

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BURGU KAZIK TEMELLER

İnşaat Yüksek Mühendisi Ali Necip KOCATÜRK

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi	: 21/02/2006
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Asım GÜRALP
Jüri Üyeleri	: Prof. Dr. Faruk YÜKSELER
	: Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR
	: Prof Dr. Mehmet H. OMURTAG
	: Doç Dr. Namık Kemal ÖZTORUN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. KAZIK TEMELLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kazıkların Kullanım Alanları	2
2. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ.....	4
2.1. Genel	4
2.2. Statik Kazık Formülleri	4
2.2.1. Genel	4
2.2.2. Uç Direnci	4
2.2.2.1.Uç Kazıklarında Uç Direnci	4
2.2.2.2.Sürtünme Kazıklarında Uç Direnci	5
2.3. Dinamik Kazık Formülleri	10
2.3.1.1.Çakma İşlemleri	11
2.3.1.2.Genel Teori	13
2.3.2. Çakma Kazıkların Taşıma Formülleri	17
2.3.2.1.Danimarka Formülü	17
2.3.2.2.Sanders Formülü	18
2.3.2.3.Engineering News Formülü	18
2.3.2.4 Brix Formülü	19
2.3.2.5.Dutch Formülü	19
2.3.2.6.Ritter Formülü	19
2.3.2.7. Hiley Formülü.....	19
3. EKSENEL DÜŞEY YÜK ALTINDA DAVRANIŞ.....	22
3.1. Sürtünme Kazıklarının Davranışı	22
3.1.1. Çevre Sürtünmesi ve Uç Direnci	22
3.1.2. Dirençlerin Kazık Boyunca Dağılımı	24
3.1.3. Zemin İçinde Gerilme Dağılımı	33
3.1.4. Kazık-Kazık Etkileşmesi	36
3.1.5. Örselenmiş Zeminlerde Direnç Değişimleri	38
3.1.5.1. Thixotropi.....	38
3.1.5.2. Sıvılaşma	38
3.2. Uç Kazıklarının Davranışı	38
3.2.1. Yüklerin Aktarılması	38
3.2.2. Negatif Çevre Sürtünmesi	39
3.3.3. Yatak Modülü ve Yatak Katsayısı	42
3.4. Çevre Sürtünmesi Direnci	44
3.4.1. Granüler Zeminlerde Birim Çevre Sürtünmesi Değerleri	44
3.4.2. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Sürtünmesi Direnci (Killi Zeminler)	47
3.5. Kazıklarda Burkulma	48

4.	KAZIKLARDA DALGA YAYILIMI ve ETKİSİ.....	50
4.1.	Giriş	50
4.2.	Darbelerin Kazıklar Üzerine Olan Etkisi	51
4.3.	Kazıklarda Dalga Yayılımı	54
4.3.1.	Temel Denklem (Eşitlik)	54
4.3.2.	Laplace Dönüşüm Metodu İle Çözüm	56
4.3.2.1.	Sonsuz Uzunluktaki Kazık	56
4.3.2.2.	Belirli Bir Uzunluktaki (Sonlu) Kazık	57
4.3.3.	Değişkenlerin Ayrılması (Değişkenlere Ayırma) Metodu ile Çözüm	59
4.3.3.1.	Sonsuz Uzunluktaki Kazıkta Şok Dalgaları	59
4.3.3.2.	Periyodik Yük	62
4.3.4.	Karakteristikler Yardımıyla Çözüm	65
4.3.5.	Dalganın Yayılması ve Yansıması	68
4.3.6.	Sürtünme Etkisi	73
5.	TEKİL KAZIKLARIN BURULMA ANALİZİ.....	77
5.1.	Giriş	77
5.2.	Elastik Analiz	79
5.3.	Değişken Zemin Rijitliği İçin Boyutsal Olmayan Analiz	83
5.4.	Kazıkların Burulma Direnci İçin Mevcut Metodlar	86
5.4.1.	Bütün Zemin Sınıfları İçin Metotlar	86
5.4.1.1.	FDOT Yapısal Tasarım Ofis Yöntemi	86
5.4.1.2.	Kolorada Ulaşım Departmanı Metodu	87
5.4.2.	Kumlu Zeminler İçin Metotlar	90
5.4.3.	Killi Zeminler İçin Metotlar	93
5.5.	Kazıkların Burulma Davranışı İçin Testler	94
5.5.1.	Killi Zeminlerde Burulma Testleri	94
5.5.2.	Kumlu Zeminlerde Burulma Testleri	94
6.	KAZIK ÇAKMA ESNASINDA OLUŞAN GÜRÜLTÜ ve TİTREŞİMLER	97
6.1.	Giriş	97
6.2.	Vibrasyonun Yapı İmalat Operasyonlarına Olan Çevresel Etkisi	97
6.3.	Yapı İşleri Sırasında Meydana Gelen Titreşimler	98
6.4.	Titreşimin Sınıflandırılması	98
6.5.	(Vibrasyon) Titreşim Hasarı ve Rahatsızlık Kriteri	99
6.6.	Zemin Titreşimlerinde Titreşim Kaynağının Etkisi	100
6.7.	Zemin Titreşiminin Sonuçları	100
6.8.	Titreşim Problemlerinin Azaltılması	102
6.9.	Titreşimlerin Dezavantajları	103
7.	BURGU KAZIK TEMELLER	105
7.1.	Giriş	105
7.2.	Burgu Kazık Temelin Taşıyacağı Düşey Yükler.....	105
7.3.	Burgu Kazık Temel Başlığında Tatbik Edilecek Burulma Momenti	108
7.4.	Daire Kesitli Burgu Kazık Raporu.....	110
7.5.	Halka Kesitli Burgu Kazık Raporu.....	111
7.6.	Burgu Kazık Temeller İçin Örnek Betonarme Hesap.....	112
7.6.1.	Eksenel Kuvvete Göre Boyuna Donatı Hesabı.....	112
7.6.2.	Enine Donatı Hesabı.....	113
7.6.3.	Helis Dış Donatısı Hesabı.....	113

7.6.4. Burulma Donatısı Hesabı.....	115
8. KAZIKLARDA KULLANILAN BETON.....	118
8.1 . Giriş.....	118
8.2 . Betonarme Kazıkların Karşılaştırılması.....	122
8.3 . Betonarme Kazıkların Dayanıklılığı.....	123
8.4. Betonun Gelişimi.....	124
8.5. Geleneksel ÇTDB'lerin Mekanik Davranışı.....	125
8.5.1. Yüksek Dayanımlı Betonun (YDB) Mekanik Davranışına Çelik Lif Dayanımının Etkisi.....	128
8.5.2. Karma Lifli Yüksek Performanslı Beton.....	128
9. DENEYSEL BETON ÇALIŞMALARI.....	130
9.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	130
9.1.1. Çimento.....	130
9.1.2. Silis Dumanı.....	131
9.1.3. Agregalar.....	131
9.1.4. Akışkanlaştırıcı.....	132
9.1.4.1 Yeni Nesil Süperakışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması Ve Teknik Özellikleri.....	132
9.1.5. Çelik Lif	132
9.2. Numune Kodları	133
9.3. Beton Karışımları.....	134
9.4. Taze Beton Özellikleri.....	135
9.5. Basınç Deneyi.....	136
9.6. Numunelerin Küp Basınç Dayanımı Sonuçları.....	136
10. SONUÇLAR.....	138
KAYNAKLAR	141
EKLER.....	144
Ek 1 Burgu Kazık Temel İçin Hesap Tabloları.....	145
Ek 2 Betonarme Hesap İçin Abak.....	177
Ek 3 Burgu Kazık Program CD'si.....	178
ÖZGEÇMİŞ.....	178

SİMGE LİSTESİ

Q_{top}	Toplam Taşıma Gücü
Q_u	Uç Direnci
$Q_ç$	Çevre Sürtümesi Direnci
C	Zeminin Kohezyonu,
γ	Zeminin Efektif Birim Hacim Ağırlığı
d	Kazık Çapı
$N \gamma, N_q, N_c$	Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları
A_p	Kazık ucunun Kesit Alanı
Q_p	Birim Alana Düşen Uç Direnci
σ_v	Kazık Ucundaki Düşey Efektif Gerilme
N_c^*, N_q^*	Tasima gücü katsayılarıdır
W_p	Kazığın Ağırlığı
W_r	Tokmak Ağırlığı
H	Tokmanın Düşme Yüksekliği
s	Kazığın Zemine Giriş Miktarı (refü)
E	Elastik Modül
A	Kesit Alanı
L	Kazığın Boyu
σ_v	Düşey Gerilme
K_z	Gerilme Katsayısı
r	Kazık Ekseninden uzaklık
z	Yüzeyden İtibaren Derinlik
y	Oturma
Q	Kazık Yüğü
Q_1	Kazığın Birim Uzunluğuna isabet eden yük
p	Kazık en kesitinin çevre uzunluğu
ΔL_i	Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu
f_i	Kazığın her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi değeri
K_i	(i) zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı
σ'_{vi}	(i) zemin tabakasında efektif düşey gerilme
δ_i	(i) zemin tabakasında kazık – zemin arası sürtünme açısıdır.
K_{oi}	Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının sükunetteki yatay toprak basınç katsayısı (Geostatik Katsayı)
δ_i	Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının Kazık-Zemin arasındaki sürtünme açısı
α_i	Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısı
c_i	Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direnci
C_{ui}	i tabakasının Drenajsız Kayma Direnci
E_p	Kazık malzemesinin elastisite modülü
I_p	Kazığın atalet momenti
k_h	zeminin yatay yatak katsayısı
ℓ	Dalga uzunluğu
t	Peryot
μ	Poisson oranı
g	Yerçekimi ivmesi

ρ	Bir t anında kazık başlığından bir z derinliğinde vibrasyon anında kazığın herhangi bir kesitinin kazık eksenine paralel yer değiştirmesi
ξ	Bir t anında, z derinliğinde kazık birim uzunluğundaki basınç
P	t anında z derinliğinde kazık enkesitine etkiyen toplam basınç
σ	En kesitteki basınç gerilmesi
w	Eksenel doğrultudaki yerdeğiştirme (düşey)
v	Hız
ρ	Malzemenin özgül ağırlığı (yoğunluğu)
c	Dalga hızı
τ	Kayma gerilmesi
H	Eksenel (düşey) kazık rijitliğinin sürtünme sabitine oranı olan bir uzunluk parametresidir
τ_o	Kazık-zemin kesişim yüzeyindeki kayma gerilmesi
V	r mesafesindeki eğrisel (radyal) yöne dik yerdeğiştirme
G_s	Zeminin kayma modülü
τ_{ou}	Kazığın uzun eksenli boyunca kazığın dönmesine engel olan nihai zemin kayma gerilmesi
δ	Kumlar için kazık-zemin arasındaki yüzeyin sürtünme açısı.
α	Kilin kayma direnci
G	Kazık malzemesinin kayma modülü
J	Kazık enkesitin burulma alanı (Dairesel kesitin polar atalet momenti)
P_o	Kazık başındaki eksenel basınç kuvveti
C1	Kazık alt ucu şartlarından belirlenecek sabit (z = L)
K_t	Kazık ucundaki elastik direncin rijitliği
K_o	Zemin yüzünde yan yüzeylerin sürtünme etkisinin elastik rijitliği
K_f	Yan yüzeylerin sürtünme etkisinin; birim şekil değiştirme için kazığın birim uzunluğuna etkiyen yük cinsinden, elastik rijitlik katsayısı.
T_s	Yanal yüzeyin burulma direnci
K_o	Zeminin durgun haldeki yatay basınç katsayısı
S	Zemin-kazık birleşme yüzeyindeki sürtünme açısı, kazıklı temellerde zeminin içsel sürtünme açısına eşittir.(ϕ)
η	Dairesel kesitin hacminin düzlem kesit kamasının hacmine oranı
ϕ	Zeminin içsel sürtünme açısı
$\emptyset$	Dilim açısı
M	$\tan \delta$
P_n	Şaft boyunca integrali alınan net toprak basıncı
n	Şaft derinliği boyunca alınan kazık parça sayısı
$\bar{q}$	Kazık elemanı üzerindeki efektif düşey gerilme
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
A_y	Kazık boyunca düşey yük
h_s	Kazık uç yüksekliği
a	Helis adımı
r_0	ortalama yarıçap
σ_{zem}	Zemin emniyet gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa	
Şekil 1.1.	Kazıklı Temeller Altında Basınç Soğanları	2
Şekil 1.2.	Kullanılma Amaçlarına Göre Kazık Tipleri.	3
Şekil 2.1.	Taşıma Gücü Katsayısı N_q	7
Şekil 2.2	L_b/d_{cr} Oranının İçsel Sürtünme Açısına Göre Değişimi	9
Şekil 2.3	N_c^* ve N_q^* Değerlerinin İçsel Sürtünme Açısı İle Değişimi	9
Şekil 2.4	Janbu'nun Taşıma Gücü Değerleri	10
Şekil 2.5	Çakma Sırasında Basınç Dağılımı	16
Şekil 2.6	Yükleme Deneyi Ve Dinamik Çözüm Sonuçları	17
Şekil 2.7	Kazık Ve Zeminin Elastik Sıkışmaları	20
Şekil 3.1.	Kazık Davranışı	23
Şekil 3.2.	Rijit Kazık Yüzünde Sürtünmenin Dağılımı Ve Tabana Yük Aktarımı	29
Şekil 3.3.	Sıkışabilir Kazıkta Tabana Yük Aktarımı	31
Şekil 3.4.	Sıkışabilir Kazık Yüzünde Sürtünmenin Dağılımı	31
Şekil 3.5.	Kazık Ve Üniform Çevre Sürtünmesi	34
Şekil 3.6.	Kazık Çevresinde Eşgerilme Eğrileri	35
Şekil 3.7.	Yapı Genişliği-Kazık Uzunluğu Etkileri	37
Şekil 3.8.	Sıkışabilir Uç Kazıklarında Uç Yüğü Miktarı	39
Şekil 3.9	Kazık Ankastre Derinliği	49
Şekil 4.1	Eksenel Yüklü Kazık Elemanı	50
Şekil 4.2	Kazığın Uzunluğu	57
Şekil 4.3	Serbest Ucun Yerdeğiştirmesi	59
Şekil 4.4.	Periyodik Yüklü Kazık	62
Şekil 4.5	Karakteristikler Metodu	67
Şekil 4.6	Kazıktaki Hız Ve Gerilmeler	68
Şekil 4.7	Homojen Olmayan Kazık.	69
Şekil 4.8	Hızın Değişik Zamanlardaki Profili	71
Şekil 4.9	Kazığın İki Kısımına Ait Gerilmeler	71
Şekil 4.11	Zeminde Sürtünme Etkisine Maruz Bir Kazık	73
Şekil 4.12	Yay Sabiti ($H/L=1$)	76
Şekil 5.1.	Burulmadan Kaynaklanan Kayma Gerilmesi Dönme Eğrisi	78
Şekil 5.2	Tipik f-w Eğrisi	80
Şekil 5.3	Sabit Zemin Rijitliği İçin Eksenel Rijitlik Katsayısı	82
Şekil 5.4	Sabit Zemin Rijitliği İçin Eksenel Rijitlik Katsayısı.	85
Şekil 5.5	Derinliğin Kare kökü Değişimi	86
Şekil 5.6.	Kayma Kaması	89
Şekil 5.7	Kazık Zemin Arası Sürtünme	91
Şekil 5.8	Şaft Boyunca Her Derinlikteki Eşik Basınç Değerinin (Rankine Basıncı) Bulunması.	92
Şekil 5.9	Şaft Boyunca Sonuç Basınç Değerleri	92
Şekil 5.10	Kazık Boyunca Burulma Yüğüünün Dağılımı Ve Kazık Boyunca Kuvvet Çifti Dağılımı	95
Şekil 5.11	Ölçekli Burulma Modeli İçin Deney Aparatı	96
Şekil 6.1	Yer Değiştirme Limitleri	100
Şekil 6.2.	Değişik Frekans Tabanlı Hız-Deplasman Kontrol Sınırlarının Karşılaştırılması.	103

Şekil 6.3	Titreşim Kılavuzu –USBM RI8507 (kesiksiz çizgi) nin BS7385 ile Karşılaştırılması	104
Şekil 7.1	Burgu Kazık Temel	105
Şekil 7.2	Kaldırma Noktaları ve Eşit Kuvvetlere Göre Eğilme Momentleri	116
Şekil 7.3	Burgu Kazık Donatı Planı	117
Şekil 8.1	Geleneksel ÇTDB’lar İçin Lif İçeriği-Kırılma Enerjisi İlişkisi	126
Şekil 8.2	f_{st} , I_{ch} ve f_{flex} ’nin Maksimum, Çelik Lif Hacminin (V_f) ise Aynı Anda Minimum Yapılması Halinde Kompozitten Beklentiye (D) Ait Tepki Yüzeyi	127
Şekil 8.3	Farklı Tipteki Çelik Tellerle Üretilmiş Beton Kirişlerin Yük- Sehim Eğrileri	128
Şekil 8.4	a) Çatlak Köprülenmesine Farklı Lif Boyutlarının Etkisi	129
Şekil 8.5	b) Karma Lifli Betonlarda Tel Narinliğinin (L/d) ve Tel İçeriğinin (X_i) Kırılma Enerjisine (G_F) etkisi	129

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Taşıma Gücü Katsayısı	6
Tablo 2.2	Çarpma Sayısı (e) nin Temsili Değerleri	20
Tablo 2.3	C ₁ Değerleri	21
Tablo 3.1	Transfer Fonksiyonları	27
Tablo 3.2	Elastik Ortam Yaklaşımı ile Yük Transferi Analizi	29
Tablo 3.3	Gerilme Katsayısı Değerleri ($\nu = 0,3$; Eksi İşareti Sıkışma Gösterir)	35
Tablo 3.4	Kazık Tiplerine Göre K Değerleri	45
Tablo 3.5	“Dr” Değerleri Tablosu	46
Tablo 3.6	Geostatik Katsayıya Oranla K Değerleri	46
Tablo 3.7	Kazık-Zemin Sürtünmesi Değerleri	47
Tablo 3.8	Adhezyon Katsayısı α_i	48
Tablo 8.1	Betonarme Çakma Kazıkların Boyutları ve Servis Yükleri	119
Tablo 8.2	Beton Karışımının Özellikleri	122
Tablo 8.3	DIN 4030’a Göre Betona Kötü Etkiyen Sıvılar	124
Tablo 8.4	Tasarım Değişkenlerinin Optimal Değerleri	127
Tablo 9.1	Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri	130
Tablo 9.2	Portland Çimentonun Kimyasal Özellikleri	131
Tablo 9.3	Portland Çimentosunun Basınç Dayanımı	131
Tablo 9.4	Agregaların Fiziksel Özellikleri	131
Tablo 9.5	Agregaların Elek Analizi Sonuçları	132
Tablo 9.6	Numune Kodları	133
Tablo 9.7	Numune Boyutları	133
Tablo 9.8	Beton Karışım Tablosu	134
Tablo 9.9	Taze Beton Özellikleri	135
Tablo 9.10	Küp basınç dayanımı sonuçları	136
Tablo 9.11.a	C20 Serisi Beton Küp Sonuçları	137
Tablo 9.11.b	C40 Serisi Beton Küp Sonuçları	137
Tablo 9.11.c	C90 Serisi Beton Küp Sonuçları	137

ÖNSÖZ

Bu tez ile, Betonarme Burgu Kazık Temellerin hesap esasları verilmiştir. Bu hesap esaslarına göre; 3.0m ile 16.0m arası derinlik için değişik taşıma gücüne sahip zeminlerde dairesel dolu kesitli ve halka kesitli Burgu Kazık Temellerin taşıyacağı yükler ve kazık çapları hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca bu hesaplamalar için Microsoft Access ortamında bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Kaliteli beton, kazık üretiminde önemli bir yere sahip olduğundan, beton kalitesinin artırılmasına yönelik araştırmalara da yer verilerek bazı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları da kısaca verilmiştir.

Burgu kazık temeller hakkında yapılan bu tez ile, kazık temel sistemlerine yeni bir çözüm alternatifi getirilmiştir.

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan Tez Danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Asım GÜRALP' e, beton ile ilgili çalışmalarımda değerli katkısı, ilgisi ve yardımları dolayısıyla sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR'e, deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısı ile Dr. Fikret BAYRAMOV ve Cengiz ŞENGÜL'e, bilgisayar programı konusundaki yardımları dolayısıyla Murat ÖZPOLAT'a, Esmâ ÖZTÜRK'e ve İSTON A.Ş yöneticileri ve Kalite Laboratuvarı çalışanları ile, gösterdikleri sevgi, destek ve üstün sabır için aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım 2005

Ali Necip KOCATÜRK

BURGU KAZIK TEMELLER

ÖZET

Bu çalışma çürük zeminlerde uygulanan ve ekonomik avantajlar sağlayan Burgu Kazık temeller hakkındadır. Burgu Kazık temeller, betonarme prefabrike olarak hazırlanmakta ve bir burulma momenti ile zeminlere uygulanmaktadır. Böylece, çakma kazıklardaki ses, gürültü ve çakma sırasında oluşan zemin titreşimlerinden dolayı civardaki yapılarda meydana gelen yapısal hasarlar önlenmektedir. Burgu Kazık temellerin dış yüzeyindeki helisel dişler, uygulama kolaylığı sağlamakla birlikte, kazık yüzeyini artırarak, kazığın taşıma kapasitesinde de önemli artışlar sağlamaktadır. Halka kesit tasarımlarında ise daha fazla malzeme tasarrufu sağlanabilmektedir.

Çeşitli çap, boy, helis diş derinliği ve zemin taşıma gücüne bağlı olarak dolu kesitli ve halka kesitli Burgu Kazık temellerin taşıyacağı yükler, tablolar halinde mukayeseli olarak hesaplanmıştır.

Burgu Kazık yapımında kullanılacak betonun kalitesi çok önemli olduğundan, beton kalitesi konusunda da, araştırma yapılmıştır. Bu kapsamdaki deneysel çalışmalarda; üç farklı su/çimento oranı, üç farklı çelik tel içeriği ve iki farklı çelik tel kullanılmıştır. Üç adet de karşılaştırma yapabilmek amacıyla, çelik tel içermeyen, referans beton numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelere ait basınç dayanımı deneylerinin sonuçları incelenmiştir.

Neticede; Burgu kazık temellerle ilgili, hesap esasları, seçilen değişkenler için kazık taşıma güçleri ve uygulanması gereken burulma momentleri ile kuvvet çiftlerinin hesaplarına yönelik Microsoft Access ortamında bir bilgisayar programı hazırlanmış ve örnek bir betonarme hesap yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Burgu Kazık Temel, Halka Kesit, Kazık Çakma İşlemleri, Zemin Titreşimi, Burulma Momenti, Kazıkların Yük Taşıma Kapasitesi, Beton Basınç Dayanımı

SCREW PILE FOUNDATIONS

ABSTRACT

Screw pile foundations supply application easiness and economical advantages for rotten grounds. These foundations are produced as prefabricated reinforced concrete piles and applied to the ground by the torsional moment. By this way, noise and the structural cracks due to the vibration of soil during the driving of pile with a hammer, are prevented. The helical cogs at the outer surface of the piles increase the surface area and improve the load bearing capacity. Ring sectional design, decreases the amount of material used and supply more economical advantages.

Load bearing capacity of circular and ring sectional reinforced concrete screw piles for different diameter and lengths, are given as tables.

Also, a research is made for quality and performance of concrete due to the importance of concrete of screw pile foundations. In this experimental research on performance of concrete, three different concrete classes, three different steel fiber volumes and two different steel fibers were used. And three reference concrete samples without any steel fibers were prepared to compare each other. Compressive strength of these concrete samples are investigated.

As result, design and calculation principles are given and a calculation program to determine load bearing capacity, twist force and torsional moment is done in Microsoft Access and a reinforcement calculation of a Screw Pile is done as an example.

Key words: Screw Pile Foundation, Ring Section, Driving of Pile With a Hammer, Soil Vibration, Torsional Moment, Load Bearing Capacity of Piles, Compressive Strength of Concrete.

1. KAZIK TEMELLER

1.1.Giriş

Yüzey altındaki temel seviyesinde zemin durumu her zaman yüzeysel temel sistemleri için hem ekonomik hem de pratik açıdan uygun olmayabilir. Bu durumda üst yapıdan gelecek yüklerin daha derin zemin tabakalarına veya kaya tabakalarına aktarılması gerekir. Kazık olarak bilinen temel sistemi elemanları bu amaç için kullanılırlar. Görüntü ve yapım teknolojisi itibari ile yüzeysel temellerden çok farklı olan kazıklar ; yükü taşıyıcı doğal zemin tabakalarına ve kaya formasyonlarına aktararak , işlev olarak bu temellerle aynı göreve sahiptirler. Belki de kazıkların yük taşıma kapasitelerindeki değişiklikler zemin özelliklerine daha çok bağlıdır. (Chellis D.R, 1961).

Kazıklar ; ahşap , çelik , betonarme veya kompozit olabilirler. Ahşap ve betonarme kazıklar genel olarak dairesel kesitli , çelik kazıklar da “H” ve “I” kesitlidir.(Chellis D.R, 1961).

Kazıklı temellerin projelendirilmesinde ilk karşılaşılan sorun , tek kazıklarla veya kazık grupları ile taşınan yüklerin belirlenmesidir. Taşınacak yük , taşıyacak temel zemini tabakalarının özelliklerine uygun olacak şekilde zemin içinde yayılmalıdır.

Kazıkların taşıma gücünün belirlenmesinde, zemin mekaniği prensiplerinin büyük önemi olmakla beraber, değerlendirilmede yükleme deneylerinden ve amprik yöntemlerden de faydalanılmalıdır.

Yüklü bir kazığın mukavemeti iki büyüklüğün toplamından oluşur. Bunlar uç mukavemeti ile kazığın çevre yüzeyi boyunca adhezyon veya sürtünme nedeniyle yer alan sürtünme mukavemetidir. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

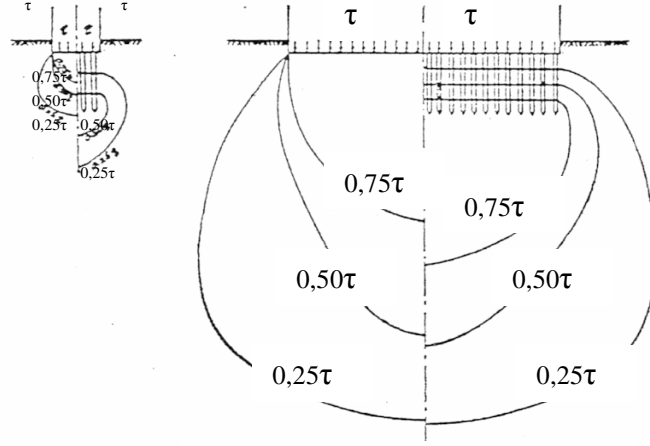
Uygulamada kazıklar çoğu kez iki türdür ;

- i) yükü sert bir tabakaya aktaran uç kazıkları,
- ii) uç mukavemetinin önemsiz mertebelerde olduğu ve yükün büyük bir kısmının sürtünme yolu ile taşındığı sürtünme kazıkları.

Uç kazıkları da,

- i) kayaya oturan kazıklar
 - ii) yükü nispeten sağlam tabakalara aktaran kazıklar
- olmak üzere iki alt gruba ayrılırlar.

Önemli miktardaki basınç dağılışılarının ve dolayısı ile oturmaların büyük bir kısmının yer alacağı bölgeleri belirten basınç soğanı kavramı , kazık temellerin etkinliği konusunda karar vermede faydalı olur. (Kumbasar V., Kip F., 1989).



Şekil 1.1 Kazık temeler altında basınç soğanları. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

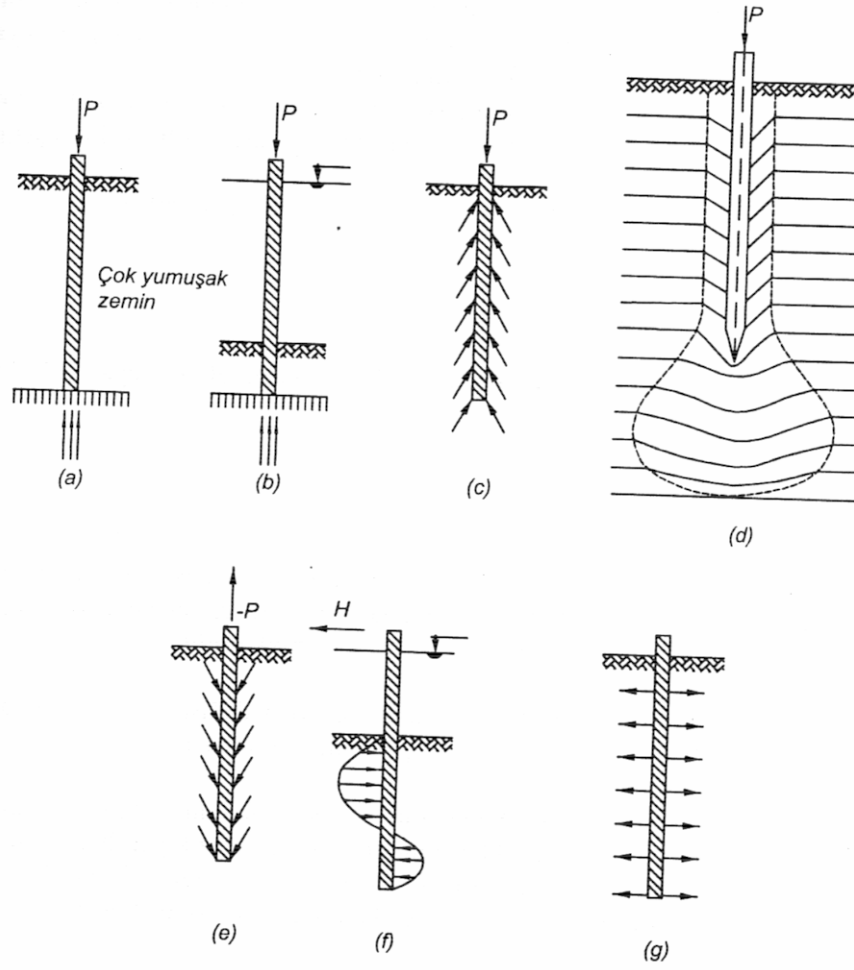
1.2 Kazıkların Kullanım Alanları

Kazıklar;

1. Kolon gibi çalışarak yükü taşıyıcı olmayan yumuşak zemin tabakasından geçirerek taşıyıcı olan sert zemin tabakasına aktarmak ,
2. Alt bölgelerinde sürtünme kazığı olarak , yükü yeterli taşıma kapasitesi olan daha sert ve taşıyıcı bölgeye aktarmak,
3. Tüm kazık uzunluğu boyunca sadece sürtünme kazığı olarak ,
4. Zemini sıkılaştırmak,

için kullanılabilirler. (Chellis D.R, 1961).

Kazıklar aynı zamanda heyelan bölgelerinin (yamaçların) stabilizesini sağlamak ve yatay yüklere karşı özellikle iskele ve rıhtım bölgesinde ankraj vazifesi için de kullanılabilirler. Bunlara ait şekiller aşağıda verilmiştir. (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).



Şekil 1.2 Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri. (a,b) uç kazığı, (c,d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (f) yatay yüke maruz kazık, (g) sıkıştırma kazığı. (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002)

2. KAZIKLARIN TAŞIMA GÜCÜ

2.1. Genel

Bir kazığın taşıma gücünü kazık-zemin etkileşimi yönünden belirleyen başlıca iki etken, kazığı çevreleyen zeminin taşıma gücünü oluşturan mekanik özellikleri ile kazığın yapıldığı malzemenin dayanımını oluşturan mekanik özellikleridir. Bu iki özellik kullanılarak kazık ve zemin ayrı ayrı değerlendirilir ve her ikisine de uygulanan yükün, kazığın yapıldığı malzemeye bağlı olan toplam kesit direncini aşmamasına özen gösterilir. Zemin dayanımı yönünden kazıkların taşıma gücü, önce teorik veya ampirik formüllerle bulunur. Formüller, kazık-zemin etkileşiminin statik dengesini yansıtan veya çakma kazıklarda kazığı çakmak için harcanan enerji ve/veya yapılan işi esas alan bağıntılardır. Kazıkların taşıma güçleri, bunları arazide yüklemek sureti ile de saptanabilir. (Birand A.A, Ekim 2001). Bu hususlar, aşağıda incelenecektir.

2.2. Statik Kazık Formülleri

2.2.1. Genel

Bir kazığın çevre zemini açısından toplam taşıma gücü genellikle iki bileşenden oluşur. Bunlar uç direnci Q_u ve çevre sürtünmesi Q_ϕ bileşenleridir.

$$Q_{top} = Q_u + Q_\phi \quad (2.1)$$

Q_{top} = Toplam Taşıma Gücü,

Q_u = Uç Direnci

Q_ϕ = Çevre Sürtünmesi Direnci

olmaktadır. Pratikte (2.1) denklemi ile bulunan değere istenilen bir güvenlik sayısı uygulanarak servis yükü elde edilir.

2.2.2. Uç Direnci

Aşağıdaki paragraflarda, bu direncin hesaplanması için varolan belli başlı yöntemler sunulmaktadır:

2.2.2.1. Uç Kazıklarında Uç Direnci

Uç kazıklarının uçları, sert bir taşıyıcı zemin içine tesbit olunurlar. Genellikle bu taban zeminin taşıma gücü, kazığın yapıldığı malzemenin basınç mukavemetinin üstündedir. Bu nedenle bir uç kazığının toplam taşıma gücü, kazığın yapısal kesit direncine eşittir. Yukarıdaki (2.1) formülünde yalnızca Q_u gözönüne alınır. Grupta “n” kazık var ise grubun taşıma gücü $Q_g = n \times Q_u$ olur. (Birand A.A, Ekim 2001), (Kumbasar V., Kip F., 1989).

2.2.2.2. Sürtünme Kazıklarında Uç Direnci

Bu direncin hesaplanması için yapılmış olan çalışmalara kronolojik bir sıra içinde bakılırsa bunların; kazık ucunu bir yüzeysel temelin zeminle dokunma yüzeyi olarak kabul eden yaklaşımlardan başlayarak aynı ilkeye dayanan çeşitlemelerle devam ettikleri söylenebilir. Bu direnç Terzaghi (1967) taşıma gücü teorisi kullanılarak dairesel kesitli kazık uçları için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q_u = \frac{\pi d^2}{4} (1.3 \times c \times N_c + \gamma \times L \times (N_q - 1) + 0.3 \times \gamma \times d \times N \times \gamma) \quad (2.2)$$

L = Kazığın Zemin İçinde Kalan Toplam Boyu

c = Zeminin Kohezyonu,

γ = Zeminin Efektif Birim Hacim Ağırlığı

d = Kazık Çapı,

$N \gamma$, N_q , N_c = Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

N_q katsayısının denklemlerde $N_q - 1$ olarak alınması, kazığın, net taşıma gücü ifadesinin kullanılması nedeniyledir. Diğer bir deyişle; kazığın yapılabilmesi için çıkarılan veya yer değiştiren zeminin ağırlığını temsil eden bir miktar, taşıma gücünden eksiltilmektedir.

Kare kesitli bir kazık için uç direnci:

$$Q_u = B^2 (1.3 \times c \times N_c + \gamma \times L \times (N_q - 1)) \quad (2.3)$$

olur. B kare enkesitli bir kazığın kesit boyutudur. Granüler bir zeminde ($c = 0$) taşıma gücü, (2.2) bağıntısında derinlik etkisini gösteren üçüncü terim genellikle birincinin yanında ihmal edilebilir. Bu durumda taşıma gücü ifadesi aşağıdaki şekle girer:

$$Q_u = \frac{\pi d^2}{4} \times \gamma \times L \times (N_q - 1) = A_p \times \sigma'_v \times (N_q - 1) \quad (2.4)$$

Burada A_p = kazık kesit alanı, σ'_v = kazık ucunun bastığı seviyede etkiyen efektif düşey zemin gerilmesidir. N_q için çeşitli araştırmacıların tavsiye ettiği değerler Şekil 2.1 de beraberce gösterilmiştir. Bu değerler, Terzaghi tarafından verilen değerlerden (Tablo 2.1) farklıdır. Ancak kazık yükleme deneylerinin sonuçlarından yararlanılmak sureti ile geriye hesap yapılarak elde edildikleri için kıymet taşımaktadırlar

Terzaghi (1967), taşıma gücü katsayılarını zeminin içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu olarak aşağıda Tablo 2.1 de gösterildiği gibi vermiştir.

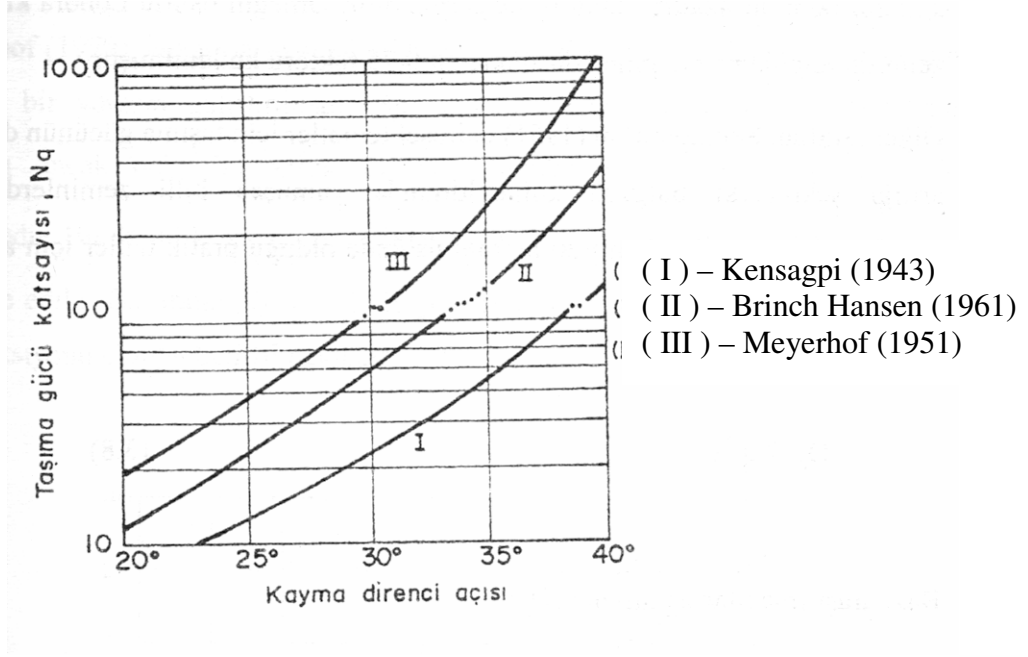
Tablo 2.1. Taşıma gücü katsayısı

Zeminin İçsel Sürtünme Açısı	N _c	N _q	N _γ
0°	5.7	1.0	0.0
5°	7.3	1.6	0.5
10°	9.6	2.7	1.2
15°	12.	4.4	2.5
20°	17.	7.4	5.0
25°	25.1	12.7	9.7
30°	37.	22.5	19.7
35°	57.8	41.4	42.4
40°	95.7	81.3	100.4

Kumlarda, kohezyon sıfır alınarak uç direnci:

$$Q_u = \frac{\pi d^2}{4} (\gamma \times L \times N_q + 0.3 \times \gamma \times d \times N \times \gamma) \quad (2.5)$$

bulunur.



Şekil 2.1. Ordemir vd., Taşıma gücü katsayısı N_q

Yukarıdaki şekilde sunulan Meyerhof eğrisi yıllar içinde değişerek aşağıda Şekil 2.2 de sunulan şekle gelmiştir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kohezyonlu zeminlerde ise uç direnci:

$$Q_u = \frac{\pi d^2}{4} (1.3 \times c \times N_c + (D_f - 1) \times \gamma \times L) \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada taşıma gücü katsayıları Tablo 2.1. den alınarak yerlerine konduklarında:

$$Q_u = 5.82 d^2 c \quad (2.7)$$

ifadesi bulunur. Zemin kohezyonunu gösteren c değeri yukarıdaki ifadede kullanılırken bir azaltma faktörü ile çarpılabilir. Örneğin fisürlü Londra killeri için zeminin ferahlama davranışı düşünülerek 0,75 faktörü kullanılmıştır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Diğer taraftan Skempton'un (1951) dairesel temeller için taşıma gücünün derinlikle arttığı şeklindeki bulgusu kullanıldığında yumuşak killi zeminlerde kazık uzunluğunun, kazık çapının 20 katının üstünde olduğu pratik haller için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir: (Birand A.A, Ekim 2001), (Kumbasar V., Kip F., 1989).

$$Q_u = 7 d^2 c \quad (2.8)$$

Bazı araştırmacılar uç direnci (Q_p):

A_p = Kazık ucunun Kesit Alanı,

Q_p = Birim Alana Düşen Uç Direnci

olmak üzere aşağıdaki gibi ifade ederler:

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (2.9)$$

Granüler-Kohezyonlu bir zeminde toplam uç direnci (2.10) ifadesi ile hesaplanabilir:

$$Q_p = A_p (c \cdot N_c^* + \sigma_v' N_q^*) \quad (2.10)$$

Burada:

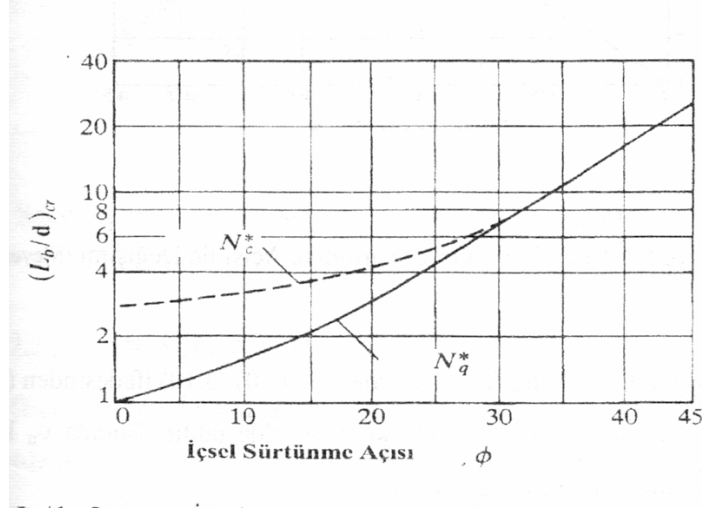
c = Zeminin Kohezyonu,

σ_v' = Kazık Ucundaki Düşey Efektif Gerilme

N_c^*, N_q^* = Taşıma Gücü Katsayılarıdır.

Bu ifadedeki taşıma gücü katsayıları kazık ucunun biçim ve derinlik etkilerini yansıtır.

Meyerhof (1979), yukarıda sözü edildiği gibi, granüler zeminlerdeki uç direnci için değişik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, kazık ucu direncinin derinlikle arttığını ancak belli bir kritik L_b derinliğinden sonra değişmediğini ifade etmektedir. Bu derinlik; kazık çapı (d) cinsinden 'Kritik Gömülme Oranı (L_b / d)_{cr}' ile ifade edilir. Bu oranın; Şekil 2.2 de gösterildiği şekilde içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu belirtilmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 2.2 (Meyerhof, 1979)'e göre $(L_b/d)_{cr}$ oranının içsel sürtünme açısına göre değişimi (Birand A.A, Ekim 2001).

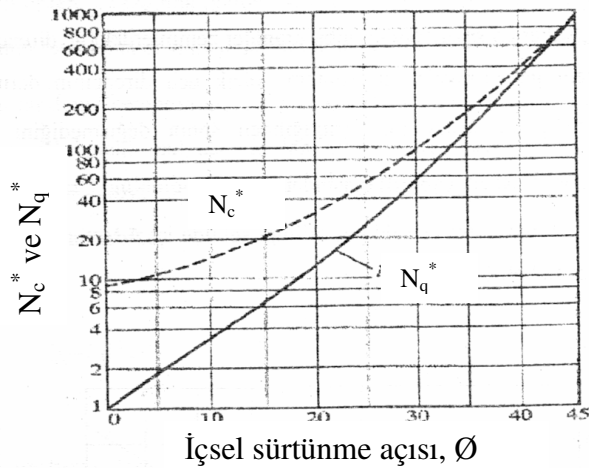
Bu durumda granüler zeminlerde ($c = 0$) uç direnci aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Q_u = A_p \cdot \sigma_v' \cdot N_q \quad (2.11)$$

Hesap yapılırken σ_v' değeri Şekil 2.2 kullanılarak bulunur. Bunun için zeminin içsel sürtünme açısı değeri ile abağa gidilir ve 'Kritik Gömülme Oranı' bulunur. Buradan L_b saptanır.

$\sigma_v' = (\text{Zeminin Efektif Hacim ağırlığı}) \times L_b$ olur.

N_q^* ise Şekil 2.3 den elde edilir.

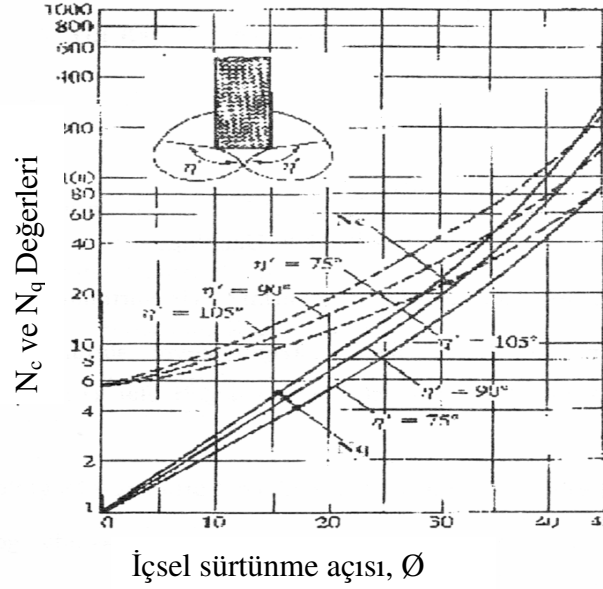


Şekil 2.3 (Meyerhof, 1979)'e göre N_c^* ve N_q^* değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi (Birand A.A, Ekim 2001).

Suya doygun killer içindeki kazıklarda ise ($\Phi = 0$) (2.10) ifadesinden (2.7). ve (2.8) ifadelerine benzer şekilde aşağıdaki ifade elde edilir. Burada C_u kazık ucunun bastığı zeminin drenajsız direncidir:

$$Q_p = 9 \cdot C_u \cdot A_p \quad (3.12)$$

Kumlu-killi zeminlerde Janbu (1976) (2.10) ifadesini kabul etmekle beraber taşıma gücü katsayılarının kazık ucunda η açısı ile tanımlanan bir taban göçmesi yüzeyi şekline göre şekil 2.4' den alınmasını öngörmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 2.4 Janbu'nun taşıma gücü değerleri (Birand A.A, Ekim 2001).

2.3. Dinamik Kazık Formülleri

Tek bir kazığın emniyetle taşıyabileceği yük genellikle, kazık çakımı için harcanan enerjinin kazığın zemine girmesi ile yapılan işe eşit olması esassından türetilen dinamik formüllerle belirlenebilir. Meydana geldiği bilinen ve fakat değeri ancak tahmin olunabilen enerji kayıpları da göz önünde tutulmalıdır. Zemin özellikleri, kazık çakımı sırasında ölçülen penetrasyon değerleri veya refü ile iyi bir şekilde belirlenemez. Bu formüllerin kazıklara verilebilecek yüklerin hesabında güvenilir olduğu söylenemez. Formüllerin verdiği sonuçlar büyük farklar yanında belirsizlikler de mevcuttur. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

Bir çok dinamik kazık formülleri arasında tek önemli fark, enerji kayıpları için yapılan kabullerin sınıf ve değerlerindedir. Tokmak darbesinin yaptığı faydalı iş, kazığın zemine girmesi (batması) veya refü'sü ile bu batış için gerekli olan kuvvet veya direncin çarpımı

olarak gösterilir ve direnç, uygulanan çakma enerjisinden, çeşitli kayıpların çıkarılması ile bulunur. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

Genellikle bu kayıpların aşağıdaki sebeplerden meydana geldiğine yönelik bir fikir birliği vardır :

- a) Darbe (tokmağın kazığa çarpması).
- b) Çakma işinde kullanılan kazık çakma başlığının sıkışması.
- c) Kazığın sıkışması.
- d) Zeminin deformasyonu.

Bazı dinamik kazık formüllerinde bütün enerji kayıpları hep birden hesaba alınmaz. Örneğin, basit formüllerde kazık ağırlığının ihmali, uygulanan çakma enerjisinin küçük olduğu hallerde, direnç değerinin hatalı olarak bulunmasına sebep olur. Diğer bazı formüllerde ise kazık tarafından alınan enerji ihmal edildiğinden, hafif bir tokmakla çakılan ağır kazıklarda refü oldukça küçük olacağından hesaplanacak direnç küçük olacaktır. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

Bu tip formüllerin “tam” bir şekli aşağıda verilmiştir. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

Tatbik olunan enerji = Faydalı İş + Çarpmadan Doğan Kayıp + Kazık Başlığındaki Kayıp + Kazıktaki Kayıp + Zemindeki Kayıp

Bu tip formüller, kohezyonsuz zeminlerde çakılan kazıklarda kullanılabilir.

Buna bir örnek Hiley formülü olup, bu formülle hesap edilen taşıma gücü ile deney sonuçlarıyla bulunan değerler arasında iyi bir yakınlık vardır. Kohezyonlu zeminlerde bir kazığın emniyetle taşıyacağı yükün hesabı için ölçülen refüyü kullanan hiç bir formüle, bu tip bir zemindeki kazığın, emniyetle taşıyacağı yükü tahmin için güvenilemez. Dinamik bir darbeye karşı kohezyonlu bir zeminin gösterdiği direnç, kazığın statik yük altındaki direnci hakkında bir fikir vermediği gibi muhtemel oturmalara ait bir bilgi de şüphesiz sağlamaz.

Benzer arazilerde evvelce elde edilen tecrübelerin ışığı altında veya dikkatli yapılmış yükleme deneylerinin sonuçları ile karşılaşılmadıkça, dinamik kazık formüllerinin verdiği sonuçlara, kazık taşıma gücünü tahmin için güvenilemez. (Kumbasar V., Kip F., 1989).

2.3.1.1. Çakma İşlemleri

Çakma sırasında kullanılan düzeneklere göre kazığın çakılmasını sağlayan enerji kaynağı şekli aşağıda özetlenmiştir: (Birand A.A, Ekim 2001).

- a) Serbest düşmeli şahmerdanlarda, tokmak belli bir yükseklikten serbestçe kazık başına düşürülerek kazık darbelenir. Bundan sonra şahmerdan makaraya sarılı halatla kaldırılır ve işlem tekrar edilir.
- b) Tek tesirli şahmerdan kullanılır ise tokmak serbest düşme ile kazığın başlığına düşürülür, buhar veya basınçlı hava gücü ile yukarı kaldırılır ve işlem tekrar edilir.
- c) Çift tesirli şahmerdanlarda tokmak hem yukarı kalkarken hem aşağı inişte buhar veya basınçlı hava gücünden yararlanır.
- d) Dizel motorlu şahmerdanlar da yaygın olarak kullanılan araçlardandır. Bu şahmerdanlarda tokmağın çakma gücü motordaki mazotun patlaması sonucu oluşan enerji ile sağlanır.

Serbest düşmeli şahmerdanlarda tokmak ağırlığı 200-4000 kg arasında değişir. Tek tesirli şahmerdanlarda tokmak ağırlığı 1000-10000 kg. tokmağın atımı 75-100 cm, dakikadaki darbe sayısı 60-70 arasında olabilir. Çift tesirli şahmerdanlarda ise tokmak ağırlığı 2,5-27000 kg, tokmak atımı 12-90 cm, dakikadaki darbe sayısı 90-225 aralığındadır. Dizel motorlu şahmerdanlarda tokmak ağırlığı 910-4400 kg, tokmak atımı 120-240 cm, dakikadaki darbe sayısı 40-60 olabilir.

Kazıklı temel için grup kazıkları çakılmadan önce zeminin kazık çakma yönünden özelliklerini saptayabilmek için deney kazıkları çakılması iyi ve genellikle takip edilen bir uygulamadır. Bazı mühendisler gerek bu deneyin arazide yapılması ve gerekse gerçek kazık çakma işlemi sırasında, kazığı her 10 cm de bir işaretlerler. Bu suretle çakma işlemi süresince kazığın zemin içine batma miktarı hakkında yaklaşık bir fikre sahip olunur. Deney sırasında darbe sayısı ve bu darbe sayısına koşut olarak batma miktarları hassas ölçümleme ile tesbit edilerek kaydedilir. Batma miktarı (s), darbe başına batma miktarı olarak (mm/darbe) tarif edilir. Bu miktarlar, kazığın battığı derinliğe karşı grafiklenir. Bu grafik, kazığın hangi derinlikte ne kadar zorlandığını gösterir. Kazık, yeterli taşıma gücünün elde edilebileceği derinliğe kadar çakılır. Bu derinliğe Fransızca'da "red" anlamına gelen "refü" denilir. Refü derinliğinde ulaşılan yükün, kazık kesit alanına bölünmesi ile bulunan gerilmenin, kazığın basınç direncini aşmaması gerekir. Bu açıdan; kazık çakma işleminin sonlandırılacağı refü değerine karşı gelen derinlik, dinamik kazık çakma formülleri ile hesaplanır. (Birand A.A, Ekim 2001).

2.3.1.2. Genel Teori

Kazık çakma formüllerinin elde edilmesinde ortak olan prensipler aşağıda verilmektedir.

(W_r) ağırlığında bir tokmağın (h) yüksekliğinden düşmesi sonucu harcanan enerji (E), zeminin göçme yükü (Q_{ult}) değerine varılncaya kadar kazığın zemine dalma miktarı (s) ile gösterilerek yapılan işe eşitlenir: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$E = W_r \cdot h - e = Q_{ult} \cdot s \quad (2.13)$$

Burada “e” enerji kaybını gösterir. Enerji kaybı çakma sırasında oluşan plastik deformasyondan ileri gelir. Uzun zamandan beri pek çok kazık formülünün üretilmesinin nedeni bu davranışı değişik matematik yaklaşımlar ile ifade etme çabasıdır. Dinamik kazık formüllerinin yazılmasında, çakma sırasında kazık direncinin değişmeyeceği kabul edilmekle beraber killi zeminlerde bu işlem sırasında zemin örselenir ve direnci azalır. Ayrıca, ince kum ve siltlerde ani darbenin yarattığı ek boşluk suyu basınçları, efektif gerilmeyi azaltarak sürtünmeden doğan direnci, azaltıcı rol oynar. Bu nedenlerle, ince dane miktarı fazla olan zeminlerle, silt ve ince kumda bu formüller çok güvenilir değildir.

Kazığın içinde, kazık çakma sırasında oluşan gerilme yayılması, birçok araştırmacı tarafından incelenmiş, bu olguya ait çeşitli teorik çözümler sunulmuştur. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kazıkların yük-deplasman davranışı bu yöntemle çözülmüş, taşıma güçleri de bu türlü çözümlerle elde edilmeye çalışılmış olup başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıda özetlenen teorik anlatımın açıklanabilmesi amacı ile temel ilkelere dayanan bir yaklaşım aşağıda verilmektedir.

Kazık başına W ağırlığında bir şahmerdanın düştüğünü düşünelim. Bu durumda z değişkeni şahmerdanının alt seviyesinden itibaren gösterilmek üzere: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$F = -mz^{**} \quad (2.14)$$

değerinde bir atalet kuvveti oluşacaktır. Burada m kütle, z^{**} ise ivmeyi göstermektedir.

Kazık tabanında da bir R reaksiyon kuvveti oluşursa, düşey denge denklemi;

$$R = F + W = m(g - z^{**}) \quad (2.15)$$

dir.

Diğer taraftan kazık başlığındaki yastık ve diğer eklentilerin k değerindeki bir yay sabiti ile temsil edildiği düşünüldüğünde, kazık başının bir u_o deplasmanı için

$$z = u_o + R/k \quad (2.16)$$

ifadesi yazılabilir.

Bu ifadenin her iki tarafının zamana göre türevi alınıp

$$z^{**} = u_o^{**} + R^{**}/k$$

(2.15)' de yerine konursa:

$$R = m(g - u_o^{**} - R^{**}/k) \quad (2.17)$$

ifadesi elde edilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Diğer taraftan kazığın kesit alanı A, Elastik Modülü E, birim deformasyonu ε , kazık içindeki basınç dalgası yayılım hızı c ve kazıktaki basınç σ_c ise aşağıdaki ifade yazılabilir: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$R = \sigma_c A = -AE \varepsilon = -AE \partial u_o / \partial x$$

$$= -(AE/c) \partial u_o / \partial t \quad (2.18)$$

Burada (2.18) ifadesinin (2.17) de yerine konulması ile de aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir:

$$(mAE/kc)u_o^{***} + m u_o^{**} + (AE/c)u_o^{*} \quad (2.19)$$

Şahmerdana ait olan küçük bir atalet kuvveti ihmal edilir ve terimler yeniden düzenlenirse:

$$u_o^{***} - (kc/A)u_o^{**} - (k/m)u_o^* = 0 \quad (2.20)$$

bağıntısına varılır. Diğer taraftan V kazık ucu hızını gösterirse:

$$V^{**} + (kc/AE) V^* + (k/m)V = 0 \quad (2.21)$$

İfadesi bulunur. Bu ifade dinamik teori içinde alışılan terimler ile; s sönüm katsayısı ve w açısal hızı göstermek üzere:

$$V^{**} + 2wsV^* + w^2V = 0 \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir. Burada (w) için aşağıdaki ifadeler yazılabilir:

$$w^2 = k/m \quad (2.23)$$

$$w = kc/AE \quad (2.24)$$

(2.22) denkleminin çözümü aşağıdaki gibidir:

$$V = e^{wst} (A \sin w_d t + B \cos w_d t) \quad (2.25)$$

$$w_d = \sqrt{1 - s^2} \quad (2.26)$$

(2.26) sönümlenmiş açısal hızı göstermektedir. Burada A ve B katsayıları başlangıç ve sınır şartları yardımı ile bulunabilir:

başlangıç anında ve kazık başında $V(z,t) = V(0,0) = V^*(0,0) = 0$ şartı yazılabilir:

Şahmerdanın darbe sırasındaki hızı V_h ise (2.15) den $t = 0$ anında $V^* = 0$ olduğundan:

$$V_h = R^*/h \quad (2.27)$$

ve $R^*(2.17)$ 'den alınarak;

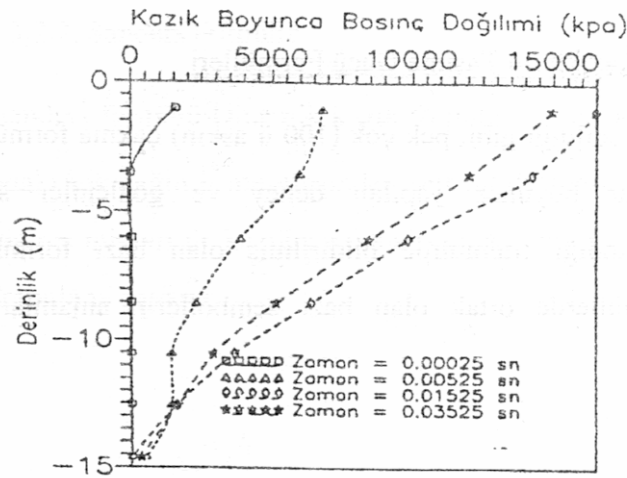
$$V_h = (AE/ck)V^* \quad (2.28)$$

bulunur. Buradan da aşağıdaki (2.29) ifadesi bulunur.

$$V^*(0,0) = V_h k_c/AE = 2V_h w.s \quad (2.29)$$

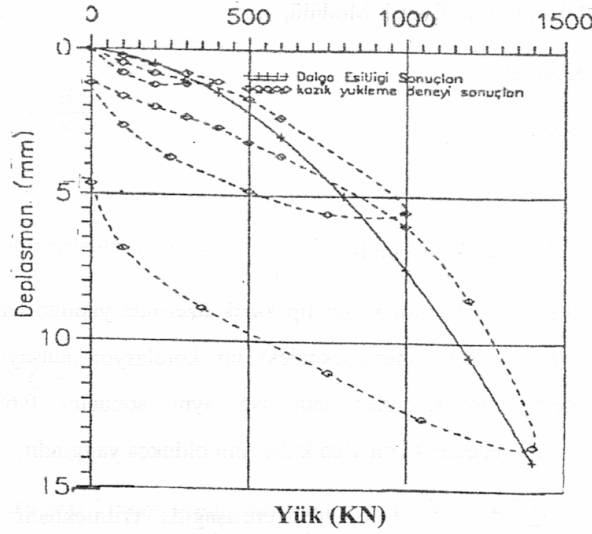
Bu denklemlerle Kazık Başlığı-Yastığı, Şahmerdan veya eşdeğer enerji özellikleri, kazık boyu ve ağırlığı, zemine penetrasyon miktarı ve darbe sayısı gibi verileri elde olan bir kazık için bir sönümleme oranı varsayarak hesap yapmak ve kazık içindeki basınç dağılımını saptamak olası olmaktadır. Kazık kesidinin dayanımının bu basıncı karşılaması gerekmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Aşağıda Şekil 2.5 de yukarıdaki temel teorisinin ODTÜ de daha geliştirilmiş bir düzeydeki biçimine dayanan bir bilgisayar programı ile elde edilen basınç dağılımı gösterilmektedir. 15 metre boyundaki bu kazık refü almak üzeredir, zaman içinde kazık boyunca basınç dağılımı gösterilmekte olup, kazık kesidinin bu basınçları karşılaması gereklidir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 2.5 Çakma sırasında basınç dağılımı (Birand ve Oud, 1992)

Şekil 2.6 da ise aynı programla elde edilen yük-oturma davranışının kademeli bir gerçek kazık yükleme deneyi ile karşılaştırılması gösterilmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 2.6. Yükleme deneyi ve dinamik çözüm sonuçları (Birand ve Oud, 1992)

2.3.2. Çakma Kazıkların Taşıma Formülleri

Yukarıda sözü edildiği gibi, pek çok (100 ü aşkın) çakma kazık formülü vardır. Aşağıda, uzun yıllar boyunca yapılan deney ve gözlemler sonucunda güvenilirliğinin saptandığı literatürde bildirilmiş olan bazı formüllere yer verilmiştir. Bu formüllerde ortak olan bazı sembollerin anlamları aşağıda listelenmiştir: (Birand A.A, Ekim 2001).

W_p = Kazığın Ağırlığı,

W_r = Tokmak Ağırlığı,

H = Tokmağın Düşme Yüksekliği,

s = Kazığın Zemine Giriş Miktarı (refü)'dür.

Bir çok şartnamede son 30 darbede kaydeline batma miktarlarının mm olarak ortalaması şeklinde tanımlanır. (mm/darbe), (Birand A.A, Ekim 2001).

E = Kazık Malzemesinin Elastik Modülü,

A = Kazığın Kesit Alanı,

L = Kazığın Boyu.

2.3.2.1. Danimarka Formülü

Bir çalışma, bu formülün her tip kazık üzerinde yapılan kazık yükleme deneyi sonuçları ile 0,81 mertebesindeki bir korelasyon katsayısı dahilinde örtüştüğü, betonarme kazıklar için ise

aynı sonucun 0,69 olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle Avrupa'da kullanımı oldukça yaygındır.

Formül; $c_2 = \sqrt{\frac{2xW_r x H x L}{Ax E}}$ olmak üzere aşağıda verilmektedir:

$$Q_d = \frac{W_r x H}{s + 0,5xc_2} \quad (2.30)$$

2.3.2.2. Sanders Formülü

Sanders formülü Dinamik kazık formülleri arasında en basit olanıdır. W_r Ağırlığındaki tokmağın h yüksekliğinden serbet düşmesi ile yapılan işin, kazığın zemine dalma miktarı ile kazığın çakmaya karşı toplam direncinin çarpımına eşit olacağı kabulüne dayanır.

$$Q = \frac{W_r h}{s} \quad (2.31)$$

Bu ifadede çakma sırasında oluşan enerji kayıpları göz önüne alınmamıştır.

2.3.2.3. Engineering News Formülü

Bu formül, serbet düşmeli ve tek tesirli şahmerdanlar için:

$$Q = \frac{W_r h}{S + C} \quad (2.32)$$

Çift tesirli şahmerdanlar için ise:

$$Q = \frac{E_n}{S + C} \quad (2.33)$$

şeklindedir. C enerji kayıplarını gösteren bir değerdir. Bu değer serbet düşmeli şahmerdanlarda 2,5 cm. buharlı şahmerdanlarda ise 0,25 cm. dir. E_n ise çift tesirli bir şahmerdan kullanıldığında tokmağın darbe sırasında uyguladığı enerji olup, makine kataloglarında verilir. Engineering News formülünde güvenlik katsayısı 4-10 arasında alınarak emniyetli yük bulunur.

2.3.2.4 Brix Formülü

$$Q = \frac{W_r W_p h}{s(W_r + W_p)^2} \quad (2.34)$$

şeklindedir. Bu formül kullanılarak emniyetli taşıma gücü bulunmak istendiğinde, 3 ile 5 arasında bir güvenlik sayısı uygulanır. Brix formülü sadece serbet düşmeli şahmerdanlar için kullanılmakta olup, daha ziyade ahşap kazıklar için uygundur.

2.3.2.5. Dutch Formülü

$$Q_1 = \frac{W_r^2 h}{S(W_r + W_p)} \quad (2.35)$$

ve aşağıda benzeri olarak görülen:

2.3.2.6. Ritter Formülü

$$Q_1 = \frac{W_r^2 h}{S(W_r + W_p)} + (W_r + W_p) \quad (2.36)$$

şeklinde yazılırlar. Bu formüllerde serbet düşmeli şahmerdan kullanıldığında güvenlik sayısı 10, buharlı şahmerdan kullanılması halinde ise 6 alınabilir.

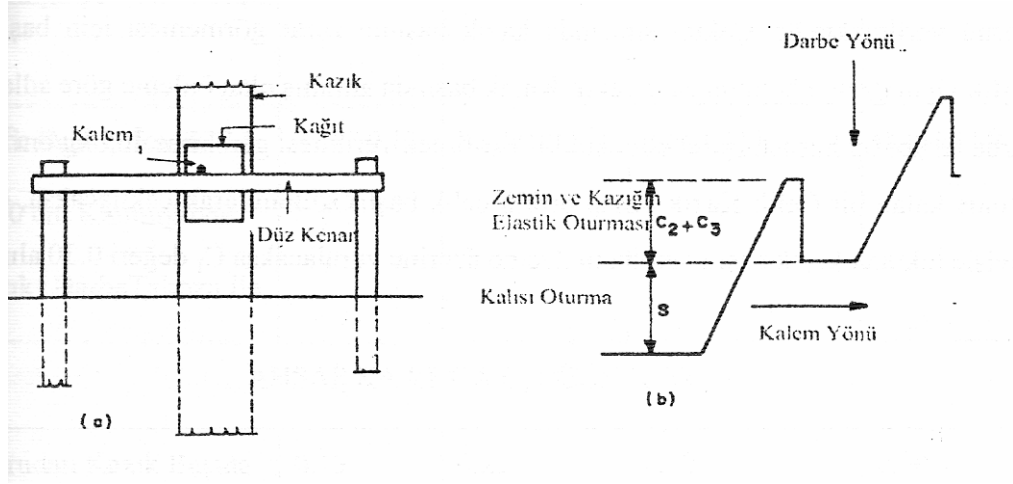
2.3.2.7. Hiley Formülü

En çok kullanılan ve enerji kayıplarını diğer en gerçekçi şekilde göz önüne aldığı söylenen formül budur:

$$Q = \frac{e_f W_r h}{s + \frac{1}{2}(c_1 + c_2 + c_3)} \frac{W_r + e^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.37)$$

burada, e_f tokmak etki katsayısıdır ve 0,65 ile 1.00 arasında değişir. Serbet düşmeli şahmerdanlarda 1.00, buharlı şahmerdanlarda 0.90 ve tanbura sürtünme ile sarılan tel halata

bağlı tokmalarda 0.75 alınabilir. Güvenlik sayısı 3 alınabilir. Kazığın çakılması sırasında C_2 ve C_3 değerleri bulunabilir. (Şekil 2.7). Bu işlem için bir milimetrik kağıt, kazığın üzerine sabitlenir. Kazık çakılırken kalem, milimetrik kağıdın yatay eksenini üzerinde sabit hızda sağa doğru hareket ettirilir. Bu sırada kağıda kazığın düşey hareketi çizilmiş olur. C_2 ve C_3 ölçümleri milimetrik kağıt üzerinden yapılır C_1 değeri çakma sırasında kazık başına düşen gerilmeye bağlı olarak kazığın başındaki takozun ve yastığının elastik kısalmasını; C_2 kazığın elastik kısalmasını, C_3 zeminin elastik kısalmasını, e çarpma sayısını gösterir. Çarpma sayıları (e) Tablo 2.2 den, C_1 değeri ise Tablo 2.3. den alınabilir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 2.7. Kazık ve zeminin elastik sıkışmaları (Chellis, 1961)

Tablo 2.2. Çarpma sayısı (e) nin temsili değerleri (Chellis, 1961)

Malzeme	Çarpma Sayısı
Harabolmuş Ahşap	0
Ucu Bozulmamış Ahşap Kazık	0,25
Sağlam Ahşap Yastıklı Çelik Kazık	0,32-0,40
Çelik Başlıklı Çelik veya Beton Kazık	0,50
Başlıksız Beton Kazık Üstüne Dökme Demir Tokmakla Vurulması Halinde	0,40

Gerek Tablo 2.2.'de verilen çarpma sayısı (e) gerekse Tablo 2.3. de verilen C_1 değerlerinin kazık cinsi ve kazığın çakılması sırasında kazık başının durumu ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Tablo 2.2 özellikle kazık cinsi ile değişen çarpma sayılarını işaret etmektedir. Tablo 2.3. de ise önce kazıkta çakılma sırasında oluşan gerilme durumuna bakılmakta, bu

aşamadan sonra kazığın yapıldığı malzemeye göre ikinci bir ayırım verilmektedir. Çakım sırasında kazık başının zarar görmemesi için baş üzerine yastık vb. malzeme konulması gerekir. Kazık başında alınmış olan önleme göre adlandırılan darbe tertibi bu hususu işaret etmektedir. Bir örnek verilmesi gerekirse 105 kg/cm² gerilme altında kalan bir Çelik Kazık ahşap örtülü çelik başlık kullanılarak çakılacaksa, diğer bir deyişle tokmak kazık başındaki bu malzeme üzerine vurulacaksa C₁ değeri 0,30 alınacaktır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Tablo 2.3. C₁ değerleri (Chellis, 1961)

Çakma sırasında kazık başına düşen gerilme, Q/A (kg/cm ²)	35	70	105	140
Darbe tertibi	ÇELİK KAZIK VEYA BORUDA C ₁ DEĞERLERİ			
Doğrudan kazık başına	0	0	0	0
Ahşap takozlu, çelik örtülü başlıkla	0,10	0,20	0,30	0,40
1 cm kalınlığında iki çelik levha arasında ½ cm kalınlığında fiber contalı başlıkla	0,05	0,1	0,15	0,20
BETONARME KAZIKDA C ₁ DEĞERLERİ				
Kazık başında 1-2 cm. kalınlığında bir altlık ile	0,06	0,13	0,20	0,25
Kazık başlığı içinde 7,5 ila 10 cm kalınlığında yastık+darbe takozu ile	0,18+0,13	0,38+0,25	0,56+0,38	0,75+0,50
AHŞAP KAZIKDA C ₁ DEĞERLERİ				
Doğrudan kazık başına darbeleme ile	0,13	0,25	0,38	0,50

3. EKSENEL DÜŞEY YÜK ALTINDA DAVRANIŞ

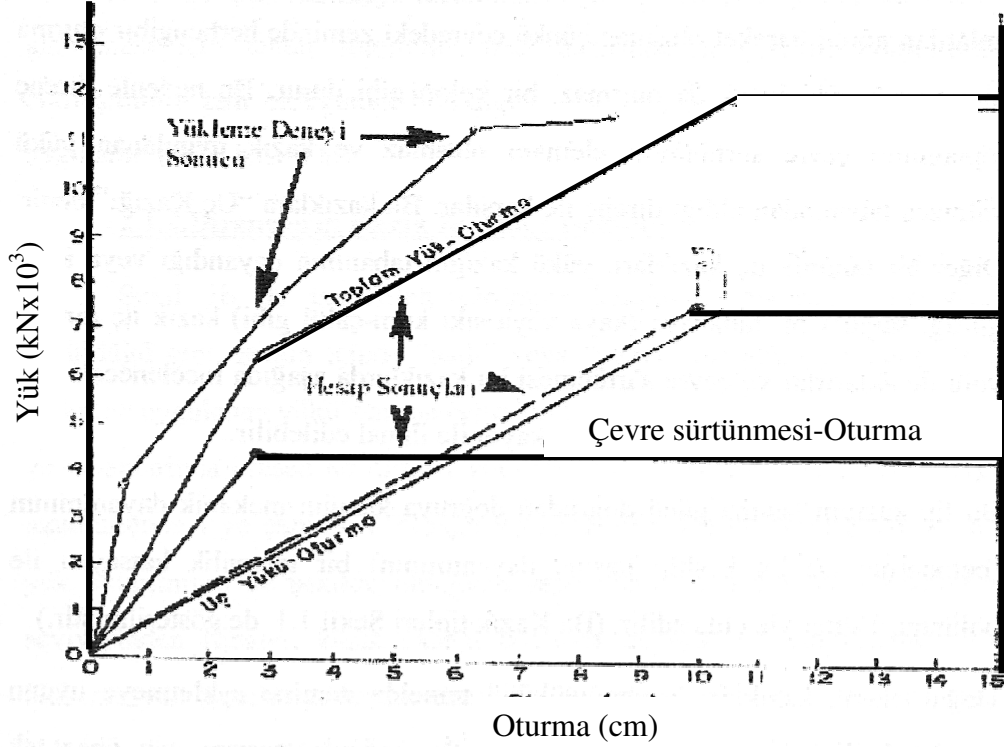
3.1. Sürtünme Kazıklarının Davranışı

Yarı sonsuz bir zemin ortamı içindeki bir kazık yüklendiği zaman bir miktar oturur, bu arada kazık yüzeyi-zemin arasındaki sürtünmeden ötürü çevre zemini de oturur ancak kazık zemine kıyasla daha fazla hareket eder. Bu durumda kazık ile zemin arasındaki yüzeyde zeminin aderans özelliği harekete gelir ve sonuçta kazık yüzeyinde oturma yönüne ters yönde bir sürtünme direnci oluşur. Buna “Çevre Sürtünmesi” denir. Bu hareket sırasında kazığın tabanı da dayandığı zemine basarak bu zemini sıkıştırır. Bu eylem sırasında yüzeysel bir temelin tabanındakine benzer şekilde kazık tabanında bir taşıma gücü veya kazıklara özgü deyimle uç direnci oluşur. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.1. Çevre Sürtünmesi ve Uç Direnci

Kazığın çevre zeminine göre yaptığı göresel hareket sonucu doğan bu iki direnç elemanı bu harekete koşut olarak artarlar ve sonunda kendi sınır değerlerine varırlar. Burada ilginç husus şudur: her iki elemanın sınır değeri farklıdır ve bu değerlere ayrı ayrı oturma değerlerinde ulaşılır. Örneğin genel Alman pratiğine göre oturmaya bağlı olarak oluşan bu direnç elemanlarından “Çevre Sürtünmesi” (Q_c) kazığın zemine rölatif olarak çapın yüzde biri kadar, “Uç Direnci” (Q_u) ise yüzde onu kadar bir hareketi ile sınır değerlerine ulaşılır. Esasen bu hareket değerleri yaklaşık olup zemin tipine göre değişebilir. Bu iki direnç elemanının toplamına kazığın “Toplam Taşıma Gücü” veya kısaca “Taşıma Gücü” (Q_{top}) denir. Oturma ile oluşan direnç, hesap ve deney sonuçları ile Şekil 3.1 de yansıtılmaktadır. Bu konu, tasarım için çok önemlidir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Tasarlanan pek çok kazık, Şekil 3.1. de görülen çevre sürtünmesinin sınır değerinin altında çalışırlar. Bu nedenle son yıllarda yürürlüğe giren pek çok şartname “Uç Direnci” ve “Çevre Sürtünmesi” bileşenlerine ayrı ayrı güvenlik katsayıları uygulanmasını gerekli görmektedir.



Şekil3.1. Kazık davranışı (Birand A.A, Ekim 2001).

Şekil 3.1; belli bir kazık için Yük-Oturma probleminin çözülmesine ilişkindir.

Bu aşamada bu davranış biçimlerine uygun olarak yük taşıma ve iletme kriterine göre;

- i) Sürtünme kazıkları
- ii) Uç kazıkları

olarak ikiye ayırabiliriz. Şöyle ki:

Yarı sonsuz ortam içinde olan kazıkların yüklerini hem çevre sürtünmesi hem de uç direnci yolu ile taşıyacakları yukarıdaki yukarıdaki açıklamalardan anlaşılmaktadır. Bu kazıklara “Sürtünme Kazığı” denilir. Sürtünme kazıkları “Yüzer Kazık” olarak da bilinirler. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kazığın bir yarı sonsuz zemin içinde olmayıp tabanının sağlam bir kaya zemine bastığı düşünülebilir. Bu durumda kazık ile zemin arasında yukarıda anlatılan görelî hareket oluşmaz çünkü çevredeki zeminde herhangi bir oturma olmayacağı gibi kazık da oturmaz, bir kolon gibi durur. Bu nedenle direnç toplamının çevre sürtünmesi elemanı oluşmaz ve kazık uygulanan yükü yalnızca tabanından aldığı direnç ile karşılar. Bu kazıklara “Uç Kazığı” denir. Diğer bir tanımla uç kazıkları, yükü kazığın tabanının dayandığı veya içine girdiği sağlam bir tabakaya (kaya veya sıkı kum-çakıl gibi) kazık uç direnci yolu ile aktarırlar ve çevre sürtünmesi bu kazıklarda aşağıda incelenecek olan davranış tablosu göz önüne alınmak kaydı ile ihmal edilebilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu tip kazığın taşıma gücü doğrudan doğruya kazığın mekanik dayanımının (betonarme ise bu kesitin basınç dayanımının) bir güvenlik katsayısı ile bölünmesi suretiyle elde edilebilir.

Doğal olarak kazıklar, üstyapı yükünü temelde zemine nakletmeye uygun gruplar halinde tasarlanır ve yapılırlar. Bu nedenle tasarım için önce tek kazığın davranışı incelenir ve sonra bu incelemelerden elde edilen sonuçlar, kazığın grup içinde yer alması nedeni ile meydana gelen değişikliklerin hesaba alınabilmesi amacıyla grup davranışı içinde gözönüne alınır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kazıklar, plan görünümünde “Kazık Izgarası” denilen bir plana uygun olarak çakılırlar. Bu ızgara, kare, diktörtgen, daire, altıgen, sekizgen vb. şekillerde olabilir. Bu geometrik şekilde üzerinde kazıkların merkezleri planda tesbit edilir ve bu suretle ara mesafeleri belli olur. Ara mesafeler aksi söylenmedikçe merkezden merkeze alınır. “Kazık Izgarası”nın oluşturulmasında doğal olarak üst yapının şekli rol oynar. Diktörtgen şeklindeki bir bina için bu diktörtgen, silindirselsel bir su deposunun dairesel tabanı için ise dairesel biçimde tasarlanır. Bu ızgara, aynı zamanda bütün kazıkların başlarını monolitik, büyük bir yüzeysel temel içinde içine alacak şekilde tasarlanan bir “Kazık Başlığı”nın plandaki görünümü olur. “Kazık Başlığı” esasen tüm kazıkların başlıklarının içine gömüldüğü bir betonarme radyedir. Radye, mekanik açıdan rijit veya esnek olabilir. Kazıkların mekanik davranışı da bu esneklik derecesine göre değişir. Tasarıma genellikle kazık başlığı radyenin zemine değmediği varsayımı ile yaklaşılır. Zira genelde, bu başlığın altındaki zemin, özensiz gevşek dolgudur. Doğal zemin ise, kuruma ya da su etkisi ile oturarak radye tabanından ayrılır. Radyenin, yükün bir kısmını alabilmesi için taban zemininin özel hazırlanması gerekir. Zemin-radye etkileşiminin tam olduğunun bilindiği bu haller için özel çözüm yöntemleri uygulanır. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.2. Dirençlerin Kazık Boyunca Dağılımı

Şekil 1.2c de gösterilen sürtünme kazıkları, yukarıdaki paragrafta görüldüğü gibi, zemin içinde “asılı” veya “yüzer” bir şekilde bulunurlar ve üstlerine uygulanan yükü zemine çeperlerinde meydana gelen sürtünme direnci ve tabanlarında oluşan uç direnci yolu ile ileterek taşırlar. Böyle bir kazığın uzunluğunu ℓ ve çapının d olduğu varsayılabilir. Bu kazıktan çevre zemine yük aktarımının ne şekilde olduğunu saptamanın en kolay yolu kazık başı seviyesinden itibaren kazık eksen boyunca değişik z derinliklerine birim deformasyon ölçerler yerleştirmektir. Bu ölçümler sonucunda kazık ekseninde belirlenen kuvvet $Q(z)$, derinliğe (z) karşı çizilirse, bu yük aktarımının derinlikle değişimi bulunabilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu eğrinin $z = \ell$ derinliğinde işaret ettiği kuvvet kazık ucu kuvveti Q_u ise çevre sürtünmesi kuvveti $Q_\varphi = Q - Q_u$ olacaktır. Buradan p çevre uzunluğu olmak üzere birim alana gelen çevre sürtünmesi aşağıdaki gibi yazılır: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$f_s = -\frac{1}{p} \frac{dQ}{dz} \quad (3.1)$$

$Q(z)$ derinlik boyunca azaldıkça f_s pozitif olur. Bunun tersi durum; negatif çevre sürtünmesidir. Deneysel ölçümlerle saptanan $Q(z)$ eğrisi kullanılarak kazığın her hangibir z derinliğindeki düşey ötelenmesi $p(z)$ hesaplanabilir. Bu hesap için kazığın elastik modülü (E) ile kesit alanı (A) bilinmeli ve kazık başının ötelenmesi $p(0)$ da ölçülmüş olmalıdır. Bu durumda aşağıdaki bağıntı elde edilebilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

$$p(z) = p(0) - \frac{1}{AE} \int_0^z Q(z) dz \quad (3.2)$$

Kazığın değişik derinliklerindeki ötelenme miktarlarını saptamanın diğer bir yolu ise birim deformasyon çubukları kullanmaktır. Bu çubuklar, kazık derinliği boyunca çeşitli derinliklerde kazık gövdesine bağlanmış olan basit çelik çubuklardır. Uzunlukları zemin yüzeyine kadar olduğundan buraya konulan bir ölçüm aracı ile kazık gövdesinde bulundukları seviyeye göre ötelenme miktarını saptamak mümkün olmaktadır. Bu durumda; ölçülen ötelenme miktarları (p), derinliğe (z) karşı çizilirse (3.2) bağıntısı ile aşağıdaki ifade yazılabilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

$$Q(z) = AE \frac{dp}{dz} \quad (3.3)$$

Buradan çevre sürtünmesi (3.1) bağıntısı ile bulunabilir.

Esasen yük aktarımı analizi yapılmasına yönelik olan tüm teorik yöntemler bu şekilde transfer fonksiyonu veya elastik ortam yaklaşımlarından birini takip ederler.

Transfer fonksiyonu yaklaşımında kazık uzunluğu $l = n l_i$ olacak şekilde l_i uzunluğunda n eşit elemana bölünür.

Her bir (i) elemanında eksenel yük Q_i belli olunca çevre sürtünmesi f_{si} aşağıdaki basit statik bağıntı ile saptanabilir.

$$f_{si} = \frac{Q_i - Q_{i-1}}{p l_i} = \frac{\Delta Q_i}{p l_i} \quad (3.4)$$

Elemanların ağırlık merkezlerinin düşey ötelenmesi zemin ve kazık oturmasının eşit olduğu kabulü ile aşağıdaki mukavemet denklemler ile bulunabilir.

$$\Delta p_i = p_{i+1} - p_i = \frac{Q_i l_i}{EA} \quad (3.5)$$

Kazık başının oturması $p(0)$ ile kazık ucunun oturması $p(1)$ için bu denklemlere benzer şekilde yazılacak iki bağıntı da eklenir. Bu şekilde $n+2$ ötelenme miktarına karşı $n+1$ denklem elde edilir. Eksenel kuvvetler biliniyor ise ve kazık başı/kazık ucu ötelenmesi bilinmekte veya varsayılmakta ise diğer tüm ötelenmeler saptanabilir. Eleman eksen kuvvetleri Q_i ise ötelenme; transfer fonksiyonu denilen fonksiyonlar aracılığı ile bulunur. Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1} = f(p_i) \quad (3.6)$$

Kimi araştırmacı tarafından değişik transfer fonksiyonları teorik olarak üretilmiştir. Kimi araştırmacı ise bu fonksiyonun deneysel olarak bulunmasını önermektedirler. Literatürde ileri sürülmüş olan bazı transfer fonksiyonlarının açık ifadeleri aşağıda yer almaktadır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kezdi (1957) tarafından önerilen yöntem; silo basınçlarını hesaplamakta da kullanılan kemerlenme teorisine dayanmaktadır. (Birand A.A, Ekim 2001).

$$f = K_0 \times \gamma \times z \tan \phi \times \left\{ 1 - \exp\left[\frac{-kp}{p(0) - p}\right] \right\} \quad \text{Kezdi (1957)}$$

$$f = K \left[\sqrt{\frac{P}{P(0)}} - \frac{P}{P(0)} \right] \quad \text{Reese ve arkadaşları (1969)}$$

$$f = K \times \gamma_w \times \left(\frac{\sigma}{p}\right)^n \times w \times \left[1 - \frac{R_f}{\sigma \tan \delta} \right] \quad \text{Holloway (1975)}$$

Deneyisel olarak elde edilen diğer bazı transfer fonksiyonlarına referanslar ise Tablo 3.1. de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Transfer fonksiyonları

Teklif Eden Araştırmacı	Transfer Fonksiyonu
Seed ve Reesel (1955)	Deneyisel
Reese (1964)	Deneyisel
Coyle ve Reese (1966)	Deneyisel

Görüldüğü gibi transfer fonksiyonları bir elemanın ötelenmesi ile o elemandan transfer edilen yük arasında ilişki kurarlar. Bu yaklaşımda bir elemanın davranışında diğer elemanların çevre yüklerinin aktarımından dolayı oluşabilecek sapmalar gözönüne alınmamıştır. Diğer bir anlatımla kazığı çevreleyen zemin; yük ötelenme açısından doğrusal olmayan bir davranış gösteren yaylarla temsil edilmektedir. Bu yaylar, her elemanın ortasında yer almakta ve birbirlerinden bağımsız davranmaktadırlar. Ancak zemine aktarılan her yük; yukarıdaki ve aşağıdaki elemanları da etkiler. Dolayısı ile transfer fonksiyonu fikri; gerçeği tam olarak yansıtamamaktadır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu gerçekdışı durumu bir anlamda düzeltebilmek amacı ile elastik ortam teorisi kullanılarak yapılan yaklaşımlar söz konusu olmuştur. Bu teorinin uygulanmasında ortamın doğrusal elastik davranan, homojen ve isotrop olduğu varsayımı yapılır. Bu yaklaşımda kazık ötelenme miktarları p^{wi} ile zeminin ötelenme miktarları s^{wi} farklı kabul edilebilmektedir. Bu ek bir avantajdır. Bu yaklaşım sonunda (3.6) ile genel şekli verilen transfer fonksiyonu bağıntılarının yerine aşağıdaki şekilde “n” adet denklem gelecektir: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$s^{wi} = \frac{d}{E_s} \sum_{j=1}^n I_{ij} f_j + I_{ip} q_p \quad (3.7)$$

buna kazık ucunun oturmasını tanımlayan aşağıdaki denklem de eklenir:

$$w(1) = \frac{d}{E_s} \sum_{j=1}^n I_{pj} f_j + I_{pp} q_p \quad (3.8)$$

Bu denklemlerde d kazık çapıdır. Çift alt indisli I katsayıları ise i elemanlarının ΔQ_j kuvvetinin etkisi ile oluşan oturmalara etkin olan katsayılarıdır. Bu katsayılar yarı-sonsuz doğrusal elastik ortam içindeki bir nokta yükün yarattığı gerilme ve ötelenme hesabı için Mindlin (1936) tarafından önerilen çözümler kullanılarak bulunur. (Birand A.A, Ekim 2001). Bu durumda yukarıdaki (3.7) ve (3.8) denklemlerine; kazık ile zemin arasında bir ayrılma olmadığı varsayımı ile ($p^{wi} = s^{wi}$) yazılabilen n adet denklem eklenir:

$$p^{w^{i+1}} - p^{w^i} = \frac{Ql_i}{EA} \quad (3.9)$$

Kazık-zemin ayrılmasının söz konusu olması halinde (3.9) ifadesi:

$$\Delta Q_j = fPl_i \quad (3.10)$$

olarak yazılabilir. Burada f ilgi alanındaki noktada oluşabilecek sınır çevre sürtünmesi değeridir. Literatürde bu yaklaşım ile çözüme yönelmiş olan değişik bazı yöntemler Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.

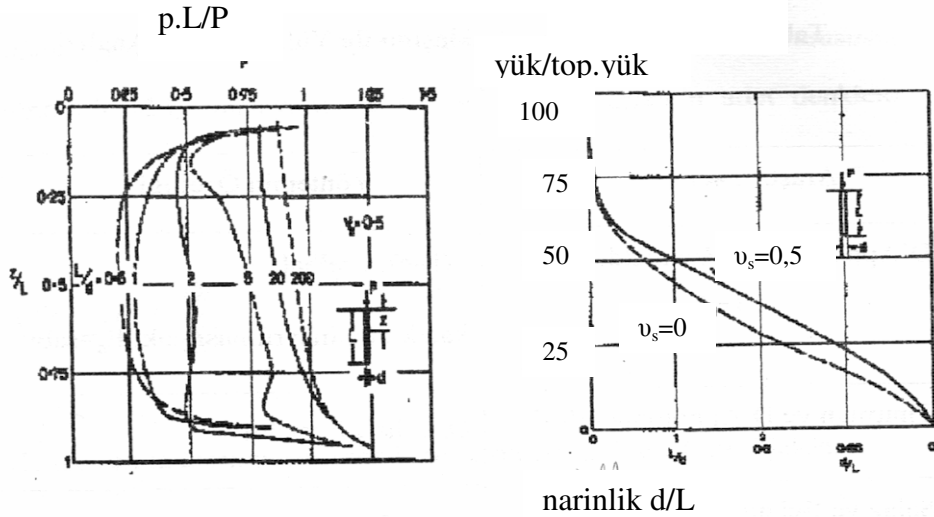
Kazıkların davranış mekanizmasını iyice kavrayabilmek için önce gerek sürtünme ve gerekse uç direncinin nitelikleri hakkında fikir sahibi olunması gereklidir.

Tablo 3.2. den de görülebileceği gibi başta Poulos ve çalışma arkadaşları olmak üzere çeşitli ilim adamlarının bu aşamaya kadar özetlenen genel çizgiyi izleyerek ve özellikle sonlu elemanlar yöntemini başarılı çözüm ağırları ve sınır şartları ile beraber kullanmaları ile yıllarca sistematik bir şekilde yürütülen çalışmalar sonucunda bu hususta epey yol alınmıştır.

Tablo 3.2. Elastik ortam yaklaşımı ile yük transferi analizi

Araştırmacı	Yöntemin Özeliği
D'Appolonia ve Romualdi (1963)	$P(1)=0$; özel hal; Kazık-zemin ayrılması yok; $E_s=sabit$
Thurman ve D'Appolonia (1965)	Özel hal; $E_s=sabit$
Salaz ve Belzunce (1965)	$E=\infty$; $E_s=sabit$; kazık-zemin ayrılması yok
Pichumani ve D'Appolonia (1967)	Gruplar; özel hal; $E_s=sabit$
Poulos ve Davis (1969)	$E=\infty$; $E_s=sabit$; genel hal; $E_s=sabit$;
Poulos (1968)	Gruplar; genel hal; $E=\infty$; $E_s=sabit$
Mattes ve Poulos (1969)	Genel hal; $E_s=sabit$
Poulos ve Mattes (1969)	$P(1)=0$; genel hal; $E_s=sabit$
Poulos ve Mattes (1971)	Gruplar; genel hal; $E_s=sabit$
Poulos ve Mattes (1971, 1974)	Gruplar; genel hal; tabakalı zemin

Aşağıda Şekil 3.2 ile sunulan çevre sürtünmesi çözümleri bu süreç içinde elde edilmişlerdir. Bu şekil; rijit, sıkışamaz bir kazık için sol tarafta sürtünme direncinin derinliğe göre dağılımını göstermektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).



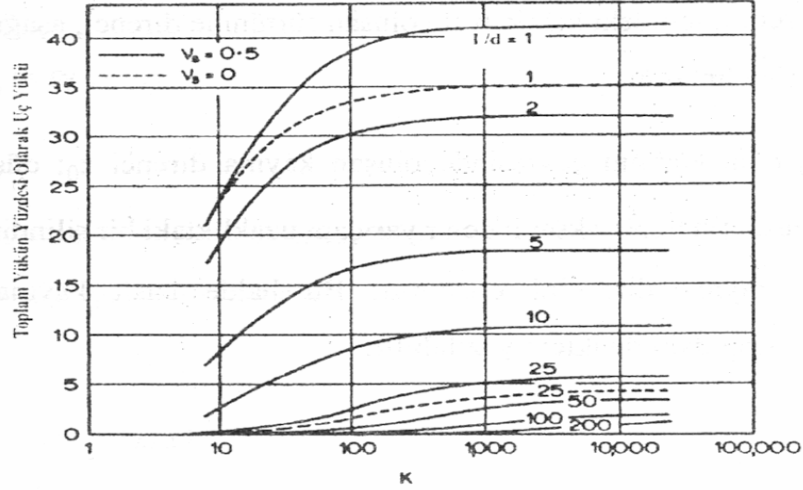
Şekil 3.2. (Poulos ve Davis, 1968a)'e göre
Rijit kazık yüzünde sürtünmenin dağılımı ve tabana yük aktarımı (Birand A.A, Ekim 2001).

Burada düşey eksen z derinlik, L kazık boyu olmak üzere boyutsuz derinlik değişkeni z/L şeklinde gösterilmektedir. Yatay eksen ortalama sürtünme direncini göstermektedir. Bu direnç, kazık yüzeyindeki p birim sürtünme gerilmesinin kazık yüzeyi ile çarpılmasının

kazığa uygulanan P yüküne bölünmesi ile elde edilmiş olan bir boyutsuz değişken olarak verilmiştir. Çap, uzunluk gibi diğer değişkenler şekilde tanımlanmışlardır. Değişim 0,5 den başlayıp 200 e kadar giden çok geniş bir “narinlik oranı” (kazık uzunluğu/kazık çapı) yelpazesi için ayrı ayrı eğrilerle gösterilmektedir. Pratikte çoğunlukla geçerli olan narinlik oranları göz önüne alındığında (20-35 gibi) zemin yüzeyinden kazık ucuna doğru çevre sürtünme direncinin artan bir eğilim içinde olduğu görülmektedir. (Örneğin: Uygulanan yükün yaklaşık olarak yüzde sekseni gibi bir rakam yüzeye yakın kesimde, yüzde yüz yirmisi gibi bir rakam tabana yakın kesimde görülüyor.) Ancak kazığın yaklaşık yüzde yetmişbeş derinliğe karşı gelen bir kısmında ise bu artışın; göreceli olarak daha az olduğu gözlenmektedir. Bu husus, rijit kazıklarda sürtünme direncinin derinlikle uniform bir dağılım gösterdiği varsayımını kabul eden araştırmacıların görüşlerini bir anlamda destekler niteliktedir. (Birand A.A, Ekim 2001).

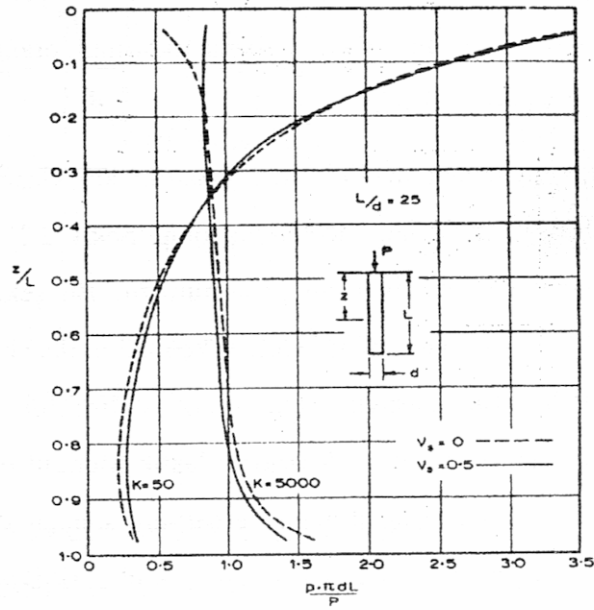
Aynı şekilde sağda; rijit bir kazık için; kazık başındaki toplam yükün kazık tabanına aktarılan miktarı yüzde olarak (kazık malzemesinin iki değişik poisson oranı için) gösterilmektedir. Bu şekilde dikey eksen,kazık tabanına itilen yükün toplam kazık yüküne oranını, yatay eksen ise kazık uzunluğunun kazık çapına oranını (narinlik oranını veya dolaylı olarak kazık uzunluğunu) göstermektedir. Bu şekil; yukarıdaki paragrafta işaret edilen pratik narinlik oranları (20-35 gibi) için, toplam yükün tabana aktarılan oranının düşük olduğunu (% 5 gibi) ortaya koymaktadır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Gerçekte kazıklar, rijit elemanlar değildirler. Sıkışabilir kazıkların davranışı Mattes ve Poulos (1969) tarafından incelenmiş olup Şekil 3.3. de bu tip kazıklar için kazık tabanına yük aktarımı gösterilmiştir. Bu şekilde, yatay eksen de kazıkların oturmaları incelenirken kullanılacak olan bir K katsayısı yer almaktadır. Bu katsayı; kazığın sıkışabilirliğini hesaba ve gösterime almak amacı ile kullanılır ve Kazığın Elastik Modülü ile Zeminin Elastik Modülünün oranının kazık kesit alanı ile çarpımı sonucunda bulunur. Bu halde özellikle pratikte geçerli olan kazık narinlik oranları (1/d) ve K (1000-10000) değerleri için elde edilen sonuçlar Şekil 3.2. ile elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında, kazığın sıkışabilirliğinin tabana aktarılan yük oranını ciddi bir şekilde azalttığını ve bu oranın rijit kazığın davranışı içinde yukarıda görülen oranda daha da az olduğunu göstermektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 3.3. (Mattes ve Poulos, 1969)'e göre Sıkışabilir kazıkta tabana yük aktarımı (Birand A.A, Ekim 2001).

Aşağıdaki Şekil 3.4 ise sıkışabilir bir kazıkta çevre sürtünmesi dağılımını narinlik oranının pratikte çok kullanılan bir değeri olan 25 için göstermektedir. Bu şekilde de Şekil 3.2. de kullanılan semboller kullanılmıştır. Pratikte geçerli olan bir $K=5000$ katsayısı için sürtünmenin uniform sayılabileceği görülmektedir.



Şekil 3.4. (Mattes ve Poulos, 1969)'e göre Sıkışabilir kazık yüzünde sürtünmenin dağılımı (Birand A.A, Ekim 2001).

Yukarıdaki gözlemlerden hareketle bir kazığın çevre sürtünmesinin kazık boyunca uniform olduğu ve uç direncinin ihmal edilebileceği kabulü yapılırsa bir kazığın zemin içindeki hareketi ile oluşan sürtünme direnci, aşağıdaki basit yaklaşımla ele alınabilir: (Birand A.A, Ekim 2001).

Yarıçapı r_0 olan kazığın çevresinde oluşan kayma direnci τ_0 ; düşey denge sağlanabilmesi için kazık ekseninden r yarıçapı uzaklıktaki bir silindrsel yüzey üzerinde τ kayma direncini oluşturur. Bu halde basit kayma durumu varsayılarak aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\tau = \frac{\tau_0 r_0}{r} \quad (3.11)$$

Diğer taraftan, birim kayma ötelenmesi γ , oturma w olmak üzere $\gamma = dw/dr$ yazılabilir. G kayma modülü ($G = \tau/\gamma$) kullanılarak (3.11)' de yerine konur ve oturma'nın hesaplanması için etki yarıçapı boyunca birim kayma ötelenmesinin integrali alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$w = \int_r^{r_m} \gamma dr = \int_r^{r_m} \frac{\tau}{G} dr = \int_r^{r_m} \frac{\tau_0 r_0}{Gr} dr = \frac{\tau_0 r_0}{G} \ln \frac{r_m}{r} \quad (3.12)$$

Burada r_m , kazık çevresindeki gerilmenin dağılarak erişebileceği maksimum uzaklıktır. Araştırmacılar kayma birim ötelenmesinin sıfır olduğu ($\gamma = 0$) durumun geçerli olacağı bu uzaklığın değeri için çeşitli varsayımlar ileri sürmüşlerdir. Örneğin Randolph ve Wroth (1978) bu uzaklığın kazık uzunluğuna eşit olduğunu ileri sürerken Scott (1981) de bu uzaklığı 25 kazık çapı olarak kabul etmektedir. Esasen, pratikte çok kullanılan bir narinlik oranı olan $l/d=25$ için iki araştırmacının görüşleri çakışmaktadır.

Kazığın taşıdığı yük $P = 2\pi r_0 L \tau_0$ ve dolayısı ile:

$$\tau_0 = P / 2\pi r_0 L \quad (3.13)$$

olduğundan devamlı (3.12) bağıntısı kullanılarak kazığın yük-oturma niteliğini tanımlayan bir “yatak katsayısı”:

$$K = \frac{P}{w_0} = \frac{2\pi LG}{\ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right)} \quad (3.14)$$

şeklinde elde edilir. k parametresinin bilinmesi ile kazığın belli bir yük altındaki oturma miktarı saptanabilecektir. Kazık uzunluğu, yarıçapı ve zeminin kayma modülü bilinen

özelliklerdir. Gerilme etkisinin erişebileceği uzaklığı tanımlayan r_m/r_o oranının bilinmesi halinde ise k parametresi kolayca hesaplanabilecektir. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.3. Zemin İçinde Gerilme Dağılımı

Kazıklardan çevre zemine iletilen gerilmelerin bu ortam içinde yayılmaları üstünde durulmağa değer bir konudur:

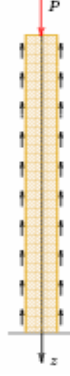
Kazıklar gruplar halinde oluşturuldukları için bu grupların başlıklarının altından itibaren yer alan zemin tabakalarına aktarılan gerilmeler, gerek oturma gerekse taşıma gücü açısından incelenmeğe değer. Ayrıca, grup içindeki kazıkların çevresinde meydana gelen gerilme dağılımı da bu gerilmelerin komşu kazıklardan gelen gerilmelerle yaptıkları girişimlerin incelenmesi bakımından ilginçtir.

Ancak, bu gerilme dağılımının incelenmesinde aşağıdaki zorluklar vardır: (Birand A.A, Ekim 2001).

- Kazık başlığının taban zemini ile temas halinde olması durumunda gerilme dağılışı karmaşıklaşır.
- Kazıklararası gerilme girişimi, gerilme dağılımını karmaşıklaştırır.
- Konsolidasyon, tiksotropi, taban suyu seviyesinin değişmesi, zamana bağlı yükler gibi zamana bağlı olaylar, gerilme durumlarını değiştirirler.

Yukarıdaki etmenler bir yana bırakılırsa, gerilme dağılımı zeminin elastik bir yarı ortam olarak kabul edilmesi ile saptanabilmektedir. Yukarıda anlatıldığı gibi bu çözümler, doğrusal elastik yarı ortam içine gömülü bir nokta yükün yarattığı gerilme dağılımı için Mindlin (1936) tarafından verilmiş olan ve (3.9), (3.10) denklemlerine yol açan çözümler aynı şekilde kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yol ile Geddes (1960) tarafından gerçekleştirilmiş olan bir dağılım çözümü aşağıda sunulmaktadır. Bu yaklaşımda:

- Kazık yükünün yalnız kazık tabanından yayıldığı,
- Yayılmının uniform bir çevre sürtünmesi nedeni ile oluştuğu ve
- Çevre sürtünmesinin derinlikle doğrusal olarak arttığı kabulleri ile üç ayrı çözüm elde edilmiştir:



Şekil 3.5. Kazık ve üniform çevre sürtünmesi

3.1.2. kısmında sunulan gerilme dağılımı hakkında yapılmış olan gözlemler göz önüne alınarak Geddes'in (1960) "ortalama çevre sürtünmesinin kazık boyunca üniform olarak yayıldığı" kabulüne dayanan çözümü sunulmaktadır. Diğer varsayımlara dayanan çözümler ise literatürde mevcuttur. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu çözüme göre Kazık-Zemin etkileşimi nedeni ile zemin içinde çevre sürtünmesinden dolayı herhangi bir noktadaki düşey gerilme:

$$\sigma_v = K_z (P / l^2) \quad (3.15)$$

ifadesi ile saptanır. Bu ifadedeki ve Şekil 3.5. deki semboller aşağıda açıklanmaktadır:

σ_v = Düşey Gerilme,

K_z = Gerilme Katsayısı

P = Kazığa Uygulanan Yük

l = Kazık Uzunluğu

d = Kazık Çapı

r = Kazık Ekseninden uzaklık

z = Yüzeyden İtibaren Derinlik

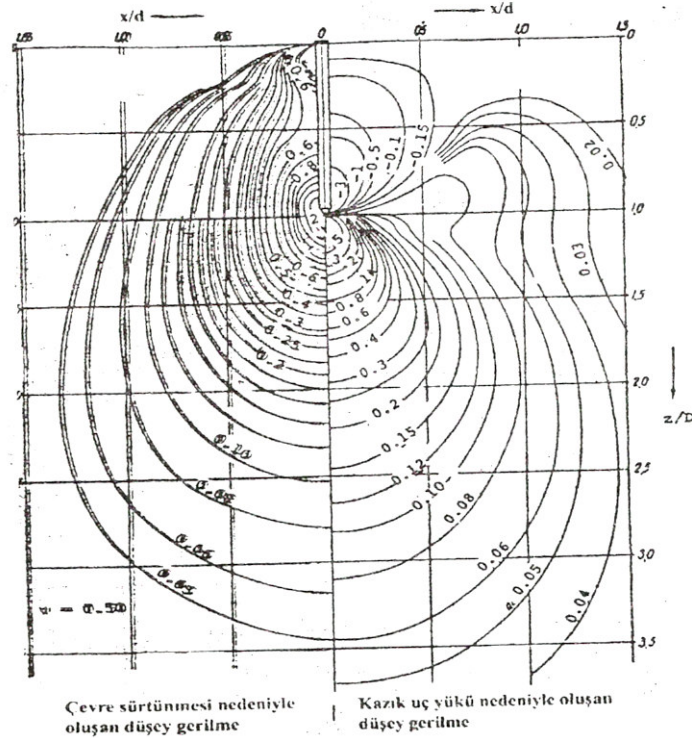
Gerilme Katsayısı K_z ; $M = z/d$; $N = r/d$ boyutsuz değişkenleri ile Tablo 3.3. kullanılarak elde edilir. Bu Tabloda düşey kolonda M yatay kolonda ise N yer almaktadır. Ara değerler için interpolasyon yapılabilir.

Tablo 3.3. Gerilme katsayısı değerleri ($\nu = 0,3$; eksi işareti sıkışma gösterir)

M/N	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.50	1.0	2.0
1.0		-6.8149	-3.4044	-2.2673	-1.6983	-1.3567	-0.8998	-0.6695	-0.2346	-0.0686	-0.0076
1.1	-1.9219	-1.8611	-1.7072	-1.5134	-1.3211	-1.1503	-0.8368	-0.6419	-0.2335	-0.0728	-0.0091
1.2	-0.9699	-0.9403	-0.9166	-0.8825	-0.8400	-0.7922	-0.6688	-0.5586	-0.2292	-0.0760	-0.0105
1.3	-0.6430	-0.6189	-0.6099	-0.5992	-0.5850	-0.5675	-0.5157	-0.4597	-0.2207	-0.0782	-0.0120
1.4	-0.4867	-0.4558	-0.4507	-0.4461	-0.4396	-0.4316	-0.4063	-0.3761	-0.2082	-0.0796	-0.0134
1.5	-0.3766	-0.3561	-0.3533	-0.3510	-0.3476	-0.3432	-0.3291	-0.3115	-0.1934	-0.0800	-0.0148
1.6	-0.3339	-0.2895	-0.2878	-0.2863	-0.2843	-0.2817	-0.2732	-0.2621	-0.1777	-0.0796	-0.0160
1.7	-0.2664	-0.2438	-0.2414	-0.2399	-0.2384	-0.2369	-0.2313	-0.2239	-0.1623	-0.0784	-0.0172
1.8	-0.2025	-0.2065	-0.2054	-0.2044	-0.2038	-0.2026	-0.1989	-0.1938	-0.1479	-0.0766	-0.0182
1.9	-0.1847	-0.1794	-0.1785	-0.1777	-0.1768	-0.1760	-0.1733	-0.1696	-0.1347	-0.0744	-0.0191
2.0	-0.1634	-0.1565	-0.1561	-0.1556	-0.1551	-0.1545	-0.1525	-0.1498	-0.1229	-0.0718	-0.0199

(Geddes, 1960)

Grillo'nun (1948) çözümü uyarınca bir sürtünme kazığının P yükünün dağılarak aynı bir σ_v düşey gerilmesi yarattığı noktaların birleştirilmesi ile elde edilen "Eşdeğer Gerilme Eğrileri" Şekil 3.6 da örnek olarak gösterilmiştir. Bu eğrilere literatürde "Basınç Soğanları" denilmektedir. Geddes'in (1963) çözümü uyarınca verilmiş olan Tablo 3.3. yardımı ile de benzer bir takım çizimi kolayca elde edilebilir. (Birand A.A, Ekim 2001).



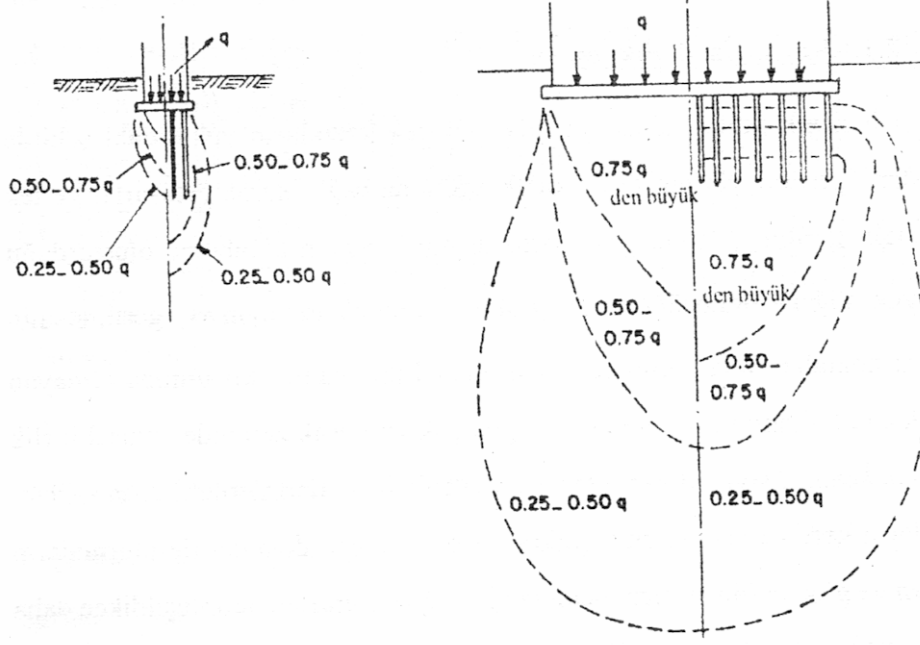
Şekil 3.6. (Grillo, 1948)'e göre, Kazık çevresinde eşgerilme eğrileri (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.4. Kazık-Kazık Etkileşmesi

Bir kazık grubu içinde yer alan tek tek kazıkların yukarıdaki şekilde gösterilen “gerilme yörüngeleri”, kazık aralığına bağlı olarak örtüşürler ve tek bir kazığın gerilme soğanı, grup kazıklarının hepsinin beraberce oluşturduğu bir büyük soğana dönüşür. Kazık grubu tabanında ise aynı σ_v gerilmesinin çakıştığı noktalar daha derinlere kayar. Genellikle çamur kıvamında olmayan ancak kazık kullanılmasını gerektiren pek çok yumuşak zeminde, sıkışabilirlik derinlikle azalır. Dayanım ise artar. Bu nedenledir ki derinlerdeki daha sağlam tabakaların gerilmelerin önemli miktarını üstlenmesi, dolayısı ile oturmaların azalması ve güvenliğin artması beklenebilir. Diğer taraftan derinleştikçe daha zayıf zemine girilmesi halinde ise kazıklardan beklenen randımanın alınamayacağı aşıkardır. Zemin etüdü sırasında sondaj derinliklerinin, plan görünümünde yapının kısa boyutunun en az 1.5-2.0 misli olması gereğinin önemi bu şekilde bir kere daha vurgulanmış olmaktadır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Ancak, yapı genişliğinin kazık boyuna oranla artması halinde kazıklı temellerin yüzeysel temellere göre önemli bir farkı olan bu özellik anlamını kaybedebilir. Bu durum Şekil 3.7 de sol tarafta dar, sağ tarafta ise geniş bir yapının radye veya kazıklı temel üzerine oturtulmaları halleri kıyaslanmak sureti ile görülebilecektir: (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu şekilde hem sağda hem solda bulunan hallerde (şekillerde) simetri eksenindeki basınç soğan yörüngesi radye temel, sağdaki ise kazıklı temel için geçerlidir. Her iki yapı da aynı bir q yükünü zemine ileteceklerdir. Kazık boyları aynıdır. Ancak dar bir yapıda kazıklar yükleri derinlere indirirken geniş yapıda kazıklar bu yapı genişliğine kıyasla yeterli uzunlukta olmadıkları için yükleri radye temeldeki duruma nazaran zeminin derinliklerine nakletmede etkili olamamaktadırlar. Özetle geniş bir yapıda görece olarak kısa kalan kazıklar nedeni ile kazıklı temel ile radye temel davranışı arasında bir fark olmayabilir. Kazıklı Temel-Radye Temel kıyaslaması yapılırken bu nokta göz önüne alınmalıdır. (Birand A.A, Ekim 2001).



Şekil 3.7. Yapı genişliği-kazık uzunluğu etkileri (Chellis, 1961)

Öte yandan, kazık gruplarında, kazıkların zeminde yarattığı gerilme yörüngelerinin birbirine girişimi sonucu, ortadaki kazıkların etrafındaki zeminde oluşan yeni gerilmeler, kenar kazıkların çevresindeki zemine göre daha büyük olurlar. Kazık grubunun esnek bir kazık başlığına bağlandığı kabul edilirse, ortadaki kazılar daha fazla otururlar. Diğer taraftan, eğer kazık başlığı rijit ise kazıklar eşit miktarda oturmaya zorlanacaklarından dolayı bu durumda en kenardaki kazıkların ortadaki kazıklara göre daha fazla yük taşıması gerekir. Bu fark % 20 - % 30'lara kadar ulaşabilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Kazıklar arası etkileşim nedeni ile yüzer kazık gruplarında orta kazıkların arasındaki zeminde gerilme birikmesi olacağından dolayı bu alandaki zemin taşıma güçleri yerel olarak aşılabılır. Bu nedenle bir kazık grubunun taşıma gücü, kazıkların tek tek taşıma güçlerinin toplanması sonucu bulunan değerden daha küçük olur. Buna “Grup Etkisi” denir ve projelendirmede göz önüne alınması gereken önemli bir husustur. Halen tartışılan bir konu olmakla beraber model kazık deneylerinden elde edilen bilgilere göre kazıklar arasındaki mesafe 8 kazık çapının üstünde ise kazıklar arası etkileşim olmaz. Bu mesafenin kazık çapının 2 mislinden az olması halinde ise etkileşim o kadar fazla olur ki kazıklar arasındaki zemin kırılma noktasına ulaşarak tamamen plastikleşir ve çevresindeki kazıklarla beraberce bir blok gibi davranır. Diğer taraftan kazık aksları arasındaki uzaklığın artması halinde kazık başlarının üzerinde yer alarak bunları birleştiren kazık radyesindeki moment etkisi artar. Ekonomik olmayan bir yapı meydana gelir. Bütün bu gözlemler tasarımda kazık aksları arasında genellikle 3.5 ila 4.5 kazık çapı aralıkları kullanılması adet haline getirmiştir. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.5. Örselenmiş Zeminlerde Direnç Değişimleri

3.1.5.1. Thixotropi

Sürtünme kazıklarının yakından ilgilendiren bir başka husus da örselenmiş killerde “zamanla direnç kazanımı” (thixotropy) denen bir olaydır. Killi zeminde sürtünme kazığının çevre sürtünmesi en fazla kilin kayma dayanımı kadar olabilir. Kazık yüzeyi ile zemin arasındaki yapışkanlık (adhezyon) zeminin kayma dayanımından fazla olsa bile, kazığa zemin dayanımını aşacak şekilde bir yük tatbik edildiği zaman, zemin, kazığın zeminle temas yüzeyine çok yakın bir mesafede kendi içinde yırtılarak kazığın göçmesine neden olur. (Birand A.A, Ekim 2001).

Öte yandan killi zeminlerde drenajsız kayma dayanımı zeminin örselenmesi ile önemli ölçüde azalır ancak zamanla yeniden artar. Bu olay “thixotropy” olarak bilinir. Kazık çakılırken zemin örseleneceğinden dayanımı azalır. Çevre sürtünmesi de zemin dayanımının bir fonksiyonu olduğundan, kazığın zemine çakılmasından hemen sonra, azalan dayanım yüzünden kazığın taşıma gücü de nisbeten düşüktür. Zaman geçip dayanım artınca kazığın taşıyabileceği yük de artar. Bu nedenle, kazıkların taşıma güçlerini saptamak için yapılan ve ileride anlatılacak olan kazık yükleme deneyleri, killi zeminlerde, kazığın yapımından bir zaman geçtikten sonra uygulanmalıdır. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.5.2. Sıvılaşma

Yer altı suyu altındaki ince kum ve siltli kumlarda da, kazık çakılırken boşluk suyu basıncı artar. Bu durumda efektif gerilme sıfırlanabilir ve zemin sıvılaşarak direncini kaybeder. Bu geçici bir olaydır. Çünkü boşluk suyu artık basıncı, çakma işleminden sonra zamanla söner ve zemin eski dayanımını yeniden kazanır. (Birand A.A, Ekim 2001).

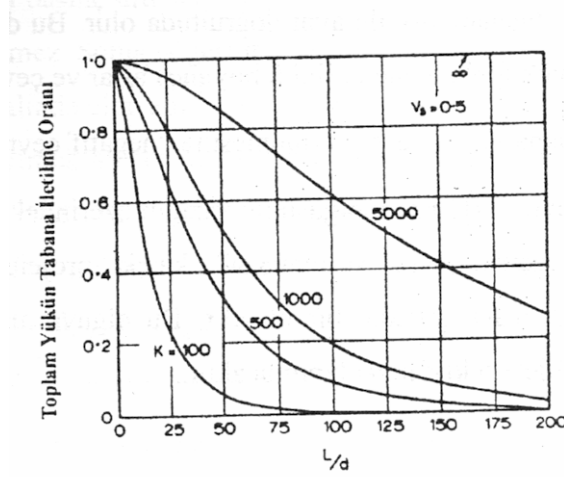
3.2. Uç Kazıklarının Davranışı

3.2.1. Yüklerin Aktarılması

Uç kazıklarının, üzerlerindeki yükü aşağıda bulunan sağlam tabakaya kazık ucu yolu ile aktarırlar. Çevre sürtünmesinin oluşabilmesi için kazığın belirli bir miktar oturma yapması gerekir. Uç kazıklarının rijid oldukları varsayılırsa bu tür bir oturma ancak taban zemininin oturması kadar olabilecektir. Bu hareket ihmal edilebilir mertebede olduğu için çevre sürtünmesi ihmal edilecek kadar az olur. Bu nedenle rijid kazıklar arasındaki gerilme birikimleri ihmal edilebildiğinden uç kazıkları kullanılarak tasarlanan bir kazık grubunda grup

etkisi nedeni ile taşıma gücünde bir azaltma yapılmaz. Diğer bir deyişle grubun taşıma gücü; tek kazıkların taşıma gücünün toplamına eşittir.

Bu kazıkların sıkışabilir olduklarının kabulü halinde ise uygulanan yükün bir kısmı kazığın sıkışması sonucunda kazık yüzeyi ile zemin arasında meydana gelecek olan farklı oturmanın neden olduğu çevre sürtünmesi ile taşınacaktır; çözüm Tablo 3.2. de gösterildiği gibi Poulos ve Mattes (1969a) tarafından $p(1)=0$ durumu için gerçekleştirilmiştir. Bu durumda kazık tabanına iletilen yük de azalır. Şekil 3.8, bu durumu göstermektedir.



Şekil 3.8. Sıkışabilir uç kazıklarında uç yükü miktarı (Poulos ve Mattes, 1969a)

Bu şekil; kazığın narinlik oranına ve K katsayısına bağlı olarak kazık ucuna iletilen yük miktarını göstermektedir. Pratikte sıkça rastlanan $1/d=25$ ve $k=1000$ değeri için tabana toplam yükün % 80'inin iletildiği, gerisinin çevre sürtünmesi elemanınca üstlenildiği görülmektedir.

Uç kazıklarının tasarımındaki en önemli nokta, kazıkların dayandığı sağlam zeminin tesbitinde yanlışlığa düşülmemesidir. Bazı hallerde sağlam bir tabakaya rastlandığı zannedilebilir, ancak bu, kalınlığı fazla olmayan bir tabaka olabilir ve altında da sıkışabilirliği yüksek, yumuşak kil gibi kalın bir formasyon yer alabilir. Böyle bir durumda, kazıkların uç basıncı dağılımının etkisi ile yumuşak tabaka oturma yaparak, kazıkların da oturmasına sebep olur. İyi bir zemin etüdü, böyle bir yanlışlığı önler. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.2.2. Negatif Çevre Sürtünmesi

Kazık davranışında kazığın çevresindeki zeminden daha az veya daha çok hareket etmesi, kazık-zemin arasındaki sürtünmeyi harekete getirir. Kazık, çevresindeki zeminden daha fazla oturursa meydana gelen sürtünme yükün taşınmasına yardım edici yönde oluşur. Bu halde bir “pozitif çevre sürtünmesi” oluşumundan söz etmek olasıdır. Diğer taraftan, kazığın

çevresindeki zemin herhangi bir nedenle kazıktan daha fazla oturursa kazığı da beraber sürükleyici etki yapar ve bu etki, taşınan yük ile aynı doğrultuda olur. Bu durumda (3.1) bağıntısındaki $Q(z)$ yük fonksiyonu derinlik boyunca artar ve çevre sürtünmesi f_s negatif olur. Meydana gelen çevre sürtünmesine “negatif çevre sürtünmesi” adı verilir. Negatif çevre sürtünmesi olgusu ile kazığın üzerindeki yükün arttığı anlaşılmaktadır. “Negatif çevre sürtünmesi” kazık projelendirilmesinde üzerinde önemle durulması gereken bir olaydır. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.1.2. kısmında sunulan iki yaklaşım içinde özellikle elastik yarı ortam teorilerine dayanan çözümler daha fazla kullanılmaktadır. Bu çözümler, nümerik analiz yöntemlerinin bilgisayarlarda kullanılması ile elde edilirler. Ancak; bu işlemin bilinçli gerçekleştirilmemesi halinde bilgisayar denen kara kutu yanlış sonuçlara yol açabilir:

Her şeyden önce karmaşık bir ortamı Elastik Modül ve Poisson oranı gibi iki özelliğe bağlayarak çözmek fazlaca iyimserlik olmaktadır. Birçok zeminin gerilme, gerilme tarihçesi ve zamana bağlı davranış gösterdiği gözden kaçmamalıdır. Örneğin granüler bir zeminde elastik modülün derinliğin kare kökü ile orantılı olarak arttığı bilinmektedir. Ayrıca elastik modül, yükleme ve boşaltma kademelerinde değişik değerler almaktadır. Çakma kazıkların böyle davranan bir ortamda kullanılması halinde yatay yönde gelişecek olan ön yüklemenin, davranışı önemli ölçüde etkileyeceği bilinmelidir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Elastik teori, sıkışma ve çekme için tek bir elastik modülün varlığını kabul eder; ancak zemin bünyesi çok az çekme gerilmesi taşıyabilir. Diğer yandan yük aktarımının Mindlin çözümü aracılığı ile hesaplanması sırasında bu çözüm yükün uygulandığı seviyenin üstünde negatif basınç değerleri verir. Bu negatif değerlerin hesap yapılan seviyenin daha üstündeki seviyelerde uygulanan yüklerle oluşan basınç değerleri verir. Bu negatif değerlerin hesap yapılan seviyenin daha üstündeki seviyelerde uygulanan yüklerle oluşan basınç artışları ile telafi edilmemesi halinde zemin bu negatif basınçları iletemez. Sonuçta gerilme dağılımı Mindlin denkleminin bilinçsizce kullanılması halinde elde edilecek olan dağılımdan çok farklı olur. Bu noktaya açıklık getirebilmek amacı ile tartışılması bu aşamaya kadar ertelenmiş olan Grillo’nun (1948) Şekil 3.6 da gösterilmiş olan gerilim dağılımına dönülecektir. Bu şekilde d kazık çapını, x kazık ekseninden uzaklığı göstermektedir: x/d oranı boyutsuz uzaklığı vermektedir. Aynı şekilde derinlik de kazık çapının katları olarak z/d oranı ile gösterilmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Herhangi bir noktada gerilme hesabı yapmak için boyutsuz sayılar hesaplanarak şekle girildiğinde çevre sürtünmesinden dolayı düşey gerilmeyi hesaplayabilmek için kazığın simetri ekseninin solunda C_s , uç yükünden ötürü düşey gerilmeyi hesaplayabilmek için ise

kazığın simetri ekseninin sağında C_p olarak tanımlanan etki katsayıları bulunabilmektedir. Bu katsayılar kullanılarak gerilmeler aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanabilir: (Birand A.A, Ekim 2001).

Çevre sürtünmesi yükü Q_ζ nedeni ile:

$$\sigma_z = \frac{Q_\zeta}{d^2} C_s \quad (3.16)$$

Uç yükü Q_u nedeni ile

$$\sigma_z = \frac{Q_u}{d^2} C_p \quad (3.17)$$

Şekil 3.6 incelendiğinde, kazık ucunun üst seviyelerinde oldukça önemli miktarda çekme gerilmesinin oluşması için çevre sürtünmesi yükünün, kazık ucu yükünden en az iki misli büyük olması gerektiği görülecektir. Bu durum ise ancak kohezyonlu zeminlerde görülebilir. Granüler zeminlerde gerçekleşme olasılığı daha azdır. Bu durumlarda bu şekil, gerçeği yansıtmaktan uzaktır.

Diğer taraftan, bu yolu izleyen çözümler kazıkların varlığının, zemin içindeki gerilme dağılımını hiç etkilemediğini kapalı şekilde varsaymaktadırlar. Diğer bir deyişle, zemin kazıkları içermeyen bir yarı sonsuz elastik ortamdır. Özellikle büyük çaplı kazıkların bu ortam içinde meydana getirebileceği “pekiştirme” yeterince etüd edilmemiştir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bununla beraber, yukarıda belirtilen eksiklerden bazıları sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile giderilebilmektedir. Örneğin Ellison ve arkadaşları (1971) bilinear ve ötelenmenin gerilmenin bir fonksiyonu olarak davrandığı bir ortamdaki kazığın davranışını çözmüşlerdir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Holloway (1975) ise hiperbolik bir gerilme-ötelenme kabulü ile ve basınç, çekme gerilmeleri durumlarında ayrı davranış modeli uygulayarak gerçeğe yaklaşan çözümler geliştirmiştir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Bu olumlu örnekler son yıllarda daha da artmış olmakla beraber özellikle gerilme-gerilme tarihçesi ve zamana bağlı davranış içeren reolojik modellerin geliştirilmesine halen gereksinim bulunmaktadır.

3.3.3. Yatak Modülü ve Yatak Katsayısı

Yurdumuzdaki yayınlarda yukarıda (3.14) bağıntısında görüldüğü gibi zeminin davranışını yaylarla temsil etmek amacı ile “yatak modülü” ve “yatak katsayısı”deyimleri kullanılır. Bu tanımlarla beraber k değerinin boyutları açıklanırken (K) kuvvet birimini, (U) uzunluk birimini gösterir.

Yatak Katsayısı veya Yatak Modülünün (k_0) tanımı şöyle yapılabilir:

Bir plaka yükleme deneyinde P yük, q birim alana düşen yük, A plakanın alanı, y oturma miktarını gösteriyorsa k_0 aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$k_0 = \frac{P}{Ay} = \frac{q}{y} \quad (KU^{-3}) \quad (3.18)$$

bu değere literatürde yaygın olarak kullanılan şekli ile “yatak modülü”, adı verilir. Bu modülün kazıklarda kullanımı kazığın eksenel veya yanal olarak yüklenmesi hallerinde yük-ötelenme ilişkisini tanımlamak için kullanılır. Her iki haldeki plaka yükleme deneyine koşut tanımlar aşağıda verilmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Ekseni doğrultusunda yüklenmiş bir yüzer kazıkta uç yükü bir tarafa bırakılırsa “yatak modülü” şu şekilde ifade edilebilir: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$k_0 = \frac{\tau}{y} = \frac{Q}{\pi d l y} = \frac{Q}{m l} \left(\frac{1}{\pi d} \right) \quad (KU^{-3}) \quad (3.19)$$

Literatürde çoklukla Terzaghi’nin (1955) verdiği bilgilere dayanılarak değişik zeminler için önerilen yatak modülü değerleri vardır. Bunların bilinçsizce kullanılmaları kullanıcıyı yanlış sonuçlara götürebilir.

Buradan aşağıdaki “yatak katsayısı” tanımına geçilebilir:

$$k = \frac{k_s}{\pi} = k_0 d = \frac{Q}{l y} \quad (KU^{-2}) \quad (3.20)$$

Bu ifadede ikinci terim yalnızca bütünlüğü korumak için gösterilmiştir. Fiziksel bir önemi yoktur. Aynı bağıntı kazığın birim uzunluğuna düşen kazık yükü $Q_1=Q/l$ göz önüne alınarak yazılabilir:

$$k = \frac{Q_1}{y} \quad (KU^{-2}) \quad (3.21)$$

Burada:

τ = Kazık-Zemin Yüzeyindeki Kayma Gerilmesi (Çevre Sürtünmesi),

y = Oturma

Q = Kazık Yüğü,

D = Kazık Çapı,

l = Kazık Uzunluğu

Q₁ = Kazığın Birim Uzunluğuna isabet eden yükür.

Yanal yüklenerek kendisini sarmalayan zemine yaslanan kazığın zeminle temas alanının tayini kolay değildir. Bu durumda yatak katsayısı kazığın bir metre derinliği için ifade edilir. Alan bulmak için ise bu bir metre derinlik kazık çapı ile çarpılarak kullanılır. Bu durumda kazıklar için “yatak modülü” aşağıdaki bağıntı ile tanımlanabilir: (Birand A.A, Ekim 2001).

$$k_0 = \frac{q}{y} = \frac{Q}{Ay} = \frac{Q}{(1)dy} = \frac{Q}{(1)dy} \quad (KU^{-3}) \quad (3.22)$$

“Yatak Katsayısı” ise:

$$k = k_0 d = \frac{Q}{(1)y} \quad (KU^{-2}) \quad (3.23)$$

şeklinde gösterilebilir.

Gerek yanal gerekse eksenel yüklenmiş kazıklarda Modül ve Katsayı değerleri kazık yükleme deneyleri, titreşim deneyleri gibi bağımsız deneylerle bulunabilmektedir. Bu niteliklerin önceden bilinmesi halinde; belli bir ötelenme miktarı için ne kadar yük gerektiği ya da belli bir yük değerine ulaşılması için kazığın ne kadar ötelenmesi gerektiği bulunabilir. Bu bulgular tersinin olduklarından bunlara ulaşmak için bazı durumlarda yukarıda verilen ifadelerin tersinin kullanılabileceği açıkça görölmektedir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Diğer taraftan literatürde liberal bir yaklaşımla bir kazığın belli miktar oturması için gereken yük:

$$Q = ky \quad (KU^{-1}) \quad (3.24)$$

ve oturma doğrudan doğruya:

$$y = kQ \quad (UK^{-1}) \quad (3.25)$$

ifadeleri ile tanımlanabilmektedirler. (3.21) (3.23) denklemlerinde görülen birim uzunluk kullanımı nedeni ile bu tanımlar birbirlerine benzemektedirler ve bazen biri diğerinin yerine kullanılmaktadır. Bu kullanım sonucunda bir metre boyutu için denklemlere konulan (1) sayısı nedeni ile sayısal sonuçta da bir değişiklik olmamaktadır. Esasen (3.24) bağıntısı mekanikte tanımlanmış olan “rijitlik” ve (3.25) bağıntısı “esneklik” redörlerini gösterirler. Ancak kazığın yük altında oturma davranışını bir yayın sıkışması ile sembolize eden bu durumlarda “yatak katsayısı” deyimini yerine “yay katsayısı” deyimini daha uygun olacaktır. (Birand A.A, Ekim 2001).

3.4. Çevre sürtünmesi direnci

Granüler zeminlerde zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme, killi zeminlerde ise adhezyon hareketlenmesi nedeni ile çevre sürtünmesi direnci oluşur. Bu direnç, birim alanda oluşan direncin kazığın çevre yüzeyi ile çarpılması sonucu bir toplam taşıma gücü değerine ulaşır.

Çevre zemini ile kazık çeperi arasındaki çevre sürtünmesinden doğan bu taşıma gücü bileşeni; kazığın içinde bulunduğu her tabakanın çevre sürtünmesi ayrı ayrı hesaplanıp toplanmak suretiyle bulunur. (Birand A.A, Ekim 2001), (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).

$$Q_{\text{ç}} = \sum p_i \cdot \Delta L_i \cdot f_i \quad (3.26)$$

p = Kazık en kesitinin çevre uzunluğu

ΔL_i = Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu

f_i = Kazığın herbir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi değeridir.

3.4.1. Granüler Zeminlerde Birim Çevre Sürtünmesi Değerleri (f_i)

Dikkat edilmesi gereken bazı hususlar: (Birand A.A, Ekim 2001).

1. Kazık yapım yöntemi: Çakma kazıklarda zemin sıkışacağından içsel sürtünme açısının değeri artar.

2. (f_i) değeri kritik bir L' derinliğine kadar doğrusal şekilde artar ve bu derinlikten sonra sabit kalır. Bu L' değerleri d kazık çapı olmak üzere aşağıdaki gibi alınabilir; (Birand A.A, Ekim 2001), (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).

$L' =$ Gevşek kumlar için $10d$

$L' =$ Orta sıklıktaki kumlar için $15d$

$L' =$ Sıkı kumlar için $20d$

3. Eşdeğer derinliklerde gevşek kumların bünyesinde aşırı yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşan birim sürtünme değeri az yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşan değerden fazladır.

4. Eşdeğer derinliklerde fore kazıkların çevresinde, çakma kazıklara nazaran daha düşük sürtünme değerleri oluşur

$$L' > Z > 0 \text{ için } f_i = K_i \cdot \sigma'_{vi} \cdot \tan \delta_i \quad (3.27)$$

$$L > Z > L' \text{ için } f_i = (f_i)_z = L' \quad (3.28)$$

$K_i =$ (i) zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı.

$\sigma'_{vi} =$ (i) zemin tabakasında efektif düşey gerilme

$\delta_i =$ (i) zemin tabakasında kazık – zemin arası sürtünme açısıdır.

Tablo 3.4 Kazık tiplerine göre k değerleri

Kazık Tipi	K
Fore kazıkları	$\approx K_o = 1 - \sin \Phi$
Az deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila $1,4 K_o$
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila $1,8 K_o$

Yüksek deplasman yapan kazıklar için ayrıca aşağıdaki formüller önerilmektedir.

$$K \cdot \tan \sigma = 0,18 + 0,0065 D_r \quad (3.29)$$

$$K = 0,5 + 0,008 D_r \quad (3.30)$$

$D_r =$ Rölatif Sıklık Derecesi (%)

Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 de Kulhawy (1984) tarafından önerilen K ve δ değerleri yer almıştır. (Birand A.A, Ekim 2001).

Tablo 3.5 “Dr” değerleri tablosu

Çok gevsek	0,00-0,15
Gevsek	0,15-0,35
Orta	0,35-0,65
Sıkı	0,65-0,85
Çok sıkı	0,85-1,00

Tablo 3.6 Geostatik katsayıya oranla k değerleri

<u>Kazık Tipi</u>	<u>K/Ko</u>
Yüksek Deplasmanlı Çakma Kazık	1-2
Alçak Deplasmanlı Çakma Kazık	0,75-1,75
Fore Kazık	0,71 –1
Su Jeti ile Çakılan Kazık	0,5 - 0,7

Geostatik Toprak Basınç Katsayısı K_{oi} gözönüne alınarak (3.26) bağıntısının (3.27) bağıntısına yerleştirilmesi halinde aşağıdaki bağıntı elde edilir. (Birand A.A, Ekim 2001), (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).

$$Q_{\zeta} = \sum \pi d_i \Delta L_i \cdot K_{oi} \sigma'_{vi} \cdot \tan \delta_i \quad (3.31)$$

K_{oi} = Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının sükunetteki yatay toprak basınç katsayısı (Geostatik Katsayı)

σ'_{vi} = Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasındaki ortalama düşey efektif gerilme

δ_i = Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının Kazık-Zemin arasındaki sürtünme açısı

Geostatik durumda yatay toprak basıncı katsayısı K_{oi} kumlarda içsel sürtünme açısının (Φ') bir fonksiyonu olup, yaklaşık olarak;

$$K_{oi} \approx 1 - \sin \Phi' \quad (3.32)$$

alınabilir. (Birand A.A, Ekim 2001).

Tablo 3.7. Kazık-zemin sürtünmesi değerleri

<u>Kazık/Zemin Temas Durumu</u>	<u>Kazık/Zemin Sürtünme Açısı, δ</u>
Pürüzsüz veya kaplanmış çelik/kum	0,5Ø' - 0,7Ø'
Kaba (ondüveli) çelik/kum	0,7Ø' - 0,9Ø'
Önceden dökülmüş beton/kum	0,8Ø' - 1,0Ø'
Yerinde dökülmüş beton/kum	1,0Ø'
Ahşap/kum	0,8Ø' - 0,9Ø'
Zemin içinde boru bırakılan kazıklar	0,7Ø' - 0,85Ø'

3.4.2. Kohezyonlu Zeminlerde Çevre Sürtünmesi Direnci (Killi Zeminler)

Bu direnç genelde kilin drenajsız direnci, efektif düşey gerilme, kazık kesitinin şekli, kazık uzunluğu, kazık malzemesi gibi etkenlerin bir fonksiyonudur. Killi zeminlerde yüzeysel sürtünme rolü, adhezyon tarafından üstlenilmektedir. Bu tür zeminler için;

$$\phi_c = \sum \pi \cdot d \cdot \Delta L_i \cdot \alpha_i \cdot c_i \quad (3.33)$$

α_i = Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısı

c_i = Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direnci

Bu halde de toplam çevre sürtünmesi direncinin hesabında (3.33) bağıntısı kullanılarak, ΔL_i kalınlığındaki her ayrı (i) tabakası için hesaplanır ve kazık boyunca toplamı alınır. (Birand A.A, Ekim 2001), (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002)

Adhezyon katsayısı α_i aşağıda görüleceği gibi çoğu kez drenajsız kayma direncinin bir fonksiyonu olmaktadır.

$$f_{si} = \alpha_i \cdot c_{ui}$$

α_i = Adhezyon Katsayısı,

c_{ui} = i tabakasının Drenajsız Kayma Direnci

Adhezyon Katsayısı Kohezyonun (c_{ui}); $25 < c_{ui} < 90$ (KN/m²) sınırları içinde kalan değerleri için aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir. (Birand A.A, Ekim 2001)

$$\alpha_i = 1 - 0,00615 \times (c_{ui} - 25)$$

$c_{ui} > 90$ kN/m² için α_i ;

Tablo 3.8 Adhezyon Katsayısı α_i

C_{ui}	α_i
90	0,60
100	0,58
150	0,42
200	0,35

3.5. Kazıklarda Burkulma

Kazıklarda burkulma problemi genellikle taşıyıcı tabaka üzerindeki üst tabakaların çok yumuşak olması veya kıyı, liman yapılarında olduğu gibi kazığın üst kısımlarının zemin tarafından çevrelenmediği durumlarda ortaya çıkar. (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).

Kazık zemin yüzeyi dışındaki serbest boyu veya kazığı çevreleyen çok yumuşak/gevşek zeminin tabaka kalınlığı l_f ise; burkulma yükünü hesaplamak için kazığı zemin içinde kalan kısmının yatay yük veya moment için rijitliğinin bilinmesi gerekir. Kazığın zemine ankastrelik derinliği (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).

$$l_e = 2(E_p I_p / k_h)^{1/4} \quad (3.34)$$

E_p = Kazık malzemesinin elastisite modülü

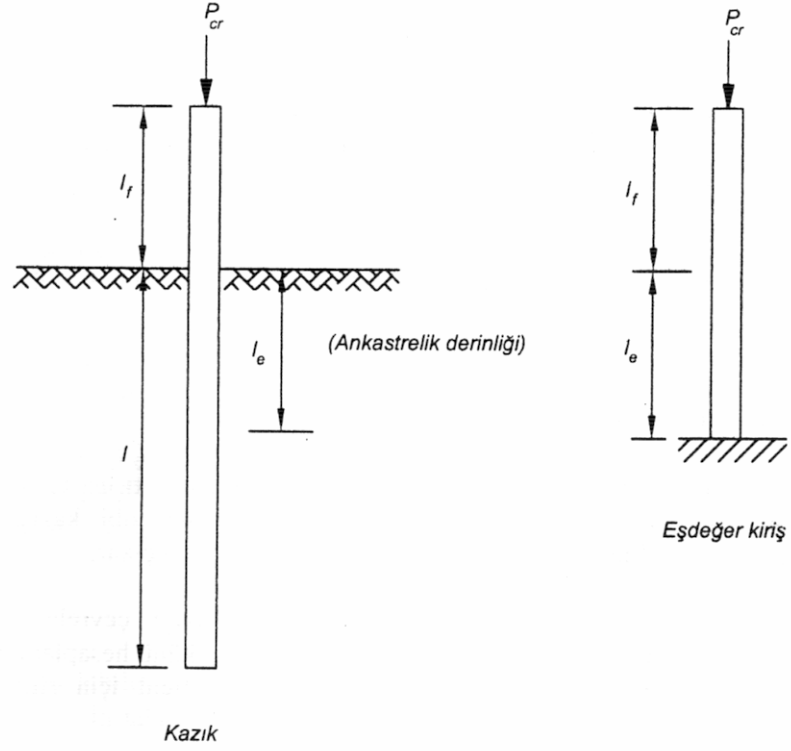
I_p = Kazığın atalet momenti

k_h = zeminin yatay yatak katsayısı

olarak hesaplanır. Bundan sonra kazık $l_f + l_e$ boyda alt ucundan ankastre mesnetli bir basınç çubuğu olarak hesaplanabilir. (Şekil 3.9). Burkulma yükü bilinen Euler denklemleri vasıtasıyla,

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4(l_f + l_e)^2} \quad (3.35)$$

Tipik olarak kazık ankastrelik derinliği, kazık çapının 5-7.5 katı civarındadır.Üst kısımları serbest olan, örneğin kıyı, liman veya göl, deniz içinde inşa edilen kazıklar, prefabrik betonarme veya elik çakma kazıklar olduklarından, esas burkulma sorunu çakma işleminin sırasında ortaya çıkar.Burkulma sorunu kazık yerine çakılıp zemin tarafından evrelendikten sonra ortadan kalkar. (Toğrol E., Tan O., Kasım 2002).



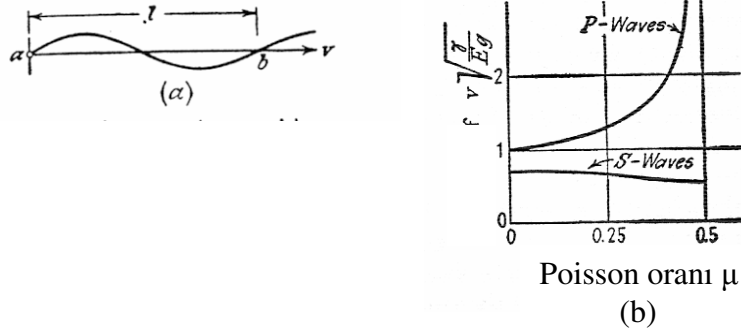
Şekil 3.9 Kazık ankastre derinliği

4. KAZIKLARDA DALGA YAYILIMI ve ETKİSİ

4.1 Giriş

Homojen, elastik (sonsuz) katı ortam içerisine etkiyen darbe sonucunda iki tip dalga oluşur; Bunlardan birincisi; basınç, itme veya P dalgalarıdır, ikincisi ise; kayma, enine veya S dalgalarıdır. Basınç dalgasında, parçacıklar, tıpkı bir ses dalgasındaki parçacıkların izlediği yol gibi, dalga yayılma yönünde titreşirler.(Terzaghi K., Haziran 1959).

Bu dalgaların yayılma hızı;



Şekil 4.1 Eksenel yüklü kazık elemanı

$$\ell = t.v$$

$$\ell = \text{dalga uzunluğu}$$

$$t = \text{periyot}$$

$$v = \text{dalga yayılma hızı}$$

$$V = \sqrt{\frac{Eg(1-\mu)}{\gamma(1-\mu-2\mu^2)}} \quad (4.1)$$

$$E = \text{Young modülü}$$

$$\mu = \text{Poisson oranı}$$

$$\gamma = \text{Katı ortamın birim ağırlığı}$$

$$g = \text{Yerçekimi ivmesi}$$

Enine veya S dalgalarında parçacıklar, dalganın yayılma doğrultusuyla “sağ aç” yapan düzlem içerisinde titreşirler ve bu dalgaların hızı;

$$V_s = \sqrt{\frac{Eg}{2\gamma(1+\mu)}} = \sqrt{\frac{G \cdot g}{\gamma}} \quad \text{dır.} \quad G=\text{kayma modülü} \quad (4.2)$$

Şekil 4.1b.'de poisson oranının V ve Vs hızlarına olan etkisi görülmektedir.

S dalgalarının hızları daima P dalgalarınınkinden küçüktür ve $\mu=0,5$ değeri için V değeri sonsuz olurken S dalgasının değeri;

$$V_s = \sqrt{\frac{Eg}{3\gamma}} \quad \text{dır.} \quad (4.3)$$

İki değişik elastik özelliklere sahip tabaka (ortam) sınırında dalga; geldiği ortama geri dönebilir (yansıma), kırılabilir veya ikinci ortama geçerken yön değiştirebilir. Bir parçacık iki dalga etkisi alırsa örneğin birisi doğrudan ikincisi ise yansıyan dalga etkisiyle, sonuçtaki hareketi her bir etkinin tek başına oluşturduğu hareketin geometrik toplamı olur. Eğer iki dalga eşit büyüklükte ve zıt yönlü ise parçacık sabit kalır. (Terzaghi K., 1959).

Yukarıda anlatılan olay optiklerdeki girişim, kırılma ve yansıma ile aynıdır. (Terzaghi K., 1959).

4.2. Darbelerin Kazıklar Üzerine Olan Etkisi

Kazıklarda meydana gelen dalga yayılma durumu en basit olarak şahmerdanla çakılma işlemi sırasında oluşur. Şahmerdanın kazık başı üzerine olan darbe etkisi; kazığın içerisinde kazığa geri yansıyacak noktaya kadar gidecek bir basınç dalgası oluşturur. Klasik dinamik kazık teorileri çakma işlemi esnasında kazığın ağırlığının etkisini ve dalganın yansıma etkisini dikkate almadıkları için çok doğru sonuçlar vermezler. (Terzaghi K., 1959).

Kazıklardaki darbe etkileri diferansiyel denklemler yardımıyla ifade edilebilir. Bu ifadeler için şu kabuller yapılmıştır. Kazık tam elastik, çakma işleminde her kesidi yine düzlem kalmakta ve kazığın parçacıkları uzun eksen doğrultusunda (kazık eksenine paralel) titreşmektedirler. Başka bir deyişle poisson oranı $\mu = 0$ 'dır. (Terzaghi K., 1959).

ρ = bir t anında kazık başlığından bir z derinliğinde vibrasyon anında kazığın herhangi bir kesitinin kazık eksenine paralel yer değiştirmesi.

γ = Kazık malzemesinin birim ağırlığı

ξ = bir t anında, z derinliğinde kazık birim uzunluğundaki basınç

E = Kazık malzemesinin elastik (Young) modülü

A = kazığın en kesiti

L = Kazık uzunluğu

P = t anında z derinliğinde kazık enkesitine etkiyen toplam basınç

$\sigma = P/A$ = Bu enkesitteki basınç gerilmesi

Basınç gerilmesi ξ ;

$$\xi = \frac{\partial \rho}{\partial z} \text{ eşittir ve } \xi = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \text{ dolayısıyla;}$$

$$P = AE \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (4.4)$$

$z + dz$ derinliğindeki toplam basınç;

$$P + dP = AE \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} dz \right) \quad (4.5)$$

D'Alembert prensibine göre; kazığın bir dilimine etkiyen statik kuvvetlerin bileşkesi eylemsizlik kuvvetine eşittir. (dilimin kütlesiyle ivmesinin çarpımı). (Terzaghi K., 1959).

Dilimin kütlesi;

$$\frac{\gamma A}{g} dz \text{ ve eylemsizlik kuvveti} = \frac{\gamma A}{g} dz \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2}$$

statik kuvvetlerin bileşkesi;

$$P + dP - P = AE \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} dz.$$

D'Alembert prensibine göre;

$$AE \cdot \frac{\partial^2 \rho g}{\partial z^2} = \frac{\gamma A}{g} \cdot \frac{\partial^2 \rho g}{\partial t^2} \quad \text{veya}$$

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = \frac{Eg}{\gamma} \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \text{ olur.} \quad (4.6)$$

Bu ifade; kazık ucunun elastik veya rijit olup olmadığına bakılmaksızın bir kazıktaki kazık eksenine paralel vibrasyonların genel diferansiyel denklemidir. Teori kazığın yatay deformasyonlarını ihmal ettiğinden dalga hızının kazıktaki yayılma hızı V , $\mu = 0$ alınarak bulunabilir. Buradan ;

$$V = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}} \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = v^2 \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \quad (4.8)$$

buradaki v , darbe etkisiyle oluşan dalganın kazıktaki yayılma hızıdır. (Terzaghi K., 1959)

Eğer; üst ucu rijit mesnetlenmiş ve ağırlığı W_p , uzunluğu L olan kazık, ağırlığı W_H ve hızı (düşme) V_H olan bir şahmerdanla çakılırsa (4.8) eşitliğinin çözümü darbeden oluşan kazığın tabanındaki en büyük basınç gerilmesi olan $\sigma_{\max}$ 'ı verir. (Terzaghi K., 1959).

$$\sigma_{\max} = 2E \frac{V_H}{V} (1 + e^{-2W_p / W_H}) \quad (4.9)$$

(W_p / W_H 5'ten küçüktür.)

Bu eşitlikte yapılan kabullerin tersine, kazık uç mesneti hiçbir zaman tam rijit olmaz ve kazık başı darbe etkisine karşı bir yastık veya minderle korunur. Bu teoriyi kazık çakma problemlerine adapte etmek için İngiliz Yapı Araştırma Kurulu (4.8) eşitliğini; kazık ucunu tam elastik mesnet ve kazık üst ucunu tam elastik yastık ile korunduğu kabullerine göre yeniden çözmüştür. (Terzaghi K., 1959).

Sonuç denklemleri çok karmaşık olmakla birlikte, basitleştirilmiş ve doğru sonucu veren bir denklem aşağıda sunulmuştur. (Terzaghi K., 1959).

$$\sigma_{\max} = E \frac{V_H}{V} \sqrt{\frac{W_H}{W_p (1 + E / T_c L)}} \quad (4.10)$$

T_c ; gm cm^{-3} biriminde bir sabit olup, kazık başı yastığının elastik özellikleri bağlıdır. (Cummings 1942). (4.10) eşitliğinin doğruluğunu kontrol etmek için;

$$N = \frac{W_p}{3W_H (1 + E / T_c L)} \quad (4.11)$$

formülü geliştirilmiştir. Şayet N değeri 0,1 veya 0,15'den küçük ise (4.10) denklemi geçerli sonuç vermektedir. Aksi halde kısaltmamış olan karmaşık denklemleri kullanmak gerekecektir. (Terzaghi K., 1959).

Üst uçlarının boyutları aynı olan 2 kazık; değişik elastik modulleri E ve E', değişik birim ağırlıklara γ ve γ' sahip olsun ve aynı hıza sahip aynı şahmerdan tarafından çakılsın. Darbe etkisiyle kazık alt uçlarında oluşan maximum basınç gerilmesi, alt uçtaki mesnetin rijitliğine ve kazık üst ucunun koruma malzemesi cinsine bağlıdır. Alt ucu rijit mesnet ve üst ucunda (başında) koruma olmayan kazıklar için (4.7) ve (4.9) eşitliğinden

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma'_{\max}} = \sqrt{\frac{E\gamma}{E'\gamma'} \frac{1 + e^{-2W_p / wH}}{1 + e^{-2W'p / wH}}} \quad (4.12)$$

eşitliği elde edilir. Burada W_p ve W_p' kazıkların ağırlığını göstermektedir. (Terzaghi K., 1959).

Elastik mesnet ve aynı rijitlik sabitine sahip yastıklar için (4.7) ve (4.10) eşitliğinden;

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma'_{\max}} = \sqrt{\frac{E\mathcal{W}'_p(1 + E'/T_c L)}{E'\gamma W_p(1 + E/T_c L)}} \quad (4.13)$$

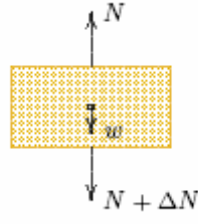
eşitliği elde edilir.

4.3 Kazıklarda Dalga Yayılımı

Bu kısımda kazıklardaki basınç dalgalarının yayılma problemi çalışılacaktır. Bu problem özellikle, dinamik yükler altında kazık yerleştirilmesi esnasında kazık ve zemin davranışı incelenecekse, önem kazanmaktadır. Bu problem tek boyutlu olduğu için matematiksel açıdan kolay hale gelmektedir ve dinamiğin bazı ana karakterlerini de göstermekte kullanılabilir. Birkaç analiz metodu kullanılacaktır: Laplace Dönüşüm Metodu, Değişkenlerin Ayrılması, Karakteristik Metod ve Sayısal çözüm. (Verruij A., 2004).

4.3.1 Temel Denklem (Eşitlik)

Kazık; sabit enkesitli (A), (E) elastisite modülüne sahip lineer elastik bir malzemeden yapılmış olsun. Kazık shaftı boyunca sürtünme yok ise;



Şekil 4.1 Eksenel yüklü kazık elemanı

Kazık elemanının hareket denklemi

$$\frac{\partial N}{\partial z} = \rho a \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (4.14)$$

ρ = Kazığın yapıldığı malzemenin yoğunluğu

w = Eksenel doğrultudaki yerdeğiştirme (düşey)

Normal kuvvet N , gerilmeyle $N = \sigma A$ ve gerilme de Hooke Yasasına göre şekil değiştirmeyeyle

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ şeklinde bir ilişkiye sahiptir.

Sonuç olarak şekil değiştirme, düşey yerdeğiştirme w ile $\varepsilon = \frac{\partial w}{\partial z}$ ilişkisine sahiptir. Böylece N

normal kuvveti w düşey yerdeğiştirmesi ile;

$$N = EA \frac{\partial w}{\partial z} \quad (4.15)$$

ilişkisine sahip olur.

(4.15) bağıntısını (4.14)'de yerine koyarsak;

$$E \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (4.16)$$

elde edilir. (Verruijt A., 2004).

4.3.2. Laplace Dönüşüm Metodu İle Çözüm

Bir çok “tek boyutlu dalga yayılım” problemleri Laplace Dönüşüm Metodu (Churchill, 1972) ile çözülebilir. (Verruijt A., 2004).

4.3.2.1. Sonsuz Uzunluktaki Kazık

w yerdeğiştirmesinin laplace dönüşümü

$$\bar{w}(z,s) = \int_0^{\infty} w(z,t)\exp(-st)dt \text{ ile tanımlanmıştır.} \quad (4.17)$$

Burada s; pozitif real kısmı olan laplace dönüşüm parametresidir. Şimdi ; başlangıçta durmakta olan t=0 anında tepe noktasına sabit basınç uygulanan sonsuz uzunluktaki kazığı düşünelim. (4.16) denkleminin laplace dönüşümü;

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dz^2} = \frac{s^2}{c^2} \bar{w} \quad (4.18)$$

c = dalga hızı

$$c = \sqrt{\frac{E}{g}} \quad (4.19)$$

(4.18) diferansiyel denkleminin çözümü

$$\bar{w} = A \exp(-sz/c) \quad (4.20)$$

Burada integral sabiti olan A (z’ye bağlı olmayan, s dönüşüm parametresine bağlı) sınır şartlarından elde edilebilir. Kazık üst ucuna sabit p₀ basıncı uygulandığında, bu sınır şartı;

$$Z = 0, t > 0: \quad E \frac{\partial w}{\partial z} = -p_0 \quad (4.21)$$

Bu sınır şartının laplace dönüşümü;

$$Z = 0: \quad E \frac{d\bar{w}}{dz} = -\frac{p_0}{s} \quad (4.22)$$

(4.20) denklemini yardımıyla A sabiti;

$$A = \frac{P_0 c}{E s^2} \quad (4.23)$$

Böylece dönüşüm probleminin sonuç çözümü;

$$\bar{w} = \frac{P.c}{Es^2} \exp(-sz/c) \quad (4.24)$$

Bu fonksiyonun ters dönüşümü Abromowitz & Bkeguh (1964) veya Churchill (1972)'de verilen Laplace Dönüşüm Elemanları tablosundan bulunabilir.(Verruijit A.,2004). Böylece sonuç;

$$W = \frac{P.c(t - z/c)}{E} H(t - z/c) \quad (4.25)$$

Burada $H(t-t_0)$ Heaviside unit Step Fonksiyonudur ve

$$H(t-t_0) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \text{ ise} \\ 1, & t > t_0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4.26)$$

ile tanımlıdır. (Verruijit A., 2004).

(4.25) çözümü, kazıdaki herhangi bir noktanın $t < z/c$ anında sabit kaldığını göstermektedir. Bu andan sonra (ki bu an dalganın o noktaya ulaştığı andır) o nokta sabit hızı gösteren lineer olarak artan yerdeğiştirme ile hareket etmeye başlar. (Verruijit A., 2004).

4.3.2.2. Belirli bir uzunluktaki (sonlu) kazık

Laplace Dönüşüm metodu sonlu uzunluktaki kazıklarda dalga yayılımı probleminin çözülmesi içinde kullanılabilir. (Verruijit A., 2004).



Şekil 4.2 Kazığın uzunluğu

Şekil 4.2'de verilen kazığın uzunluğu h olsun. Sınır şartlarında; $t=0$ anında $z=0$ 'da gerilme sıfır ve $z = h$ 'de ani bir yerdeğiştirme var. Böylece sınır şartları;

$$Z = 0, \quad t > 0: \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.27)$$

$$Z = h, \quad t > 0: \quad w = w_0 \quad (4.28)$$

Dönüştürülmüş diferansiyel denklemin genel çözümü;

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dz^2} = \frac{s^2}{c^2} \bar{w} \quad (4.29)$$

$$\bar{w} = A \exp(sz/c) + B \exp(-sz/c) \quad (4.30)$$

A ve B sabitleri (Laplace Dönüşüm Parametresi s'ye bağlı) (4.27) ve (4.28)'deki sınır şartlarından;

$$\bar{w} = \frac{w_o}{s} \frac{\cosh(sz/c)}{\cosh(sh/c)} \quad (4.31)$$

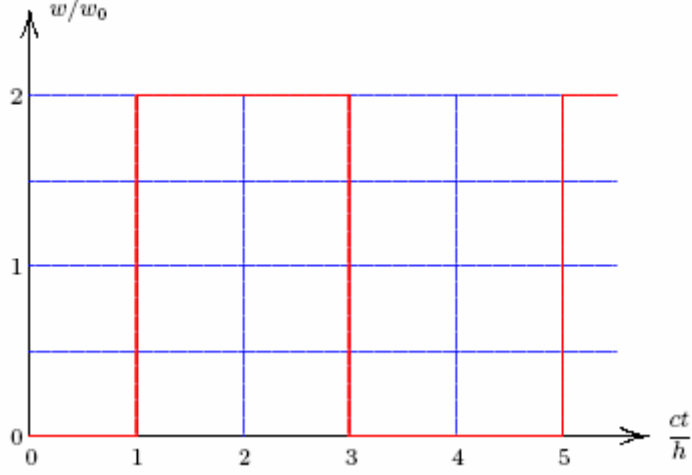
Bu ifadenin ters dönüşümü matematiksel olarak bulunmalıdır. Bu da; complex ters integral (Churchill, 1972) veya basitleşmiş haliyle Heaviside Yayılma teoremi ile bulunabilir. Böylece, birkaç matematiksel işlemden sonra;

$$\frac{w}{w_o} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k+1)} \cdot \cos \left[(2k+1) \frac{\pi z}{2h} \right] \cdot \cos \left[(2k+1) \frac{\pi ct}{2h} \right] \quad (4.32)$$

Özel bir durum olarak serbest uçtaki ($z = 0$) yer değiştirme.

$$\frac{w}{w_o} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(2k+1)} \cdot \cos \left[(2k+1) \frac{\pi ct}{2h} \right] \quad (4.33)$$

Bu ifade bir Fourier serisidir. Serilerin toplamı Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Serbest ucun yerdeğiştirmesi (Verruijt A., 2004).

h/c zamanına kadar serbest uç hareketsiz kalır, $2h/c$ zamanında $2w_0$ ani yerdeğiştirmesi yapar ve sonra sürekli olarak 0 (sıfır) ve $2w_0$ yerdeğiştirmesi arasında hareket eder. Fiziksel yorum olarak; karakteristikler metoduyla çözüm anlaşıldıktan sonra $t=0$ anında basınç dalgasının serbet uca doğru yayılmaya başladığı ve ucun serbet kalması için çekme dalgası olarak yansıdığı görülür. h/c zamanı, dalganın kazık boyunca yayılması için geçen zamandır. (Verruijt A., 2004).

4.3.3. Değişkenlerin ayrılması (Değişkenlere Ayırma) Metodu ile Çözüm

Özellikle sürekli vibrasyonun olduğu belirli problemler için (4.16) diferansiyel denklemi değişkenlerine ayrılarak da çözülebilir. (Verruijt A., 2004).

4.3.3.1. Sonsuz Uzunluktaki Kazıkta şok Dalgaları

$t = 0$ anında yüklenerek uçlarından biri sabit bir yerdeğiştirme yapan belirli bir uzunluktaki kazık bu metoda göre bir kere daha incelenecektir. Diferansiyel denklemi;

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \quad (4.34)$$

Sınır şartları;

$$Z=0, t>0 \quad \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.35)$$

$$Z=h, t>0; \quad w = w_0 \quad (4.36)$$

1. şart $z = 0$ 'ın serbet uç, 2. şart $z=h$ 'ın $t=0$ anında w_0 kadar yerdeğiştirme yaptığını göstermektedir. Başlangıç şartı olarak da $t=0$ anında kazığın hareketsiz olduğu kabul edilmektedir. Bu aşamadan sonra problemin çözümü;

$$w = w_0 + Z(z).T(t) \quad (4.37)$$

halini almaktadır. Buradaki temel kabul çözümün iki fonksiyonun çarpımı olarak yazılabilesidir. $Z(z)$ fonksiyonu sadece z 'ye bağlı, $T(t)$ fonksiyonu sadece t 'ye bağlıdır. (4.37), (4.34)'de yerine yazılırsa;

$$\frac{1}{c^2} \cdot \frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} = \frac{1}{z} \cdot \frac{d^2 Z}{dz^2} \quad (4.38)$$

Eşitliğin sol tarafı sadece t 'ye, sağ tarafı sadece z 'ye bağlıdır. Böylece denklemin sadece aynı sabit sayıya eşit olması halinde sağlandığı görülür. Bu sabit pozitif veya negatif olabilir. Negatif olduğu kabul edilirse;

$$\frac{1}{z} \cdot \frac{d^2 z}{dz^2} = -\lambda^2 \quad (4.39)$$

λ = bilinmeyen bir sabit

(4.39)'un genel çözümü

$$z = A.\cos(\lambda z) + B.\sin(\lambda z) \quad (4.40)$$

Burada A ve B sabitler olup, sınır şartlarından bulunabilir. $z = 0$ 'da $dZ/dz = 0$ olması gerektiğinden $B = 0$ olur. (4.36) sınır şartını sağlamak için $z = h$ 'da $z = 0$ olmalıdır ki buradan $A = 0$ ve yararlı olmayan çözüm $w = 0$ olur veya $\cos(\lambda h) = 0$ olur. Bu da ancak;

$$\lambda = \lambda_k = (2k+1)\pi/2h, \quad k = 0,1,2,\dots \quad (4.41)$$

diğer taraftan T fonksiyonu için de;

$$\frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} = -c^2 \lambda^2 \text{ yazılabilir.} \quad (4.42)$$

Bu ifadenin genel çözümü;

$$T = A \cos(\lambda ct) + B \sin(\lambda ct) \quad (4.43)$$

Artık w yerdeğiştirmesinin çözümü;

$$w = w_0 + \sum_{k=0}^{\infty} [A_k \cos(\lambda_k ct) + B_k \sin(\lambda_k ct)] \cos(\lambda_k z) \quad (4.44)$$

ve hız da;

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \sum_{k=0}^{\infty} [-A_k \lambda_k C \sin(\lambda_k ct) + B_k \lambda_k c \cos(\lambda_k ct)] \cos(\lambda_k z) \quad (4.45)$$

Başlangıç şartı olarak z'nin tüm değerleri için bu ifade sifıra eşit olmalıdır. Buradan $B_k = 0$ olur. diğer taraftan $t = 0$ anında başlangıç şartı olarak bütün yerdeğiştirmeler sifır olmalıdır. Böylece denklem;

$$\sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos(\lambda_k z) = -w_o \quad (4.46)$$

$0 < z < h$ aralığındaki tüm z değerleri için bu ifade sağlanmalıdır. Bu Fourier serilerinin standart problemidir. $z = 0$ 'dan $z = h$ 'ya kadar entegre edilerek bulunabilir. (Verruijt A., 2004).

Sonuç;

$$A_k = \frac{4}{\pi} \frac{w_o}{(2k+1)} (-1)^k \quad (4.47)$$

Bu sonucu (4.44)'de yerine koyarsak, ($B_k=0$),

$$\frac{w}{w_o} = 1 + \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{2k+1} \cdot \cos\left[(2k+1)\frac{\pi z}{2h}\right] \cdot \cos\left[(2k+1)\frac{\pi ct}{2h}\right] \quad (4.48)$$

Bu Laplace Dönüşüm metoduyla (4.32) ile bulunan sonucun aynısıdır.

(4.48) çözümü; herbiri birbirine şekil fonksiyonları ile bağlı periyodik çözümlerin toplamı olarak düşünülebilir. Genellikle periyodik fonksiyon $\cos(wt)$ şeklinde yazılır. Böylece olabilecek frekansların;

$$w = w_k = (2k+1)\frac{\pi c}{2h}, k = 0,1,2,\dots \quad (4.49)$$

olduğu görülür. Bunlar genellikle karakteristik frekanslar veya sistemin özdeğer frekansları olarak adlandırılırlar. Şekil fonksiyonları ise;

$$\psi_k(z) = \cos\left[(2k+1)\frac{\pi z}{2h}\right], \quad k = 0,1,2,\dots \quad (4.50)$$

dir ve sistemin özdeğer fonksiyonları olarak adlandırılırlar. (Verruijt A., 2004).

4.3.3.2. Periyodik Yük

Bu durumda bütün yerdeğiştirmelerin periyodik olduğu kabul edildiğinden yükün periyodik olması halinde çözüm daha kolaydır. 4.4 Şekli ile verilen bir ucu rijit mesnetli diğer ucuna periyodik yük uygulanan belirli bir uzunluktaki kazığın çözümü yapılacaktır. Bu durumda kazığın rijit mesnetli olduğu sol taraftaki sınır şartları yazılırsa;



Şekil 4.4.Periyodik yüklü kazık (Verruijt A., 2004).

$$z = 0 : w = 0 \quad (4.51)$$

Diğer uçtaki sınır şartı;

$$Z = h: E \frac{\partial w}{\partial z} = -p_o (\sin wt) \quad (4.52)$$

olur. Burada h kazığın uzunluğu, w' da periyodik yükün frekansıdır.

(4.16) diferansiyel denklemi yine z ve t'nin fonksiyonlarının çarpımı olarak yazılabilir.

Özellikle yükün periyodik olmasından dolayı,

$$w = w(z) \sin(wt) \quad (4.53)$$

yazılabilir. (4.16) daki diferansiyel denklemde yerine koyularak göstermiştir ki, bu eşitlik sadece w(z) fonksiyonun aşağıdaki basit diferansiyel eşitliği sağladığı zaman geçerlidir.

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = -\frac{w^2}{c^2} w \quad (4.54)$$

$$c = \sqrt{E/g} = \text{dalga hızı}$$

(4.54) diferansiyel denklemi (4.51) ve (4.52)'de verilen sınır şartlarını da sağlamalıdır.

$$w(z) = -\frac{p_o c \sin(wz/c)}{Ew \cos(wh/c)} \quad (4.55)$$

(4.53) ve (4.55) 'nin yardımıyla sonuç çözüm

$$w(z,t) = -\frac{p_o c \sin(wz/c)}{Ew \cos(wh/c)} \cdot \sin(wt) \quad (4.56)$$

Özel olarak kazığın serbest ucunun hareketine bakılırsa;

$$w(h,t) = w_o \sin(wt) \quad (4.57)$$

$$w_o = -\frac{p_o c}{E w} \tan (wh/c) \quad (4.58)$$

Toplam kuvvetin büyüklüğü, $F_o = -p.A$, yazılırsa,

$$F_o = \frac{EA}{c} \frac{w}{\tan(wh/c)} . w_o \quad (4.59)$$

Burada ilginç olan; w frekansının sistemin özdeğer frekanslarından birine eşit olmasıdır.

$$w = w_k = (2k+1) \frac{\pi c}{2h}, \quad k=0,1,2,\dots \quad (4.60)$$

$\cos (wh/c)=0$ olması halinde, (4.58) eşitliği ile verilen deplasmanın büyüklüğü sonsuz olur. Bu duruma sistemin “rezonansı” denir. Şayet yükün frekansı, sistemin özdeğer frekanslarından birine eşit olursa, rezonansı gösteren çok büyük yer değiştirmeler oluşur. (Verruijt A., 2004).

Mühendislik uygulamalarında kazık genellikle betondur ve dalga hızı c yaklaşık 3000m/s civarındadır. (Kazık uzunluğu $h=20$ m için) normal yüklemelerde uygulamada w frekansı genellikle çok büyük değildir. (Verruijt A., 2004).

Yüksek frekansın yaklaşık $w=20 \text{ s}^{-1}$ ’ler civarında olduğu söylenebilir. Bu halde wh/c değeri yaklaşık 0,13 civarında olup bütün özdeğer frekanslarından çok küçüktür. (En küçüğü $wh/c=\pi/2$ ’de oluşur.) (4.59)’deki $\tan (wh/c)$ fonksiyonu argümanına yaklaşır ve böylece ifade;

$$wh/c \ll 1: F_o \approx \frac{EA}{h} w_o \quad (4.61)$$

halini alır. Bu durum kazığın; kütlesi ve sönümlenmesi olmayan bir yay gibi davrandığını gösterdiği söylenebilir. Bir çok durumda inşaat mühendisliğindeki uygulamalarda yüklemeler çok yavaş ve elemanlar çok rijittir. (Özellikle beton, çelik kazık elemanlar için). Böylece dinamik analiz, basit bir yayın hareketi ile sınırlandırılabilir. (Verruijt A., 2004).

Dinamik etkilerin ihmal edilebilmesi için, frekansın en küçük özdeğer frekansından küçük olacak şekilde yüklemenin yavaş yapılması gerekir.

4.3.4 Karakteristikler Yardımıyla Çözüm

Tek boyutlu dalga yayılımı probleminin en önemli çözüm yöntemlerinden biridir. (Verruijt A., 2004).

(4.16) eşitliğinin çözümleninden biri de;

$$w = f_1(z-ct) + f_2(z+ct) \text{ ' dir.} \quad (4.62)$$

f_1 ve f_2 keyfi fonksiyonlar ve c 'de dalga yayılım hızıdır.

$$c = \sqrt{E / g} \quad (4.63)$$

Matematikte $z = ct$ ve $z = -ct$ yönlerine karakteristikler denir. (4.62) ifadesi başlangıç ve sınır şartları kullanılarak çözülebilir.

Çözüme ulaşmak için geçerli bir yol da temel eşitlikleri aşağıdaki formda yazmaktır.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \rho \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4.64)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = E \frac{\partial v}{\partial z} \quad (4.65)$$

v = hız = $\partial w / \partial t$ ve σ ' da kazıdaki gerilmedir.

Eşitlikleri basitleştirmek için iki yeni değişken tanımlanır.

$$\epsilon = z - ct, \eta = z + ct \quad (4.66)$$

(4.64) ve (4.65) ifadeleri aşağıdaki hale dönüşür.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} + \frac{\partial \sigma}{\partial \eta} = \rho c \left(-\frac{\partial v}{\partial \epsilon} + \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \quad (4.67)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} - \frac{\partial \sigma}{\partial \eta} = \rho c \left(\frac{\partial v}{\partial \epsilon} + \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \quad (4.68)$$

$$\frac{\partial(\sigma - Jv)}{\partial \eta} = 0 \quad (4.69)$$

$$\frac{\partial(\sigma + Jv)}{\partial \epsilon} = 0 \quad (4.70)$$

$$J = \rho c = \sqrt{E\rho} \quad (4.71)$$

Burada J, impedanstır.

z ve t orijinal değişkenleriyle ifadeler;

$$\frac{\partial(\sigma - Jv)}{\partial(z + ct)} = 0 \quad (4.72)$$

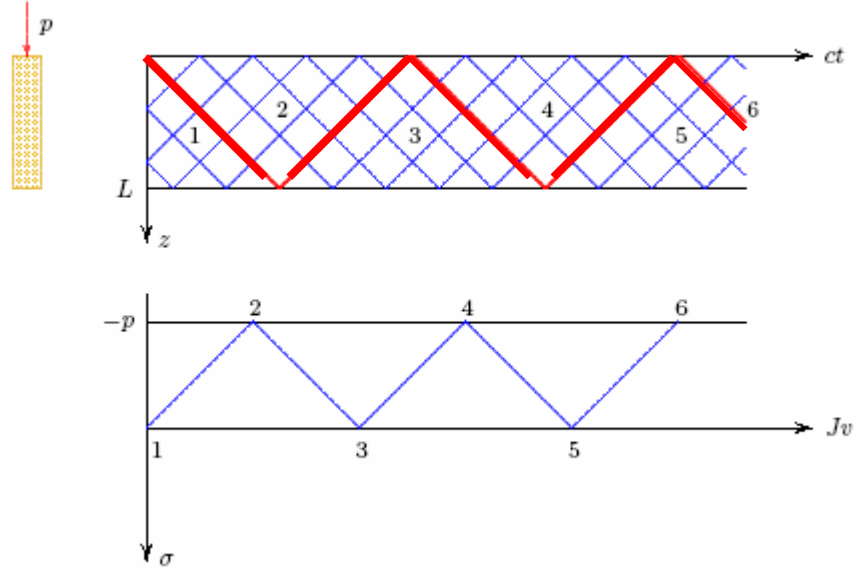
$$\frac{\partial(\sigma + Jv)}{\partial(z - ct)} = 0 \quad (4.73)$$

bu eşitlikler; $\sigma - Jv$ büyüklüğü z + ct' den ve $\sigma + Jv$ ise z-ct ' den bağımsız demektir.

$$\sigma - Jv = f_1(z-ct) \quad (4.74)$$

$$\sigma + Jv = f_2(z+ct) \quad (4.75)$$

Yukarıdaki ifadelerden $\sigma - Jv$ ifadesinin sadece z-ct'nin bir fonksiyonu, $\sigma + Jv$ ifadesinin de sadece z+ct'nin bir fonksiyonu olduğu anlaşılır. Z-ct sabit ise $\sigma - Jv$ 'de sabit, z+ct sabit ise $\sigma + Jv$ de sabittir. Bu zellikler problemin üzümünü sağlar. zm analitik yolla veya z ve ct bağımsız değişkenlerin düzleminde σ ve Jv değişkenlerinin çizilmesi ile pratik olarak bulunabilir. (Verruijt A., 2004).



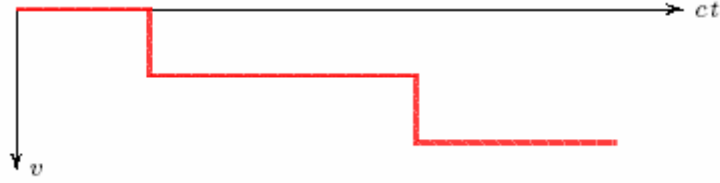
Şekil 4.5 Karakteristikler metodu (Verruijt A., 2004).

Üst ucu $z = 0$ da $t = 0$ anında $-p$ gerilmesine maruz serbest uçlu bir kazık düşünelim. Diğer ucu $z=h$ serbet olduğundan buradaki gerilme sıfırdır. Başlangıç şartı olarak bütün hızlar sıfırdır. Çözüm 4.5 şekliyle gösterilmiştir. Üst şekilde z - ct ve $z+ct$ sabit yerinin doğruları ile z ve ct diyagram çizilmiştir. Başlangıç şartı olarak v hızı ve σ gerilmesi kazık boyunda sıfır olduğundan kazığın her noktası alt şekilde σ ve Jv diyagramındaki 1 noktası ile temsil edilir. Üst diyagramda 1 bölgesi ile gösterilen alt sol köşedeki noktalara $ct=0$ ($\sigma = 0$ ve $Jv = 0$) eksen üzerindeki tüm noktalardan ulaşılabilir. Örnek; z - ct doğrusu=sabit. Bu yüzden bütün bu noktalarda σ - $Jv = 0$ 'dır. Kazığın alt ucunda gerilme daima sıfırdır. $\sigma=0$, $z =0$ olan 1 bölgesindeki tüm noktalarda hız da sıfırdır. $Jv = 0$ alt diyagramdaki 1 noktası üst diyagramdaki 1 bölgesi içinde kalan tüm noktaları temsil eder. (Verruijt A., 2004).

$z = 0$ olan üst uçta t 'nin bütün değerleri için ($t>0$ 'da) σ gerilmesi $-p$ 'dir. Hız bilinmemektedir. Üst diyagramda $x=0$ doğrusuna 1 bölgesinde $z+ct =$ sabit doğrusu üzerindeki noktalardan ulaşılabilir. Bu yüzden σ ve Jv diyagramındaki karşılaştırma noktası, 1 noktasından başlayan $\sigma+Jv=sabit$ doğrusu üzerinde olmalıdır. Çünkü kazığın üst noktasındaki gerilmesinin $-p$ olması için alt diyagramda nokta 2 olmalıdır. Bu da hızın $Jv=p$ veya $v=p/J$ olması demektir. Bu da belirli bir zamanda, en azından $ct=zh$ anında kazığın üst ucunun hızıdır. Çünkü $z=0$ ve $ct<zh$ 'ın tüm noktalarına 1 bölgesindeki sabit karakteristiği üzerinden ulaşılabilir. (Verruijt A., 2004).

Kazığın alt ucundaki σ gerilmesi, kazığın alt ucunun serbet olduğu kabulünden dolayı, her zaman sıfır olmalıdır. Üst diyagramındaki $z=h$ doğrusu üzerindeki noktalara z bölgesindeki $x-ct$ doğrusu üzerinden ulaşılabilir. Bu yüzden bunlar alt diyagramda 2 noktasından başlayan $N-Jv$ sabit doğrusu üzerinde olmalıdırlar. Bu da 3 noktasını verir ki, kazığın alt noktasındaki şimdi $v=2p/j$ demektir. Bu hız üst diyagramdaki 3 bölgesi ile verilen tüm noktalara uygulanır. (Verruijt A., 2004).

Bu şekilde kazıktaki hız ve gerilmeler doğru adımlarla analiz edilebilir. Üst diyagramdaki kalın çizgiler değişik bölgelerin sınırlarıdır. Şekil 4.5’de varsayıldığı gibi kuvvet üst noktadan uygulanmaya devam edilirse, kazığın hızı da devamlı artar.



Şekil 4.6 Kazıktaki hız ve gerilmeler (Verruijt A., 2004).

Şekil 4.6 kazığın alt ucunun hızını zamanın bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Hız zamanla artar çünkü kazığın üst ucundaki p basıncı uygulanmaya devam edilmektedir. Bu durum da Newton’un ikinci yasası olan “sabit kuvvet etkisinde hız sürekli artar” ilkesiyle bağdaşmaktadır. (Verruijt A., 2004).

4.3.5 Dalganın Yayılması ve Yansıması

Sürekli ortamda dalga yayılmasının ilginç bir yönü de malzeme özelliklerinde süreksizliğin olduğu yüzeylerdeki dalga davranışlarıdır. Bu konu üzerinde çalışmak için, Şekil 4.7’de verilen iki farklı malzemeden oluşmuş kazıktaki kısa şok dalgalarına bakalım. Kazığın sol ucuna uygulanan kısa süreli bir basınçla bir basınç dalgası oluşturulur. Kazık iki malzemeden oluşmuştur. Birincisi, rijit kısım ve ikincisi de daha az rijit ve çok uzun bir kısım. (Verruijt A., 2004).

Birinci kısım için temel eşitliklerin çözümü için;

$$v = v_1 = f_1(z - c_1t) + f_2(z + c_1t) \quad (4.76)$$

yazılabilir.



Şekil 4.7 Homojen olmayan kazık. (Verruijt A., 2004).

$$\sigma = \sigma_1 = -\rho_1 c_1 f_1(z - c_1 t) + \rho_1 c_1 f_2(z + c_1 t) \quad (4.77)$$

ρ_1 = birinci kısımdaki malzemenin özgül ağırlığı (yoğunluğu)

c_1 = dalga hızı $c_1 = \sqrt{E_1 / \rho_1}$. Bu çözümün (4.64) ve (4.65) temel diferansiyel denklemlerini sağladığı kolayca ispat edilir.

Kazığın ikinci kısmının çözümü;

$$v = v_2 = g_1(z - c_2 t) + g_2(z + c_2 t) \quad (4.78)$$

$$\sigma = \sigma_1 = -\rho_2 c_1 \rho_1 (z - c_2 t) + \rho_2 c_2 g_2(z + c_2 t) \quad (4.79)$$

ρ_2 ve c_2 ; kazığın ikinci kısmı için yoğunluk ve dalga hızıdır.

İki malzemenin kesiştiği noktada her iki çözüm için de z 'nin değeri aynıdır, $z=h$ olsun ve v hızı ve normal gerilme σ her zaman bu noktada aynı olmalıdır. Böylece;

$$f_1(h - c_1 t) + f_2(h + c_1 t) = g_1(h - c_2 t) + g_2(h + c_2 t) \quad (4.80)$$

$$-\rho_1 c_1 f_1(h - c_1 t) + \rho_1 c_1 f_2(h + c_1 t) = -\rho_2 c_1 g_1(h - c_2 t) + \rho_2 c_2 g_2(h + c_2 t) \quad (4.81)$$

$$f_1(h - c_1 t) = F_1(t) \quad (4.82)$$

$$f_2(h + c_1 t) = F_2(t) \quad (4.83)$$

$$g_1(h - c_2 t) = G_1(t) \quad (4.84)$$

$$g_2(h + c_2 t) = G_2(t) \quad (4.85)$$

olsun.

Öyleyse;

$$F_1(t) + F_2(t) = G_1(t) + G_2(t) \quad (4.86)$$

$$-\rho_1 c_1 F_1(t) + \rho_1 c_1 F_2(t) = -\rho_2 c_2 G_1(t) + \rho_2 c_2 G_2(t) \quad (4.87)$$

Genellikle bu eşitlikler, 4 tane fonksiyonun çözümü için yetersizdirler. Fakat kazığın çok uzun olduğu (veya zaman, kazık alt ucundan yansıyan dalganın ulaşma zamanından daha küçük olduğundan) kazığın alt ucundan yansıyan dalganın çözümünü gösteren fonksiyon, $G_2(t) = 0$ kabul edilebilir. Bu durumda F_2 ve G_1 'in çözümleri, kazığın üst ucundan gelen birinci dalga, F_1 için ifade edilebilir. Sonuç,

$$F_2(t) = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} F_1(t), \quad (4.88)$$

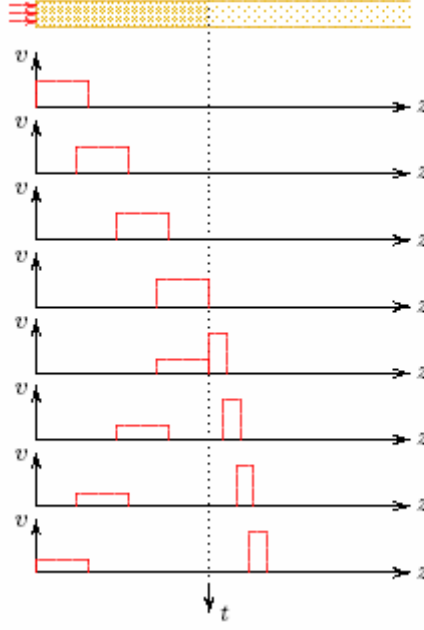
$$G_1(t) = \frac{2\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} F_1(t) \quad (4.89)$$

Bu; kesişim yüzeyinde birinci dalga $F_1(t)=0$ olduğunda yansıyan dalga yoktur. $F_2(t) = 0$ 'dır ve yayılan dalga da yoktur. $G_1(t)=0$, diğer yandan kesişim yüzeyinde birinci dalganın belirli bir değere sahip olması halinde bu noktadaki yansıyan ve yayılan dalgalar (4.88) ve (4.89) bağıntıları ile bulunabilir. Değerler bilinirse, daha sonraki zamanlara ait değerler (4.82)-(4.85) bağıntıları kullanılarak bulunabilir. (Verruijt A., 2004).

Bu işlem bir örnekle açıklanabilir. Bunun için, kazığın iki kısmının aynı yoğunluğa $\rho_1 = \rho_2$ fakat birinci kısmının rijitliği ikinci kısmınınkinin 9 katı olan, $E_1 = 9E_2$ malzemeden yapılmış olduğunu varsayalım. Bu, dalga hızlarının oranının 3 olması, $C_1 = 3C_2$ demektir. Yansıma ve yayılma katsayıları (4.88) ve (4.89) ile;

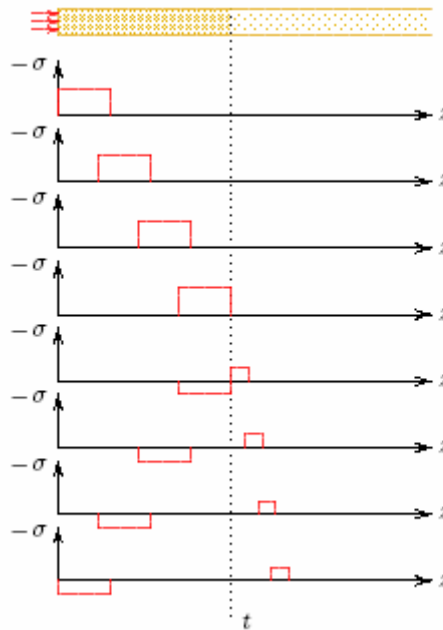
$$R_v = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} = 0.5 \quad (4.90)$$

$$T_v = \frac{2\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} = 1.5 \quad (4.91)$$



Şekil 4.8 Hızın değişik zamanlardaki profili (Verruijt A., 2004).

Çözümün grafik olarak çözümü şekil 4.8’de verilmiştir. Hızın değişik zamanlardaki profilini vermektedir. İlk 4 diyagramda dalga, kesişim noktasına doğru ilerlemektedir. Bu periyotta ikinci kısma geçen ve yansıyan dalga yoktur. Dalga, kesişim noktasına ulaşır ulaşmaz ikinci kısma geçen ve yansıyan dalga oluşur. İkinci kısma geçen dalganın hızının büyüklüğü orijinal dalganınkinin 1,5 katı olup, 3 kat daha yavaş yayılır. Yansıyan dalganın hızının büyüklüğü orijinal dalganınkinin 0,5 katıdır. (Verruijt A., 2004).



Şekil 4.9 Kazığın iki kısmına ait gerilmeler (Verruijt A., 2004).

Kazığın iki kısmına da ait gerilmeler grafik formda Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Yansıyan ve yayılan gerilmelere ait katsayılar (4.77) ve (4.79) kullanılarak çözülebilir.

Sonuç;

$$R_{\sigma} = -\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} = -0.5 \quad (4.92)$$

$$T_{\sigma} = \frac{2\rho_2 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} = 0.5 \quad (4.93)$$

Yansıyan dalgaların oluşturduğu gerilmeler, yansımadan önceki halinin ters işaretlisidir. Bu yüzden kazıdaki basınç dalgaları yansıdığı anda, birinci bölgede çekme gerilmeleri oluşur. (Verruijt A., 2004).

Yansıma için iki uç durumu (extrem durumu) incelemekte fayda vardır. Kazığın ikinci kısmı ihmal edilebilecek kadar yumuşak (veya kazık alt ucu etrafında serbetçe hareket edebilen tek bir malzemeden (kısmıdan) oluşmuş olsun, hız için yansıma katsayısı $R_v=1$ gerilme için $R_{\sigma}=-1$ olur. (Bu, basınç dalgasının aynı büyüklükte çekme dalgası olarak geri yansıması demektir. (Verruijt A., 2004).

Eğer, kazığın ikinci kısmı sonsuz rijit (veya, kazık birinci kısımdan sonra rijit bir temele (ortama) ulaşırsa), hız için yansıma katsayısı $R_v=-1$ ve gerilme için $R_{\sigma}=1$ olur. Bu da, basınç dalgasının eşit büyüklükte yine basınç dalgası olarak yansıma demektir. Bu sonuçlar kazık yerleştirme işlemi için çok büyük öneme sahiptir. Şayet bir kazık çok yumuşak bir tabakaya çakılırsa, kazığın alt ucundan bir gerilme dalgası yansıyabilir ve beton bir kazık bu çekme gerilmelerini karşılayamayabilir. Bu durumda kazığa uygulanan enerji azaltılmalıdır. Mesela bu, şahmerdanın düşüş yüksekliğinin azaltılmasıyla sağlanabilir. Şayet bir kazık çok rijit bir tabakaya çakılırsa, çakma düzeneğinin enerjisi, kazıkta çekme gerilmesi oluşma riski olmadan artırılabilir ve bu kazığın rijit tabakaya yerleştirilmesine yardım eder. (Verruijt A., 2004).

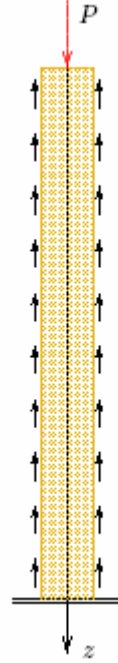
Yalnız, kazık ucunun aniden çok rijit bir tabakadan yumuşak bir tabakaya geçme durumunda çok dikkatli olunmalıdır. Tecrübeli operatörler bu temel prensipleri devamlı uygularlar.

Şu hususa da dikkat edilmelidir ki, yansıyarak kazık üst ucuna doğru hareket eden dalgalar kazığın üst ucunda çekme gerilmeleri oluşturabilirler. Bu durum da, betonun büyük çekme gerilmelerini karşılayamamasından dolayı beton kazıklarının üst ucunda çatlaklara sebep olur.

Bu olumsuz durumu önlemek için kazığın üst ucuna uzunca bir süre basınç kuvveti uygulayabilecek kazık çakma ekipmanları geliştirilmiştir. Tabii ki öngermeli betonarme sistemleri kullanılmakta malzemenin çekme dayanımında büyük artışlar sağlayabilir. (Verruijt A., 2004).

4.3.6. Sürtünme Etkisi

Zemin mekaniğinde genellikle kazıklar, kazık şaftı boyunca sürtünme etkisine maruz kalırlar ve bu sürtünme etkisinin araştırılması kazığın mekanik davranışının tespit edilmesi bakımından önemli bir yer tutar. Sabit enkesiti A, elastisite modulu E, rijit bir tabaka üzerine oturan ve hareketinden dolayı da şaftı içerisinde kayma gerilmelerine maruz kalan bir kazık düşünelim,



Şekil 4.11 Zeminde sürtünme etkisine maruz bir kazık (Verruijt A., 2004).

Temel diferansiyel denklemi,

$$EA \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - C\tau = \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (4.94)$$

C = kazığın çevresi,

τ = kayma gerilmesi.

İlk yaklaşımda kayma gerilmelerinin kazığın düşey yer değiştirmesi ile doğru orantılı olduğunu kabul edelim.

$$\tau = k \cdot w \quad \text{olsun.} \quad (4.95)$$

O halde (4.94);

$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{w}{H^2} = \frac{1}{C^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (4.96)$$

H = eksenel (düşey) kazık rijitliğinin sürtünme sabitine oranı olan bir uzunluk parametresidir.

$$H^2 = \frac{EA}{kc} \quad (4.97)$$

$$c = \text{dalga hızı}; c^2 = E/g \quad (4.98)$$

Sınır şartları;

$$Z = 0 : N = EA \frac{\partial w}{\partial z} = -P \sin (wt) \quad (4.99)$$

$$Z = L : w = 0 \quad (4.100)$$

Birinci sınır şartı; kazığın üst ucunun büyüklüğü P, dairesel frekansı W olan periyodik bir yüke maruz kaldığını gösterir. İkinci sınır şartı da; kazığın sağlam bir kaya tabakası üzerinde durması gibi bir durum için de kazığın alt ucunun yerdeğiştirme yapmama ihtimali olduğunu gösterir. (Verruijt A., 2004).

(4.96) diferansiyel eşitliği ve (4.99) sınır şartları ile tanımlanan problem, değişkenlere ayırma metoduyla kolaylıkla çözülebilir. Bu metotta, çözümün z fonksiyonunun bir sin(wt) çarpanı ile çarpımından elde edildiği varsayılır. Böylece çözüm için bütün şartları sağlayan;

$$W = \frac{PH}{EA\alpha} \frac{\sinh[\alpha(L-z)/H]}{\cosh(\alpha L/H)} \cdot \sin(\omega t) \quad (4.101)$$

İfadesi elde edilmiş olur. Burada;

$$\alpha = \sqrt{1 - \omega^2 H^2 / c^2} \quad (4.102)$$

Kazık üst ucunun yer değiştirmesi W_t ;

$$W_t = \frac{P}{K} \sin(\omega t) \quad (4.103)$$

K yay sabiti;

$$K = \frac{EA}{L} \cdot \frac{\alpha L/H}{\tanh(\alpha L/H)} \quad (4.104)$$

Yukarıdaki eşitliğin sağ tarafının ilk terimi, sürtünme olmadığı durumdaki yay sabitidir. İkinci terim ise, α değişkeninin değeri ile ω frekansına bağlıdır. $\omega H/c > 1$ olduğu durumlarda α 'nın imaginary olduğu unutulmamalıdır. $\alpha = i\beta$ olsun. Burada

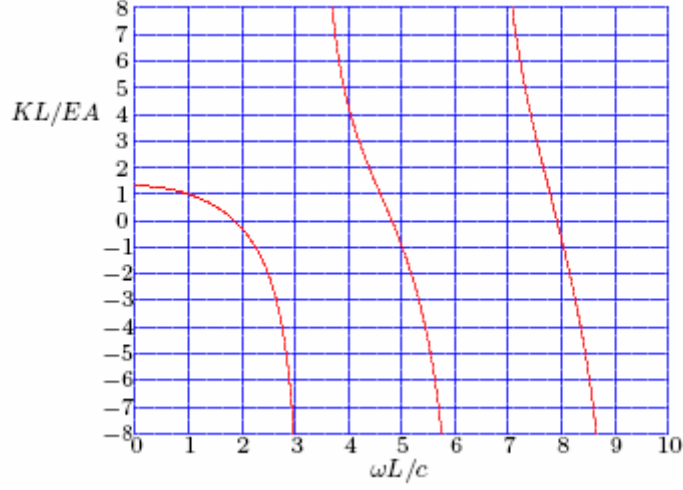
$$\beta = \sqrt{\omega^2 H^2 / c^2 - 1} \quad (4.105)$$

Yay sabitini daha anlaşılır yazarsak;

$$\omega H/c > 1 : K = \frac{EA}{L} \cdot \frac{\beta L/H}{\tan(\beta L/H)} \text{ olur.} \quad (4.106)$$

Bu ifade, $\omega H/c$ 'nin belirli değerleri için yay sabitinin sıfır olacağını belirtir ki, bu durum rezonanstır. Bu değerler, sistemin özdeğerleri ile uyushmaktadır. Belirli bazı değerler için de yay sabiti sonsuz büyüktür. Frekansın bu değerleri için sistem çok rijit gözüktür. (Verruijt A., 2004).

Yay sabiti, frekansın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki 4.12 şekliyle verilmiştir. ($H/L=1$ için)



Şekil 4.12 Yay sabiti (H/L=1)

k subgrade modulus'un tespit edilmesi gerekmektedir. Bu değişken zemin rijitliğine bağlı olan bir formülle ifade edilebilir. $k = E_s / D$. Burada; E_s , zeminin elastisite modulu (deformasyonların eşitliği sağlayacak kadar küçük olduğu kabul edilmiştir.) ve D , kazık çapıdır. Dairesel betonarme bir kazık için D çapı için H karakteristik uzunluğu (4.84) yardımıyla,

$$H^2 = \frac{EA}{kC} = \frac{EcD^2}{2E_s} \quad (4.107)$$

olur.

Normal şartlar altında bir kazık yumuşak zemine uygulanacaksa, betonun zeminin elastik modülüne oranı 1000 ve genelde kazık çapları 0,40 m civarında olmaktadır. Bu da $H \approx 10$ m demektir. Dalganın, betonda yayılma hızı da $c = 3000$ m/sn civarındadır. Bu durumda da wH/c değişkeninin 1'e oranla küçük olması demektir. Fakat kazığın zemine çakılması sırasında meydana gelen çok yüksek frekans durumu istisnadır. Birçok inşaat mühendisliği problemlerinde, rüzgar veya dalga yükünden kaynaklanan dalgalanmalarda frekans genellikle 1 sn^{-1} veya daha küçük olup, wH/c değişkeninin büyüklüğü 0,01 civarındadır. Bu durumda α 'nın değeri 1'e çok yakın olur. (4.102 eşitliği). Bu da kazığın davranışının statik (durgun) olduğunu gösterir. (Verruijt A., 2004).

Eğer 100 km/saat hızla, tekerleklerinin arası 5 m olan ağır bir tren geçerse yükün periyodu yaklaşık $1/6 \text{ sn}$ ve frekansı da 30 sn^{-1} olur. Bu durumda wH/c küçük değildir ve dinamik etkilerin de gözönüne alınması gerekir. (Verruijt A., 2004).

5. TEKİL KAZIKLARIN BURULMA ANALİZİ

5.1. Giriş

Tekil kazıkların üç boyutlu analizi zemin direnci ile kazığın burulma yerdeğiştirmesi arasında bir ilişki olması gerektiğini ortaya koyar. Burulma kuvvet çifti ilişkisinin eksenel (düşey) ve yatay yüklere göre etkisinin daha az olması nedeniyle bu konuda şimdiye kadar sınırlı çalışmalar yapılmıştır. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000), (Guo D.W, Randolph F.M, July 1996), Guo D.W., Lee H.F., (March 2001).

Zeminin homojen ve radially lineer elastik kazığın prizmatik ve lineer elastik ve herhangi bir noktadaki zeminin direnci o noktadaki kazık-zemin kesişim yüzeyinde sadece burulma yerdeğiştirmesinin bir fonksiyonu olduğu kabul edilir. Bu kabuller altında, saf kesme kuvveti altında, kazık eksenine dik zemin düzlemleri yine düzlem olarak kalmaktadır. Bu durumda elastisite teorisi çözümü; (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000), (Guo D.W, Randolph F.M, July 1996).

$$\tau = \tau_0 \left(\frac{R}{r} \right)^2 \quad (5.1)$$

Ve,

$$V = \frac{\tau_0 R^2}{2G_s r^3} \quad (5.2)$$

Burada;

τ = Kazık ekseninden r eğrisel (radyal) mesafesindeki kayma gerilmesi

τ_0 = Kazık-zemin kesişim yüzeyindeki kayma gerilmesi

R = Kazık çapı

V = r mesafesindeki eğrisel (radyal) yöne dik yerdeğiştirme

G_s = Zeminin kayma modülü

Kazık ve zemin arasındaki yüzeyde kayma (slippage) yoksa, bu kesişim yüzeyindeki herhangi bir noktadaki teğet yerdeğiştirme;

$$V = R.\theta \quad (5.3)$$

Burada θ , kazığın dönmesidir. Ve sonuç olarak gerekli bağıntısı,

$$\frac{\tau_0}{\theta} = 2G_s \quad \text{olur.} \quad (5.4)$$

Yüzey kayma gerilmesi ve kazık dönmesi arasındaki lineer ilişki, τ_0 yüzey kayma gerilmesi aşağıdaki limit değerlere ulaştınca, sona erer.

$$\text{Kumlar için; } \tau_{ou} = k_o \cdot \sigma_v \cdot \tan \delta \quad (5.5)$$

$$\text{Killer için; } \tau_{ou} = \alpha \cdot S_u \quad (5.6)$$

Burada;

τ_{ou} = kazığın uzun eksenine boyunca kazığın dönmesine engel olan nihai zemin kayma gerilmesi.

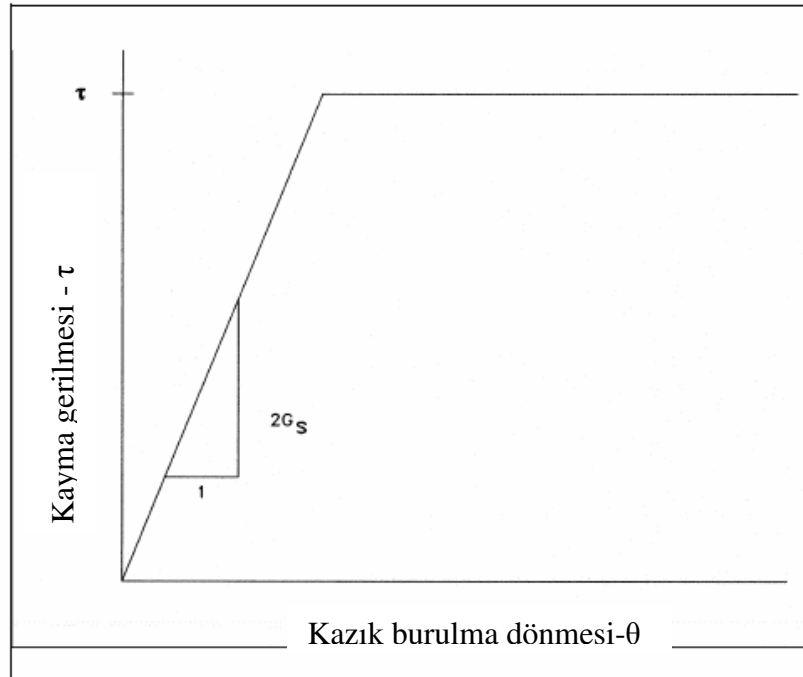
k_o = pasif (hareketsiz durumdaki) basınç katsayısı

δ = kumlar için kazık-zemin arasındaki yüzeyin sürtünme açısı.

τ_o = düşey efektif gerilme.

α = Kilin kayma direnci. Şekil 5.1'de de görülebileceği gibi, ilave dönme yerdeğiştirmesi için

τ_{ou} dönme direnci sabit kalır.



Şekil 5.1. Burulmadan kaynaklanan kayma gerilmesi dönme eğrisi (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000)

5.2.Elastik Analiz

Yüzey kayma gerilmesi τ_{ou} 'dan küçük olursa, zemin-kazık sistemi tamamen lineer elastiktir. Lineer-zemin-kazık sisteminin burulma davranışını temsil eden diferansiyel eşitlik,

$$GJ \frac{d^2 \theta}{dz^2} - 4\pi R^2 G_s(z) \theta = 0 \quad (5.7)$$

Burada;

G = Kazık malzemesinin kayma modülü

J = kazık enkesitin burulma alanı (Dairesel kesitin polar eylemsizlik momenti).

(5.7) eşitliği, eksenel yüklü kazığın en önemli diferansiyel eşitliği olup, aşağıdaki şekilde, kazık başlığının burulma-kuvvet çifti rijitliği hesaplanabilir: (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000), (Guo D.W, Randolph F.M, July 1996).

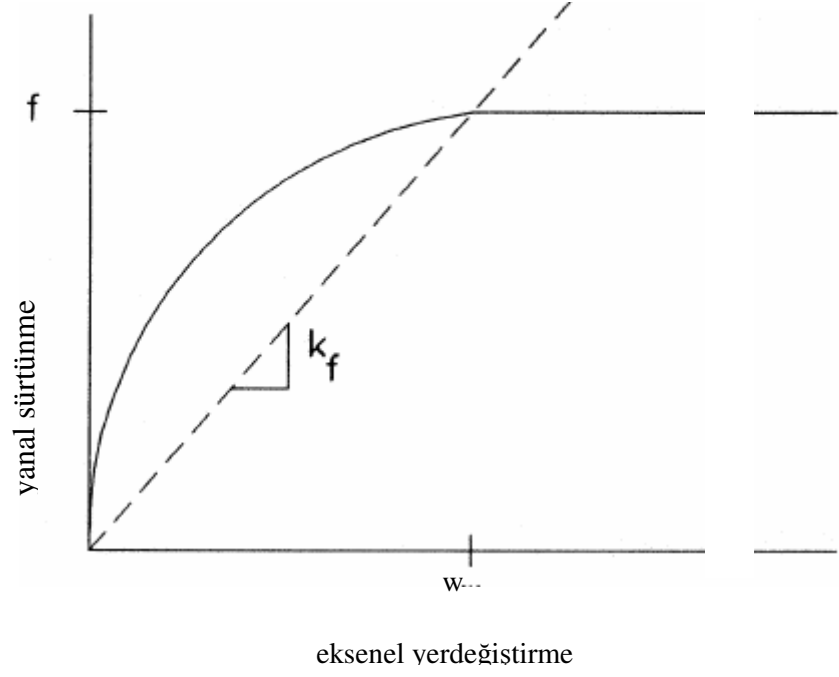
Lineer Elastik Analiz; Kazık-Zemin sisteminin lineer elastik gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$EA \frac{d^2 w}{dz^2} - E_z(z)w = 0 \quad (5.8)$$

$E_z(z)$ = Eksenel yük iletimi mekanizmasının rijitliğidir. Tipik bir kuvvet-yerdeğiştirme (f-w) eğrisi 5.2 şeklinde verilmiştir. Herhangi bir w-yerdeğiştirmesi nonlinear f-w eğrisi bir lineer sekant $k_f(z)$ ile yerdeğiştirebilir. (5.8) eşitliği ile gösterilen eksenel yük iletim mekanizmasının toplam rijitliği,

$F_z(z) = 2.R. k_f(z)$ ile bulunabilir.

(5.8) eşitliği lineer elastik sistemleri temsil etse de, yanal sürtünme rijitliği derinlikle sabit olduğu durumlarda bir kapalı form çözümü vardır. Bir çok kazık-zemin sisteminde bu durum mümkün olmasa da, sabit rijitlik çözümü sistemin davranışının tanımlanmasına yardımcı olur. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000), (Guo D.W, Randolph F.M, July 1996).



Şekil 5.2 Tipik f-w eğrisi (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

E_z 'nin derinlikle sabit olduğu hallerde (5.8) eşitliği,

$$W = \frac{P_o T_z}{EA} \left(CI \cosh \frac{z}{T_z} - \sinh \frac{z}{T_z} \right) \quad (5.9)$$

olarak yazılabilir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

Burada;

P_o = Kazık başındaki eksenel basınç kuvveti

CI = Kazık alt ucu şartlarından belirlenecek sabit ($z = L$)

Kazık alt ucunda üç değişik şart (durum) olabilir;

a) Reaksiyon kuvveti sıfırdır: $z = L$ 'de $Q = 0$.

$$CI = \frac{\cosh L/T_z}{\sinh L/T_z} = \frac{\cosh Z_{\max}}{\sinh Z_{\max}} \quad (5.10)$$

b) Kazık ucu yer değiştirmesi sıfırdır: $z = L$ 'de $w = 0$.

$$CI = \frac{\sinh Z_{\max}}{\cosh Z_{\max}} \quad (5.11)$$

c) Kazık ucu elastik mesnetlidir: $z = L'$ 'de $Q = K_t \cdot w_t$

$$CI = \frac{\cosh Z_{\max} + r \cdot \sinh Z_{\max}}{\sin Z_{\max} + r \cdot \cosh Z_{\max}} \quad (5.12)$$

Burada; $r = K_t/E_z T_z$

K_t = Kazık ucundaki elastik direncin rijitliğidir.

$$Z_{\max} = L/T_z$$

Burulma için,

(5.10) ve (5.11) eşitliğinde $T_z = (GJ/4\pi R^2 G_s)^{1/2}$ olarak tanımlanır ve G_s derinlikle değişmez, sabittir.

Kazık başlığının eksenel rijitliği için,

Kazık başlığına etkileyen P_o kuvveti ve eksenel yerdeğiştirme W_o arasında aşağıdaki bağıntılar vardır.

$$a_0 = \frac{EA}{Tz} \frac{w_0}{p_0} \quad (5.13)$$

a_0 = kazık başı rijitlik katsayısı

Burada;

a) Kazık ucu serbest ise,

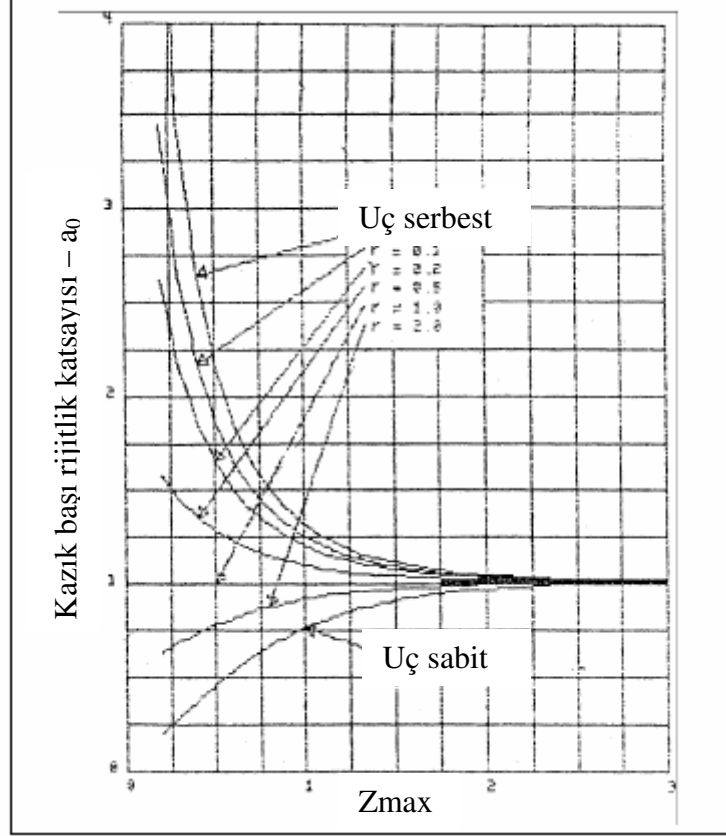
$$a_o = \frac{\cosh Z_{\max}}{\sinh Z_{\max}} \quad (5.14)$$

b) Kazık ucu sabit ise;

$$a_o = \frac{\sinh Z_{\max}}{\cosh Z_{\max}} \quad (5.15)$$

c) Kazık ucu elastik mesnetli ise,

$$a_0 = \frac{\cosh Z_{\max} + r \cdot \sinh Z_{\max}}{\sinh Z_{\max} + r \cdot \cosh Z_{\max}} \quad (5.16)$$



Şekil 5.3, Sabit zemin rijitliği için eksenel rijitlik katsayısı (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

5.3 şeklinde, Z_{max}'ın değişik değerlerine karşı gelen a₀ değerleri çizilmiştir. Z_{max}'ın 2'den büyük olduğu durumlarda kazık ucundaki şartların kazık başlığındaki kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisine olan etkisi ihmal edilemeyecek seviyededir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

Kazık başlığındaki eksenel kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi kazık gruplarının analizinde kullanılan elastik kazık başlığı rijitlik matrisinin bir kısmını oluşturur. Eksenel kazık başlığı rijitlik katsayısı aşağıdaki ifade ile verilir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

$$\frac{P_o}{w_o} = \frac{EA}{T_z} \cdot \frac{1}{a_o} \quad (5.17)$$

Burulma için, (5.13) ve (5.17) eşitliklerindeki EA'ları GJ ile, W_o 'ı $\emptyset_o$ (kazık başındaki kuvvet çifti açısı), ve P_o 'ı M_o ile (Kazık başındaki burulma momenti) ile değiştirilir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

5.3. Değişken Zemin Rijitliği İçin Boyutsal Olmayan Analiz

Daha önceden bahsedildiği gibi, kazık yanal yüzeyi sürtünme yerdeğiştirme rijitliği derinlikle artar. Çalışma yükü aralığında (mesela, nihai yükün yarısı gibi) kazık başına uygulanan eksenel yükler için; normal konsolide killer için kazık yan yüzeylerindeki sürtünme derinlikle yaklaşık olarak lineer, homojen kumlarda da derinliğin kareköküyle artar. Genel olarak bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir; (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

$$E_z(z) = K_0 + K_f \cdot z^n \quad (5.18)$$

Burada;

K_0 = Zemin yüzende yan yüzeylerin sürtünme etkisinin elastik rijitliği.

K_f = Yan yüzeylerin sürtünme etkisinin; birim şekil değiştirme için kazığın birim uzunluğuna etkiyen yük cinsinden, elastik rijitlik katsayısı.

$n = 1$ derinlikle lineer değişim için.

$n = 1/2$ derinliğin kareköküyle değişim için

Yan yüzeylerin sürtünme etkisinin rijitliği zemin dayanımının (taşıma gücünün) bir fonksiyonu olduğundan kum zeminler için K_0 sıfır olacaktır. Killi zeminler için yüzey seviyesinde de bazı adhezyon kuvvetleri olabileceğinden, bu zeminlerde K_0 sıfır olmayacaktır. Fakat kazığın yerleştirme ve çakma işlemleri zeminin yüzey bölgesindeki adhezyon kuvvetlerini minimize edeceğinden genel olarak $K_0 = 0$ olarak alınabilir. Böylece diferansiyel denklemi;

$$EA \frac{d^2 w}{dz^2} - K_f z^n w = 0 \quad (5.19)$$

(5.19) eşitliğinin kapalı form çözümü yoktur. fakat aşağıda bahsedilen basit sayısal tekniklerle boyutsuz çözümler elde edilebilir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000), (Guo D.W, Randolph F.M, July 1996), (Warrington C.D, (May 1999).

Aşağıdaki işlemler Matlock ve Reese (1962) tarafından tanımlanmış ve verilmiştir.

$$z = \frac{Z}{T_z} \quad (5.20)$$

$$Z_{\max} = \frac{L}{T_z} \quad (5.21)$$

$$A(z) = \frac{EA w(z)}{P_0 T_z} \quad (5.22)$$

$$r = \frac{Kt}{K_f \cdot (T_z)^{n+1}} \quad (5.23)$$

$$(T_z)^{(n+20)} = \frac{EA}{K_f} \quad (5.24)$$

Boyutsuz değişkenler diferansiyel denklemde yerine koyulursa;

$$\frac{d^2 a(z)}{dz^2} - Z^n a(z) = 0 \quad (5.25)$$

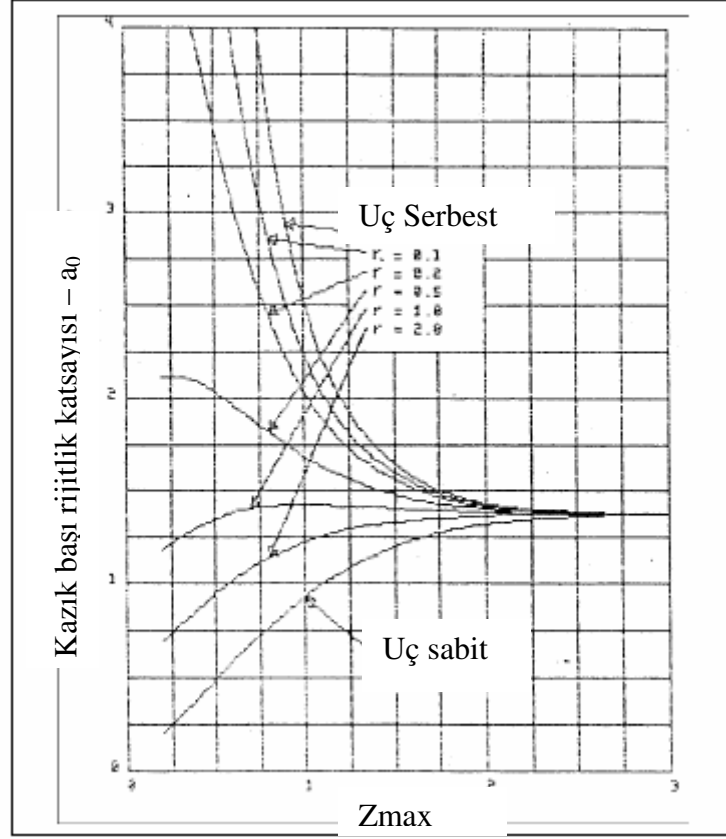
(5.25) eşitliği $a(z)$ için herhangi bir sayısal teknikle (sonlu farklar gibi) çözülebilir. (5.25) eşitliğinden kazık başındaki kuvvet ve kazık başının yerdeğiştirme ilişkisi $a(z = 0)$ olarak elde edilebilir. Burada;

$$a_0 = \frac{EA}{P_0} \cdot \frac{w_0}{T_z} \quad (5.26)$$

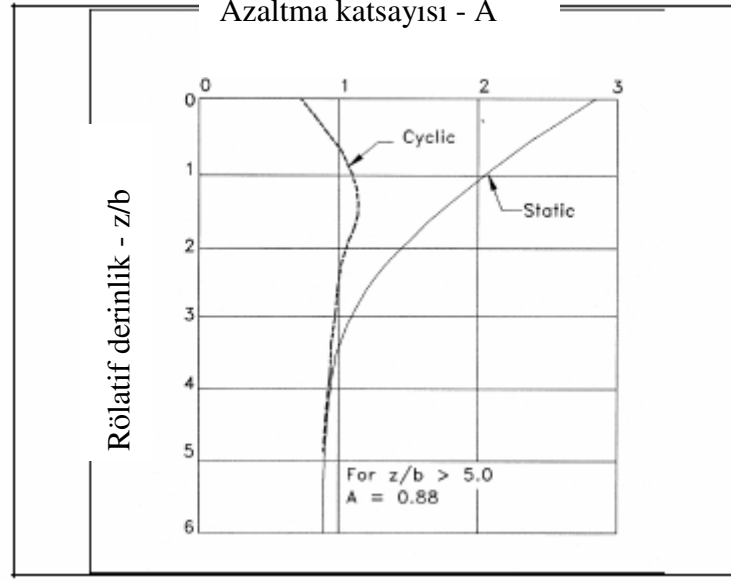
ve kazık başı eksenel rijitliği de;

$$\frac{P_0}{w_0} = \frac{EA}{T_z} \cdot \frac{1}{a_0} \quad (5.27)$$

Yanal sürtünme rijitliği derinlik ilişkisi lineer değişim için (5.4) şekliyle, derinliğin kareköküyle değişimi için ise Şekil 5.5 ile verilmiştir. Bu şekiller $Z_{max} > 2$ için kazık alt ucu reaksiyon rijitliğinin ihmal edilebileceğini gösterir. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).



Şekil 5.4 Sabit zemin rijitliği için eksenel rijitlik katsayısı. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).



Şekil 5.5 Derinliğin karekökü değişimi (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000).

Burulma için,

(5.22) eşitliğinde; EA 'yı GJ ile, $w(z)$ 'yi $\theta(z)$ ile ve P_0 'ı M_0 ile yer değiştirilerek bulunur.

$$a(z) = \frac{GJ\theta(z)}{M_0 T_z} \quad (5.28)$$

(5.24) eşitliğinde; EA 'yı GJ ile yer değiştirip, K_f 'yi; G_s 'nin derinlikli değişen değerleri için $G_s(z) = K_f \cdot Z^n$ olarak tanımlayarak bulunur. (Mosher L.R., Dawkins P.W, November 2000)

$$(T_z)^{(n+20)} = \frac{GJ}{G_s(z)/z^n} = \frac{G \cdot J \cdot Z^n}{G_s(z)} = T_z^{(n+20)} \quad (5.29)$$

5.4. Kazıkların Burulma Direnci İçin Mevcut Metodlar

5.4.1. Bütün Zemin Sınıfları İçin Metotlar

5.4.1.1.FDOT Yapısal Tasarım Ofis Yöntemi

Bu yöntem, zemine yerleştirilmiş kazıkların sadece basit burulma yükü altındaki burulma problemiyle ilgilenir ve zeminin rijit plastik bir malzeme gibi davrandığı kabul edilir

fakat zemin kohezyonlu veya kohezyonsuz olabilir. Kohezyonsuz zeminler için bu yöntem aşağıdaki gibi uygulanabilir. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

$$T_s = (K_0 \cdot \gamma \cdot 0,5L^2) \cdot \pi \cdot D \cdot \tan \delta \cdot 0,5 \cdot D \quad (5.27)$$

Burada;

T_s = Yanal yüzeyin burulma direnci, ft-kips

K_0 = Zeminin durgun haldeki yatay basınç katsayısı

γ = Efektif birim ağırlık (zeminin) lb/ft³

L = (Gömülü) kazık boyu, ft

D = (Gömülü) kazık çapı, ft

δ = Zemin-kazık birleşme yüzeyindeki sürtünme açısı, kazıklı temellerde zeminin içsel sürtünme açısına eşittir. ($\emptyset$)

Ek olarak; kazığın alt ucunun (tabanın) burulma direnci aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$T_b = W \cdot \tan \delta \cdot 0.33D \quad (5.28)$$

Burada;

T_b = Kazığın taban burulma direnci, ft-kips

W = Kazığın ağırlığı, kips

D = Kazık çapı

S = Zemin-kazık birleşme yüzeyindeki sürtünme açısı, kazıklı temellerde zeminin içsel sürtünme açısına eşittir. (φ)

Böylece kazığın toplam burulma direnci;

$$T_{top} = T_s + T_b \quad (5.29)$$

olur. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

5.4.1.2 .Kolorada Ulaşım Departmanı Metodu

Bu metod (CDO) Richard Osmun tarafından geliştirilmiştir. Kohezyonlu zeminlerde burulma direnci, hem yan yüzeylerin direncinden hem de taban direncinden gelir. Kazık üst ucundan

1,5 D kadarki mesafeye kadar olan yan yüzeylerin burulma direnci ihmal edilir. Böylece killi zeminler için toplam burulma direnci; (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

$$T_{kil} = \pi D(L-1.5D).c.(D/2) + \pi (D^2/4).c.(D/3) \quad (5.30)$$

Burada;

D= Kazık çapı

L= Gömülü kazık uzunluğu

C= Kohezyon katsayısı

Kohezyonlu zeminlerde derinlikle birlikte burulmayı kontrol etmek için 1,25 güvenlik katsayısı alınır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

Kohezyonsuz zeminlerdeki burulma yine kazık tabanın ve yan yüzeylerin dirençlerinin toplamı şeklindedir. Yan yüzeylerin dirençlerinin hesaplanması için yan yüzeylerin sürtünmesi f;

$$f = K.\sigma'_v.\mu \quad (5.31)$$

K_1 = toprak basıncı katsayısı

σ'_v = efektif basınç

μ = sürtünme katsayısı

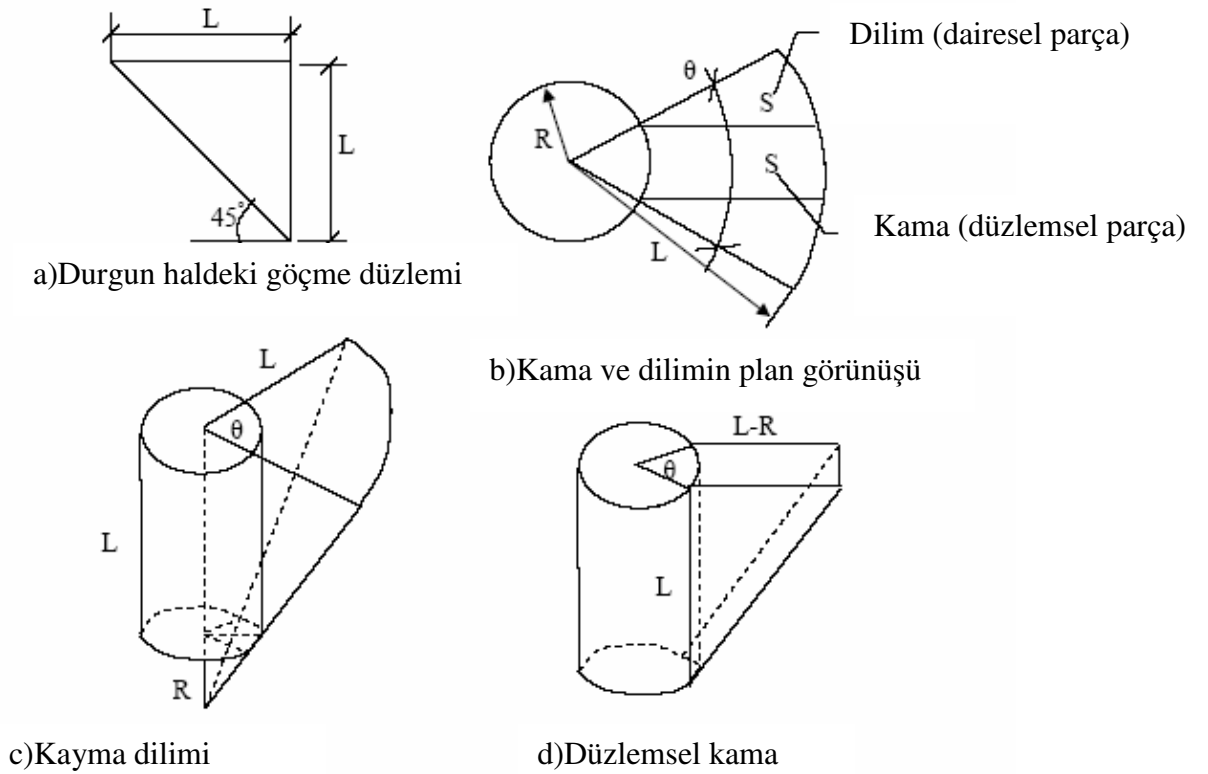
K değerinin tespit edilmesi için;

Dairesel durumda kayma kamasındaki zemin kütesinin ağırlığı, düzlem durumundan daha fazladır.

$$K = \eta(1-\sin \varphi)$$

η = dairesel kesitin hacminin düzlem kesit kamasının hacmine oranı.

φ = zeminin içsel sürtünme açısı.



Şekil 5.6. Kayma kaması (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

Dilimin içerisindeki şaft hacmi hariç tutularak, dilimin hacmi;

$$\begin{aligned}
 V_L &= \frac{1}{3} \pi L^2 (L + R) \frac{\theta}{2\pi} - \frac{\theta}{2\pi} \pi R^2 L - \frac{1}{3} R^2 R \frac{\theta}{2\pi} \\
 &\cong \frac{1}{6} (L^3 - R^3) \theta - \frac{\theta}{2} R^2 L \cong \frac{1}{6} L^3 \theta \quad (\text{Şayet } R, L' \text{ ye kıyasla küçük ise}). \quad (5.32)
 \end{aligned}$$

Burada;

L = kazık (gömülü) uzunluğa

R = kazık (gömülü) çapı

θ = Şekil 5.6 ile gösterilen dilim açısı

Kamanın Hacmi;

$$V_R = \frac{R \theta (L - R) L}{2} \cong \frac{R \theta L^2}{2} \quad (\text{Şayet } R, L' \text{ ye kıyasla küçük ise}). \quad (5.33)$$

Böylece η değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\eta = \frac{V_L}{V_R} \cong \frac{L}{3R} \quad (5.34)$$

K değeri de;

$$K = \eta K_o = \frac{L}{3R} (1 - \sin \phi) \quad (5.35)$$

Kumlu zeminlerde yan ve taban burulma dirençlerinin toplamıyla oluşan toplam burulma kapasitesi,

$$T_{KUM} = \left(K \cdot \gamma \frac{L}{2} \right) (L) (\pi D) \mu \left(\frac{D}{2} \right) + w \mu \left(\frac{D}{3} \right) \quad (5.36)$$

bulunur. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

Burada;

$K = \eta (1 - \sin \phi)$, $\eta = 2L/3D$ (dairesel kesitlerde)

$M = \tan \delta$,

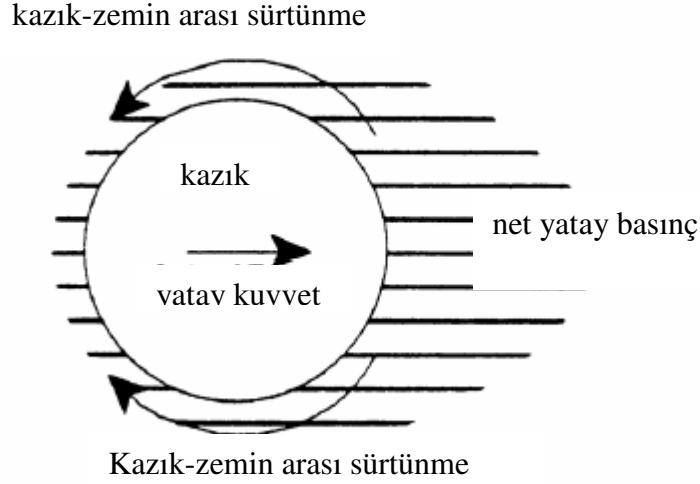
δ = Yüzeyle zemin arası çok pürüzlü ise zeminin içsel sürtünme açısı olan ϕ 'ye eşittir.

Kohezyonsuz zeminlerde derinlikle birlikte burulmayı kontrol etmek için 1,25 güvenlik katsayısı alanır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

5.4.2. Kumlu Zeminler İçin Metotlar

Tawfig (2000): Tawfig kumlu zeminlerde toplam burulma kapasitesi için burulma ve yatay kuvvet şartlarına bağlı olarak bir metot önermiştir. Bu metotla net yatay kuvvet; alt tabakalardaki toprak basıncı reaksiyon metodu ile rankine teorisindeki aktif ve pasif toprak basınçları arasında kalan başlangıç (eşik) yatay basınçların birleştirilmesi ile bulunur. Sonra da, maksimum burulma direnci, kazık derinliği boyunca oluşan net yatay toprak basınçlarından kayma gerilmesi sınırlandırılarak bulunur. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

Alt tabakalardaki reaksiyon kuvvetleri, kazıkların yatay yük etkisinde yatay toprak basınçlarının bulunması ile belirlenir. Her derinlikteki yatay toprak basıncı dağılımı aktif toprak basıncı ve yatay yüklerin basınçlarının kombinasyonu olarak belirtilir. Belirli derinliklerde kazık çevresindeki bileşke basınç, 5.7 şekliyle verilen Smith'in önerisi olan basınç dağılımı olarak hesaplanır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).



Şekil 5.7 Kazık-zemin arası sürtünme (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices 2004).

Yatay kazık hareketine zemin direncinin hem basın hem de kayma bileşenleri vardır. Bunların toplamı p-y eğrilerindeki p değeridir. (Smith'den sonra, 1989)

Kazık derinliği boyunca eşik yatay basıncın esaplanması için Rankine metodu uygulanır. Sonra da; net toprak basıncının şaft boyunca integrali alınır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

Limit Yan Yüzeylerdeki kayma gerilmesi;

$\tau = P_n \cdot \tan \delta$ ile belirlenir.

Burada;

P_n = şaft boyunca integrali alınan net toprak basıncı

δ = zemin-kazık arası sürtünme açısı $\cong \phi$ = zemin sürtünme açısı. Bentonite veya attapulgate gibi sıvılar kullanılacaksa 0,5 veya 0,6 gibi alınması tavsiye edilir.

Sonuç olarak; nihai burulma kapasitesi,

$$T = \sum_n \sum_{nang} R^2 \frac{2\pi}{nang} \cdot \frac{L}{n} \cdot \tan(\delta) \cdot \tau \quad (5.37)$$

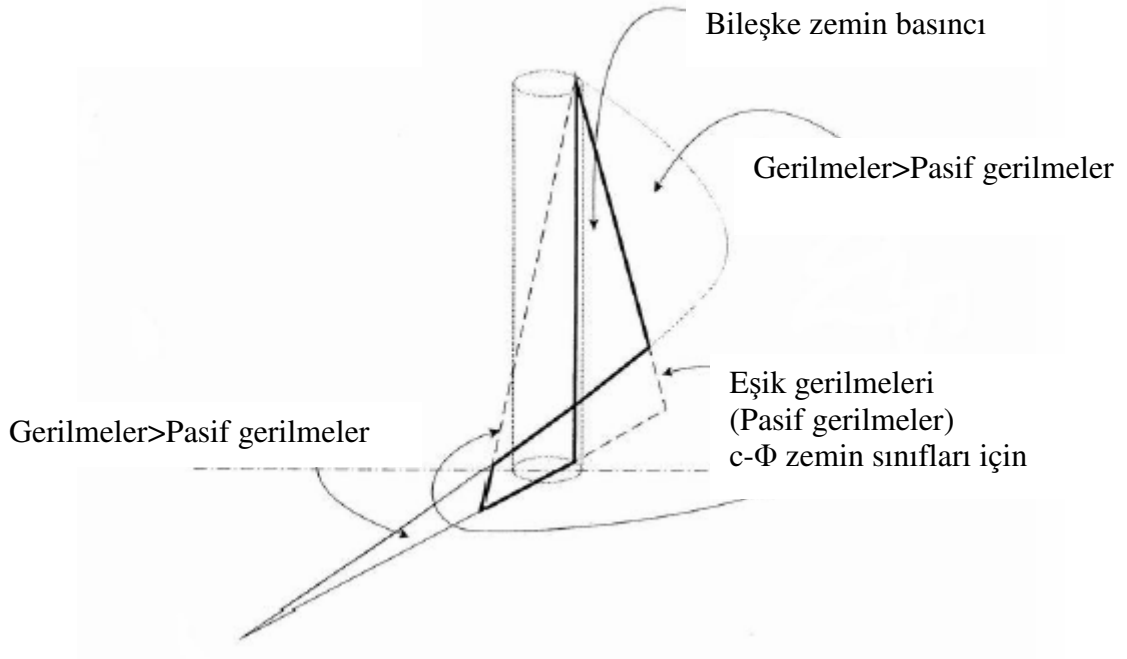
ifadesiyle bulunur. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

Burada;

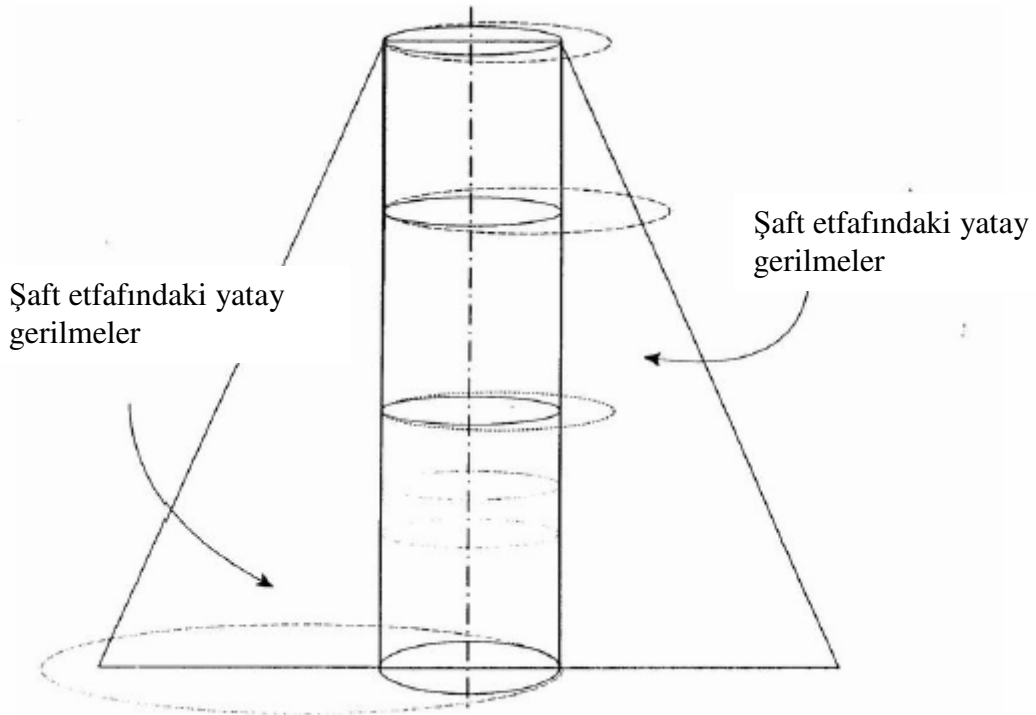
n = şaft derinliği boyunca alınan kazık parça sayısı

$nang$ = şaft kesitin açı değeri

Şafttaki en büyük gerilmeler;



Şekil 5.8 Şaft boyunca her derinlikteki eşik basınç değerinin (Rankine basıncı) bulunması. (Tawfig 2000'den sonra), (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).



Şekil 5.9 Şaft boyunca sonuç basınç değerleri. (Tawfig 2000'den sonra), (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

5.4.3. Killi Zeminler İçin Metotlar

Florida District 7 Metodu

Bu metot, killi zeminlerde açılan shaftlar için α metodu üzerine kurulmuştur. α metoduna göre (Tomlinson, 1971), birim sürtünme

$$f_s = \alpha.c + \bar{q}.K \tan \delta \quad (5.38)$$

Burada;

α = adhezyon katsayısı

$\bar{q}$ = kazık elemanı üzerindeki efektif düşey gerilme

δ = (toprak) zemin-kazık arası efektif sürtünme açısı

$K = K_o$ 'dan 1,75'e kadar değişebilen yatay toprak basıncı katsayısı. K_o 'a yakın olan değerlerin alınması tavsiye edilir

$$K_o = (1 - \sin \phi) \sqrt{OCR} \text{ dır.} \quad (5.39)$$

OCR=aşırı konsolidasyon oranıdır.

Toplam alt ucun direnci;

$$Q_b = 0,67. (w + A_y). \tan \delta \quad (5.40)$$

W = kazığın ağırlığı, lbs.

A_y = kazık boyunca düşey yük, lbs

Böylece alt ucun toplam burulma direnci

$$T_b = Q_b. (0,67 D)$$

olarak hesaplanabilir. Yanal yüzeylerin toplam burulma direnci de,

$$T_s = p.L. \sum f_s.D/2 \quad (5.41)$$

p = kazığın yüzey alanı

L = kazığın uzunluğu, ft

D = kazığın çapı, ft

Toplam burulma direnci, yanal yüzeylerin ve kazık alt ucunun dirençlerinin toplanmasıyla bulunur. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

5.5. Kazıkların Burulma Davranışı İçin Testler

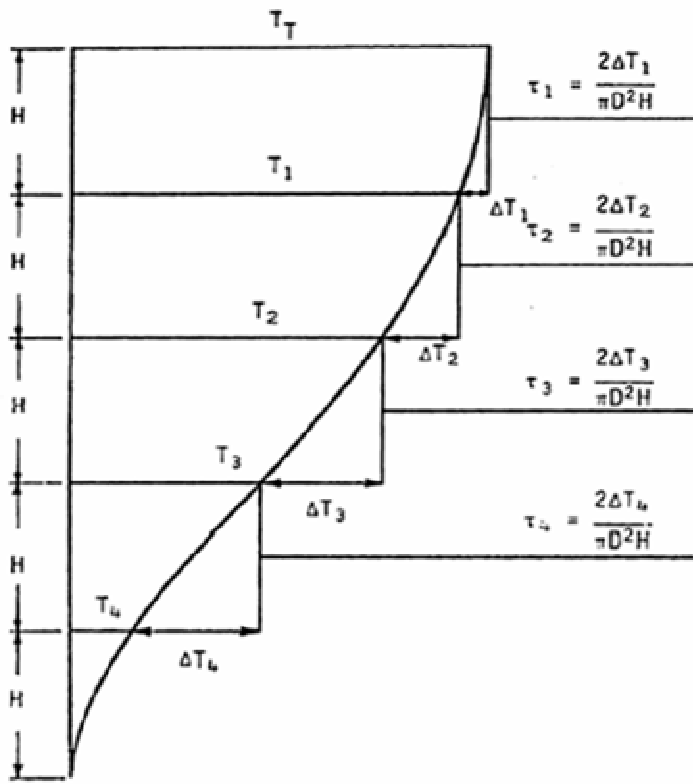
5.5.1. Killi Zeminlerde Burulma Testleri

Killi zeminler için bugüne kadar Stoll (1972) ve Paulos (1975) tarafından bir takım deneyler yapılmıştır. Stoll; killi zeminlerde, sürtünme kazıklarında burulmadan kaynaklanan sürtünme kuvvetinin kazık tarafından karşılanması için gerekli olan gömülü kazık boyuna dair çalışmalar yapmıştır. Bunun için boru kesitli çelik kazıklar kullanmıştır. Bunların dış çapı 0,273 m ve et kalınlığı 6,3 mm'dir. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

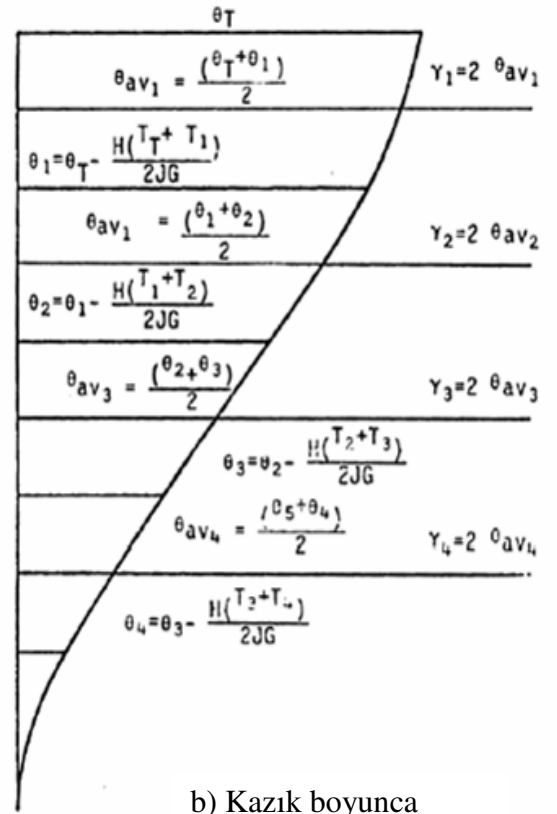
Paulos; model kazık testleri geliştirmiştir. Kazıklar sert alüminyumdan yapılmış olup, uzunlukları 152 mm – 508 mm, çapları 13mm – 38 mm arasında değişmektedir. Kaolin kili zemin olarak kullanılmıştır. Bu testlerde, kazıkların 2 derece döndükten sonra kırıldığı kabul edilmiştir. Test sonuçları eksenel yükleme testlerinden elde edilen G kayma modulünün, burulmaya maruz kazıkların nihai davranışlarının ve çalışma yüklerinin tespit edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

5.5.2. Kumlu Zeminlerde Burulma Testleri

Dutt (1976), burulmaya maruz kazıkların yük-deformasyon özelliklerini kazığı çevreleyen zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışıyla ilişki kurarak çözmek için model deneyler geliştirerek kuvvet çifti-burulma eğrisini zeminin kayma gerilmesi-şekil değiştirme davranışını kullanarak bulmak için bir yöntem geliştirmiştir. Bunun için 18,3 mm çapında dairesel kesitli ve 50,8 mm bir kenarı olan kare kesitli alüminyum kazıklar kullanmıştır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).



a) Kazık boyunca burulma yükünün dağılımı



b) Kazık boyunca kuvvet çifti dağılımı

Şekil 5.10 Kazık boyunca burulma yükünün dağılımı ve kazık boyunca kuvvet çifti dağılımı (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

T / ϕ eğrisi ile zemin özellikleri arasında korelasyon kurmak için Tucker (1960) tarafından önerilen kayma gerilmesi şekil değiştirme ilişkisinde zemin özelliklerini

$$\gamma = A.\tau^n \quad (5.42)$$

şeklinde tamamladı. Burada γ , birim kayma gerilmesi τ 'ya karşı gelen birim kayma şekil değiştirmesidir. n ve A parametreleri de malzeme özellikleridir.

T- ϕ ve $\tau - \gamma$ eğrilerinden sonra Dutt A ve n değişkenlerinin belirlenmesi için bazı öneriler yaptı. n ve A için değerlerin kabul edilmesiyle T- ϕ eğrilerinin tahmin edilmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanıldı; burada ϕ notasyonu θ ile aynıdır. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

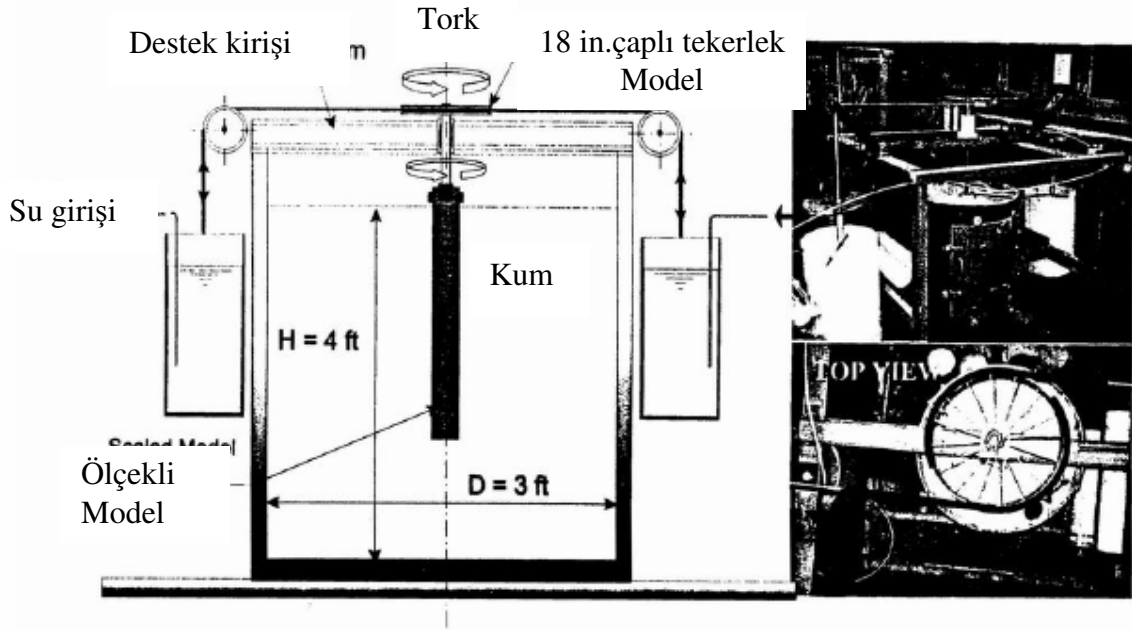
$$T = \frac{\pi D^2 H \tau}{2} \quad (5.43)$$

$$\theta = \gamma / 2 \quad (5.44)$$

Tawfig (2000); kumlu zeminlerdeki kazıkların burulma davranışları için bazı ölçekli model şaft deneyleri geliştirmiştir. Testler için kullanılan kazıklar 20 inç (508 mm) uzunluğunda ve 4 inç (101,6 mm) çapındadır. Burulma şekil değiştirmeleri bir indikatör yardımıyla ölçekli olarak kaydedilmiştir. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , 2004).

Model deney sonuçları, bentonit ve attapulpite sıvılarının kuru zemin şartlarına göre kıyasla % 65 - % 50 oranında dönme direncini azalttığını, göstermiştir.

Ayrıca yaptığı ilave deneylerle, yanal yüzeylerdeki sürtünmeyi kaldırarak kazık ucunun burulma direncinin büyüklüğünü belirlemeye çalışmıştır. Bu deney sonuçları kazık ucunun burulma direncinin toplam burulma direncine etkisinin çok az olduğunu göstermiştir. (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).



Şekil 5.11 Ölçekli burulma modeli için deney aparatı (Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004).

6. KAZIK ÇAKMA ESNASINDA OLUŞAN GÜRÜLTÜ ve TİTREŞİMLER

6.1. Giriş

Kazık çakma işlemi gürültüyle birlikte düşünülmelidir. Makinalardan 7 m uzaklık civarındaki gürültü seviyeleri genel olarak çakma (darbe) kazıklar için 90-115 dBA ve titreşimli (vibratörle yerleştirilen) kazıklar için 70-90 dBA'dır. Ağır kreyn vinçlerinin çalıştığı ortamda aynı mesafede 100 dBA, hava kompresörlerinin çalıştığı ortamda ise 85 dBA civarında gürültü seviyesi beklenirken, darbe etkisiyle ortaya çıkan gürültü çok daha rahatsız edicidir. Şayet kazık projesi, kazık çakma işlerinin gürültüsünün etraftaki komşuları rahatsız edebileceği bir alanda ise özel kayıtlar tutulmalı ve önlemler alınmalıdır. Bu konuda Amerika'da OSHA (Occupational Safety and Health Administration) tarafından çalışanlarda duyma kaybının olmaması için çok katı kurallar konulmuştur. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Gürültü seviyesi makinalardan 15 m civarındaki uzaklık için genellikle 85 dBA ile sınırlandırılmıştır. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000).

6.2. Vibrasyonun Yapı İmalat Operasyonlarına Olan Çevresel Etkisi

İnşaat işleri sırasındaki titreşimler komşu ve narin yapılara, hassas aletlere ve insanlara zarar verebilir. İnşaat işleri sırasında oluşan titreşimin kaynakları; zemine aktarılan enerji, yerdeğiştirme, hız ve ivmedir. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Yapı işleri sırasında meydana gelen titreşimlerin kaynağı; kazık çakma, dinamik kompaksiyon, patlatma ve ağır makinaların çalışmasıdır. Bu kaynaklar, zemine etraftaki yapıları olumsuz etkileyen elastik dalgalar üretirler. Bunların etkileri hassas makinaları ve insanları etkilmekten yapılarda gözle görülebilen çatlakların oluşmasına kadar varır. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Yapı işleri sırasında meydana gelen titreşimlerin komşu ve uzak yapılar üzerindeki dinamik etkisi şantiyedeki zemin özelliklerine ve yapıların etkilenme durumlarına bağlıdır. İhmal edilemeyecek yapı titreşimleri çakma işlerimine yakın bölgelerde oluşur ama gevşek zeminlerde zemin titreşimden dolayı oluşan temel oturmaları titreşim kaynağından herhangi bir uzaklıkta olabilir. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

İnşaat aktiviteleri başlamadan ve inşaat devam ederken de dinamik etkilerin değerlendirilmesi önemlidir. Bu yüzden şantiyede işlerin başlamasına eş zamanlı olarak titreşim kontrolü de

başlamalı ve narin yapıların güvenliğinin ve servis hizmetinin sağlanması için sürdürülmelidir. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000).

6.3.Yapı İşleri Sırasında Meydana Gelen Titreşimler

Titreştirme, sıkıştırma, döndürme ve delme makinaları; zeminin kazılması, zemin özelliklerinin değiştirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla kullanılırlar. Dinamik yük uygulama ve patlatma makinaları inşaat sırasındaki titreşim kaynağıdır. En güçlü titreşim kaynakları kazık çakma, dinamik kompaksiyon ve patlatmadır. Patlatma enerjisi bütün diğer tüm titreşim kaynaklarının enerjisinden çok fazladır. Örneğin, 0,5 kg TNT ile açığa çıkan enerji 5400 kJ'dur. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000). Bu enerji, kazık çakma işlemi sırasında kazıklara aktarılan enerjinin 50 ila 1000 katı, dinamik kompaksiyon ile zemine aktarılan enerjinin 15 ila 80 katı kadardır. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

6.4.Titreşimin Sınıflandırılması

İnşaat işleri sırasında oluşan zemin titreşimleri kabaca geçici ve sürekli titreşimler olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Birinci kategori basit olayları veya art arda oluşan geçici titreşimleri kapsar ve her geçici titreşim dalgası değişik sönümlenme süresine bağlı olarak bir sonraki dalga oluşmadan önce sona erer. Bu tip titreşimler havalı, diesel veya buharlı şahmerdanlarla, gevşek kum ve granüler zeminlerde dinamik kompaksiyonla ve taşocakları civarında patlatma ile oluşur. Darbe etkisiyle oluşan dalgaların ana frekansları genellikle 3 Hz ve 60 Hz oranındadır. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

İkinci kategori sürekli harmonik veya diğer bazı periyodik durumları kapsar. Bu tip titreşimler, titreşimli kazık yerleştirme makinaları, yüksek hızlarla çalışan çift etkili kazık çakma makinaları ve ağır makineler vasıtasıyla oluşur.

Titreşimli (vibratörlü) kazık yerleştirme ekipmanları en yaygın titreşim üreten inşaat makinalardır. Bu makinaların en önemli karakteristik özellikleri frekanslarıyla birlikte dinamik kuvvet ve eksantrik moment ilişkisidir. Düşük frekanslı makineler 5-10 Hz titreşim frekansına sahiptir ve genel olarak beton veya çelik boru kesitli büyük kazıklar gibi büyük kütleli ve uç kazığı olarak kullanılacak kazıkların yerleştirilmesi için kullanılırlar. Orta frekanslı makineler 10-30 Hz titreşim frekansına sahiptir ve boru kesitli küçük kazıklar ile palplanş gibi hafif kazıkların yerleştirilmesi için kullanılırlar. Bu makinaların en büyük

avantajı komşu yapılar için zararlı olabilecek zemin titreşiminin az olmasıdır. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

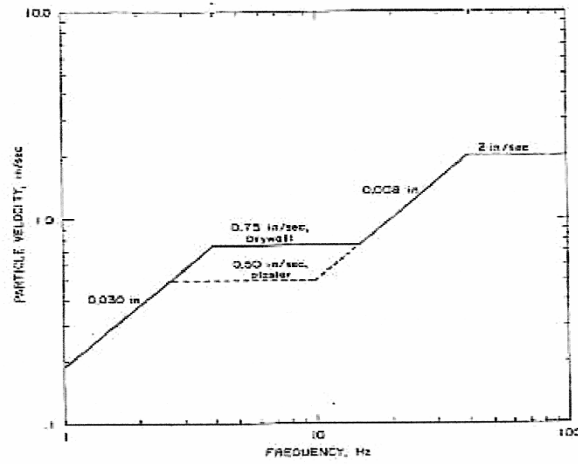
6.5.(Vibrasyon) Titreşim Hasarı ve Rahatsızlık Kriteri

Titreşim parametreleri (yerdeğiştirme, hız ve ivme) ile gözlenen insan rahatsızlığı, hassas cihazların bozulmaları ve yapısal hasarlar arasında ilişki kurmak için bir dizi çalışmalar; Crandell, Medeavis , Nichols et al , Raush , Siskind et al ve diğerleri tarafından yapılmıştır. Richart et al, kabul edilebilir insan sınırları ile birlikte makina ve yapı titreşim sınırlarını bazı çalışmalarını grafiksel ortamda sunmuştur. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Yapısal hasarlar, yapı titreşimindeki en yüksek parçacık hızıyla (PPV) iyi bağlantı kurulabileceği bulunmuştur. Konut amacıyla kullanılan yapılara aynı kriter uygulandığında, yapısal hasar için 3-100 Hz frekans aralığında 50 mm/s parçacık hızı yeterli gelecektir, Nichols et al. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000). Ticari yapılarda bu sınır Wiss tarafından 100 mm/s olarak önerilmiştir. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Yapısal hasarlar yapının titreşimi esnasında oluşan yerdeğiştirme, hız, ivme ve frekansın etkilerinin birleşmesiyle meydana çıkarlar. Titreşim frekansının yapıların titreşim etkisinin belirlenmesinde ele alınması gerektiği titreşim frekansının titreşimin yapılar üzerine olan etkisinin belirlenmesinde önemle ele alınması gerektiği Dowding, Medearis , Siskind et al , Svinkin ve diğer bazı yazarlar tarafından yapılan yayınlarda belirtilmiştir. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Ölçülen yerdeğiştirme ve hızla bağlantılı olarak konut olarak kullanılan yapıların hasarı için U.S Bureau of Mines, Siskind tarafından önemli çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, 1-100 Hz frekans aralığı için yerdeğiştirme ve hızı da içeren bir dizi kriter geliştirilmiştir Şekil 6.1. en yüksek parçacık hızı, inşaat işleri sırasında oluşan titreşimin yapı üzerine olan hasarını tespit etmek açısından en çok kullanılan parametredir. Bununla birlikte diğer parametreler de kullanılmalıdır. Şekil 6.1, yapısal hasarın belirlenmesi için yerdeğiştirme limitlerinin önemini göstermektedir. 0,1 mm'lik yerdeğiştirme ve 2,5 m/s²'lik ivme, titreşim limitleri olarak hesaplanmıştır, (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).



Şekil 6.1 Yer değiştirme limitleri (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000).

6.6.Zemin Titreşimlerinde Titreşim Kaynağının Etkisi

Kazık cinsi; genellikle yerdeğiştirme kazıkları (displacement piles) zemine yerleştirilmeleri sırasında en büyük zemin titreşimini oluştururlar, (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000). Bu etkiler kazık kesit şekline ve zemin şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterirler. Yerdeğiştirme kazıklarında oluşan zemin titreşimi kazık yerleştirme bölgesinden 10 m'ye kadar olan mesafelerde etkilidir.

Kazık impedansı aksenal dinamik kuvvetlerin kazığa ve kazıktan da zemine aktarılması için önemli bir etkindir. Kazık impedansı zemin titreşiminin büyüklüğünü aynı anda iki zıt yolla etkiler. Bir taraftan kazık impedansının artması kazığa ve zemine aktarılan yükü artırır fakat diğer taraftan kazık impedansının artması kazığın en büyük parçacık hızının ve zemin titreşimlerinin azalmasını sağlar. Şahmerdan enerjisindeki artış, kazık impedansının elverdiği ölçüde kazığa ve zemine iletilen yükün artmasını sağlayana kadar zemin titreşimlerini büyütür. Impedans zemine aktarılan kuvvet ve hızı zıt yönlerden etkiler ve bu yüzden de kazık impedansının zemin titreşiminin büyüklüğüne olan etkisi belli değildir. Kazık impedansı zemin titreşiminin büyüklüğünü belirlemek için her zaman kullanılamaz, (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

6.7.Zemin Titreşiminin Sonuçları

İnşaat işleri sırasında meydana gelen zemin titreşimleri insanları rahatsız eder ve etraftaki yapıları ve hassas cihazları olumsuz etkiler.

Bu titreşimler yapıları iki önemli şekilde etkiler. Titreşimler yapılarda ya doğrudan ya da titreşimden kaynaklanan oturmalarla dolaylı hasar oluştururlar. Yapısal titreşimler zemin

titreşimine karşı yapı davranışını belirleyen zemin-yapı ilişkisine bağlıdır. Zemin titreşiminden kaynaklanan yapısal titreşimler frekansa bağlı olarak değişiklik gösterirler. (Corus Construction & Industrial, 2003), (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), (Svinkin R.M, 2000).

Saha çalışmaları Wood ve Theisren (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000) tarafından, yumuşak zeminlerde kazık temelli yapılar ve sert zeminlerde sürekli temel sistemine sahip yapılarda on adet proje üzerinde titreşim seviyeler ölçülerek yapılmıştır. 23 kg-m civarında eksantrik momente sahip titreşimli şahmerdan veya 43,3 kN tokmak ağırlığına sahip 94 kJ enerji verebilen şahmerdan ile yığma (donatısız briket ile yapılmış) veya betonarme yapılara komşu bölgelerde yapılar için elverişsiz şartlarda çalışmalar yapılmış ve yapılar için değişik derecelerde tehlikeler tespit edilmiştir. Aynı ekipmanlarda komşu betonarme yapılarda daha elverişli şartlarda çalışılmış ve tehlikeli yapısal gerilmelerin oluşmadığı gözlenmiştir. Mallard ve Bastoni Martin (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000) tarafından elde edilen sonuçlar, hafif döşemelerin titreşiminin zemin titreşiminden daha büyük ve betonarme döşemelerinin ise daha küçük olduğunu göstermiştir.

Zemin titreşimlerinin frekansı yapının doğal frekanslarından birine eşit veya yakın olması yapının rezonans olmasına neden olabilir. Titreşimli şahmerdanlar tarafından oluşturulan sürekli titreşimler yapıda rezonans oluşması için potansiyele sahiptir. Bundan başka geçici titreşimler de rezonans oluşmasına sebep olabilirler. Levin (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), zemin titreşiminin 3-4 döngüsünün yapılarda rezonans oluşturabileceğini göstermiştir. Rausch (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), 14,7 kN tokmak ağırlığına sahip şahmerdanın çalıştığı bölgeden 200 m mesafedeki bir yönetim binasında ihmal edilemeyecek titreşimlerin oluştuğunu göstermiştir. Bu ağırlık Wood ve Theissen (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000) tarafından yukarda açıklanan ağırlıktan daha azdır ama burada rezonansın çok büyük bir rol oynadığı açıktır.

Şekil 6.1 ile verilen hasar kriteri eşik seviyesi olarak kullanılmaktadır. Fakat bu seviyenin aşılması yapısal hasarın hemen oluşması anlamına gelmemektedir. Örneğin, şantiye sahasından 24,4 m mesafede okul binasının yanında OZA araştırmacıları (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000) tarafından yapılan zemin titreşim ölçümleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Düşey, yatay ve radyal zemin titreşimlerine ait en büyük parçacık hızı (PPV) geniş frekans aralığı için eşik seviyesinden yüksek olduğu görülebilir. Bu titreşimler, beton temeller üzerine oturan tek katlı yığma okul binasında her hangi bir hasara neden olmamıştır. Şekil 6.1 ile verilen hasar kriterinde yapıların ve temel sisteminin cinsi, yaşı ve şartları dikkate alınmamıştır.

Crockett (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), ve Dowding (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), tekrarlı dinamik yüklerin toplam etkisinin dikkate alınmasını önermiştir. Örneğin, kazık çakma işlemi sırasında oluşanlar. Bu yaklaşım özellikle tarihi ve eski yapılar için önemlidir. Siskind et al (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), tarafından, sayıların olasılık analizi temellerine dayalı yayınlanan bilgilere göre, hasarların uniform sınıflandırılması için bir tanımlama yapmıştır. Aşağıdakileri içeren üç hasar sınıfı tespit edilmiştir.

Eşik hasar: boyaların dökülmesi, yapısal elemanların birleşim bölgelerinde oluşan küçük sıva çatlakları.

Az hasar: Eski çatlakların büyümesi, sıvaların dökülmesi, açıklıkların etrafındaki duvarların çatlaması, 3 mm'lik çatlaklar ve sıvaların dökülmesi.

Büyük hasar: Duvarlarda bir kaç mm'lik çatlaklar, açıklık elemanlarının (kubbe tipi) kırılması, yapısal zayıflama, duvarların yıkılması, yük taşıma kabiliyetinin etkilenmesidir.

6.8.Titreşim Problemlerinin Azaltılması

Bir ön-inşaat araştırması, komşu yapıların güvenliği ve servislerine devam etmesi ile hastane üniteleri ve ofisler gibi hassas ekipmanlara sahip uzaktaki yapılardaki titreşimlerin kontrol edilmesi için ilk adımdır. Kazık çakma uygulamasına bağlı olarak, titreşimler, çakılan kazıktan bir kazık boyu uzaklıkta yapısal hasara sebep olabilirler. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), Etrafı yapılarla çevrili bir şantiye sahası için ön-inşaat araştırma sahasının en büyük çapı için tek bir düşünce yoktur. Dowding (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), inşaat aktiviteleri için 120 m'lik bir çap veya 2 mm/s hızla oluşan titreşim alanının dışına kadar olan bir bölge öngörülmüştür. Woods (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000), 400 m civarındaki mesafelerin oturma hasarlarının tespit edilmesi için araştırılması gerektiğini söylemiştir.

Ön-inşaat araştırmaları saha araştırmalarının bir kaç safhasını kapsar.

- Etraftaki yapıların hali hazırdaki durumlarının araştırılması
- Titreşim kontrol limitlerini belirlemek için hasar dayanımlarının tespit edilmesi
- Araştırılan alanda titreşim ölçümleri
- Temel kırıkları veya bina çatlaklarının değerlendirilmesi.

Öncelikli olarak bir masa başı çalışması yapılmalı ve gözlem yapmak için saha gezilmelidir. Binalardaki mevcut çatlaklar işaretlenmeli, önemsiz ve önemli yapısal çatlaklar birbirinden ayrılmalıdır. Çatlakların genişlikleri ölçülmelidir. Kazık çakma işlemi sırasında oluşan

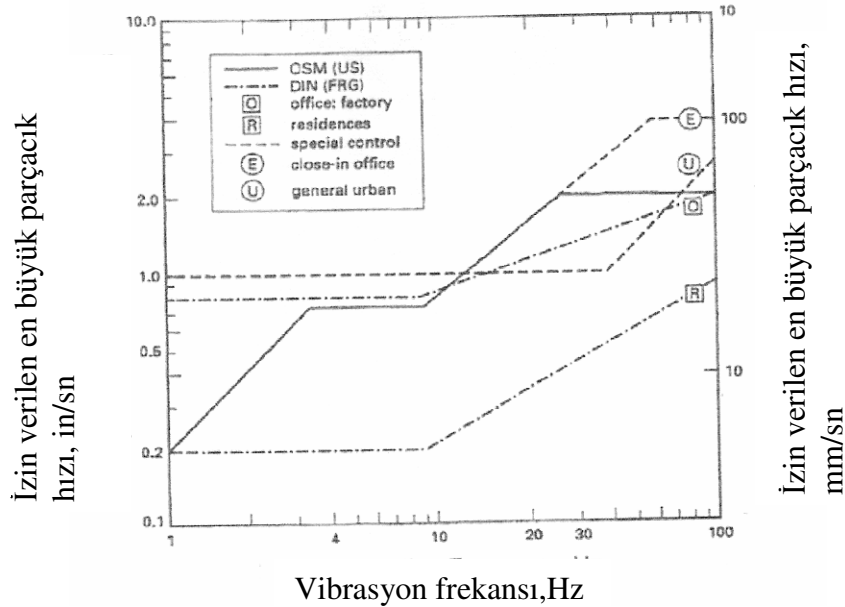
titreşim altında eski çatlakların büyümesini engellemek için mevcut çatlakların oluşum nedenlerinin tespit edilmesi önemlidir. (Svinkin R.M, Shaw.G.A., 2000),

6.9. Titreşimlerin Dezavantajları

Konut olarak kullanılan yapıların 1-100 Hz frekans aralığında ölçülen hız ve deplasmanlarla bağlantılı olarak yapısal hasarları için USBM (U.S. Bureau of Mines) tarafından önemli çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, kozmetik (yapısal önemi olmayan) çatlakların eşik değerlerine ait frekans tabanlı güvenlik limitleri RI8507, Şekil 6.1 ile verilmiştir. (Siskind et al 1980). Güvenli tarafta kalmak amacıyla 51 mm/s ile verilen güvenli sınır değer kriteri 4-12 Hz frekans aralığında 3-4 gibi bir güvenlik katsayısına bölünür. RI8507'nin yüksekliği az olan konut yapılarının titreşime karşı güvenlik açısından büyük başarı sağladığını belirtmek gerekir. (Svinkin R.M, 2000).

Daha sonra USBM'nin kriterleri U.S. Office of Surface Mining (OSM) tarafından modifiye edilerek yeniden uyarlanmıştır. Bunlar, Şekil 6.1 ve 6.2 ile verilmiştir. OSM kriterleri ana frekansın 4 farklı aralığında aşağıdaki yerdeğiştirme ve hız değerlerini kapsamaktadır. (Svinkin R.M, 2000).

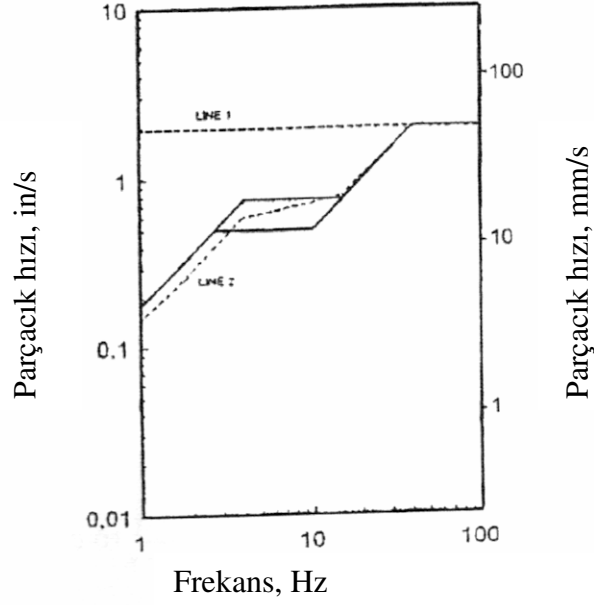
1-3,5 Hz aralığında 0,76 mm, 3,5 – 12 Hz aralığında 19mm/s ; 12-30 Hz aralığında 0,25 mm ; ve 30-100 Hz aralığında 51 mm/s'dir.



Şekil 6.2. Değişik frekans tabanlı hız-deplasman kontrol sınırlarının karşılaştırılması. (Dowding,1996) (Svinkin R.M, 2000).

Siskind (2000), PPV uzaklık bağıntılı OSM ve diğer otoriteler tarafından kullanan basit bir kriter öne sürmüştür : 32 mm/s 0-91 m aralığında, 25mm/s 91-1524m aralığında ve 19 mm/s 1524 m'den büyük mesafeler için.

Aynı zamanda DIN 4150 standardi da titreşimlerin kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Konut yapıları için DIN 4150 kriterleri çok konservatiftir. (Çok güvenli tarafta kalmaktadır.) Siskind (2000)'e göre DIN 4150 ile verilen özel sınır değerler hasar tabanlı değildir. Bu standart şikayetleri ve sınırları en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu yüzden Alman Standardı ve OSM kriterleri değişik uygulama alanlarına sahiptir. (Svinkin R.M, 2000). İngiliz Standardı BS 7385 ve USBM'nin (OSM'nin) kriterleri Şekil 6.3'de verilmiştir. (Svinkin R.M, 2000).



Şekil 6.3. Titreşim kılavuzu –USBM RI8507 (kesiksiz çizgi) nin BS7385 ile karşılaştırılması (kesikli çizgi). Line 1: betonarme veya çerçeve sistemli yapılar, sanayi ve ağır ticari yapılar; line 2: yığma veya çerçeveli hafif yapılar, konutlar. (Svinkin R.M, 2000).

BS 7385'in yapıların cinsine bağlı olarak güvenlik sınırları için iki doğru verdiği görülür. 51 mm/s'lik frekans kriterinden bağımsız 1. çizgi endüstriyel ve ağır ticari yapılar içindir. Frekans tabanlı güvenlik sınırlarını içeren 2. çizgi OSM kriterleri ile benzerlik göstermekte ve konut veya hafif ticari yapılar içindir.

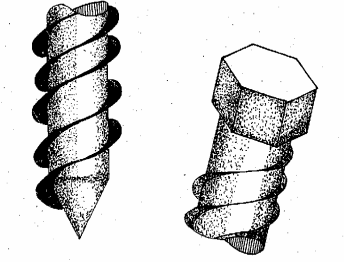
RI8507 çalışmaları kozmetik çatlakların ve diğer yapı hasarlarının önlenmesi amacıyla bir-iki katlı yüksek olmayan konut yapılar üzerine odaklanmıştır. Bu güvenlik sınırlarının diğer üst ve alt yapılara uygulanması yanlış olur. (Svinkin R.M, 2000).

7. BURGU KAZIK TEMELLER

7.1 Giriş

Bilindiği gibi, kullanılmakta olan yerinde dökme veya çakma kazıkların uygulama şartları, çok ağır işçilik ve ekonomik zorluklar getirmektedir. Bilhassa tarihi veya birbirine yakın yapıların, çakma işlemi sırasında çatlayarak hasar görmesi yapım şartlarını zorlaştırmakta, yapım süresini de uzatmaktadır. Çakma sırasında çarpmadan oluşan gürültünün çevreyi rahatsız etmesi de küçümsenemeyecek bir olgudur. Burgu kazık temeller, vida prensibiyle zemine yerleştirilecektir. Böylece bütün bu geçen bölümlerde bahsedilen olumsuz etkiler ortadan kaldırılabilir. Prefabrikasyon olarak üretilip, stoklanabilen bu temel sistemi sayesinde daha hızlı ve kontrollü bir temel sistemi elde edilebilecektir. (Güralp A., (1992).

Büyük ölçüde sürtünme kazığı şeklinde çalışacak burgu kazık temellerde dişlere büyük iş düşmektedir. Kazık gövdesinin ve özellikle de bu dişlerin taşıma ve sürtünme kapasitelerinin artırılması, dırabilitesinin artırılması, korozyona karşı korunması, çeşitli yükler altında da şekil değiştirme ve enerji yutma kapasitelerinin artırılması, daha küçük kesitli ve narin elemanların kullanılabilmesi, uygun kazık başlığının yapılabilmesi (gerekirse darbe dayanımı yüksek beton kazık başı) ve imalatının kolaylaştırılması için yüksek performanslı (çelik) lif donatılı beton kullanılacaktır. (Güralp A., 1992).



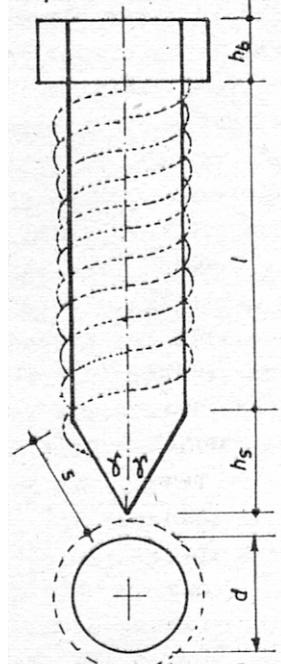
Şekil 7.1. Burgu kazık temel

7.2. Burgu kazık temelin taşıyacağı düşey yükler; (Güralp A., (1992).

- Gövdenin sürtünme yüzeyi olarak taşıyacağı düşey yük
- Helisel çıkıntılarının zemine dayanması ile taşıyacağı yük,
- Helisel yüzeyin sürtünme yolu ile taşıyacağı yük' tür.

a) Gövdenin Sürtünme Yolu ile Taşıyacağı Düşey Yük

Bu yük, gövdenin taşıyacağı ve eğimli uç kısmının taşıyacağı yük olarak iki kısımdan ibarettir.



$$P_1 = (\pi \cdot d \cdot l + ((\pi \cdot d \cdot s / 2) \cdot \cos \gamma)) \cdot \tau_s \quad (7.1)$$

Burada;

d = kazık gövde çapı;

l = kazık gövde boyu;

s = kazık ucu eğimli boyu;

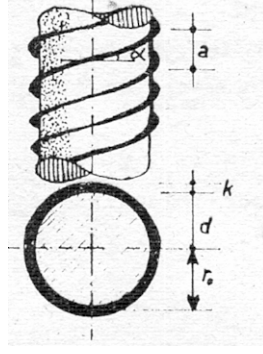
h_s = kazık uç yüksekliği;

$$s = \sqrt{(d/2)^2 + h_s^2} ; \quad (7.2)$$

τ_s = kazık-temel arası sürtünme gerilmesi (kg/cm^2).

b) Helisel Çıkıntıların Zemine Dayanması Suretiyle Taşıyacağı Yük

Helisel çıkıntılara dik olan bu kuvvet zemin emniyet gerilmesine bağlı olan bir büyüklüktür. Bu yük hesaplanmadan önce bazı değerlerin hesaplanması gerekir.

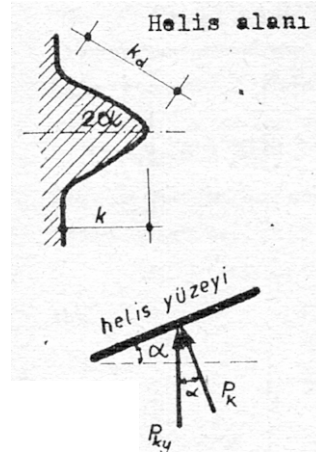


Helis uzunluğu : $h_l = (2\pi r / \cos \alpha) \cdot n$

(7.3)

a-helis adımı, α -helis eğimi, n-sarım sayısı, $n=l/a$

$r_0 = (d+k)/2$ ortalama yarıçapdır.



Helis alanı ; $S = (2\pi r_0 k / \cos \alpha) \cdot n$

(7.4)

Helis dişinin eğik boyu : $k_d = k / \cos \alpha$ dır. Yalnız burada α açısı yeterince küçük olduğundan $k_d \approx k$ kabul edilebilir.

P_k kuvveti helisel yüzeye dik olduğundan P_{ky} kuvveti, α yüzeyin yatayla yaptığı açı olduğuna göre,

$$P_{ky} = P_k \cdot \cos \alpha$$

(7.5)

olur. Buradan , (μ =sürtünme katsayısı= σ_{zem})

$$P_k = (2\pi r_0 k / \cos \alpha) \cdot n \cdot \mu$$

(7.6)

$$P_{ky} = (2\pi r_0 k / \cos \alpha) \cdot n \cdot \sigma_z \cdot \cos \alpha = 2\pi r_0 k n \sigma_z$$

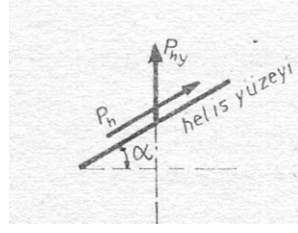
(7.7)

$$P_{ky} = \pi (d+k) k n \sigma_{zem}$$

(7.8)

d) Helisel yüzeyin sürtünme yolu ile taşıyacağı yük

Helisel yüzeyin altı ve üstü zemine temas ettiğinden sürtünme kuvveti her iki yüzeyin oluşturduğu kuvvet olarak etkisini gösterir. Bu nedenden dolayı yukarıda bulunmuş olan S yüzey alanı 2S olarak alınmalıdır.



$$2S = (2 \pi (d+k).k / \cos \alpha) .n \quad (7.9)$$

$$P_h \text{ helis yüzeyine paralel olduğundan ; } P_h = 2.S.\tau_s \quad (7.10)$$

2S değeri yerine konursa,

$$P_h = (2 \pi (d+k).k / \cos \alpha) .n. \tau_s \quad (7.11)$$

Bulunur.Buradan istenilen düşey kuvvet olduğundan P_{hy} ,

$$P_{hy} = P_h .\sin \alpha = (2 \pi (d+k).k / \cos \alpha) .n.\tau_s.\sin \alpha = (2 \pi (d+k).k) .n. \tau_s .\tan \alpha \quad (7.12)$$

Burada, $\sin \alpha = a/2\pi r_0 = a/\pi(d+k)$ dan α açısı bulunarak $\tan \alpha$ hesaplanır.

Netice olarak, burgu kazık temelin düşey olarak taşıyacağı kuvvet a, b, c seçeneklerinde bulunanların toplamı olur.

$$P = P_1 + P_{ky} + P_{hy} \quad (7.13)$$

Değerleri yerine yazılırsa;

$$P = (\pi .d.l + ((\pi .d.s/2) .\cos \gamma)) .\tau_s + \pi .(d+k).k.n. \sigma_{zem} + (2 \pi (d+k).k) .n. \tau_s .\tan \alpha$$

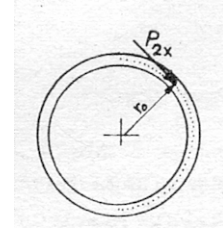
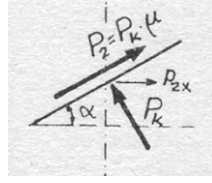
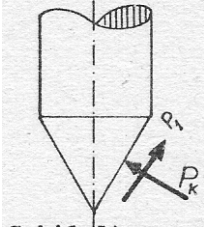
$$P_t = \pi .d.(1+(s/2) .\cos \gamma) .\tau_s + \pi .(d+k).k.n.(\sigma_{zem} + 2. \tau_s .\tan \alpha) \quad (7.14)$$

Bulunur.Bu Pkuvveti kazığın kendi ağırlığını da içermektedir.Faydalı servis yükünün bulunmasında bu değerden kazığın ağırlığını çıkarmak gerekir. (Güralp A., (1992).

7.3. Burgu Kazık Temel Başlığında Tatbik Edilecek Burulma Momenti

Burgu kazık temeli zemine yerleştirmek için bir döndürme kuvveti uygulanmalıdır.Bu döndürme kuvvetinin momenti, burgu kazık temele tesir eden bütün yatay kuvvetlerin, kazık eksenine göre momentinden büyük olmalıdır.Bu moment de kuvvetin manivela kolu ile ters orantılıdır.Manivela kolu ne kadar büyük ise döndürme kuvveti de o kadar küçülür. (Güralp A., (1992).

Burgu kazık temele tesir eden yatay kuvvetler toplamı P_x ; a, b, c maddelerinde açıklanan kuvvetlerin yatay izdüşümleri toplamına eşittir. (Güralp A., (1992).



“a)” maddesindeki eğimli kazık ucu kuvveti, eğimli yüzeye dik olduğundan, dönmeye mani ters yönde bir sürtünme kuvveti oluşturur. Bu kuvvet;

$$p_1 = (\pi \cdot d \cdot s / 2) \cdot \tau_s \cdot \mu \quad (7.15)$$

Burada;

μ = beton-zemin arasındaki sürtünme katsayısı.

Kazık eksenine göre burulma momenti;

$$M_1 = p_1 \cdot d / 4 = \pi \cdot d^2 \cdot s \cdot \tau_s \cdot \mu / 8 \quad (7.16)$$

“b)” maddesinde bahsedilen P_k dış yüzeyine dik basan kuvvetten dolayı meydana gelen sürtünme kuvveti P_2 olsun.

$P_2 = P_k \cdot \mu$ ve bunun yatay bileşeni ise,

$$P_{2x} = P_2 \cdot \cos \alpha = P_k \cdot \mu \cdot \cos \alpha = (2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot k \cdot n / \cos \alpha) \cdot \sigma_{zem} \cdot \cos \alpha \quad (7.17)$$

$$P_{2x} = \pi \cdot (d+k) \cdot k \cdot n \cdot \sigma_{zem} \cdot \mu \quad (7.18)$$

Kazık eksenine göre alınan burulma momenti ise,

$$M_2 = P_{2x} \cdot r_0 \quad (7.19)$$

$$M_2 = P_{2x} \cdot (d/2 + k/2) = \pi / 2 \cdot (d+k)^2 \cdot k \cdot n \cdot \sigma_{zem} \cdot \mu \quad (7.20)$$

“c)” maddesinde bahsedilen P_h kuvvetinin yatay bileşeninden gelen kuvvet ve bunun burulma momenti;

$$P_3 = P_h \cdot \cos \alpha = (2 \cdot \pi \cdot (d+k) \cdot k \cdot n \cdot \tau_s \cdot \cos \alpha) / \cos \alpha \quad (7.21)$$

$$P_3 = 2 \cdot \pi \cdot (d+k) \cdot k \cdot n \cdot \tau_s \quad (7.22)$$

$$M_3 = p_3 \cdot r_0 = 2 \cdot \pi \cdot (d+k)^2 \cdot k \cdot n \cdot \tau_s \quad (7.23)$$

Toplam burulma momenti ise;

$$M_b = M_1 + M_2 + M_3$$

$$\Sigma M_b = \pi \cdot d^2 \cdot s \cdot \tau_s \cdot \mu / 8 + \pi / 2 \cdot (d+k)^2 \cdot k \cdot n \cdot \sigma_{zem} \cdot \mu + 2 \cdot \pi \cdot (d+k)^2 \cdot k \cdot n \cdot \tau_s \quad (7.24)$$

$$M_b = \pi \cdot d^2 \cdot s \cdot \tau_s \cdot \mu / 8 + \pi \cdot (d+k)^2 \cdot k \cdot n \cdot (\sigma_{zem} \cdot \mu / 2 + 2 \cdot \tau_s) \quad (7.25)$$

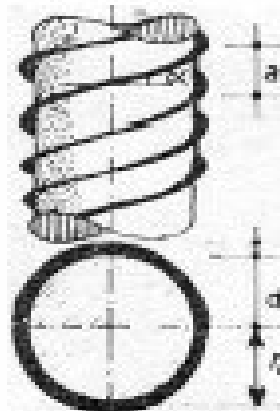
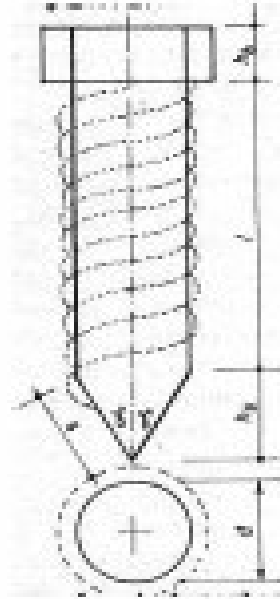
Bulunur. Burada ;

μ = zemin-kazık arası sürtünme kat sayısı

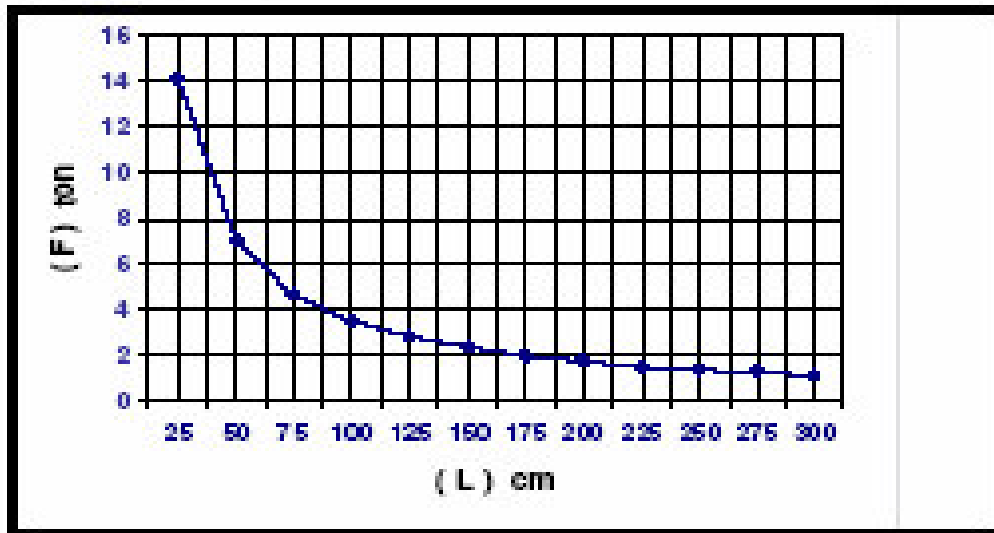
τ_s = sürtünme gerilmesi (kg/cm^2),

σ_{zem} = zemin emniyet gerilmesi kg/cm^2

DAİRE KESİTLİ BURGU KAZIK RAPORU



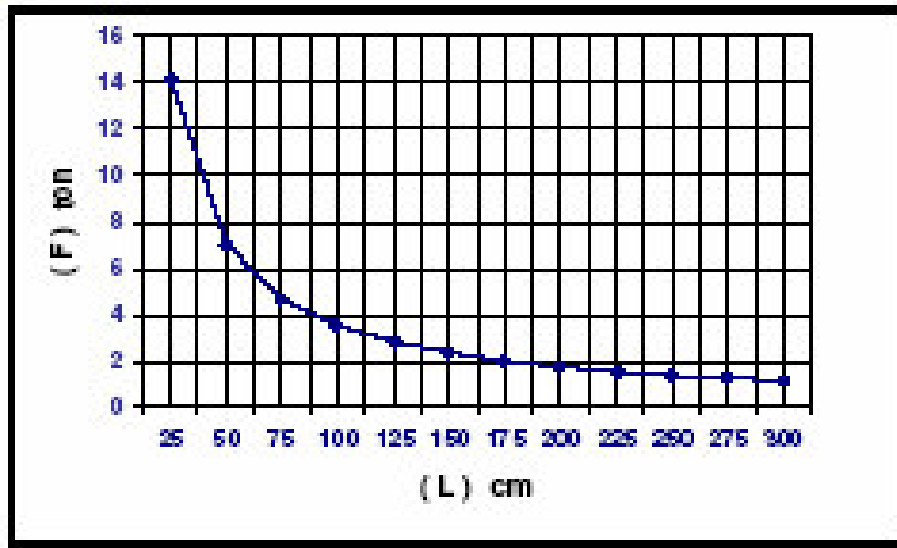
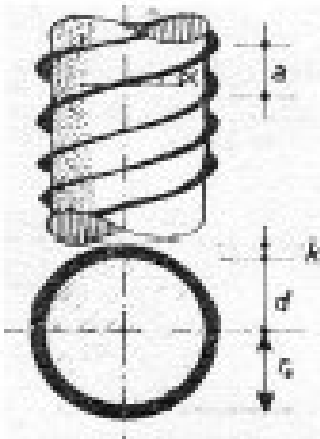
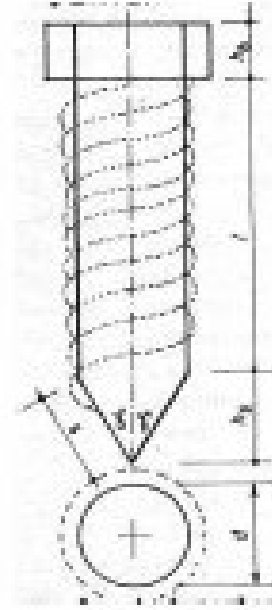
Proje Adı:	ÖRNEK	
Proje No	1	
Kazık gövde çapı (d)	20	(cm)
Kazık gövde Boyu (l)	300	(cm)
Kazık Uç Boyu (ls)	20	(cm)
Kazık ucu-ucu	0,89	(derece)
Kazık Ucu Eğ. Boyu (s)	22,36	(cm)
Kazık Zem. Ar. Sık. Geril. (σ)	0,2	(kg/cm ²)
Dış Yüksekliği (k)	10	(cm)
H dış Adımı (a)	10	(cm)
Toplam Sar. Sayı (n)	30	(Adet)
Silt Katsayısı (μ)	0,2	
Zemin Em. n. Gerilim (σ)	0,15	(kg/cm ²)
H dış - Statik Açısı	0,080	(derece)
H dış - Tanjant Açısı	0,08	(derece)
Beton Birim Ağırlığı	0,0025	(kg/cm ³)
Brüt Toplama Gücü	9036,72	(kgf)
Kazık Beton Hacmi	0,45	(m ³)
Kazık Ağırlığı	1136,90	(kgf)
Net Toplama Gücü	7899,82	(kgf)
Uygulanması Gereken Burulma Momenti	352155,95	(kg.cm)



Burulma Momenti ile Kurvet-Massivela Kolun Diliyaf amı

HAİKA KESİTLİ BURGU KAZIK RAPORU

Proje Adı:	ÖRNEK	
Proje No	1	
Kazık gövde çapı (d)	20	(cm)
Kazık iç çapı (d_i)	10	(cm)
Kazık gövde Boyu (l)	300	(cm)
Kazık Uç Boyu (h_s)	20	(cm)
kazık ucun - $\cos \gamma$	0,89	(derece)
Kazık Ucu Eğ. Boyu (s)	22,38	(cm)
Kaz. Zem. Ar. Srt. Ger ($\pm s$)	0,2	(kgf/cm ²)
H ₂ Yüksekliği (h)	10	(cm)
H dis Adımı (a)	10	(cm)
Toplam Srt Sayı (n)	30	(Adet)
Srt Katsayısı (μ)	0,2	
Zemin Emni. Gerilmesi	0,15	(kgf/cm ²)
H dis - Srt A. açısı	0,080	derece
H dis - Tanımlı A. açısı	0,08	derece
Beton Birim Ağırlığı	0,0025	(kgf/cm ³)
Brit Tapına Gücü	9036,72	(kgf)
Kazık Beton Hacmi	0,38	(m ³)
Kazık Ağırlığı	901,28	(kgf)
Net Tapına Gücü	8135,44	(kgf)
Uygulanması Gereken Burulma Momenti	352155,95	(kg.cm)



7.6. Burgu Kazık Temeller İçin Örnek Betonarme Hesap

Kazık hesapları kısmında kazık no 1 ile verilen zemin emniyet gerilmesi (σ_{zemin}) 0,15 kgf/cm² ve helis dış yüksekliği (k) 5 cm için aşağıda örnek bir uygulama verilmektedir.(Celep, Z.,Kumbasar N.,1995).

(Malzeme; C40/50 ve StIIIa ve kazığın kaldırma şekli WL/5 olarak seçilmiştir.)

$$\sigma_{\text{zemin}} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$$

$$k = 5 \text{ cm}$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

$$l = 300 \text{ cm}$$

$$h_s = 20 \text{ cm}$$

$$\tau_s = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$$

$$a = 10 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,20 \text{ kgf/cm}^2 \text{ değerleri için;}$$

$$P_t = 6163 \text{ kgf.}$$

$$M_b = 122368 \text{ kgf.cm}$$

$$W = 1007 \text{ kgf.}$$

7.6.1. Eksenel kuvvete göre boyuna donatı hesabı.

$$M_{\text{max}} = 0,0034WL^2 \text{ den; } M_{\text{max}} = 0,0034.1007.300^2 = 308.142 \quad (10.1)$$

$$m = M / (A_c \cdot h \cdot f'_{cd}) = 308.142 / (\pi \cdot (20^2/4) \cdot 20 \cdot 267) = 0,184 \quad (10.2)$$

$$n = N / (A_c \cdot f'_{cd}) = 6163 / (\pi \cdot (20^2/4) \cdot 267) = 0,074 \quad (10.3)$$

Dairesel kesit için olan abaktan; $\rho_m \approx 0,4$

$$A_s = \rho_m \cdot A / (f_{yd} / f'_{cd}) \quad (10.4)$$

$$A_s = 0,4 \cdot \pi \cdot (20^2/4) / (3650/267) = 9,19 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{Seçilen; } 6\text{Ø}14 (9,24\text{cm}^2)$$

Burada;

W = kazık ağırlığı

L = kazık uzunluğu

A_c = kesit alanı

h = kazık çapı

$$f'_{cd} = 0,85 f_{cd}$$

f_{cd} = beton hesap basınç dayanımı

ρ_m = mekanik donatı oranı

f_{yd} = donatı hesap akma dayanımı

A_s = gerekli donatı alanı

7.6.2 Enine donatı hesabı.

$$N_d \leq 0,20 \cdot A_c \cdot f_{ck} \text{ ise } A_s \geq \frac{2}{3} A_s \quad (10.5)$$

$$6163 \leq 0,20 \cdot (\pi \cdot (20^2/4)) \cdot 400 = 25120$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{f_{ck} \cdot \pi D \cdot D}{8 \cdot f_{ywk}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \\ &= \frac{400 \times 3,14 \times 20 \times 20}{8 \times 4200} \times \left(\frac{400}{196} - 1 \right) \\ &= 15,56 \text{ cm}^2 \end{aligned} \quad (10.6)$$

$$A_s = \frac{2}{3} \times 15,56 \cong 10,37 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{Seçilen; } \emptyset 12/10,5 (10,77 \text{ cm}^2)$$

Burada;

A_c = kazık kesit alanı

A_{ck} = kazık faydalı alanı (paspayı düştükten sonra kalan alan)

f_{ck} = beton karakteristik basınç dayanımı

f_{ywk} = etriye donatısı karakteristik akma dayanımı

7.6.3 Helis dış donatısı hesabı. (TS9967 kısa konsollar hesabına göre yapılmıştır.)

Buna göre; aşağıdaki şart sağlanmıyorsa donatı gereklidir.

$$\gamma_{n1} \cdot \sigma_1 \leq \frac{0,75 f_{ck}}{1,4 \times 12,5} \quad (10.7)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \sigma_c - \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2} \right)^2 + \tau^2} \quad (10.8)$$

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{V}{A_{cr}} \quad (10.9)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A_{cr}} \quad (10.10)$$

Burada;

$$\gamma_{n1} = 1,2$$

V = çatlak yüzeyine paralel kesme kuvveti.

N = çatlak yüzeyine dik eksenel kuvvet.

Çatlak yüzeyine dik eksenel kuvvet sıfır olduğundan $N = 0$ 'dır.

$$N = 0 \text{ ise } \sigma_c = 0 \longrightarrow \tau = \frac{3}{2} \times \frac{6163}{791} = 11,69$$

$$\sigma_1 = 11,69$$

$$1,2 \times 11,69 \leq \frac{0,75 \times 267}{1,4 \times 12,5}$$

$14,03 > 11,44 \longrightarrow$ Donatı gerekmektedir.

$$V_{res} = 0,15 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot h \quad (10.11)$$

$$V_d \leq V_{res} \text{ olmalı.}$$

$$A_s = \frac{V_d \cdot x_a}{0,7 f_{yk} \cdot x_d} + \frac{H_d}{0,7 f_{yk}} \quad (10.12)$$

veya

$$A_s = \frac{V_d}{f_{yk} \cdot x \mu_e} + \frac{H_d}{0,7 f_{yk}} \text{ dan büyük olan alınır.} \quad (10.13)$$

$$\mu_e = \frac{6,9 \lambda^2 A_{cr} x \mu}{V_d} \quad (10.14)$$

Burada;

V_d = çatlak yüzeyine paralel hesap kesme kuvveti

V_{res} = kesitin taşıma gücü

$\lambda = 1$ Normal betonlar için

$\mu = 1,4$ İki beton birlikte dökülmüş hal için

A_{cr} = Çatlak yüzeyi ($A_{cr} = b \cdot h$)

b = kesit genişliği

h = kesit yüksekliği

A_{cr} , kesit alanı olarak da tanımlandığından helis yüzey alanına eşit olacaktır.

$$A_{cr} = 2\pi \cdot (d+k) \cdot k / \cos \alpha$$

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot (20+5) \cdot 5 / \cos 7,30 = 790 \text{ cm}^2$$

$$\mu_e = \frac{6,9 \times 1^2 \times 790 \times 1,4}{6163} \cong 1,22$$

$$A_s = \frac{6163}{3650 \times 1,22} = 1,41 \text{ cm}^2$$

H_d = Konsola etkiyen yatay kuvvet.

$$H_d = 0,$$

d = faydalı kesit yüksekliği

d = 2 cm alınır;

$$A_s = \frac{6163 \times 5}{0,7 \times 3650 \times 2} = 6,03 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{Seçilen } 2\phi 14 \text{ (} 6,14 \text{ cm}^2 \text{)}.$$

(6,03 > 1,41 olduğundan donatıya esas 6,03 alınmıştır.)

7.6.4. Burulma donatısı hesabı.

$$(V_d/V_{cr})^2 + (T_d/T_{cr})^2 \leq 1,0 \quad (10.15)$$

bağlantısını sağlıyorsa, betonun çatlamadığı ve etkilerin beton tarafından karşılandığı kabul edilir. Bu durumda güvenliğin sağlandığının hesapla gösterilmesine gerek olmayıp, sadece öngörülen minimum etriyenin yerleştirilmesi yeterlidir. Burada;

V_d = Hesap kesme kuvveti

T_d = Burulma momenti

$$V_{cr} = 0,65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad (10.16)$$

$$T_{cr} = 1,35 \cdot f_{ctd} \cdot s \quad (10.17)$$

f_{ctd} = beton hesap çekme dayanımı (C40/50 için 14,5 kgf/cm²)

s = burulma dayanım momentidir.

$$s = \pi D^3/12 \text{ (daire kesit)} \quad (10.18)$$

D = dairesel kesitin çapı

Eğer yukarıdaki eşitsizlik sağlanmıyorsa, güvenliğin burulma donatısı ile sağlandığının gösterilmesi gerekir. Burulma momenti etkisinde en büyük etkiler kesitin dış yüzeylerinde meydana geleceği için etriyeler (enine donatılar) kullanılır. Enine donatıların hesabında, kesme kuvveti ve burulma momenti için gerekli olan donatı ayrı ayrı hesap edilerek toplanır.

$$\frac{A_o}{s} = \frac{A_{sws}}{s \cdot n} + \frac{A_{ot}}{s} = \frac{V_d - V_c - V_{wb}}{n \cdot d \cdot f_{ywd}} + \frac{T_d}{2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}} \quad (10.19)$$

A_o = etriyenin kesit alanı,

s = etriye aralığı

n = kol sayısı

V_{wb} = kesme kuvvetinin pilyelerle karşılanan kısmı.

Burulma momenti etkisi, etriyeler yanında boyuna donatı bulundurulularak karşılanabilir.

Gerekli boyuna donatı alanı $A_{s\ell}$;

$$A_{s\ell} = T_d u_e / (2 A_e f_{yd}) \quad (10.20)$$

olarak hesaplanacaktır. u_e , kesitte köşelerde bulunan boyuna donatının birleştirilmesiyle elde edilen A_e alanın çevresidir.

$$T_{cr} = 1,35 \times 14,5 \times \pi \times 20^3 / 12 = 40977$$

$$V_{cr} = 0,65 \times 14,5 \times \pi \times 20^2 / 4 \approx 2960$$

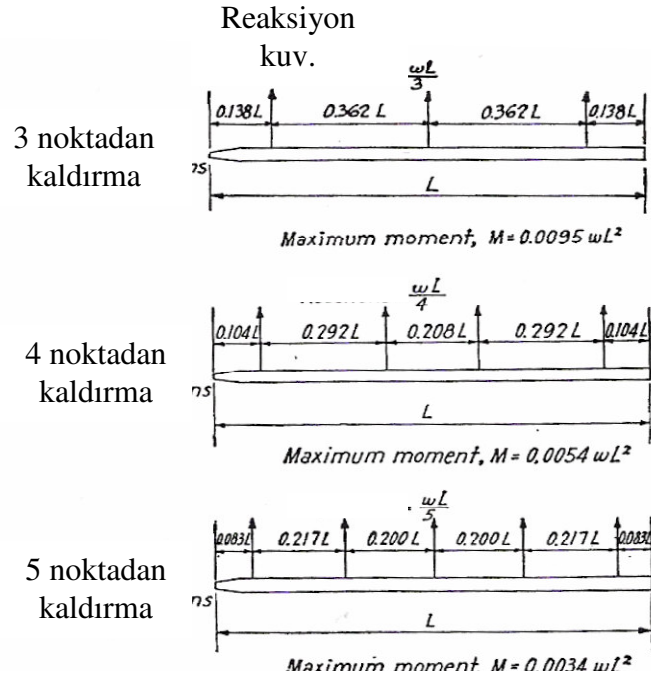
$$\left(\frac{6163}{2960} \right)^2 + \left(\frac{122368}{40977} \right)^2 > 1 \text{ olduğundan burulma donatısı gereklidir.}$$

$$\frac{A_0}{s} = \frac{6163}{2 \times 3 \times 3650} + \frac{122368}{2 \times 276 \times 3650} = 0,28 + 0,061 = 0,34$$

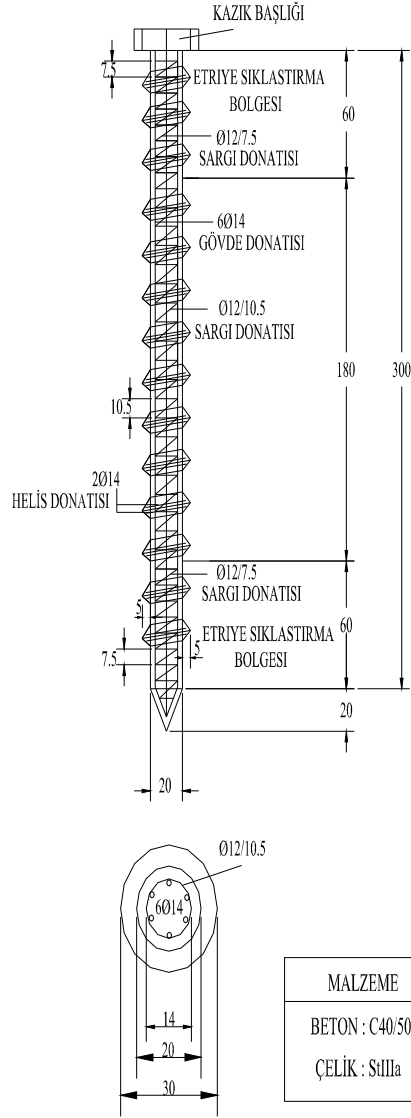
$s = 2$ cm seçilirse (helis dışının içinde kalması için);

$$A_0 = 2 \times 0,34 = 0,68 \text{ cm}^2 \text{ elde edilir.}$$

Helis dışlarında $2\text{Ø}14$ ($6,14 \text{ cm}^2$) mevcut olduğundan ilave donatı konmayacaktır.



Şekil 7.2 Kaldırma noktaları ve eşit kuvvetlere göre eğilme momentleri (Chellis.D.R, 1961)



Şekil 7.3. Burgu Kazık Temel Donatı Planı

8. KAZIKLARDA KULLANILACAK BETON

8.1 Giriş

DIN4026 beton basınç mukavemetinin kaldırma sırasında kazığın en az 22 N/mm², çakma sırasında ise en az 34 N/mm² olmasını öngörmektedir. TS3169 betonarme çakma kazık yapımında kullanılan betonun basınç mukavemetinin kalıptan çıkarılma sırasında 22,5N/mm², çakılma sırasında 35N/mm² olmasını yeterli görmektedir. BS8004 zor çakma halinde betonun 28 günlük küp mukavemeti, σ_b 'nin 40N/mm² olmasının yeterli olacağını söylemektedir. American Concrete Institute, basınç mukavemetinin 0,33 σ_b , National Building Code (BOCA, 1999), $\sigma_b > 21$ N/mm² olmak şartı ile basınç mukavemetinin 0,25 σ_b değerinden küçük olmaması gerektiğini kaydetmiştir. (Toğrol E., Tan O., 2002)

Hava şartları elverişli ise yan kalıplar, beton dökülmesinden 24 saat sonra alınabilir. Kazık betonu kesintisiz dökülmelidir. Betonarme kazıklar döküldükten sonra 10 gün süre ile ıslatılmalıdır. Çabuk sertleşen beton kullanılması halinde bu süre 4 güne indirilebilir. (Toğrol E., Tan O., 2002)

DIN4026 da pas payı 30 mm, korozyona maruz ortamda 40 mm, New York City Building Code 1985) ise minimum 40 mm olarak verilmiştir. BS8110 da zemine gömülü veya devamlı su altındaki kazıklarda, beton kalitesi ile azalmak üzere, pas payını 40 mm ile 20 mm arasında; deniz suyu etkisine maruz olması halinde 60 mm ile 50 mm arasında vermektedir. Kare kesitli betonarme çakma kazıkların genellikle kullanılan boyutları ile taşımaları beklenen düşey servis yükleri Tablo 8.1'de verilmiştir. (Toğrol E., Tan O., 2002)

Çok sayıda kazık yapılmasının söz konusu olması ve zemin koşullarının elverişli bulunması halinde, donatı miktarının fazla olmasına rağmen, gerçekleştirilen çakım sürati sayesinde çakma kazıklar büyük ekonomi sağlar.

Tablo 8.1 Betonarme çakma kazıkların boyutları ve servis yükleri (Tomlinson M.J.,1994)

Kazık kenar Uzunluğu (mm)	Servis Yüğü; Qe (kN)	Maksimum kazık boyu (m)
250	200~300	12
300	300~450	15
350	350~600	18
400	450~750	21
450	500~900	25

Yerinde dökme betonarme kazıkların bütünlüğünü etkileyen nedenler şöyle sıralanabilir: (Sliwinski, Fleming, 1983).

- 1) Beton kalitesi yetersizdir. Dökülmesi sırasında beton segregasyona uğramış ve bu yüzden mukavemeti düşürmüştür.
- 2) Öngörülen kazık kesiti sağlanamamıştır. Beton içine yabancı madde karışmış, kılıfın hızlı çekilmesi yüzünden kesite su hücumu gibi nedenlerle istenilen kazık kesiti her derinlikte sağlanamamıştır.
- 3) Kazık ucunun oturduğu zeminde örselenme meydana gelmiştir. Kazık çukurunun açılması sırasında, kazık ucunun yerleştirileceği zemin örselenmiş veya kazı döküntüleri ile doldurmuştur. Kazık ucu altındaki örselenme, geniş bir kesimi kapsıyor olabilir.
- 4) Donatı kafesi yerinde değildir.

Yerinde dökme betonarme kazıklarda imalat sırasında kullanılan kaplama borusu, bazı kazık tiplerinde zemin içinde bırakılır, bazı tiplerde ise kazık betonlandıktan sonra zeminden çıkarılır.

Yerinde dökme betonarme (fore) kazıkların yapımında dikkat edilecek hususlar şunlardır: (Toğrol E., Tan O., 2002)

- Kazık çukurunun çeperlerinin stabilitesi sağlanmalıdır. Özel olarak yer altı su seviyesi altındaki veya zeminde artezyen bulunması durumundaki kazık çukuru içinde, su doldurularak veya uygun başka sıvılar kullanmak en az 1,0 m lik bir hidrolik yük farkı oluşturulmalıdır.

- Kazık çukuru betonlanmadan önce iyice temizlenmeli, zemin döküntüsü ve yabancı maddelerin betona karışması önlenmelidir.
- Çukurun hazırlanması ile betonlama arasına geçen zaman en aza indirilmelidir.
- Çukur kazısı kılıfın 1.00 m altına kadar sürdürülür. Donatı kafesi , çukurun tabanına kadar indirilir, böylece kılıfın ucundan 1.00 m aşağıya uzatılır. Betonlama sırasında bir yandan kılıf çekilirken çevreden zemin ve suyun girmesine engel olunurken bir yandan da kılıfın yukarı çekilmesi kolaylaştırılır.
- Betonlamayı kolaylaştırmak için etriyeler arasındaki uzaklıklar, pas payları uygun değerlerde seçilmeli ve donatının kılıfa dokunmaması için pas payı takozları kullanılmalıdır.

Yerinde dökme betonarme kazıkların (fore veya sondaj kazıkları) yapımında kullanılan başlıca yöntemler de şöyle özetlenebilir: (Toğrol E., Tan O., 2002)

- 1) Bir yöntem, kendini tutabilen kazık çukuruna donatı indirilmesi ve çukurun betonlanması ile kazık yapılmasıdır. Yer altı suyu bulunması veya çukur çeperlerinin kendinin tutamaması halinde bu yöntem uygulanamaz. Özellikle, kuyuya su sızması ve çukur dibinde birikmesi durumunda bu yöntemle yapılacak imalat ciddi mahzurlar ortaya çıkarır. Suyun içine dökülen beton segregasyona uğrar. Beton dökülmesine devam olunursa yukarıdaki beton alttaki betondan daha önce priz yapar. Aşağıdaki betonun kolayca sıkışıp oturması sonucu, kazığın alt kesimi ile daha yukarıdaki kesimi arasında boşluk oluşur. Su sızması, çoğu kere çeperlerden zemin parçalarının düşmesine ve betona karışmasına yol açar.
- 2) Diğer bir yapım yöntemi, kazık çukurunun çeperlerinin stabilitesini sağlamak için kılıf kullanılmasıdır. Kılıf, çukur kazıldıkça aşağıya sürülür. Kılıf kullanılması halinde ortaya çıkabilecek sorunlar, betonlama sırasında kılıfın hızlı çekilmesi ve bu yüzden suyun veya zemin parçalarının betona karışması, öngörülen kazık kesitinin elde edilmemesidir. Kalıcı kılıf kullanılması ise, ekonomik nedenlerle, genellikle başvurulacak son çaredir.
- 3) Başka bir yapım yönetimi, bentonit süspansiyonu kullanılarak çukur çeperlerinin stabilitesinin bozulmasının önlenmesidir. Özellikle geniş çaplı kazıkların yapımında yararlı bir yöntemdir. Kazık başının üst kısmına bir yaka kılıfı yerleştirilir. Kuyu içindeki bentonit seviyesi, zemin yüzüne yakın ve herhalde yer altı su seviyesinden 1.00 ~ 1.50 m daha yukarıda tutulur. Bu yöntemle çalışırken çukur tabanının iyice temizlenmesine dikkat edilmelidir. Beton tremi borusu ile dipten başlanarak dökülüyorsa, süspansiyon ile birlikte

gelen zemin parçaları ve yabancı maddelerin kazığın üst tarafında betona karışması önlenmelidir.

- 4) Burgu ile yapılan kazıklarda çukur istenilen derinliğe kadar açıldıktan sonra burgu geri alınırken beton dökülür. Bu yöntemde, burgunun geri alınması ile beton dökülmesinin eş zamanlı olmasına dikkat edilmelidir.

Pas payı, kazık çapı 0,60 m den büyük olan kazıklarda 60 mm, çapı 0,60 m ye eşit veya daha küçük olan kazıklarda 50 mm olabilir. Aşağıda sayılan koşullarda pas payı 75 mm ye çıkarılmalıdır: (EN1536:1999)

- Kazığın muhafaza borusuz olarak yumuşak zeminde imal edilmesi,
- Donatının beton döküldükten sonra yerleştirilmesi,
- Kazık çukur çeperlerinin düzensiz olduğu
- Betonun su altında ve en büyük agrega 32 mm olarak döküldüğü durumlar.

Kalıcı kılıf bırakılması halinde pas payı 40 mm ye düşürülebilir (EN 1536:1999).

Buna karşılık, TS 3168, pas payının en az 30 mm olmasını, zararlı suların söz konusu olduğu durumlarda en az 50 mm olmasını yeterli görmektedir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların yapımında kullanılacak beton,

- segregasyona karşı yeterli dayanıklılığı bulunmalı,
- yüksek plastisitesi olmalı,
- kendi kendine sıkışabilmeli,
- yerleştirme ve kaplama borusu çekilmesi sırasında işlenebilirliği yeterli olmalıdır.

Beton karışımının özellikleri Tablo 8.2 de verilmiştir.

Tablo 8.2 Beton karışımının özellikleri (EN 1536:1999)

Çimento miktarı	
Kuruda dökülüyorsa	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
Su altında dökülüyorsa	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Su / çimento oranı (w/c)	$< 0,60$
d<0.125 mm ince malzeme miktarı	
kaba agrega d>8 mm	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
kaba agrega d<8 mm	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

8.2. Betonarme Kazıkların Karşılaştırılması

Yerinde dökme çakma betonarme kazıklar ile sondaj kazıklarını birbirleriyle karşılaştırıldığında;(Toğrol E., Tan O., 2002). sondaj kazıklarının üstünlükleri:

- Sondaj kazıklarının yapımı sırasında çevrede genellikle büyük sarsıntılar meydana gelmez,
- Kazık çukurunun açılması sırasında numune almak mümkün olduğu için geçilen tabakaların mükemmel bir profilinin elde edilmesi kabildir,
- Çatı altı, vs. gibi çalışma yüksekliği az olan yerlerde dahi imal edilebilir,
- Kazık uzunluğu zemin koşullarına göre ayarlanabilir,
- Yalnız kaplama borusu çakılması gibi nispeten küçük bir kuvvet tatbiki gerektiği için kolayca büyük derinliklere ulaşılabilir.

Bu üstünlüklerine karşılık, sondaj kazıklarının şu mahzurları da vardır: (Toğrol E., Tan O., 2002)

- Kazık yeri zeminin oyulup çıkarılması ile hazırlandığı için kaplama borusu çevresindeki zeminde gevşeme olabilir. Kazma işlemi, kaplama borusunun alt ucundan 0,30 m ~ 0,50 m daha derine kadar sürdürülmektedir ve bu yüzden killi zeminlerde dahi bir miktar ferahlama meydana gelir.
- Küçük kesitli sondaj kazıklarının yer altı su seviyesi altında dökülmesinde güçlükler vardır,
- Muhafaza borusu çıkarılan sondaj kazıklarında taze betonun da çekilmesi ihtimali vardır.

- Muhafaza borusunun çekilmesi sırasında gerekli itina gösterilmezse, zemin çukura hücumu ile kazık kesitinin daralması ile “boğulma” meydana gelebilir,
- Beton dökülmesi sırasında tremi borusu kullanılmaması halinde beton içindeki iri malzeme ile ince malzeme ayrılır; kötü bir beton meydana gelir.

Sondaj kazıkları genellikle uç kazığı olarak kullanılırlar. Gevşek zeminlerde, akıcı kumlarda, basınçlı yer altı suyu bulunmaması halinde mümkün olduğu kadar sondaj kazığı yapılmasından kaçınılmalıdır.

Yerinde dökülen çakma kazıklar sondaj kazıklarına göre genellikle daha çok yük taşırlar. Bununla beraber, yerinde dökülen çakma kazıklar belli tiplerle sınırlı kalırken sondaj kazığı tipleri her gün gelişmekte, sayıları artmaktadır. (Toğrol E., Tan O., 2002)

8.3. Betonarme Kazıkların Dayanıklılığı

Şartnamelere uygun olarak imal edilen betonarme kazıklar en dayanıklı inşaat elemanlarından birisidir. Bununla birlikte, zeminde doğal olarak mevcut olan sülfat betonun bozulmasına yol açabilir. Betondaki hidrate kalsiyum alüminat, sülfat ile reaksiyona girerek kalsiyum sulfoalüminat meydana getirir. Moleküler düzeyde hacim artışına yol açan bu değişiklik sonucunda beton dağılır. Çözülebilir sülfatların beton üzerinde etkili olup olmadığını anlamak için zemindeki sülfat miktarının ve mevcut katyonların belirlenmesi gerekir. Nümunedeki sülfat konstantrasyonu % 0,5 i geçiyorsa, zeminde sülfat analizi yapılmalıdır. (Toğrol E., Tan O., 2002)

Sülfatın etkisinden kurtulmak için kazığa bitüm veya katran sürülmesi yeterli olmayabilir. Bitüm veya katran çakım sırasında sıyrılır, fazla yararlı olmaz. Buna karşılık, yoğun, iyi sıkıştırılmış, su/çimento oranı küçük olan beton sülfata dayanıklı kabul edilir. Yapısal olarak pas paylarının arttırılması, sivri köşeler teşkilinden kaçınılması gibi önlemler de alınabilir. (Toğrol E., Tan O., 2002)

DIN4030, betona kötü etkisi olan durumları sıralamaktadır. (Tablo 8.3). Eğer sudaki değerler, tabloda gösterilen 1 den 5 e kadar olan sınırlardan yalnızca birinde aşılyorsa, buna tekabül eden etki şiddeti kabul edilecektir. Eğer iki veya daha fazla değer aralığın üst çeyreğinde ise (pH değeri için alt çeyreğinde ise) etkime şiddeti bir üst kademedede kabul edilecektir.

Tablo 8.3. DIN 4030'a göre betona kötü etkiyen sıvılar

Sıra	etkileyici	Etkime derecesi		
		Az	Şiddetli	Çok Şiddetli
1	pH değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
2	Kireç-çözülebilir karbonik asit (CO ₂) mg/l	15-30	30-60	> 60
3	Amonyum (NH ₄) mg/l	15-30	30-60	> 60
4	Magnezyum (Mg) Mg/l	100-300	300-1500	> 1500
5	Sülfat (SO ₄) mg/l	200-600	600-3000	> 3000

Yüksek sıcaklıklarda etki şiddeti artar. Düşük sıcaklıklarda, ve su hareketlerinin sınırlı olduğu permeabilitesi düşük ($k < 5 \cdot 10^{-10}$ m/s) olan zeminlerde etki şiddeti azalır. (Toğrol E., Tan O., 2002)

8.4. Betonun Gelişimi

Son yıllarda, beton teknolojisinde inanılması güç gelişmeler kaydedildi. Sadece 30 yıl önce, betonarme yapılarda kullanılan betonun basınç dayanımı en fazla 40 MPa idi (Alexander, M.G., 1993). Böyle bir beton, küp basınç dayanımları 200-800 MPa arasında, çekme dayanımları 25-150 MPa arasında ve kırılma enerjileri ise yaklaşık 30000 J/m² olan yüksek performanslı modern betonlarla kıyaslandığında, şu anda gerçekten oldukça düşük dayanımlı malzeme olarak kabul edilebilir (Walraven, J., March 1999). Beton teknolojisinde söz konusu yüksek dayanımlı bu malzemeler Reaktif Pudra Betonları (RPC) olarak adlandırılırlar ve dikkate değer eğilme dayanımına ve oldukça yüksek sünekliğe sahiptirler. Süneklikleri normal betona kıyasla yaklaşık 300 kat daha fazladır (Richard, P., and Cheyrezy, M., 1995). Düşük porozite değerleri bu betonlara önemli dürabilite ve düşük geçirimsizlik özellikleri kazandırılırlar. Bunlar, çeşitli iklim koşullarının etkisindeki bazı yapılar için potansiyel olarak uygun malzeme niteliği sağlarlar (Feylessoufi, A., Villieras, F., Michot, L.J., De Donato, P., Cases, J.M., and Richard, P., 1996),

Yüksek Performanslı beton (YPB) dürabilite koşulunu da sağlayan yüksek dayanımlı betondur (Shah, S.P., and Ahmad, S.H. (Editors), 1994). ABD'deki Stratejik Otoyol

Araştırma Programına (SHRP-C-205) göre (SHRP-C/FR-91-103, 1991). Yüksek Performanslı Beton aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

i) YPB aşağıdaki özelliklerden birine sahip olmalıdır:

- 4 saatlik basınç dayanımı $\geq 17,5$ MPa ise çok erken dayanımlı beton,
- 24 saatlik basınç dayanımı ≥ 35 MPa ise çok yüksek erken dayanımlı beton,
- 28 günlük basınç dayanımı ≥ 70 MPa ise çok yüksek dayanımlı beton,

ii) YPB'nin dürabilite çarpanı %80'den büyük olmalıdır (donma-çözülmenin 300 tekrarından sonra),

iii) YPB'nin su/bağlayıcı oranı 0,35'den küçük olmalıdır.

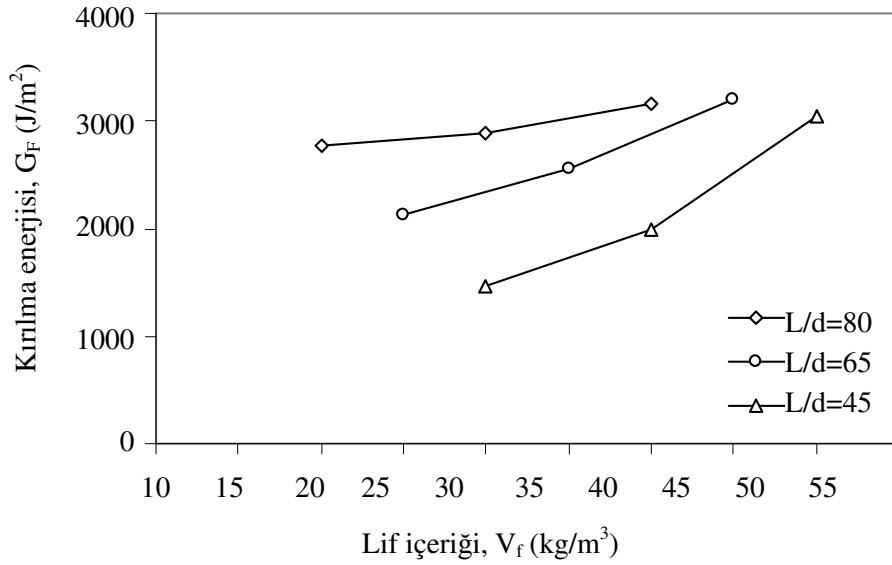
Çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halkadır. Silis dumanı gibi ultra incelikteki tanelerin kullanımı, yoğunluğun artırılması dolayısıyla boşlukların azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir. Böylece dürabilite iyileştirilir ve dayanım yükseltilir. Silis dumanı veya diğer bir deyişle mikrosilika, silis ve ferrosilis endüstrilerinin bir yan ürünüdür; 1950'lerden beri betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu tanelerin etkili olabilmesi için beton içinde iyi bir dağılım gereklidir ve bunu da bir süperakışkanlaştırıcı ile sağlamak olasıdır. (Tasdemir, C., Tasdemir, M.A., Mills, N., Barr, B.I.G., and Lydon, F.D., Jan.-Feb.1999). Bununla birlikte, reaktif pudra betonlarının iç yapısına yönelik olarak maksimum yoğunluğu sağlamak için karışımdaki tüm tanelerin boyut dağılımı hassas biçimde optimize edilmektedir. Bunun için, RPC'nin granülometri eğrisi süreksiz olmalıdır. Ayrıca, çok yüksek dayanımlara erişmek için karışımdaki su miktarını azaltmak gerekirken, sünekliği arttırmak için ise kısa kesilmiş çelik teller eklenmekte ve sıcaklık yükseltilerek basınç altında sertleştirme süreci uygulanmaktadır.

8.5. Geleneksel ÇTDB'ların Mekanik Davranışı

Geleneksel ÇTDB'lar normal betonlara kıyasla, sünek davranışa neden olan yüksek çekme dayanımları ve yüksek enerji yutma kapasiteleri ile karakterize edilir. ÇTDB'ların çekme dayanımları ve tokluklarını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır: i) telin hacmi, narinliği, şekli ve dayanımı, ve ii) yalın betonun özellikleri. (Lange-Kornbak, D., and Karihaloo, B.L., 1998). ÇTDB'ların kırılma enerjilerinin lif uzunluğunun karesi ile doğru orantılı, lif çapının kareköküyle de ters orantılı olduğunu göstermiştir.

Şekil 8.1, üç farklı narinlik için lif içeriğinin kırılma enerjisine etkisini göstermektedir. Uçları kancalı çelik tellerin belirli bir hacmi için, narinlik arttıkça kırılma enerjisi belirgin artmaktadır. Bu deneysel sonuçların normal dayanımlı matris ve çekme-kopma dayanımı

1100 N/m² olan düşük karbonlu çelik teller için geçerli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., September 2002). Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, lif içeriği ve narinlik ana değişkenler olarak alınmıştır. Buradan, deneyi sonlama noktasının 5 mm. sehime karşılık gelen nokta olarak alınmasına karşın, kırışın enerjiyi yutma yeteneğinin yüksek olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 8.1 Geleneksel ÇTDB’lar için lif içeriği-kırılma enerjisi ilişkisi (Falkner ve diğ. (Falkner, H., Teutsch, N., and Klinkert, H., Leistungsklassen von stablfaserbeton 1999)’nin deney sonuçları Bayramov (Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., September 2002) tarafından değerlendirilmiştir)

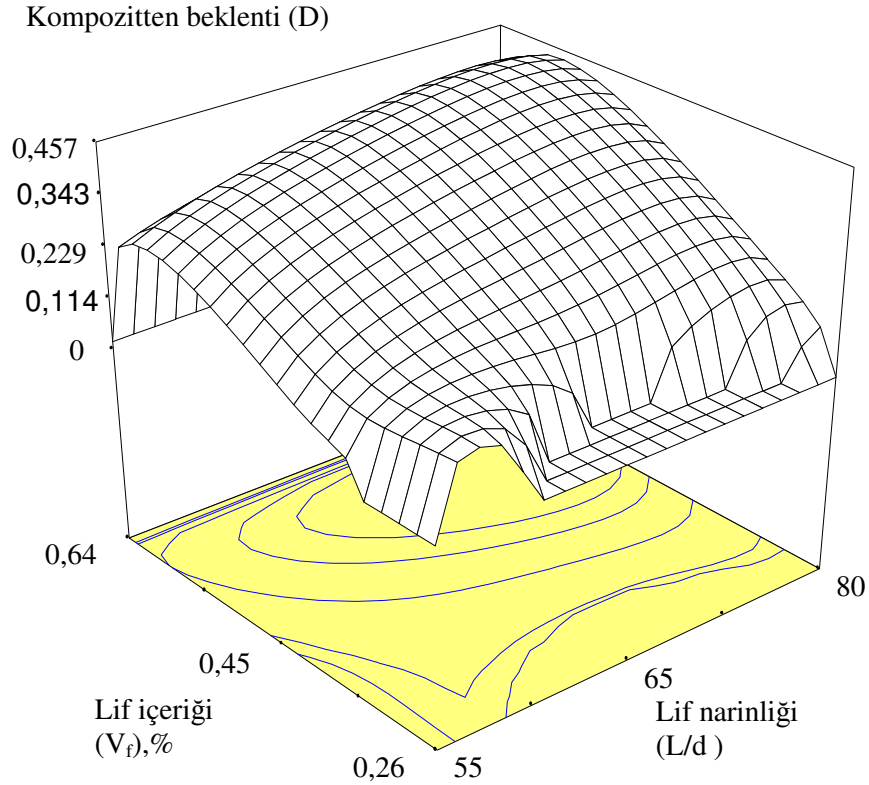
Kırılma enerjisi $w.(l/d)$ değişkeni kullanılarak gösterilebilir. Burada $w=(\text{lif ağırlığı} \times 100)/(\text{beton ağırlığı})$ olup, l/d narinliktir. Kırılma enerjileri (Falkner ve diğ.1999) tarafından yapılan ve üç deney serisine dayanan eğilme deneylerinden hesaplanmıştır. Bu değişken kırılma enerjisini temsil etmesi açısından oldukça kullanışlıdır; ($G_F = 26.577 w.(l/d) + 153$) gibi bir lineer fonksiyon deneysel verilere uyarlanmış ve kırılma enerjisi 153 J/m² ‘den (yalın beton) 4371 J/m² ‘ye kadar bir aralık için yeterli bir korelasyon katsayısı olan 0,74 değeri elde edilmiştir.

Kompozitlerde kullanılan çelik tellerin maliyeti uygulama açısından önemlidir. Bu yüzden, ekonomik bir karışım elde etmek için çelik lif hacmi minimize edilmelidir. Sayısal optimizasyon yöntemiyle bu gibi faktör veya tepkiler kombinasyonu optimize edilebilir. Bu amaçla, eğilmede çekme dayanımı (f_{st}), karakteristik uzunluk (l_{ch}), eğilme dayanımı (f_{flex}) ve çelik lif hacmi (V_f) eşit önemde kabul edilerek aynı anda optimize edilmiştir. Burada f_{st} , l_{ch} ve f_{flex} maksimize edilirken V_f minimize edildi. Gevrekliği gösteren malzemenin karakteristik

boyu, $l_{ch} = EG_F / f_{st}^2$ olarak ifade edilmektedir. Burada E betonun elastisite modülünü, G_F ise betonun kırılma enerjisini göstermektedir. Çok amaçlı optimizasyon çözümü Şekil 8.2’de gösterilmiştir. Bu şekil, tasarım değişkenlerinin optimal değerlerinin $V_f = \% 0,558$ ve $L/d=75,87$, ($L=60$ mm, $d= 0,791$ mm, ve $V_f = \%0,558$) olduğunu yansıtmaktadır. Tahmin edilen tepki değerleri ve ilgili belirsizlikler (% 95 güvenlik düzeyinde) Tablo 8.4’de verilmiştir (Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., 2004).

Tablo 8.4 Tasarım değişkenlerinin optimal değerleri

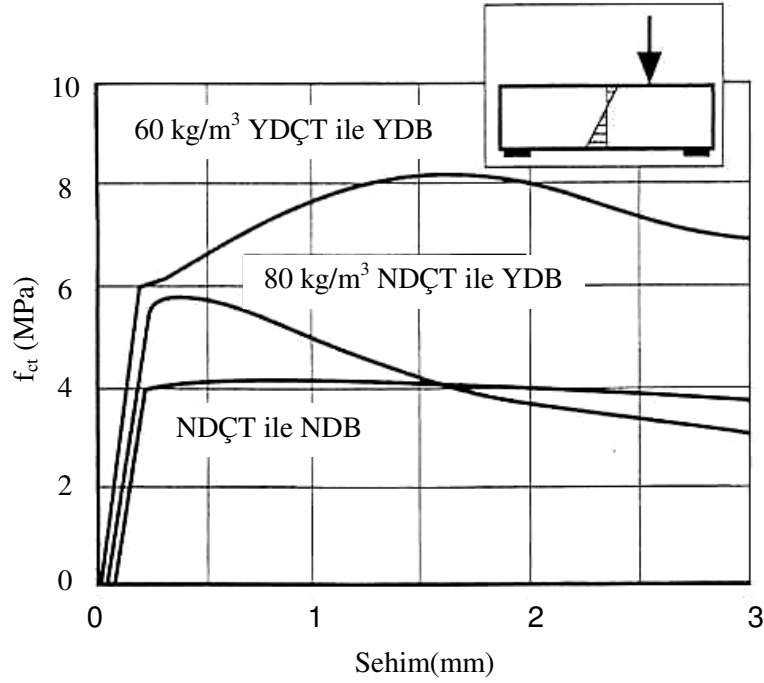
$V_f, \%$	L/d	l_{ch}, mm	f_{st}, MPa	f_{flex}, MPa	$G_F, \text{N/m}$	E, GPa	f'_c, MPa
0,558	75,87	3359 ± 310	$6,8 \pm 0,1$	$9,4 \pm 0,5$	3125 ± 165	$48,6 \pm 0,3$	$65 \pm 3,8$



Şekil 8.2 f_{st} , l_{ch} ve f_{flex} ’nin maksimum, çelik lif hacminin (V_f) ise aynı anda minimum yapılması halinde kompozitten beklentiye (D) ait tepki yüzeyi (Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., 2004).

8.5.1 Yüksek Dayanımlı Betonun (YDB) Mekanik Davranışına Çelik Lif Dayanımının Etkisi

YDB'un Mekanik Davranışına Çelik Lif Dayanımının etkisi Şekil 8.3'te gösterilmiştir. Alttaki eğri normal dayanımlı çelik lif (çekme-kopma dayanımı 1200 MPa) ile üretilen Normal Dayanımlı Betonun (NDB) mekanik davranışını göstermektedir. Ortadaki eğri 80 kg/m³ normal dayanımlı çelik lif içeren YDB kirişinin davranışını göstermektedir. Üstteki eğri ise 60 kg/m³ yüksek dayanımlı lif (çekme-kopma dayanımı 2000 MPa) içeren YDB kirişinin davranışını göstermektedir. Buradan, yüksek dayanımlı çelik telli YDB kirişinin belirgin bir biçimde sünek davranış gösterdiği sonucuna varılabilir (Walraven, J., March 1999).



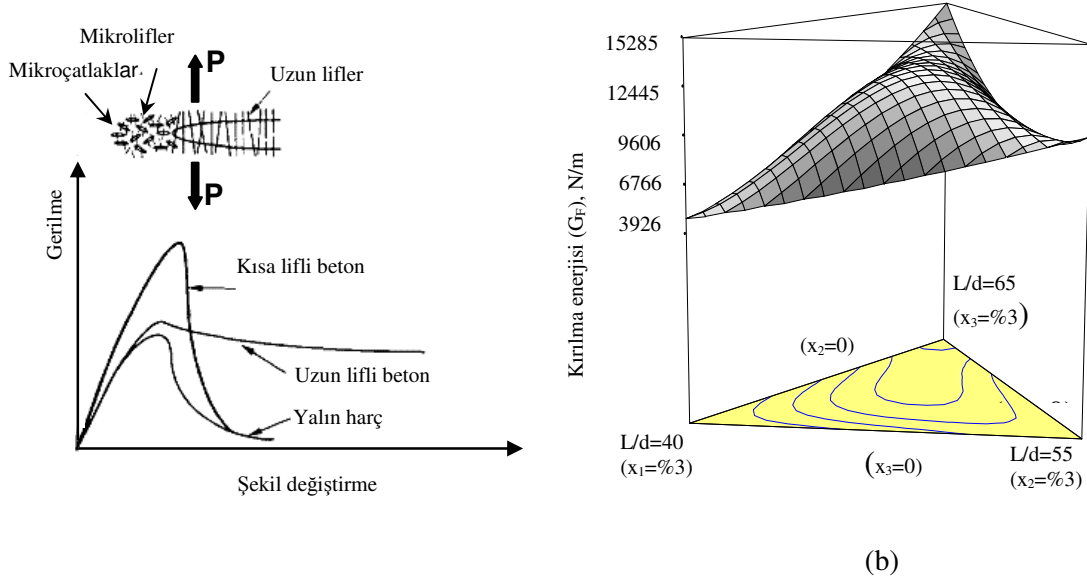
Şekil 8.3 Farklı tipteki çelik tellerle üretilmiş beton kirişlerin yük-sehim eğrileri (Walraven, J., March 1999).

8.5.2. Karma Lifli Yüksek Performanslı Beton

Mikro-lifler mikro çatlakları elimine etmek için bir köprü görevi görürler ve sonuç olarak kompozitin çekme dayanımı artar. Mikro-liflerin kısa olmasından dolayı, makro çatlakların oluşmasından sonra bu lifler betondan sıyrılabilirler. Bu yüzden, mikro-liflerin kompozitin gerilme-şekil değiştirme eğrisinde tepe yükü sonrasındaki davranışa az etkisi vardır. Uzun liflerin mikro çatlakları engellemeye yönelik belirgin bir etkisi yoktur. Mikro çatlaklar makro çatlak haline geldiğinde, uzun lifler makro çatlakların yayılmasını önleyebilirler. Şekil 8.4a'da

görüldüğü gibi, uzun liflerin gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki tepe yükü sonrasındaki davranışa belirgin bir etkisi bulunmaktadır. Uzun liflerin katkısıyla tokluk oldukça artmakta, ancak tepe yükü gerilmesi hemen hemen aynı kalmaktadır (Betterman, L.R., Ouyang, C., and Shah, S.P., 1995).

Ekincioglu (Ekincioglu, O., 2002) tarafından, dayanımı, sünekliği ve tokluğu yükseltecek optimum çözümü bulmak için karma çelik liflerle ve polipropilen liflerle takviye edilmiş çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. Tüm karışımlarda polipropilen liflerin hacmi % 0,05 olarak sabit tutulmuştur. Karma liflerin mekanik özelliklere etkisini bulmak için, kanca uçlu ve kanca uçsuz üç farklı çelik lif tüm karışımlara katılmıştır. Her çelik lifin hacmi değişkenlik göstermekle birlikte, liflerin toplam hacmi % 3 olarak sabit tutulmuştur. Yüksek narinlikteki çelik lif takviyeli betonlar için yüksek kırılma enerjisi ve net eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Ancak düz kesilmiş kısa çelik liflerle takviye edilmiş betonlarda düşük süneklik elde edilmiştir. Karma çelik lifli betonlarda ise ortalama kırılma değerleri elde edilmiştir (Şekil 8.4b).



Şekil 8.4 a) Çatlak köprülenmesine farklı lif boyutlarının etkisi (Betterman, L.R., Ouyang, C., and Shah, S.P., 1995), b) Karma lifli betonlarda tel narinliğinin (L/d) ve tel içeriğinin (x_i) kırılma enerjisine (G_F) etkisi (Ekincioglu, O., 2002).

9. DENEYSEL BETON ÇALIŞMALARI

Betonun performansı ile ilgili laboratuvar (deneysel) çalışmaları için; 3 farklı beton sınıfı (3 farklı su/çimento oranı), 3 farklı çelik tel içeriği ve 2 farklı çelik tel düşünülmüştür. 3 adet de karşılaştırma yapabilmek amacıyla çelik tel içermeyen referans beton numuneleri üretilmiştir. Böylece toplam 18 adet beton karışımı yapılmıştır. Farklı mekanik özelliklere sahip çelik tellerin farklı beton sınıflarında basınç dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen basınç dayanım sonuçları Tablo 9.8’de verilmektedir.

Beton sınıfları C20/25, C40/50, C90/105 olarak tasarlanmıştır. Çelik tel içeriği hacimce %1, %1,5 ve %2, çelik tel cinsi olarak çekme-kopma mukavemeti 1100MPa ve 2250MPa olan çelik teller kullanılmıştır.

Silis dumanı sadece C90/105 sınıfı beton numuneleri için kullanılmış ve miktarı 105 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Üretimlerde akışkanlığı sağlamak için hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Aynı sınıf için üretilen betonların slump (çökme) ve yayılma değerlerinin aynı olması sağlanmıştır.

9.1 Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

9.1.1 Çimento

Üretimlerde Nuh Çimento Fabrikası’na ait CEM I 42,5 tipinde çimento kullanılmıştır. Çimentonun basınç dayanımı ve fiziksel özellikleri ile kimyasal özellikleri üretici firmadan elde edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile basınç dayanımları sırasıyla Tablo (9.1), Tablo (9.2) ve Tablo (9.3)’de verilmiştir.

Tablo 9.1 Portland Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık (gr/cm^3)		3,17
Priz Süresi	Başlangıç	03:05
Hacim Sabitliği (mm)		2
Özgül Yüzey (cm^2/gr)		3700

Tablo 9.2 Portland Çimentonun Kimyasal Özellikleri

	Analiz Sonuçları (%)	Standartlar (%)
MgO	1,10	maks.% 5,0
Cl	0,10	Maks.%0,1
SO ₃	2,50	maks.% 3,5
Çözünmeyen Kalıntı	0,70	maks.% 1,5
Kızdırma Kaybı	1,90	maks.% 5
Serbest Kireç	1,00	

Tablo 9.3 Portland Çimentosunun Basınç Dayanımı

Gün	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
2	27,0
28	59,0

9.1.2 Silis dumanı

Deneylerde çimentoya ek olarak filler ve puzolanik etkisi bulunan silis dumanı da kullanılmıştır. Silis dumanının miktarı 105 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

9.1.3 Agregalar

Deneylerde agrega olarak kırmataş 1 ve 2, taştuzu ve kum kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo (9.4)'de verilmiştir. Agregaların elek analizleri Tablo (9.5)'de gösterilmektedir.

Tablo 9.4 Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega Türü	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)
Kum	2,65	0,90
Taş Tozu	2,71	1,10
Kırmataş 1 ve 2	2,72	0,60

Tablo 9.5 Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Elek Göz Boyutu (mm)	Elekten Geçen %			
	Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2	Taştozu
16	100	100	41	100
8	100	51	0	100
4	100	0	0	76
2	99	0	0	39
1	98	0	0	19
0,5	90	0	0	13
0,25	16	0	0	6

9.1.4 Akışkanlaştırıcı

Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda azaltan, yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır.

9.1.4.1 Yeni nesil süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması ve teknik özellikleri

Bu katkıların geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddelerinden (NSF veya MSF esaslı) farkı, çimento dağılımının etkinliğini büyük ölçüde artıran, yeni etki mekanizmasıdır. Geleneksel, melamin ve naftalin sülfonatlar gibi süper akışkanlaştırıcılar, çimento taneleri üzerine adsorbe olan katkılardır. Bu katkılardaki polimerler beton karıştırma işleminin en erken aşamasında çimento tanelerinin yüzey alanlarının çevresini kuşatırlar. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento tane yüzeylerinin negatif yükünü artırır ve bu taneleri elektriksel itme ile dağıtırlar. Bu elektrostatik mekanizma, çimento hamurunun dağılmasına neden olur ve bunun olumlu bir sonucu da, belirli beton işlenebilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilmesini sağlamasıdır.

TS EN 934-2 'ye göre yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıflarına uygundur. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar süper akışkanlık verici katkı maddelerine göre değişik bir kimyasal yapıya sahiptir. Bu katkılar, uzun kenar zincirli karboksilik eter polimerlerinden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi, elektrostatik dağılma mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su içeriği büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir.

9.1.5 Çelik lif

Tez çalışması kapsamında beton takviyesinde kullanılan TS10513 standardına uygun olarak üretilen, kanca uçlu, iki ucu kıvrılmış, birbirlerine tutkalla birleştirilmiş, C sınıfı A tipi soğuk çekilmiş 0.55 mm çapında, 30 mm boyunda, narinliği 55 olan BEKSA Firması üretimi ZP305 (Tel 2), ZP305X (Tel 3) ve 6 mm boyunda, 0,15 mm çapında, narinliği 40 olan OL (Tel 1)

kodlu üç tür çelik lif kullanılmıştır. Aynı karakteristiklere sahip iki lif, Tel 2 ve Tel 3 çekme dayanımları açısından farklılık göstermektedir. Tel 1 ve Tel 3'ün çekme mukavemetleri 2250 MPa, Tel 2'nin çekme mukavemetleri 1100 MPa'dır.

9.2 Numune Kodları

Numune kodları Tablo 9.6, numune boyutları ise Tablo 9.7 ile verilmiştir.

Tablo 9.6 Numune Kodları

NUMUNE KODLARI			
1	C20N	TEL YOK	
2	C201	%1 TEL 1	
3	C201,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2
4	C201,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3
5	C202	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2
6	C202X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3
7	C40N	TEL YOK	
8	C401	%1 TEL 1	
9	C401,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2
10	C401,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3
11	C402	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2
12	C402X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3
13	C90N	TEL YOK	
14	C901	%1 TEL 1	
15	C901,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2
16	C901,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3
17	C902	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2
18	C902X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3

Tablo 9.7 Numune Boyutları

Numune Boyutu (cm)	Yapılacak Deney
Ø10x20	Silindir Basınç Dayanımı
15x15x15	Küp Basınç Dayanımı

9.3 Beton Karışımları

Beton karışımları Tablo 9.8 ile verilmektedir.

Tablo 9.8 Beton Karışım Tablosu

Beton Kodu	Çimento (kg)	K.T 1 (kg)	Kum (kg)	K.T 2 (kg)	T.tozu (kg)	Su (kg)	Silis Dumanı (kg)	Katkı (kg)	Tel 1 (kg)	Tel 2 (kg)	Tel 3 (kg)
C20N	266	679	512	353	392	220	-	-	-	-	-
C40N	441	641	481	321	361	195	-	3,06	-	-	-
C90N	692	534	372	338	274	157	104	26,4	-	-	-
C902X	701	518	361	329	266	139	107	26,4	79	-	79
C902	689	509	355	323	261	159	105	25,9	78	78	-
C901,5X	690	515	360	327	265	159	105	19,5	78	-	39
C901,5	690	515	360	327	265	159	105	19,5	78	39	-
C402X	439	612	461	318	350	194	-	3,05	78	-	78
C201,5X	271	637	481	332	365	225	-	0,863	78	-	39
C202X	270	631	476	328	360	224	-	-	79	-	79
C401,5X	437	611	460	318	350	193	-	3,03	77	-	39
C401,5	442	618	467	322	354	195	-	3,07	78	39	-
C202	270	631	476	328	360	224	-	1,052	79	79	-
C401	439	638	479	319	359	194	-	2,21	79	-	-
C201,5	271	637	481	332	365	225	-	0,863	79	40	-
C402	446	620	468	322	355	197	-	3,09	79	79	-
C201	261	666	502	346	385	216	-	0,74	79	-	-
C901	678	523	364	331	268	154	102	26	76	-	-
C902X	685	507	354	322	260	158	104	26	77,5	-	77,5
C90N	713	538	376	342	277	140	107	20,76	-	-	-
C901,5X	707	519	363	330	267	139	106	22,26	79	-	39
C901,5	705	517	361	329	266	139	106	13	79	39	-
C902	708	514	360	327	265	139	106	15	79	79	-
C90NT	703	530	371	338	273	139	105	10	-	-	-
C901,5XT	705	518	362	329	266	139	106	13	79	-	79

T : tekrar

9.4 Taze Beton Özellikleri

Taze beton özellikleri Tablo 9.9 ile verilmektedir.

Tablo 9.9 Taze Beton Özellikleri

Beton Kodu	Birim Ağırlık kg/m ³	Su/Bağlayıcı	Yayılma/Slump (cm)
C 20 N	2422	0,827	S: 7
C 40 N	2443	0,442	S: 10
C 90 N	2497	0,197(0,22)	S: 16
C 90 2X	2605	0,172	Y: 65-67
C 90 2	2582	0,20	Y: 67
C 901,5X	2557	0,20	Y: 70
C 901,5	2563	0,20	Y: 68-70
C 402X	2531	0,44	S: 11,5
C 201,5X	2430	0,83	S: 10
C 202X	2448	0,83	S: 11
C 401,5X	2488	0,44	S: 8
C 401,5	2519	0,44	S: 10
C 202	2448	0,83	S: 12
C 401	2507	0,44	S: 11
C 201,5	2428	0,83	S: 11
C 402	2569	0,44	S: 10,5
C 201	2457	0,83	S: 8
C 901	2522	0,197	Y: 75
C 90 2X	2571	0,2	Y: 61-70
C 90 N	2519	0,172	Y: 46
C 90 1,5X	2573	0,171	S: 20
C 90 1,5	2567	0,171	S: 15
C 90 2	2604	0,171	S: 12
C 90 NT	2468	0,172	S: 15
C 90 1,5XT	2556	0,171	S: 13,3

9.5 Basınç deneyi

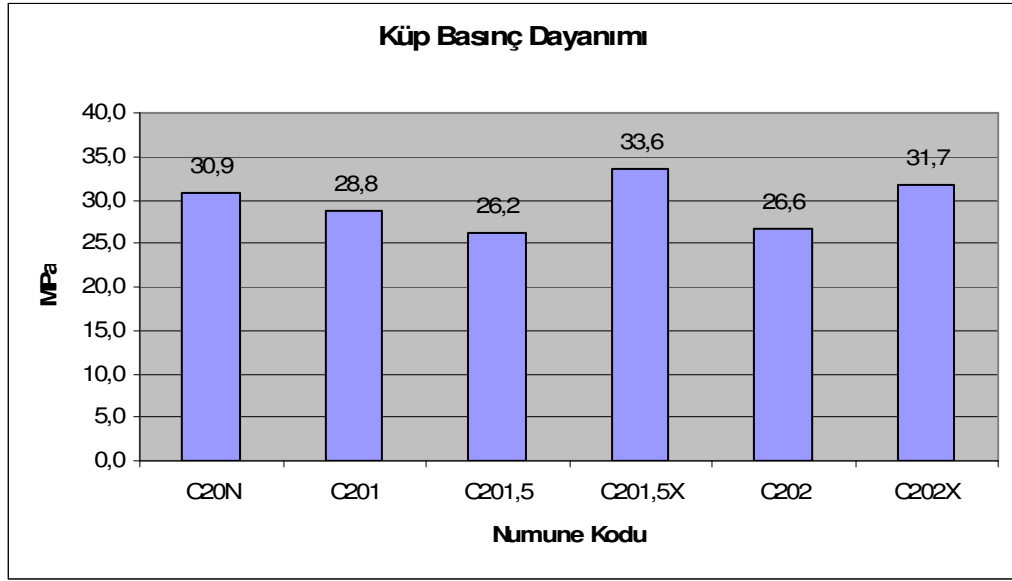
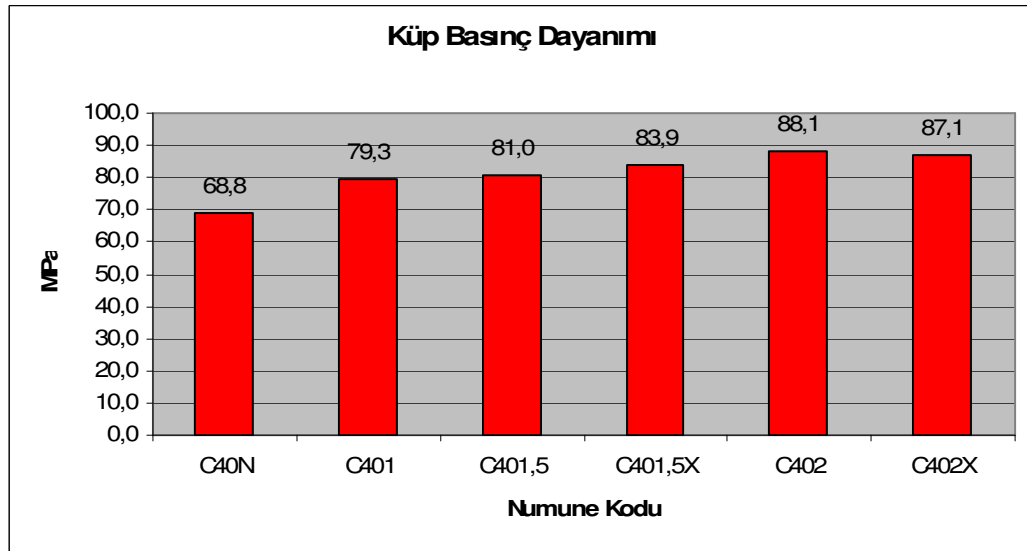
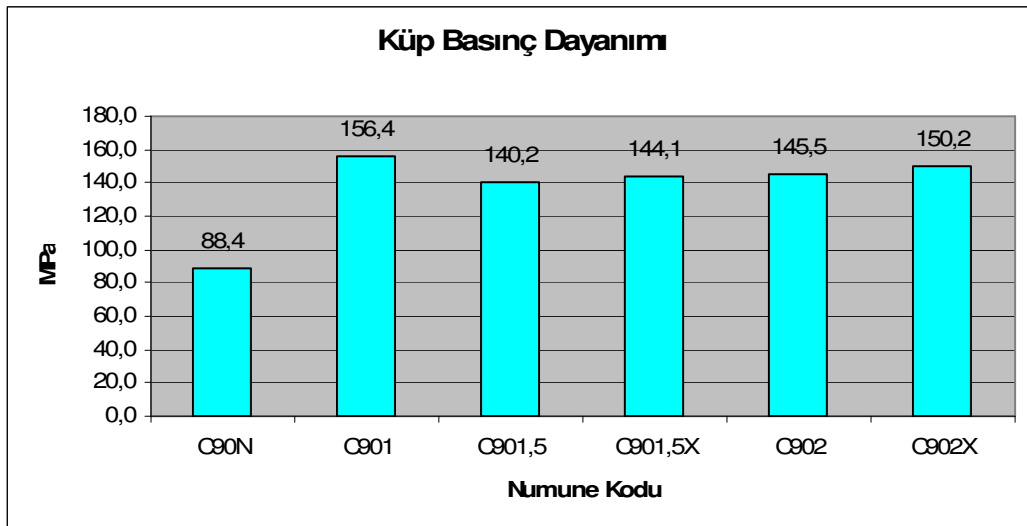
Basınç deneyleri 15x15x15 cm'lik küp numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. ELE marka 3000 kN kapasiteli yükleme makinesi kullanılmıştır.

9.6 Numunelerin küp basınç dayanımı sonuçları

Numunelerin küp basınç dayanımı sonuçları Tablo 9.10 ile verilmektedir.

Tablo 9.10 Küp basınç dayanımı sonuçları

NUMUNE KODLARI				ORT. MUK. (MPa)	
1	C20N	TEL YOK		30,9	
2	C201	%1 TEL 1		28,8	
3	C201,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2	26,2	
4	C201,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3	33,6	
5	C202	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2	26,6	
6	C202X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3	31,7	
7	C40N	TEL YOK		68,8	
8	C401	%1 TEL 1		79,3	
9	C401,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2	81,0	
10	C401,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3	83,9	
11	C402	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2	88,1	
12	C402X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3	87,1	
				s/bağ.	
13	C90N	TEL YOK		88,4	0,20
14	C901	%1 TEL 1		156,4	0,20
15	C901,5	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 2	140,2	0,20
16	C901,5X	%1 TEL 1	+ % 0,5 TEL 3	144,1	0,20
17	C902	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 2	145,5	0,20
18	C902X	%1 TEL 1	+ % 1 TEL 3	150,2	0,20

Tablo 9.11.a C20 Serisi beton küp sonuçları**Tablo 9.11.b C40 Serisi beton küp sonuçları****Tablo 9.11.c C90 Serisi beton küp sonuçları**

10. SONUÇLAR

Günümüzde kullanılan kazık temeller; yerinde dökme veya çakma kazıklar şeklindedir.

Yerinde dökme kazıklarda çoğu zaman;

1. Beton yerleştirilmesi sırasında segregasyon, yer altı sularından dolayı yıkanma, gevşek zeminin beton içerisine dökülmesi gibi sebeplerden dolayı beton kalitesinde olumsuzluklar yaşanmaktadır.
2. Beton içine yabancı madde karışması, kılıfın hızlı çekilmesi yüzünden kesite su hücumu gibi nedenlerle öngörülen kazık kesiti her derinlikte sağlanamayabilir.
3. Donatı kafesi yerinde olmayabilir ve özellikle zararlı ortamlar için gerekli olan geçirimsiz beton ve paspayı sağlanamayabilir.

Çakma kazıklarda ise;

1. Kazıklar sadece uygulama sırasında büyük dinamik etkiler altında kalmaktadır. Basınç için tasarlanmış olan bir taşıyıcı eleman, bu etkilerle çekme gerilmelerine maruz kalmakta ve hasar oluşabilmektedir. Ayrıca kazığın doğal frekansı ile zorlanmış frekansı bu dinamik etkiler altında rezonans hale gelmekte, kazıkta çok büyük şekil değiştirmelerle göçme hasarları ortaya çıkmaktadır.
2. Çakma işlemi sırasında oluşan zemin titreşimleri etraftaki yapılara, yapısal hasar verebilmektedir.
3. Şahmerdanların (kazık çakma makineleri) oluşturduğu gürültü seviyesi (≈ 110 dB) yaklaşık olarak jet uçakların kalkış anındaki gürültü seviyesine (≈ 120 dB) eşit olduğundan, son derece rahatsız edici olduğu aşıkardır.

Prefabrike burgu kazık temellerle,

1. Günümüzde kullanılan kazık temel teknolojilerinin bu olumsuzlukları ortadan kaldırılmakla kalınmamış, aynı zamanda da ilave bir takım özellikler kazandırılmıştır.

2. Prefabrik olarak yapılacağından, kazık uzunluğu boyunca öngörülen kazık kesiti ve istenilen paspayı sağlamıştır.
3. $\sigma_{z,em} < 0,50 \text{ kgf / cm}^2$ olan çürük zeminlerde bile sürtünme kazığı olarak çalışarak istenilen taşıma gücünü sağlamıştır.
4. Kazık yüzeyindeki helisel dişler vasıtasıyla kazık yüzeyi artırılmıştır. Bu sayede hem sürtünme kuvvetiyle taşıyacağı yükler hem de bu dişlerin zemine dayanması ile taşıyacağı yükler arttığından toplam taşıma kapasitesi, çakma veya yerinde dökme kazıklara göre artmıştır. Bu artış özellikle helis diş adımına (a) ve helis diş yüksekliğine (k) bağlı olarak 1,5 ila 2 kattan az değildir.
5. Kuvvet çifti vasıtasıyla vida prensibiyle zemine uygulanacağından; zeminde oluşacak titreşimler ve gürültü seviyesi çakma kazıklarda oluşan etkilerle kıyaslanamayacak kadar küçüktür. Böylece, özellikle eski ve tarihi yapıların bulunduğu mekanlarda, bu yapılara zarar vermeden daha dar alanlarda uygulanabilecektir.
6. Ayrıca daha sert zeminlerde, uygulama yapılacak bölge ıslatılarak ve kazık çarığı daha kuvvetlendirilerek uygulama yapılabilir.
7. Prefabrike olarak imal edileceğinden gerek beton kalitesinin artırılması gerekse dış yüzeyine izolasyon malzemeleri uygulanmasıyla servis ömrü arttırılabilecektir.
8. Yapılan deneysel beton çalışmaları ile beton kalitesi arttırılmıştır. Kullanılan yüksek mukavemetli çelik teller yüksek beton sınıflarında, düşük mukavemetli çelik teller ise daha düşük beton sınıflarında etkili olmuştur.
9. İstenilen çap, boy ve helis değişkenlerine göre önceden üretilip depolanabileceğinden, kazık uygulama ve toplam proje süresini büyük ölçüde azaltacaktır. Ayrıca halka kesit olarak da üretilabileceğinden malzeme tasarrufu da sağlamaktadır. Kazığın taşıyacağı servis yükü de arttırılabilmektedir.

- 10.** Gerek proje uygulama süresindeki azalmayla gerekse malzeme tasarrufuyla çok büyük ekonomik avantajlar sağlayacaktır.
- 11.** Kazık temel teknolojisine yeni bir sistem geliştirilmiştir. Milli ekonomiye katkısı hayli fazladır.
- 12.** Kurulacak entegre bir üretim tesisiyle tüm inşaat sektörüne çok faydalı iş ve çalışma imkanları kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., (2004) "Optimisation of Steel Fibre Reinforced Concretes by Means of Statistical Response Surface Method", Cement and Concrete Composites, (in press).

Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., (September 2002) "Optimum Design of Cement-Based Composite Materials using Statistical Response Surface Method", 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, 25-27 Istanbul, Turkey, Vol.2, 725-734.

Betterman, L.R., Ouyang, C., and Shah, S.P., (1995) "Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar", Advanced Cement Based Materials, Vol.2, 53-61.

Birand A.A, (Ekim 2001) "Kazıklı Temeller", 1-75.

BOCA (USA) Building Officials and Code Administrators International, Inc. National Building Code (1999)

BS 8110:1985 Structural Use of Concrete, British Standards Institution

Celep Z., Kumbasar N., (1995) "Örneklerle Betonarme", 137-175

Chellis D.R, (1961) "Pile Foundations", 11-15.

Corus Construction & Industrial, (2003) "Piling Vibration and Noise Control", 20-23.

DIN 4026 Rampfahre, Deutsches Institut für Normung e.V

DIN 4030 Beurteilung Betonangreifender Wasser, Böden u.Gasse, Deutsches Institut für Normung e.V

Ekincioglu, O., (2002) "Mechanical Behavior of Hybrid Fiber Reinforced Concretes", MS Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul Technical University, (In Turkish with English Summary).

EN 1536:1999 Execution of Special Geotechnical Work-Bored Piles, European Standard

Feylessoufi, A., Villieras, F., Michot, L.J., De Donato, P., Cases, J.M., and Richard, P., (1996) "Water Environment and Nanostructural Network in a Reactive Powder Concrete", Cement and Concrete Composites, Vol.18, 23-29.

Guo D.W, Randolph F.M, (July 1996) "Torsional Piles in Non-homogeneous Media", Computers and Geotechnics, Vol.19, No.4, 265-287.

Guo D.W., Lee H.F., (March 2001) "Load Trasfer Approach for Laterally Loaded Piles" Int.J.Numer.Anal. Meth.Geomech., 1101-1127

Güralp A., (1992) "Prefabrike İnşaat ve Hesap Esasları" Y.TÜ. İnş.Fak:254, 20-26.

Güralp A., (1999) "Burgu Kazık Temeller" YTÜD,18-30

Güralp A., (June 2000) "Screw Pile Foundations" , 3rd International Conference MARAS 2000 Mobil and Rapidly Assembled Structures.

Hough B.K, (1957) "Basic Soils Engineering"

Kumbasar V., Kip F., (1989) "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği", 231-245.

Lange-Kornbak, D., and Karihaloo, B.L., (1998) "Design of Fibre-Reinforced DSP Mixes for Minimum Brittleness", Advanced Cement Based Materials, Vol.7, 89-101.

Mosher L.R., Dawkins P.W, (November 2000) "Theoretical Manual for Pile Foundations", US Army Corps of Engineers, 63-66 and Appendix A.

Report No. CDOT – DTD – R – 2004 – 8 Appendices , (2004) "Appendix C Analysis Methods for Torsional Response of Drilled Shafts", C1-33.

Richard, P., and Cheyrezy, M., (1995) "Composition of Reactive Powder Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.25, No.7, 1501-1511.

Shah, S.P., and Ahmad, S.H. (Editors), (1994) "High Performance Concretes and Applications", Edward Arnold, London, 403.

Sliwinski Z.J., W.G.K Fleming, (1983) "The Integrity and Performance of Bored Piles", 153-165

Svinkin R.M, (2000) "Drawbacks of Blast Vibration Regulations", 1-11.

Svinkin R.M, Shaw.G.A., (2000) "Vibration Environmental Effect of Construction Operations"

Tasdemir, C., Tasdemir, M.A., Mills, N., Barr, B.I.G., and Lydon, F.D., (Jan.-Feb.1999) "Combined Effects of Silica Fume, Aggregate Type, and Size on Postpeak Response of Concrete in Bending", ACI Materials Journal, Vol.96, pp.74-83.

Terzaghi K., (June 1959) "Theoretical Soil Mechanics", 462-468.

Toğrol E., Tan O., (Kasım 2002) "Kazıklı Temeller", 21-37,67-69

Tomlinson M.J., (1994) "Pile Design and Consruction Practice" 4th Ed., 411

Transportation Research Board Executive Committee (2004) "NCHRP Report 507, Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Deep Foundations", 11-22.

TS 3167 (1978) Kazıklı Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar

TS 3168 (1978) Delme Kazıklar

TS 3169 (1978) Çakma Kazıklar, Tasarım, Yapım ve Uygulama Kuralları

Verruijt A., (2004) "Soil Dynamics" Delft University of Technology, 56-85.

Walraven, J., (March 1999) "Structural Concrete", Journal of fib, Vol.P1, No.1, 3-11.

Warrington C.D, (May 1999) "Closed Form Solution of the Wave Equation For Piles" , A Thesis presented for the Master of Science Degree The University of Tennessee at Chattanooga

EKLER

EK 1. BURGU KAZIK TEMEL İÇİN HESAP TABLOLARI

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	M _b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.15	0.106	0.11	6162.72	0.0025	402673.59	1006.68	5156.04	122368.09
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.15	0.106	0.11	8175.07	0.0025	528337.30	1320.84	6854.23	163110.62
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.15	0.091	0.09	12441.77	0.0025	1021439.24	2553.60	9888.17	293620.62
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.15	0.091	0.09	14890.85	0.0025	1217788.78	3044.47	11846.38	352289.86
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.15	0.080	0.08	20475.11	0.0025	2037376.29	5093.44	15381.67	559461.68
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.15	0.080	0.08	23359.73	0.0025	2320119.63	5800.30	17559.43	639317.04
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.15	0.071	0.07	30259.18	0.0025	3545477.39	8863.69	21395.49	939460.86
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.15	0.064	0.06	38038.27	0.0025	5138088.02	12845.22	25193.05	1321181.93
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.15	0.064	0.06	41791.83	0.0025	5640742.85	14101.86	27689.98	1453187.73
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.15	0.064	0.06	45545.39	0.0025	6143397.67	15358.49	30186.90	1585193.53
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.15	0.058	0.06	55071.71	0.0025	8418178.57	21045.45	34026.26	2120211.89
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.15	0.058	0.06	59259.06	0.0025	9054351.08	22635.88	36623.18	2283182.01
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.15	0.058	0.06	63446.40	0.0025	9690523.59	24226.31	39220.10	2446152.12
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.15	0.053	0.05	74718.73	0.0025	12758192.78	31895.48	42823.24	3157296.76
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.15	0.053	0.05	79339.56	0.0025	13543590.94	33858.98	45480.58	3354490.60
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.15	0.053	0.05	83960.39	0.0025	14328989.11	35822.47	48137.92	3551684.44

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,20 kgf/cm2; k=5,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.20	0.106	0.11	6751.77	0.0025	402673.59	1006.68	5745.09	123840.71
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.20	0.106	0.11	8960.47	0.0025	528337.30	1320.84	7639.63	165074.11
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.20	0.091	0.09	13619.86	0.0025	1021439.24	2553.60	11066.26	297154.91
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.20	0.091	0.09	16304.57	0.0025	1217788.78	3044.47	13260.09	356531.01
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.20	0.080	0.08	22399.33	0.0025	2037376.29	5093.44	17305.89	566196.47
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.20	0.080	0.08	25558.85	0.0025	2320119.63	5800.30	19758.55	647013.94
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.20	0.071	0.07	33086.61	0.0025	3545477.39	8863.69	24222.92	950770.59
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.20	0.064	0.06	41572.56	0.0025	5138088.02	12845.22	28727.34	1337086.25
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.20	0.064	0.06	45679.55	0.0025	5640742.85	14101.86	31577.70	1470682.47
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.20	0.064	0.06	49786.54	0.0025	6143397.67	15358.49	34428.05	1604278.70
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.20	0.058	0.06	60176.80	0.0025	8418178.57	21045.45	39131.35	2145737.33
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.20	0.058	0.06	64756.84	0.0025	9054351.08	22635.88	42120.97	2310670.94
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.20	0.058	0.06	69336.89	0.0025	9690523.59	24226.31	45110.58	2475604.56
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.20	0.053	0.05	81630.23	0.0025	12758192.78	31895.48	49734.75	3195310.03
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.20	0.053	0.05	86683.03	0.0025	13543590.94	33858.98	52824.05	3394879.70
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.20	0.053	0.05	91735.83	0.0025	14328989.11	35822.47	55913.36	3594449.37

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	M _b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.25	0.106	0.11	7340.82	0.0025	402673.59	1006.68	6334.13	125313.33
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.25	0.106	0.11	9745.87	0.0025	528337.30	1320.84	8425.03	167037.61
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.25	0.091	0.09	14797.96	0.0025	1021439.24	2553.60	12244.36	300689.20
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.25	0.091	0.09	17718.28	0.0025	1217788.78	3044.47	14673.81	360772.16
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.25	0.080	0.08	24323.56	0.0025	2037376.29	5093.44	19230.12	572931.26
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.25	0.080	0.08	27757.96	0.0025	2320119.63	5800.30	21957.66	654710.85
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.25	0.071	0.07	35914.05	0.0025	3545477.39	8863.69	27050.35	962080.32
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.25	0.064	0.06	45106.85	0.0025	5138088.02	12845.22	32261.63	1352990.56
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.25	0.064	0.06	49567.27	0.0025	5640742.85	14101.86	35465.42	1488177.22
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.25	0.064	0.06	54027.69	0.0025	6143397.67	15358.49	38669.20	1623363.88
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.25	0.058	0.06	65281.88	0.0025	8418178.57	21045.45	44236.44	2171262.77
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.25	0.058	0.06	70254.63	0.0025	9054351.08	22635.88	47618.75	2338159.88
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.25	0.058	0.06	75227.38	0.0025	9690523.59	24226.31	51001.07	2505056.99
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.25	0.053	0.05	88541.73	0.0025	12758192.78	31895.48	56646.25	3233323.30
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.25	0.053	0.05	94026.50	0.0025	13543590.94	33858.98	60167.53	3435268.80
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.25	0.053	0.05	99511.28	0.0025	14328989.11	35822.47	63688.80	3637214.30

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,30 kgf/cm2; k=5,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.30	0.106	0.11	7929.87	0.0025	402673.59	1006.68	6923.18	126785.95
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.30	0.106	0.11	10531.27	0.0025	528337.30	1320.84	9210.42	169001.10
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.30	0.091	0.09	15976.06	0.0025	1021439.24	2553.60	13422.46	304223.50
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.30	0.091	0.09	19132.00	0.0025	1217788.78	3044.47	16087.53	365013.31
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.30	0.080	0.08	26247.79	0.0025	2037376.29	5093.44	21154.34	579666.05
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.30	0.080	0.08	29957.08	0.0025	2320119.63	5800.30	24156.78	662407.75
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.30	0.071	0.07	38741.48	0.0025	3545477.39	8863.69	29877.79	973390.06
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.30	0.064	0.06	48641.15	0.0025	5138088.02	12845.22	35795.93	1368894.87
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.30	0.064	0.06	53455.00	0.0025	5640742.85	14101.86	39353.14	1505671.96
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.30	0.064	0.06	58268.84	0.0025	6143397.67	15358.49	42910.35	1642449.05
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.30	0.058	0.06	70386.97	0.0025	8418178.57	21045.45	49341.52	2196788.21
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.30	0.058	0.06	75752.42	0.0025	9054351.08	22635.88	53116.54	2365648.81
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.30	0.058	0.06	81117.86	0.0025	9690523.59	24226.31	56891.55	2534509.42
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.30	0.053	0.05	95453.24	0.0025	12758192.78	31895.48	63557.76	3271336.57
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.30	0.053	0.05	101369.98	0.0025	13543590.94	33858.98	67511.00	3475657.90
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.30	0.053	0.05	107286.72	0.0025	14328989.11	35822.47	71464.24	3679979.23

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.				Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	M _b	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm	
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.35	0.106	0.11	8518.92	0.0025	402673.59	1006.68	7512.23	128258.57	
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.35	0.106	0.11	11316.67	0.0025	528337.30	1320.84	9995.82	170964.60	
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.35	0.091	0.09	17154.15	0.0025	1021439.24	2553.60	14600.56	307757.79	
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.35	0.091	0.09	20545.72	0.0025	1217788.78	3044.47	17501.24	369254.46	
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.35	0.080	0.08	28172.01	0.0025	2037376.29	5093.44	23078.57	586400.84	
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.35	0.080	0.08	32156.19	0.0025	2320119.63	5800.30	26355.89	670104.65	
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.35	0.071	0.07	41568.91	0.0025	3545477.39	8863.69	32705.22	984699.79	
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.35	0.064	0.06	52175.44	0.0025	5138088.02	12845.22	39330.22	1384799.18	
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.35	0.064	0.06	57342.72	0.0025	5640742.85	14101.86	43240.86	1523166.71	
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.35	0.064	0.06	62509.99	0.0025	6143397.67	15358.49	47151.50	1661534.23	
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.35	0.058	0.06	75492.06	0.0025	8418178.57	21045.45	54446.61	2222313.65	
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.35	0.058	0.06	81250.20	0.0025	9054351.08	22635.88	58614.33	2393137.75	
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.35	0.058	0.06	87008.35	0.0025	9690523.59	24226.31	62782.04	2563961.85	
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.35	0.053	0.05	102364.74	0.0025	12758192.78	31895.48	70469.26	3309349.84	
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.35	0.053	0.05	108713.45	0.0025	13543590.94	33858.98	74854.47	3516047.00	
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.35	0.053	0.05	115062.16	0.0025	14328989.11	35822.47	79239.69	3722744.16	

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,40 kgf/cm2; k=5,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn. ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.40	0.106	0.11	9107.96	0.0025	402673.59	1006.68	8101.28	129731.19
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.40	0.106	0.11	12102.06	0.0025	528337.30	1320.84	10781.22	172928.09
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.40	0.091	0.09	18332.25	0.0025	1021439.24	2553.60	15778.65	311292.08
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.40	0.091	0.09	21959.43	0.0025	1217788.78	3044.47	18914.96	373495.61
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.40	0.080	0.08	30096.24	0.0025	2037376.29	5093.44	25002.80	593135.63
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.40	0.080	0.08	34355.31	0.0025	2320119.63	5800.30	28555.01	677801.55
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.40	0.071	0.07	44396.35	0.0025	3545477.39	8863.69	35532.65	996009.52
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.40	0.064	0.06	55709.73	0.0025	5138088.02	12845.22	42864.51	1400703.50
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.40	0.064	0.06	61230.44	0.0025	5640742.85	14101.86	47128.58	1540661.45
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.40	0.064	0.06	66751.14	0.0025	6143397.67	15358.49	51392.65	1680619.40
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.40	0.058	0.06	80597.15	0.0025	8418178.57	21045.45	59551.70	2247839.09
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.40	0.058	0.06	86747.99	0.0025	9054351.08	22635.88	64112.11	2420626.68
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.40	0.058	0.06	92898.84	0.0025	9690523.59	24226.31	68672.53	2593414.28
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.40	0.053	0.05	109276.24	0.0025	12758192.78	31895.48	77380.76	3347363.11
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.40	0.053	0.05	116056.92	0.0025	13543590.94	33858.98	82197.95	3556436.10
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.40	0.053	0.05	122837.60	0.0025	14328989.11	35822.47	87015.13	3765509.09

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,45 kgf/cm2; k=5,0cm																					
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.				Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm	
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.45	0.106	0.11	9697.01	0.0025	402673.59	1006.68	8690.33	131203.81	
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.45	0.106	0.11	12887.46	0.0025	528337.30	1320.84	11566.62	174891.59	
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.45	0.091	0.09	19510.35	0.0025	1021439.24	2553.60	16956.75	314826.37	
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.45	0.091	0.09	23373.15	0.0025	1217788.78	3044.47	20328.68	377736.76	
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.45	0.080	0.08	32020.46	0.0025	2037376.29	5093.44	26927.02	599870.42	
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.45	0.080	0.08	36554.42	0.0025	2320119.63	5800.30	30754.12	685498.45	
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.45	0.071	0.07	47223.78	0.0025	3545477.39	8863.69	38360.09	1007319.26	
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.45	0.064	0.06	59244.02	0.0025	5138088.02	12845.22	46398.80	1416607.81	
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.45	0.064	0.06	65118.16	0.0025	5640742.85	14101.86	51016.30	1558156.19	
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.45	0.064	0.06	70992.30	0.0025	6143397.67	15358.49	55633.80	1699704.58	
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.45	0.058	0.06	85702.24	0.0025	8418178.57	21045.45	64656.79	2273364.53	
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.45	0.058	0.06	92245.78	0.0025	9054351.08	22635.88	69609.90	2448115.62	
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.45	0.058	0.06	98789.32	0.0025	9690523.59	24226.31	74563.01	2622866.71	
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.45	0.053	0.05	116187.75	0.0025	12758192.78	31895.48	84292.27	3385376.38	
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.45	0.053	0.05	123400.40	0.0025	13543590.94	33858.98	89541.42	3596825.20	
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.45	0.053	0.05	130613.04	0.0025	14328989.11	35822.47	94790.57	3808274.02	

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σ _{zem} = 0,50 kgf/cm2; k=5,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	h _s	s	α	cosγ	τ _s	k	a	n	μ	σ _{zem}	sinα	tanα	P _t	γ _{kazık}	V _{kazık}	W _{kazık}	P _{fay}	M _b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(derece)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.50	0.106	0.11	10286.06	0.0025	402673.59	1006.68	9279.38	132676.44
2	20.00	400.00	20.00	22.36	6.09	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.50	0.106	0.11	13672.86	0.0025	528337.30	1320.84	12352.02	176855.08
3	25.00	500.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.50	0.091	0.09	20688.45	0.0025	1021439.24	2553.60	18134.85	318360.66
4	25.00	600.00	25.00	27.95	5.22	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.50	0.091	0.09	24786.87	0.0025	1217788.78	3044.47	21742.39	381977.91
5	30.00	700.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.50	0.080	0.08	33944.69	0.0025	2037376.29	5093.44	28851.25	606605.21
6	30.00	800.00	30.00	33.54	4.56	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.50	0.080	0.08	38753.54	0.0025	2320119.63	5800.30	32953.24	693195.36
7	35.00	900.00	35.00	39.13	4.06	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.50	0.071	0.07	50051.21	0.0025	3545477.39	8863.69	41187.52	1018628.99
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.50	0.064	0.06	62778.31	0.0025	5138088.02	12845.22	49933.09	1432512.12
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.50	0.064	0.06	69005.88	0.0025	5640742.85	14101.86	54904.02	1575650.94
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.65	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.50	0.064	0.06	75233.45	0.0025	6143397.67	15358.49	59874.95	1718789.75
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.50	0.058	0.06	90807.32	0.0025	8418178.57	21045.45	69761.88	2298889.97
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.50	0.058	0.06	97743.57	0.0025	9054351.08	22635.88	75107.69	2475604.56
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	3.32	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.50	0.058	0.06	104679.81	0.0025	9690523.59	24226.31	80453.50	2652319.14
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.50	0.053	0.05	123099.25	0.0025	12758192.78	31895.48	91203.77	3423389.65
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.50	0.053	0.05	130743.87	0.0025	13543590.94	33858.98	96884.89	3637214.30
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	3.04	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.50	0.053	0.05	138388.48	0.0025	14328989.11	35822.47	102566.01	3851038.95

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt. kats. (zemin-kazık)	Zemin emn. ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.15	0.080	0.08	9036.72	0.0025	454416.52	1136.04	7900.68	352155.95
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.15	0.080	0.08	12007.08	0.0025	580080.22	1450.20	10556.88	469494.44
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.15	0.071	0.07	17852.57	0.0025	1091273.09	2728.18	15124.38	798827.99
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.15	0.071	0.07	21383.81	0.0025	1287622.63	3219.06	18164.75	958538.71
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.15	0.064	0.06	28912.12	0.0025	2126935.08	5317.34	23594.78	1460686.44
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.15	0.064	0.06	33002.03	0.0025	2409678.42	6024.20	26977.84	1669288.19
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.15	0.058	0.06	42207.51	0.0025	3656273.29	9140.68	33066.83	2376857.31
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.15	0.053	0.05	52530.67	0.0025	5271534.82	13178.84	39351.84	3260526.35
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.15	0.053	0.05	57733.48	0.0025	5774189.65	14435.47	43298.00	3586466.59
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.15	0.053	0.05	62936.28	0.0025	6276844.47	15692.11	47244.17	3912406.82
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.15	0.049	0.05	75486.39	0.0025	8575608.49	21439.02	54047.37	5128640.28
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.15	0.049	0.05	81244.10	0.0025	9211781.01	23029.45	58214.64	5523027.97
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.15	0.049	0.05	87001.81	0.0025	9847953.52	24619.88	62381.92	5917415.66
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.15	0.045	0.05	101775.53	0.0025	12940869.01	32352.17	69423.36	7511858.33
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.15	0.045	0.05	108087.41	0.0025	13726267.18	34315.67	73771.74	7981212.28
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.15	0.045	0.05	114399.30	0.0025	14511665.34	36279.16	78120.13	8450566.22

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,20 kgf/cm2; k=10,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.20	0.080	0.08	10450.44	0.0025	454416.52	1136.04	9314.40	356397.10
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.20	0.080	0.08	13892.03	0.0025	580080.22	1450.20	12441.83	475149.31
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.20	0.071	0.07	20601.46	0.0025	1091273.09	2728.18	17873.28	808449.12
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.20	0.071	0.07	24682.48	0.0025	1287622.63	3219.06	21463.43	970084.06
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.20	0.064	0.06	33310.35	0.0025	2126935.08	5317.34	27993.01	1478279.36
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.20	0.064	0.06	38028.58	0.0025	2409678.42	6024.20	32004.39	1689394.39
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.20	0.058	0.06	48569.23	0.0025	3656273.29	9140.68	39428.55	2405485.07
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.20	0.053	0.05	60384.66	0.0025	5271534.82	13178.84	47205.82	3299796.26
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.20	0.053	0.05	66372.86	0.0025	5774189.65	14435.47	51937.38	3629663.49
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.20	0.053	0.05	72361.06	0.0025	6276844.47	15692.11	56668.94	3959530.71
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.20	0.049	0.05	86717.58	0.0025	8575608.49	21439.02	65278.56	5190411.85
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.20	0.049	0.05	93339.23	0.0025	9211781.01	23029.45	70309.78	5589551.19
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.20	0.049	0.05	99960.88	0.0025	9847953.52	24619.88	75340.99	5988690.54
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.20	0.045	0.05	116855.17	0.0025	12940869.01	32352.17	84503.00	7602336.20
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.20	0.045	0.05	124109.53	0.0025	13726267.18	34315.67	89793.87	8077345.01
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.20	0.045	0.05	131363.90	0.0025	14511665.34	36279.16	95084.73	8552353.82

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,25 kgf/cm2; k=10,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.25	0.080	0.08	11864.16	0.0025	454416.52	1136.04	10728.12	360638.25
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.25	0.080	0.08	15776.99	0.0025	580080.22	1450.20	14326.79	480804.17
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.25	0.071	0.07	23350.35	0.0025	1091273.09	2728.18	20622.17	818070.24
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.25	0.071	0.07	27981.16	0.0025	1287622.63	3219.06	24762.10	981629.41
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.25	0.064	0.06	37708.58	0.0025	2126935.08	5317.34	32391.24	1495872.28
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.25	0.064	0.06	43055.13	0.0025	2409678.42	6024.20	37030.93	1709500.58
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.25	0.058	0.06	54930.96	0.0025	3656273.29	9140.68	45790.28	2434112.83
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.25	0.053	0.05	68238.64	0.0025	5271534.82	13178.84	55059.80	3339066.16
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.25	0.053	0.05	75012.24	0.0025	5774189.65	14435.47	60576.76	3672860.38
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.25	0.053	0.05	81785.83	0.0025	6276844.47	15692.11	66093.72	4006654.60
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.25	0.049	0.05	97948.78	0.0025	8575608.49	21439.02	76509.75	5252183.41
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.25	0.049	0.05	105434.36	0.0025	9211781.01	23029.45	82404.91	5656074.42
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.25	0.049	0.05	112919.94	0.0025	9847953.52	24619.88	88300.06	6059965.42
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.25	0.045	0.05	131934.82	0.0025	12940869.01	32352.17	99582.65	7692814.07
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.25	0.045	0.05	140131.66	0.0025	13726267.18	34315.67	105815.99	8173477.75
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.25	0.045	0.05	148328.50	0.0025	14511665.34	36279.16	112049.33	8654141.42

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	M _b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.30	0.080	0.08	13277.88	0.0025	454416.52	1136.04	12141.83	364879.40
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.30	0.080	0.08	17661.95	0.0025	580080.22	1450.20	16211.74	486459.04
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.30	0.071	0.07	26099.25	0.0025	1091273.09	2728.18	23371.07	827691.37
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.30	0.071	0.07	31279.83	0.0025	1287622.63	3219.06	28060.77	993174.76
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.30	0.064	0.06	42106.81	0.0025	2126935.08	5317.34	36789.47	1513465.20
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.30	0.064	0.06	48081.68	0.0025	2409678.42	6024.20	42057.48	1729606.77
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.30	0.058	0.06	61292.68	0.0025	3656273.29	9140.68	52152.00	2462740.60
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.30	0.053	0.05	76092.62	0.0025	5271534.82	13178.84	62913.78	3378336.07
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.30	0.053	0.05	83651.62	0.0025	5774189.65	14435.47	69216.14	3716057.28
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.30	0.053	0.05	91210.61	0.0025	6276844.47	15692.11	75518.50	4053778.49
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.30	0.049	0.05	109179.97	0.0025	8575608.49	21439.02	87740.95	5313954.98
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.30	0.049	0.05	117529.49	0.0025	9211781.01	23029.45	94500.04	5722597.64
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.30	0.049	0.05	125879.01	0.0025	9847953.52	24619.88	101259.13	6131240.31
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.30	0.045	0.05	147014.46	0.0025	12940869.01	32352.17	114662.29	7783291.94
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.30	0.045	0.05	156153.78	0.0025	13726267.18	34315.67	121838.11	8269610.48
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.30	0.045	0.05	165293.10	0.0025	14511665.34	36279.16	129013.93	8755929.02

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,35 kgf/cm2; k=10,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.35	0.080	0.08	14691.59	0.0025	454416.52	1136.04	13555.55	369120.55
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.35	0.080	0.08	19546.90	0.0025	580080.22	1450.20	18096.70	492113.91
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.35	0.071	0.07	28848.14	0.0025	1091273.09	2728.18	26119.96	837312.50
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.35	0.071	0.07	34578.50	0.0025	1287622.63	3219.06	31359.44	1004720.12
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.35	0.064	0.06	46505.04	0.0025	2126935.08	5317.34	41187.70	1531058.12
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.35	0.064	0.06	53108.23	0.0025	2409678.42	6024.20	47084.03	1749712.96
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.35	0.058	0.06	67654.41	0.0025	3656273.29	9140.68	58513.73	2491368.36
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.35	0.053	0.05	83946.60	0.0025	5271534.82	13178.84	70767.76	3417605.98
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.35	0.053	0.05	92291.00	0.0025	5774189.65	14435.47	77855.52	3759254.18
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.35	0.053	0.05	100635.39	0.0025	6276844.47	15692.11	84943.28	4100902.38
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.35	0.049	0.05	120411.16	0.0025	8575608.49	21439.02	98972.14	5375726.54
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.35	0.049	0.05	129624.62	0.0025	9211781.01	23029.45	106595.17	5789120.87
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.35	0.049	0.05	138838.08	0.0025	9847953.52	24619.88	114218.20	6202515.19
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.35	0.045	0.05	162094.11	0.0025	12940869.01	32352.17	129741.94	7873769.81
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.35	0.045	0.05	172175.90	0.0025	13726267.18	34315.67	137860.23	8365743.22
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.35	0.045	0.05	182257.70	0.0025	14511665.34	36279.16	145978.53	8857716.63

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,40 kgf/cm2; k=10,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.40	0.080	0.08	16105.31	0.0025	454416.52	1136.04	14969.27	373361.70
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.40	0.080	0.08	21431.86	0.0025	580080.22	1450.20	19981.66	497768.77
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.40	0.071	0.07	31597.04	0.0025	1091273.09	2728.18	28868.85	846933.63
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.40	0.071	0.07	37877.17	0.0025	1287622.63	3219.06	34658.12	1016265.47
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.40	0.064	0.06	50903.27	0.0025	2126935.08	5317.34	45585.93	1548651.03
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.40	0.064	0.06	58134.77	0.0025	2409678.42	6024.20	52110.58	1769819.16
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.40	0.058	0.06	74016.13	0.0025	3656273.29	9140.68	64875.45	2519996.12
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.40	0.053	0.05	91800.58	0.0025	5271534.82	13178.84	78621.75	3456875.89
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.40	0.053	0.05	100930.38	0.0025	5774189.65	14435.47	86494.90	3802451.08
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.40	0.053	0.05	110060.17	0.0025	6276844.47	15692.11	94368.06	4148026.27
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.40	0.049	0.05	131642.36	0.0025	8575608.49	21439.02	110203.34	5437498.11
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.40	0.049	0.05	141719.76	0.0025	9211781.01	23029.45	118690.30	5855644.09
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.40	0.049	0.05	151797.15	0.0025	9847953.52	24619.88	127177.27	6273790.07
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.40	0.045	0.05	177173.75	0.0025	12940869.01	32352.17	144821.58	7964247.68
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.40	0.045	0.05	188198.02	0.0025	13726267.18	34315.67	153882.36	8461875.95
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.40	0.045	0.05	199222.30	0.0025	14511665.34	36279.16	162943.13	8959504.23

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT σzem = 0,45 kgf/cm2; k=10,0cm																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.45	0.080	0.08	17519.03	0.0025	454416.52	1136.04	16382.98	377602.85
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.45	0.080	0.08	23316.81	0.0025	580080.22	1450.20	21866.61	503423.64
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.45	0.071	0.07	34345.93	0.0025	1091273.09	2728.18	31617.75	856554.75
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.45	0.071	0.07	41175.84	0.0025	1287622.63	3219.06	37956.79	1027810.82
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.45	0.064	0.06	55301.50	0.0025	2126935.08	5317.34	49984.16	1566243.95
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.45	0.064	0.06	63161.32	0.0025	2409678.42	6024.20	57137.13	1789925.35
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.45	0.058	0.06	80377.86	0.0025	3656273.29	9140.68	71237.18	2548623.88
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.45	0.053	0.05	99654.56	0.0025	5271534.82	13178.84	86475.73	3496145.80
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.45	0.053	0.05	109569.76	0.0025	5774189.65	14435.47	95134.28	3845647.98
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.45	0.053	0.05	119484.95	0.0025	6276844.47	15692.11	103792.83	4195150.16
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.45	0.049	0.05	142873.55	0.0025	8575608.49	21439.02	121434.53	5499269.67
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.45	0.049	0.05	153814.89	0.0025	9211781.01	23029.45	130785.43	5922167.32
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.45	0.049	0.05	164756.22	0.0025	9847953.52	24619.88	140136.34	6345064.96
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.45	0.045	0.05	192253.40	0.0025	12940869.01	32352.17	159901.23	8054725.54
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.45	0.045	0.05	204220.15	0.0025	13726267.18	34315.67	169904.48	8558008.69

BURGU KAZIK DAİRESEL KESİT $\sigma_{zem} = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																				
KAZIK	kazık gövde çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	kazık ucu eğimli boyu	helis açısı	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	L	hs	s	α	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	Vkazık	Wkazık	P _{fay}	M _b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf	kgf/cm3	kg.cm
1	20.00	300.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.50	0.080	0.08	18932.74	0.0025	454416.52	1136.04	17796.70	381844.00
2	20.00	400.00	20.00	22.36	4.56	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.50	0.080	0.08	25201.77	0.0025	580080.22	1450.20	23751.57	509078.51
3	25.00	500.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.50	0.071	0.07	37094.82	0.0025	1091273.09	2728.18	34366.64	866175.88
4	25.00	600.00	25.00	27.95	4.06	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.50	0.071	0.07	44474.52	0.0025	1287622.63	3219.06	41255.46	1039356.18
5	30.00	700.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.50	0.064	0.06	59699.73	0.0025	2126935.08	5317.34	54382.39	1583836.87
6	30.00	800.00	30.00	33.54	3.65	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.50	0.064	0.06	68187.87	0.0025	2409678.42	6024.20	62163.67	1810031.54
7	35.00	900.00	35.00	39.13	3.32	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.50	0.058	0.06	86739.58	0.0025	3656273.29	9140.68	77598.90	2577251.65
8	40.00	1000.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.50	0.053	0.05	107508.55	0.0025	5271534.82	13178.84	94329.71	3535415.71
9	40.00	1100.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.50	0.053	0.05	118209.13	0.0025	5774189.65	14435.47	103773.66	3888844.88
10	40.00	1200.00	40.00	44.72	3.04	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.50	0.053	0.05	128909.72	0.0025	6276844.47	15692.11	113217.61	4242274.05
11	45.00	1300.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.50	0.049	0.05	154104.74	0.0025	8575608.49	21439.02	132665.72	5561041.24
12	45.00	1400.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.50	0.049	0.05	165910.02	0.0025	9211781.01	23029.45	142880.57	5988690.54
13	45.00	1500.00	45.00	50.31	2.81	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.50	0.049	0.05	177715.29	0.0025	9847953.52	24619.88	153095.41	6416339.84
14	50.00	1600.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.50	0.045	0.05	207333.04	0.0025	12940869.01	32352.17	174980.87	8145203.41
15	50.00	1700.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.50	0.045	0.05	220242.27	0.0025	13726267.18	34315.67	185926.60	8654141.42
16	50.00	1800.00	50.00	55.90	2.61	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.50	0.045	0.05	233151.50	0.0025	14511665.34	36279.16	196872.33	9163079.43

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																						
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.				Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm	
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.15	0.106	0.11	6162.72	0.0025	308425.82	771.06	5391.66	122368.09	
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.15	0.106	0.11	8175.07	0.0025	402673.59	1006.68	7168.39	163110.62	
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.15	0.091	0.09	12441.77	0.0025	776002.31	1940.01	10501.76	293620.62	
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.15	0.091	0.09	14890.85	0.0025	923264.47	2308.16	12582.69	352289.86	
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.15	0.080	0.08	20475.11	0.0025	1542575.45	3856.44	16618.67	559461.68	
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.15	0.080	0.08	23359.73	0.0025	1754632.95	4386.58	18973.15	639317.04	
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.15	0.071	0.07	30259.18	0.0025	2679575.91	6698.94	23560.24	939460.86	
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.15	0.064	0.06	38038.27	0.0025	3881450.96	9703.63	28334.64	1321181.93	
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.15	0.064	0.06	41791.83	0.0025	4258442.08	10646.11	31145.73	1453187.73	
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.15	0.064	0.06	45545.39	0.0025	4635433.20	11588.58	33956.81	1585193.53	
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.15	0.058	0.06	55071.71	0.0025	6350617.90	15876.54	39195.16	2120211.89	
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.15	0.058	0.06	59259.06	0.0025	6827747.29	17069.37	42189.69	2283182.01	
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.15	0.058	0.06	63446.40	0.0025	7304876.67	18262.19	45184.21	2446152.12	
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.15	0.053	0.05	74718.73	0.0025	9616600.13	24041.50	50677.23	3157296.76	
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.15	0.053	0.05	79339.56	0.0025	10205648.75	25514.12	53825.44	3354490.60	
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.15	0.053	0.05	83960.39	0.0025	10794697.37	26986.74	56973.65	3551684.44	

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.20	0.106	0.11	6751.77	0.0025	308425.82	771.06	5980.70	123840.71
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.20	0.106	0.11	8960.47	0.0025	402673.59	1006.68	7953.79	165074.11
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.20	0.091	0.09	13619.86	0.0025	776002.31	1940.01	11679.86	297154.91
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.20	0.091	0.09	16304.57	0.0025	923264.47	2308.16	13996.40	356531.01
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.20	0.080	0.08	22399.33	0.0025	1542575.45	3856.44	18542.90	566196.47
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.20	0.080	0.08	25558.85	0.0025	1754632.95	4386.58	21172.27	647013.94
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.20	0.071	0.07	33086.61	0.0025	2679575.91	6698.94	26387.67	950770.59
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.20	0.064	0.06	41572.56	0.0025	3881450.96	9703.63	31868.94	1337086.25
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.20	0.064	0.06	45679.55	0.0025	4258442.08	10646.11	35033.45	1470682.47
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.20	0.064	0.06	49786.54	0.0025	4635433.20	11588.58	38197.96	1604278.70
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.20	0.058	0.06	60176.80	0.0025	6350617.90	15876.54	44300.25	2145737.33
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.20	0.058	0.06	64756.84	0.0025	6827747.29	17069.37	47687.47	2310670.94
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.20	0.058	0.06	69336.89	0.0025	7304876.67	18262.19	51074.70	2475604.56
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.20	0.053	0.05	81630.23	0.0025	9616600.13	24041.50	57588.73	3195310.03
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.20	0.053	0.05	86683.03	0.0025	10205648.75	25514.12	61168.91	3394879.70
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.20	0.053	0.05	91735.83	0.0025	10794697.37	26986.74	64749.09	3594449.37

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.25	0.106	0.11	7340.82	0.0025	308425.82	771.06	6569.75	125313.33
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.25	0.106	0.11	9745.87	0.0025	402673.59	1006.68	8739.19	167037.61
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.25	0.091	0.09	14797.96	0.0025	776002.31	1940.01	12857.95	300689.20
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.25	0.091	0.09	17718.28	0.0025	923264.47	2308.16	15410.12	360772.16
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.25	0.080	0.08	24323.56	0.0025	1542575.45	3856.44	20467.12	572931.26
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.25	0.080	0.08	27757.96	0.0025	1754632.95	4386.58	23371.38	654710.85
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.25	0.071	0.07	35914.05	0.0025	2679575.91	6698.94	29215.11	962080.32
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.25	0.064	0.06	45106.85	0.0025	3881450.96	9703.63	35403.23	1352990.56
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.25	0.064	0.06	49567.27	0.0025	4258442.08	10646.11	38921.17	1488177.22
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.25	0.064	0.06	54027.69	0.0025	4635433.20	11588.58	42439.11	1623363.88
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.25	0.058	0.06	65281.88	0.0025	6350617.90	15876.54	49405.34	2171262.77
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.25	0.058	0.06	70254.63	0.0025	6827747.29	17069.37	53185.26	2338159.88
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.25	0.058	0.06	75227.38	0.0025	7304876.67	18262.19	56965.19	2505056.99
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.25	0.053	0.05	88541.73	0.0025	9616600.13	24041.50	64500.23	3233323.30
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.25	0.053	0.05	94026.50	0.0025	10205648.75	25514.12	68512.38	3435268.80
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.25	0.053	0.05	99511.28	0.0025	10794697.37	26986.74	72524.53	3637214.30

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	V _{kazık}	W _{kazık}	P _{fay}	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.30	0.106	0.11	7929.87	0.0025	308425.82	771.06	7158.80	126785.95
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.30	0.106	0.11	10531.27	0.0025	402673.59	1006.68	9524.58	169001.10
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.30	0.091	0.09	15976.06	0.0025	776002.31	1940.01	14036.05	304223.50
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.30	0.091	0.09	19132.00	0.0025	923264.47	2308.16	16823.84	365013.31
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.30	0.080	0.08	26247.79	0.0025	1542575.45	3856.44	22391.35	579666.05
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.30	0.080	0.08	29957.08	0.0025	1754632.95	4386.58	25570.49	662407.75
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.30	0.071	0.07	38741.48	0.0025	2679575.91	6698.94	32042.54	973390.06
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.30	0.064	0.06	48641.15	0.0025	3881450.96	9703.63	38937.52	1368894.87
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.30	0.064	0.06	53455.00	0.0025	4258442.08	10646.11	42808.89	1505671.96
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.30	0.064	0.06	58268.84	0.0025	4635433.20	11588.58	46680.26	1642449.05
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.30	0.058	0.06	70386.97	0.0025	6350617.90	15876.54	54510.43	2196788.21
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.30	0.058	0.06	75752.42	0.0025	6827747.29	17069.37	58683.05	2365648.81
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.30	0.058	0.06	81117.86	0.0025	7304876.67	18262.19	62855.67	2534509.42
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.30	0.053	0.05	95453.24	0.0025	9616600.13	24041.50	71411.74	3271336.57
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.30	0.053	0.05	101369.98	0.0025	10205648.75	25514.12	75855.86	3475657.90
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.30	0.053	0.05	107286.72	0.0025	10794697.37	26986.74	80299.97	3679979.23

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																						
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.				Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm	
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.35	0.106	0.11	8518.92	0.0025	308425.82	771.06	7747.85	128258.57	
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.35	0.106	0.11	11316.67	0.0025	402673.59	1006.68	10309.98	170964.60	
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.35	0.091	0.09	17154.15	0.0025	776002.31	1940.01	15214.15	307757.79	
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.35	0.091	0.09	20545.72	0.0025	923264.47	2308.16	18237.55	369254.46	
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.35	0.080	0.08	28172.01	0.0025	1542575.45	3856.44	24315.57	586400.84	
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.35	0.080	0.08	32156.19	0.0025	1754632.95	4386.58	27769.61	670104.65	
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.35	0.071	0.07	41568.91	0.0025	2679575.91	6698.94	34869.97	984699.79	
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.35	0.064	0.06	52175.44	0.0025	3881450.96	9703.63	42471.81	1384799.18	
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.35	0.064	0.06	57342.72	0.0025	4258442.08	10646.11	46696.61	1523166.71	
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.35	0.064	0.06	62509.99	0.0025	4635433.20	11588.58	50921.41	1661534.23	
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.35	0.058	0.06	75492.06	0.0025	6350617.90	15876.54	59615.51	2222313.65	
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.35	0.058	0.06	81250.20	0.0025	6827747.29	17069.37	64180.84	2393137.75	
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.35	0.058	0.06	87008.35	0.0025	7304876.67	18262.19	68746.16	2563961.85	
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.35	0.053	0.05	102364.74	0.0025	9616600.13	24041.50	78323.24	3309349.84	
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.35	0.053	0.05	108713.45	0.0025	10205648.75	25514.12	83199.33	3516047.00	
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.35	0.053	0.05	115062.16	0.0025	10794697.37	26986.74	88075.42	3722744.16	

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,40 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.40	0.106	0.11	9107.96	0.0025	308425.82	771.06	8336.90	129731.19
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.40	0.106	0.11	12102.06	0.0025	402673.59	1006.68	11095.38	172928.09
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.40	0.091	0.09	18332.25	0.0025	776002.31	1940.01	16392.25	311292.08
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.40	0.091	0.09	21959.43	0.0025	923264.47	2308.16	19651.27	373495.61
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.40	0.080	0.08	30096.24	0.0025	1542575.45	3856.44	26239.80	593135.63
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.40	0.080	0.08	34355.31	0.0025	1754632.95	4386.58	29968.72	677801.55
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.40	0.071	0.07	44396.35	0.0025	2679575.91	6698.94	37697.41	996009.52
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.40	0.064	0.06	55709.73	0.0025	3881450.96	9703.63	46006.10	1400703.50
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.40	0.064	0.06	61230.44	0.0025	4258442.08	10646.11	50584.33	1540661.45
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.40	0.064	0.06	66751.14	0.0025	4635433.20	11588.58	55162.56	1680619.40
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.40	0.058	0.06	80597.15	0.0025	6350617.90	15876.54	64720.60	2247839.09
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.40	0.058	0.06	86747.99	0.0025	6827747.29	17069.37	69678.62	2420626.68
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.40	0.058	0.06	92898.84	0.0025	7304876.67	18262.19	74636.64	2593414.28
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.40	0.053	0.05	109276.24	0.0025	9616600.13	24041.50	85234.74	3347363.11
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.40	0.053	0.05	116056.92	0.0025	10205648.75	25514.12	90542.80	3556436.10
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.40	0.053	0.05	122837.60	0.0025	10794697.37	26986.74	95850.86	3765509.09

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,45 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.45	0.106	0.11	9697.01	0.0025	308425.82	771.06	8925.95	131203.81
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.45	0.106	0.11	12887.46	0.0025	402673.59	1006.68	11880.78	174891.59
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.45	0.091	0.09	19510.35	0.0025	776002.31	1940.01	17570.34	314826.37
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.45	0.091	0.09	23373.15	0.0025	923264.47	2308.16	21064.99	377736.76
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.45	0.080	0.08	32020.46	0.0025	1542575.45	3856.44	28164.02	599870.42
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.45	0.080	0.08	36554.42	0.0025	1754632.95	4386.58	32167.84	685498.45
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.45	0.071	0.07	47223.78	0.0025	2679575.91	6698.94	40524.84	1007319.26
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.45	0.064	0.06	59244.02	0.0025	3881450.96	9703.63	49540.39	1416607.81
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.45	0.064	0.06	65118.16	0.0025	4258442.08	10646.11	54472.05	1558156.19
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.45	0.064	0.06	70992.30	0.0025	4635433.20	11588.58	59403.71	1699704.58
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.45	0.058	0.06	85702.24	0.0025	6350617.90	15876.54	69825.69	2273364.53
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.45	0.058	0.06	92245.78	0.0025	6827747.29	17069.37	75176.41	2448115.62
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.45	0.058	0.06	98789.32	0.0025	7304876.67	18262.19	80527.13	2622866.71
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.45	0.053	0.05	116187.75	0.0025	9616600.13	24041.50	92146.25	3385376.38
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.45	0.053	0.05	123400.40	0.0025	10205648.75	25514.12	97886.27	3596825.20
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.45	0.053	0.05	130613.04	0.0025	10794697.37	26986.74	103626.30	3808274.02

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$; $k=5,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt. kats. (zemin-kazık)	Zemin emn. ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	30	0.20	0.50	0.106	0.11	10286.06	0.0025	308425.82	771.06	9515.00	132676.44
2	20.00	10.00	400.00	20.00	6.09	22.36	0.89	0.20	5.00	10.00	40	0.20	0.50	0.106	0.11	13672.86	0.0025	402673.59	1006.68	12666.18	176855.08
3	25.00	12.50	500.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	50	0.20	0.50	0.091	0.09	20688.45	0.0025	776002.31	1940.01	18748.44	318360.66
4	25.00	12.50	600.00	25.00	5.22	27.95	0.89	0.20	5.00	10.00	60	0.20	0.50	0.091	0.09	24786.87	0.0025	923264.47	2308.16	22478.70	381977.91
5	30.00	15.00	700.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	70	0.20	0.50	0.080	0.08	33944.69	0.0025	1542575.45	3856.44	30088.25	606605.21
6	30.00	15.00	800.00	30.00	4.56	33.54	0.89	0.20	5.00	10.00	80	0.20	0.50	0.080	0.08	38753.54	0.0025	1754632.95	4386.58	34366.95	693195.36
7	35.00	17.50	900.00	35.00	4.06	39.13	0.89	0.20	5.00	10.00	90	0.20	0.50	0.071	0.07	50051.21	0.0025	2679575.91	6698.94	43352.27	1018628.99
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	100	0.20	0.50	0.064	0.06	62778.31	0.0025	3881450.96	9703.63	53074.69	1432512.12
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	110	0.20	0.50	0.064	0.06	69005.88	0.0025	4258442.08	10646.11	58359.77	1575650.94
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.65	44.72	0.89	0.20	5.00	10.00	120	0.20	0.50	0.064	0.06	75233.45	0.0025	4635433.20	11588.58	63644.86	1718789.75
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	130	0.20	0.50	0.058	0.06	90807.32	0.0025	6350617.90	15876.54	74930.78	2298889.97
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	140	0.20	0.50	0.058	0.06	97743.57	0.0025	6827747.29	17069.37	80674.20	2475604.56
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	3.32	50.31	0.89	0.20	5.00	10.00	150	0.20	0.50	0.058	0.06	104679.81	0.0025	7304876.67	18262.19	86417.62	2652319.14
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	160	0.20	0.50	0.053	0.05	123099.25	0.0025	9616600.13	24041.50	99057.75	3423389.65
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	170	0.20	0.50	0.053	0.05	130743.87	0.0025	10205648.75	25514.12	105229.75	3637214.30
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	3.04	55.90	0.89	0.20	5.00	10.00	180	0.20	0.50	0.053	0.05	138388.48	0.0025	10794697.37	26986.74	111401.74	3851038.95

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.15	0.080	0.08	9036.72	0.0025	360168.74	900.42	8136.30	352155.95
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.15	0.080	0.08	12007.08	0.0025	454416.52	1136.04	10871.04	469494.44
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.15	0.071	0.07	17852.57	0.0025	845836.17	2114.59	15737.98	798827.99
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.15	0.071	0.07	21383.81	0.0025	993098.32	2482.75	18901.07	958538.71
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.15	0.064	0.06	28912.12	0.0025	1632134.24	4080.34	24831.79	1460686.44
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.15	0.064	0.06	33002.03	0.0025	1844191.74	4610.48	28391.55	1669288.19
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.15	0.058	0.06	42207.51	0.0025	2790371.81	6975.93	35231.58	2376857.31
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.15	0.053	0.05	52530.67	0.0025	4014897.76	10037.24	42493.43	3260526.35
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.15	0.053	0.05	57733.48	0.0025	4391888.88	10979.72	46753.75	3586466.59
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.15	0.053	0.05	62936.28	0.0025	4768880.00	11922.20	51014.08	3912406.82
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.15	0.049	0.05	75486.39	0.0025	6508047.83	16270.12	59216.27	5128640.28
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.15	0.049	0.05	81244.10	0.0025	6985177.21	17462.94	63781.15	5523027.97
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.15	0.049	0.05	87001.81	0.0025	7462306.60	18655.77	68346.04	5917415.66
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.15	0.045	0.05	101775.53	0.0025	9799276.36	24498.19	77277.34	7511858.33
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.15	0.045	0.05	108087.41	0.0025	10388324.98	25970.81	82116.60	7981212.28
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.15	0.045	0.05	114399.30	0.0025	10977373.60	27443.43	86955.86	8450566.22

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağırl.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.20	0.080	0.08	10450.44	0.0025	360168.74	900.42	9550.02	356397.10
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.20	0.080	0.08	13892.03	0.0025	454416.52	1136.04	12755.99	475149.31
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.20	0.071	0.07	20601.46	0.0025	845836.17	2114.59	18486.87	808449.12
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.20	0.071	0.07	24682.48	0.0025	993098.32	2482.75	22199.74	970084.06
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.20	0.064	0.06	33310.35	0.0025	1632134.24	4080.34	29230.02	1478279.36
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.20	0.064	0.06	38028.58	0.0025	1844191.74	4610.48	33418.10	1689394.39
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.20	0.058	0.06	48569.23	0.0025	2790371.81	6975.93	41593.30	2405485.07
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.20	0.053	0.05	60384.66	0.0025	4014897.76	10037.24	50347.41	3299796.26
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.20	0.053	0.05	66372.86	0.0025	4391888.88	10979.72	55393.13	3629663.49
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.20	0.053	0.05	72361.06	0.0025	4768880.00	11922.20	60438.86	3959530.71
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.20	0.049	0.05	86717.58	0.0025	6508047.83	16270.12	70447.46	5190411.85
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.20	0.049	0.05	93339.23	0.0025	6985177.21	17462.94	75876.29	5589551.19
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.20	0.049	0.05	99960.88	0.0025	7462306.60	18655.77	81305.11	5988690.54
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.20	0.045	0.05	116855.17	0.0025	9799276.36	24498.19	92356.98	7602336.20
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.20	0.045	0.05	124109.53	0.0025	10388324.98	25970.81	98138.72	8077345.01
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.20	0.045	0.05	131363.90	0.0025	10977373.60	27443.43	103920.46	8552353.82

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats.(zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.25	0.080	0.08	11864.16	0.0025	360168.74	900.42	10963.74	360638.25
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.25	0.080	0.08	15776.99	0.0025	454416.52	1136.04	14640.95	480804.17
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.25	0.071	0.07	23350.35	0.0025	845836.17	2114.59	21235.76	818070.24
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.25	0.071	0.07	27981.16	0.0025	993098.32	2482.75	25498.41	981629.41
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.25	0.064	0.06	37708.58	0.0025	1632134.24	4080.34	33628.25	1495872.28
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.25	0.064	0.06	43055.13	0.0025	1844191.74	4610.48	38444.65	1709500.58
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.25	0.058	0.06	54930.96	0.0025	2790371.81	6975.93	47955.03	2434112.83
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.25	0.053	0.05	68238.64	0.0025	4014897.76	10037.24	58201.39	3339066.16
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.25	0.053	0.05	75012.24	0.0025	4391888.88	10979.72	64032.51	3672860.38
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.25	0.053	0.05	81785.83	0.0025	4768880.00	11922.20	69863.63	4006654.60
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.25	0.049	0.05	97948.78	0.0025	6508047.83	16270.12	81678.66	5252183.41
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.25	0.049	0.05	105434.36	0.0025	6985177.21	17462.94	87971.42	5656074.42
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.25	0.049	0.05	112919.94	0.0025	7462306.60	18655.77	94264.18	6059965.42
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.25	0.045	0.05	131934.82	0.0025	9799276.36	24498.19	107436.63	7692814.07
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.25	0.045	0.05	140131.66	0.0025	10388324.98	25970.81	114160.84	8173477.75
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.25	0.045	0.05	148328.50	0.0025	10977373.60	27443.43	120885.06	8654141.42

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.30	0.080	0.08	13277.88	0.0025	360168.74	900.42	12377.45	364879.40
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.30	0.080	0.08	17661.95	0.0025	454416.52	1136.04	16525.90	486459.04
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.30	0.071	0.07	26099.25	0.0025	845836.17	2114.59	23984.66	827691.37
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.30	0.071	0.07	31279.83	0.0025	993098.32	2482.75	28797.08	993174.76
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.30	0.064	0.06	42106.81	0.0025	1632134.24	4080.34	38026.48	1513465.20
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.30	0.064	0.06	48081.68	0.0025	1844191.74	4610.48	43471.20	1729606.77
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.30	0.058	0.06	61292.68	0.0025	2790371.81	6975.93	54316.75	2462740.60
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.30	0.053	0.05	76092.62	0.0025	4014897.76	10037.24	66055.37	3378336.07
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.30	0.053	0.05	83651.62	0.0025	4391888.88	10979.72	72671.89	3716057.28
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.30	0.053	0.05	91210.61	0.0025	4768880.00	11922.20	79288.41	4053778.49
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.30	0.049	0.05	109179.97	0.0025	6508047.83	16270.12	92909.85	5313954.98
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.30	0.049	0.05	117529.49	0.0025	6985177.21	17462.94	100066.55	5722597.64
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.30	0.049	0.05	125879.01	0.0025	7462306.60	18655.77	107223.25	6131240.31
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.30	0.045	0.05	147014.46	0.0025	9799276.36	24498.19	122516.27	7783291.94
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.30	0.045	0.05	156153.78	0.0025	10388324.98	25970.81	130182.97	8269610.48
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.30	0.045	0.05	165293.10	0.0025	10977373.60	27443.43	137849.66	8755929.02

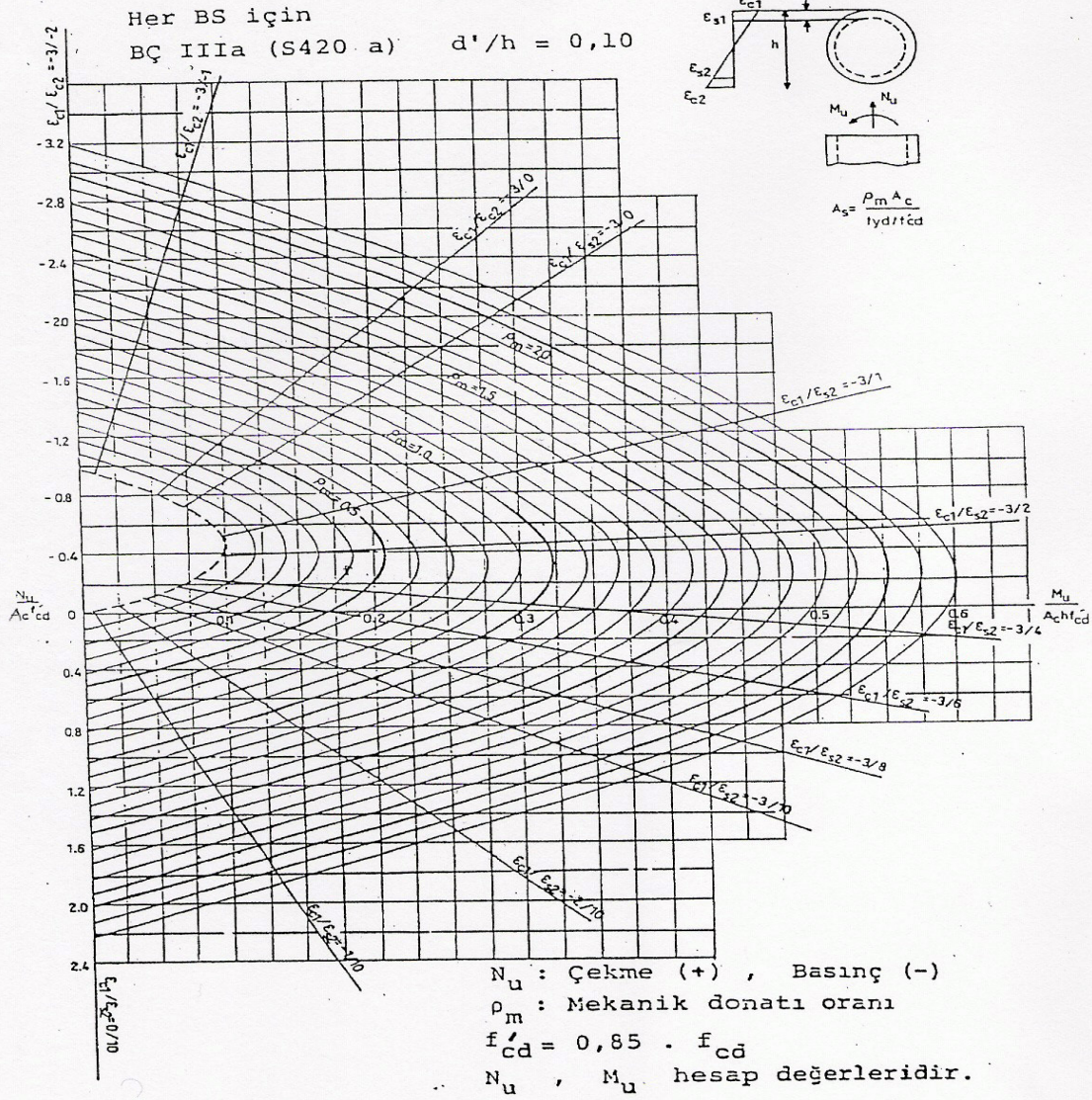
BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.35	0.080	0.08	14691.59	0.0025	360168.74	900.42	13791.17	369120.55
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.35	0.080	0.08	19546.90	0.0025	454416.52	1136.04	18410.86	492113.91
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.35	0.071	0.07	28848.14	0.0025	845836.17	2114.59	26733.55	837312.50
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.35	0.071	0.07	34578.50	0.0025	993098.32	2482.75	32095.75	1004720.12
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.35	0.064	0.06	46505.04	0.0025	1632134.24	4080.34	42424.70	1531058.12
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.35	0.064	0.06	53108.23	0.0025	1844191.74	4610.48	48497.75	1749712.96
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.35	0.058	0.06	67654.41	0.0025	2790371.81	6975.93	60678.48	2491368.36
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.35	0.053	0.05	83946.60	0.0025	4014897.76	10037.24	73909.36	3417605.98
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.35	0.053	0.05	92291.00	0.0025	4391888.88	10979.72	81311.27	3759254.18
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.35	0.053	0.05	100635.39	0.0025	4768880.00	11922.20	88713.19	4100902.38
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.35	0.049	0.05	120411.16	0.0025	6508047.83	16270.12	104141.04	5375726.54
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.35	0.049	0.05	129624.62	0.0025	6985177.21	17462.94	112161.68	5789120.87
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.35	0.049	0.05	138838.08	0.0025	7462306.60	18655.77	120182.32	6202515.19
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.35	0.045	0.05	162094.11	0.0025	9799276.36	24498.19	137595.92	7873769.81
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.35	0.045	0.05	172175.90	0.0025	10388324.98	25970.81	146205.09	8365743.22
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.35	0.045	0.05	182257.70	0.0025	10977373.60	27443.43	154814.26	8857716.63

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,40 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt. ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.40	0.080	0.08	16105.31	0.0025	360168.74	900.42	15204.89	373361.70
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.40	0.080	0.08	21431.86	0.0025	454416.52	1136.04	20295.82	497768.77
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.40	0.071	0.07	31597.04	0.0025	845836.17	2114.59	29482.44	846933.63
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.40	0.071	0.07	37877.17	0.0025	993098.32	2482.75	35394.43	1016265.47
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.40	0.064	0.06	50903.27	0.0025	1632134.24	4080.34	46822.93	1548651.03
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.40	0.064	0.06	58134.77	0.0025	1844191.74	4610.48	53524.29	1769819.16
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.40	0.058	0.06	74016.13	0.0025	2790371.81	6975.93	67040.20	2519996.12
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.40	0.053	0.05	91800.58	0.0025	4014897.76	10037.24	81763.34	3456875.89
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.40	0.053	0.05	100930.38	0.0025	4391888.88	10979.72	89950.65	3802451.08
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.40	0.053	0.05	110060.17	0.0025	4768880.00	11922.20	98137.97	4148026.27
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.40	0.049	0.05	131642.36	0.0025	6508047.83	16270.12	115372.24	5437498.11
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.40	0.049	0.05	141719.76	0.0025	6985177.21	17462.94	124256.81	5855644.09
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.40	0.049	0.05	151797.15	0.0025	7462306.60	18655.77	133141.39	6273790.07
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.40	0.045	0.05	177173.75	0.0025	9799276.36	24498.19	152675.56	7964247.68
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.40	0.045	0.05	188198.02	0.0025	10388324.98	25970.81	162227.21	8461875.95
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.40	0.045	0.05	199222.30	0.0025	10977373.60	27443.43	171778.86	8959504.23

BURGU KAZIK HALKA KESİT σzem = 0,45 kgf/cm2; k=10,0cm																					
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.			Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	cosγ	τs	k	a	n	μ	σzem	sinα	tanα	Pt	γkazık	Vkazık	Wkazık	Pfay	Mb
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.45	0.080	0.08	17519.03	0.0025	360168.74	900.42	16618.60	377602.85
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.45	0.080	0.08	23316.81	0.0025	454416.52	1136.04	22180.77	503423.64
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.45	0.071	0.07	34345.93	0.0025	845836.17	2114.59	32231.34	856554.75
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.45	0.071	0.07	41175.84	0.0025	993098.32	2482.75	38693.10	1027810.82
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.45	0.064	0.06	55301.50	0.0025	1632134.24	4080.34	51221.16	1566243.95
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.45	0.064	0.06	63161.32	0.0025	1844191.74	4610.48	58550.84	1789925.35
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.45	0.058	0.06	80377.86	0.0025	2790371.81	6975.93	73401.93	2548623.88
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.45	0.053	0.05	99654.56	0.0025	4014897.76	10037.24	89617.32	3496145.80
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.45	0.053	0.05	109569.76	0.0025	4391888.88	10979.72	98590.03	3845647.98
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.45	0.053	0.05	119484.95	0.0025	4768880.00	11922.20	107562.75	4195150.16
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.45	0.049	0.05	142873.55	0.0025	6508047.83	16270.12	126603.43	5499269.67
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.45	0.049	0.05	153814.89	0.0025	6985177.21	17462.94	136351.94	5922167.32
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.45	0.049	0.05	164756.22	0.0025	7462306.60	18655.77	146100.46	6345064.96
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.45	0.045	0.05	192253.40	0.0025	9799276.36	24498.19	167755.21	8054725.54
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.45	0.045	0.05	204220.15	0.0025	10388324.98	25970.81	178249.34	8558008.69
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.45	0.045	0.05	216186.90	0.0025	10977373.60	27443.43	188743.46	9061291.83

BURGU KAZIK HALKA KESİT $\sigma_{zem} = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$; $k=10,0\text{cm}$																						
KAZIK	kazık gövde çapı	Kazık iç çapı	kazık gövde boyu	kazık uç boyu	helis açısı	kazık ucu eğimli boyu	kazık ucu açısı	kazık-zemin arası sürt.ger.	diş uzunluğu	helis adımı	sarım sayısı	sürt.kats. (zemin-kazık)	Zemin emn.ger.				Brüt taşıma gücü	Beton birim ağır.	Kazık hacmi	Kazık ağırlığı	Net taşıma gücü	Uygulanması Gereken Burulma Momenti
NO	d	diç	L	hs	α	s	$\cos\gamma$	τ_s	k	a	n	μ	σ_{zem}	$\sin\alpha$	$\tan\alpha$	Pt	$\gamma_{kazık}$	$V_{kazık}$	$W_{kazık}$	P_{fay}	M_b	
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	derece	(cm)	(radyan)	(kgf/cm2)	(cm)	(cm)	adet		(kgf/cm2)	derece	derece	(kgf)	kgf/cm3	cm3	kgf/cm3	kgf	kg.cm	
1	20.00	10.00	300.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	30	0.20	0.50	0.080	0.08	18932.74	0.0025	360168.74	900.42	18032.32	381844.00	
2	20.00	10.00	400.00	20.00	4.56	22.36	0.89	0.20	10.00	10.00	40	0.20	0.50	0.080	0.08	25201.77	0.0025	454416.52	1136.04	24065.73	509078.51	
3	25.00	12.50	500.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	50	0.20	0.50	0.071	0.07	37094.82	0.0025	845836.17	2114.59	34980.23	866175.88	
4	25.00	12.50	600.00	25.00	4.06	27.95	0.89	0.20	10.00	10.00	60	0.20	0.50	0.071	0.07	44474.52	0.0025	993098.32	2482.75	41991.77	1039356.18	
5	30.00	15.00	700.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	70	0.20	0.50	0.064	0.06	59699.73	0.0025	1632134.24	4080.34	55619.39	1583836.87	
6	30.00	15.00	800.00	30.00	3.65	33.54	0.89	0.20	10.00	10.00	80	0.20	0.50	0.064	0.06	68187.87	0.0025	1844191.74	4610.48	63577.39	1810031.54	
7	35.00	17.50	900.00	35.00	3.32	39.13	0.89	0.20	10.00	10.00	90	0.20	0.50	0.058	0.06	86739.58	0.0025	2790371.81	6975.93	79763.66	2577251.65	
8	40.00	20.00	1000.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	100	0.20	0.50	0.053	0.05	107508.55	0.0025	4014897.76	10037.24	97471.30	3535415.71	
9	40.00	20.00	1100.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	110	0.20	0.50	0.053	0.05	118209.13	0.0025	4391888.88	10979.72	107229.41	3888844.88	
10	40.00	20.00	1200.00	40.00	3.04	44.72	0.89	0.20	10.00	10.00	120	0.20	0.50	0.053	0.05	128909.72	0.0025	4768880.00	11922.20	116987.52	4242274.05	
11	45.00	22.50	1300.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	130	0.20	0.50	0.049	0.05	154104.74	0.0025	6508047.83	16270.12	137834.62	5561041.24	
12	45.00	22.50	1400.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	140	0.20	0.50	0.049	0.05	165910.02	0.0025	6985177.21	17462.94	148447.08	5988690.54	
13	45.00	22.50	1500.00	45.00	2.81	50.31	0.89	0.20	10.00	10.00	150	0.20	0.50	0.049	0.05	177715.29	0.0025	7462306.60	18655.77	159059.53	6416339.84	
14	50.00	25.00	1600.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	160	0.20	0.50	0.045	0.05	207333.04	0.0025	9799276.36	24498.19	182834.85	8145203.41	
15	50.00	25.00	1700.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	170	0.20	0.50	0.045	0.05	220242.27	0.0025	10388324.98	25970.81	194271.46	8654141.42	
16	50.00	25.00	1800.00	50.00	2.61	55.90	0.89	0.20	10.00	10.00	180	0.20	0.50	0.045	0.05	233151.50	0.0025	10977373.60	27443.43	205708.06	9163079.43	

EK 2. BETONARME HESAP İÇİN ABAK



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 09.01.1975

Doğum yeri Kayseri

Lise 1989-1992 Kayseri Fen Lisesi

Lisans 1992-1996 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1996-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Mekanik Anabilim Dalı

Doktora 1998-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Mekanik Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

Kalite ve 1998-Devam ediyor İSTON A.Ş.
AR-GE Müd.