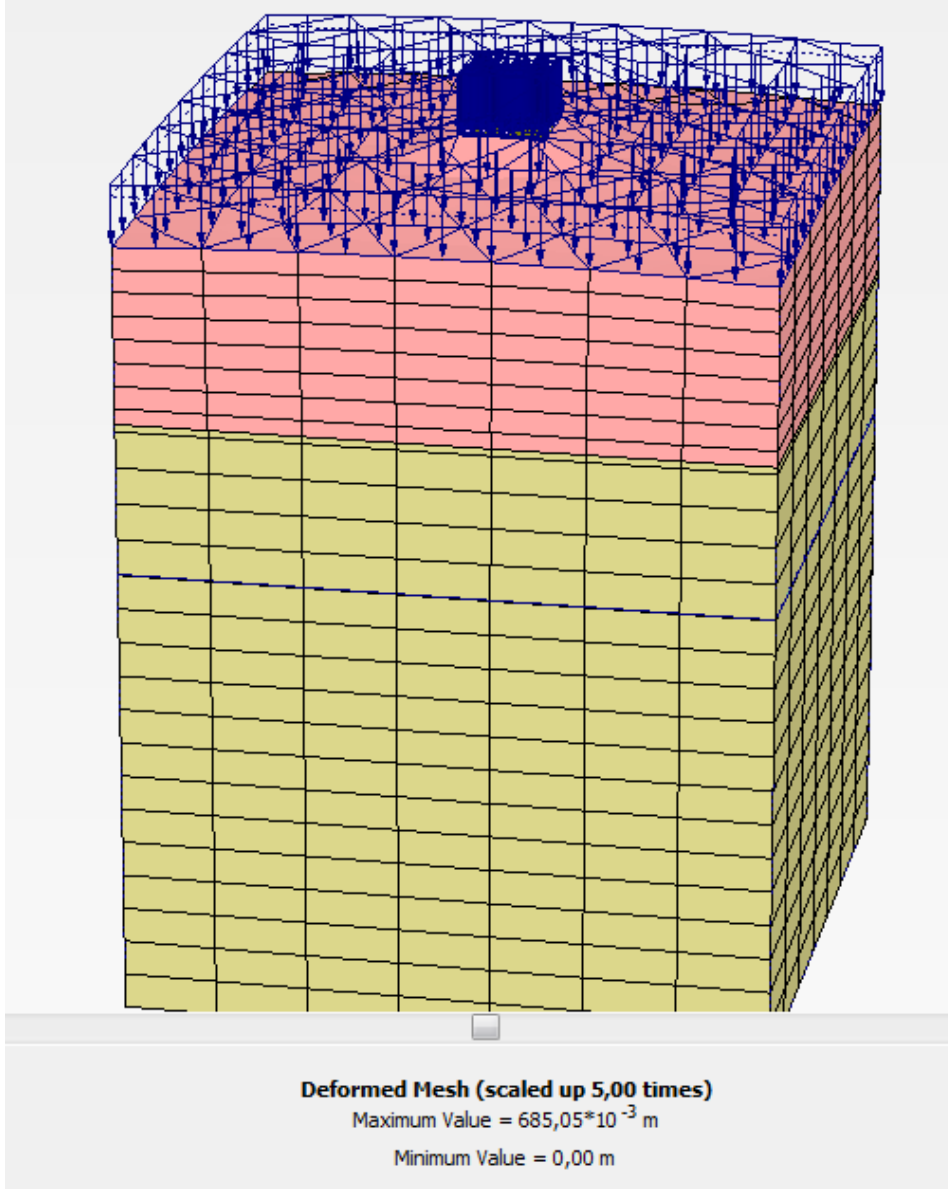


Şekil A.1.6 : $\phi=450\text{mm}$ çap ve 5D kazık aralığı için oturma değerleri.

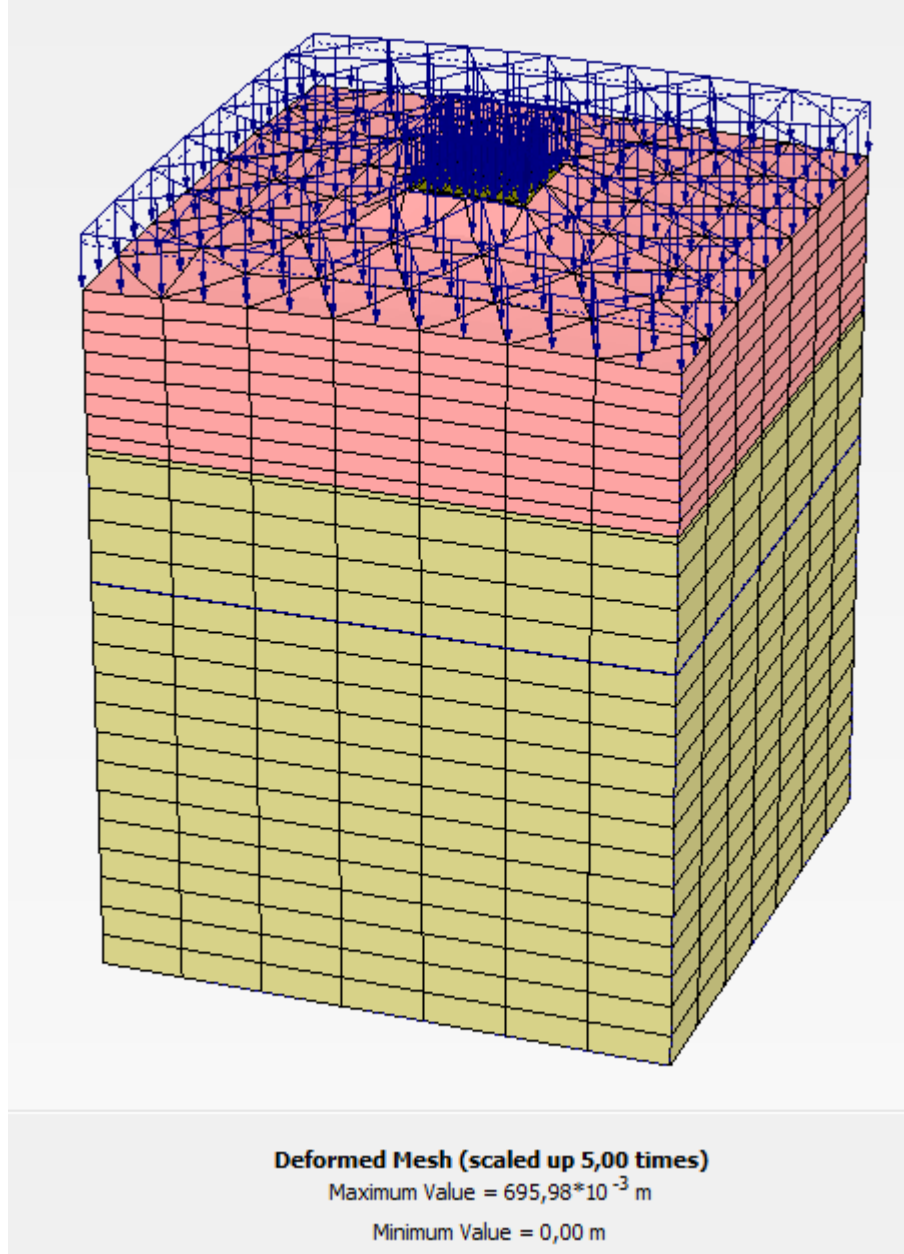


Şekil A.1.7 : $\phi=450$ mm çap ve 5D kazık aralığı için oturma değerleri.

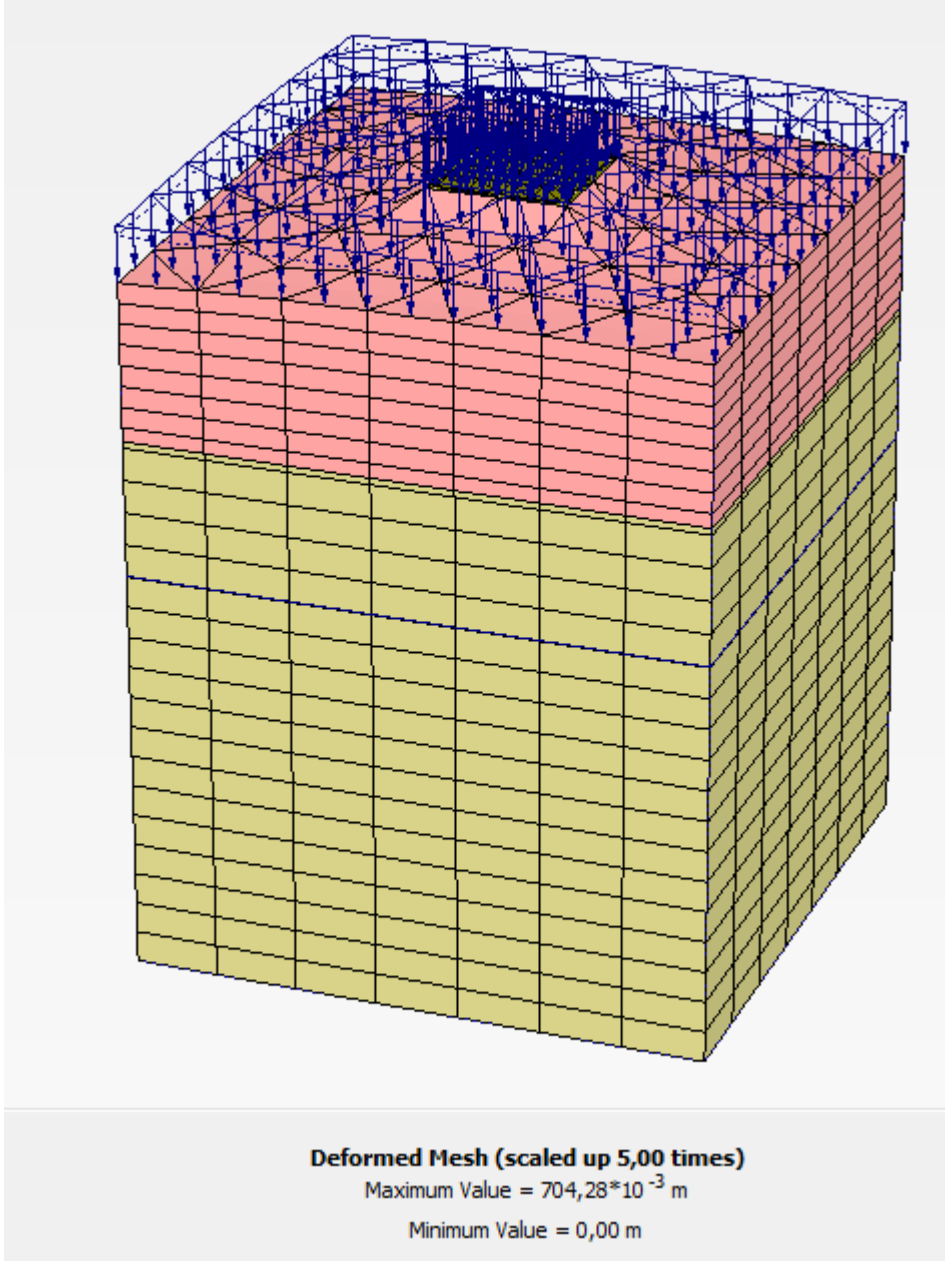
A.1.2 Kazık çap değişimleri ve çevre zeminde oturma değerleri



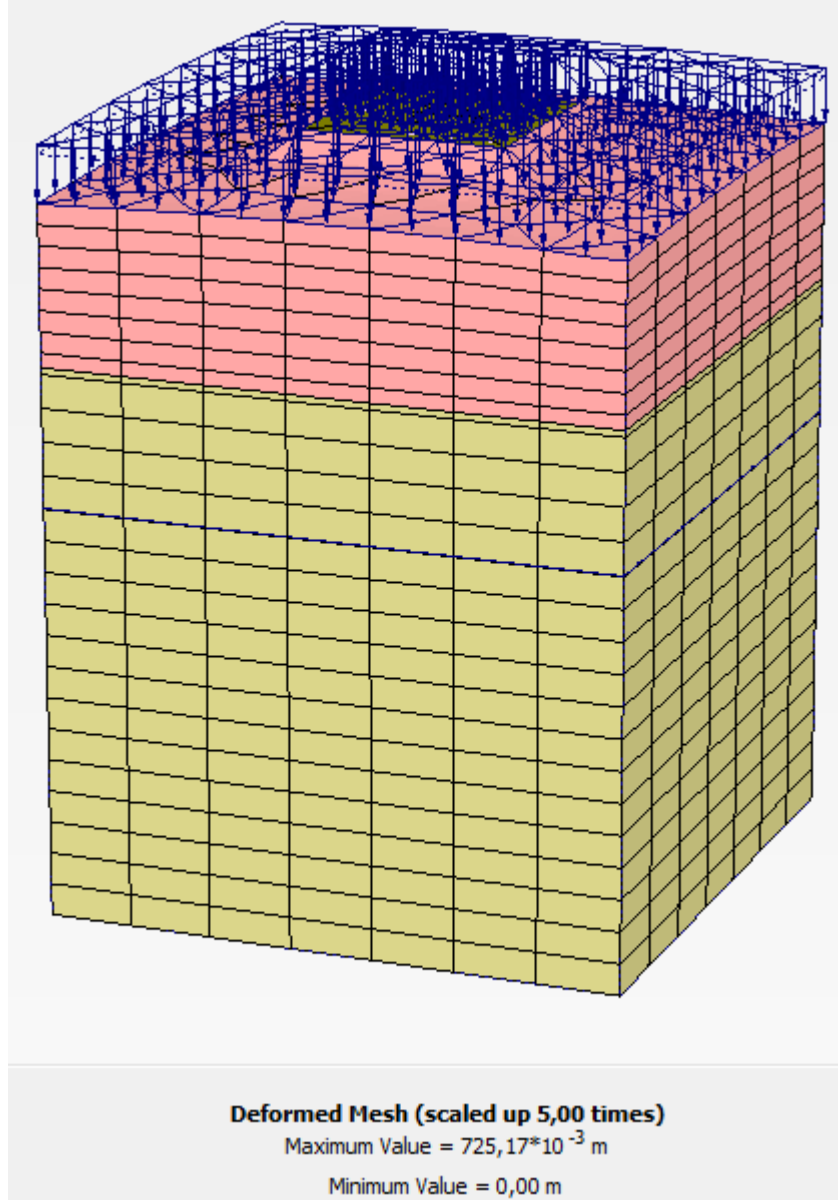
Şekil A.1.8 : $\phi = 450\text{mm}$ çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.



Şekil A.1.9 : $\phi = 650$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.



Şekil A.1.10 : $\phi = 800\text{mm}$ çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.



Şekil A.1.11 : $\phi = 1000$ mm çap ve 3D kazık aralığı için oturma değerleri.

EK A.2

A.2.1. Kazık aralık değişimleri ve negatif çevre sürtünmesi üzerine etkisi

Çizelge A. 2.1: “1” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

	3D		4D		5D	
	No1		No1		No1	
Y [m]	τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00	0.00		0.00		0.00	
-1.00	-1.42		1.51		1.71	
-2.00	-4.99		-7.14		-7.19	
-3.00	-5.71		-8.09		-7.80	
-4.00	-6.43		-7.06		-8.89	
-5.00	-7.16		-8.20		-8.37	
-6.00	-8.04		-9.70		-8.45	
-7.00	-8.61		-10.21		-8.88	
-8.00	-9.24		-11.05		-9.31	
-9.00	-9.70		-12.73		-10.10	
-10.00	-10.20		-14.11		-10.91	
-11.00	-10.53		-15.02		-11.87	
-12.00	-10.90		-15.88		-13.05	
-13.00	-11.44		-16.47		-14.49	
-14.00	-11.47		-10.26		-15.93	
-14.75	-9.58		-10.66		-13.21	
-15.50	13.80		8.27		14.13	
-15.75	88.34		82.18		0.00	
-16.00	56.29		63.13		6.88	
-16.50	27.34		74.72		31.03	
-17.00	31.37		34.66		46.98	

Çizelge A. 2.2: “2” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

		3D		4D		5D	
		No2		No2		No2	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		4.50		6.64		5.23	
-2.00		-2.70		-1.96		3.89	
-3.00		-3.08		-1.39		4.14	
-4.00		-2.85		-2.19		1.17	
-5.00		-4.05		-3.82		-1.54	
-6.00		-5.79		-6.48		-6.58	
-7.00		-7.50		-8.58		-8.23	
-8.00		-9.27		-11.04		-8.99	
-9.00		-9.82		-13.83		-9.34	
-10.00		-10.42		-14.48		-9.76	
-11.00		-11.00		-15.09		-10.00	
-12.00		-11.57		-15.52		-10.26	
-13.00		-12.21		-16.51		-10.73	
-14.00		-13.05		-15.25		-11.20	
-14.75		-12.37		-13.84		-13.33	
-15.50		9.16		16.67		15.29	
-15.75		61.26		141.45		92.17	
-16.00		54.95		74.25		26.49	
-16.50		33.95		32.72		27.15	
-17.00		34.65		0.00		27.82	

Çizelge A. 2.3: “3” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

		3D		4D		5D	
		No3		No3		No3	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		4.60		9.92		7.30	
-2.00		3.69		4.95		0.67	
-3.00		3.40		4.95		3.30	
-4.00		2.85		3.53		1.84	
-5.00		1.17		1.90		1.09	
-6.00		-0.66		-0.56		-3.25	
-7.00		-2.49		-3.09		-4.52	
-8.00		-4.96		-5.63		-7.76	
-9.00		-8.71		-8.69		-9.98	
-10.00		-10.35		-12.02		-10.79	
-11.00		-10.74		-15.60		-11.80	
-12.00		-11.18		-17.11		-12.98	
-13.00		-11.66		-19.73		-14.37	
-14.00		-12.28		-14.97		-10.84	
-14.75		-12.23		-11.90		-12.13	
-15.50		4.63		17.62		14.19	
-15.75		49.46		0.00		0.00	
-16.00		39.13		22.96		29.88	
-16.50		39.53		29.46		34.74	
-17.00		38.07		35.96		39.61	

Çizelge A. 2.4: “6” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

		3D		4D		5D	
		No6		No6		No6	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		4.65		6.80		5.23	
-2.00		-1.90		-0.14		3.90	
-3.00		-2.32		0.16		4.16	
-4.00		-2.21		-0.89		1.16	
-5.00		-3.52		-2.56		-1.56	
-6.00		-5.17		-5.40		-6.61	
-7.00		-7.02		-7.61		-8.23	
-8.00		-8.51		-10.21		-8.99	
-9.00		-9.44		-13.78		-9.34	
-10.00		-10.49		-14.21		-9.76	
-11.00		-11.82		-14.29		-10.00	
-12.00		-13.50		-14.47		-10.25	
-13.00		-15.71		-14.55		-10.72	
-14.00		-13.19		-14.85		-11.35	
-14.75		-11.15		-14.39		-13.32	
-15.50		11.79		12.29		15.30	
-15.75		0.00		160.54		92.84	
-16.00		59.84		106.85		26.00	
-16.50		57.14		40.74		26.80	
-17.00		54.45		0.00		27.60	

Çizelge A. 2.5: “7” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

	3D		4D		5D	
	No7		No7		No7	
Y [m]	τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00	0.00		0.00		0.00	
-1.00	4.83		7.50		5.71	
-2.00	5.22		7.90		5.67	
-3.00	5.94		8.87		6.33	
-4.00	5.46		8.87		7.12	
-5.00	3.97		7.38		7.68	
-6.00	2.05		3.45		7.12	
-7.00	0.50		1.53		1.80	
-8.00	-1.13		-1.11		-1.79	
-9.00	-2.91		-4.39		-6.87	
-10.00	-4.48		-6.08		-10.57	
-11.00	-6.24		-9.41		-11.13	
-12.00	-7.01		-8.76		-11.84	
-13.00	-8.83		-13.24		-12.51	
-14.00	-2.82		-2.99		-8.15	
-14.75	-9.59		-11.50		-13.98	
-15.50	3.80		10.60		14.31	
-15.75	27.77		11.56		29.06	
-16.00	-32.26		69.74		-30.71	
-16.50	44.36		53.90		20.04	
-17.00	41.42		20.64		29.57	

Çizelge A. 2.6: “8” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

		3D		4D		5D	
		No8		No8		No8	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		4.86		7.56		5.73	
-2.00		5.19		7.90		5.59	
-3.00		5.79		8.77		6.22	
-4.00		6.53		9.93		7.01	
-5.00		4.90		8.63		7.47	
-6.00		2.71		4.18		8.49	
-7.00		1.17		2.32		4.53	
-8.00		-0.48		-0.40		-0.72	
-9.00		-2.46		-3.78		-5.85	
-10.00		-3.94		-5.65		-8.23	
-11.00		-5.88		-9.17		-11.12	
-12.00		-6.67		-8.09		-11.79	
-13.00		-8.50		-13.18		-12.43	
-14.00		-2.69		-3.20		-7.72	
-14.75		-9.41		-10.34		-13.52	
-15.50		3.82		9.55		13.93	
-15.75		16.83		23.48		21.26	
-16.00		-14.02		67.94		-38.60	
-16.50		10.74		15.59		-37.99	
-17.00		41.35		-56.75		-27.88	

Çizelge A. 2.7: “11” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

	3D		4D		5D	
	No11		No11		No11	
Y [m]	τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00	0.00		0.00		0.00	
-1.00	5.39		8.04		7.42	
-2.00	3.74		7.30		0.17	
-3.00	2.85		5.20		3.57	
-4.00	2.91		4.62		1.60	
-5.00	0.74		2.10		1.06	
-6.00	-0.89		-0.45		-3.20	
-7.00	-3.04		-3.34		-4.71	
-8.00	-5.16		-6.18		-7.73	
-9.00	-8.02		-9.24		-9.98	
-10.00	-10.27		-13.28		-10.81	
-11.00	-10.64		-15.11		-11.79	
-12.00	-11.23		-16.00		-13.00	
-13.00	-11.54		-16.75		-14.40	
-14.00	-12.13		-16.10		-10.96	
-14.75	-12.21		-14.79		-12.12	
-15.50	5.79		10.49		14.16	
-15.75	91.70		146.63		0.00	
-16.00	29.37		60.07		30.39	
-16.50	31.68		38.60		35.01	
-17.00	33.99		45.20		39.63	

Çizelge A. 2.8: “12” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

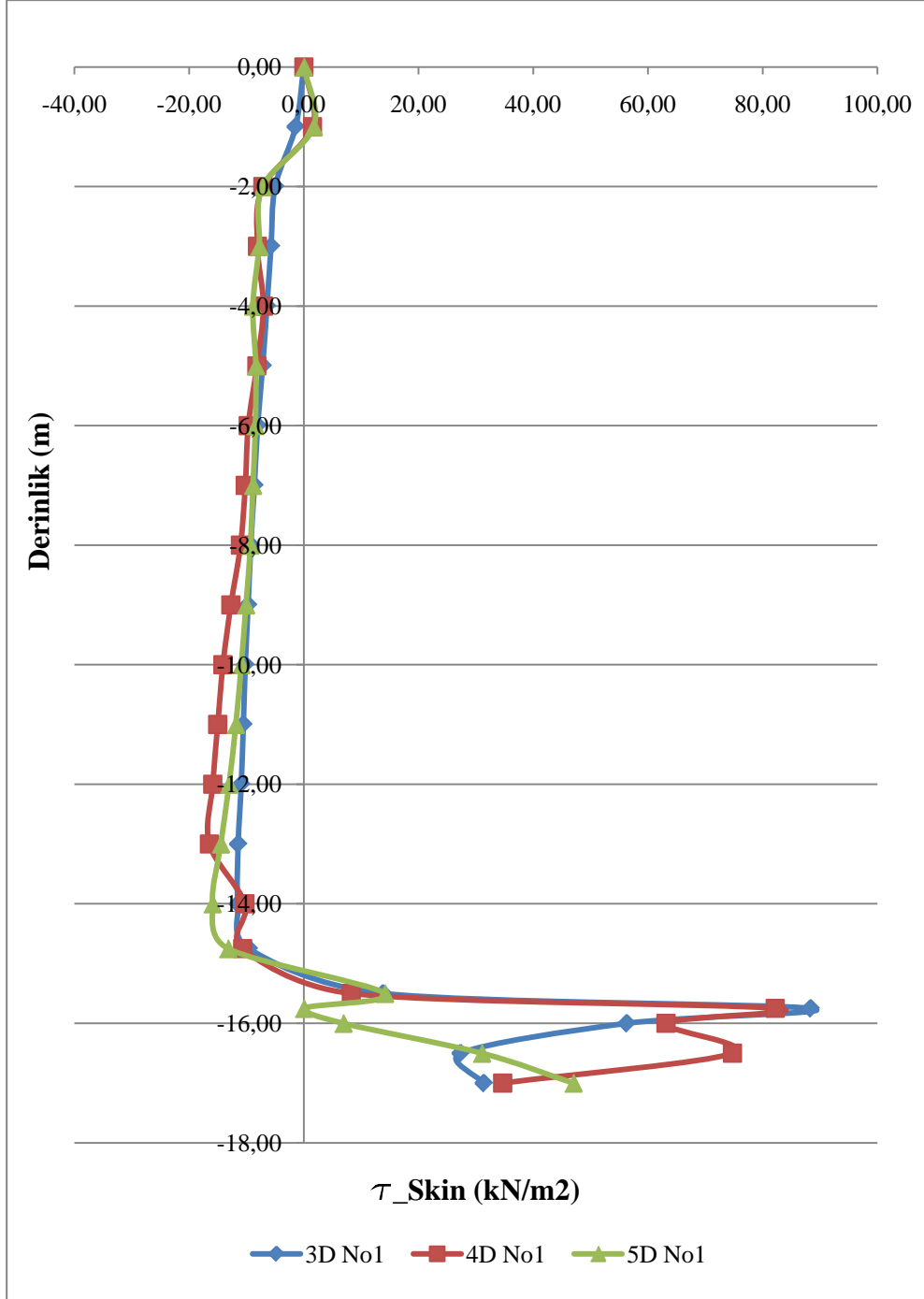
		3D		4D		5D	
		No12		No12		No12	
Y [m]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00		0.00		0.00		0.00	
-1.00		5.04		7.39		5.72	
-2.00		5.33		7.70		5.57	
-3.00		6.06		8.56		6.21	
-4.00		6.59		9.61		7.02	
-5.00		4.81		8.83		7.48	
-6.00		2.76		3.99		8.50	
-7.00		1.15		2.28		4.52	
-8.00		-0.53		-0.47		-0.71	
-9.00		-2.39		-3.91		-5.88	
-10.00		-3.97		-5.60		-8.15	
-11.00		-5.79		-9.40		-11.12	
-12.00		-6.26		-8.53		-11.79	
-13.00		-8.71		-12.93		-12.43	
-14.00		-2.59		-3.14		-7.82	
-14.75		-9.03		-10.95		-13.37	
-15.50		6.49		9.11		13.82	
-15.75		32.67		17.67		21.63	
-16.00		-27.72		79.60		-38.93	
-16.50		14.55		4.69		-38.28	
-17.00		42.91		-52.86		-32.65	

Çizelge A. 2.9: “13” numaralı kazıkta aralık değişimi ile değişen negatif çevre sürtünmesi değerleri

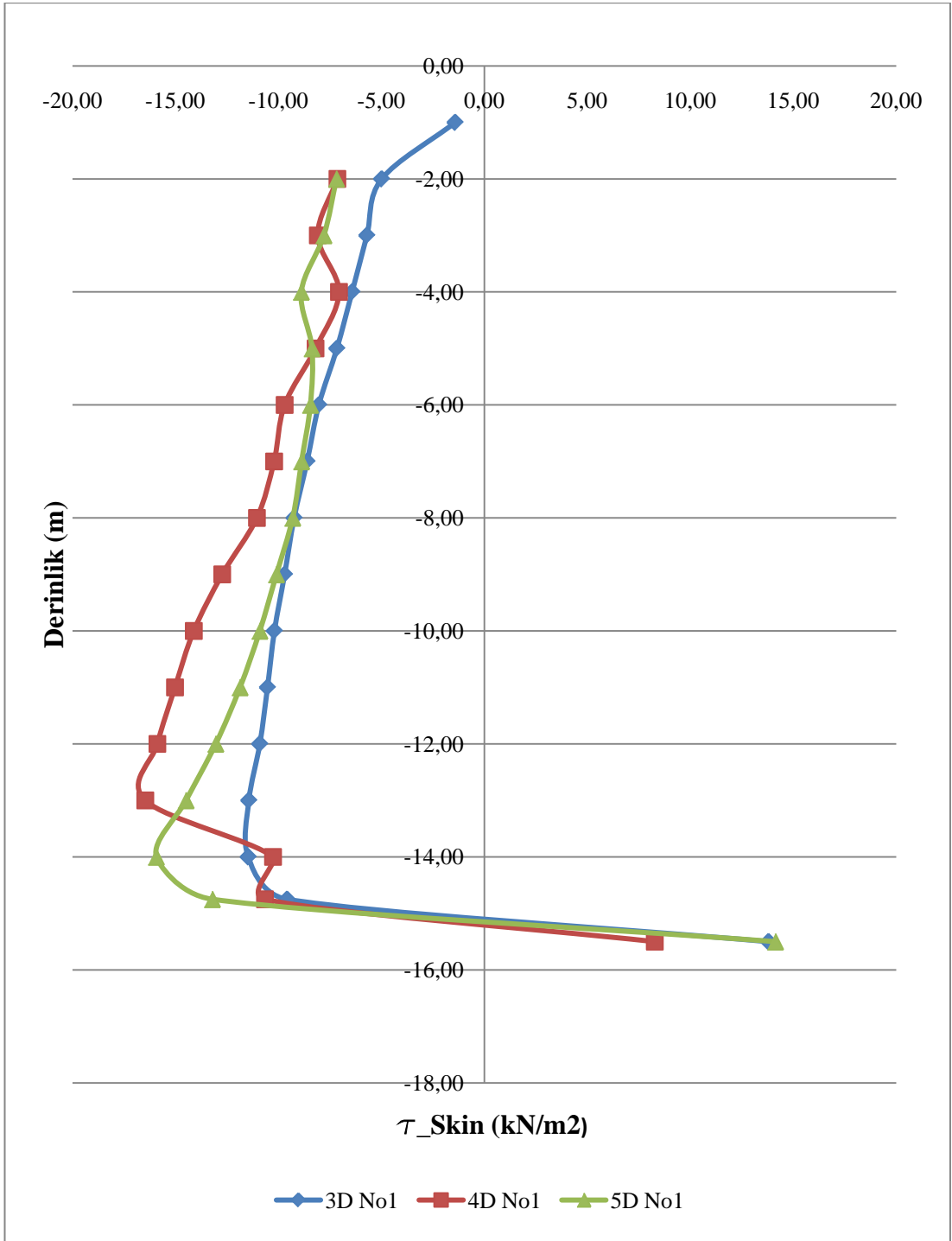
	3D		4D		5D	
	No13		No13		No13	
Y [m]	τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]		τ_{Skin} [kN/m ²]	
0.00	0.00		0.00		0.00	
-1.00	5.01		7.52		5.76	
-2.00	5.26		7.64		5.81	
-3.00	5.88		8.59		6.22	
-4.00	6.64		9.53		6.77	
-5.00	5.78		10.44		7.32	
-6.00	2.97		4.10		8.01	
-7.00	1.44		2.69		7.67	
-8.00	-0.27		-0.21		-0.49	
-9.00	-2.30		-3.74		-5.04	
-10.00	-3.88		-5.73		-5.95	
-11.00	-5.84		-9.76		-10.92	
-12.00	-5.98		-7.74		-11.46	
-13.00	-8.84		-13.67		-12.10	
-14.00	-2.51		-3.05		-7.04	
-14.75	-8.89		-10.27		-12.75	
-15.50	3.83		9.44		11.67	
-15.75	14.91		-14.89		-28.80	
-16.00	4.26		60.25		-34.62	
-16.50	-20.21		-19.35		-35.19	
-17.00	38.61		-59.84		-35.75	

EKA3

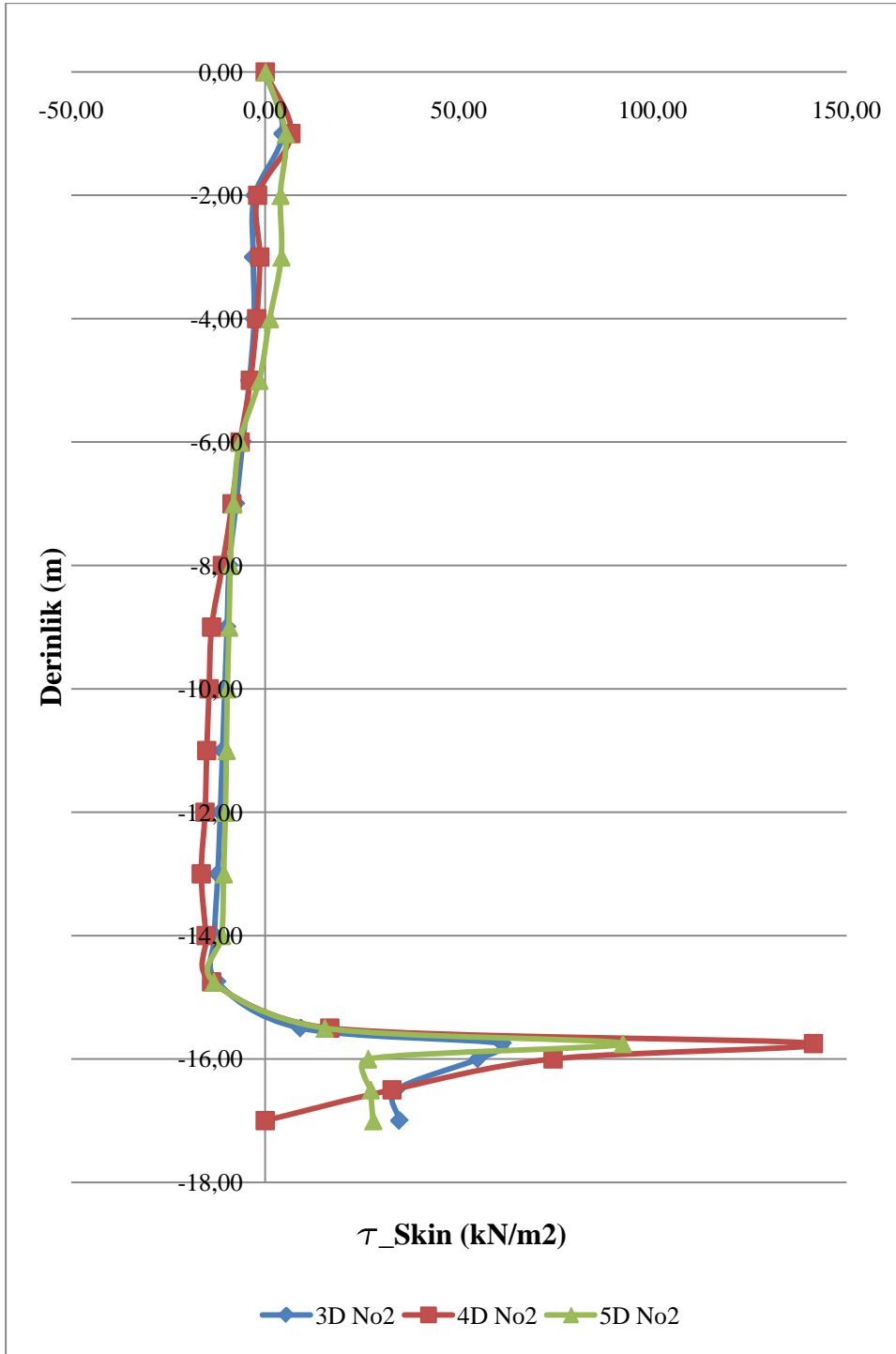
A.3. Kazık aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



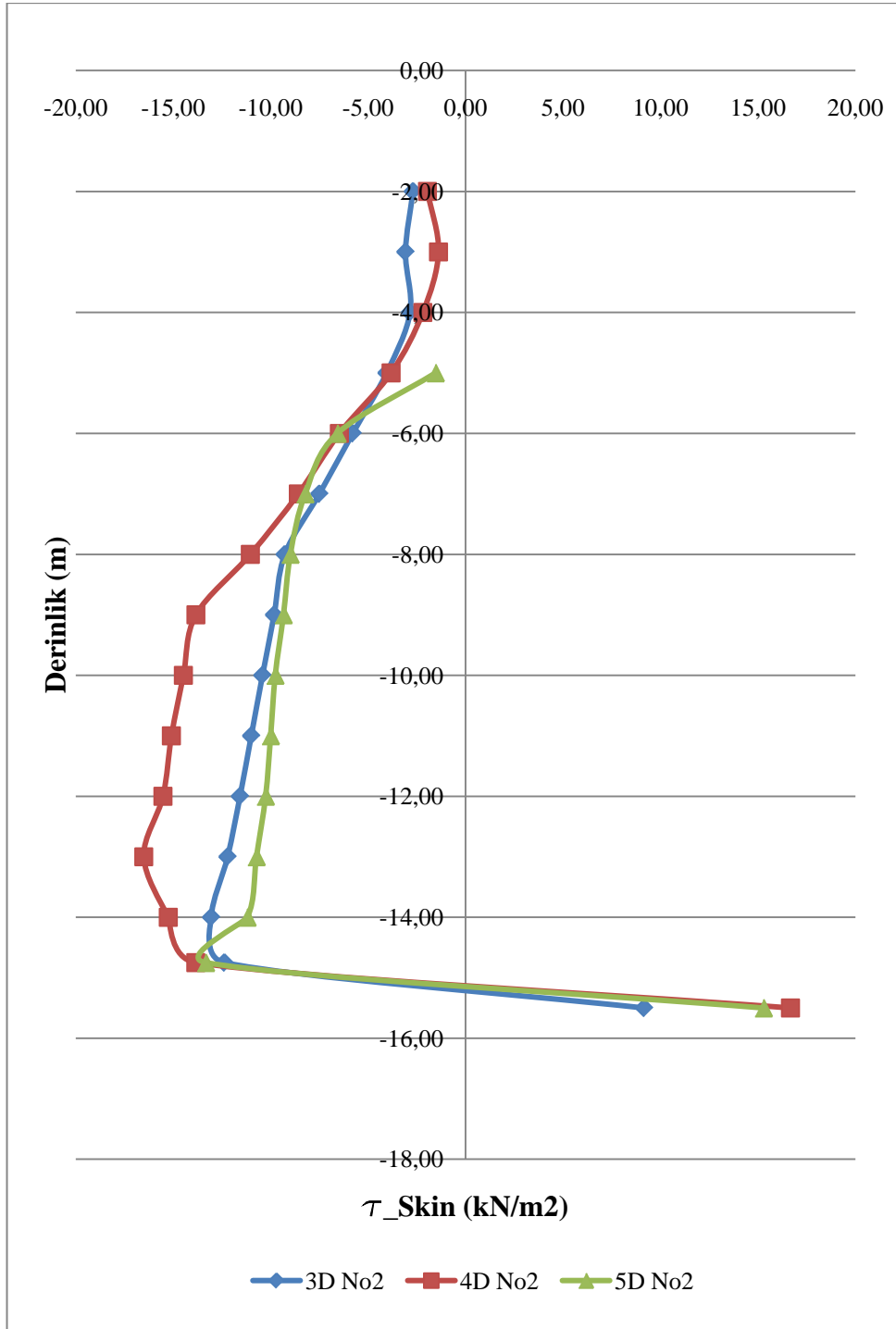
Şekil A.3.1 : “1” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



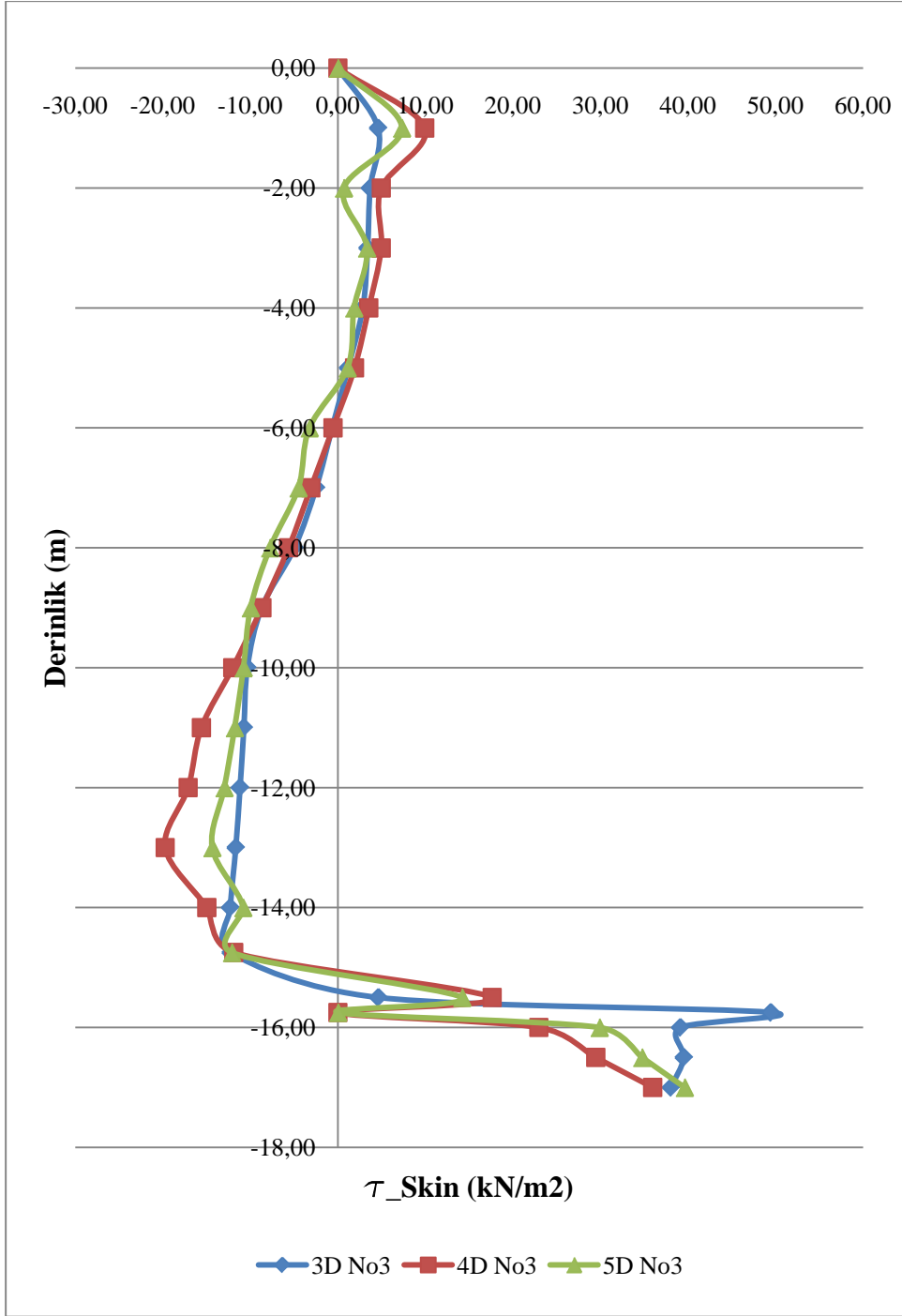
Şekil A.3.2 : “1” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



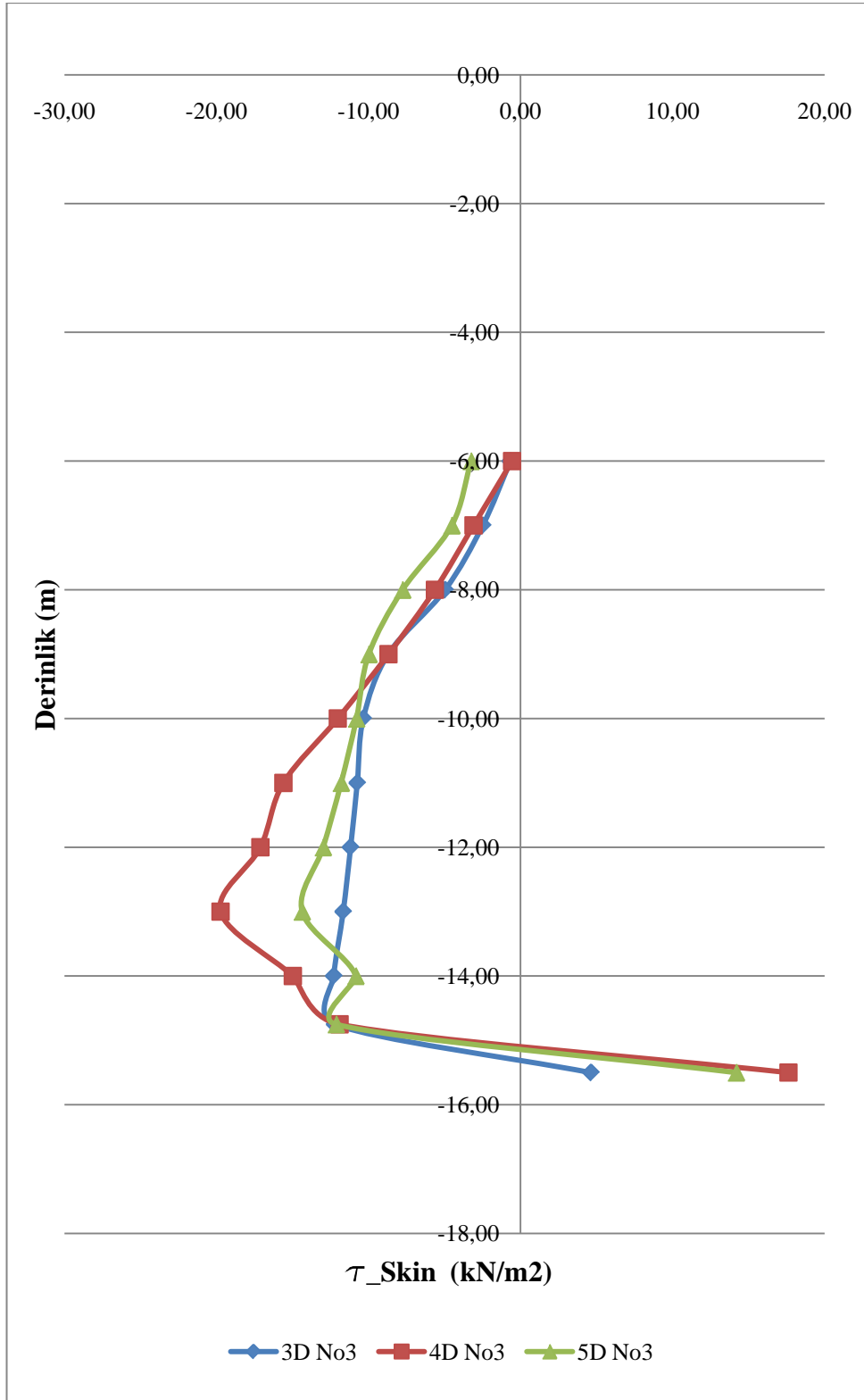
Şekil A.3.3 : “2” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



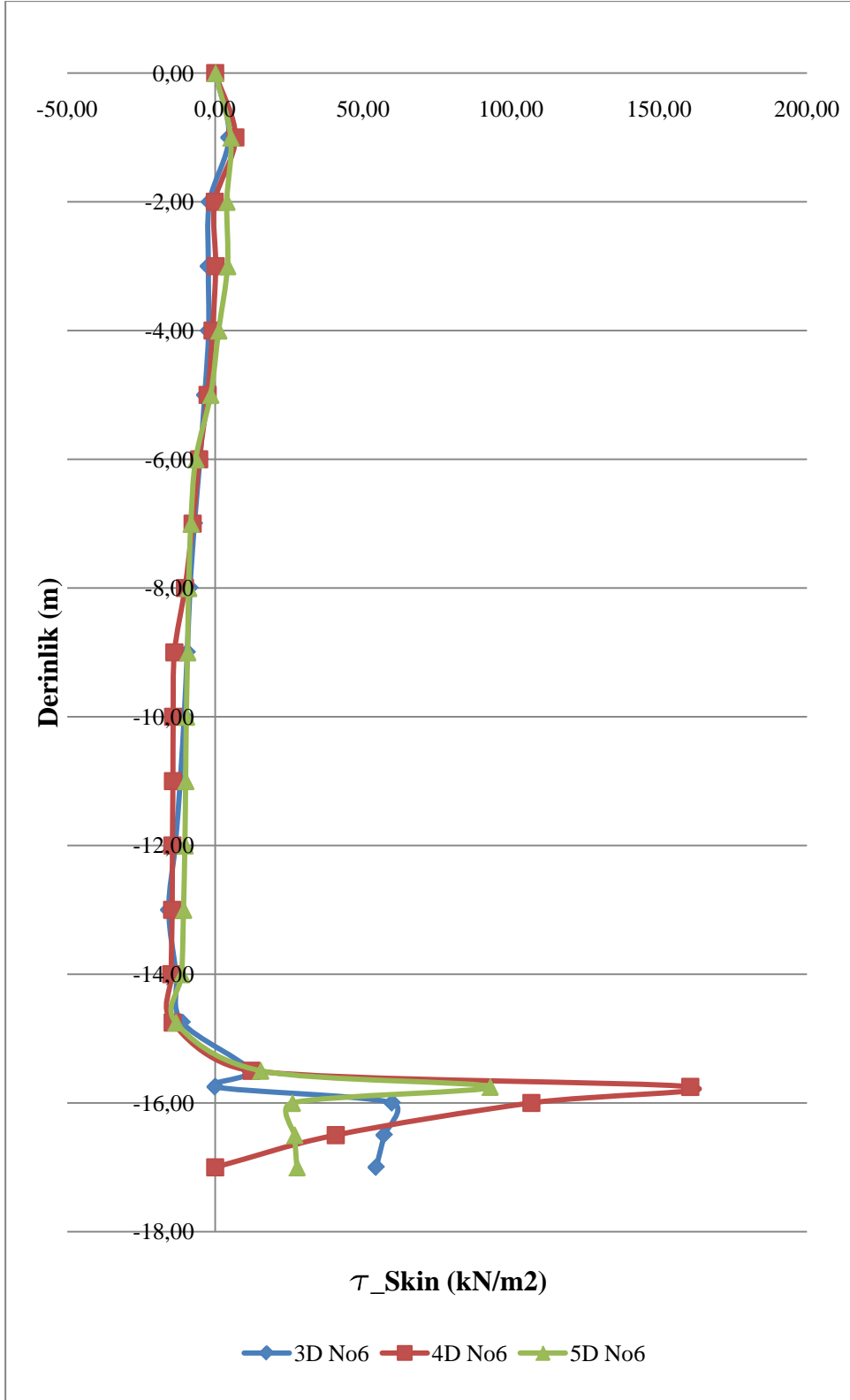
Şekil A.3.4 : “2” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



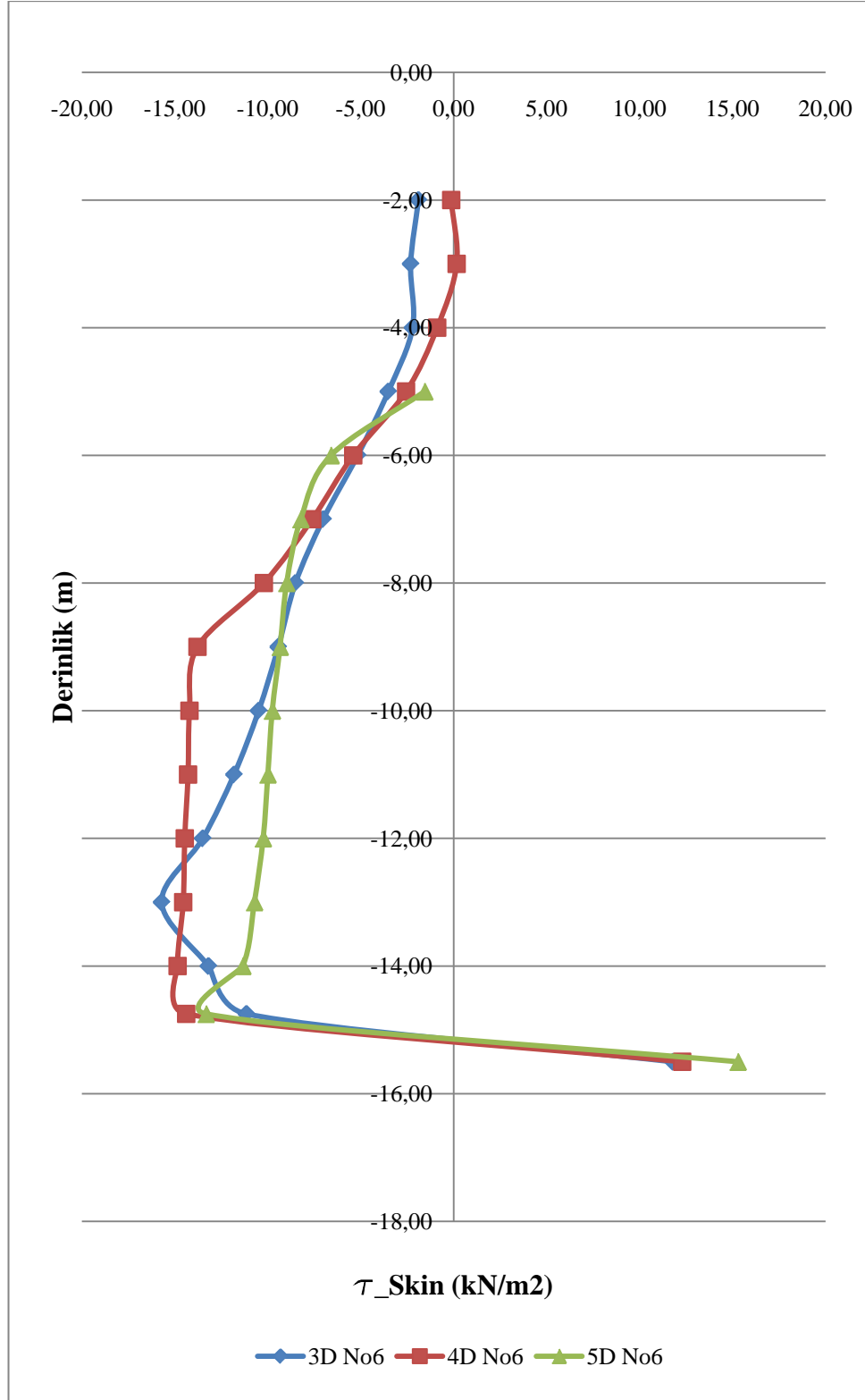
Şekil A.3.5 : “3” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



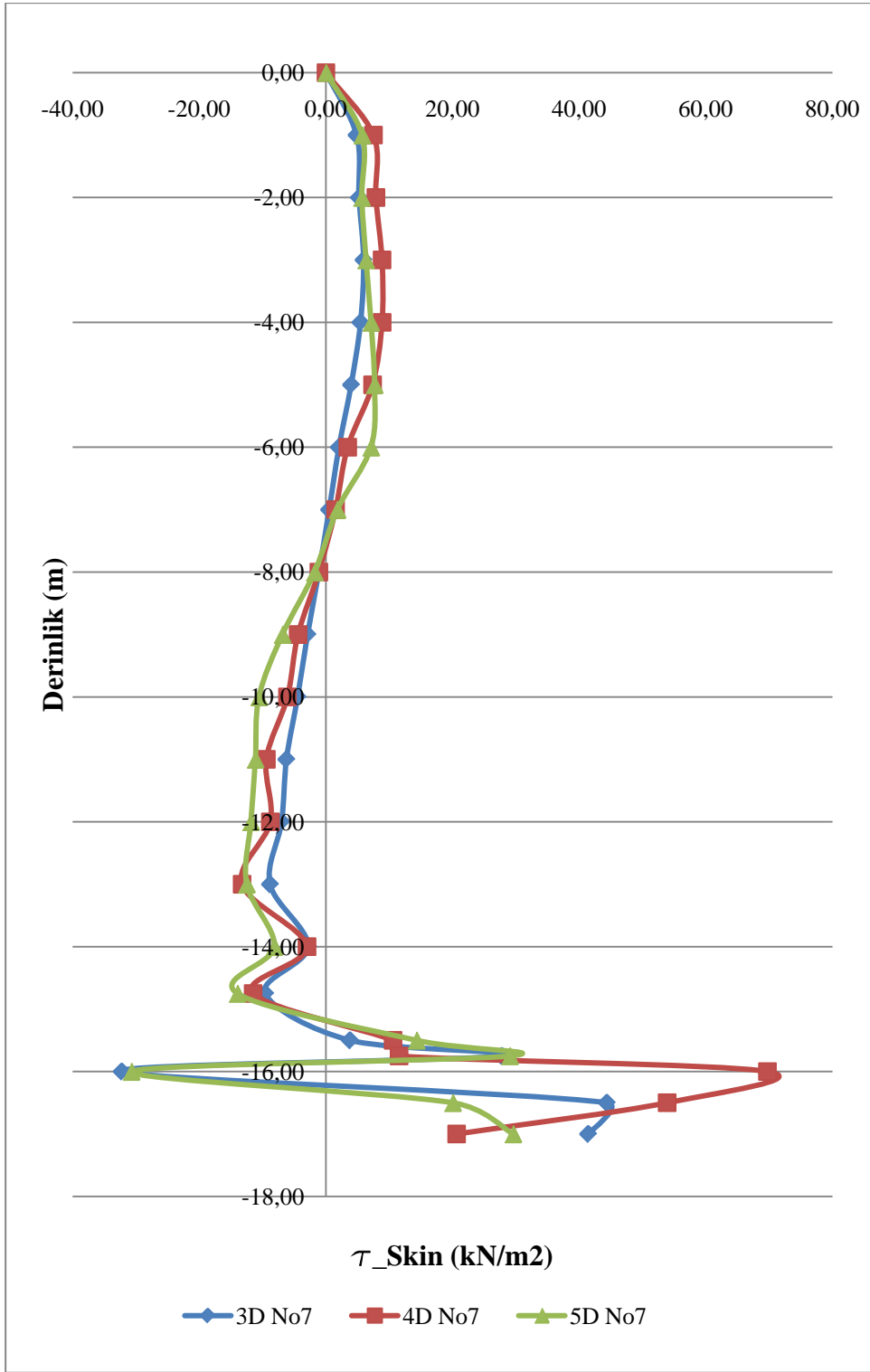
Şekil A.3.6 : “3” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



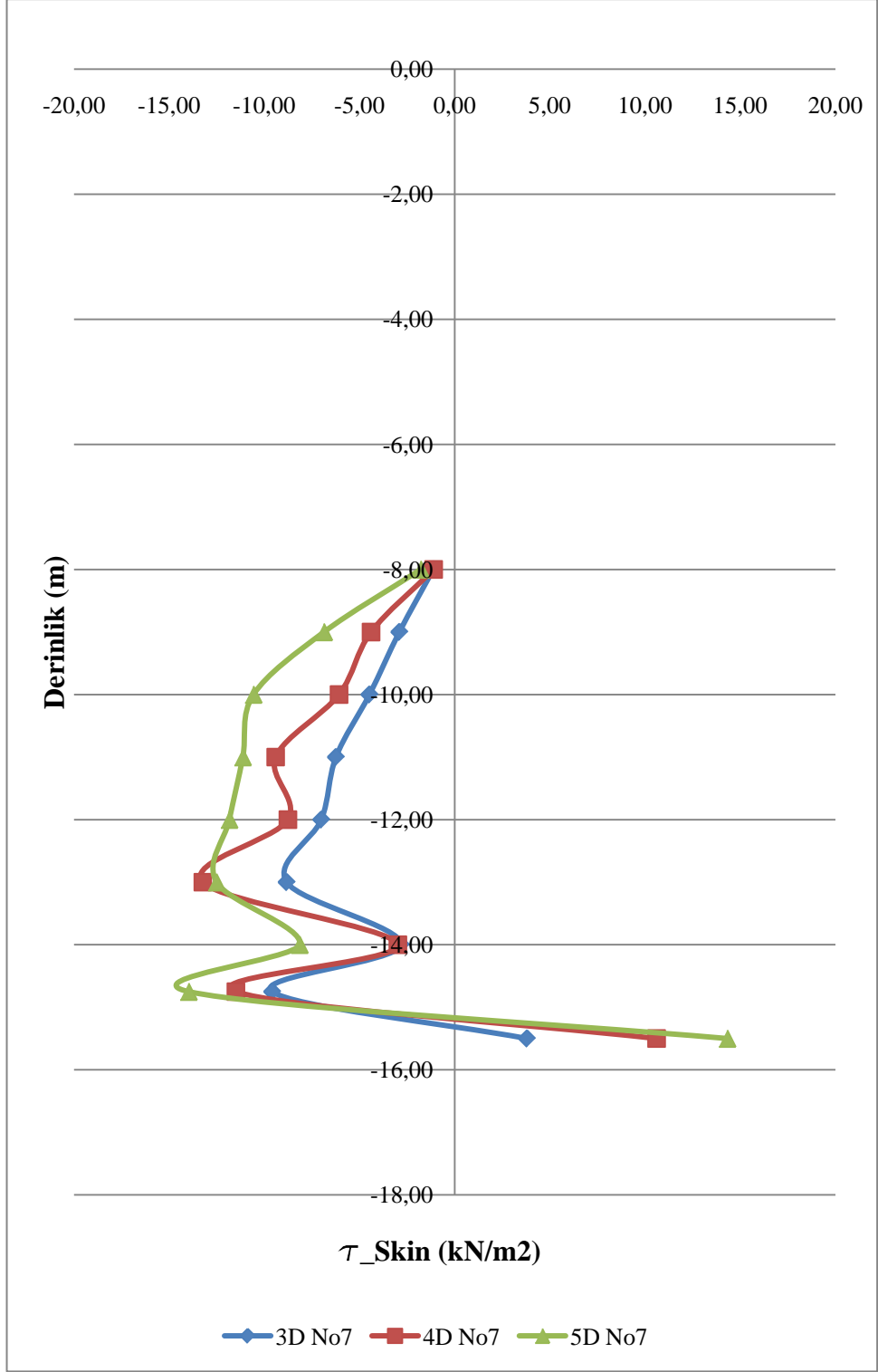
Şekil A.3.7 : “6” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



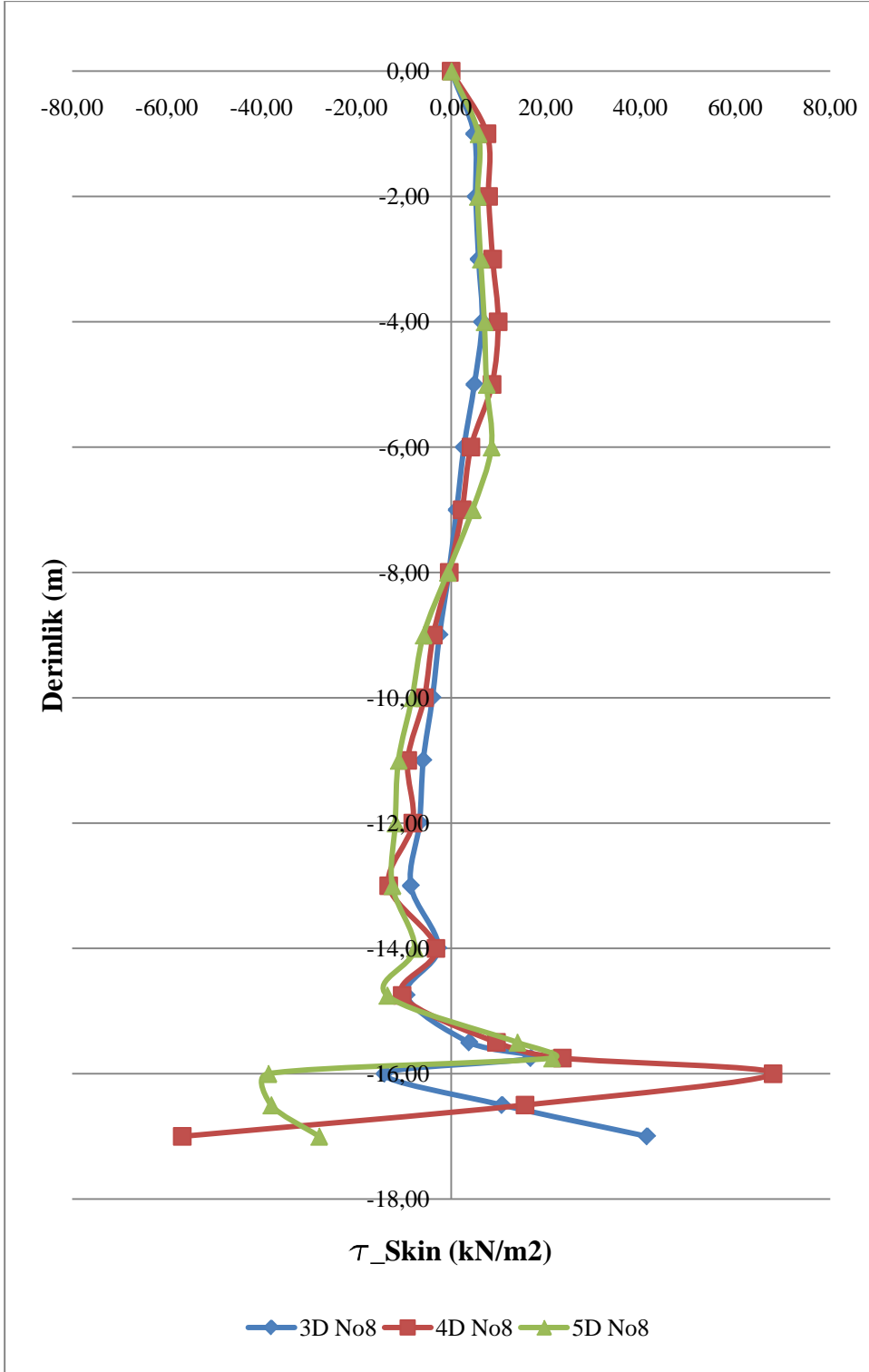
Şekil A.3.8 : “6” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



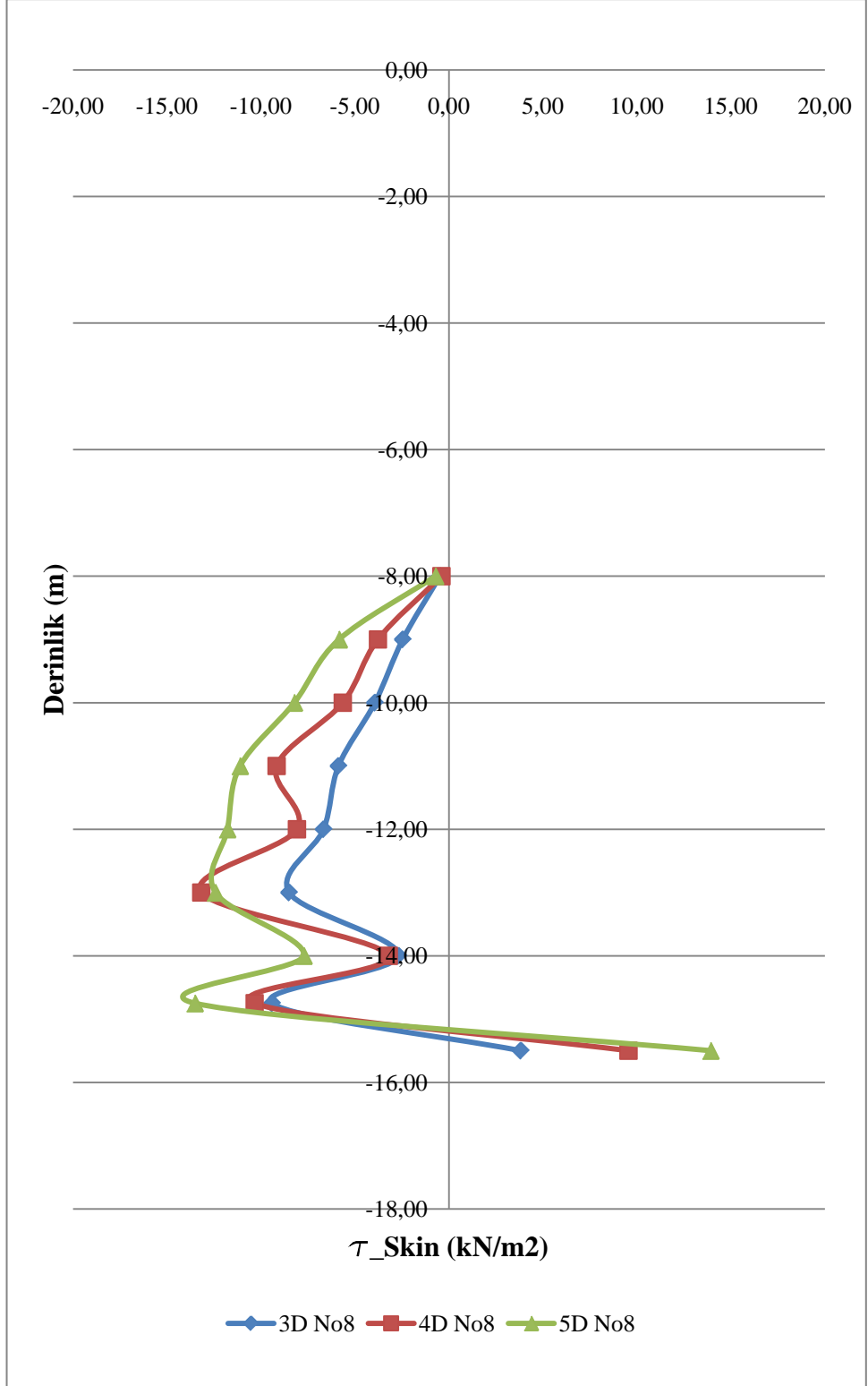
Şekil A.3.9 : “7” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



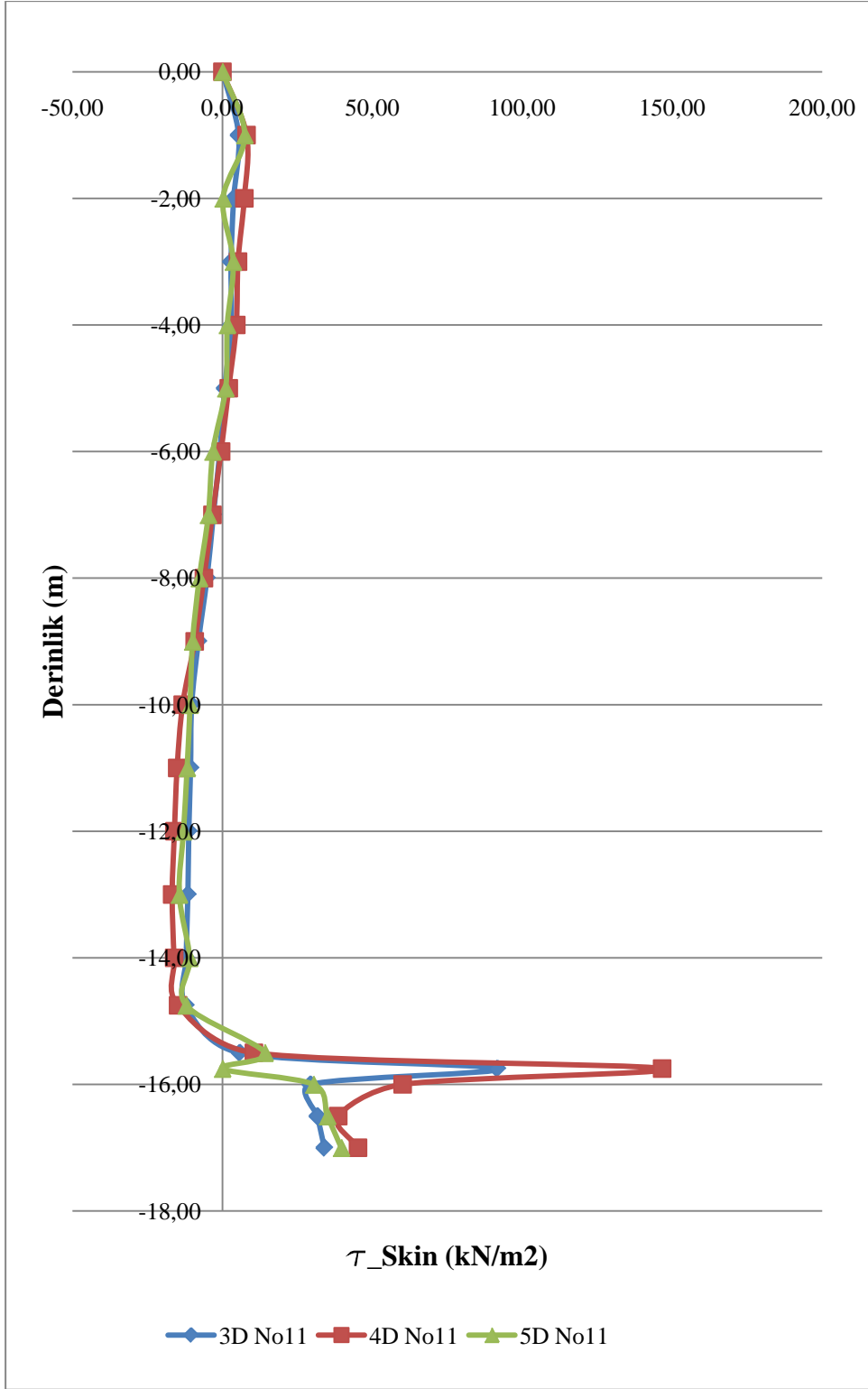
Şekil A.3.10 : “7” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



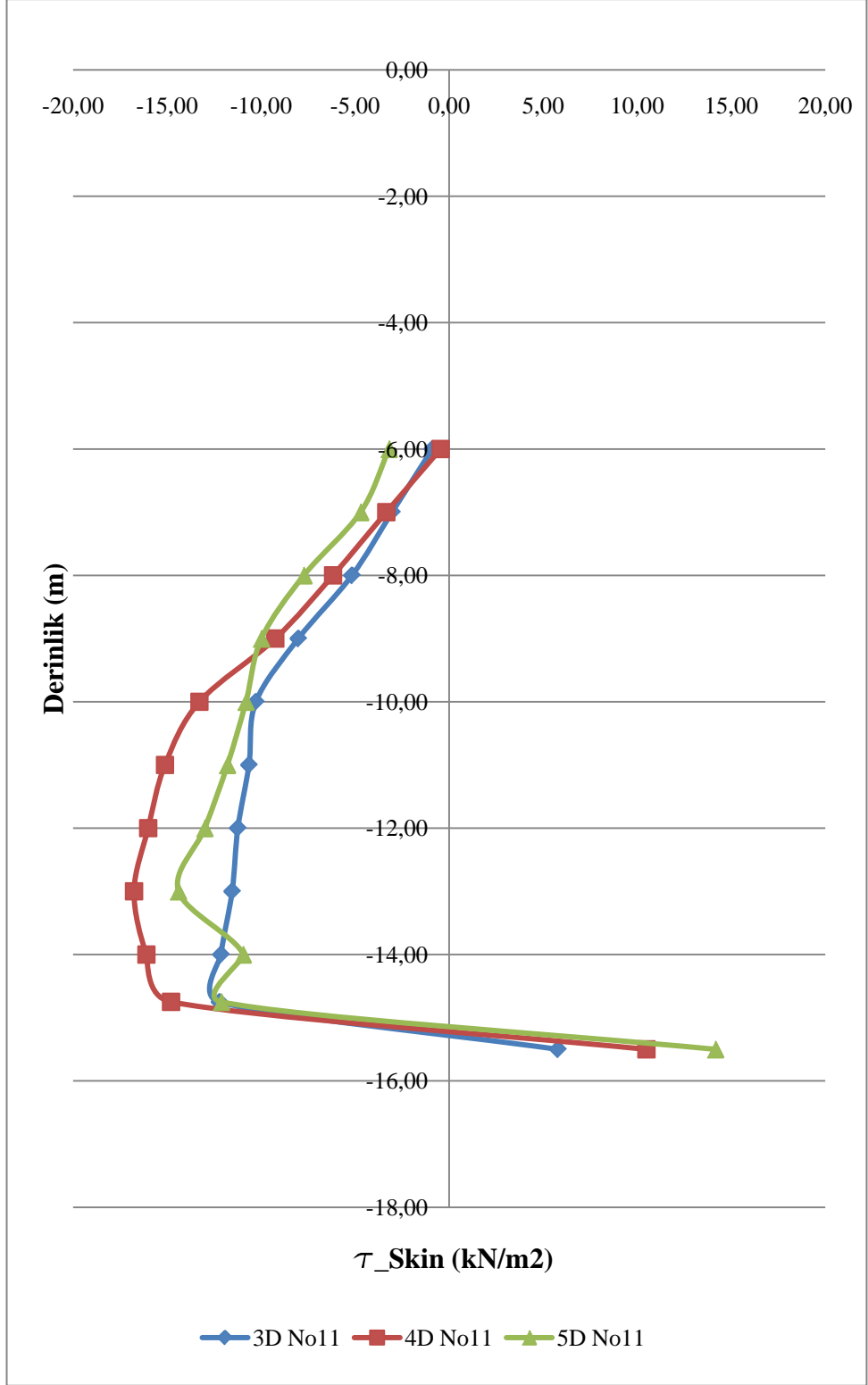
Şekil A.3.11 : “8” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



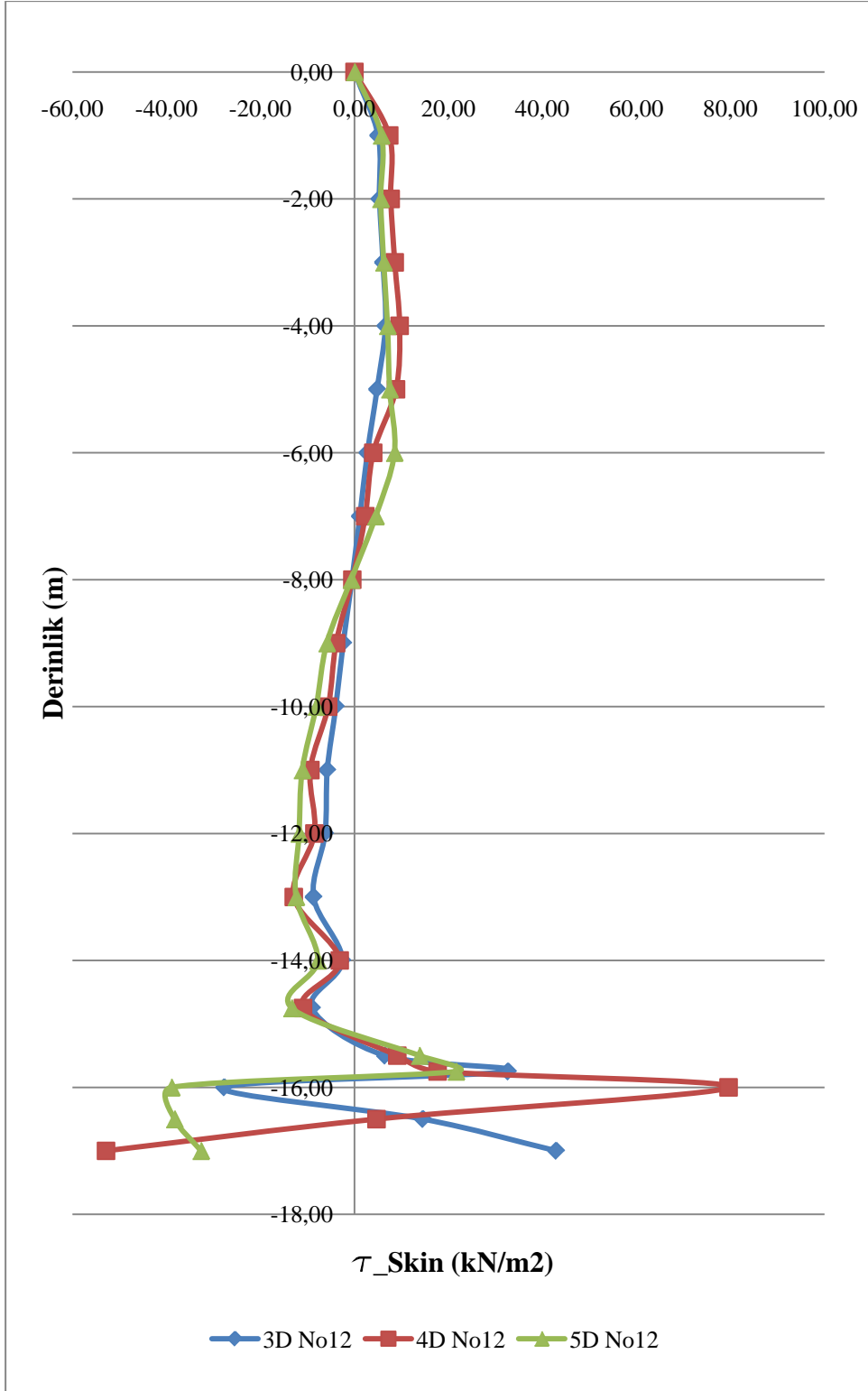
Şekil A.3.12 : “8” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



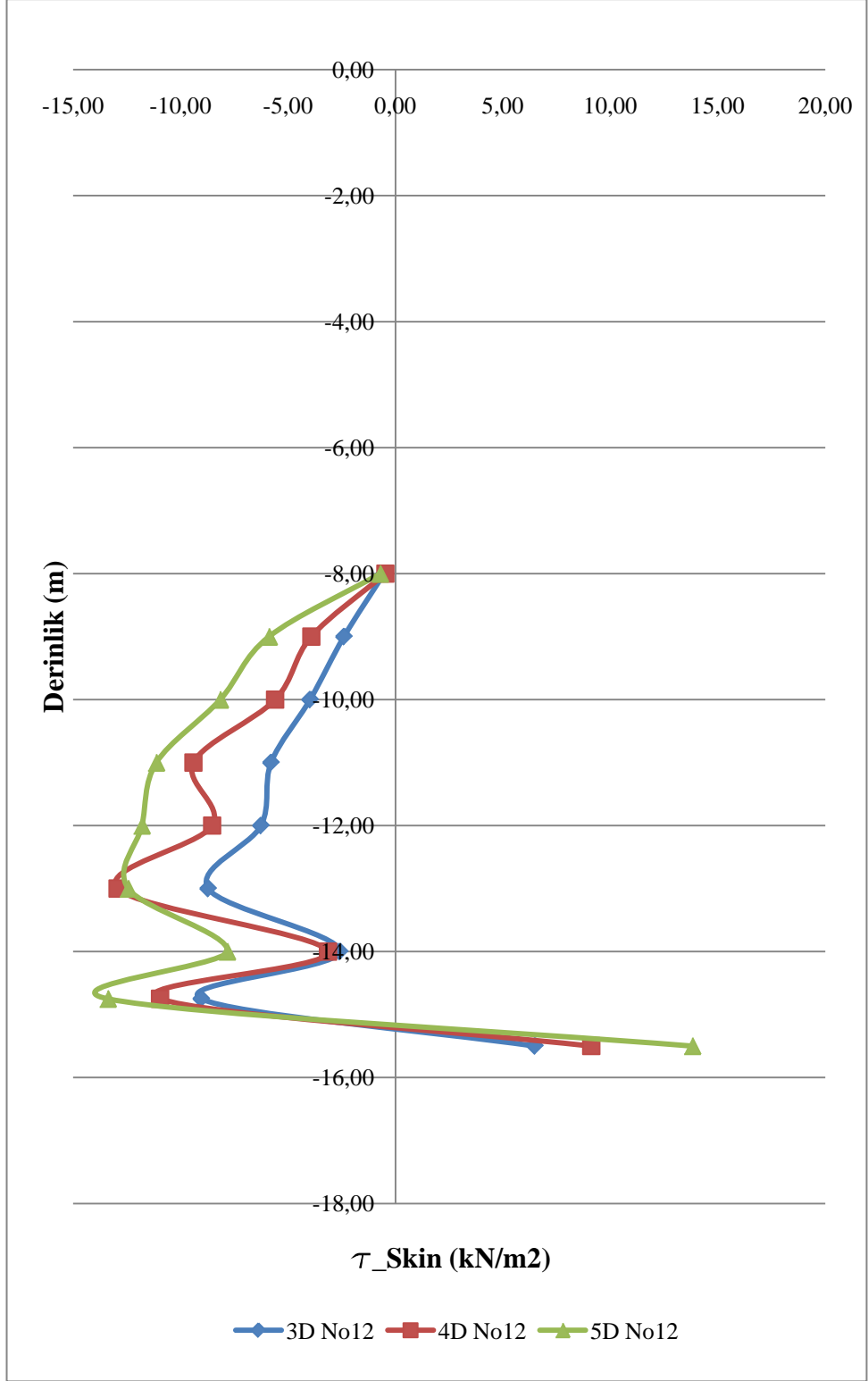
Şekil A.3.13 : “11” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



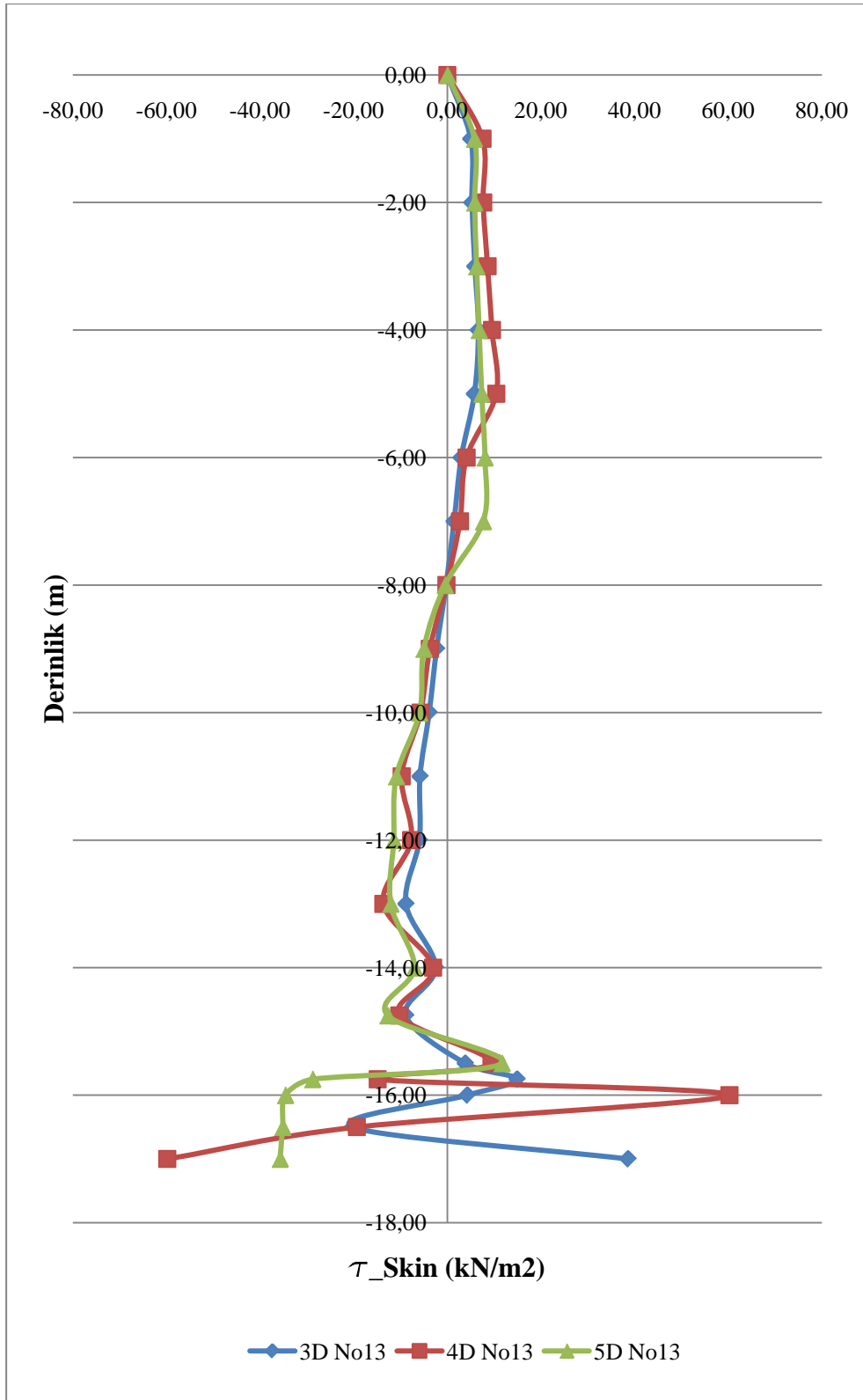
Şekil A.3.14 : “11” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



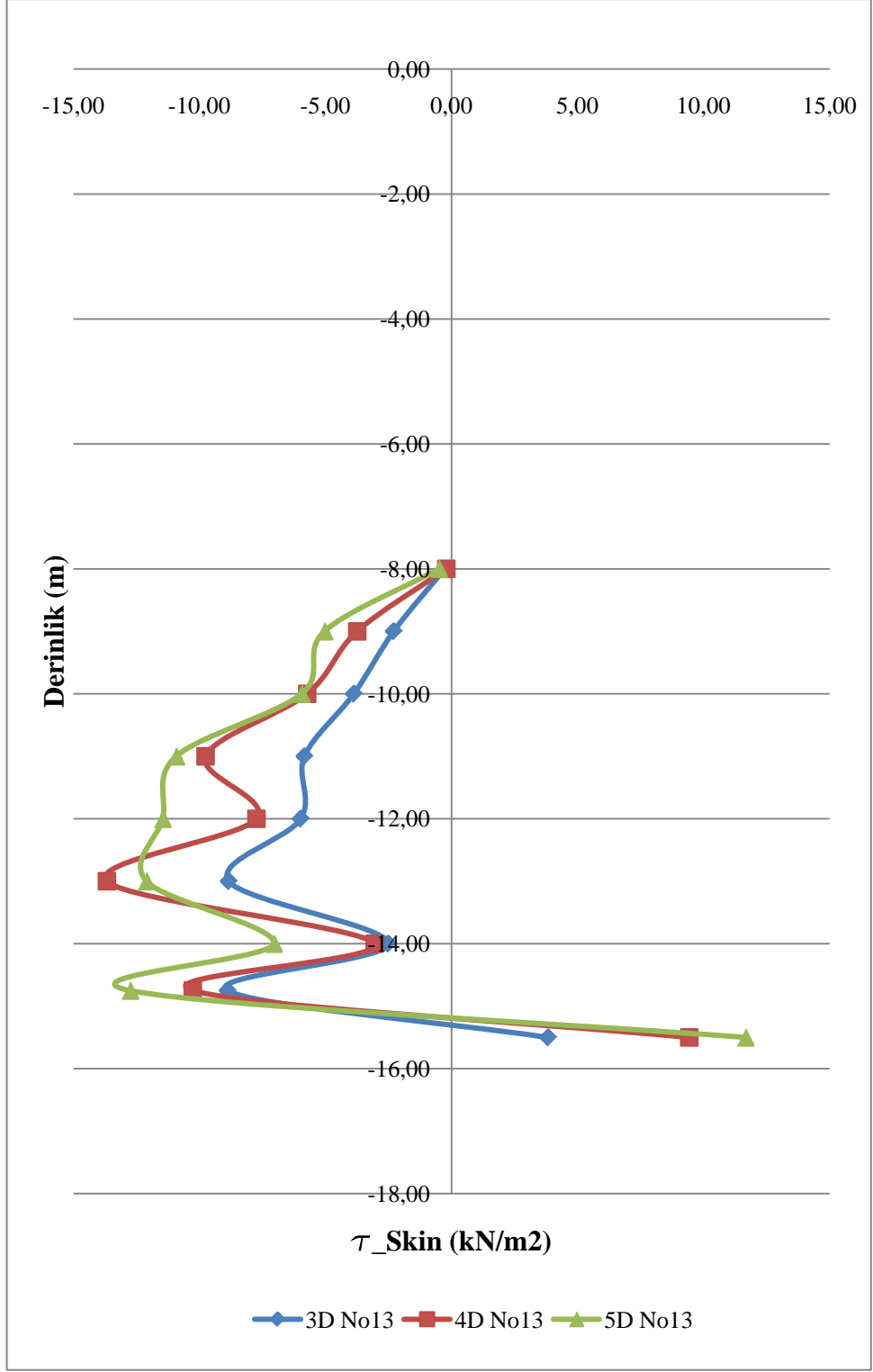
Şekil A.3.15 : “12” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil A.3.16 : “12” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



Şekil A.3.17 : “13” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil A.3.18 : “13” numaralı kazıkta aralık değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi

EK B.1

B.1.1 Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesi üzerine etkisi (kuvvet cinsinden)

Çizelge B. 1.1: “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No1		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		-4.01		9.63		9.26		29.86
-2.00		-14.10		-21.80		-31.52		-8.11
-3.00		-16.13		-21.16		-27.17		7.89
-4.00		-18.17		-23.08		-31.16		6.98
-5.00		-20.25		-28.93		-36.89		-17.74
-6.00		-22.73		-33.18		-41.08		-22.61
-7.00		-24.34		-37.62		-45.17		-37.09
-8.00		-26.04		-40.82		-49.45		-42.69
-9.00		-27.43		-44.00		-54.92		-53.95
-10.00		-28.83		-47.19		-57.38		-55.42
-11.00		-29.78		-51.54		-61.99		-65.55
-12.00		-30.83		-53.38		-56.85		-52.12
-13.00		-32.33		-54.38		-61.01		-66.26
-14.00		-32.41		-32.99		-34.93		-17.34
-14.75		-27.09		-32.57		-32.06		-45.25
-15.50		39.03		56.74		70.91		54.42
-15.75		249.74		48.31		0.00		0.00
-16.00		159.14		0.00		13.13		182.34
-16.50		77.30		284.07		110.40		261.37
-17.00		88.68		300.54		207.67		340.41

Çizelge B. 1.2: “2” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No2		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		12.74		19.99		25.18		24.86
-2.00		-7.63		7.56		-0.54		2.81
-3.00		-8.71		10.28		6.49		9.70
-4.00		-8.05		5.22		-1.57		2.48
-5.00		-11.46		-2.56		-7.55		-4.84
-6.00		-16.36		-10.38		-18.40		-14.95
-7.00		-21.21		-17.55		-25.61		-22.18
-8.00		-26.10		-24.50		-35.11		-30.39
-9.00		-27.77		-33.40		-37.53		-38.48
-10.00		-29.44		-37.27		-39.95		-40.62
-11.00		-31.08		-38.12		-42.06		-42.57
-12.00		-32.71		-39.27		-44.51		-44.77
-13.00		-34.51		-41.33		-48.88		-48.27
-14.00		-36.62		-32.38		-43.53		-36.67
-14.75		-34.98		-41.01		-45.54		-43.82
-15.50		25.89		24.53		31.13		30.48
-15.75		173.18		513.14		540.45		498.64
-16.00		93.99		154.06		296.29		257.32
-16.50		95.97		139.30		243.97		220.26
-17.00		97.95		124.54		191.65		183.21

Çizelge B. 1.3: “3” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No3		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		13.00		20.86		23.55		33.47
-2.00		10.43		-0.98		-6.16		4.25
-3.00		9.60		8.82		7.31		27.90
-4.00		8.06		3.81		0.13		19.63
-5.00		3.30		1.73		-0.05		9.26
-6.00		-1.87		-5.98		-9.47		-0.68
-7.00		-7.03		-10.84		-13.94		-11.28
-8.00		-14.03		-16.67		-20.40		-20.25
-9.00		-24.61		-23.76		-28.50		-31.94
-10.00		-29.25		-27.89		-32.17		-35.58
-11.00		-30.36		-35.19		-41.05		-49.02
-12.00		-31.60		-33.42		-35.80		-36.76
-13.00		-32.97		-40.91		-46.86		-56.23
-14.00		-34.63		-17.64		-17.91		-11.01
-14.75		-34.58		-31.00		-32.77		-40.98
-15.50		13.11		36.42		38.97		33.58
-15.75		139.82		0.00		0.00		144.39
-16.00		109.83		49.34		0.00		-169.80
-16.50		111.74		97.47		68.73		127.37
-17.00		107.61		145.59		153.65		290.86

Çizelge B. 1.4: “6” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No6		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		13.15		19.94		24.62		33.58
-2.00		-5.36		7.40		2.61		3.73
-3.00		-6.55		10.26		9.67		27.68
-4.00		-6.26		5.22		2.43		19.71
-5.00		-9.94		-2.63		-4.95		9.33
-6.00		-14.60		-10.43		-15.00		-0.69
-7.00		-19.84		-17.61		-22.25		-11.28
-8.00		-23.95		-24.58		-30.53		-20.22
-9.00		-26.67		-33.48		-38.48		-31.92
-10.00		-29.40		-37.27		-40.61		-35.57
-11.00		-33.40		-38.13		-44.80		-48.97
-12.00		-37.15		-39.29		-44.43		-36.64
-13.00		-44.42		-41.33		-48.25		-56.28
-14.00		-37.29		-32.54		-36.83		-11.30
-14.75		-31.52		-41.03		-43.83		-40.38
-15.50		33.34		24.53		30.47		35.17
-15.75		0.00		517.96		508.46		234.31
-16.00		169.16		153.08		256.10		-186.15
-16.50		161.54		138.58		219.21		89.33
-17.00		153.92		124.09		182.33		287.30

Çizelge B. 1.5: “7” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No7		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		13.66		26.97		28.72		34.67
-2.00		14.77		20.88		19.01		13.78
-3.00		16.80		31.29		33.09		39.80
-4.00		15.44		26.37		26.09		24.91
-5.00		11.23		25.23		26.09		31.94
-6.00		5.80		11.16		11.36		12.67
-7.00		1.41		4.62		4.55		7.64
-8.00		-3.18		-4.42		-4.64		-2.78
-9.00		-8.22		-16.25		-16.80		-16.30
-10.00		-12.66		-20.26		-20.92		-19.28
-11.00		-17.64		-33.22		-34.36		-36.71
-12.00		-19.81		-25.38		-25.98		-21.32
-13.00		-24.96		-44.51		-45.40		-50.07
-14.00		-7.99		-8.00		-7.65		-2.94
-14.75		-27.11		-35.11		-35.46		-34.09
-15.50		10.73		25.54		25.29		28.59
-15.75		78.52		123.67		118.20		-130.50
-16.00		-91.20		-136.37		-109.46		-162.05
-16.50		125.42		-184.96		-213.94		-183.10
-17.00		117.10		-124.56		-205.39		-204.15

Çizelge B. 1.6: “8” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No8		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		13.74		21.27		26.69		34.06
-2.00		14.68		21.92		23.64		14.60
-3.00		16.38		24.51		30.35		39.15
-4.00		18.07		27.10		28.89		25.64
-5.00		13.87		23.29		28.00		32.09
-6.00		7.66		10.82		12.15		13.86
-7.00		3.30		5.48		6.88		9.45
-8.00		-1.36		-2.70		-2.45		-1.43
-9.00		-6.94		-12.20		-14.18		-13.87
-10.00		-11.14		-16.84		-18.27		-17.56
-11.00		-16.61		-27.76		-31.94		-34.08
-12.00		-18.85		-23.37		-23.46		-20.44
-13.00		-24.04		-37.76		-43.12		-47.10
-14.00		-7.60		-7.52		-7.12		-4.40
-14.75		-26.60		-32.85		-32.65		-29.87
-15.50		10.80		21.39		26.63		33.30
-15.75		47.57		74.44		31.66		-212.99
-16.00		-39.64		-62.70		-191.84		-213.58
-16.50		30.36		-163.68		-187.46		-221.30
-17.00		116.91		-156.01		-183.08		-229.02

Çizelge B. 1.7: “11” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No11	$\phi = 450$	$\phi = 650$	$\phi = 800$	$\phi = 1000$
	T_Skin	T_Skin	T_Skin	T_Skin
Y [m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.00	15.22	21.08	23.87	33.58
-2.00	10.57	-1.47	-6.82	3.73
-3.00	8.05	9.22	7.64	27.68
-4.00	8.21	3.75	-0.03	19.71
-5.00	2.10	1.81	-0.04	9.33
-6.00	-2.52	-6.01	-9.58	-0.69
-7.00	-8.58	-10.96	-14.12	-11.28
-8.00	-14.60	-16.88	-20.59	-20.22
-9.00	-22.67	-23.81	-28.76	-31.92
-10.00	-29.04	-27.99	-32.27	-35.57
-11.00	-30.08	-35.38	-41.33	-48.97
-12.00	-31.27	-32.95	-35.51	-36.64
-13.00	-32.61	-41.22	-47.37	-56.28
-14.00	-33.46	-17.54	-17.96	-11.30
-14.75	-34.52	-31.13	-32.87	-40.38
-15.50	16.36	35.98	39.01	35.17
-15.75	259.24	0.00	0.00	234.31
-16.00	83.04	46.87	0.00	-186.15
-16.50	89.56	95.85	61.89	89.33
-17.00	96.08	144.83	150.23	287.30

Çizelge B. 1.8: “12” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

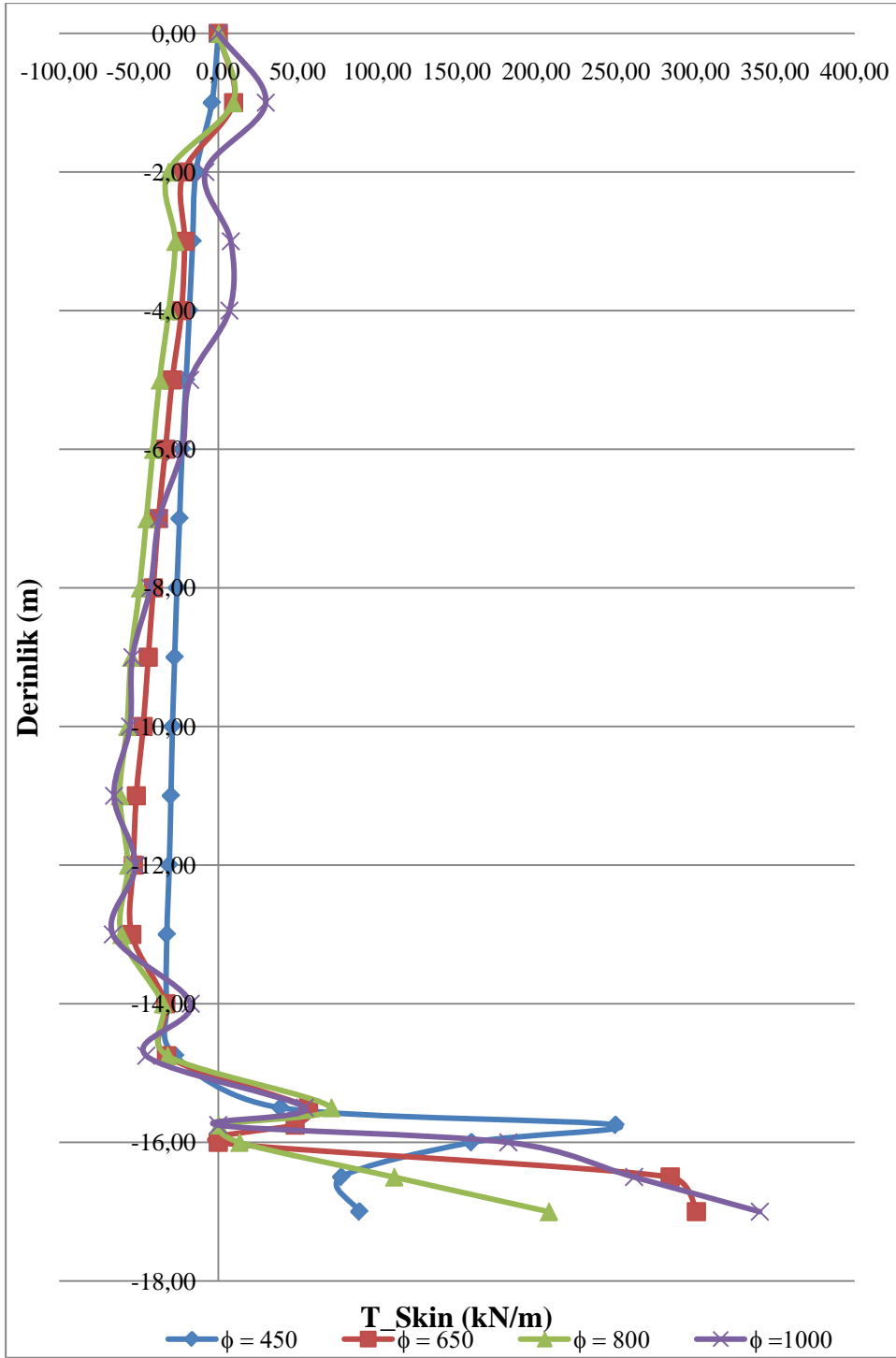
No12		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		14.25		21.25		23.87		33.58
-2.00		15.06		21.87		-6.82		3.73
-3.00		17.14		24.46		7.64		27.68
-4.00		18.64		27.38		-0.03		19.71
-5.00		13.59		23.30		-0.04		9.33
-6.00		7.80		10.87		-9.58		-0.69
-7.00		3.25		5.51		-14.12		-11.28
-8.00		-1.49		-2.65		-20.59		-20.22
-9.00		-6.77		-12.16		-28.76		-31.92
-10.00		-11.22		-16.79		-32.27		-35.57
-11.00		-16.36		-27.72		-41.33		-48.97
-12.00		-17.68		-23.32		-35.51		-36.64
-13.00		-24.63		-37.71		-47.37		-56.28
-14.00		-7.32		-7.49		-17.96		-11.30
-14.75		-25.53		-32.74		-32.87		-40.38
-15.50		11.66		21.33		39.01		35.17
-15.75		92.37		67.37		0.00		234.31
-16.00		-77.05		-54.83		0.00		-186.15
-16.50		41.14		-164.67		61.89		89.33
-17.00		121.32		-156.82		150.23		287.30

Çizelge B. 1.9: “13” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

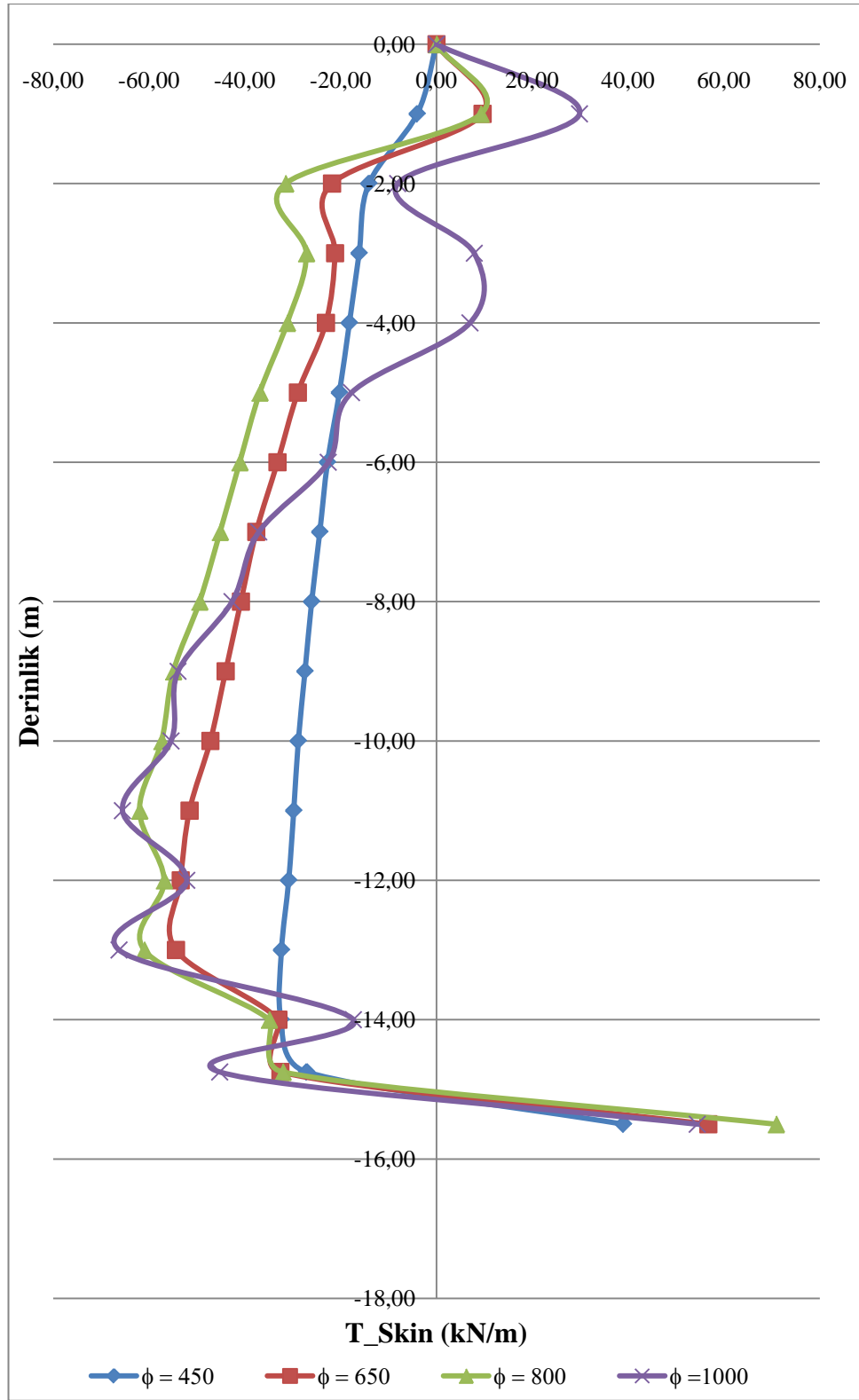
No13		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		T_Skin		T_Skin		T_Skin		T_Skin
Y [m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		14.15		21.27		26.30		33.20
-2.00		14.58		21.81		26.25		14.95
-3.00		16.62		24.17		29.63		37.61
-4.00		18.77		26.32		30.85		26.63
-5.00		16.35		26.23		30.22		31.92
-6.00		8.40		11.82		13.43		15.15
-7.00		4.07		7.18		9.03		11.19
-8.00		-0.76		-1.05		-0.81		0.01
-9.00		-6.49		-10.50		-11.77		-11.34
-10.00		-10.96		-15.50		-16.28		-15.85
-11.00		-16.50		-26.64		-30.28		-31.04
-12.00		-16.91		-21.31		-21.08		-19.39
-13.00		-24.99		-37.03		-41.46		-43.05
-14.00		-7.10		-7.71		-7.47		-5.96
-14.75		-25.12		-30.21		-29.22		-25.75
-15.50		10.84		20.57		25.43		32.23
-15.75		42.16		-58.60		-161.44		-250.41
-16.00		12.05		-122.38		-197.38		-249.78
-16.50		-57.14		-162.39		-196.54		-253.61
-17.00		109.15		-159.15		-195.70		-257.45

EK B. 2

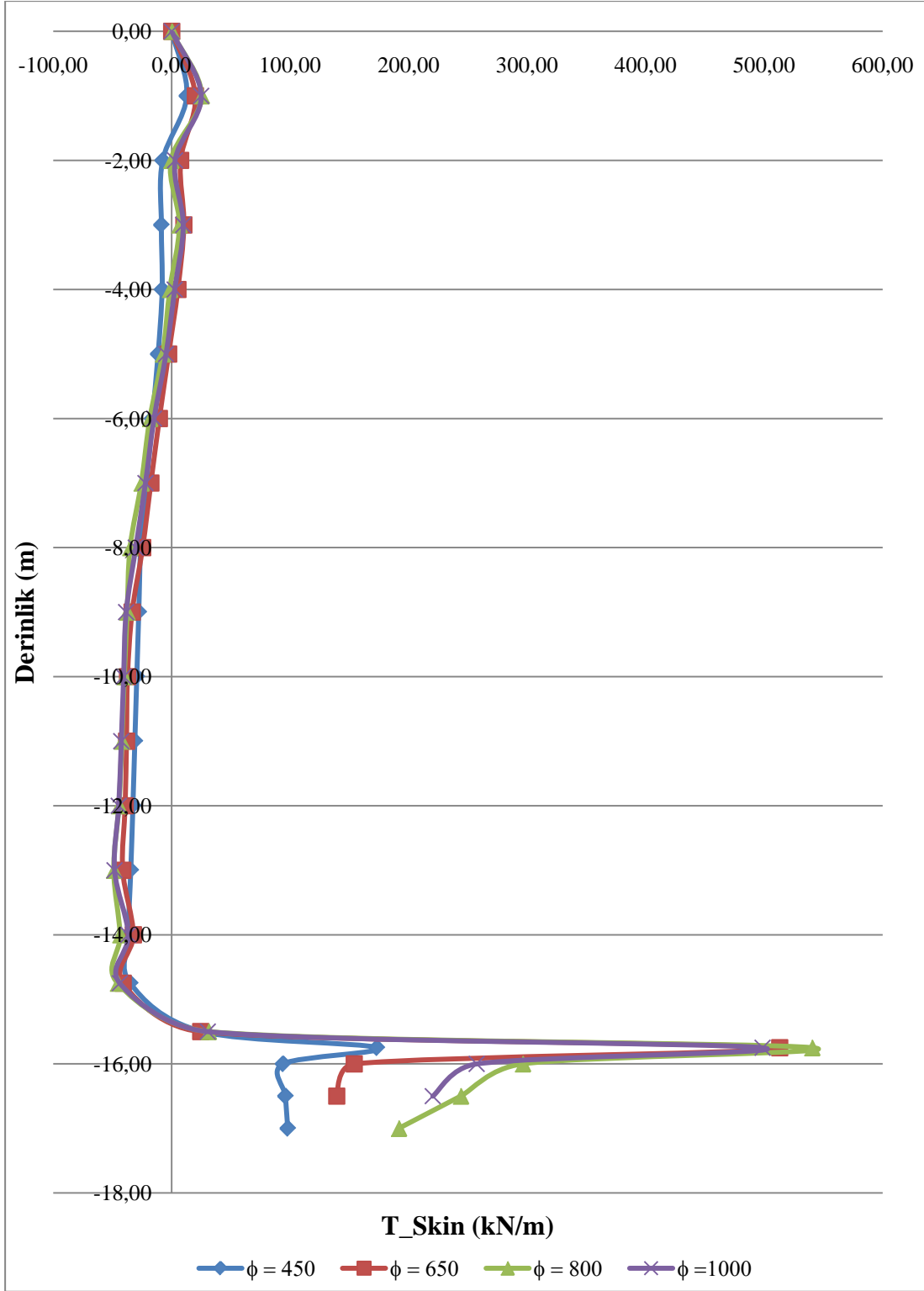
B.2. Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



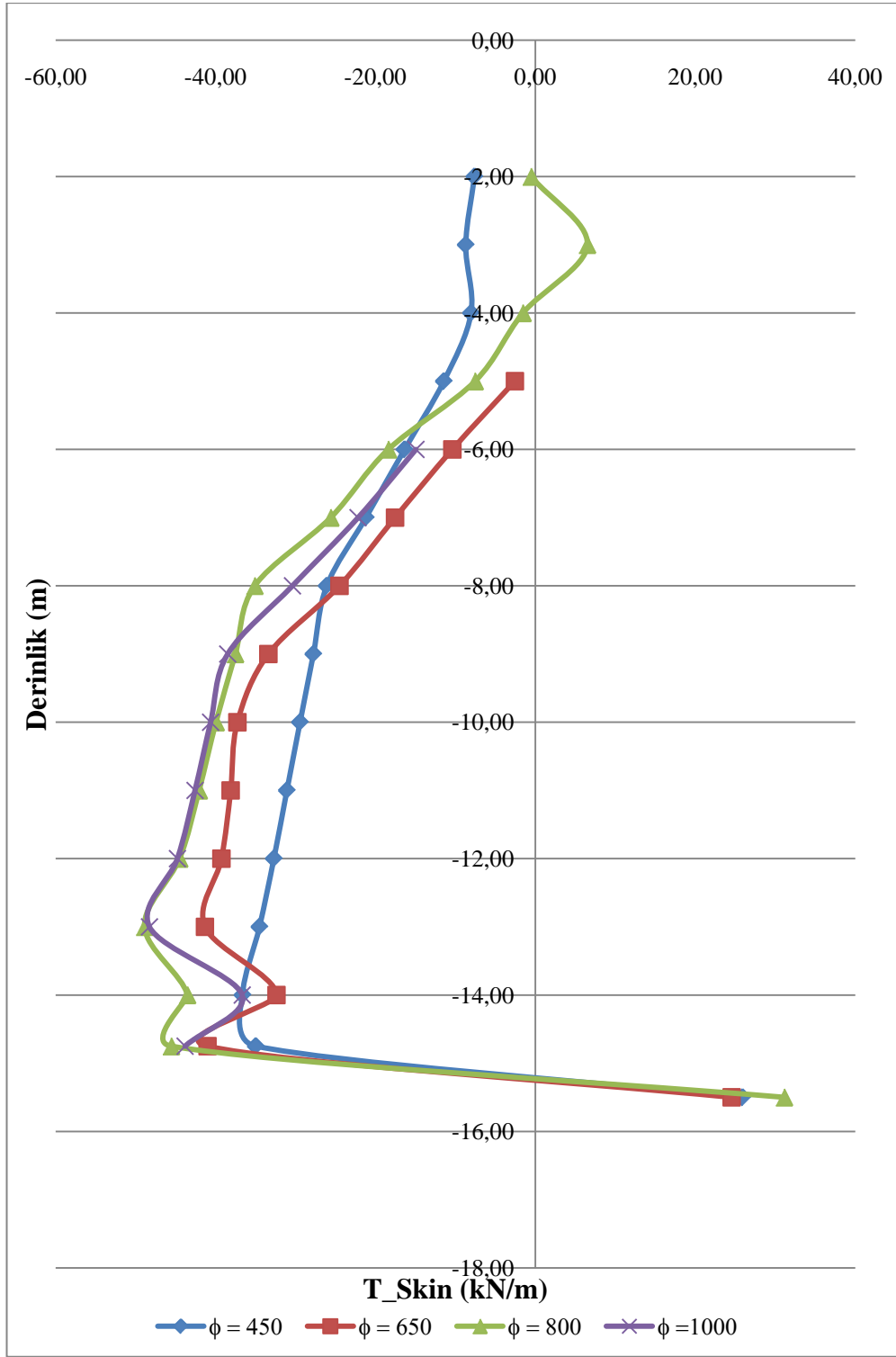
Şekil B.2.1 : “1” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



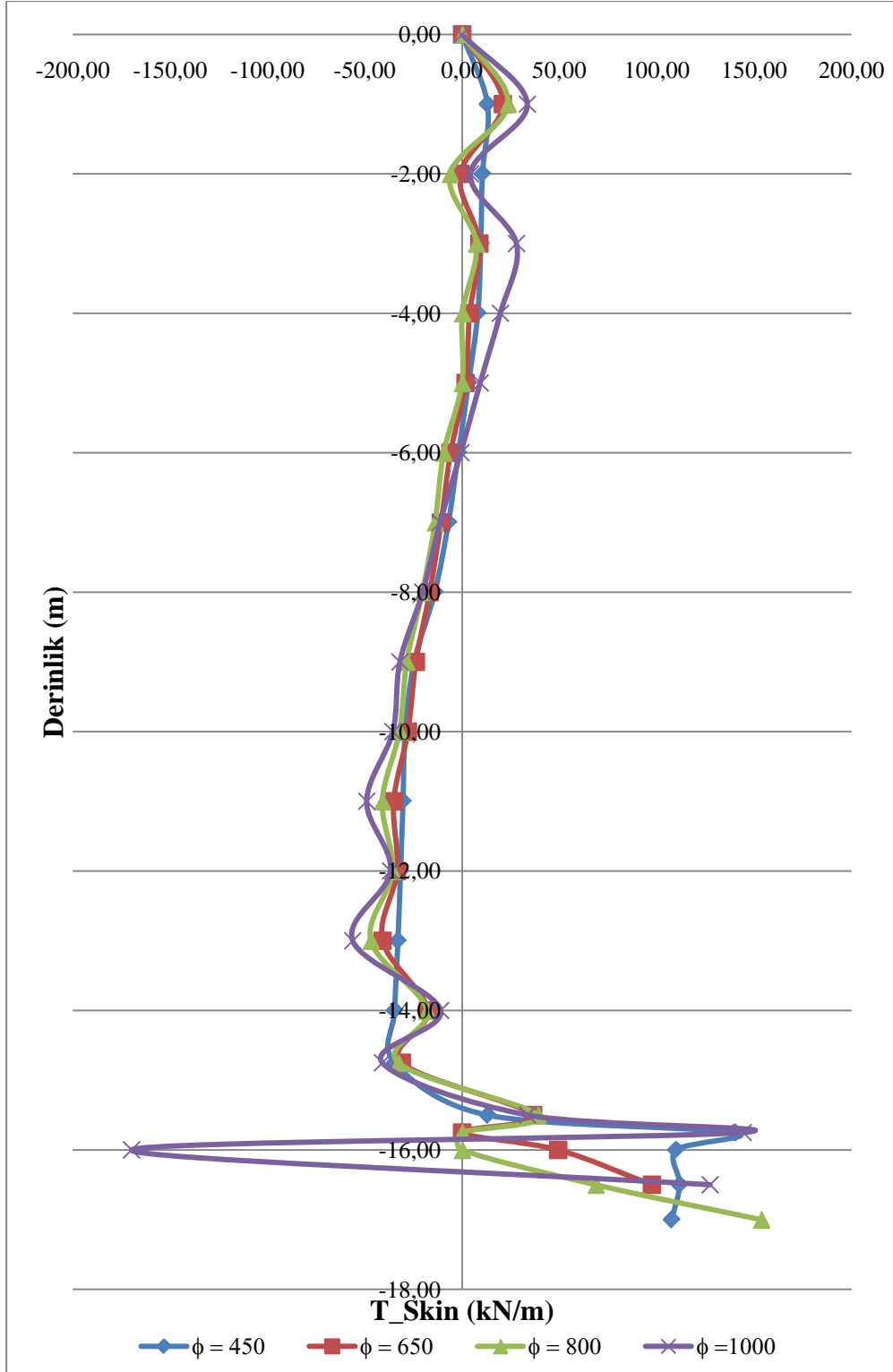
Şekil B.2.2 : “1” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



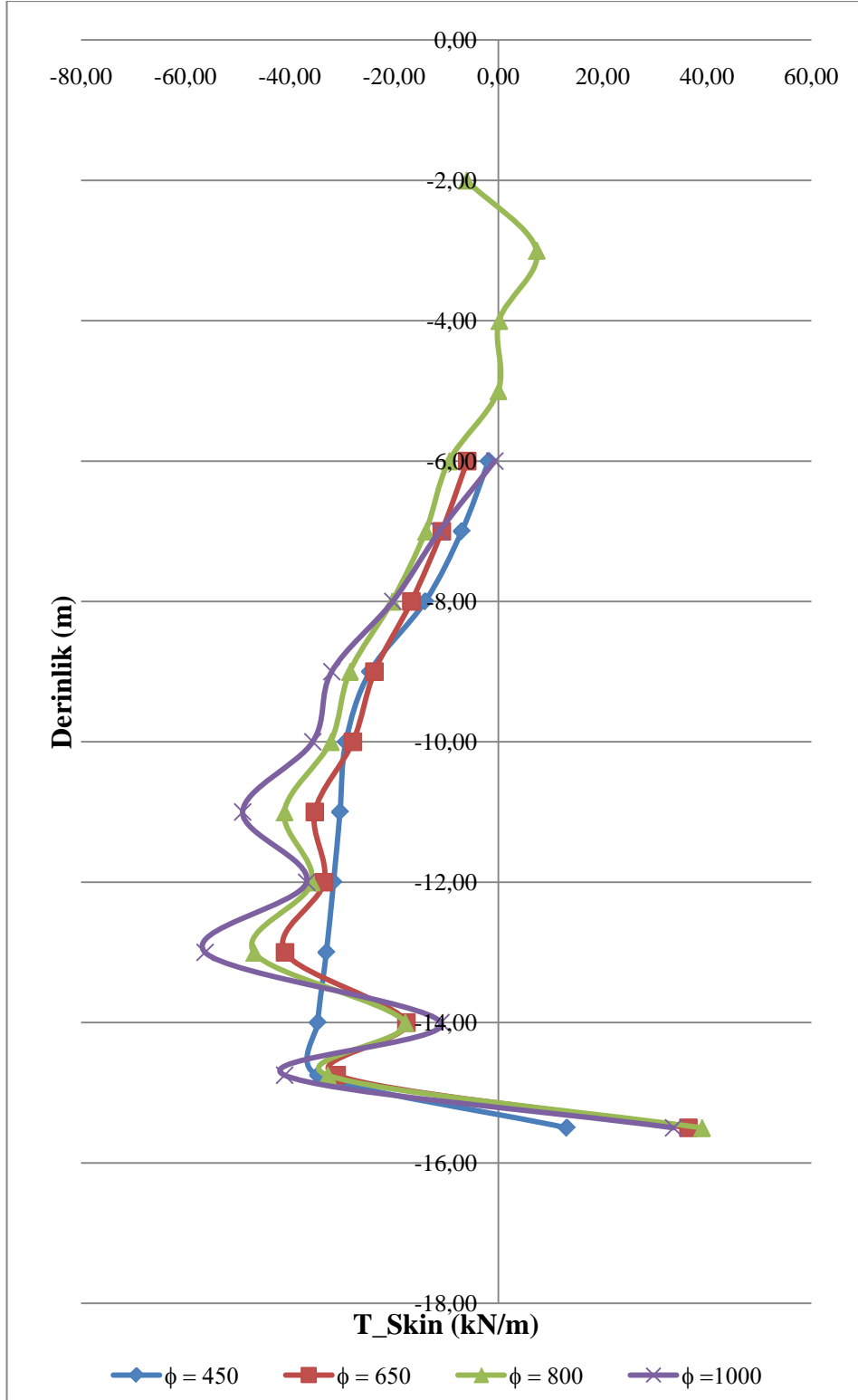
Şekil B.2.3 : “2” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



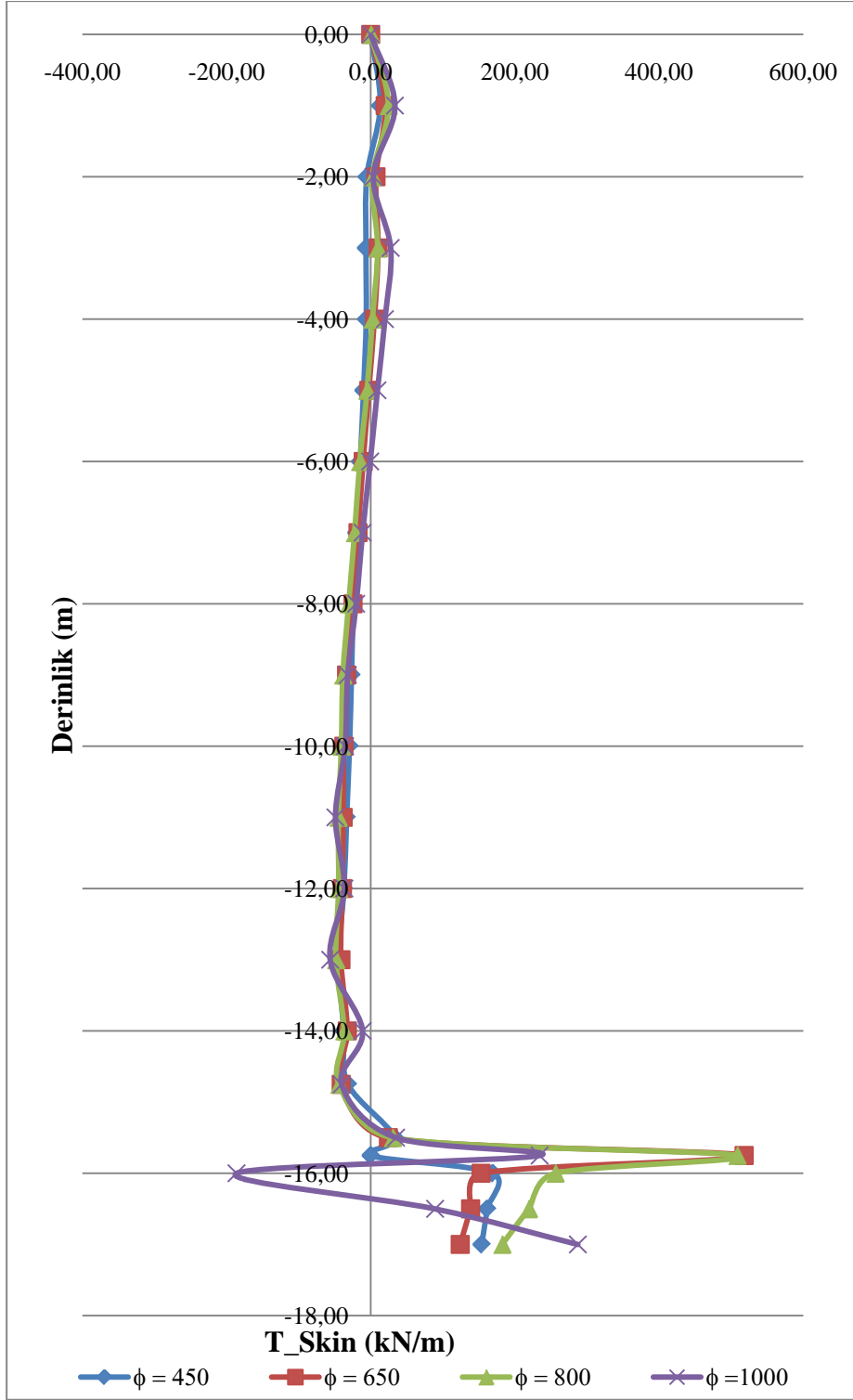
Şekil B.2.4 : “2” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



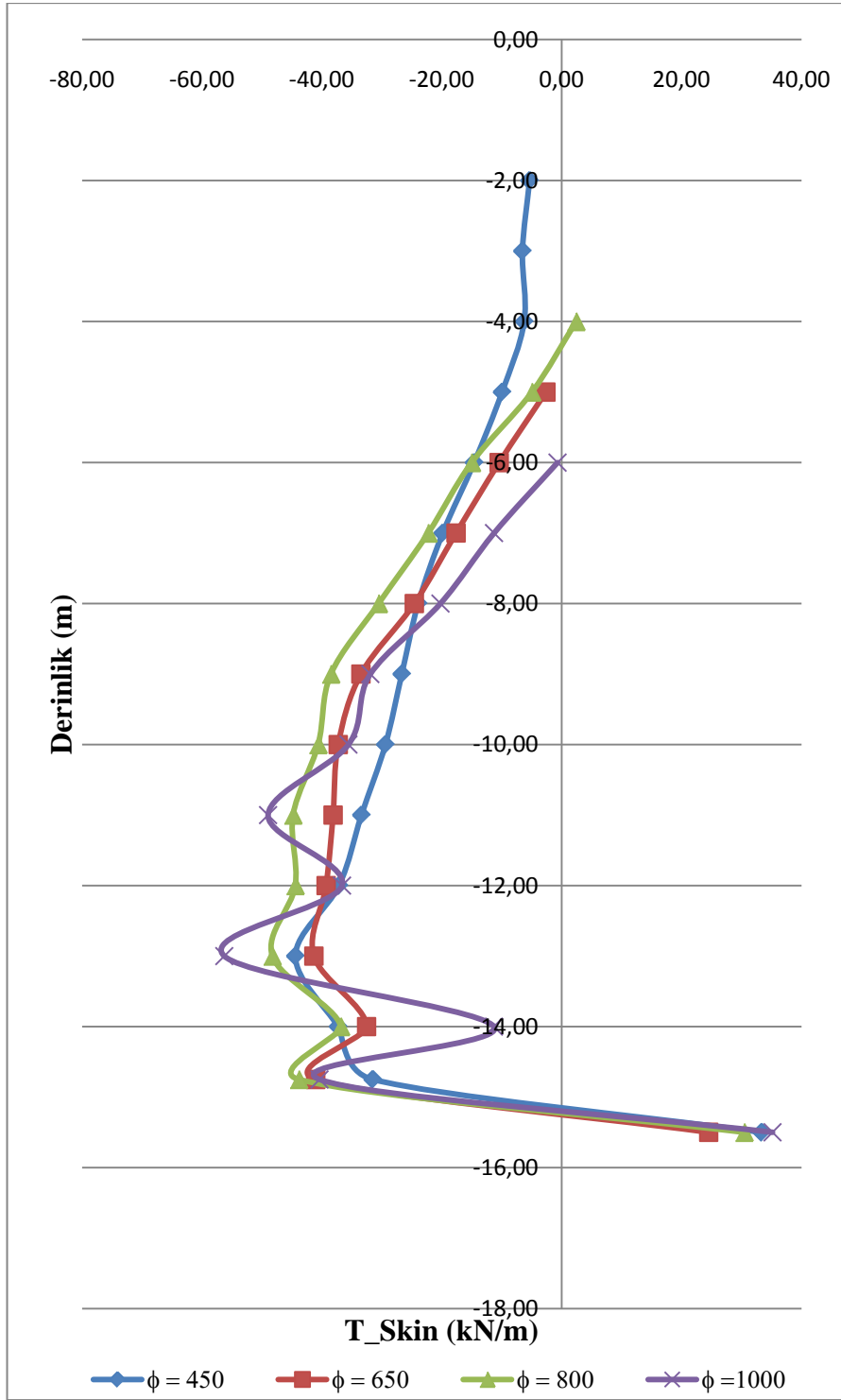
Şekil B.2.5 : “3” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



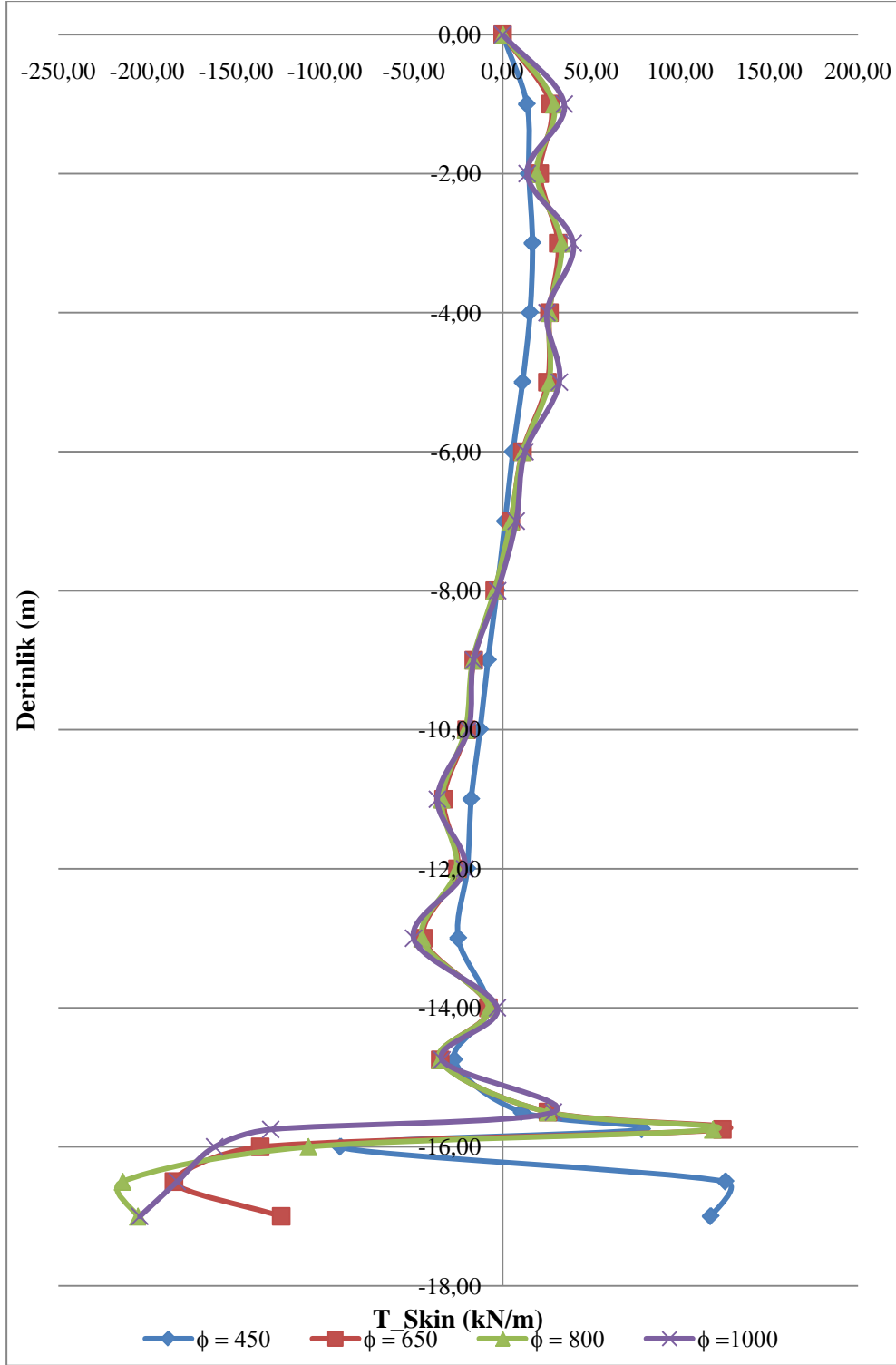
Şekil B.2.6: “3” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



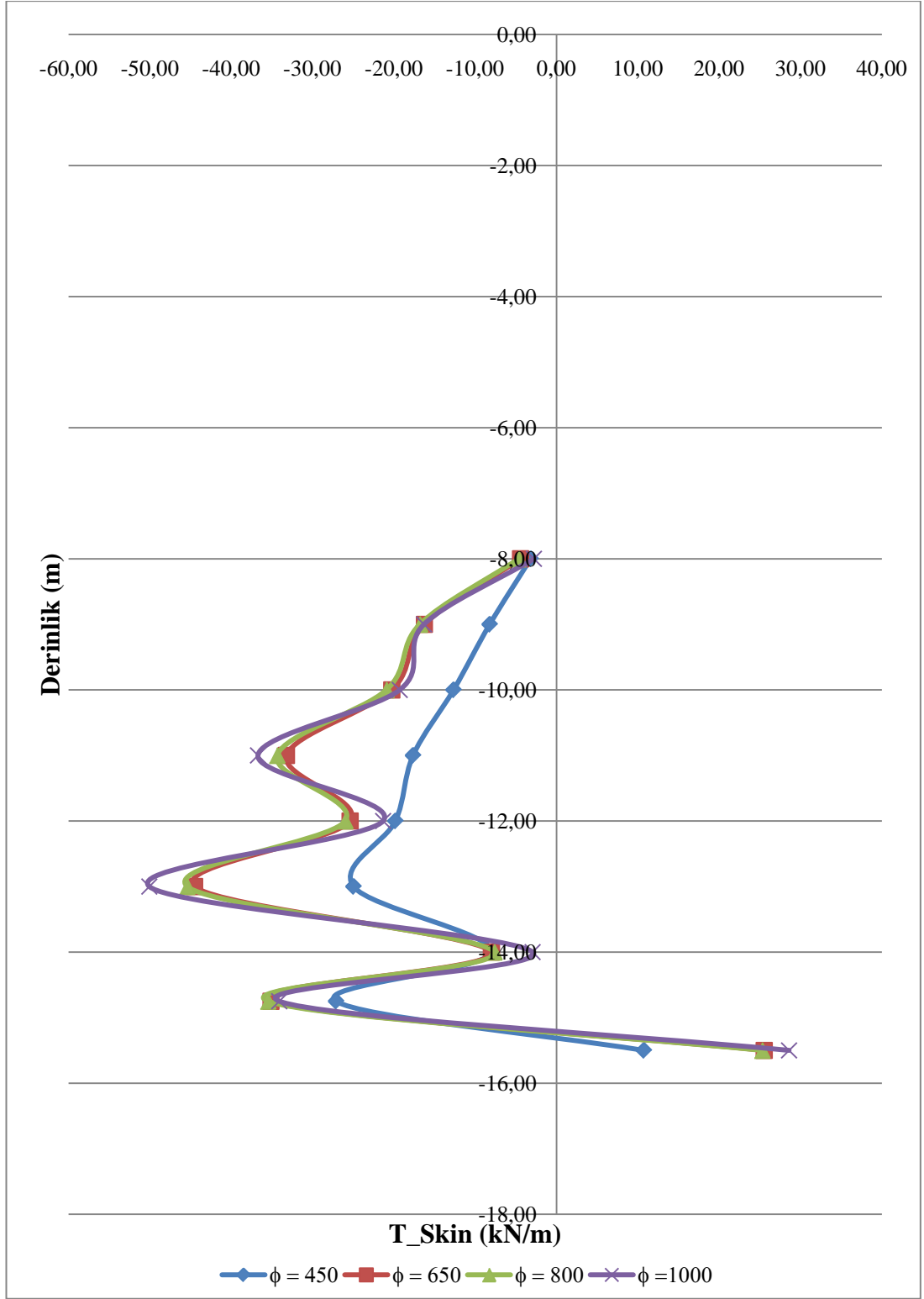
Şekil B.2.7 : “6” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



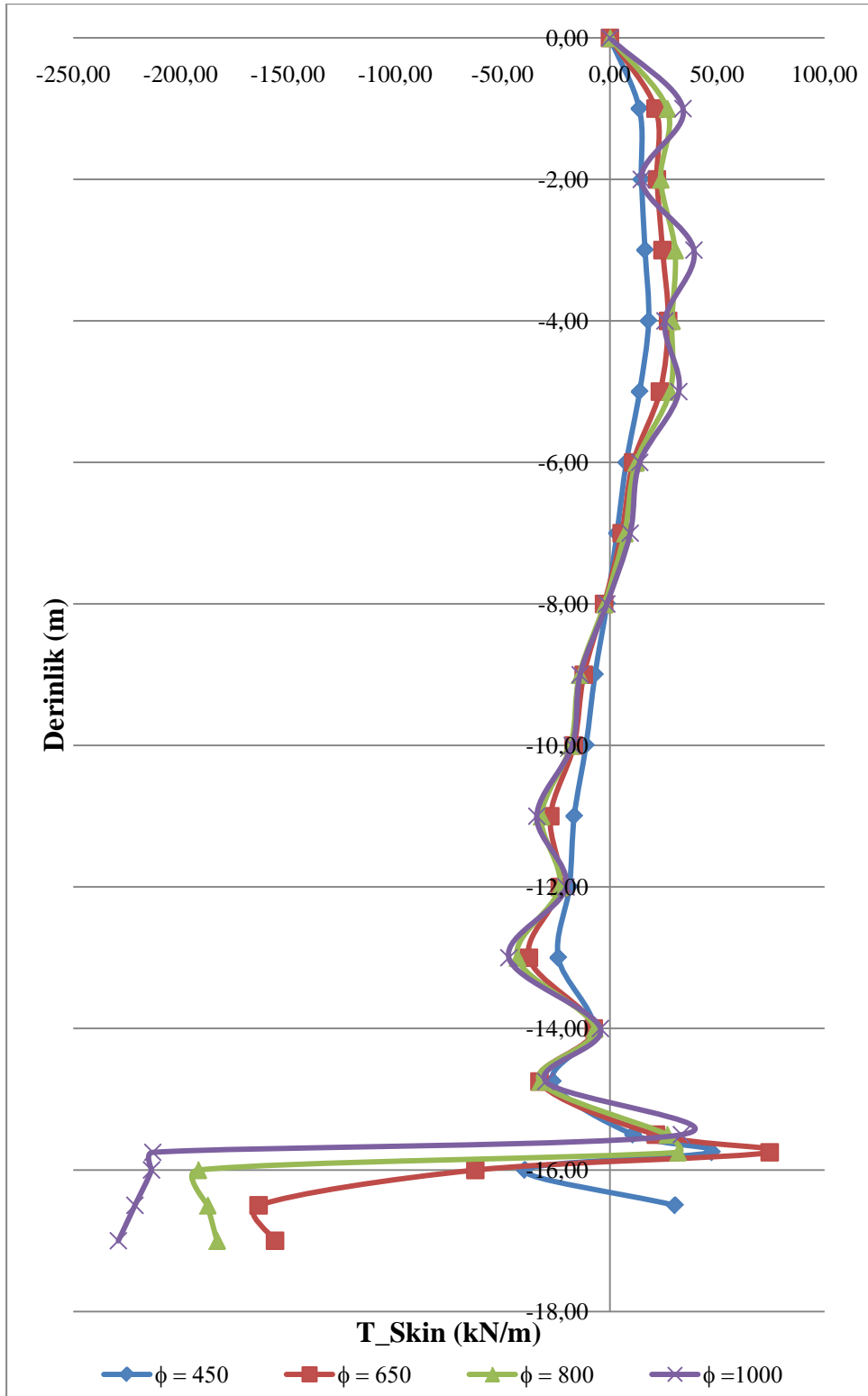
Şekil B.2.8 : “6” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



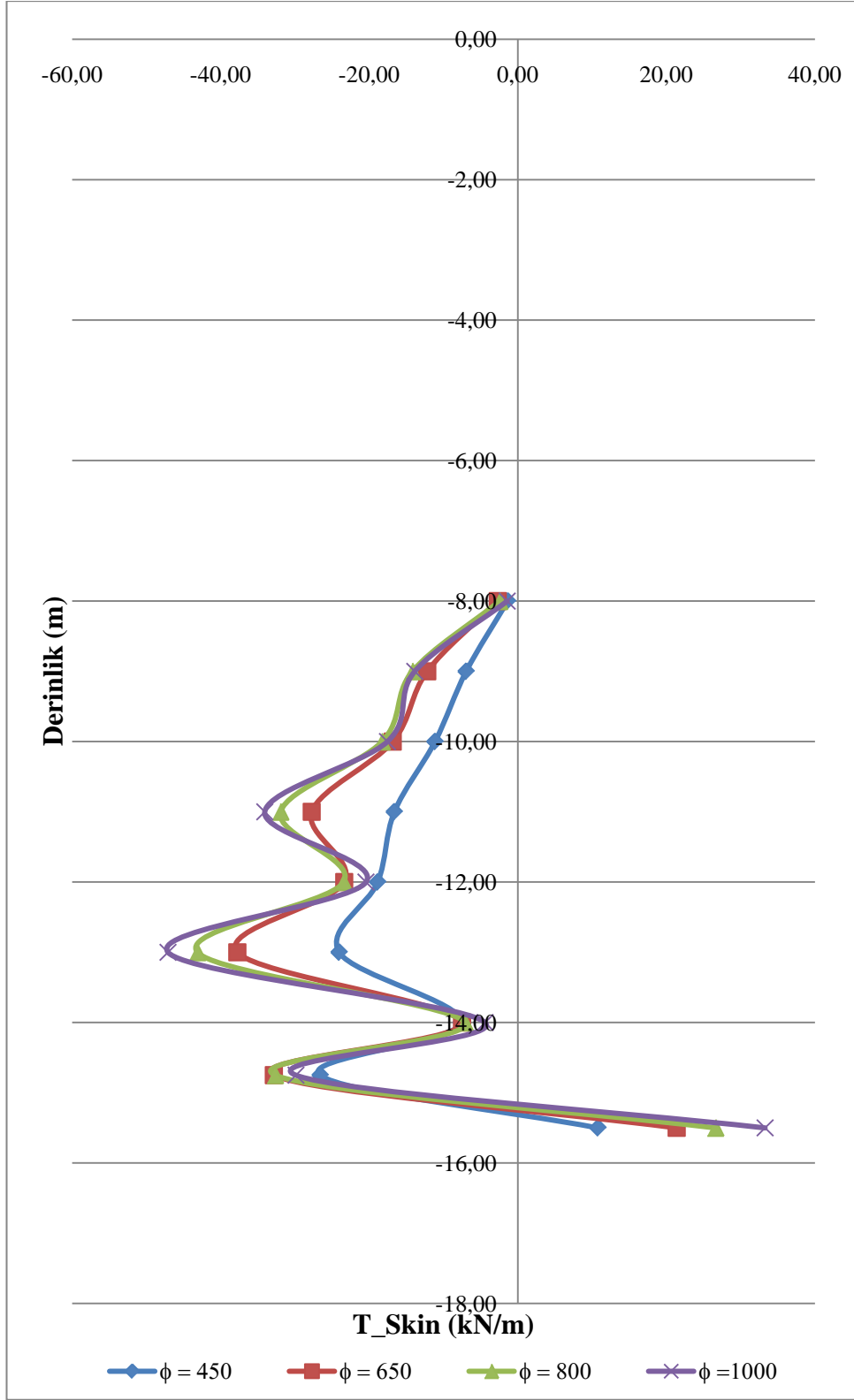
Şekil B.2.9 : “7” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



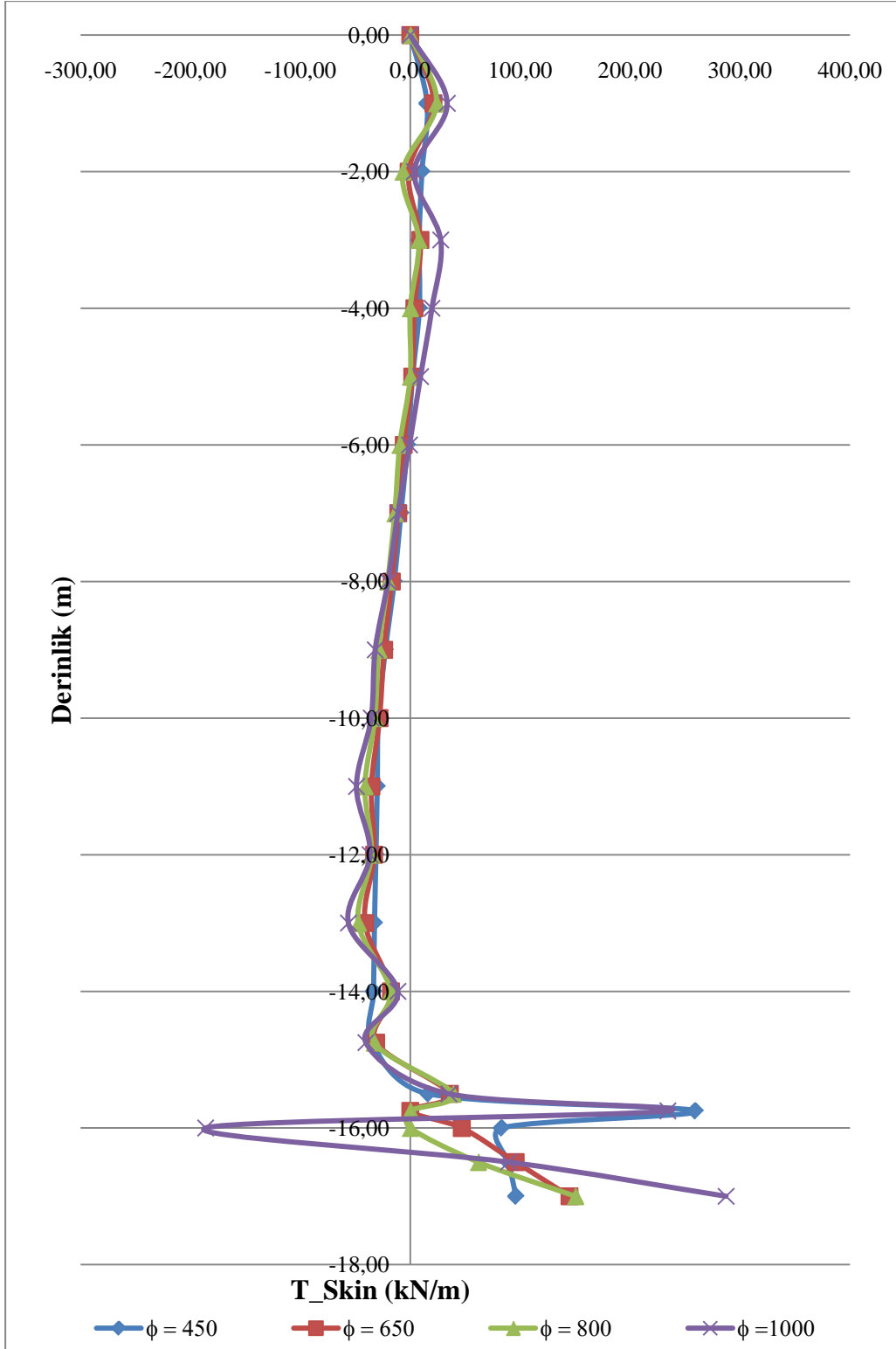
Şekil B.2.10 : “7” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



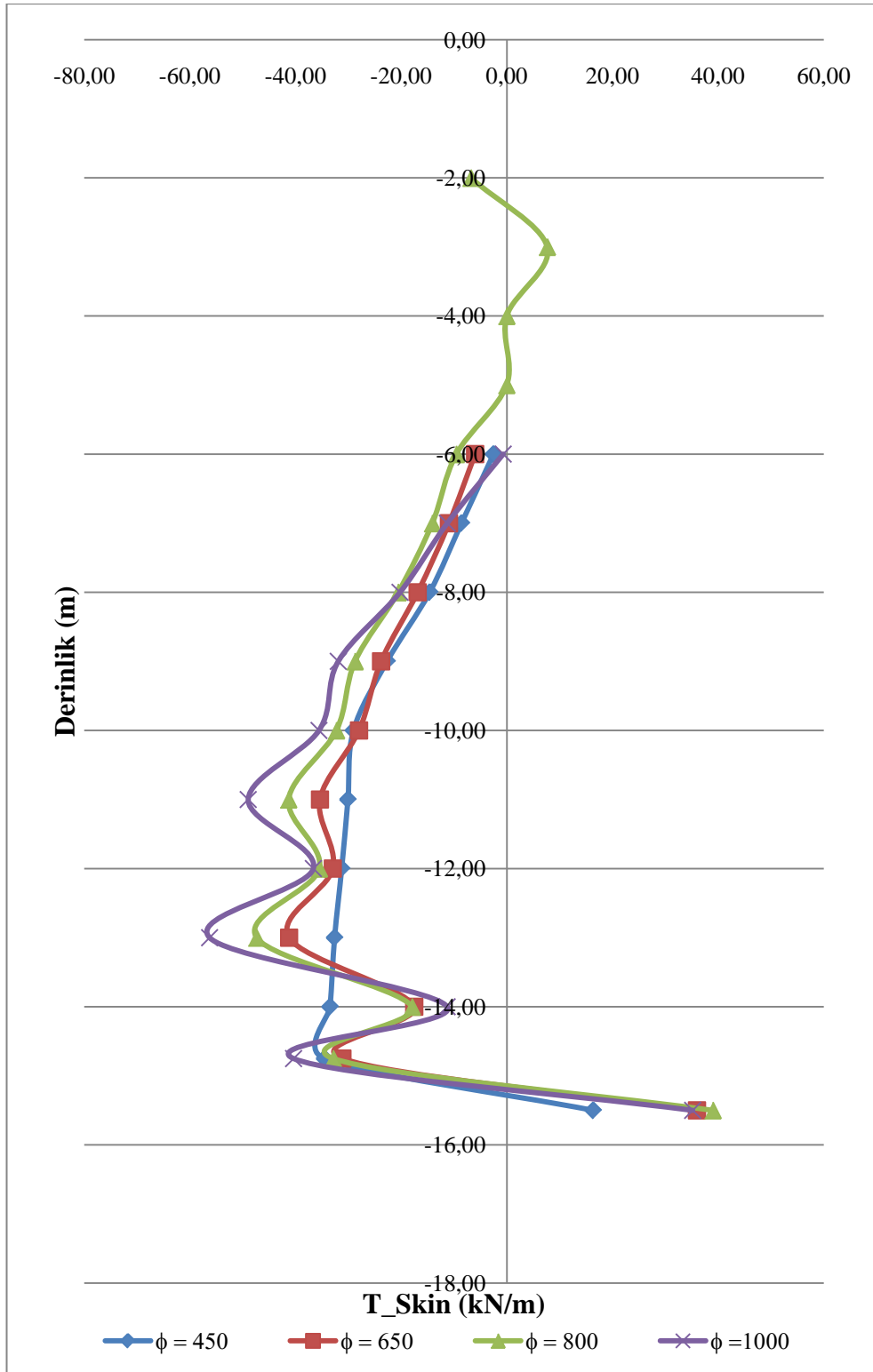
Şekil B.2.11 : “8” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



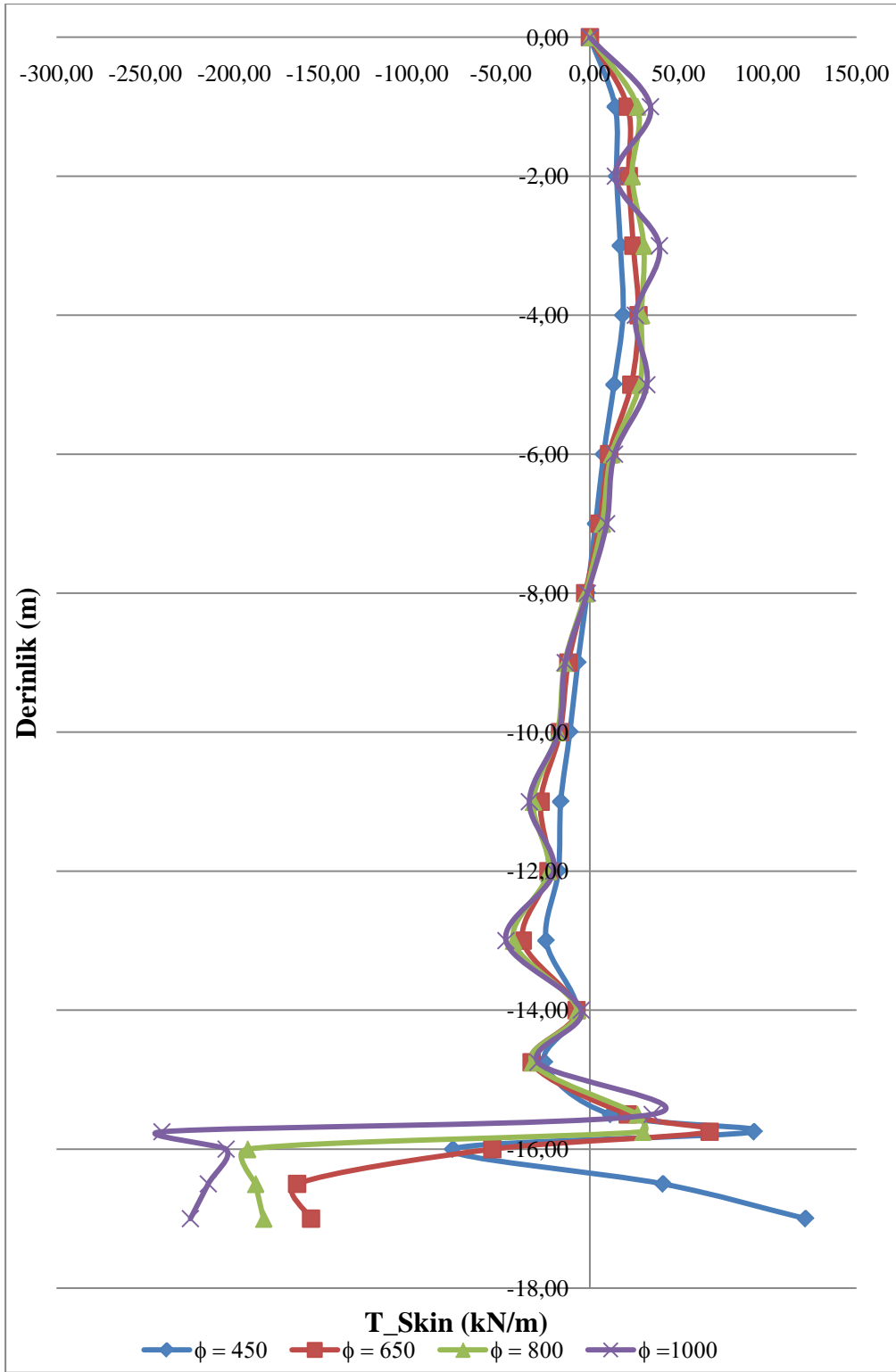
Şekil B.2.12 : “8” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



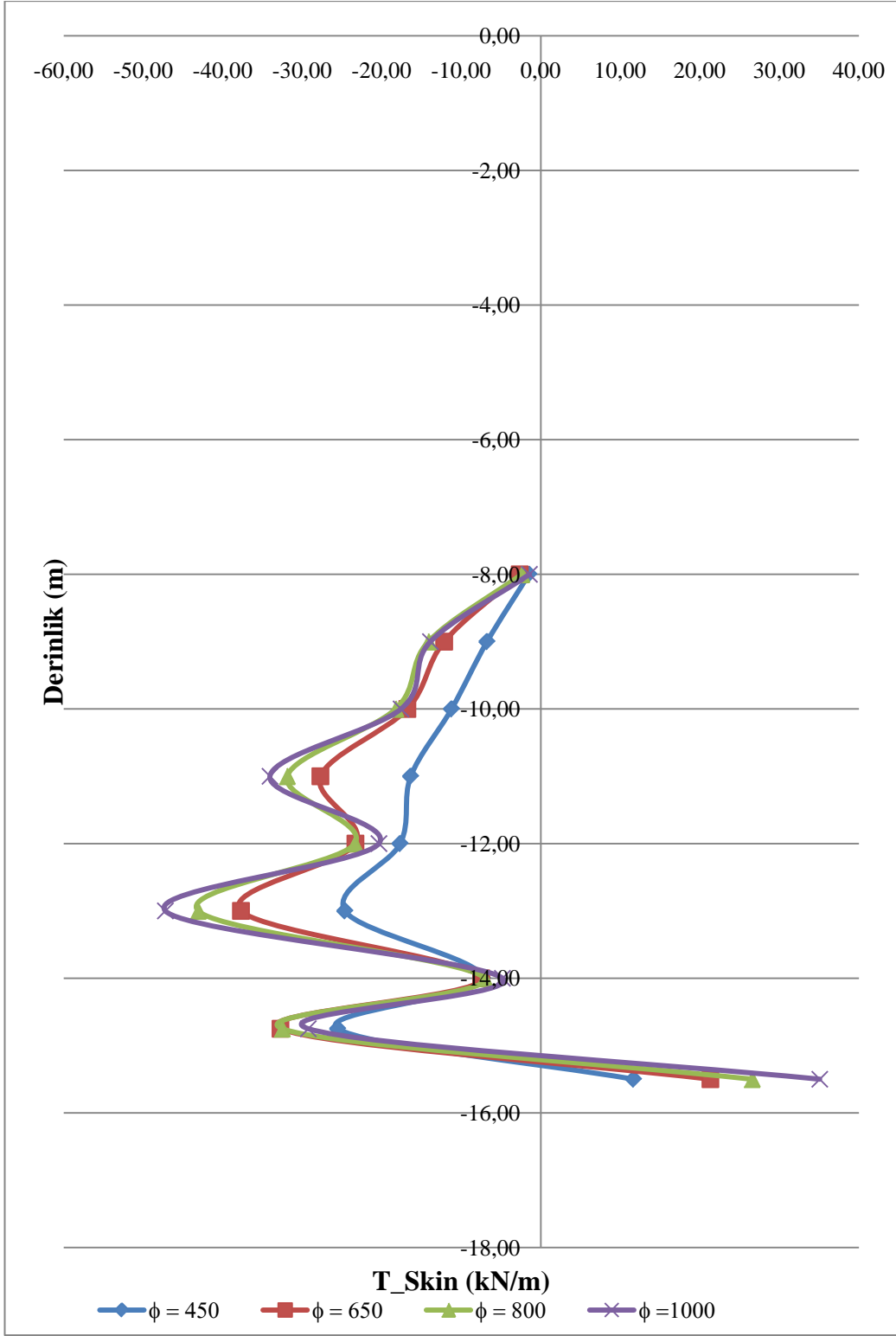
Şekil B.2.13 : “11” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



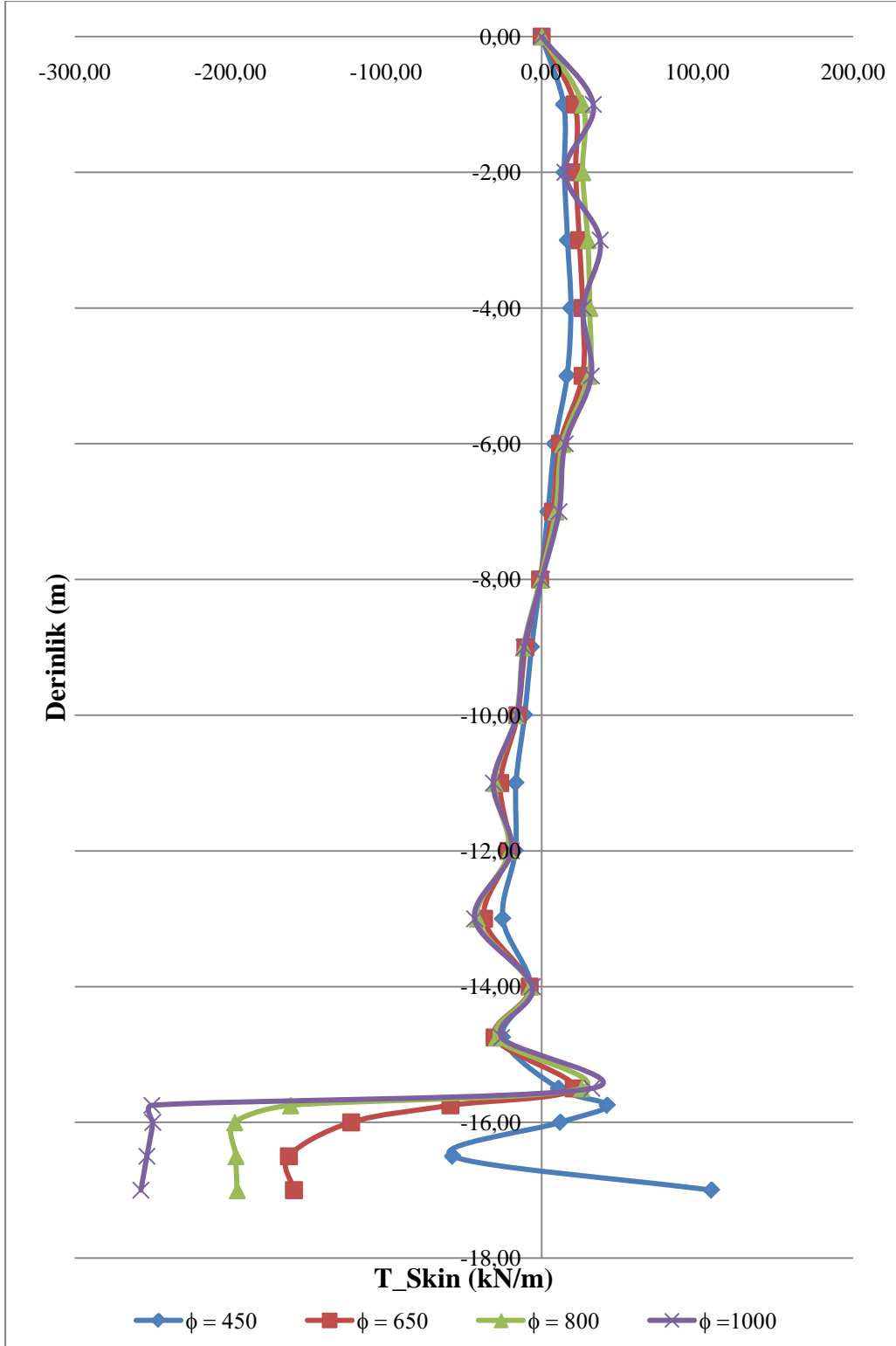
Şekil B.2.14 : “11” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



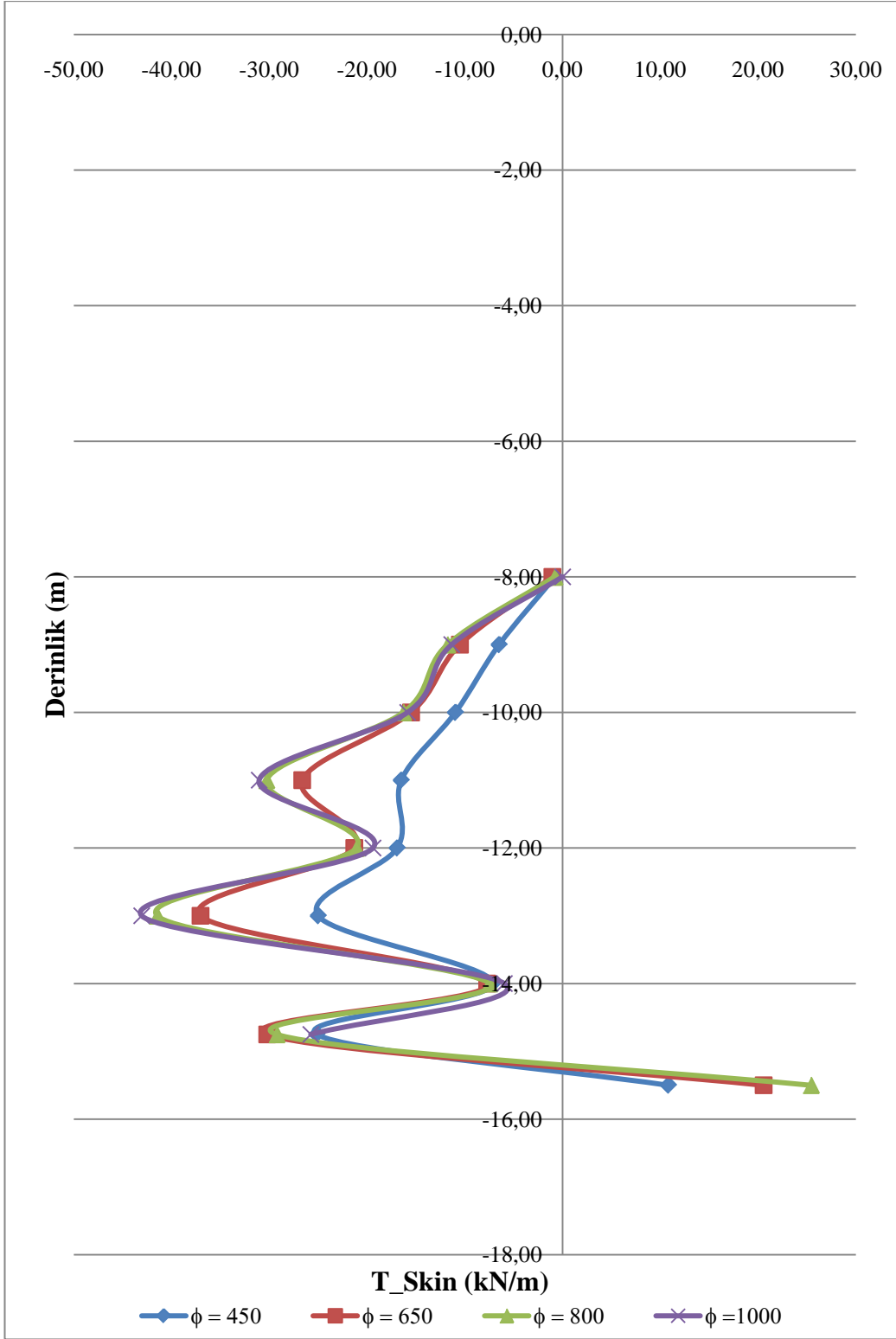
Şekil B.2.15 : “12” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil B.2.16 : “12” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



Şekil B.2.17 : “13” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil B.2.18 : “13” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi

EK C.1

C.1.1 Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesi üzerine etkisi (gerilme cinsinden)

Çizelge C. 1.1: “1” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No1		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
	Y [m]	[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
	0.00	0.00		0.00		0.00		0.00
	-1.00	-1.42		2.36		1.84		4.75
	-2.00	-4.99		-5.34		-6.27		-1.29
	-3.00	-5.71		-5.19		-5.40		1.26
	-4.00	-6.43		-5.66		-6.19		1.11
	-5.00	-7.16		-7.09		-7.33		-2.82
	-6.00	-8.04		-8.13		-8.17		-3.60
	-7.00	-8.61		-9.22		-8.98		-5.91
	-8.00	-9.21		-10.00		-9.83		-6.80
	-9.00	-9.70		-10.79		-10.92		-8.59
	-10.00	-10.20		-11.57		-11.41		-8.82
	-11.00	-10.53		-12.63		-12.32		-10.44
	-12.00	-10.90		-13.08		-11.30		-8.30
	-13.00	-11.44		-13.33		-12.13		-10.55
	-14.00	-11.47		-8.09		-6.94		-2.76
	-14.75	-9.58		-7.98		-6.37		-7.21
	-15.50	13.81		13.91		14.10		8.67
	-15.75	88.34		11.84		0.00		0.00
	-16.00	56.29		0.00		2.61		29.03
	-16.50	27.34		69.63		21.95		41.62
	-17.00	31.37		73.66		41.29		54.20

Çizelge C. 1.2: “2” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No2		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		-1.42		2.36		1.84		4.75
-2.00		-4.99		-5.34		-6.27		-1.29
-3.00		-5.71		-5.19		-5.40		1.26
-4.00		-6.43		-5.66		-6.19		1.11
-5.00		-7.16		-7.09		-7.33		-2.82
-6.00		-8.04		-8.13		-8.17		-3.60
-7.00		-8.61		-9.22		-8.98		-5.91
-8.00		-9.21		-10.00		-9.83		-6.80
-9.00		-9.70		-10.79		-10.92		-8.59
-10.00		-10.20		-11.57		-11.41		-8.82
-11.00		-10.53		-12.63		-12.32		-10.44
-12.00		-10.90		-13.08		-11.30		-8.30
-13.00		-11.44		-13.33		-12.13		-10.55
-14.00		-11.47		-8.09		-6.94		-2.76
-14.75		-9.58		-7.98		-6.37		-7.21
-15.50		13.81		13.91		14.10		8.67
-15.75		88.34		11.84		0.00		0.00
-16.00		56.29		0.00		2.61		29.03
-16.50		27.34		69.63		21.95		41.62
-17.00		31.37		73.66		41.29		54.20

Çizelge C. 1.3: “3” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No3		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		4.60		5.11		4.68		5.33
-2.00		3.69		-0.24		-1.22		0.68
-3.00		3.40		2.16		1.45		4.44
-4.00		2.85		0.93		0.02		3.13
-5.00		1.17		0.42		-0.01		1.48
-6.00		-0.66		-1.46		-1.88		-0.11
-7.00		-2.49		-2.66		-2.77		-1.80
-8.00		-4.96		-4.09		-4.06		-3.22
-9.00		-8.71		-5.82		-5.67		-5.09
-10.00		-10.35		-6.84		-6.39		-5.67
-11.00		-10.74		-8.63		-8.16		-7.81
-12.00		-11.18		-8.19		-7.12		-5.85
-13.00		-11.66		-10.03		-9.32		-8.95
-14.00		-12.25		-4.32		-3.56		-1.75
-14.75		-12.23		-7.60		-6.52		-6.53
-15.50		4.64		8.93		7.75		5.35
-15.75		49.46		0.00		0.00		22.99
-16.00		38.85		12.09		0.00		-27.04
-16.50		39.53		23.89		13.66		20.28
-17.00		38.07		35.68		30.55		46.32

Çizelge C. 1.4: “6” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No6		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		4.65		4.89		4.89		5.35
-2.00		-1.90		1.81		0.52		0.59
-3.00		-2.32		2.51		1.92		4.41
-4.00		-2.21		1.28		0.48		3.14
-5.00		-3.52		-0.65		-0.98		1.49
-6.00		-5.17		-2.56		-2.98		-0.11
-7.00		-7.02		-4.32		-4.42		-1.80
-8.00		-8.47		-6.02		-6.07		-3.22
-9.00		-9.44		-8.21		-7.65		-5.08
-10.00		-10.40		-9.14		-8.07		-5.66
-11.00		-11.82		-9.34		-8.91		-7.80
-12.00		-13.14		-9.63		-8.83		-5.83
-13.00		-15.71		-10.13		-9.59		-8.96
-14.00		-13.19		-7.97		-7.32		-1.80
-14.75		-11.15		-10.06		-8.71		-6.43
-15.50		11.79		6.01		6.06		5.60
-15.75		0.00		126.95		101.09		37.31
-16.00		59.84		37.52		50.91		-29.64
-16.50		57.14		33.97		43.58		14.22
-17.00		54.45		30.41		36.25		45.75

Çizelge C. 1.5: “7” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No7		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		4.76		6.61		5.71		5.52
-2.00		5.15		5.12		3.78		2.19
-3.00		5.85		7.67		6.58		6.34
-4.00		5.38		6.46		5.19		3.97
-5.00		3.91		6.18		5.19		5.09
-6.00		2.02		2.74		2.26		2.02
-7.00		0.49		1.13		0.90		1.22
-8.00		-1.11		-1.08		-0.92		-0.44
-9.00		-2.86		-3.98		-3.34		-2.60
-10.00		-4.41		-4.96		-4.16		-3.07
-11.00		-6.15		-8.14		-6.83		-5.85
-12.00		-6.90		-6.22		-5.17		-3.40
-13.00		-8.70		-10.91		-9.03		-7.97
-14.00		-2.78		-1.96		-1.52		-0.47
-14.75		-9.45		-8.61		-7.05		-5.43
-15.50		3.74		6.26		5.03		4.55
-15.75		27.36		30.31		23.50		-20.78
-16.00		-31.78		-33.42		-21.76		-25.80
-16.50		43.70		-45.33		-42.53		-29.16
-17.00		40.80		-30.53		-40.83		-32.51

Çizelge C. 1.6: “8” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No8		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		4.86		5.21		5.31		5.42
-2.00		5.19		5.37		4.70		2.32
-3.00		5.79		6.01		6.03		6.23
-4.00		6.39		6.64		5.74		4.08
-5.00		4.90		5.71		5.57		5.11
-6.00		2.71		2.65		2.42		2.21
-7.00		1.17		1.34		1.37		1.51
-8.00		-0.48		-0.66		-0.49		-0.23
-9.00		-2.46		-2.99		-2.82		-2.21
-10.00		-3.94		-4.13		-3.63		-2.80
-11.00		-5.88		-6.80		-6.35		-5.43
-12.00		-6.67		-5.73		-4.66		-3.26
-13.00		-8.50		-9.25		-8.57		-7.50
-14.00		-2.69		-1.84		-1.41		-0.70
-14.75		-9.41		-8.05		-6.49		-4.76
-15.50		3.82		5.24		5.29		5.30
-15.75		16.83		18.24		6.29		-33.92
-16.00		-14.02		-15.37		-38.14		-34.01
-16.50		10.74		-40.12		-37.27		-35.24
-17.00		41.35		-38.24		-36.40		-36.47

Çizelge C. 1.7: “11” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

No11		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		5.39		5.17		4.75		5.35
-2.00		3.74		-0.36		-1.36		0.59
-3.00		2.85		2.26		1.52		4.41
-4.00		2.91		0.92		-0.01		3.14
-5.00		0.74		0.44		-0.01		1.49
-6.00		-0.89		-1.47		-1.90		-0.11
-7.00		-3.04		-2.69		-2.81		-1.80
-8.00		-5.16		-4.14		-4.09		-3.22
-9.00		-8.02		-5.84		-5.72		-5.08
-10.00		-10.27		-6.86		-6.42		-5.66
-11.00		-10.64		-8.67		-8.22		-7.80
-12.00		-11.06		-8.08		-7.06		-5.83
-13.00		-11.54		-10.10		-9.42		-8.96
-14.00		-11.84		-4.30		-3.57		-1.80
-14.75		-12.21		-7.63		-6.54		-6.43
-15.50		5.79		8.82		7.75		5.60
-15.75		91.70		0.00		0.00		37.31
-16.00		29.37		11.49		0.00		-29.64
-16.50		31.68		23.49		12.30		14.22
-17.00		33.99		35.50		29.87		45.75

Çizelge C. 1.8: “12” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

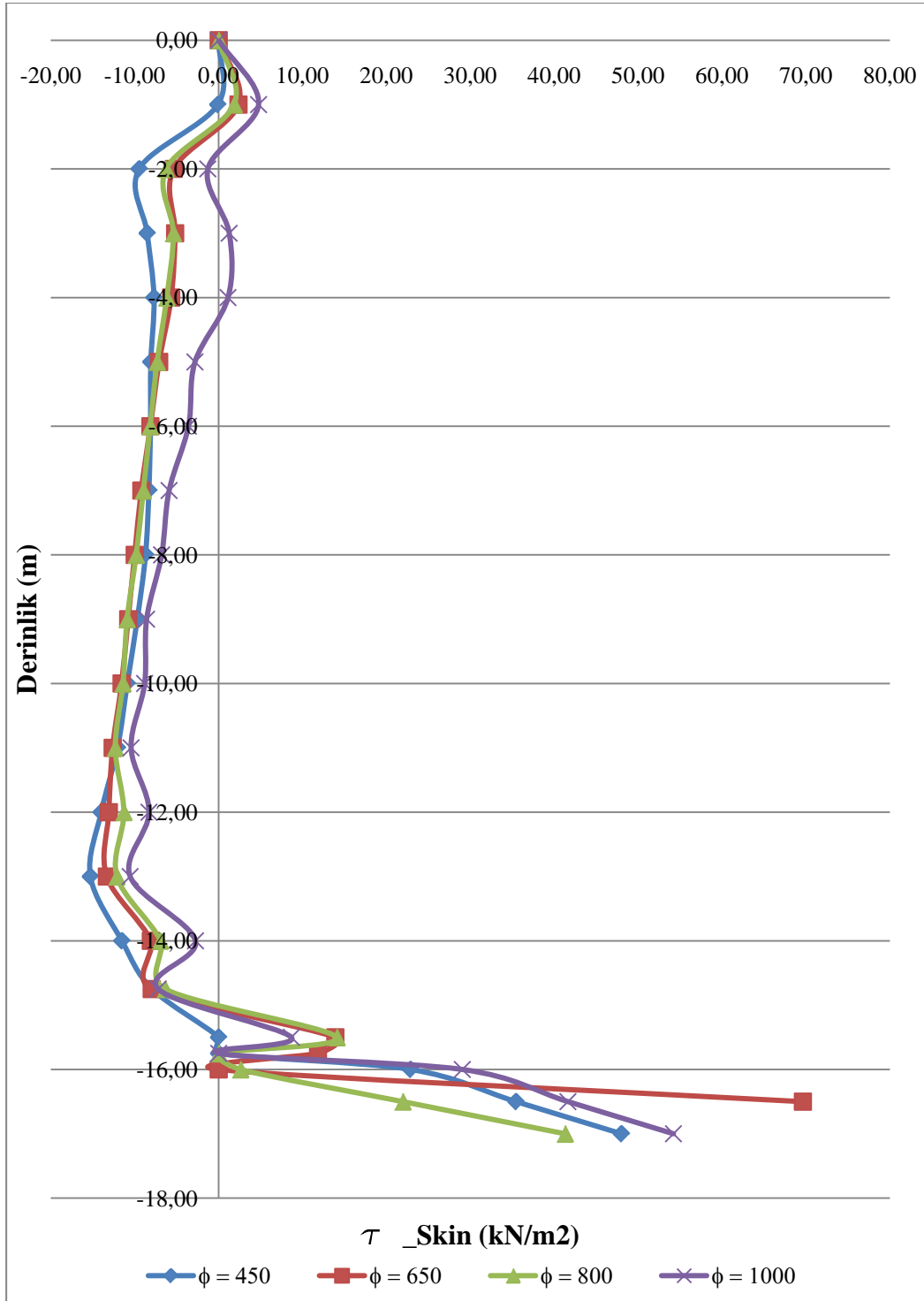
No12		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		5.04		5.21		5.30		5.43
-2.00		5.33		5.36		4.71		2.28
-3.00		6.06		6.00		6.02		6.23
-4.00		6.59		6.71		5.76		4.07
-5.00		4.81		5.71		5.57		5.11
-6.00		2.76		2.66		2.42		2.21
-7.00		1.15		1.35		1.38		1.50
-8.00		-0.53		-0.65		-0.48		-0.23
-9.00		-2.39		-2.98		-2.81		-2.21
-10.00		-3.97		-4.11		-3.63		-2.80
-11.00		-5.79		-6.79		-6.34		-5.42
-12.00		-6.26		-5.71		-4.65		-3.24
-13.00		-8.71		-9.24		-8.57		-7.52
-14.00		-2.59		-1.84		-1.41		-0.77
-14.75		-9.03		-8.02		-6.47		-4.66
-15.50		4.12		5.23		5.28		5.59
-15.75		32.67		16.51		5.90		-38.33
-16.00		-27.25		-13.44		-38.30		-32.58
-16.50		14.55		-40.36		-37.40		-34.18
-17.00		42.91		-38.44		-36.49		-35.78

Çizelge C. 1.9: “13” numaralı kazıkta çap değişimi ile farklılaşan negatif çevre sürtünmesi değerleri

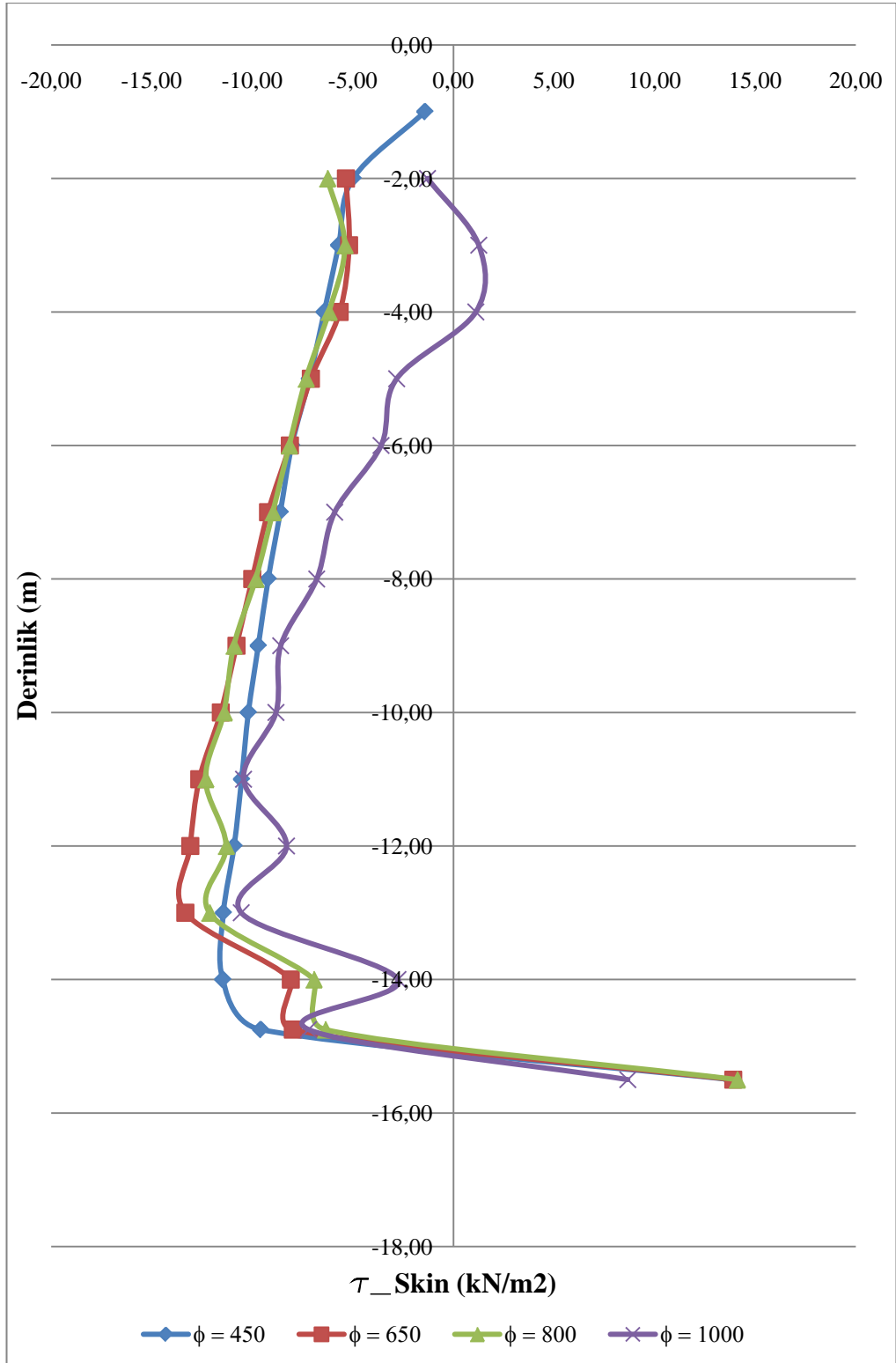
No13		$\phi = 450$		$\phi = 650$		$\phi = 800$		$\phi = 1000$
		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}		τ_{Skin}
Y [m]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]		[kN/m ²]
0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
-1.00		5.01		5.21		5.23		5.29
-2.00		5.16		5.35		5.22		2.38
-3.00		5.88		5.92		5.89		5.99
-4.00		6.64		6.45		6.13		4.24
-5.00		5.78		6.43		6.01		5.08
-6.00		2.97		2.90		2.67		2.41
-7.00		1.44		1.76		1.80		1.78
-8.00		-0.27		-0.26		-0.16		0.00
-9.00		-2.30		-2.57		-2.34		-1.80
-10.00		-3.88		-3.80		-3.24		-2.52
-11.00		-5.84		-6.53		-6.02		-4.94
-12.00		-5.98		-5.22		-4.19		-3.09
-13.00		-8.84		-9.08		-8.24		-6.85
-14.00		-2.51		-1.89		-1.49		-0.95
-14.75		-8.89		-7.40		-5.81		-4.10
-15.50		3.83		5.04		5.06		5.13
-15.75		14.91		-14.36		-32.10		-39.87
-16.00		4.26		-30.00		-39.24		-39.77
-16.50		-20.21		-39.80		-39.07		-40.38
-17.00		38.61		-39.01		-38.91		-40.99

EK C.2

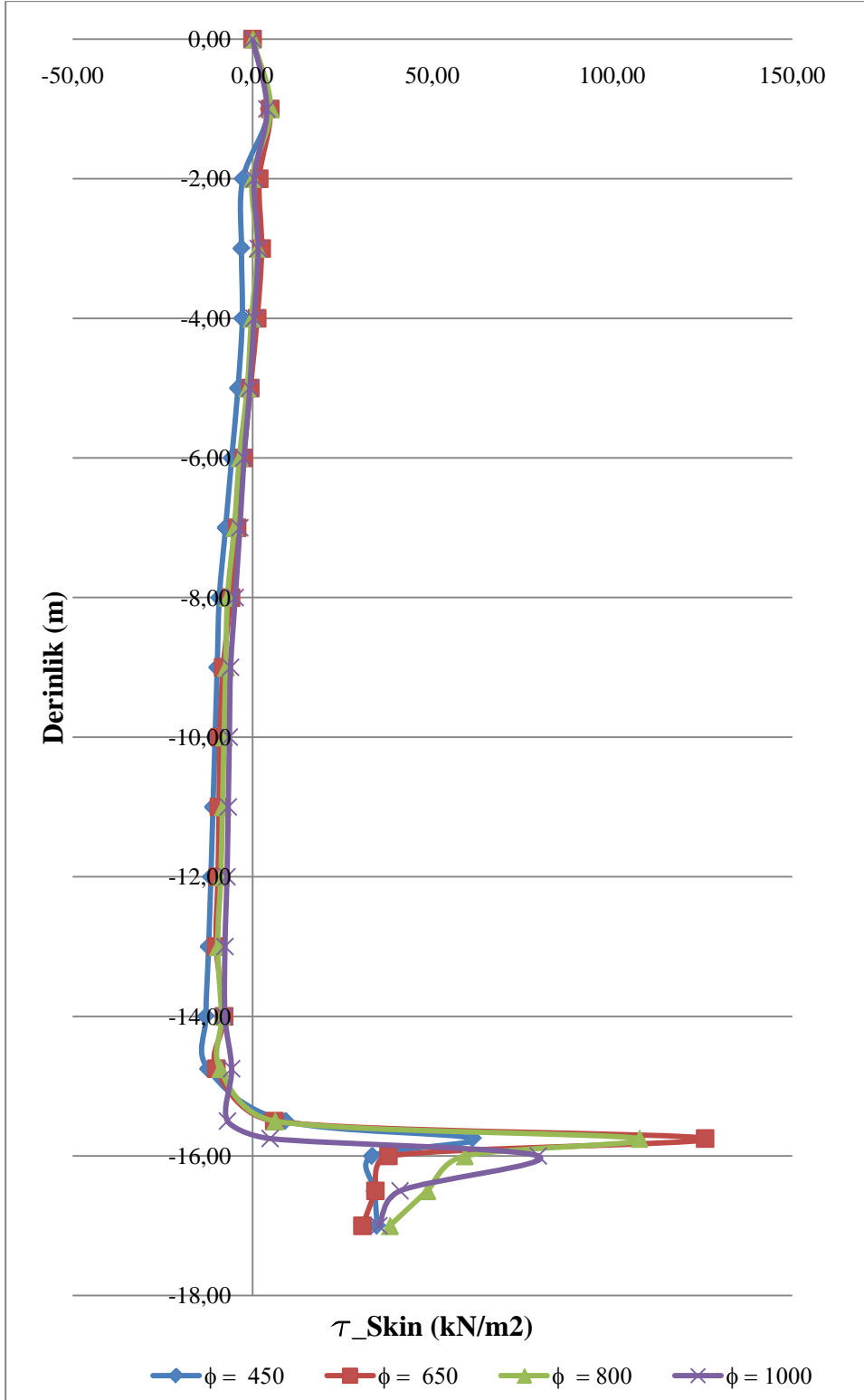
C.2. Kazık çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



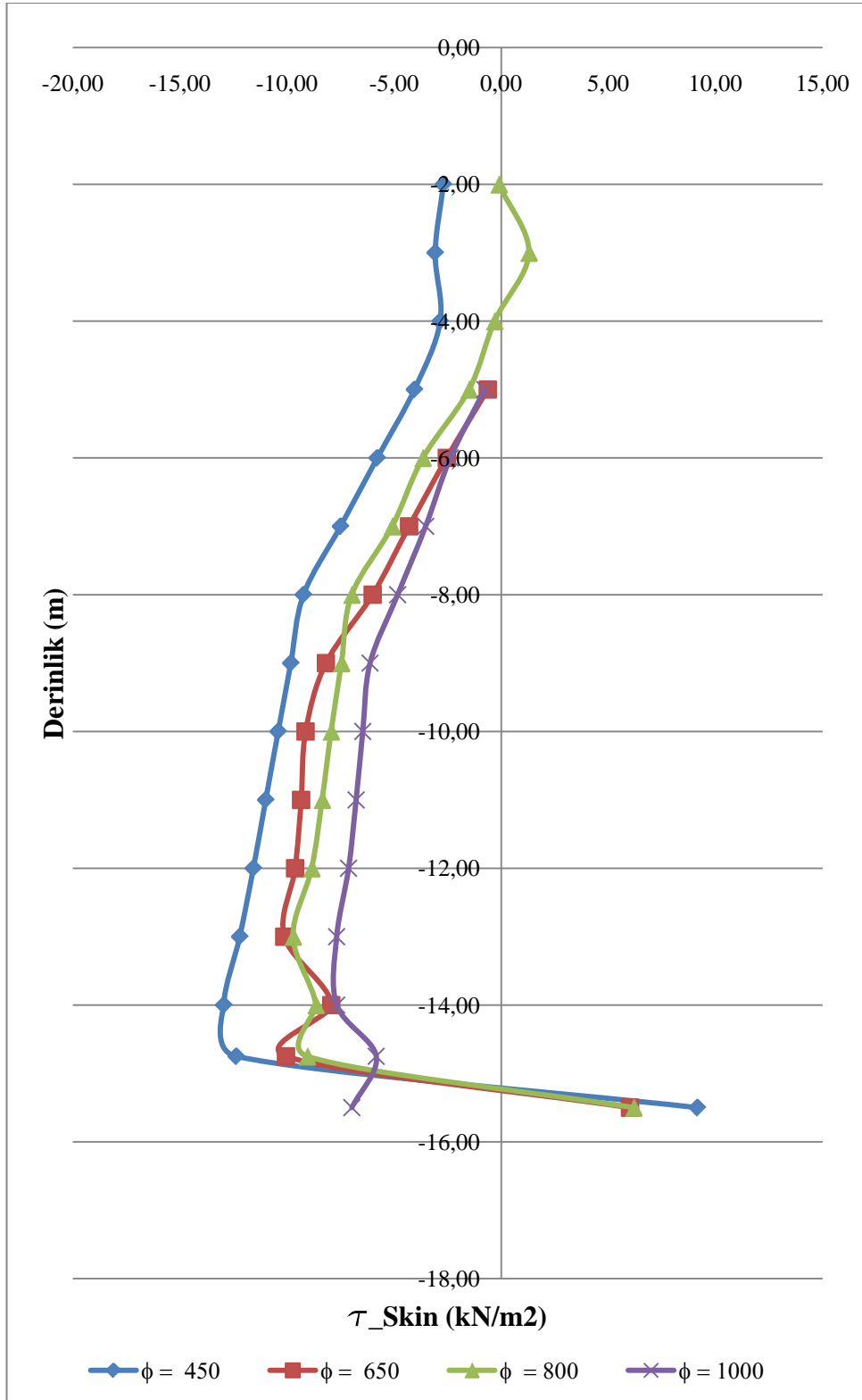
Şekil C.2.1 : “1” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



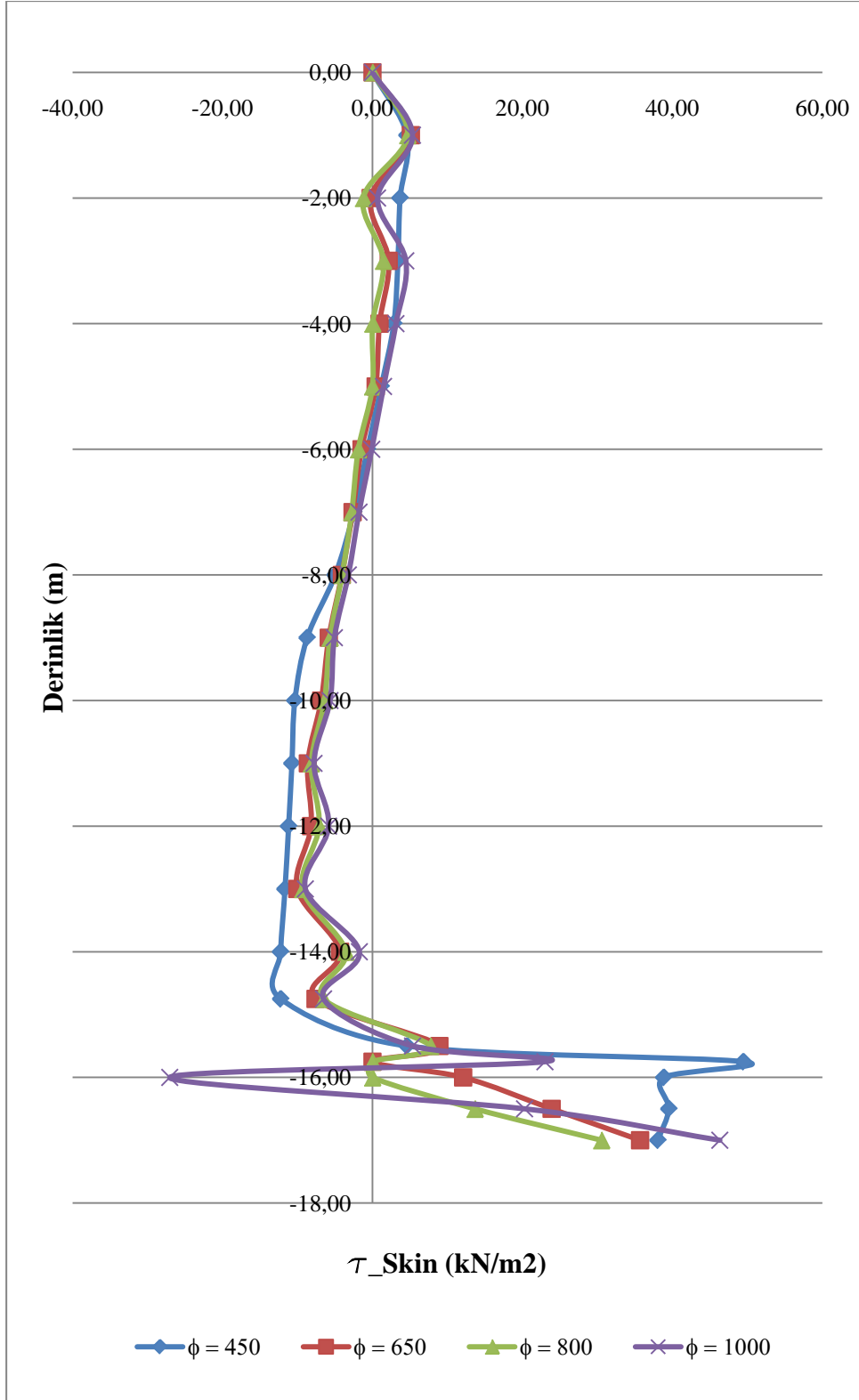
Şekil C.2.2: “1” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



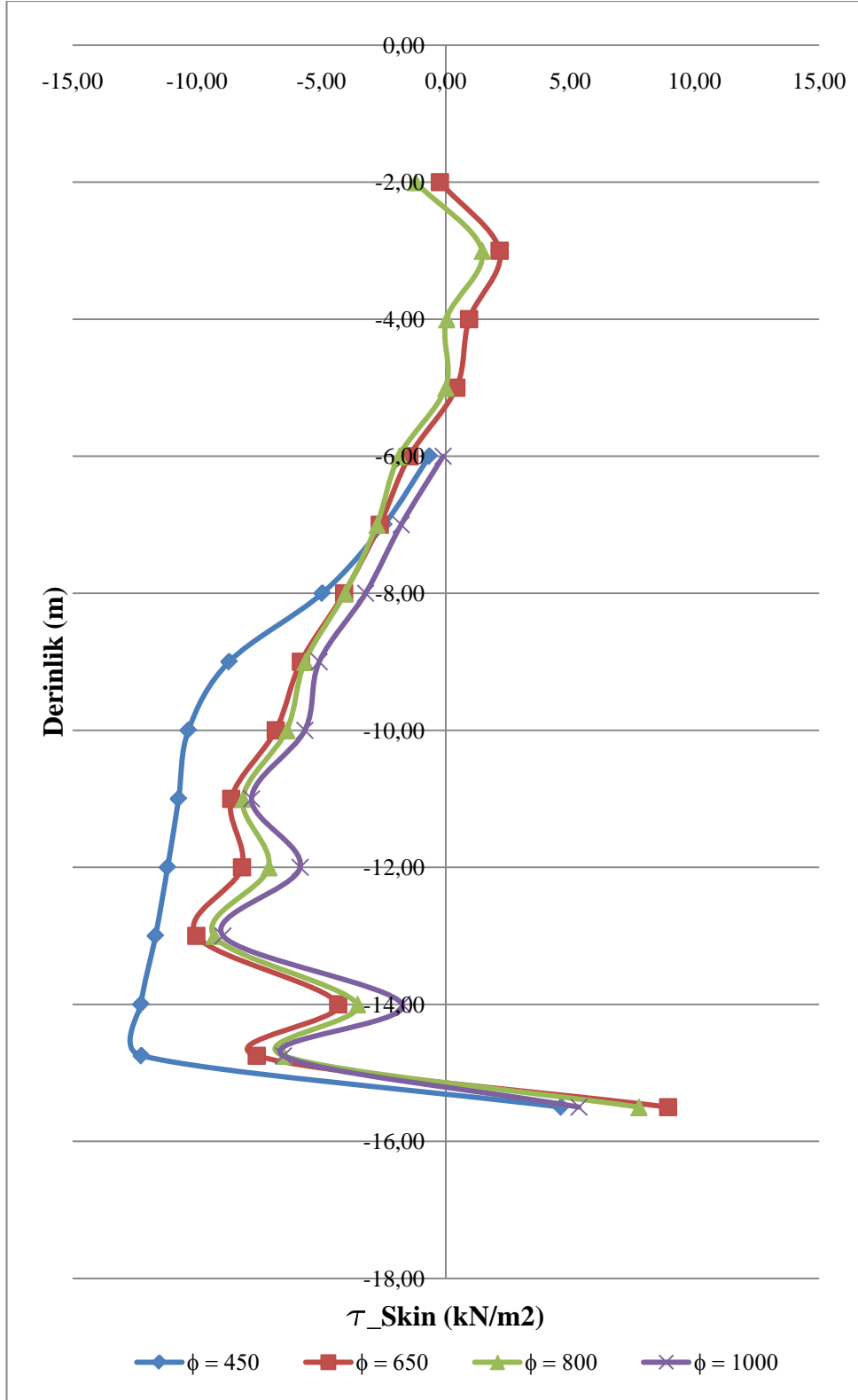
Şekil C.2.3 : “2” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



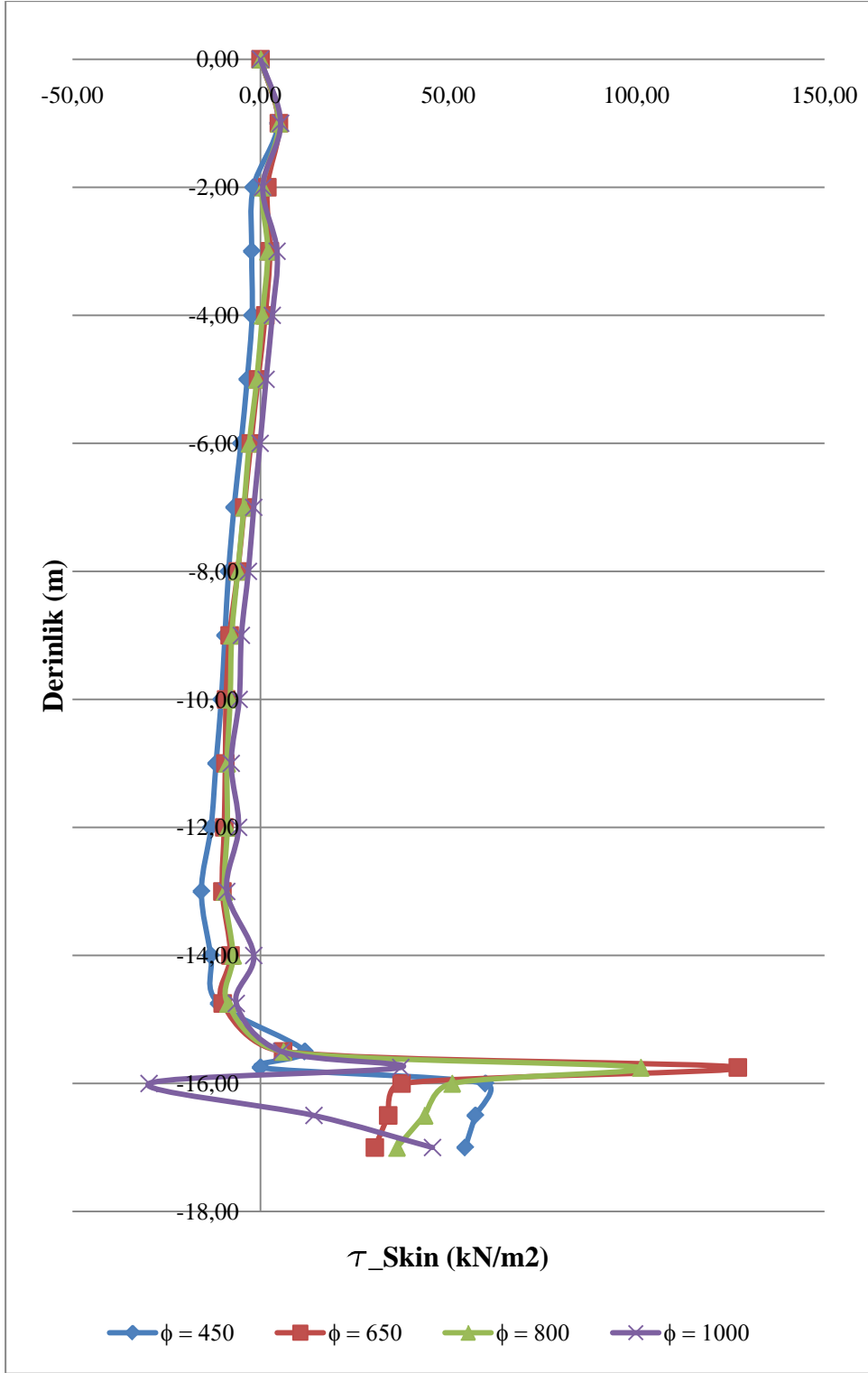
Şekil C.2.4: “2” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



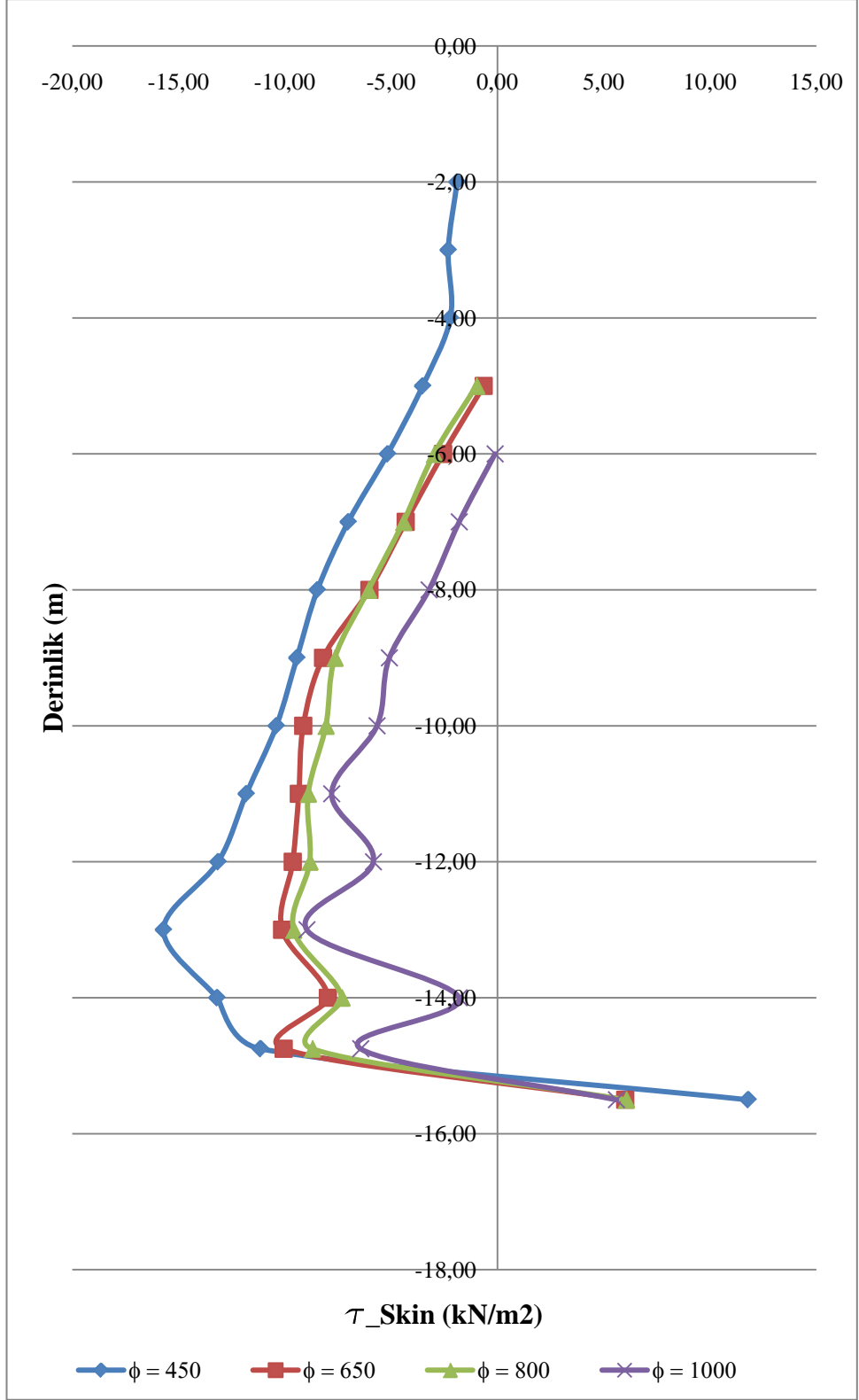
Şekil C.2.5 : “3” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



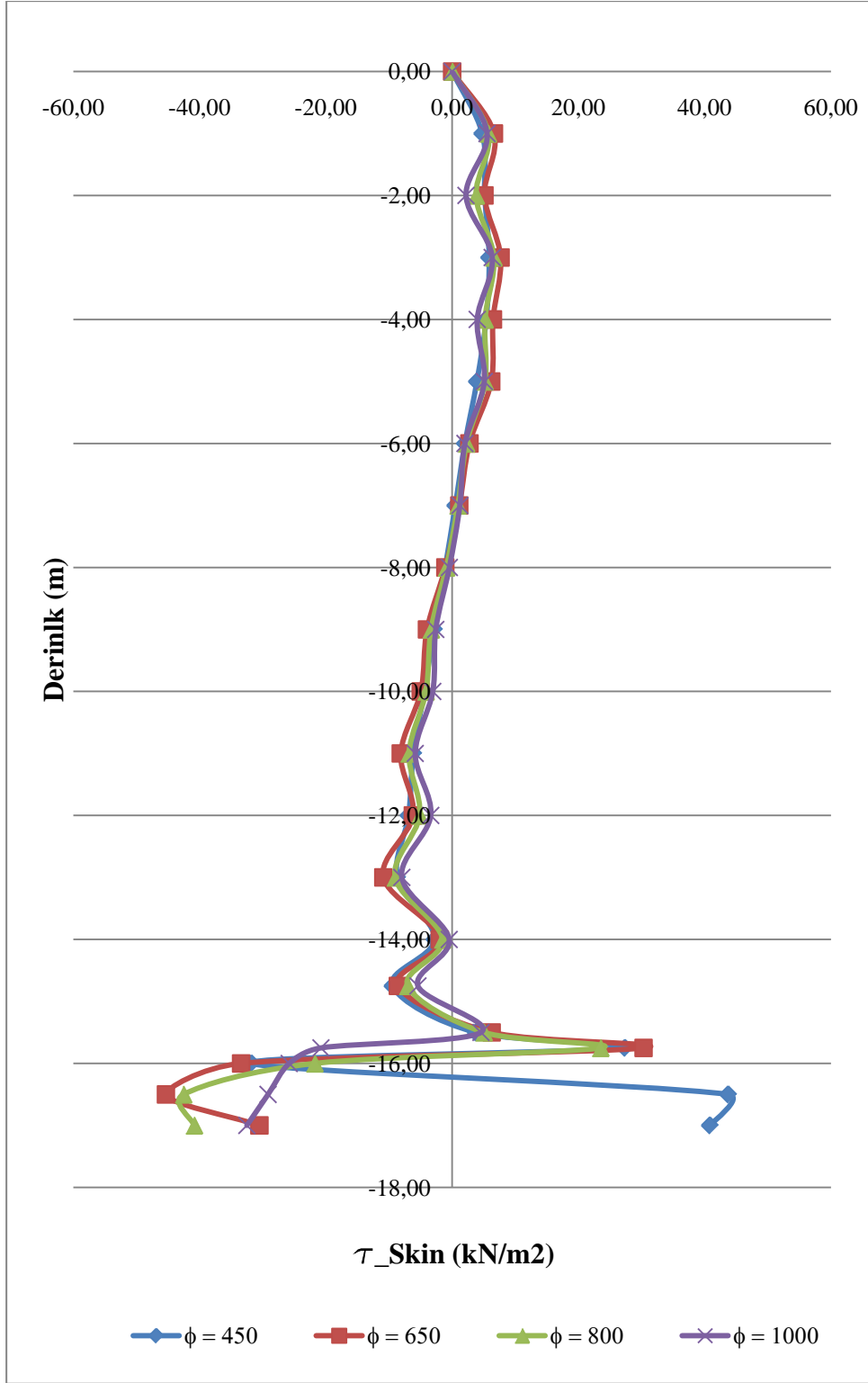
Şekil C.2.6: “3” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



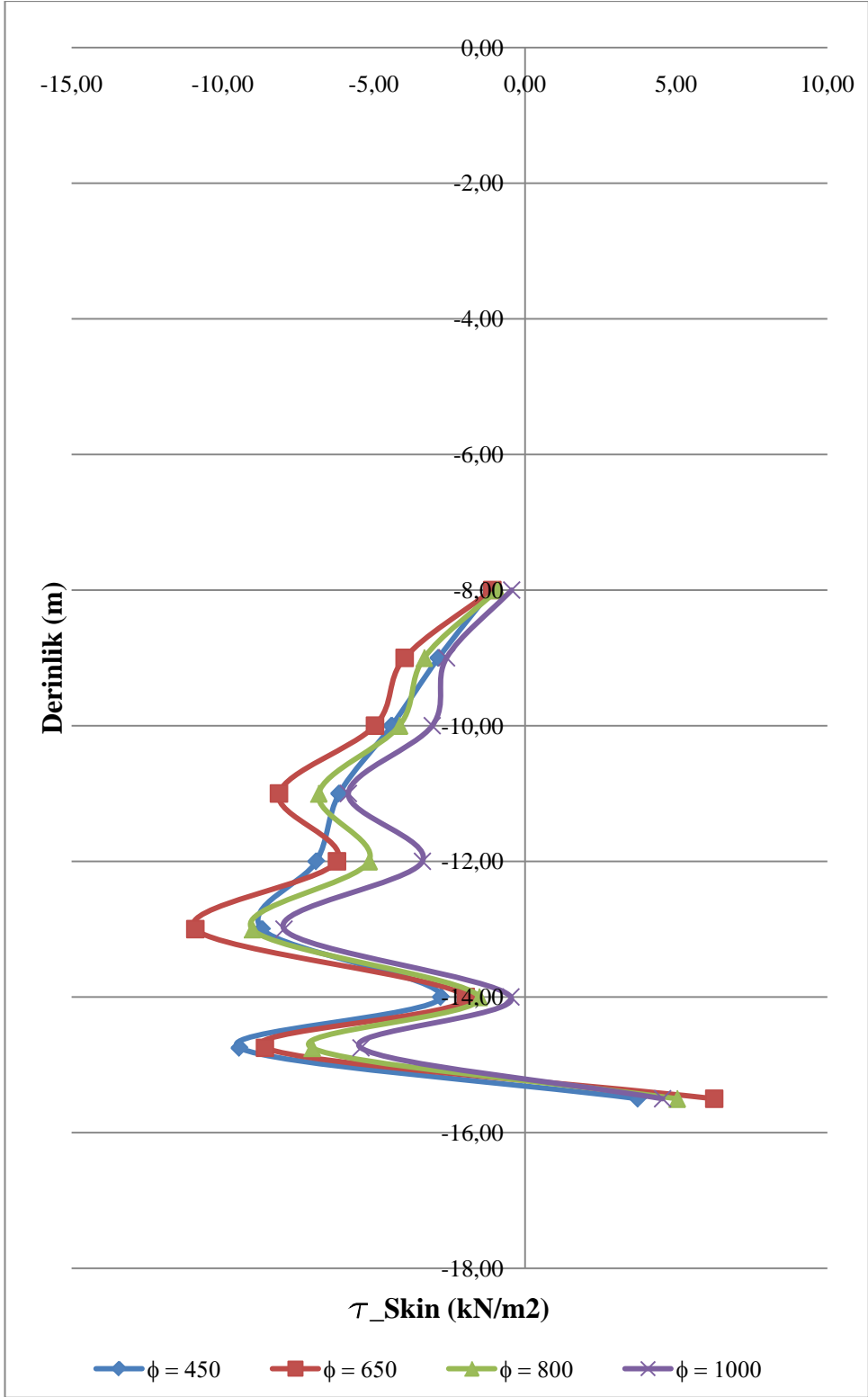
Şekil C.2.7 : “6” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



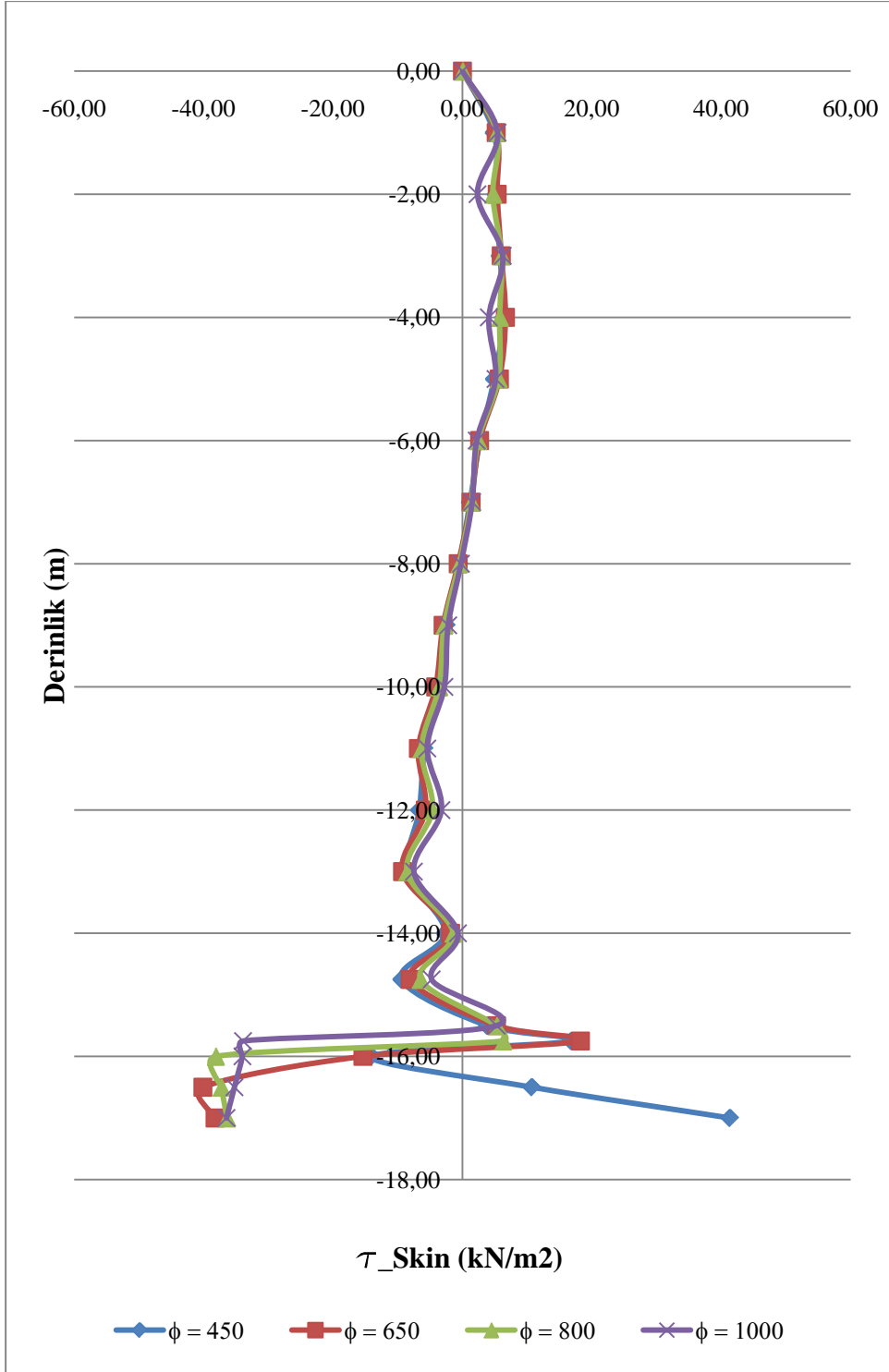
Şekil C.2.8: “6” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



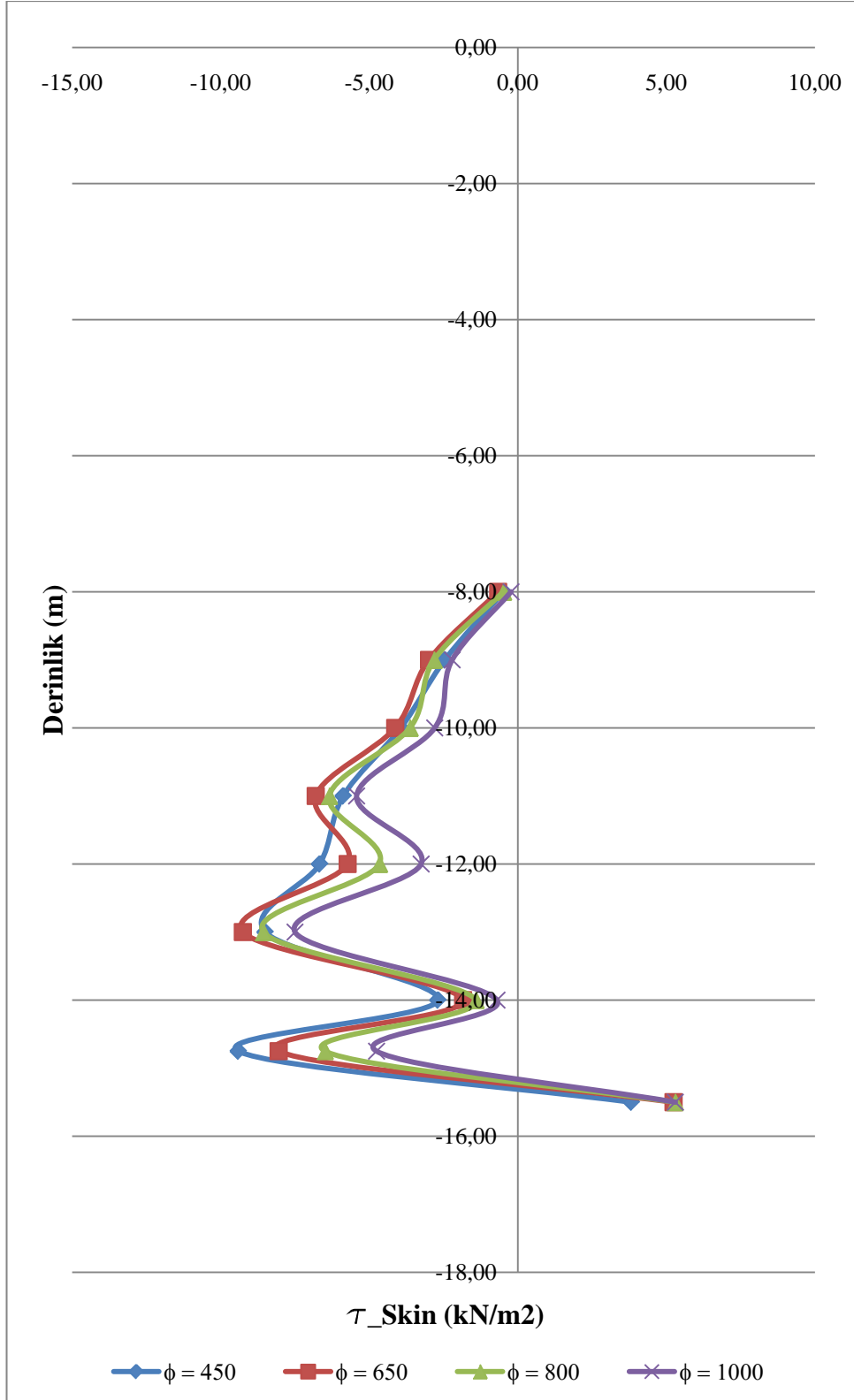
Şekil C.2.9 : “7” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



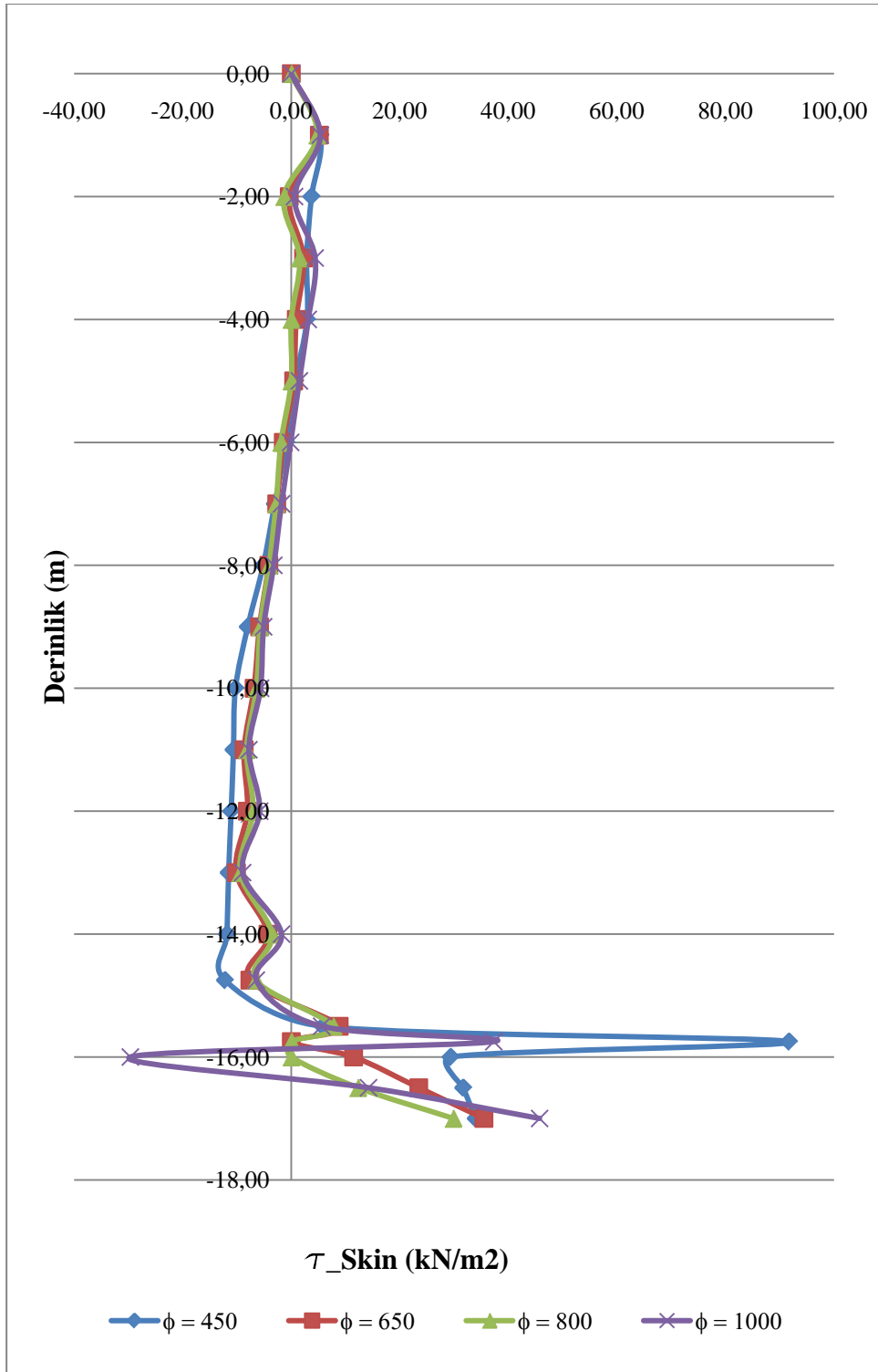
Şekil C.2.10: “7” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



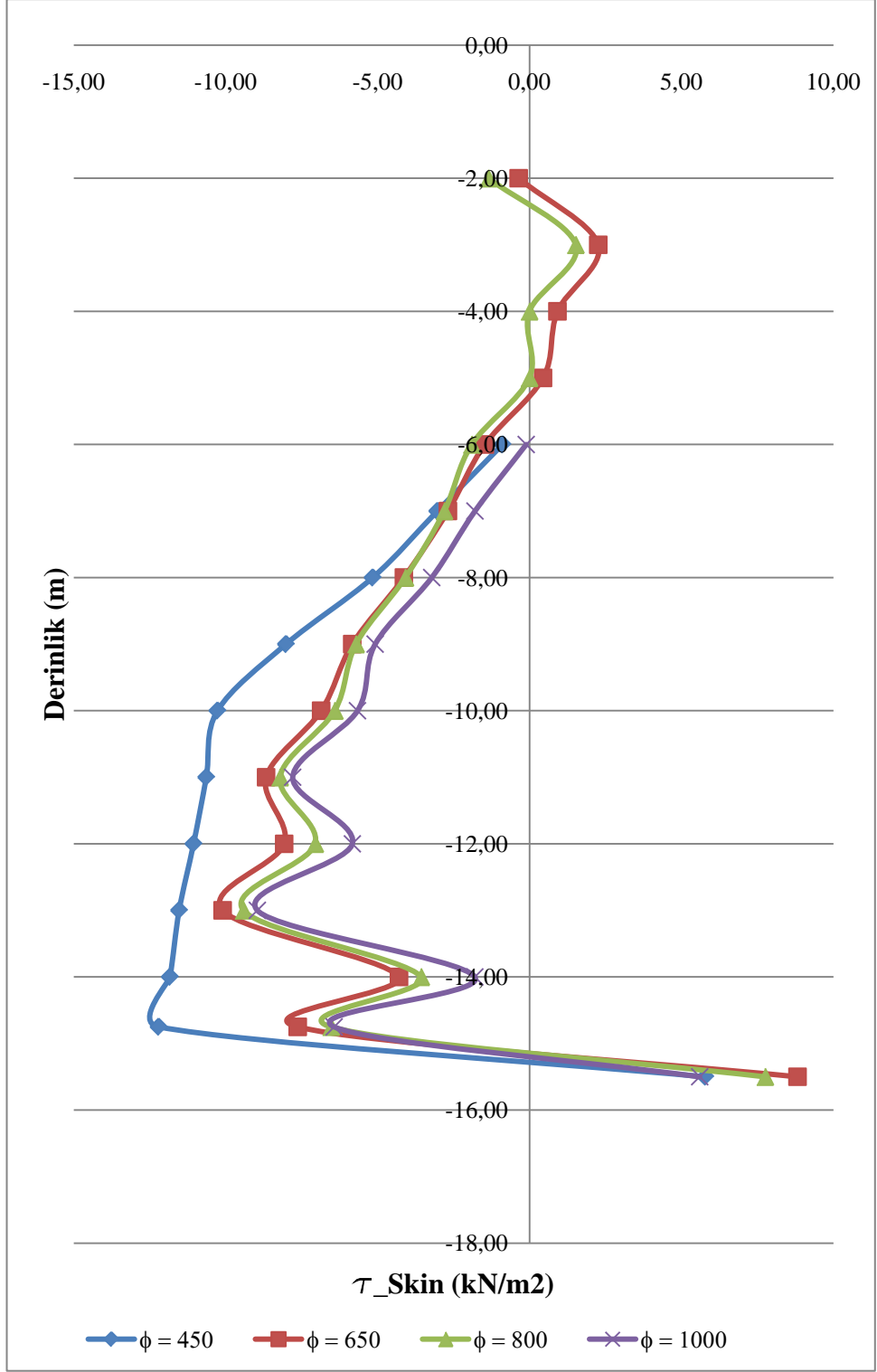
Şekil C.2.11 : “8” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



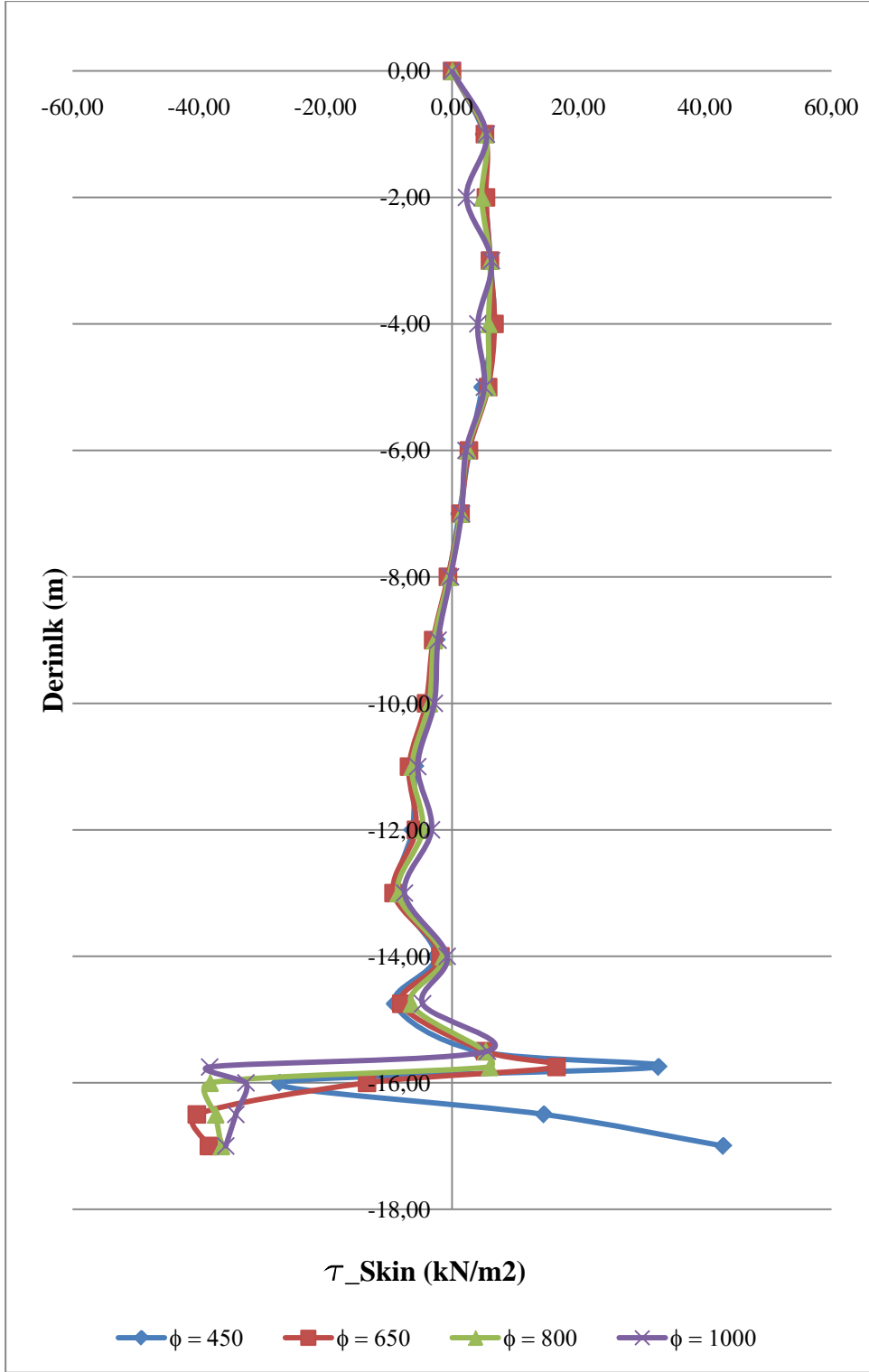
Şekil C.2.12: “8” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



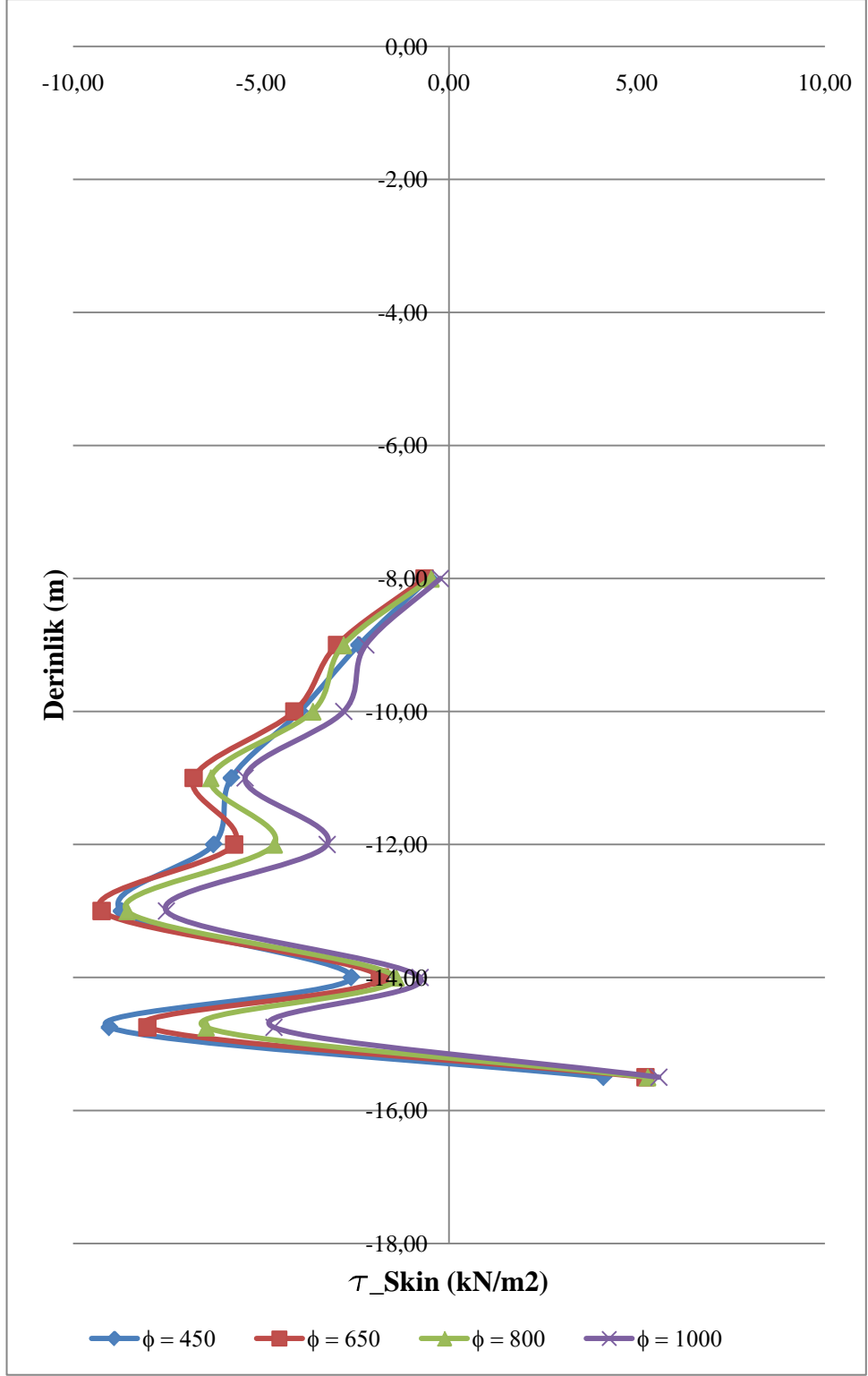
Şekil C.2.13 : “11” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



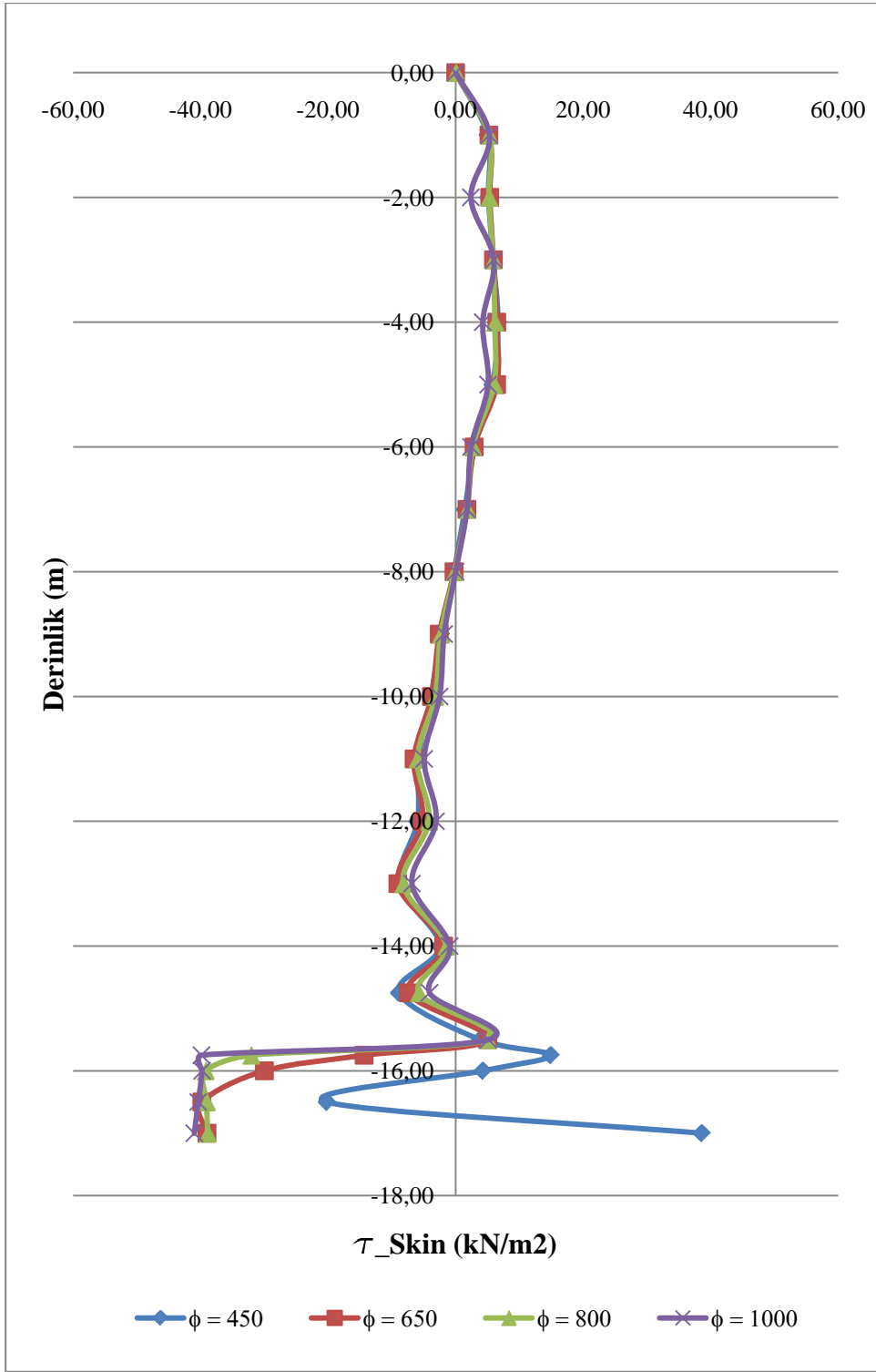
Şekil C.2.14: “11” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



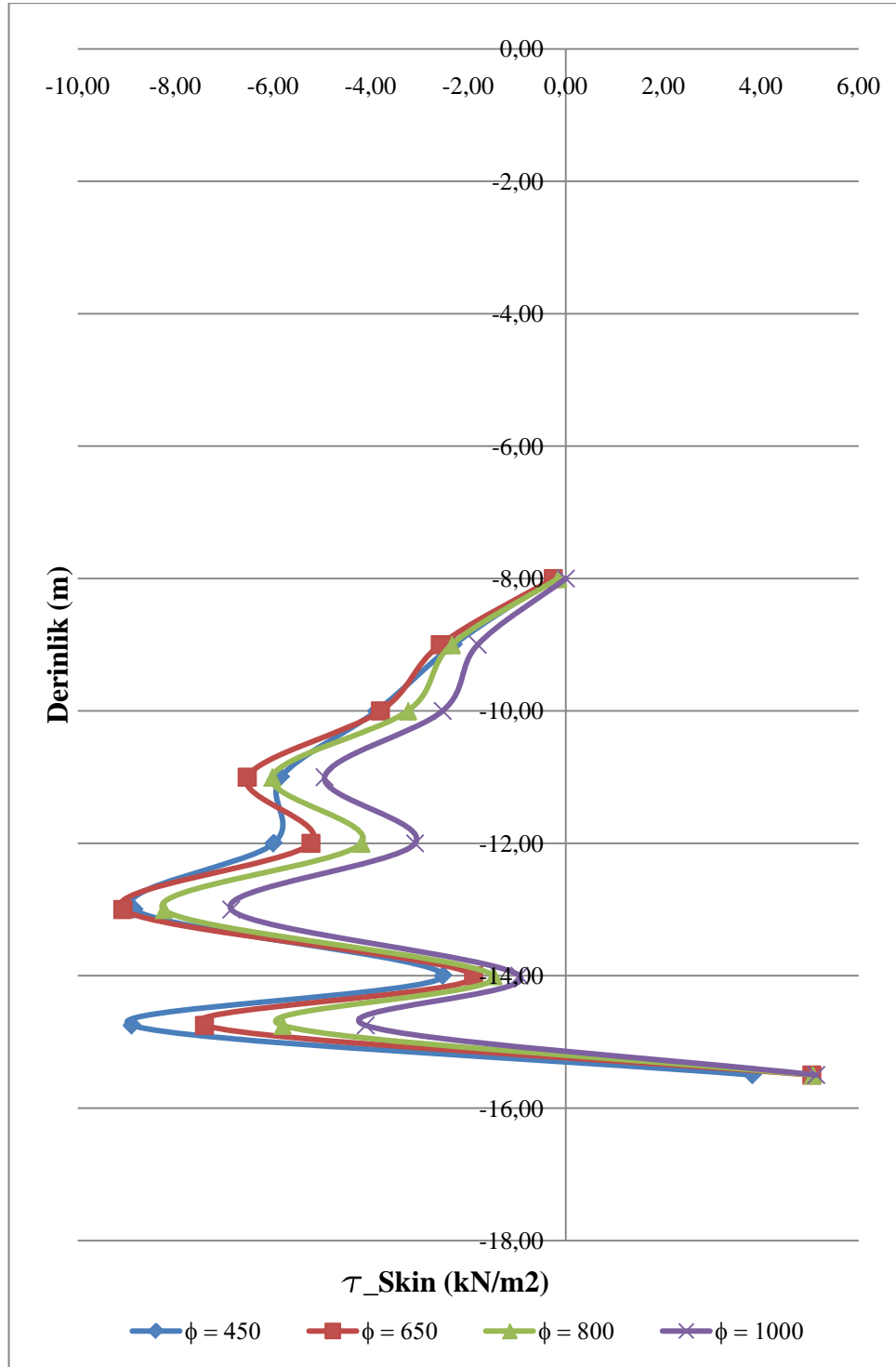
Şekil C.2.15 : “12” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil C.2.16: “12” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi



Şekil C.2.17 : “13” numaralı kazıkta 3D kazık aralığı için çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisinin kazık boyunca dağılımı



Şekil C.2.18: “13” numaralı kazıkta çap değişiminin negatif çevre sürtünmesine etkisi

ÖZGEÇMİŞ



1984 yılında İstanbul'da doğdu. 1995 yılında İskender Paşa İlkokulunu bitirdi. 2002 yılında ortaokul ve liseyi okuduğu Nişantaşı Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğini birincilikle bitirdi ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı Programı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı.