

173832

**KAZIKLI TEMELLERİN ANALİTİK
YÖNTEMLERLE STATİK VE BETONARME
ÇÖZÜMLERİ**

Özlem ÇALIŞKAN
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnaşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos – 2003

337-216

109-201-210

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Özlem Çalışkan'ın Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 11.09.2003 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	:Prof. Dr. AHMET TUNCAN	
Üye	:Prof. Dr. MUSTAFA TUNCAN	
Üye	:Y.Doç.Dr. GÖKHAN ARSLAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11.09.2003.... tarih ve 29/2... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
M ü d ü r ü

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAZIKLI TEMELLERİN ANALİTİK YÖNTEMLERLE STATİK VE BETONARME ÇÖZÜMLERİ

ÖZLEM ÇALIŞKAN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ahmet TUNCAN
2003, 224 sayfa

Kazıklı temeller, elverişsiz zemin koşulları altında üst yapı yükünün zemine güvenli bir şekilde iletilmesini sağlamak amacı ile günümüzde oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Yatay ve düşey yükler altında kazıklı temellerin davranışlarının tespiti için bir çok yöntem geliştirilmiştir.

Kazıklı temellerin dizaynı; bu çözüm yöntemlerindeki kabullere, mühendislik muhakemesindeki doğru yaklaşımlara ve karmaşık hesapların rahatlıkla yapılmasını sağlayan bilgisayar programı sonuçlarına bağlı olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada, literatür kısmında yatay ve düşey yüklü kazık ve kazık gruplarının davranışları incelenmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında SAP 2000 Yapı Analiz programı kullanılarak tek kazık çözümleri yapılmıştır.

Son kısımda ise çözülen örneklerin neticesinde ulaşılan sonuçlar irdelenerek verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşey ve Yatay Yüklü Tek ve Grup Kazıklar, Yatak Katsayısı, Kazıklı Temellerin Tasarım Esasları

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

ABSTRACT

Master of Science Thesis

STRUCTURAL AND REINFORCED CONCRETE SOLUTIONS OF PILE FOUNDATIONS WITH ANALITICAL METHODS

ÖZLEM ÇALIŞKAN

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Prof.Dr. Ahmet TUNCAN
2003, 224 pages**

Pile foundations are commonly used to transmit the superstructure's load to the soil safely in the case of unsuitable soil conditions in modern days. Lots of methods were developed to fix the behavior of pile foundations under lateral and vertical loads.

Design of pile foundation is made based on the acceptance of these solution methods, the reasonable approximation of engineering judgments, and the computer program results solving the complex problems easily.

In the literatural part of this study, the behavior of lateral and vertical loaded piles and pile groups are investigated.

In the practical part of this study, the single piles are solved by using SAP 2000 Structural Analysis Program.

In the conclusion part of this study, same results are given by using solved examples.

Keywords: Vertical and Lateral Loaded Single and Group Piles, Subgrade Reaction, The Principles of Design of the Pile Foundations

TEŞEKKÜR

Bu tezin Őekillenmesi sırasında engin bilgi birikimi ve deneyimlerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet TUNCAN ve Sayın hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN' a; tezin programla ilgili kısmında yardımcı olan AraŐ. Gör. BarıŐ ELİBOL' a; beni yetiŐtiren Osmangazi ve Anadolu Üniversitesi'ndeki diŐer hocalarıma, bugünlere gelmemde maddi ve manevi her konuda destek olan aileme ve Sayın Mehmet Ali DEMİRKAZIKSOY' a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım...

AĞustos 2003

Özlem ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAZIKLARIN FONKSİYONLARI VE KULLANILDIĞI	
YERLER.....	4
2.1. Kazıkların Fonksiyonları	4
2.2. Tarihçe	5
2.3. Kazıkların Kullanım Amaçları.....	6
2.4. Kazıkların Kullanıldığı Yerler	7
3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI	10
3.1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar	10
3.1.1. Uç Kazıkları.....	10
3.1.2. Sürtünme Kazıkları	11
3.1.3. Çekme Kazıkları.....	12
3.1.4. Ankraj Kazıkları	12
3.1.5. Kompaksiyon Kazıkları	13
3.1.6. Eğik Kazıklar	15
3.2. İmal Edildiği Malzemenin Cinsine Göre Kazıklar.....	15
3.2.1. Ahşap Kazıklar	15
3.2.2. Beton Kazıklar	18
3.2.3. Çelik Kazıklar	24

3.2.4. Kompozit Kazıklar	25
3.3. Yapım Şekillerine Göre Kazıklar	26
3.3.1. Çakma Kazıklar	26
3.3.2. Sondaj Kazıkları	29
3.4. Zemine Yerleşim Özelliklerine Göre Kazıklar	30
3.4.1. Büyük Yer Değiştirme Kazıkları	30
3.4.2. Küçük Yer Değiştirme Kazıkları	32
3.4.3. Zeminde Yer değiştirmeye Yol Açmayan Kazıklar.....	33
4. KAZIK TÜRÜNÜN SEÇİM KRİTERLERİ VE ÇEŞİTLİ KAZIK	
TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	35
4.1. Çakma Kazıklar	36
4.2. Sondaj Kazıkları (Fore Kazıklar).....	38
4.3. Ahşap Kazıklar	39
4.4. Çelik Kazıklar.....	39
4.5. Prefabrike Beton Kazıklar	40
4.6. Kazık Tipi Seçimini Etkileyen Faktörler	41
5. KAZIKLARIN ZEMİNE YERLEŞTİRİLMESİ.....	43
5.1. Çakma Kazıkların Zemine Yerleştirilmesi	43
5.1.1. Ahşap Kazıkların Yerleştirilmesi (Çakılması).....	44
5.1.2. Öngermeli Prefabrike Beton Kazıkların Yerleştirilmesi	
(Çakılması)	44
5.1.3. Çelik Kazıkların Yerleştirilmesi (Çakılması)	45
5.2. Sondaj Kazıklarının (Fore Kazıkların) Yerleştirilmesi.....	46
5.3. Kazıkların İmalat Etkileri	48
5.3.1. Çakma Kazıkların İmalat Etkileri	49
5.3.2. Sondaj Kazıkların İmalat Etkileri	50
6. KAZIKLARIN ZEMİNE YÜK AKTARMA MEKANİZMASI	51

7. KAZIKLARDA NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ	53
7.1. Negatif Çevre Sürtünmesinin Hesabı	55
7.1.1. Kazık Gruplarına Etkiyen Negatif Sürtünme.....	59
7.2. Negatif Çevre Sürtünmesinin Kazık Boyunca Dağılımı.....	63
7.3. Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltma Yöntemleri.....	64
7.3.1. Kazık Boyutları.....	64
7.3.2. Kazık Yüzeyinin Kaplanması	65
7.3.3. Elektro-Osmos Yönteminin Kullanılması	67
8. DÜŞEY YÜK ALTINDA TEK BİR KAZIĞIN DAVRANIŞI.....	68
8.1. Kazık Dayanımının Hesaplanmasına İlişkin Temel Yaklaşımlar	68
8.2. Kazığın Yük Altındaki Davranışı	69
8.3. Göçme Yükünün Tanımı	71
8.4. Kazıklara İzin Verilen Yükler.....	72
9. DÜŞEY YÜK ETKİSİNDE TEK BİR KAZIĞIN DAVRANIŞI VE TAŞIMA KAPASİTESİ.....	73
9.1. Kazık Uç Taşıma Kapasitesinin Tahmini	76
9.1.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesi	78
9.1.1.1. Çevre Sürtünmesi.....	81
9.1.2. Kohezyonlu Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesi	84
9.1.2.1. Çevre Sürtünmesi.....	85
10. DÜŞEY YÜK ALTINDA KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞI.....	91
10.1. Kazıklı Temellerin Grup Davranışı	91
10.1.1. Hesap Metotları.....	91
10.1.2. Kazıkların Yerleştirilme Esasları.....	94
10.2. Kazık Grubu Taşıma Kapasitesi.....	97
10.3. Kazık Gruplarının Altında Bulunan Zemin Tabakalarındaki Gerilmeler	106
10.4. Çeşitli Zeminlerde Kazık Gruplarının Davranışı.....	107
10.4.1. Kum İçindeki Sürtünme Kazıkları	107

10.4.2. Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kum veya Çakıla Oturan Kazık Grupları	108
10.4.3. Sıkışabilir Tabakalar Altındaki Kile Oturan Kazık Grupları..	108
10.4.4. Yüksek Mukavemetli Fakat Yumuşak Kil Bulunan Tabakalara Oturan Kazık Grupları.....	109
10.4.5. Kayaya Oturan Kazık Grupları	109
10.5. Kazık Gruplarının Neden Olduğu Zemin Kabarması	109
11. YANAL YÜKLER ALTINDA KAZIKLARIN DAVRANIŞI.....	112
11.1. Düşey Kazıkların Yanal Kuvvetlere Karşı Hesabı	113
11.2. Kazığın Yanal Yer Değiştirmesi	114
11.2.1. Kohezyonlu Zeminlerdeki Kazıkların Yanal Yer Değiştirmesinin Hesaplanması	115
11.2.2. Kohezyonsuz Zeminlerdeki Kazıkların Yanal Yer Değiştirmesinin Hesaplanması	117
11.3. Kazığın Yanal Direnci	118
11.3.2. Kohezyonsuz Zeminlerdeki Kazıkların Yanal Direnci	124
11.4. Yanal Yük Etkisinde Kazık Grupları.....	130
11.4.1. Grup Azaltma Faktörü Yöntemi.....	131
11.4.2. Grup Büyütme Yöntemi, Ooi ve Duncan (1994).....	133
12. YATAK KATSAYISI KAVRAMI	135
12.1. Yatak Katsayısının Tanımı	135
12.2. Düşey Yatak Katsayısı Değerinin Hesaplanması.....	136
12.2.1. Plaka Yükleme Deneyi İle Yatak Katsayısı Değerinin Hesaplanması	136
12.2.1.1. Kohezyonsuz Zeminler	138
12.2.1.2. Kohezyonlu Zeminler	142
12.2.2. Kirişler	144
12.3. Yatay Yatak Katsayısı Değerinin Hesaplanması	146
12.3.1. Zemin Elastisite Modülünden Yatay Yatak Katsayısının Belirlenmesi	152

12.3.2. Zemin Taşıma Gücü Bağıntılarında Yatay Yatak Katsayısının Belirlenmesi	153
12.3.3. Yanal Yatak Katsayısı ve Broms (1964) Yöntemi.....	154
12.4. Yatak Katsayısının Derinlikle Değişimi	156
12.5. Yatak Katsayısı Hakkında Sonuç	157
13. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIKLARIN OTURMA HESABI..	161
13.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Tek Bir Kazığın Oturması	161
13.1.1. Yarı Ampirik Yöntemler	161
13.1.2. Ampirik Yöntemler.....	165
13.2. Kohezyonlu Zeminlerde Tek Bir Kazığın Oturması.....	166
13.3. Kazık Grubunun Oturması.....	167
14. KAZIK – RADYE SİSTEMLERİ	171
14.1. Kazık Başlığı Hakkında Bilgiler.....	178
14.1.1. Öneriler	180
14.2. Kazık – Radye Sistemleri Yapım – Tasarım Önlemleri	181
14.3. Kazık Başlığı Hesabı	182
15. KAZIKLI TEMELLERİN DÜZENLENMESİNDE TASARIM ESASLARI.....	187
15.1. Yük Durumları.....	192
15.2. Düzenleme	192
15.3. Boyutlandırma	193
15.4. Konstrüktif Kurallar.....	194
15.4.1. Fore Kazıklar	196
15.4.2. Çakma Kazıklar.....	197
15.5. Kazıklara Deprem Yüklerinin Etkisi	198
16. KAZIKLI TEMEL DİZAYNI	202

17. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	220
KAYNAKLAR.....	222
EKLER.....	224

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.	Tipik kazık konfigürasyonları	9
3.1.	Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri	14
3.2.	Ahşap kazık ucunun hazırlanması	16
3.3.	Ahşap kazığın eklenmesi	16
5.1.	Sondaj kazıklarının geometrik profilleri (Hunt, 1986)	47
6.1.	Kazıklarda yük aktarma mekanizması (Das, 1990)	52
7.1.	Negatif çevre sürtünmesi oluşumu	54
7.2.	Yarı elastik uzayda noktasal yük altında kazık ve zemin davranışı	57
8.1.	Kazığı göçmeye ulaştıran yük için yük-oturma eğrisi	69
8.2.	Kazığın yük transferi	70
8.3.	Düşey yükler etkisindeki kazıklarda kayma yüzeyleri	72
9.1.	Kazıkta yük aktarılışı	73
9.2.	Uç taşıma gücünün derinlikle değişimi	77
9.3.	Kohezyonsuz zeminlerde N_q^* taşıma gücü faktörü	78
10.1.	Sürtünme kazığını çevreleyen gerilmeler ve kazık grubunda bunların toplam etkisi	92
10.2.	Tek kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması	93
10.3.	Kazık grubunun kayma göçmesi	93
10.4.	Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımının karşılaştırılması	94
10.5.	Tipik kazık grubu örnekleri	95
10.6.	Killer için grup etkinliği	101
10.7.	Kazık grubunun blok temel gibi davranması	104
10.8.	Taşıma gücü katsayısı, N_c	105
10.9.	Dikdörtgen kazık grupları için şekil faktörü	105
10.10.	Kazık gruplarının altında bulunan zemindeki gerilmelerin basit hesabı	107

11.1. Kohezyonlu zeminlerde kazığın yanal yer değiştirmesi (Broms, 1964a).....	116
11.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazığın yanal yer değiştirmesi	119
11.3. Kısa kazıkların yanal direnci - Kohezyonlu zemin (Broms, 1964).....	120
11.4. Uzun kazıkların yanal direnci – Kohezyonlu zemin (Broms, 1964).....	121
11.5. Kısa kazıkların nihai yanal yükünün bulunması - Kohezyonlu zemin..	121
11.6. Uzun kazıkların nihai yanal yükünün bulunması - Kohezyonlu zemin	122
11.7. Rijit başlıklı kazıkların yanal direnci - Kohezyonlu zemin	122
11.8. Rijit başlıklı orta boy kazıkların yanal direnci - Kohezyonlu zemin	123
11.9. Rijit başlıklı uzun kazıkların yanal direnci - Kohezyonlu zemin.....	124
11.10. Kısa kazıkların yanal direnci - Kohezyonsuz zemin.....	126
11.11. Uzun kazıkların yanal direnci - Kohezyonsuz zemin.....	127
11.12. Kısa kazıkların nihai yanal yükünün bulunması – Kohezyonsuz zemin	127
11.13. Uzun kazıkların nihai yanal yükünün bulunması – Kohezyonsuz zemin	128
11.14. Rijit başlıklı kısa kazıkların yanal direnci – Kohezyonsuz zemin	128
11.15. Rijit başlıklı orta boy kazıkların yanal direnci – Kohezyonsuz zemin .	129
11.16. Rijit başlıklı uzun kazıkların yanal direnci – Kohezyonsuz zemin (Broms, 1964)	130
12.1. Yatak katsayısı	137
12.2. Radye plak üzerindeki kolon yükleri	144
13.1. Birim çevre sürtünmesinin şaft boyunca dağılma biçimlerine bağlı olarak “ ξ ” katsayısı değerleri.....	163
13.2. Kazık grubunun oturmasını hesaplarırken yapılan gerilme dağılışı kabulü (Terzaghi ve Peck, 1967).....	169
13.3. Kazık grubundan yükün zemine aktarılması.....	170
14.1. Kazık gruplarının hesabı için elastik analiz	186
15.1. Çakma kazıklarda kazık ucunun altında bulunması gerekli minimum taşıyıcı zemin kalınlıkları	189
15.2. Fore kazıklarda kazık ucunun altında bulunması gerekli minimum taşıyıcı zemin kalınlıkları	189

15.3. Taşıyıcı zeminin eğimli olması halinde yapım doğrultusu	190
15.4. Çakma kazıklarda minimum kazık aralıkları	190
15.5. Fore kazıklarda minimum kazık aralıkları	191
15.6. Bir kolona mesnetlik eden iki kazık başında kuvvet akışı	195
15.7. Üç ve dört kazık başında çekme şeritleri ve donatısı	195
15.8. Perdeye mesnetlik eden dört kazık başında çekme şeritleri ve donatısı	196

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1.	Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları.....	21
3.2.	Yerinde dökme betonarme kazıkların minimum donatısı.....	23
3.3.	Çakma kazıkların tipik özellikleri ve uygulamaları (Hunt,1986)	27
3.4.	Değişik kesit çaplarına sahip bazı çakma kazıkların uygulamada taşıyabildikleri işletme yükleri (Hunt,1986)	28
4.1.	Değişik kazık türleri için izin verilebilir yükler	36
7.1.	Kil zeminlerde negatif çevre sürtünmesi hesabı	56
7.2.	Zemin cinsi - $K_s \cdot tg\phi_a$ ilişkisi	59
9.1.	Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (AASHTO, 1992)	75
9.2.	Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (ASCE, 1993)	76
9.3.	Kohezyonsuz zemin uç taşıma kapasitesi	79
9.4.	N_q taşıma gücü faktörü için NAVFAC önerisi	80
9.5.	Taşıma gücü faktörü değerleri (Prakash ve Sharma, 1990)	80
9.6.	Yatay toprak basıncı katsayısı, K_s (Tomlinson, 1994).....	81
9.7.	K_s değerleri (Meyerhof, 1976)	81
9.8.	NAVFAC (1988) K_0 değerleri	82
9.9.	Normal konsolide kumlar için K_0 değerleri (Tomlinson, 1994)	82
9.10.	δ için Kulhawy (1984) önerisi.....	82
9.11.	δ için diğer öneriler	83
9.12.	N_c taşıma gücü faktörü için CFEM önerisi	84
9.13.	Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi için ASCE önerisi	89
9.14.	Kohezyonlu zeminlerde yer alan fore kazıklar için α değerleri.....	90
10.1.	Kazık ara mesafeleri.....	96
10.2.	Kazık ara mesafeleri.....	97
10.3.	Birim yerdeğiştirmenin 0.02 'den küçük olması durumunda grup etkisi	98
10.4.	Kazık grupları için yatay yatak katsayıları (Davisson, 1970)	100
10.5.	Tasarımda kullanılacak K değerleri	103

10.6.	M_r değerleri	110
10.7.	Kaya kütle faktörü, j , değerleri.....	111
11.1.	Düşey kazıklar için izin verilen yatay yükler.....	113
11.2.	1 m. genişliğinde şerit şeklindeki zemin karşısında 1 m. genişliğinde kazık için n_h (ton/m ³) katsayıları (Terzaghi, 1955)	117
11.3.	Grup azaltma faktörü.....	131
11.4.	Kohezyonsuz zeminler için grup etkinliği	132
11.5.	Kohezyonlu zeminler için grup etkinliği.....	132
12.1.	Bazı zeminlerde $k_{0,3}$ değerleri (Das,1990)	138
12.2.	Kum zeminde 0.30 m ² alanındaki plaka kullanılarak yapılmış yükleme deneyi sonucu elde edilen yatak katsayısı değerleri (MN/m ³)	140
12.3.	Düzeltilmiş yatak katsayısı değerleri (MN/m ³).....	141
12.4.	Kohezyonlu zeminlerde 0.3 m genişliğindeki plaka altında ölçülen yatak katsayısı değerleri	142
12.5.	Kohezyonsuz zeminde 0.3 m genişlikteki kazık veya giriş için n sabiti değerleri (MN/m ³)	148
12.6.	Terzaghi' ye göre yatay yatak katsayıları	150
12.7.	Sulzberger'e göre yatay yatak katsayıları	151
12.8.	Soletanche 'ye göre yatay yatak katsayıları	151
12.9.	Granüler zeminlerde n_h değerleri	155
12.10.	Normal konsolide kohezyonlu zeminlerde n_h değerleri	155
12.11.	Çeşitli zeminler için yatak katsayısı değerleri.....	159
12.12.	Çeşitli zeminler için yatay yatak katsayısı değerleri	160
13.1.	Çeşitli zemin türleri için “ μ_s ” poisson sayıları (Das, 1990)	164
13.2.	Zemin ve kazık türüne bağlı olarak “ C_p ” ampirik faktörünün aldığı değerler, (Yıldırım ve Özaydın, 1994)	164
15.1.	Depremde oluşacak yanal zemin hareketinin maksimum değerleri	199
16.1.	Çapı 0,6 m olan kazığın Q_p değerleri	203
16.2.	Çapı 0,6 m olan kazık için Q_s değerleri	204
16.3.	Çapı 0,8 m olan kazığın Q_p değerleri	206
16.4.	Çapı 0,8 m olan kazık için Q_s değerleri	207
16.5.	Çapı 1,0 m olan kazığın Q_p değerleri	209

16.6. Çapı 1,0 m olan kazık için Q_s değerleri	210
16.7. Çapı 0,6, 0,8 ve 1,0 m olan kazıkların çözümünde kullanılan yükleme durumları	211
16.8. Çapı 0,6 m olan kazık için oluşan maksimum değerler	211
16.9. Çapı 0,8 m olan kazık için oluşan maksimum değerler	212
16.10. Çapı 1,0 m olan kazık için oluşan maksimum değerler	212
16.11. Çapı 1,0 m olan kazığın donatıları	216
16.12. Çapı 0,8 m olan kazığın donatıları	217
16.13. Çapı 0,6 m olan kazığın donatıları	217
16.14. Çapı 0,8 m olan kazık çözümünde kullanılan yükleme durumları (N=750 kN)	218
16.15. Çapı 0,8 m olan kazık için (N=750 kN) oluşan maksimum değerler ...	218
16.16. Çapı 0,8 m olan kazık çözümünde kullanılan yükleme durumları (N=3000 kN)	219
16.17. Çapı 0,8 m olan kazık için (N=3000 kN) oluşan maksimum değerler .	219

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

- a : Kare temelin bir kenarının uzunluğu
- A : Kazık kesit alanı (m^2)
- A_b : Kazık tabanının plandaki alanı
- $A_{\text{çevre}}$: Bloğun çevresinin alanı
- A_p : Kazık ucu kesit alanı
- A_s : Boyuna donatı alanı (m^2)
- A_s : Yatay veya düşey yatak katsayısı için sabit değer
- A_{si} : Kazığın i zemin tabakasındaki yüzey alanı
- A_{taban} : Bloğun tabanının alanı
- B : Kazık çapı
- B : Toplam genişlik
- B_g : Planda bloğun eni
- B_s : Derinlikle değişim katsayısı
- C : Boyutsuz bir katsayı
- C : Sabit bir katsayı
- c_k : Kazık çevresi
- C_m : Moment büyütme faktörü
- C_p : Ampirik faktör
- C_s : Ampirik faktör
- c_u : Drenajsız kohezyon değeri
- \bar{c}_u : Blok çevresindeki zeminin ortalama kayma mukavemeti
- C_u : Drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile bulunan kohezyon
- c_u : Kohezyonlu zeminde drenajsız kayma mukavemeti
- C_y : Ötelenme faktörü
- D : Kazıkların yüzeyden itibaren derinliği
- D : Kazık çapı (mm)
- E_F : Temel için elastisite modülü
- E_g : Grup etkinliği
- E_p : Kazık elastisite modülü

- E_s : Zeminin elastisite modülü
- E'_s : Geometrik etkinlik
- E_{SL} : Kazık ucu seviyesinde zeminin elastisite modülü
- f_c : 28 günlük (15x15) cm boyutlarındaki standart küp dayanımı (kN/m^2)
- f_z : z derinliğinde yüzeysel sürtünme direnimi
- G.S. : Güvenlik sayısı
- G_e : Grup etkinliği
- h : Plak kalınlığı
- H : Sıkışabilir tabaka kalınlığı
- h_w : Yer altı su seviyesinin alçalma miktarı
- I : Atalet momenti
- I_F : Temel için atalet modülü
- I_p : Etki faktörü
- I_{wp} : Etki faktörü
- I_{ws} : Etki faktörü
- K : Etkileşim faktörü
- K : Yanal itki katsayısı
- k_0 : B genişliğindeki temel yapısı altındaki zemin modülü
- K_0 : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
- k_{01} : 0.30 m çapındaki deney plakası ile yapılan deney sonucu elde edilmiş oturmalara göre hesaplanan zemin modülü
- k_{BB} : Kare temel için yatak katsayısı
- k_{BL} : Dikdörtgen temel için yatak katsayısı
- k_h : Yatay yatak katsayısı
- K_p : Kazık grubunun rijitliği
- K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı
- K_{pr} : Kazıklı radyenin rijitliği
- k_s : Yatak katsayısı
- K_s : Yatay toprak basıncı katsayısı
- L : Kazık boyu (m)
- L : Toplam uzunluk
- L_1 : Nötr noktaya uzaklık

- L_b : Kazığın taşıyıcı tabakadaki boyu
 L_c : Kritik derinlik
 L_g : Planda bloğun boyu
 m : Kazık sıra sayısı
 M_s : Tek kazık için moment
 m_v : Deneysel hacimsel sıkışma katsayısı
 M_x : x eksenine etrafındaki moment
 M_y : y eksenine etrafındaki moment
 n : Bir sıradaki kazık sayısı
 N : Darbe sayısı
 n : Gruptaki kazık sayısı
 N : Temeldeki toplam kazık sayısı
 \bar{N} : Düzeltilmiş darbe sayısı
 n : Yatak katsayısı değerlerine uygunluğu sağlayan bir değer
 n : Zemin reaksiyonu sabiti
 n_1 : Zeminin serbest basınç mukavemetine bağlı terim
 n_2 : Kiriş özelliklerine bağlı terim
 n_h : Katsayı
 N_c^* : Taşıma kapasitesi faktörü
 N_q^* : Taşıma kapasitesi faktörü
 N_γ^* : Taşıma kapasitesi faktörü
OCR : Zeminin aşırı konsolidasyon oranı
 P : Kazık enkesininin çevre uzunluğu
 p : Kirişin herhangi bir noktasındaki gerilme
 P_0 : DMT deneyi ile elde edilen düzeltilmiş bir değer
 P_0 : Efektif üst tabaka yükü
 P_e : Konsolidasyon basıncı
 P_s : Bir kazığa gele ortalama yük
 Q : Kazığa uygulanan düşey yük (kN)
 Q : Toplam yük
 q : Kazık ucu seviyesindeki efektif düşey gerilme

- q_0 : Dolgu yükü
 Q_0 : Tek kazığın nihai yük taşıma kapasitesi
 q_a : Emniyetli taşıma kapasitesi
 Q_{all} : Güvenli kazık yükü
 Q_B : Kazık grubu yerine düşünülecek eşdeğer büyük kazığın nihai yük taşıma kapasitesi
 Q_b : Uçtaki göçme yükü
 q_{bk} : Tabanın birim m^2 sindeki direncin karakteristik değeri
 q_c : Koni uç direnci
 q_c : Uç mukavemeti
 Q_g : Grubun taşıyacağı toplam yük
 q_h : Zeminin serbest basın direnci
 Q_i : Herhangi bir kazığa etkiyen düşey kuvvet
 Q_{nf} : Negatif sürtünme değeri
 Q_p : İzin verilen yük
 q_p : Kazık ucunda birim alanda taşınabilecek nihai yük
 Q_r : Radye tarafından taşınan yük
 Q_s : Kazığın çevre sürtünmesi direnci ile taşıdığı nihai yük
 q_{sik} : i tabakasındaki shaftın birim m^2 sindeki sürtünmenin karakteristik değeri
 q_u : Birim alanda taşınabilecek maksimum yük
 Q_u : Nihai yük taşıma kapasitesi (kN)
 $Q_{uç}$: Uç mukavemeti
 Q_w : Kazık üzerindeki yük (kN)
 Q_{wa} : Uygulanan eksenel yük
 Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük (kN)
 q_{wp} : Kazık ucuna aktarılan gerilme
 Q_{ws} : Çalışma yükü altında shaft boyunca taşınan yük (kN)
 Q_z : Kazık shaftı tarafından taşınacak yük (kN)
 r_0 : Kazığın yarıçapı
 R_c : Düzeltme sayısı
 r_c : Kazık başlığının ortalama yarıçapı
 S : Kazığın toplam oturması

- s : Kazık ara mesafeleri
 S : Kazık aralığı
 S : Maksimum deformasyon
 s : Şekil faktörü
 S_1 : Kazık malzemesinin şaft boyunca elastik kısalması
 S_2 : Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
 S_3 : Kazık şaftı boyunca aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma
 S_g : Grup oturması
 s_u : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti
 T_{act} : Birim negatif çevre sürtünmesi
 V : Kazık grubuna etkiyen bütün düşey kuvvetlerin bileşkesi
 w : Temel yapısının oturması
 w_1 : 0.30 m çapındaki deney plakasının oturması
 W_p : Kazığın ağırlığı
 X : Kazık başının başlangıç noktasına uzaklığı
 X : Yükleme oranı faktörü
 x_i : y eksenine uzaklık
 y : Yer değiştirme
 y_0 : Yanal yer değiştirme
 y_i : x eksenine uzaklık
 y_s : Tek kazık için yanıl ötelenme
 Z : Derinlik
 z : Zemin yüzeyinden derinliği
 z_i : Göz önüne alına tabakada ortalama derinlik
 Δz_i : Tabaka kalınlığı
 β_{NC} : Normal konsolide durumdaki β değeri
 α : Adhezyon katsayısı
 ξ : Arctan D/s
 ϕ_r : Artık (residüel) içsel sürtünme açısı
 γ : Blok içinde kalan zeminin birim hacim ağırlığı
 α : Dönme

- ϕ_d : Drenajlı deneyle bulunan kayma direnci açısı
 c'_a : Drenajlı kazık çevresindeki zemin adezyonu
 σ'_v : Efektif düşey gerilme
 ϕ_e : Efektif kayma mukavemeti açısı
 ϕ : İçsel sürtünme açısı
 β_i : Katsayı
 γ : Kayma deformasyon hızı
 τ : Kayma gerilmesi
 λ : Kazık boyuna bağlı bir katsayı
 $\tan \phi'_a$: Kazık çevre zeminindeki drenajlı kayma mukavemeti
 δ : Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı
 ϕ_1 : Kazık yerleştirilmeden önce içsel sürtünme açısı
 γ_b : Kısmi güvenlik sayısı
 γ_s : Kısmi güvenlik sayısı
 ν_s : Poisson oranı
 α_{cp} : Radye kazık etkileşim faktörü
 γ'_i : Su altındaki birim hacim ağırlığı
 γ_w : Suyun birim ağırlığı
 σ_h : Sükunetteki arazi yatay gerilmesi
 ρ : Sürtünme faktörü
 η : Vizkozite
 δ_t : Yer değiştirme
 τ_a : Zemin - kazık arasındaki kayma gerilmesi limit değeri
 μ : Zemin poisson oranı
 β : Zemin ve kazığın özelliklerine bağlı bir katsayı

1. GİRİŞ

Üst yapı yüklerini kısmen ya da tamamen zemin yüzeyinden daha derinlerdeki tabakalara aktaran “temel derinliği / temel genişliği” oranı en az 1 ve daha büyük olan sistemler “Derin Temel” olarak nitelendirilmektedir. Yüzeysel temel sistemlerine göre daha pahalı olmalarına karşın çeşitli nedenlerle kullanılmaları oldukça gerekli ve hatta avantajlı olabilmektedir.

Derin temel olarak nitelendirilen kazıklar ise zemin yüzeyine yakın tabakaların üst yapı yüklerini göçmeden veya üst yapıda hasara neden olacak şekilde fazla oturma yapmadan taşıyabileceği bir yüzeysel temelin oluşumuna uygun olmadığı hallerde, üst yapı yüklerini zemin profilinin derinliklerinde yer alan taşıyıcı özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır. Kazıklar çoğunlukla düşey basınç yüklerini taşırlar. Bununla birlikte kazıkların, rüzgar, deprem ve dalga kuvvetleri gibi yatay kuvvetlere, suyun kaldırma etkisi gibi çekme kuvvetlerine ya da üst yapıya gelen yanal kuvvetler nedeniyle döndürme momenti etkisine maruz kaldığı kullanım alanları da vardır. Üst yapı yüklerinin zemine emniyetli bir şekilde aktarılabilmesi için pratikte en az 3 ya da 4 kazıktan oluşan kazık grupları teşkil edilir.

Bir kazıklı temelin tasarımında, zemin profilinin yapılan sondajlarla hassas olarak belirlenmesi ve zemin profilindeki çeşitli tabakaların mühendislik karakteristiklerinin bilinmesi ve böylelikle genel hatları ile zemine yük aktarma mekanizmasına göre kullanılacak kazığın tipine karar verilmelidir. Elde edilen zemin profili ve kazık tipine bağlı olarak, tek kazığın veya kazık gruplarının emniyetle taşıyabileceği yük hesaplanmalıdır. Ancak bir kazık grubunun taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılacak yükleme deneyleri maliyetli olduğu için, uygulamada çoğu kez tek bir kazığın taşıma kapasitesi belirlenerek, kazık grubunun taşıma kapasitesinin tahmin edilmesine çalışılır. Sözkonusu tahminlerde gerilme alanlarının girişim yapması nedeniyle bir kazık grubunun taşıma kapasitesi bulunurken, tek bir kazığın taşıma kapasitesi ile gruptaki kazık sayısının çarpımı sonucunda elde edilen değer anılan girişim etkisini ortaya koyan bir grup faktörü ile çarpılmaktadır.

Kazıklı temellerin projelendirilmesinde, oturmalar genellikle önemli bir proje kriteri olarak gözönünde tutulmaz. Bununla birlikte, göçmeye karşı güvenliğin yanı sıra, servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların izin verilebilir sınırları aşp aşmadığı kontrol edilmelidir [1].

Kazık yapımı, inşaat mühendisliğinin en zor uygulamalarından biridir. Meydana getirilen yapı, gözle görülemez. Leonard'a göre (1973) "Kazık yapımı, kazık yapılmasına karar verildiği andan son kazık yapılana kadar devam eden bir uzlaşma sürecidir." Yapılan işin kalitesi ise, mühendisliğin ve yüklenicinin bilgi ve tecrübesi ne kadar engin olursa olsun şantiyedeki işçiliğe bağlıdır. Arazide yapılan bir hataya daha sonraki aşamalarda çare bulmak çoğu kez mümkün olmaz.

Kazık yapımının üstlenilmesini zorlaştıran çok sayıda etken vardır (Leonard,1973). Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Arazi profili ve zemin özellikleri hakkında bilgi yetersizliği,
- Projenin gerçekleştirilmesini sağlayacak kaynak yetersizliği,
- İşin kontrolünü üstlenenlerin kazık yapımındaki amaçları yeteri kadar anlayamaması,
- Kazık yapımına uygulanabilecek veya açık yazılmış şartnamelerin olmayışı,
- Ana yüklenici, kazık yapımında uzman taşorana bir takım koşullar dayatmak istemesi,
- Hava koşullarının dikkate alınmadığı, inşaat malzemesinin temininde ki güçlükleri sıralayabiliriz.

Kazık yapımı ile ilgili teknik şartnamelerde aşağıdaki hususlarda açıklık olması gerekir (Tomlinson, 1994):

- Kazık yerlerinin tespitinden kimin sorumlu olduğu,
- Kazıkların çakılması sırasında meydana gelecek zemin kabarmasına veya sondaj kazığı yapımında meydana gelecek oturmaya karşı alınacak önlemler,
- Kazık yapımı sırasında gürültü ve titreşime karşı alınacak önlemler,
- Kazık yapımında uygulanacak sıra ve yapım programı,
- Kazık yapımında gözetilecek refü miktarları,
- Kazık yapımında uygulanacak çeşitli toleranslar,
- Kazık yapımı sırasında tutulacak kayıtların kapsamı ve sıklığı,

- Kazık uçlarında fazla olan kısımların kesilmesinden ana yüklenicinin mi yoksa kazık yapımı yüklenicisinin mi sorumlu olacağı,
- Hakediş ve kesin hesapta kazık boylarının nasıl hesaplanacağı,
- Sondaj kazığı yapımı sırasında veya, kazık başlarının kesilmesi, v.b. ile ortaya çıkacak döküntülerin kim tarafından kaldırılacağı açıkça belirtilmelidir.

Son yıllarda kazıklı temellerin yapımında büyük ekonomi sağlandığı görülmektedir. Bunun başlıca nedenleri:

- Zemin mekaniği alanındaki gelişmeler,
- Arazi incelemesi yöntemlerindeki gelişmeler,
- İşçilik kalitesindeki gelişmeler,
- Kullanılan kazık sayısının, daha doğrusu, kazıkların taşıyabilecekleri yüklerin daha doğru olarak belirlenmesidir [2].

Bu tez çalışmasında yukarıda adı geçen derin temeller içinde kazıklı temellerin çeşitli yönleriyle tanıtımı yapılmış, zemin ve yükleme koşullarına da bağlı olarak boyutlandırma, tasarım kriterlerinin uygunluğu, taşıma kapasiteleri v.b. gibi esas kavramlar açıklanarak, düşey ve yatay yükler altında kazık ve kazık gruplarının davranışlarını ortaya koyan hesap yöntemlerinin değerlendirilmesine çalışılmıştır.

2. KAZIKLARIN FONKSİYONLARI VE KULLANILDIĞI YERLER

2.1. Kazıkların Fonksiyonları

Kazıkların ana fonksiyonu yapı temelinden zemine aktarılan yükleri gevşek ve yumuşak zemin tabakalarının altında yer alan taşıma gücü yüksek, sıkışabilirliği az sağlam zemin tabakalarına aktarmaktır. Düşey yüklere maruz kalan bir kazığın nihai taşıma gücü, kısmen kazık ucunda oluşan noktasal direncin kısmen de kazık şaftı ile temas halinde olan zemin yüzeyi ile kazık yüzeyi arasında gelişen aderans ile yüzeysel sürtünme direncinin toplamıdır (Poulos,1980). Ortam koşullarına bağlı olarak “uç taşıma” ve “yüzeysel sürtünme” kuvvetlerinin nihai taşıma gücü içindeki payları değişkendir. Bu değişkenliği kontrol eden faktörler, kazığın içine yerleştirildiği zeminin geoteknik özellikleri, kazığın geometrik koşulları (çap-boy), narinliği ve uygulanan yüklerin büyüklüğüdür.

Düşey yüklere maruz kazıklarla yatay yük etkisinde kalan kazıkları karşılaştırırken zemin yüzeyinin yakınlarında ortaya çıkan değişimleri de dikkate almak gerekir. Zemin yüzeyine yakın bölgelerde etkili olan mevsimsel nem farklılıkları kazık davranışında önemli değişikliklere yol açabilmektedir. Bu yüzden kazıkların yatay yük etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesi, düşey yük etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesinden pratik olarak daha zordur (Meyerhof, 1977). Kazıklar, üst yapı yüklerini çoğu kez aksenal basınçla taşımakla birlikte, açık deniz platformları, rıhtım, şev ve iksa yapıları gibi mühendislik uygulamalarında ortaya çıkan deprem, dalga, darbe kaldırma, yanal toprak itkisi ve çekme türü kuvvetlerin karşılanması gibi görevleri de gerektiğinde üstlenebilmektedir [1].

Taşıyıcı özelliğe sahip zemin tabakalarının derinde olması halinde yapı kazıklar üstüne oturtulur. Genel olarak kazıklı temel sisteminin geçerli bir çözüm olabileceği durumlar şunlardır:

- Güvenilir seviyede taşıma gücüne sahip zemin tabakalarının yüzeysel bir temel sistemi teşkili için ekonomik olmayacak kadar derinde olması,

- Yapının hemen altındaki zemin tabakalarının çok yumuşak olması ya da gevşek olması,
- Yapının yer alacağı alanda zemin tabakalarının büyük farklılıklar göstermesi,
- Zemin yüzeyinde veya zeminde tabakalaşmanın fazla eğimli olması,
- Üniform olmayan küçük alanlarda yoğunlaşmış yük aktaran alanlar,
- Büyük yatay ve eğimli yük aktaran yapılar,
- Statik sistemleri veya fonksiyonları bakımından farklı oturmalara hassas yapılarda kullanılır [3].

2.2. Tarihçe

Yapıları desteklemek için taşıyıcı kazıkların çakılması inşaat mühendisliğinin ilk sanat ve bilim örneğidir. Britanya 'da Romalılar tarafından inşa edilen nehir kıyısı yerleşimlerinde ve köprülerde sayısız ahşap kazık kullanımı örneği bulunmaktadır. Çin'de, Han Dynasty'deki köprü inşaatçıları ahşap kazık kullanmışlardır (M.Ö. 200 – M.S. 200). İsviçre'nin neolitik insanının günümüzden 1200 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşa ettikleri belirlenmiştir. Bu ilk zamanlarda belli bir çekiç ve belli bir düşme yüksekliği karşısında, çakmaya gösterdiği direnç ile hesaplanan izin verilen yükün belirlenmesi ilkel kurallara göre belirlenmekteydi [4]. Yirminci yüzyılın başına kadar *kazık* elemanı 30 cm kadar çaplı ve uzunluğu 10 m ye ulaşan ağaç kütüğü olarak anlaşılırdı. Kazık, ağır bir cismin düşürülmesiyle zemine çakılırdı. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ahşabın yanı sıra betonarme ve çeliğin kullanılmasıyla malzeme açısından bir seçim ve sınıflandırma olanağı getirmişse de kazık teknolojisinde modern uygulama zemine açılan silindirel veya konik bir deliğin betonla doldurulmasıyla elde edilen sondaj kazıklarıyla başlamıştır [5]. Çeşitli ağaç türlerinin durabilitesi hakkında ve ahşabı çürümeye karşı yakan veya kazık başlarına kargir taban döşek yaparak su seviyesi altında geçirimsizliği sağlayan bazı yöntemlerin ölçüleri hakkında da bilgiler birikmiştir.

Ahşabın hafifliği ile birleşen dayanımı, durabilitesi, kesme ve taşıma kolaylığı son zamanlara kadar kazık işlerinde kullanılan tek malzeme olmasına

neden olmuştur. Daha sonra bu malzeme beton ve çeliğe yerini bırakmıştır. Bunun nedeni ise aynı boyutlardaki ahşaba göre daha fazla basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerini taşımaları ve fabrikada istenilen ölçülere getirilebilmeleridir.

19. yüzyılın sonları 20. Yüzyılın başlarında yapısal bir ortam olarak gelişen betonarme, karadaki yüksek kapasiteli kazık işlerinde büyük oranda ahşabın yerini almıştır. Çeşitli yapısal formlarda hazırlanabilirler. Çok değişik zemin ve kaya ortamlarında kullanılabilirler ve büyük çaplarda imal edilirler. Sondaj delikleri açılarak, istenilen derinliğe kadar uygulanabilirler.

Kazık işlerinde çelik kullanımı ise vazgeçilmezdir. Bu artan kullanım, fabrikasyon ve taşıma kolaylığının yanı sıra çok zor şartlardaki çakma işlerinde uygulanabilmesi yüzündendir. Kıyı yapılarında çelikteki korozyon probleminin üstesinden dayanıklı kaplama ve korumalarla gelinmektedir [4].

Büyük yerleşim merkezlerinde inşaatı uygun alanlar azaldıkça taşıma özellikleri yetersiz zeminlerde kazık uygulaması zorunlu olmaktadır. 1960' lara kadar Türkiye'de kazıklı temel uygulaması ihmal edilecek kadar azken günümüzde birçok projede artan hızla kullanılmakta ve yerli kuruluşların bu konuda uzmanlaştığı gözlenmektedir [5].

2.3. Kazıkların Kullanım Amaçları

Kazıklar aşağıda belirtilen başlıca amaçlara hizmet etmek üzere inşa edilmektedirler (Teng, 1982):

- Üst yapı yüklerinin zemin yüzeyinden derinlerde bulunan ve taşıma karakteristikleri yüksek olan sağlam tabakalara güvenilir biçimde aktarılabilmesi. (Bu nedenle inşa edilen kazıklar uygulamada genellikle “uç kazıkları” olarak adlandırılır.)
- Üst yapı yüklerinin kısmen yumuşak ve gevşek kalın zemin tabakalarına, sürtünme reaksiyonlarının yardımıyla güvenilir biçimde aktarılması. (Bu şekilde inşa edilen kazıklarda, üst yapı yükü kazık uzunluğu boyunca çepçevre kazık yüzeyi ile kazık cidarları arasında oluşan sürtünme gerilmeleri ile taşınır. Bu kazıklara “sürtünme kazığı” adı verilmektedir.)

- Gevşek–Granüler zeminlerin taşıma kapasitesini arttırmak gayesi ile kompaksiyon sağlamak üzere adı geçen zeminlere kazık çakılması. (Bu kazıklar uygulamada “kompaksiyon kazıkları” olarak adlandırılır.)
- İleri derecede hidrostatik basınca veya eğilme momentine maruz yapıların stabilitesini arttırmak ve bu nedenle doğabilecek yapı hasarlarının önüne geçmek amacıyla kazıkların uygun eğimlerde zemine çakılması. (Uygulamada çekme gerilmelerine maruz kalan bu kazıklara “çekme kazıkları” adı verilmektedir.)
- Erozyona maruz zeminlerde (köprü, kenar ve orta ayakları v.b.) üst yapı yükünün erozyondan etkilenmeyen derinliklerdeki tabakalara taşılması.
- Sahile yakın yapıların gemi v.b. diğer yüzen cisimlerin darbelerine karşı bu darbeleri söndürerek korumak amacıyla “tampon kazıklar” sık yerleşimde inşa edilebilmektedir.
- Çeşitli nedenlerle üst yapıdan zemine aktarılan çekme karakterli yüklerin taşınması amacıyla zeminde çekme yüküne maruz bölümlerde “ankraj kazıkları” tesis edilebilir.
- Büyük hacimli yatay veya eğik kuvvetlerin zemine güvenilir biçimde aktarılmasını temin etmek amacıyla “eğik kazıklar” inşa edilebilir.
- Kuleler deniz platformu gibi deniz yapıları ve yer altı suyu altında kalan radye temellerin maruz kaldığı kaldırma kuvvetlerinin etkisini karşılamak amacıyla “uzun kazıklar” teşkil edilebilir [1].

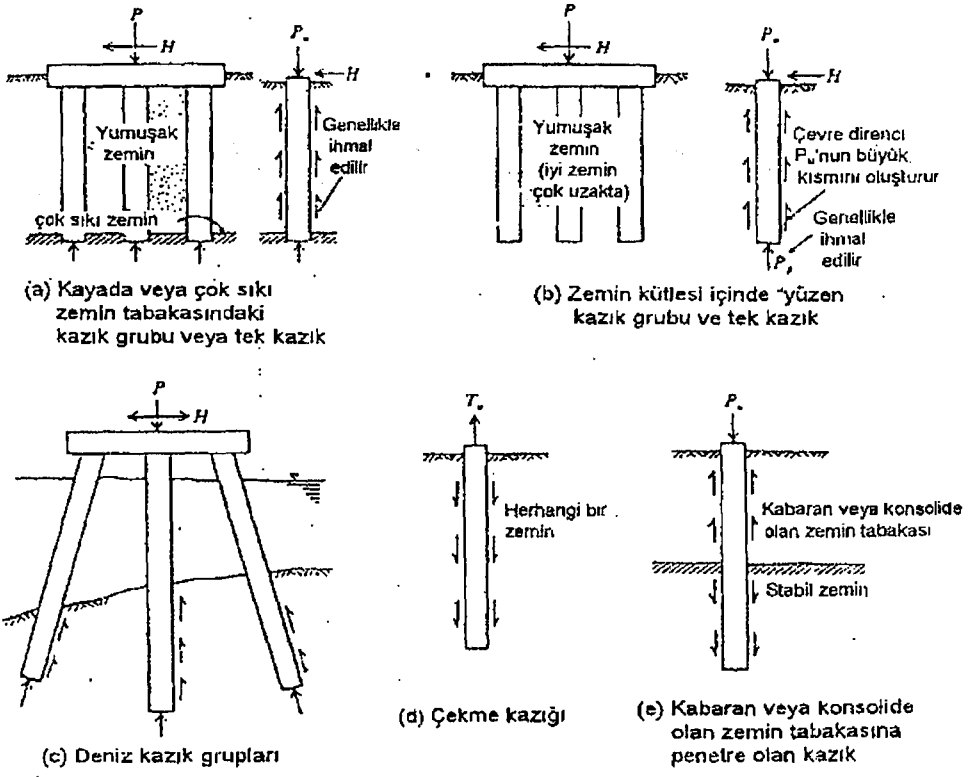
2.4. Kazıkların Kullanıldığı Yerler

Kazıklı temel sistemlerinin kullanımını zorunlu kılan durumlar da göz önünde tutularak kazıkların uygulamada kullanıldığı başlıca yerler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır (Das, 1990)

- Zemin strüktürünün yüzeye yakın tabakalarını oluşturan üst katmanlar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temel sistemleri ile güvenilir bir şekilde zemine aktarılmasına elverişli geoteknik koşullara sahip değilse, daha açık bir anlatımla taşıma gücü düşük, sıkışabilmesi fazla ise; yüklerin taşıyıcılık özelliği yüksek olan ve zemin profilinde zemin yüzeyinden daha derinlerde

yeralan daha sağlam zemin ya da kayalara aktarılması zorunluluğunu ortaya çıkaran koşullarda, sözkonusu edilen st yapı yükleri çeşitli kazıklı temel sistemleri kullanılarak taşıyıcı zemin katmanlara dağıtılabilir.

- Suyla temas edince kabarma ya da ani çökme gösteren zeminlerde st yapı yüklerinin aktif zon diye tariflenen bölgenin dışına kazıklar aracılığıyla aktarılması en iyi çözümdür.
- Erozyon hareketleri sonucunda köprü ve viyadük ayaklarında temel altının oyulmasına engel olmak için adı geçen elemanlar kazıklı olarak tasarlanıp düzenlenebilir.
- Açık deniz petrol platformları, kuleler, rıhtım payandaları gibi deniz yapılarında, hava meydanlarında yer alan irtibat kulelerinde sürekli ya da aralıklı iksa duvarları ve şev stabilitesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında dalga, deprem ve suyun kaldırma kuvvetleri ile yanal toprak basınçlarının karşılanmasında kazıklar geniş kullanım potansiyeline sahiptir.
- Nehir ve gl çevrelerindeki yumuşak dokulu gevşek ve hassas zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve sağlamlaştırılmasında kazıklar kullanılabilirler.
- Sıvılaşma potansiyeli bulunan bölgelerde st yapı yüklerinin sıvılaşma zonunun altında kalan tabakalara emniyetle aktarılabilmesi gerekliliği sözkonusu olduğunda yine kazıklardan yararlanılmaktadır [1].
- Üstteki zemin tabakalarının st yapı yükleri için yeterli taşıma güçlerinin olmayışı veya çok sıkışabilir nitelikleri nedeniyle yüklerin daha sağlam zemin veya kayaca aktarılma zorunluluğu doğabilir. Sağlam tabakanın çok derinde olması halinde yükün büyük kesimi kazık çevresinden aktarılacak şekilde düzenleme yapılabilir.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgar ve deprem yükü gibi yanal etkilerin karşılanması amacı ile düzenlenebilirler.
- Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol amacıyla kullanılabilir.
- Gevşek granüler zeminlerin sıkı hale getirilerek iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir [6].



Şekil 2.1. Tipik kazık konfigürasyonları [7]

3. KAZIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Günümüz literatüründe kazıkların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılır. Yaygın olarak kazıklar aşağıdaki gibi dört gruba ayrılarak sınıflandırılabilirler.

- Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıklar
- İmal edildiği malzemenin cinsine göre kazıklar
- Yapım şekillerine göre kazıklar
- Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar

3.1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar

Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıklar altı gruba ayrılabilirler.

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

3.1.1. Uç kazıkları

Uç kazıkları, üst yapıdan gelen yükleri su veya taşıma gücü açısından zayıf zemin tabakalarının altındaki sağlam, taşıma gücü yüksek zemin tabakalarına iletmek için kullanılan kazıklardır. Bu tür kazıklarda çevre sürtünmesinin etkisi göz önüne alınmaz. Kazığa gelen yükler kazık ucu vasıtasıyla sağlam zemine aktarılır. Taşıma gücü bulunmak üzere yüklenen düşey bir kazığın, zeminden gördüğü direnç uç direnci ve çevre sürtünmesi olarak ikiye ayrılabilir. Çevre sürtünmesi yukarı doğru etkir ve pozitifdir. Buna karşılık zeminden bir kazığı çekip çıkarmak istersek bir dirençle karşılaşırız. Bu direnç çevre sürtünmesinden oluşur ve negatiftir. Uç kazıklarında pozitif çevre sürtünmesi dikkate alınmaz ama mutlaka dikkate alınması gereken büyük miktarda negatif çevre sürtünmesi

olabilmektedir. Kazığın çevresindeki zemin konsolidasyonu veya sıkışması zeminin kazıktan daha fazla oturmasına ve böylece kazığa negatif çevre sürtünmesi etkimesine sebep olur. Negatif çevre sürtünmesi özellikle yumuşak ve orta katı kil, yumuşak silt, turba, bataklık gibi sıkışabilir zeminlerde hesaba katılmalıdır (Das, 1990) [8].

Eğer anakaya ya da çok sıkı ve sert zemin tabakaları arazide önceden yapılan sondajlar sırasında tutulan kayıtlara dayanarak teknik ve ekonomik açılardan makul derinlikler içinde kalıyorsa kazıklar tercihen her zaman adı geçen taşıma gücü yüksek ve sıkışabilirliği az olan bu formasyonlara oturtulurlar (Şekil 3.1a). Bu durumda kazığın nihai taşıma gücü, kazığın ucunun üstüne veya içine yerleştirildiği sağlam zeminin fonksiyonu olarak tanımlanırlar. Bu uygulama hallerinin çoğunda gerekli kazık uzunluğu oldukça gerçekçi olarak tespit edilebilir (Das, 1990). Eğer yukarıda ifade edilen makul derinlikler içinde anakaya kütleleri yerine sıkı ve sert zemin tabakaları yer alıyorsa zemine yerleştirilecek kazık sıkı tabakanın içine birkaç metre sokularak yerleştirilir (Şekil 3.1b). Eğer kazık çarıklı olarak tesis edilecekse (uç kesiti çeşitli yöntemlerle arttırılacaksa) sıkı tabakanın içinde zemine yerleştirilir [1].

3.1.2. Sürtünme kazıkları

Sürtünme kazıkları, üst yapıdan gelen yüklerin kazık çevresinde oluşan zemin sürtünmesi ile kısmen veya tamamen taşınması için kullanılan kazıklardır [8]. Eğer verilen arazide teknik ve ekonomik açılardan makul derinliklerde taşıma gücü yüksek ve sıkışabilirliği az olan sağlam formasyonlar bulunmuyorsa, uç kazıklarının uzunluğu çok fazla olacağından bu kazıklar ekonomik olmazlar. Bu çeşit yer altı koşullarında, kazıklar daha yumuşak ve gevşek zemin kütleleri içinde belirli ve yeterli derinliklere kadar yerleştirilirler. Bu kazıklarda taşıma gücünün büyük bir bölümü zeminle kazık yan cidarları arasında ortaya çıkan kayma direnimleri ile karşılandığından bu kazıklara sürtünme kazığı adı verilmektedir (Şekil 3.1c ve d).

Sürtünme kazıklarının uzunluğu zeminin kayma direncine, uygulanan yüke ve kazık boyutlarına bağlıdır. Gerekli kazık uzunluğunun belirlenmesi için

zeminle kazık yanal yüzeyleri arasındaki etkileşimin sağlıklı olarak saptanmasında yakın civardaki benzer kazıklı yapılara ait tecrübelerden ve kazık yükleme deneyleri sonuçlarından yararlanılır (Das, 1990) [1].

Zeminler için yaklaşık çevre sürtünmesi değerleri Terzaghi ve Peck tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir [7]:

Gevşek kum	25 kN/m ²
Sıkı kum	100 kN/m ²
Yumuşak kil – silt	10 – 20 kN/m ²
Kumlu silt	20 – 50 kN/m ²
Katı kil	40 – 100 kN/m ²

3.1.3. Çekme kazıkları

Suyun kaldırma kuvveti yüzünden çekmeye, üst yapıya gelen kuvvetler yüzünden döndürme kuvvetlerine maruz kalan temel sistemlerinin güvenilir bir şekilde zemine tespitini sağlayan kazıklardır. Çakma kazıkları ve yerinde dökme kazıklar çekme kazıklar için uygun kazık türleridir [8]. Çekme kazıkları çoğu hallerde uzun ve yüksek yapılara etkileyen rüzgar ve deprem yüklerinin karşılanması durumunda reaksiyon oluşturulması, petrol ve açık deniz sondaj platformlarına ve ayrıca yer altı su seviyesinin altında kalan geniş alanlı yapılara etkileyen suyun kaldırma kuvvetinin karşılanması amacıyla çekme etkisinin yeterince sönmüleneceği derinliğe kadar bu kazıklar yerleştirilir (Tirant, 1992). Yine rıhtım ve kıyı liman yapılarının tasarımında dalga ve gemi yüklerinin sönmülendirilmesi için de çekme kazıkları kullanılabilir (Şekil 3.1e) [1].

3.1.4. Ankraj kazıkları

Ankraj kazıkları yatay kuvvetlere karşı kullanılan kazıklardır. Bu kazıklar gemilerin iskeleye çarpmasından, dalga kuvvetlerinden oluşan etkileri almakta kullanıldıkları gibi palplanş perdelerini tesbit etmekte de kullanılırlar. [8]. Ankraj kazıkları özellikle kayma mukavemeti parametreleri zayıf olan boşluklu ve granüler zeminlerde üst yapıya etkileyen yatay yükleri, yanal toprak basıncı ve

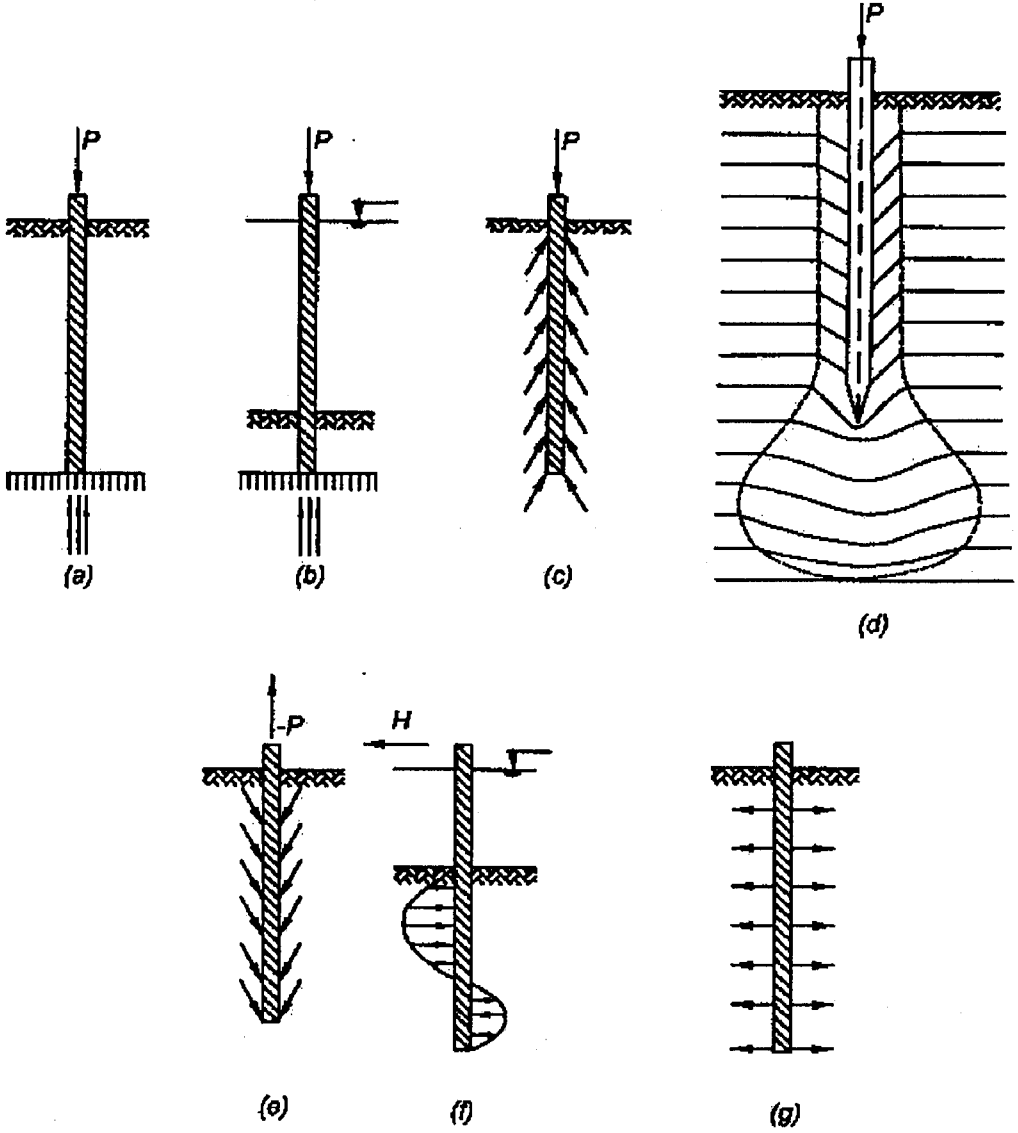
kaldırma kuvveti itkilerini yüzeyleri boyunca oluşan kayma gerilmeleri ile derinlerdeki kaya formasyonlarına aktarabilmektedirler. Ankraj kazıklarının kesit geometrisi üst yapı yüklerine, zemin ve taban kayasının gerilme ve deformasyon özelliklerine bağlı olarak belirlenir.

Ankraj kazıkları teşkil edilirken ankraj çubuklarının içine yerleştirileceği bir çukur açılır. Eğer ankraj çubuğunun gerilme transferi yapacağı taban kayası sağlam ve geçirimsiz ise kazığın ucu kaya civatalarına benzer olarak bir sürtünme kaması ya da genişleme manşonu ile emniyete alınabilir. Yumuşak ve çatlaklı kaya zonlarında çukurun stabilitesi çimento şerbeti ya da hızlı priz alarak plastikleşebilen bir malzeme enjekte edilerek sağlanabilir. Ankraj kazıklarının taşıma kapasiteleri çubuklara etkiyen çekme gerilmeleri ve kaya kütesinden gelen sürtünme gerilmelerinin etkisi altında belirlenebilir. Sağlam kayalarda 2000 kN/m², yumuşak kayalarda ise 200 kN/m² düzeyine ulaşabilen kayma gerilmeleri zemin ve kazığı çevreleyen şerbet arasındaki sürtünmeyle taşınabilmektedir. Kayaca iletilecek yüklerin büyüklüğü arttıkça ankraj kazığının çapı ve onu çevreleyen şerbetin yüzey alanına bağlı olarak artacaktır (Şekil3.1f) [1].

3.1.5. Kompaksiyon kazıkları

Kompaksiyon kazıklarının amacı zemin stabilizasyonudur. Kompaksiyon kazıkları ile zemin sıkıştırılarak zeminin mühendislik özelliklerini arttırmak amaçlanır [8]. Belirli koşullar altında granüler zeminlerin öncelikle permeabilite ve rölatif sıklık gibi yerinde mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kazıklar zemin yüzeyinden uygun şekillerde tatbik edilen çakma yöntemleri ile zemine yerleştirilirler. Bu tip kazıklara kompaksiyon kazıkları adı verilir (Vesic, 1977). Kompaksiyon kazıklarının aralıkları ve uzunluklarının belirlenmesinde etken olan parametreler zeminin kompaksiyondan önceki ve kompaksiyon sonrasında sağlanması gereken rölatif sıklığı ve kompaksiyonun uygulanacağı derinliktir. Kompaksiyon kazıkları genellikle kısa ve değişken geometride inşa edilirler. Bununla beraber kazı arazi deneylerinin yapımına müsait olması açısından uygun derinliklerde dizayn edilirler (Şekil 3.1g).

Kompaksiyon kazıkları jeolojik koşullara bağlı olarak birçok hallerde hem zemine yer değiştirme yaptıran hem de yer değiştirme yaptırmayan kazıkların sınıfına da dahil edilebilir. Özellikle kumlu ve çakıllı granüler zeminlerin arazi koşullarındaki mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanmaktadırlar.



Şekil 3.1 Kullanılma amaçlarına göre kazık tipleri (a,b) uç kazığı, (c,d) sürtünme kazığı, (e) çekme kazığı, (g) kompaksiyon kazığı [2]

3.1.6. Eğik kazıklar

Eğik kazıklar üzerlerine gelen hem yatay hem de düşey kuvveti taşıyabilmek için tasarlanırlar [8]. Eğer bir kazık ya da kazık grubu düşeyle belli bir açı altında zemine yerleştiriliyorsa eğik kazık adını alır. Eğik kazıklar çoğu kez yüksek istinat yapılarına etkiyen aktif toprak itkisinin karşılanmasında istinat yapısının altına yerleştirilerek ya da heyelan tehlikesi bulunan ve kaymakta olan şev yapılarında kayma dairesinin önüne bir set halinde şevin geometrik, zeminin geoteknik koşullarına uygun derinliklere yerleştirilerek tampon etkisi oluştururlar. Yine iskele ve liman inşaatlarında yüklerin zemine homojen ve emniyetli bir halde aktarılmasını temin etmek ve köprü ayaklarına, gemilerin imalat ve bakımlarının yapıldığı dok yapılarına etkiyen yatay veya eğik kuvvetlerin güvenle karşılanması gibi amaçlarla da eğik kazıklar tesis edilebilir [1].

3.2. İmal Edildiği Malzemenin Cinsine Göre Kazıklar

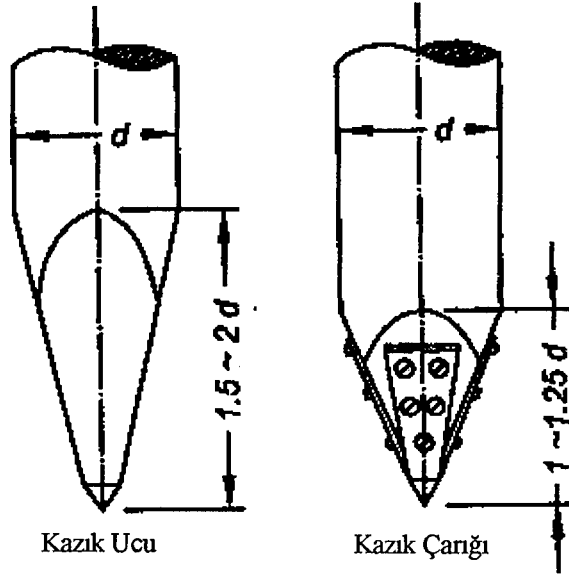
İmalatında kullanılan hammaddenin cinsine bağlı olarak kazıkları ahşap, beton, çelik ve kompozit (karmaşık) olmak üzere dört ana gruba ayırarak inceleyebiliriz (Vesic, 1977).

3.2.1. Ahşap kazıklar

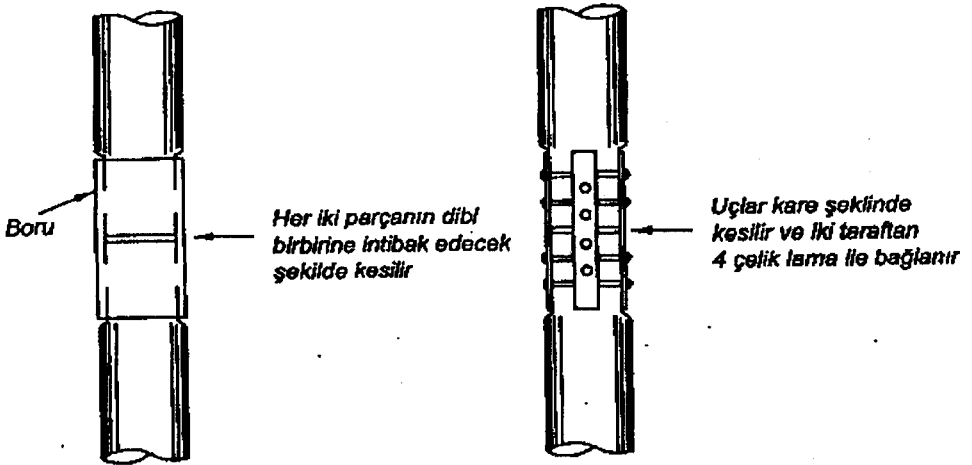
Ahşaptan hem geçici hem de devamlı olarak kullanılacak kazıkların yapımında faydalanılabilir. Sağladığı taşıma gücüne oranla hafif oluşu, taşınma kolaylığı, boyunun kolayca ayarlanabilmesi, ahşap kazıkların üstünlükleridir. Devamlı olarak kullanılacak kazıkların su seviyesi değişmesi veya sudaki burğu kurtlarının tahribatına karşı korunması için önlem alınması gerekir. Ahşap kazık imalinde kullanılacak ağaçlar dikkatle seçilmelidir. Ağaç üzerinde yarık, çatlak, büyük ve gevşemiş budaklar bulunmamalıdır. Kazık yapılmasında en çok kullanılan ağaç cinsleri çam, köknar, sedir ve meşedir. TS3169 özel dayanıklılık sağlanması istenen işlerde meşe kullanılmasını tavsiye etmektedir. Sürekli olarak

su seviyesi altında kalan ahşap kazıkların yüzyıllarca sağlam kaldıkları görülmüştür.

Ahşap kazıklar, yer altı su seviyesinin alçalması durumunda kolayca tahrip olabilmektedir. Bu yüzden, nehir düzenlemesi, kurutma, büyük debi ile su çekilmesi gibi yer altı su seviyesinin değişmesine yol açan nedenlerin varlığı ahşap kazıkların ömrünü kısaltır. Kazık ucunun çakım sırasında hasara uğramaması için demirden yapılmış bir çarık kullanılır (Şekil 3.2). Ahşap kazıkların mümkün olduğu kadar eksiz yapılması istenir. Yanal yük veya kaldırma kuvveti yoksa Şekil 3.3 de görüldüğü şekilde ek yapılabilir.



Şekil 3.2. Ahşap kazık ucunun hazırlanması [2]



Şekil 3.3. Ahşap kazığın eklenmesi [2]

TS 3169 ahşap kazıkların ortalama çaplarını kazık boylarına göre tanımlamıştır: Boyu 6 m den kısa kazıklarda ortalama çap $D = 25 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$, boyu 6 m den uzun kazıklarda ortalama çap $D = (20+l) \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$. Burada L metre cinsinden kazığın boyunu göstermektedir. Ahşap kazıkların, ahşap cinsine bağlı olarak, Amerikan şartnamelerine göre $4 \text{ N/mm}^2 - 6 \text{ N/mm}^2$ değerleri arasında bir basınç gerilmesi taşıyabildiği kabul edilmektedir. Building Code of the City of New York (1998) servis gerilmesi olarak, bazı çam cinsleri ve meşe için 8.3 N/mm^2 , sedir ve başka cins çamlar için 5.9 N/mm^2 değerlerini tavsiye etmektedir [2].

Ahşap kazıklar nitelikli bazı ağaçların gövdesi ve kollarının üzerindeki kabuklar sıyrılarak hazırlanan kerestelerden oluşturulurlar. Ahşap kazıkların bir çoğunun boyu (uzunluğu) çoğu uygulamalarda (10-20) m. arasında değişir. Kazık olarak kullanılacak niteliğe sahip olabilmeleri için kerestelerin düzgün, sert, darbelere dayanıklı ve kusursuz olmaları gerekmektedir. Ahşap kazıklar shaft boyunca zeminle ahşap arasında oluşan sürtünme gerilmeleri ile üst yapı yükünü zemine aktaran ve çakılarak yerleştirilmeleri sırasında zemine yer değiştirme hareketi yaptıran kazıklar olup kumlu zeminlerde ve yumuşak ya da sert killerde daha çok kullanılmaktadırlar.

ACI Manual of Concrete Practice No.17 (1959) Ahşap kazıkları üç karakteristik sınıfta toplamaktadır.

- A Tipi Ahşap Kazıklar : Bu kazıklar ağır yükleri taşırlar. Minimum uç çapı 350 mm. dir.
- B Tipi Ahşap Kazıklar : Bu kazıklar orta ağırlıktaki yükleri taşırlar. Minimum uç çapı 325 mm. dir.
- C Tipi Ahşap Kazıklar : Geçici inşaat yüklerinin taşınması için kullanılırlar. Kazık tümüyle yer altı su seviyesinin altında olduğu zaman yapılarda sürekli olarak üst yapı yüklerini taşımak amacıyla da kullanılabilirler. Minimum uç çapları 300 mm. düzeyindedir.

Kazık tipi ne olursa olsun minimum uç çapı 150 mm. nin altına hiçbir zaman düşmemeli. 400 mm'nin üstüne de pek çıkmamalıdır. Günümüzde

özellikle Kuzey Amerika ülkelerinde 30-40 m. uzunluğunda ahşap kazıklar çakılabilmektedir.

Ahşap kazıklar ağır yüklere karşı pek dayanıklı değildirler. Bu yüzden ahşap kazık kapasitesi çoğunlukla 25-30 ton civarında sınırlanmaktadır. Zemine çakılırken uç (ayak) kısmına çelikten bir "çarık" giydirilerek çakma sırasında ahşabın hasar görmesi önlenmeye çalışılır. Kazığın kafa kısmı (üst ucu) çakma işlemleri sırasında hasar görebilir. Ağaç liflerin çekiç darbeleri nedeniyle süpürge telleri gibi ezilip paramparça olma tehlikesi vardır. Bu hasarı engellemek için de kazığın kafasına yerleştirilmek üzere metal bir bant ya da kafes kullanılması tavsiye edilir.

Ahşap kazıkların birbirine bağlantı kurarak boylarını uzatmaktan kaçınmak gerekir. Özel hallerde çekme basıncı ya da yatay yük etkisi beklendiği zaman bağlama yapılabilir. Ahşap kazıkların suya doygun zeminler tarafından çevrelenmeleri sözkonusu olduğunda hasara uğramadan kalmaları belirsizlik taşımaktadır. Bununla beraber deniz suyunun çevresel etkisine maruz ahşap kazıklar değişik mikroorganizmaların faaliyetleri sonucunda birkaç ay gibi çok kısa bir sürede geniş hasara uğradıkları tespit edilmiştir. Ahşap kazıklar su seviyesinin üstünde kalan zonlarda yer aldıkları zaman çeşitli asalak ve böceklerin saldırısına uğrayabilmektedir. Yine uzun süreli ve yüksek ısı yayan reaksiyonlar kimyasal aşınmaya yol açabilmektedir. Tüm bu hasarların önüne geçebilmek için ahşap kalıplar çepeçevre bir çelik zırh yada ince bir beton tabakasıyla mekanik ve fiziksel hasarlara karşı kaplanabilirler. Yine kreozot yağı gibi nitelikli bazı kimyasal solüsyonların yüzeylerine sürülmesi veya yüksek vakumlu hava yardımıyla ahşabın bünyesindeki gözeneklerde yer alan nemin tamamı emilmek suretiyle ahşap kurutularak kimyasal ve fiziksel korunma sağlanabilmektedir (Hunt, 1986) [1].

3.2.2. Beton kazıklar

Beton kazıklar başlıca iki temel grupta incelenebilmektedirler (Das, 1990):

- Ön dökümlü (prekast) beton kazıklar
- Yerinde dökülen beton kazıklar

- Ön Dökümlü (Prekast) Beton Kazıklar

Prekast kazıklar yeterli görülen bir “öngerme” uygulanarak hazırlanabilirler ve genelde kare, dairesel yada oktagon (sekizgen) en kesite sahiptirler. Kazıkların yerden kaldırılması, taşınması ve yere konulması gibi zorunlu fiziksel hareketler sırasında oluşan eğilme momentlerine de karşı kazığın gerekli direnci göstermesini sağlayacak kadar bir öngerme uygulanabilir. Kazıklar prefabrikasyon tesislerinde istenen uzunluklarda döküldükten sonra şantiyeye taşınmadan önce mutlaka kürünü tamamlamış olmalı bir başka deyişle transfer problemleri olmaması için gerekli minimum süre içinde kür edilmelidirler.

Prekast kazıklar yüksek dayanımlı çelik öngerme çubukları kullanılarak öngerilmeli hale getirilirler. Çelik çubukların nihai dayanımları (1.8×10^6) kN/m² düzeyindedir. Prekast kazıklar bir öngerme ünitesinde, çelik çubuklar (kablolar) (0.9×10^6 - 1.3×10^6) kN/m² civarında bir yükte gerilerek imal edilmektedirler. Çelik çubuklar (gergi kabloları) bu halde gerili iken çevreleri öngörülen kesit alanını dolduracak biçimde betonla doldurulmaktadır. Adı geçen betonun mix dizaynı özenle yapılmış olmalıdır. Hedeflenen küre ulaşıldıktan sonra çelik çubuklar kesilir ve beton kazık artık basınç yüklerini emniyetle taşımaya hazırdır [1].

- Yerinde Dökülen Beton Kazıklar

Yerinde dökülen beton kazıklar (fore kazıklar) önceden forajla zeminde açılan kuyuların içinde – donatı iskeleti önceden bağlanıp hazırlanarak kuyu içine büyük kapasiteli vinçler aracılığıyla yerleştirilip monte edildikten sonra kuyu haznesinin içine tamamıyla beton doldurulmak suretiyle – imal edilmektedirler. Günümüz inşaatlarında yaygın olarak kullanılan ve hemen hepsi yapımcıları tarafından patentli değişik yerinde dökümlü beton kazık yapım yöntemi mevcuttur. Bu kazıklar kabaca iki ana sınıfta gruplandırılabilirler.

- Kılıflı Yerinde Dökme Beton Kazıklar

- Kılıfsız Yerinde Dökme Beton Kazıklar

Her iki grupta da foraj çukurunun tabanında “pabuç bölgesi” adı verilen bir kaide tesis edilmektedir.

Kılıflı yerinde dökme beton kazıklar titreşimli çekiçler (vibrohammer) yardımıyla üst uçlarından çekicinin tokmağına sabitlenen çelik kılıfların önceden

burgulu sondaj makineleri ile açılan foraj çukurlarının içine titreşimli yük etkisinde sokulması ile imal edilmeye başlanırlar. Kazık hedeflenen derinliğe ulaştığı zaman vibrohammer'in tornaları "casing borusu" olarak da adlandırılan çelik kılıfı bırakır ve casing borusunun içi artık donatıların yerleştirilmesine hazırdır. Paspayı çubukları takılan donatılar vinç yardımıyla casing borusunun (kılıfın) içine sokulduktan sonra "tremi" yöntemiyle mix dizaynı uygun beton tercihen süperplastikleştirici de kullanılarak kılıfın içine dökülür ve vibratörler aracılığıyla betonun homojen bir şekilde yayılması sağlanır. Kılıfların sağladığı en önemli avantajlar yumuşak, boşluklu ve kabarma tehlikesi bulunan zemin ortamlarında dökülen betonun zamanla yatay ve düşey yönde zemin boşluklarına kaçmasını önlemek, korozif etkilere karşı, don etkisine karşı betonarmeyi korumak ayrıca kabarma sırasında oluşan çevresel basınçları azaltmaktır. Bu avantajlardan yararlanmanın zorunlu olduğu hallerde casing borusu (kılıf) zemin içinde bırakılabilir. Fakat yukarıda değinilen etkenlerden mümkün olduğu kadar uzak bir zemin strüktüründe çalışıyorsak casing borusunu beton prizini tamamen almadan (titreşimlerin betonarmeyi olumsuz etkilememesi için) kısa bir süre önce yine vibrohammer yardımıyla yukarı çekerek diğer kazıklarda kullanılmak üzere temizleyip saklamakta mümkündür. Adı geçen ayaklar; kılıfın içine az bir miktar beton döküldükten hemen sonra vibrohammer yada vinç yardımıyla yeterli ağırlıktaki bir tokmağın taze betonun üstüne düşürülmesi ve böylece betonun yanlara doğru kabarıp genişleyerek yayılması sonucunda oluşturulmaktadır.

Kılıfsız yerinde dökme beton kazıklar tıpkı kılıflı yerinde dökme beton kazıklar gibi imal edilirler. Ancak yukarıda belirtildiği gibi casing borusu vibrohammer yardımıyla projede gereken derinliğe kadar yerleştirildikten sonra çukurun içi betonlanır ve beton prizini almadan kısa bir süre önce casing borusu yine vibrohammer (titreşimli çekiç) ile yukarı çekilir. Böylece kılıflı yerinde dökme beton kazık kılıfsız yerinde dökme beton kazık durumuna getirilebilir. [1]. TS 3168 uzunluklarına göre betonarme yerinde dökme kazıkların çaplarının en küçük değerlerini vermektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları

Kazık boyu, L (m)	En küçük kazık çapı, D (mm)
$L \leq 10$	300
$10 < L \leq 15$	350
$15 < L \leq 20$	400
$20 < L \leq 30$	500

Yerinde dökme betonarme kazıkların bütünlüğünü etkileyen nedenler şöyle sıralanabilir (Sliwinski, Fleming, 1983):

- Beton kalitesi yetersizdir. Dökülmesi sırasında beton segregasyona uğramış ve bu yüzden mukavemeti düşmüştür.
- Öngörülen kazık kesiti sağlanamamıştır. Beton içine yabancı madde karışmış, kılıfın hızlı çekilmesi yüzünden kesite su hücumu gibi nedenlerle istenilen kazık kesiti her derinlikte sağlanamamıştır.
- Kazık ucunun oturduğu zeminde örselenme meydana gelmiştir. Kazık çukurunun açılması sırasında, kazık ucunun yerleştirileceği zemin örselenmiş veya kazı döküntüleri ile dolmuştur. Kazık ucu altındaki örselenme, geniş bir kesimi kapsıyor olabilir.
- Donatı kafesi yerinde değildir.

Yerinde dökme betonarme kazıklarda imalat sırasında kullanılan kaplama borusu, bazı kazık tiplerinde zemin içinde bırakılır, bazı kazık tiplerde ise kazık betonlandıktan sonra zeminden çıkarılır.

Yerinde dökme betonarme (fore) kazıkların yapımında dikkat edilecek hususlar şunlardır:

- 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 kullanarak 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 arasında 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.
- 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:

- Bir yöntem, kendini tutabilen kazık çukuruna donatı indirilmesi ve çukurun betonlanması ile kazık yapılmasıdır. Yer altı suyu bulunması veya çukur çeperlerinin kendini 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 edilirse 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.
- 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 edilememesidir. Kalıcı kılıf kullanılması ise, ekonomik nedenlerle, genellikle başvuru son çaredir.
- Başka bir yapım yöntemi, 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 yer altı su seviyesinden 1.00 ~ 1.50 m. daha yukarıda tutulur. Bu yöntemle çalışılırken 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.

- Burgu ile yapılan kazılarda çukur istenilen derinliğe kadar açıldıktan sonra burgu geri alınırken beton dökülür. Bu yöntemde, burgunun geri alınması ile beton dökülmesinin eş zamanlı olmasına dikkat edilmelidir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların minimum donatıları Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yerinde dökme betonarme kazıkların minimum donatısı

Kazık kesit alanı, A	Boyuna donatı alanı, A_s
$A \leq 0.5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0.5 \%A_c$
$0.5 \text{ m}^2 < A \leq 1.0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0.0025 \text{ m}^2$
$A > 1.0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0.25 \%A_c$

TS 3168'e göre yerinde dökme betonarme kazıklarda boyuna donatı en az 5 adet 14 mm çaplı demir olmalı; donatı alanı, kazık kesit alanının % 0.8'inden küçük olmamalıdır. Boyuna donatı aralıkları betonun kolayca kesite yerleşmesine engel olmayacak şekilde düzenlenmelidir. Enine donatı aralıkları en çok 150 ~ 200 mm. olmak üzere spiral şeklinde konulmalıdır.

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:

- 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 durumlarda pas payı 75 mm. yapılmalıdır. Kalıcı kılıf bırakılması halinde pas payı 40 mm ye düşürülebilir.

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,

- Yıkıcılığı fazla olmalı,
- Kendi kendine sıkışabilmeli,
- Yerleştirme ve kaplama borusu çekilmesi sırasında işlenebilirliği yeterli olmalıdır [2].

3.2.3. Çelik kazıklar

Çelik kazıklar genellikle ya çelik borular ya da “H”kesitli çelik profiller şeklinde kullanılırlar. Boru biçimindeki çelik kazıklar borunun alt ucu açık ya da kapalı olarak zemine sokulabilirler. “H” kesitli çelik kazıklarda profilin flanş genişliği ve kesitlerin eylemsizlik momentleri çelik kirişlerde olduğu gibi kullanılabilir. Bununla beraber “H” kesitli çelik kazıklar (profiller) çoğu kez putrel ayak ve flanş kalınlıkları aynı olduğu için tercih sebebidirler. Flanş genişliği, kesitin eylemsizlik momenti ve ayak kalınlığı flanşların kalınlığından daha küçüktür. Bir çok durumlarda boru şeklindeki çelik kazıkların içi, zemine sokulduktan sonra betonla doldurulmaktadır.

Çelik kazıklar gerektiği zaman kaynak ya da perçin kullanılarak birbirine tutturulur. Böylelikle efektif kazık boyu artırılabilir.

Sıkı çakıl ve yumuşak kaya zemin gibi zemin ortamı açısından zor kazı koşullarının beklentisi söz konusu olduğu zaman çelik kazıkların zemine sürülen uç kısmına “çarıklar” takılır. Çelik kazıklar korozyona karşı korunabilmelidir. Sözelimi bataklık, turba ve diğer organik zeminler korozyon tehlikesine açıktır. Zemin içindeki su ile oksijenin birlikte reaksiyonu sonucunda kazık cidarlarında metalhidroksit komponentlerinin oluşması biçiminde kendini gösteren korozyonun gelişme ve ilerleme hızı tamamen zemin strüktürüne, kazı derinliğine ve tabii su muhtevasına bağlıdır.

Çelik kazıkların yer alacağı zemin ortamının pH derecesi 7’den daha büyük olmalıdır. Korozyon etkisini azaltmak için alınabilecek önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Fleming, Weltman, Randolph, 1985).

- Tasarımda öngörülen en kesit kalınlığının mekanik koşullar elverdiği sürece büyük seçilerek metal kazanımı sağlamak.

- Bir çok hallerde kazığın çalışan kesit alanlarının epoxy türevli reçinelerle kaplanması da korozyon etkisini engellemekte başarıyla uygulanabilmektedir. Bu kaplamalar zemine sokulurken kolay kolay hasar görmezler.
- Kazık gövdesine – kazık zemine sokulmadan önce – korozyona karşı antipas içeren bazı kimyasal bileşimleri içeren boyaların sürülmesi de koruyucu bir önlem olmaktadır.
- Çelik kazıkların prefabrike beton bir kılıfın içine alınması da korozyon etkisini uzun yıllarca geciktirebilmektedir [1].

Çelik kazıklar, örselenmemiş tabii zeminlere çakıldığı zaman korozyona uğrama tehlikesi azdır. Buna karşılık, örselenmiş veya dolgu zeminlerde korozyon önemlidir. Bunun nedeni, örselenmiş zeminde daha çok oksijen bulunmasıdır. Örselenmemiş zeminlerde, zemin yüzünden bir ili metreden daha derinde oksijen çok azdır. Çelik kazıkların çakma boyu, kaynak ile ek yapılmak suretiyle artırılabilir. Açık deniz yapılarında, uzun çelik kazıkların teşkili bu yolla yapılmaktadır. Çelik boru kazıklarda et kalınlığı, kullanılan çeliğin kalitesine bağlı olarak belirlenir. Aynı kazıkta et kalınlığı değişebilir. Böylece malzemeden tasarruf sağlanabilir. Boru tipi çelik kazıklar, çelik levhaların boyuna kaynaklanması ile yapılabileceği gibi levhaların spiral kaynaklanması ile de yapılabilir. Kutu çelik kazıklar, palpaşların kaynaklanması ile elde edildiği gibi, boru kazıklarda olduğu gibi çelik levhalardan da yapılabilir [1].

3.2.4. Kompozit kazıklar

Kompozit kazıkların alt ve üst kısımları farklı özelliklerdeki malzemelerden yapılmıştır. Örnek olarak kompozit kazıklar çelik ve beton veya ahşap ve beton malzeme çiftleri kullanılarak imal edilebilir. Çelik ve beton kullanılarak şekillendirilen kompozit kazıklarda alt kısım çelik üst kısım ise yerinde dökme yöntemle, betondan teşkil edilmektedir. Bu kullanım şekil genellikle yerinde dökme beton kazıkların taşıma güçleri yeterli olmayarak ilave taşıma gücü gerektiren durumlarda uygulanan yöntem olup, beton kazığın taşıma gücü çok yukarılara çekilebilmektedir. Ahşap ve betonun beraber kullanıldığı sistemlerde ise genellikle alt kısımda kalıcı (statik) su seviyesinin başladığı

zondan (derinlikten) itibaren ahşap, su seviyesinin üstünde kalan üst zonda ise beton kullanılarak teşkil edilen bölüm vardır. Her iki sistemde de beton yukarıda kalmaktadır. Her iki sistemde de karşılaşılan en büyük zorluk birbirinden farklı özelliklere sahip iki malzemenin birleşim kesitlerindeki aderans – bağlantı zorluklarıdır. Bu nedenle kompozit kazıklar yaygın ve ticari değildirler. Zorunlu olmadığı sürece pek tercih edilmezler [1].

3.3. Yapım Şekillerine Göre Kazıklar

Uygulamada kullanılan yapım teknolojileri dikkate alındığında, genel bakış açısıyla kazıklar yapım şekillerine göre başlıca iki grupta toplanabilmektedir. Bunlar sırasıyla zemine büyük yada küçük ölçekte yer değiştirme hareketi yaptıran “çakma kazıklar” ile zemine yer değiştirme hareketi yaptırmayan “sondaj kazıkları” olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda yapım şekillerine göre gruplandırılan sözkonusu kazıkların ana özellikleri kısaca anlatılmaktadır.

3.3.1. Çakma kazıklar

Çakma kazıklara ait kesit ve boyut geometrisi ile ilgili bazı pratik veriler ile hangi zeminlerde ve üst yapı yüklerini zemine aktarma biçimlerine dayalı olarak nasıl kullanıldıkları Çizelge 3.3 de özetlenmektedir. Çizelge 3.4 de ise değişik kesit çapları için taşıyabildikleri maksimum işletme yükleri gösterilmiştir (Hunt, 1986). Çakma kazıklar serbest düşüm yapabilen mekanik bir çekicinin darbeleri ile veya titreşim yaratan bir mekanik donanım vasıtasıyla zemine çakılırlar. Bu kazıklar çakılmaları sırasında özellikle gevşek granüler zeminlerin bazı fiziksel özelliklerini artırıcı etki gösterirken, kohezyonlu zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerini örselenmelerden dolayı geçici olarak azaltabilmektedirler. Kısmen yumuşak alüvyonlu tabakaların hafif yada ağır yükler etkisi altında stabilitesini sağlamak için çok uygun olan bu kazıklar yük aktarma mekanizması açısından sürtünme kazıklarına daha fazla prim tanımaktadır (Hunt, 1986).

Çizelge 3.3. Çakma kazıkların tipik özellikleri ve uygulamaları (Hunt,1986)

Kazık Tipi	Yük Taşıma Kapasitesi (kN)	Uzunluk (m)	Uygulamalar
Ahşap kazıklar	100 – 500	10 – 20	Kumlu, siltli ve killi zeminlerde sürtünme kazığı olarak kullanılırlar.
Çelik H kazıklar	400 – 2000	10 – 30*	Kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı, killerde ise sürtünme kazığı olarak kullanılırlar.
Çelik boru kazıklar	400 – 1200	10 – 30*	Kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı, yumuşak zeminlerde ise sürtünme kazığı olarak kullanılır.
Prekast beton kazıklar	200 – 2000	10 – 15	Kum ve çakıllı zeminlerde sürtünme kazığı, kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar.
Öngermeli beton kazıklar	200 – 2000	20 – 30	Kumlu ve çakıllı zeminlerde sürtünme kazığı, kayalarda ve sert zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar.
Yerinde dökme beton kazıklar	300 – 700	10 – 30	Kumlu ve siltli zeminlerde sürtünme kazığı olarak kullanılırlar.
Kompozit kazıklar	300 – 800	20 – 40	Birleşim kompozisyonuna bağlı olarak sürtünme veya uç kazığı olarak kullanılırlar.
Sıkıştırılmış beton kazıklar	600 - 1500	5 - 20	İri daneli, çakıllı granüler zeminlerde uç kazığı olarak kullanılırlar.

(*) : Eksiz yekpare uzunluklardır. Gerektiğinde çeşitli bağlantı elemanları ile uzunlukları arttırılabilir.

Çakma kazıkların yaygın boyları ahşap kazıklarda (15-20) m.'den, açık deniz platformlarında kullanılan çelik kazıklarda (150-200), hatta 400 m.'ye kadar ulaşabilmekte; taşıma kapasiteleri ise yine ahşap kazıklarda (25-30) ton'dan çelik kazıklarda (3500-4000) tona kadar çıkabilmektedir. Genel olarak çakma kazıkların zemine yerleştirilmesinde mekanik bir donanım ve bu donanıma bağlantılı olarak kazığın başlığına darbeler indiren bir tokmak kullanılır. Zeminin özelliklerine, proje yüklerine ve çevre şartlarına bağlı olarak tek etkili, çift etkili, dizel ve vibratörlü tipleri bulunan bu tokmakların her darbeye kazığa ve zemine aktardıkları enerji diğer bölümde daha ayrıntılı ele alınan formüllerle belirlenebilmektedir.

Çizelge 3.4. Değişik kesit çaplarına sahip bazı çakma kazıkların uygulamada taşıyabildikleri işletme yükleri (Hunt, 1986)

Kazık Tipi	Yük (kN)
Ahşap kazık (uç çapı 20 cm)	100 - 300
Prekast yada öngermeli beton kazık	
• 30 cm çaplı dairesel kesitli	200 – 600
• 50 cm çaplı kare kesitli	700 - 2000
Çelik – H kesitli kazık	
• HP 10 * 42	500 – 750
Çelik – boru kesitli kazık	
• İçi betonla dolu, mandrelsiz	
• 10 ^{3/4} * 0.188 boru kesitli	300 – 500
• 10 ^{3/4} * 0.250 boru kesitli	400 – 700
• 10 ^{3/4} * 0.312 boru kesitli	500 – 800
• 14 * 0.312 boru kesitli	600 – 900
• 16 * 0.375 boru kesitli	1000 – 1200
• Monotüp	300 - 500

Çakma kazıkların yapımı sırasında ortaya çıkan gürültü ve titreşim etkileri, mali portresinin dışında bu kazıkların yapımına, özellikle yoğun yapılaşmanın bulunduğu ortamlarda izin vermemektedir. Çakma kazıkların mali portresi sondaj kazıklarına kıyasla oldukça pahalı olabilmekte, bununla beraber ağır ve şiddeti büyük yüklerin kısıtlı çalışma sahalarında zemin ortamına aktarılması kaçınılmaz olduğunda bu kazıkların uygulamada kullanılmaları pratik açılardan zorunlu olmaktadır.

3.3.2. Sondaj kazıkları

Sondaj kazıkları (fore kazıklar) sondaj karakterli bazı mekanik donanımların zeminde açtıkları foraj çukurlarının içine donatı aksamı yerleştirildikten sonra betonla doldurulması suretiyle imal edilirler. Foraj çukurunun açılmasında zeminin çalışma koşullarını zorlaştırıcı bir özelliği bulunmadığı sürece daha ekonomik olduğu için burgulu donanımlar tercih edilirler. Sondaj kazıklarında yapım tekniğine bağlı olarak yanal toprak basınçları karşılama özelliğinden dolayı şaft rezistansları çakma kazıklara kıyasla daha düşük olup çoğu uygulamalarda yük aktarma mekanizması açısından uç kazıklarına daha fazla prim tanınmaktadır (Hunt,1986). Bununla beraber kısmen de olsa üst yapı yüklerini şaft boyunca oluşan sürtünme gerilmeleri ile de zemine aktarabilmektedir.

Sondaj kazıkları, yüksek taşıma kapasitesi ve kaldırma kuvvetlerine karşı stabilitenin sağlanmasını gerekli kılan durumlarda, sert kil zeminlerde, ayrılmış kaya parçalarının, moloz ve granüler çakıllı zeminlerde ve bu nedenle çakma kazık uygulanabilme şartlarının zorlaştığı zonlarda, çevre ve geoteknik ortam koşullarının limitlendirdiği gürültü ve titreşim parametrelerinin çakma kazıklar açısından önemli bir kısıt faktörü olduğu hallerde çakma kazıklara kıyasla tercih sebebidirler. Gerek mali portrelerinin çakma kazıklara kıyasla avantajlı olması gerekse de son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak imal edilen yeni mekanik donanımlar sayesinde saha içi işlem ve kazık yapım faaliyetlerinin çok kısa sürede tamamlanabilmesi nedeniyle günümüzde en az çakma kazıklar kadar uygulanabilme olanağı bulabilmektedirler.

Sondaj kazıkları yapım teknikleri nedeniyle zeminde yer değiştirmeye yol açmazlar. Zeminin yerinde fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak açılan foraj çukurunun içine su girişimini ortadan kaldırmak ve ufalanan zemin taneciklerinin stabilitesini kaybederek çukur içine akışlarını önlemek amacıyla kuyu stabilitesini sağlayıcı ve arttırıcı yönde “kaplama” yada “casing borusu” adı da verilen çelik kılıflardan yararlanılabilmektedir. Sondaj kazıklarında shaft çapı pek çok hallerde en az 60 cm. olmakta, su altında kalan uygulamalarda bu çap arttırılabilmekte, uç taşıma gücünü arttırabilmek için özel aletler kullanılarak “genişletilmiş uç” uygulamasına gidilebilmektedir.

Sert kohezyonlu zeminler sondaj kazıkları için çok elverişli olup, yer altı su seviyesinin üzerindeki kuru zeminler, su taşıyan tabakalı zemin ortamlarda ve satüre olmuş kumlar ile yer altı su seviyesinin altında kalan yumuşak kohezyonlu zeminlerde kullanılmaları tavsiye edilmemektedir. Yine taşıyıcı zemin katmanları çok derinlerde ise sondaj kazıklarının imalat şartları çok zordur.

3.4. Zemine Yerleşim Özelliklerine Göre Kazıklar

Bazı yönetmelikler ve araştırmacılar kazıkların zemine yerleştirilmeleri sırasında zeminde oluşan yer değiştirme hareketlerinin düzeyine göre kazıkları üç sınıfta toplamaktadırlar (NAVFAC, 1986).

- Büyük yer değiştirme kazıkları
- Küçük yer değiştirme kazıkları
- Zeminde yer değiştirmeye yol açmayan kazıklar

Aşağıda sırasıyla bu üç sınıfın temel özellikleri ve davranış biçimleri anahatlarıyla ele alınmaktadır.

3.4.1. Büyük yer değiştirme kazıkları

Bunlar inşası sırasında zemini yanlara doğru iterek önemli miktarda yer değiştirme hareketi yaptıran bütün çakma kazıklar ve uygulamada bir kısmı zemine çelik bir kılıf çakılarak oluşturulan boşluğun içinin beton ile

doldurulduktan sonra çelik kılıfın yukarı çekilerek çıkarıldığı yerinde dökme kazık türleri bu gruba girmektedir.

Genellikle uygulamalarda zemine yer değiştirme yaptıran çakma kazıklar tercih edilirse “gürültü” ve “titreşim” etkileri önem kazanabilir. Bununla beraber meydana gelmesi kaçınılmaz olan gürültü ve titreşimlerin çevreye olan etkilerinin müsaade edilebilir sınırları aşp aşmadığının devamlı ve sıkı kontrol altında tutulması gerekmektedir (Poulos ve Davis, 1980). Etrafında gevşek kum yada kısmen suya doygun gevşek siltli tabakalara inşa edilen temellerin üzerine oturan yapıların bulunduğu çalışma koşullarında bu tür kazıkların çakılması sırasında oluşacak titreşimler, sözü edilen koşullarda yer alan yapılarda kayma direncini yok eden momentlerin oluşmasına ve temellerde hasar meydana gelmesine sebep olacağı için tehlikeli olabilmektedir. Hatta gevşek kum ve siltli tabakalarda “anı oturma” hareketi gözlenebilmektedir. Zemine yer değiştirme hareketi yaptıran kazıklar inşa edilirken, işgal ettikleri hacmin zeminin yatay ve düşey yer değiştirme yapması nedeniyle zemin yüzeyinden yeteri kadar aşağıda kalması tavsiye edilir ki söz konusu deplasmanlar yüzeyde olabildiğince az hissedilsin. Bunun sonucu olarak darbe yada kompaksiyon yolu ile çakma işleminin yapılmasına yakın civarda birbirine yaklaşık bir yapılaşma modeli ve az katlı yapılar bulunduğu sürece müsaade edilmez.

Zemine yer değiştirme hareketi yaptıran kazıkların çoğu mekanik donanımlı bir çekiç yardımıyla zemine çakılarak yerleştirilirler. Fakat birçok hallerde özellikle (kumlu-çakıllı zeminlerde) titreşimli metotlarla inşaat çalışma ve iş verimliliğinin arttırılmasına imkan verdiği için (çevre ve ortam koşullarının da müsaade etmesi halinde) tercih edilebilmektedir (Tomlinson, 1977). Genel olarak bakıldığında çakma kazıkların tümü (ahşap kazıklar, prekast beton, öngermeli beton, alt ucu kapalı dairesel yada kutu kesitli kazıklar ve su jeti ile zemine yerleştirilen kazıklar) bu gruba girmektedir. İçi boş – alt ucu kapalı veya içi dolu çelik kesitlerin zemine yukarıda da ifade edilen bir çekiç aracılığıyla çakılıp yukarıda bırakılmaları ile oluşturulurlar. İçi dolu kesitler ahşap yada normal donatılı veya öngermeli beton kazıkları oluşturmakta, içi boş kesitler ise çelik boru ile çelik kutu veya beton boru kazıklar olabilmektedir. Taban yada gövde bölümünde projede öngörülebileceği üzere isteğe bağlı olarak genişletilmiş bir

zonun tesis edilmesinde tokmaklanan betonun zemini yanal olarak sıkıştırması nedeniyle “Franki” tipi kazıklar da bu grup içerisinde sayılmalıdır (Yıldırım, Özyayın, 1994).

3.4.2. Küçük yer değiştirme kazıkları

Bu grup, haddelenmiş çelik profil kesitler, (genellikle “H” tipi kesitler) önburgulu çakma kazıklar ile bir ucu (alt ucu) açık bırakılarak çakım esnasında zeminde kolaylıkla ilerleyebilen boru yada kutu kesitli çelik hammaddeli çakma kazıkları içine almaktadır. Kesit tasarımında koşullara uygun davranılırsa zamana bağlı olarak gelişen korozyonun olumsuz etkileri azaltılabilmektedir. Bunun yerine korozyon etkisinin “epoxy reçine” esaslı kimyasal maddeler veya biraz pahalı olan “katodik koruma” ile minimize edilmesi günümüz şartlarında başarı ile uygulanabilmektedir.

H kesitli çelik profil kazıklar genelde kısmen derinlerde yer alan sıkı – sağlam taşıyıcı özellikteki tabakaların üzerinde bulunan gevşek kumlu zemin tabakalarının penetre edilerek sıkıştırılmasının gerektiği durumlarda çok kullanışlıdır. Ayrıca çekiç darbelerinin çevre ve ortam koşulları tarafından sınırlandırıldığı durumlarda yine en çok “H” kesitli çelik profil kazıklar tercih edilmektedirler. “H” kesitli çelik profil kazıkların avantajlı olduğu bir diğer husus da zayıf kaya tabakalarının içinde “zımbalama etkisi” yaratması veya sıkı zemin tabakalarının arasında yer alan çok yumuşak katmanların sıkıştırılması için kullanılmalardır. H profilin kısa kenarı (kesitin kısa olan kenar uzunluğu) – uç noktasındaki taşıma gücüne çalışan kesiti büyütme ve dolayısıyla taşıma gücünü arttırmak için kazığın alt kısmından kaynaklanabilir yada – yatay yüklere karşı kesitin mukavemetini arttırmak için – kazığın üst kısmından kaynaklanabilir. H kesitli çelik profil kazıkların dezavantajı çakma sırasında eksenden az bir miktar saparak eğilmeleridir. Çakma sırasında meydana gelen bu flambaj olayı kazığın taşıma kapasitesinde – özellikle eğrilik yarıçapının 400 m. ve üstü olduğu durumlarda – önemli ölçüde azalmaya neden olabilmektedir (Poulos ve Davis, 1990).

Çelik boru kazıklar yaygın olarak hem deniz hem de kara uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Dairesel kesite sahip olmaları bu kazıkları dikdörtgen kesitli çelik kutu veya “H” profili kesitli kazıklara göre dalga ve akıntılara (akımlara) karşı daha az dayanımlıdır. Geniş çaplı boru kazıklar tasarımıdaki zemin sıklığını muhafaza etmek için alt ucu kapalı olarak zemine çakılmalıdır. Bazı hallerde ise uç noktanın ötesini delme işlemini takiben çakma işlemi de gerçekleştirilebilir. Çakma işlemi sona erdikten sonra borunun içinde kalan boş kısım kazık boyunca betonla doldurulur. Böylelikle boru kesitli kazıklar için de nihai taşıma gücüne ulaşılabilir (Tirant, 1992). Sonuç olarak “H” kesitli ucu açık boru yada kutu şeklindeki çelik hammaddeli kazıklar çakma esnasında uçlarında bir tıkaç oluşmuyorsa zeminde çok az miktarda deplasmana neden olurlar. Çekme kuvvetine çalıştırılan bazı kazık türleri de bu gruba girmektedir.

3.4.3. Zeminde yer değiştirmeye yol açmayan kazıklar

Bu gruba giren kazıklar mekanik burju donanımlı, kovalı, burgulu ve darbeli sondaj aletleri gibi aletler kullanılarak zeminin içinde oluşturulan boşluğun (çukurun) içinin betonlanmasıyla oluşturulurlar. Bentonit çamuru yada sondaj sıvısının kullanılması çoğu kez yumuşak kil ve siltlerde yapılan uygulamalarda kuyu stabilitesinin sağlanmasında – kalıcı (sürekli) bir kılıf (casing borusu) kullanılarak yapılan gövde tahkimatına gerek kalmaksızın – faydalı olmaktadır. Kil zeminlerde taşıma gücünü arttırmak için bu kazıkla istenen çap ve boylarda inşa edilebilirler. Fakat bu durum özellikle silt ve kum mercikleri içeren killi zeminlerde ve bazı kohezyonsuz zeminlerde risk taşımaktadır.

Bu grubun başlıca üyesi olan ve ülkemizde de yaygın olarak kullanılan “fore kazıklar”ın önceki bölümde bahsedilen “çakma kazıklar”a göre avantajlı olduğu durumlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- Fore kazığın yapımı sırasında herhangi bir kabarma yada çökme oluşmaz.
- Fore kazıkların yapımı sırasında çevre ve geoteknik ortam koşullarının limitlendirdiği gürültü ve titreşim sınırları aşılmaz.
- “Uzunluk” ve “çap” boyutları için standartlaşma olmayıp proje ve zemin koşullarına uygun olarak adı geçen boyutlar ayarlanabilir.

- Geniş çaplı fore kazıkların betonlanmadan önce kontrol edilmeleri mümkün olabilmektedir.

Diğer taraftan “fore kazıklar”ın çakma kazıklara kıyasla dezavantajlı olduğu bazı durumlar da aşağıda ifade edilmektedir:

- Kohezyonsuz zeminlerin yerinde sıklıklarının yetersiz oluşu yada foraj çukurunun açılması sırasında kohezyonlu zeminlerin yumuşayıp, gevşemesi,
- Yumuşak veya gevşek zeminlerde fore kazıkların imali sırasında büzülme yada şişme reaksiyonlarının inşaatı zorlaştırması ve geciktirmesi,
- Fore kazığa (casing borusu yukarı çekildikten sonra) herhangi bir yolla su akışının sözkonusu olması durumunda betonun yüzeysel olarak tahrip olması yada betonu sarmalayan zeminin yapısal özelliklerini değiştirmesi sonucunda kazığın çevresel sürtünme direniminin azalması,
- Ani kabarma ve şişme potansiyeli bulunan killi zeminlerde açılan foraj çukurlarında yeterli kemerlenmenin oluşmaması durumunda çukurun içi betonlandıktan sonra çukur cidarlarındaki zeminin şişerek betonla girişim yapabilmesi yada beton prizini tam almadan şişen zeminin boşluklarına kaçabilmesi neticesinde betonun boğulmaya uğraması,
- Foraj çukurunun tabanının iyi temizlenmemesi durumunda kazık ucunda zamana bağlı olarak meydana gelen yumuşama ve örselenmelerin uç taşıma gücünü azaltması.

Zeminin yumuşama etkisi göstererek çalışma koşullarını zorlaştırmasını önlemek bakımından foraj çukuru tesis edildikten hemen sonra içi betonla doldurulmalıdır. Betonun çukurun içine dolarken yeterli işlenebilirliğe sahip olması için segregasyona (ayırışma) yol açmayacak kadar süper akışkanlaştırıcının uygun dozajlarda kullanılması gerekebilir. Fore kazıkların imalinde genellikle işlenebilirlikli (slump) (12-20 cm.) ve yüksek dayanımlı betonlar (proje mukavemeti > BS35) tercih edilir ve kullanılırlar (Poulos ve Davis, 1980). Zeminde yer değiştirmeye yol açmayan kazıklar imal edilirken açılan foraj çukurunun yanal yüzeylerinin desteklenip desteklenmemesi, destekleniyorsa bu desteğin kalıcı mı yoksa geçici mi olduğu, geçici ise bir kılıf yardımıyla mı yoksa sondaj çamuru ile mi yapıldığına bağlı olarak değişik kazık türlerinden söz edilebilmektedir (Yıldırım, Özaydın, 1994) [1].

4. KAZIK TÜRÜNÜN SEÇİM KRİTERLERİ VE ÇEŞİTLİ KAZIK TÜRLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Uygulama projesi için teknik ve mali koşullar açısından en elverişli kazık cinsinin ve türünün seçimi, zemin profili (zemin tabakalaşması, yer altı suyu gibi parametreler), şantiye arazisinin yeri, topoğrafik durumu ve yapının cinsi gibi belirli sayıda faktörlere bağlıdır. Kazık gövdesini oluşturan malzeme (çelik, beton, ahşap v.s.) kazık yapım yöntemini doğrudan sınırlamaktadır. Diğer bir deyişle herhangi bir kazığın yapım yöntemi o kazığın gövdesini oluşturan hammaddesiyle yakından ilgilidir. Örneğin, deniz uygulamaları için “çakma kazıklar” oldukça uygun olup çakma çelik kazıklar ya da çakma beton kazıklar, çakma ahşap kazıklara göre durabiliteleri daha yüksek ve uzun süre dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilirler (Tomlinson, 1978).

Çizelge 4.1’de değişik kazık türleri için karakteristik tipik boyutları ve izin verilebilir yükler verilmektedir. Bununla birlikte bazı uygulamalarda bu çizelgede verilenlerden önemli ölçüde büyük boyutlar ve yük taşıma kapasiteleri gerekli olabilir. Okyanuslardaki petrol ve gaz platformlarında 18 m. çapında 120 m. derinliğe yük aktaran ve yaklaşık 20000 kN yük taşıyabilen kazıkların imal edilmiş olması buna bir örnektir (Tirant, 1992). Ülkemizden de bu extrem duruma Yeni Galata Köprüsü’nü verebiliriz. Yeni Galata Köprüsü’nde 2 m. çapında, 80 m. uzunluğunda, 20000 kN yük taşıyabilen kazıklar yer almaktadır.

Önceden belirlenmiş bir arazi ve önceden projelendirilmiş bir yapı sistemi için kazıklı temel uygulamasına karar verildikten sonra kazık tipinin seçiminde arazi özellikleri, yapısal koşullara uygunluk, yapımının olanakları gibi temel etkenler hangi kazıklı temel tipinin uygulanabilir olacağını avantajlı ve dezavantajlı yönleriyle ortaya koymaktadır. Uygulamada sağlıklı ve ekonomik kararlar verebilmek için aşağıdaki hususlar önemle göz önünde tutulmalı ve karşılaştırılmalıdır (NAVFAC, 1986).

Çizelge 4.1. Değişik kazık türleri için izin verilebilir yükler (1psi=7 kN/m²)
(Prakash ve Sharma, 1990)

Kazık Tipi	New York Şehir Şartn. (1948)	Boston Şehir Şartnamesi (1958)	AASHTO (1957)	API (1986)
Ahşap	600 – 800 psi 20 ton – (D=6") 25 ton – (D=8")	16 – 30 ton (kazık mesafelerine bağlıdır.)	18 ton–(D=10") 20 ton–(D=12") 24 ton–(D=14") 28 ton–(D=16")	≤ 1000 psi
Beton (*)	0.25 f _c ≤ 1000 psi	0.25 f _c ≤ 1000 psi	20 ton–(D=10") 24 ton–(D=12") 32 ton–(D=16") 40 ton–(D=20") 50 ton–(D=24")	0.225 f _c
Çelik	9000 psi (kılıfsız) 12000 psi (kılıflı)	8000 psi (boru kesitli) 7000 psi (H profili)	6000 psi	≤ 9000 psi

(*) f_c = 28 günlük [15x15] cm boyutlarındaki standart küp numunenin dayanımı

4.1. Çakma Kazıklar

Ahşap, beton ya da çelik malzemeden proje kriterlerine uygun geometride hazırlanan kazıklar uygulama alanına önceden getirilerek tokmaklar vasıtasıyla çakılarak yerleştirilir. “Hazır Çakma Kazıklar” ın avantajları;

- Kazık malzemesi, kazık teşkilinden önce denetlenebilir (kalite kontrolü yapılabilir).
- Yumuşak-şişebilen zeminlerde shaft çapının daralma tehlikesi yoktur.
- Komşu kazıkların çakımı sırasında zemin genişlemesinden etkilenmezler.
- Yer altı suyunun altında çakım işlemi gerçekleştirilebilir.

- İskele kazıklarında olduğu gibi kazığın bir bölümü zemin dışında bırakılabilir.
- Çakım uzunluğu istenildiği gibi seçilebilir.

Hazır Çakma Kazıklar' ın dezavantajları;

- Çakma sırasında kazıkta gözle görülmeyen zararlar ortaya çıkabilir.
- Kazık uzunluğu karşılaşılan tabakalara göre kolayca değiştirilemez.
- Çakma sırasında çevrede gürültü ve yapısal hasarlar oluştururlar.
- Büyük çaplı ($D > 60$ cm.) kazıkların çakılması zordur.
- “Genişletilmiş Uç” yapımı olanaksızdır.
- Bazı durumlarda ekonomik olmayabilirler.

Zemine projede verilen noktalarda mekanik donanımlı çekiçler yardımıyla önceden yerleştirilen; burgu ve bailer v.s. ekipmanlarla içi boşaltılan kaplama borusunun stabilitesi sağlandıktan sonra oluşturulan boşluk kuru ya da ıslak metotla hazırlanan beton karışımı ile doldurularak tesis edilen “Yerinde Dökme Çakma Kazıklar” ın avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar da aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Yerinde Dökme Çakma Kazıklar' ın avantajları;

- Kaplama borusu ucu kapalı olarak zemine çakıldığından yer altı suyu ile etkileşim söz konusu değildir.
- Kazık uzunluğu sağlam tabakanın derinliğine uygun olarak ayarlanabilir.
- “Genişletilmiş Uç” yapımı mümkündür. Böylece taşıma gücü artırılabilir.
- Gürültü ve titreşim dolayısıyla yapısal hasar açısından taşınan risk azaltılabilir.

Yerinde Dökme Çakma Kazıklar' ın dezavantajları;

- Dökümden sonra betonun durumu incelenemez ve kontrol edilemez.
- Betonlama sırasında dikkatli olunmazsa zeminin itkisi ile “boğulma” olabilir.
- Artezyen durumu varsa beton şaft sağlam ve dayanıklı olmaz.
- Kazık boyu yer yer kısıtlı olabilir.
- Çakma sırasında komşu kazıklar etkilenir.
- Gürültü, titreşim ve zemin kabarması çevreye zarar verebilir.

- Kazık çapı sınırlıdır.
- “Genişletilmiş Uç” çok büyük yapılamaz.

4.2. Sondaj Kazıkları (Fore Kazıklar)

Üst yapının cinsine (şekline), jeolojik ve geoteknik ortam koşullarına ve yapım metodunun çevredeki yapıları ve bu yapıların altındaki zemin tabakalarının mühendislik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebileceği durumlar; diğer taraftan gürültü ve titreşim faktörlerinin kısıtlayıcı faktör olarak yüklenicinin karşısına çıktığı durumlarda özellikle mali durumlar ağır basıyorsa, sondaj kazıkları yukarıda değinilen çakma kazıklara göre teknik ve ekonomik açılardan üstünlük kazanmaktadır. Bununla beraber sondaj kazıkları kullanılmalarını gerekli ve avantajlı kılan öğeler ile sakıncalı dolayısıyla da dezavantajlı kılan unsurlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Sondaj Kazıkları'nın avantajları;

- İnşa sırasında gürültü, sarsıntı, çökme ve zemin kabarması en az düzeydedir.
- Değişen zemin koşullarına göre boyları ayarlanabilir.
- Kazık çapı istendiği kadar büyük olabilir (3 m. kadar).
- İstenilen uzunlukta yapılabilirler.
- “Çok geniş uç” teşkil edilebilir.
- Foraj çukuru kazılırken önceden sondajlar aracılığıyla kestirilen zemin koşulları bizzat yerinde tahkik edilebilmektedir.
- Foraj çukuru betonla doldurulmadan önce yerleştirilecek donatıların taşınma ve montaj koşullarından bağımsız olmaları dikkat çekicidir.
- Küçük imalat sahalarında kullanım manevraları geniştir.

Sondaj Kazıkları'nın dezavantajları;

- Küçük çaplı kazıkların su altında dökülmesi zordur.
- Akıcı özelliği bulunan zeminlerde kesitin daralması riski mevcuttur.
- Yapımdan sonra betonun yerinde kontrolü yapılamaz.
- Artezyen durumunda veya muhafaza borusu çıkarılan kazıklarda betonun dışarı çekilmesi olasılığı vardır.

- Su yapılarında kazık boyu zemin dışına uzatılamaz.
- Kohezyonsuz zeminlerde “genişletilmiş uç” yapılamaz.
- Sondaj çalışmaları sırasında zeminde gevşeme olabilir.
- Kohezyonsuz zeminlerde, grup kazıklarda yerinde sıklık yeterli olmadığı için çevrenin oturma tehlikesi vardır.
- Yumuşak ya da gevşek zeminlerde üretim sırasında büzülme ya da şişme riski bulunmaktadır.
- Yumuşak ve boşluklu zeminlerde özellikle “casing borusu” olmaksızın yapılan üretimlerde boğulma tehlikesi bulunmaktadır.
- Su altındaki üretimlerde beton döküm ve priz zorlukları ciddi boyutlardadır.

4.3. Ahşap Kazıklar

Ahşap Kazıklar'ın avantajları;

- Taşınması, yerleştirilmesi ve kesilmesi kolaydır.
- Göreceli olarak ekonomiktirler.

Ahşap Kazıklar'ın dezavantajları;

- Taşıma kapasiteleri sınırlıdır.
- Yer altı suyunda kalan kazıkların çürüme tehlikesi vardır.
- Mekanik aşınma, yangın, böcek veya kurtların tahribatı nedeniyle hasara uğrayabilirler.
- Çakılmaları sırasında kazık ucu hasara uğrayabilmektedir.
- Ek yapılarak boylarının arttırımı sırasında çeşitli zorluklar vardır.

4.4. Çelik Kazıklar

Çelik Kazıklar'ın avantajları;

- Taşınmaları ve çakılmaları kolaydır.
- İstenilen uzunluk ve kesit geometrisinde teşkil edilebilmektedir.
- Sıkı zemin tabakalarına rahatlıkla çakılabilirler.
- Çakma sırasında meydana gelebilen yanıl zemin değiştirmesi küçüktür.

- Ekleme yapılması için değişik varyanslar vardır.

Çelik Kazıklar' ın dezavantajları;

- Çakma sırasında kazık ucu aşınarak tahrip olabilir.
- Örselenmiş yada dolgu zeminlerinde korozyon tehlikesi büyüktür.
- Çakma sırasında kolaylıkla eksenden saparak egzantrisite kazanabilirler.
- Ülkemiz koşullarında pahalıdırlar.

4.5. Prefabrike Beton Kazıklar

Prefabrike Kazıklar' ın avantajları;

- Aşınma ve çürüme tehlikesi yoktur.
- Ekleme yapımı kolaydır.
- Çakma öncesinde beton kalitesi kontrol edilebilmektedir.
- Yer altı suyu koşullarından etkilenmezler.
- İşçilik, yerleşim hızı gibi faktörler göz önünde tutulduğunda nispeten ekonomik ve ucuzdurlar.

Prefabrike Kazıklar' ın dezavantajları;

- Kesilerek boylarının ayarlanması zor ve risklidir.
- Çakılmaları sırasında dikkat ve özen gösterilmezse istenmeyen ve düzeltilemeyen hasarlar oluşabilmektedir.
- Çakma sırasında zeminde yer değiştirmeler meydana gelmektedir.
- Gürültü ve vibrasyon sorunlar yaratabilmektedir.

Genel olarak bakıldığında kazık tipinin seçimi, üst yapının şekline, jeolojik lokasyona, zemin strüktüründeki değişken ortam koşullarına, durabilitenin sağlanabilmesi ve korunabilmesi için gerekli şartlara, kazık yapım metodunun yakın civardaki yapılara ve bu yapıların altında yer alan zeminlerin geoteknik özelliklerinde meydana getireceği değişikliklere ve özelliği bulunan bazı zemin koşullarının uygun ve kısıtlayıcı gördüğü faktörlere ve göreceli maliyetlere hassas

olarak bağıdır (Tirant, 1992) [1]. Bu karşılaştırma yapıldıktan sonra, kazık tipinin seçimini etkileyen faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz.

- Kullanım özellikleri,
- Taşıma zorluğu,
- Bulunması,
- Çakılma zorluğu / kolaylığı,
- Uzunluk,
- Mukavemet,
- Esnek olup olmaması,
- Dış etkilere ve yüklere dayanım.

4.6. Kazık Tipi Seçimini Etkileyen Faktörler

Kazık tipinin seçiminde aşağıdaki faktörler göz önüne alınabilir.

- Her bir kazık için istenilen taşıma değeri,
- Karşılaştırmalı maliyet,
- Hazırlama hızı ve kolaylığı,
- Gerekli olduğu takdirde kazık adedini artırabilme,
- İnşaat alanına girebilme,
- Kazıkları kullanma araçları,
- İstenilen uzunluk,
- Çakma sonrası kazığın zarar görme olasılığı,
- Gerekli olduğu takdirde uzunluğun değiştirilebilmesi,
- Eldeki malzemeler veya kolay bulunabilirlik,
- Sondaj aletlerinin mevcudiyeti,
- Çakma şartlarına ve metotlarına en uygun kazıklar,
- Gerekli sürekliliğin derecesi,
- Zeminde asit veya diğer zararlı maddeler bulunması,
- Eğik kazıklar gerektiğinde bir açıda çakma kolaylığı,
- Zeminin minimum örselenmesi,
- Eğer uç kazığı ise kazık ucunun alanı,

- Su seviyesinin altında veya üzerinde çakma,
- Uç taşımaya göre ise, kolon olarak taşıma değeri,
- Eğilme için direnç veya esneklik,
- Aynı türden yapılar için kullanılan yapım tecrübesi,
- Mühendisin geçmişteki deneyleri ile belirli bir çeşit için sahip olduğu kişisel tercih hakkı,
- Müteahhidin mevcudiyeti ve elindeki ekipmanların belirli bir kazık tipini hazırlamak için uygun olması [9].

5. KAZIKLARIN ZEMİNE YERLEŞTİRİLMESİ

Sondaj kazıklarının dışında kalan tipler zemine çakma, itme, titreşim ve yıkama ile yerleştirilirler. Zemin ve kazık tipine, Őantiyenin özelliğine göre, seçilen yollardan her birinin faydalı ve sakıncalı tarafları vardır. evre sorunları ve gürültünün önemli sosyal problemler getirdiği günümüzde, komşu yapılar ve çevredeki insanları etkilemeyen hidrolik itme ve titreşim yöntemleri kuŐkusuz öncelik kazanabilmektedir [9].

5.1. Çakma Kazıkların Zemine Yerleştirilmesi

Çakma kazıklar amaca uygun herhangi bir çekicinin darbeleri ile yada vibratrl donanımların titreşim etkileri altında zemine yerleştirilirler. Çekiç darbeleri ile zemine çakılan kazıklar için yerleştirme kriteri ya dalga eşitlik analizleri esasına yada klasik çakma formüllerine dayalı olarak belirlenebilen belirli bir penetrasyon direnci üzerine kurulmuŐtur. Bu kriterlerde kestirilen kazık uzunluğu arazinin taşıma gücü özellikleri hakkındaki bilgilere ve zemin profili için yapılacak statik analiz sonuçlarına bağlıdır. Her iki kriterde de (yeterli bir penetrasyon direnci ve arzu edilen kazık kapasitesine ulaşmak için tahmin edilen kazık uzunluğu) tasarım yaklaŐımlarının gerçek yerleştirme operasyonu sırasında gerçekleŐip gerçekleŐmediĐi kontrol edilir. EĞer tahmin edilen (kestirilen) kazık uzunluğu ve gerekli penetrasyon direnci gerçek operasyonlar sırasında gözlenenlerden oldukça farklı ise ortaya çıkan durum tasarım mühendisi tarafından yeniden ve etraflıca irdelenmeli ve tahkik edilmelidir.

Titreşimli ekiler ile yerleştirilen kazıklar için Şartnameler genel olarak bir çakma kriteri ve buna uygun yeterli bir kazık uzunluğunu ön planda tutarlar. Yeterli (gerekli) kazık uzunluğu temel yer altı verilerine ve pratik uygulamalarda sık kullanılan klasik taşıma kapasitesi formülüne bağlı olarak saptanabilir. Çakma kriteri normal olarak iki faktörün bileŐimidir. Birincisi belirli bir dinamik kuvvet ve operasyon frekansı için kazığın minimum penetrasyon hızı; ikincisi ise eki darbeleri ile kontrol edilebilen, kazığın gerek duyulan nihai penetrasyon direncidir. Benzer hallerde çekiçle uygulanan darbe enerjisi için minimum

penetrasyon direncine ulaşılabilir. Aşağıda ahşap, öngermeli prefabrike beton, çelik çakma kazıkların yerleştirilmeleri kısaca açıklanmaktadır (Prakash, Sharma, 1990).

5.1.1. Ahşap kazıkların yerleştirilmesi (çakılması)

Ahşap kazıkların taşınmaları sırasında oluşan gerilmelere karşı özel bir dikkat ve önlem alınması çok gerekli değildir. Bununla birlikte ahşap kazığın alt ve üst uçlarında zemine yerleştirilmeleri sırasında ortaya çıkan gerilmelere bağlı olarak oluşabilecek hasarlara karşı bazı tedbirlerin önceden alınması gerekir. Bu hasarlar kazığın zemine çakılarak yerleştirilmeleri sırasında meydana gelen kırılmalar yada uçların yerleştirme sırasında çatlaması ve yarılması nedeniyle ön plana çıkar. Kazığın ucu ve gövdesi zor çakma koşullarının bulunması durumunda mutlaka çelik başlık yada çelik kuşaklarla korunmaya alınmalıdır. Düşük frekanslı (hızlı) çekiç darbeleri ahşap kazıkların zemine çakılarak yerleştirilmeleri için elverişli olabilmektedir. Böyle bir çekicinin nominal çakma enerjisi cm başına 3000 darbeyi aşmamalıdır.

5.1.2. Öngermeli prefabrike beton kazıkların yerleştirilmesi (çakılması)

Öngermeli prefabrik kazıkların taşınması sırasında oluşan gerilemeler yüksek hasar potansiyeline sahip olduğu için dikkatli davranılması ve muhakkak önlem alınması gerekmektedir. Bu yüzden bu çeşit kazıkların kullanılmasında belirli bir boy sınırlaması olmaktadır. Buna karşın öngermeli prefabrik kazıklar üretim aşamasında genellikle daha küçük uzunlukta parçalar halinde kesilerek çeşitli bağlantı elemanlarıyla birbirlerine uç uca eklenerek istenen boya (uzunluğa) getirilebilir. Günümüzde zemin ve çalışma koşullarına uygun çok çeşitli bağlantı elemanları kazık çakma sanayinde kullanılmaktadır. Buna ilave olarak, bağlantı, birleşen iki kazık kesiti arasındaki maksimum gevşeme 0.5 mm 'den daha az olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu özellik çakma enerjisindeki kayıpları minimize etmesi açısından önemlidir.

Bağlantının kısa kazık kesitlerinde kullanılması kazığa yeterli hareket imkanını sağlamaktadır. Bu durum öngermeli prefabrik beton kazığın taşınabilir uzunluk ve ağırlığının azalmasına ve böylelikle de taşıma basınçları ve uzun kazıkların yerleştirilmeleri ile ilintili olan diğer uygulama problemlerine bağlı olarak gelişen çatlama ve kırılma olasılığını aşağı çekmektedir. Günümüzde öngermeli prefabrik kazıkların yerleştirilmeleri sırasında sıkça kullanılan bağlantı elemanları şunlardır: kaynaklı, sürgülü (civatalı), mekanik kilitli, bağlayıcı halkalı (bilezikli), kamalı, manşonlu, pimli, ard çekmelidir. Günümüzde öngermeli prefabrik beton kazıkların zemine çakılmaları sırasında tek etkili ve çift etkili (buhar ve gaz basınçlı) tokmalarda kullanılabildiği gibi, darbeli (pnömatik) ve dizel tokmalarda bu kazıkların zemine yerleştirilmeleri için çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.1.3. Çelik kazıkların yerleştirilmesi (çakılması)

H kesitli çelik kazıkların zemine çakılarak yerleştirilmeleri sırasında çok sıkı yada ayrılmış kaya parçalarına rastlanıncaya kadar ciddi zorluklarla karşılaşmaz. Ancak ortamın sıkı yerleşmiş çakıl yada ayrılmış kaya parçalarından oluşması kazığa hasar verebilir. Bu hasarlardan kaçınmak için, kazığın alt ucunda dökme demirden imal edilen çelik levhalar kaynaklanmak suretiyle çarık denilen suni bir koruyucu oluşturularak takviye sağlanır.

H profil kesitli çelik kazıkların uç uca eklenerek birleştirilmeleri için perçin, bulon ve kaynak gibi çeşitli birleşim yöntemleri kullanılabilir. Yaygın uygulamalarda kazıkların tam kesit kaynaklı bağlantı yöntemi ile birleştirilmeleri tercih edilir.

Ucu açık boru kesitli çelik kazıkların çakılması ucu kapalı boru kesitli kazıkların çakılmasından daha kolaydır. Eğer boru kesitli çelik kazıklar çok sıkı bir malzeme yada sert bir strüktürün yer aldığı oluşumlar içinde çakılıyorsa uç kısımları yer yer zedelenir. Ucu açık boru kesitli çelik kazıkların uğrayacakları hasarları elimine edebilmek için açık olan uca dökme demir çelikten yapılmış çarık adı verilen koruyucular ekseriyetle sıkı çakıllı -siltli ve ayrılmış kaya ihtiva eden ortamlarda mutlaka kullanılırlar.

Ucu açık boru kesitli kazıklar zemine yer değiştirme yaptırmadan yerleştirileceği zaman, bu kazıkların çakma sırasında açık olan alt ucu bir tapa ile kapatılarak zeminin içeri girmesi ve boylice hareket etmesi önlenmelidir. Bu kazıkların gerekli penetrasyonu sağlayacak bir su jeti ile yıkanarak yada kazılarak periyodik olarak temizlenmeleri gereklidir. Daha sonra borunun su jeti içine günümüzde çok yaygın olan “tremie” vb. yöntemlerle beton dökülerek işlem bitirilir. Bununla beraber az önce bahsedilen temizleme prosesleri sırasında kazık ucunun zeminin içinde yer değiştirmemesi muhakkak sağlanmalıdır.

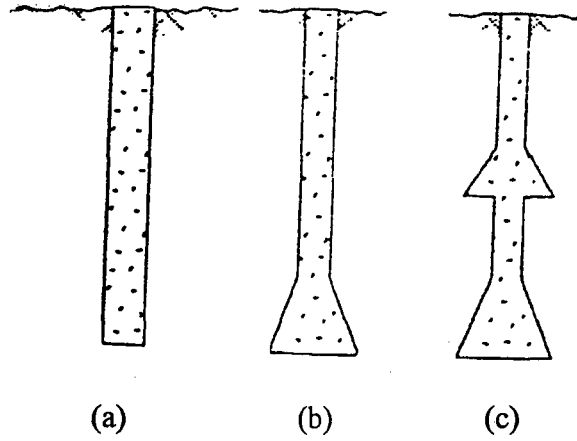
Gerek boru kesitli, gerekse H profil kesitli elik kazıkların çakılarak yerleştirilmeleri sırasında mekanik donanımlı eki tarafından verilen darbe enerjisi 630 J/cm^2 ile sınırlandırılmıştır. Çakma operasyonu, çakma direnci her cm başına [4 – 6] darbeye eriştiği zaman olası hasarlara karşı durdurulmalıdır.

5.2. Sondaj Kazıklarının (Fore Kazıkların) Yerleştirilmesi

Fore kazıkların yerleştirilmesinde başlıca iki önemli aşama vardır: Foraj çukurunun açılması ve kazılan çukurun iinin betonla doldurulması. Foraj yada çukur kazma yönteminin seçimi zemin ve yer altı suyunun yerinde koşullarına bağlıdır. Zemin yumuşak olduğu zaman ve/veya yer altı su seviyesine taşıyıcı zemin tabakalarının üstünde rastlanıyorsa çukurun kazılması (açılması) esnasında geçici maksatlı “casing” borularının kullanılması gerekli olabilir. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi fore kazıklar düzgün bir forma sahip olabildikleri gibi taban kesiti yada hem tabanı hem gövde kesiti genişleticilerle büyütülmüş forma da sahip olabilirler. Genişletme (zellikle taban kesitini genişletme) yük taşıma kapasitesini arttırmak için; gövde kesitinin genişletilmesi ise özellikle mobilize sürtünme direnimleri potansiyelinin arttırılması amacıyla yapılmaktadır. Zemin ve yeraltı su koşullarına uygun ve gk oluşturma riski taşımayan bir burgunun (foraj çukurunun açılması için) kullanılması çok önemlidir.

Ancak sıkı ve aşırı konsolide killerde kesiti genişletilmiş, böylelikle uç taşıma ve çevresel sürtünme direnimlerinde potansiyel artışlar sağlanmış fore kazık uygulamaları sonucunda ortaya çıkacak efektif maliyetler çok yüksektir (Sharma,1983). Yumuşak çok sıkı üniform zeminler için “kesici kanatlı”

burguların kullanılması foraj çukurunun kazım şartlarını kolaylaştırmaktadır. Çok sert – sıkı, taşlaşmış ve çimentolaşmış zeminler için “dişli” burgular kazı yönünden daha avantajlı olmaktadır. Bununla beraber burgular kazı sırasında ayrık kaya parçalarına rastlandığında ilerleme sağlayamayacağı ve bozulabileceği için çalışma durdurulmalı ve bu tür kayaları parçalayarak kıran aletlerin devreye sokulması gerekmektedir. İri ayrık kaya parçalarına rastlandığında bunların ilk önce kırılması ve sonra yukarı alınması uygun olur (Hunt,1986).



Şekil 5.1. Sondaj kazıklarının geometrik profilleri (Hunt, 1986)

- (a) Şaftı düzgün sondaj kazıkları, (b) Tabanı genişletilmiş sondaj kazıkları, (c) Hem tabanı hem gövdesi genişletilmiş sondaj kazıkları

Fore kazık imalatı için açılan çukur kuruduktan (kurutulduktan ve kendini kemerledikten ve donatı yerleştirildikten sonra konveyörler, boşaltma boruları yada Tremie (Özel beton iletim boruları ve boşaltma hunisi bir beton döküm ve iletim yöntemi) tekniği ile çukurun içine segregasyona izin verilmeksizin uygun bir hızda proje normlarına uygun beton boşaltılarak kazık uçtan yukarıya doğru betonlanır. Betonun serbest durum sırasında kazandığı ivme ile kompaksiyonsuz olarak yerleştirilmesi için serbest durum yüksekliğinin 1.5 – 2.0 m ‘yi geçmemesi tavsiye olunur.

Bazı uygulamalarda açılan foraj çukurunun çeperinde bulunan zemin yada bir kısım yumuşak gevşek zemin tabakaları yeterince kemerlenemeyerek çukur boşluğuna akabilir ve çukurun stabilitesini bozabilirler. Bu bakımdan kazı

sırasında ve sonrasında “casing” borularının varlığı önem kazanmakta; eğer geçici amaçlar için casing boruları kullanılıyorsa çukur içine beton doldurulacağı zaman adı geçen boruların (kontrollü olarak) yukarı çekilmeleri sırasında özen ve dikkat gösterilmelidir. Uygulamada beton yerleştirme faaliyetlerinde casing borusunun alt ucunun çukur içini doldurmakta olan betonun üst kotuna en az 1.5 m uzak bulunması esas alınmaktadır. Geçici maksatlar için kullanılan casing borularının yer altı su seviyesinin altına inmesi sağlandığı zaman beton tarafından çukur cidarlarına uygulanan basınç, yer altı suyu tarafından uygulanan basıncı dengeleyinceye kadar boruların çekilmemesi önerilmektedir. Foraj çukurunun içine su akışı daima kontrol edilemez. “Tremie” metodu ile çukurun içini betonla doldurmadan önce çukurun içindeki suyun mutlaka dışarı atılarak çukurun temizlenmesi ve kurutulması gerekmektedir. Benzer koşullar altında beton boşaltım işlemleri sırasında da su gelirinin pratik olarak sıfır olması lazımdır. Eğer beton boşaltım çalışmaları sırasında çukura yine su geliyorsa bu betonu sulandıracağı için hem slump değerini yükselterek prizini geciktirir hem de projede öngörülen dayanım düzeyinin çok altında kalınmasına yol açar. Öte yandan sözkonusu su geliri segregasyonu ve dolayısıyla mukavemet azalmalarını körükler. Alt kısmında bir kapak bulunan bazı “tremie” türleri açılan foraj çukurunun tabanına yerleştirilir ve böylelikle de suyun bu bölgede betona nüfuz etmesi diğer bir deyişle betonun sulanması engellenmiş olur [1].

5.3. Kazıkların İmalat Etkileri

Bir kazığın imalat metodu, onun yük altındaki davranışında büyük rol oynar. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki çakma kazıklar diğer imalat şekillerine göre zemini daha fazla örselerler. Nispeten sondaj kazıkların daha az örsedeği gözlenmiştir. Kazıkların imalatı sırasında kazığı çevreleyen zemin orijinal özelliklerinde önemli değişiklikler gözlenir. Bu değişimler normal arazi araştırmaları, numune alma ve laboratuvar veya arazi deneyleri yardımıyla belirlenir.

5.3.1. Çakma kazıkların imalat etkileri

Kil zemin içinde yapılan kazıklarda karşılaşılan problemler Mello (1969) tarafından dört gruba ayrılmıştır.

- Kazık çevresindeki zeminde yoğrulma veya yapısal yer değiştirme
- Kazık çevresindeki zeminin gerilme durumundaki değişimler
- Kazık çevresinde oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının dağılması
- Zemindeki uzun vadeli mukavemet kazanma olayları

Kazık Kapasitesine ve Zemin Kayma Mukavemetine Etkisi:

Kazık imalatını takip eden farklı zamanlarda yapılan kazık yükleme deneylerinde elde edilen göçme yükleri farklılık göstermektedir. Bu gösteriyor ki kazık çakma esnasında boşluk suyu basıncının artmasından dolayı hissedilir derecede düşen bir kilin drenajsız mukavemeti zaman içinde artışa geçer.

Yapılan araştırmalarda kazık çakma esnasında ne kadarlık bir bölgenin yoğrulmaya maruz kaldığı kavramı araştırmacılar tarafından hem fikir olunamayan bir kavramdır. Mello (1969) 'ya göre çakılmadan sonra ani olarak kazık çevresindeki 1.5 veya 2 kazık çapı kadar olan zeminin hepsi yoğrulmaktadır. Orrje ve Broms (1967) ise hassas killerde imal edilen beton kazıklarda, kazıklar arasındaki mesafe en az 4 kazık çapı bırakıldığında 9 ay içinde zeminin orijinal kayma mukavemetine ulaştığını belirtmektedirler.

Kum Zeminde ise;

Bir kazık kuma ve kohezyonsuz bir zemine çakıldığında zemin, deplasman ve vibrasyon etkisi ile sıkışarak yeni bir yapı oluşur ve bazı daneler kırılır. Böylece yumuşak kumlarda, kazığın taşıma gücü çakma kazıklarda rölatif yoğunluğun artmasından dolayı artar. Bunun sonucu olarak yumuşak kumlarda çakma kazıklar, sondaj kazıklarına göre avantajlıdır.

Robinsky ve Morrison (1964) kumlarda yaptığı bir dizi model deneyinde kazık çevresindeki zeminin kompaksiyonu ve deplasmanı incelemiştir. Başlangıç rölatif sıklığı %17 olan yumuşak kumlarda kazık çevresinde 3 ila 4 kazık çapı, kazık ucunda ise 2.5 ila 3.5 kazık çapı kadar bir bölgenin zemin hareketi gözlenmiştir.

5.3.2. Sondaj kazıklarının imalat etkileri

Sondaj kazıklarının imalatına etki eden faktörler zemin cinslerine göre aşağıda verilmiştir.

Kil Zeminde;

Killerde sondaj kazıklarının imalatının etkileri kazık ile zemin arasındaki adhezyon faktörünün değişimi açısından incelenmiştir. Adhezyon imalattan önce drenajsız kohezyonda daha düşük bulunacaktır. Bunun başlıca sebebi yüzeye yakın kilin yumuşamasıdır. Yumuşama şu sebeplerden artar.

- Islak betondan nemin emilmesi
- Sondaj çevresindeki düşük gerilmeli bölgelere doğru kil bünyesindeki suyun yayılımı
- Sondaj çukuruna delme operasyonu esnasında suyun dolması

Üçüncü şık kaliteli delme teknikleri ile önlenabilir ve ikinci şıkta da delme işleminin en kısa sürede yapılmasıyla minimum bir seviyeye indirgenebilir.

Diğer taraftan killerdeki sondaj kazıklarında, delme etkisiyle kazık ucundaki zemin örselenir ve yumuşar. Sondaj kazıklarında yapısal problemlerde gözlenebilir. Bunlar Panday (1967) tarafından şu şekilde sıralanmıştır.

- Sondaj deliğinin kazılması sonucu kazığın bazı bölgeleri boyun yapar.
- Kazık içindeki agrega ayrılır.
- Kazık donatısı burkulabilir.

Kum Zeminde:

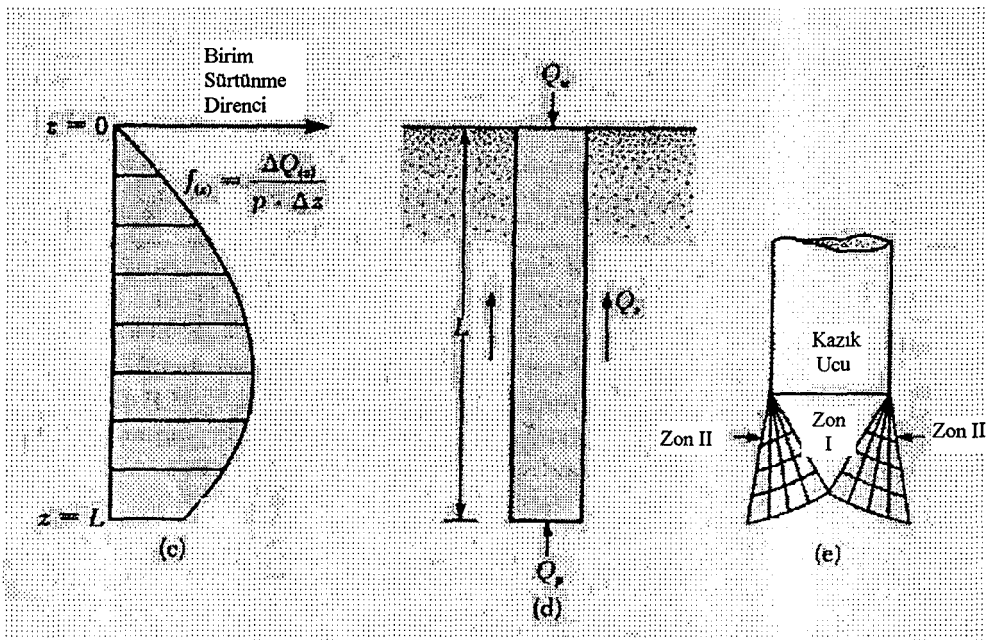
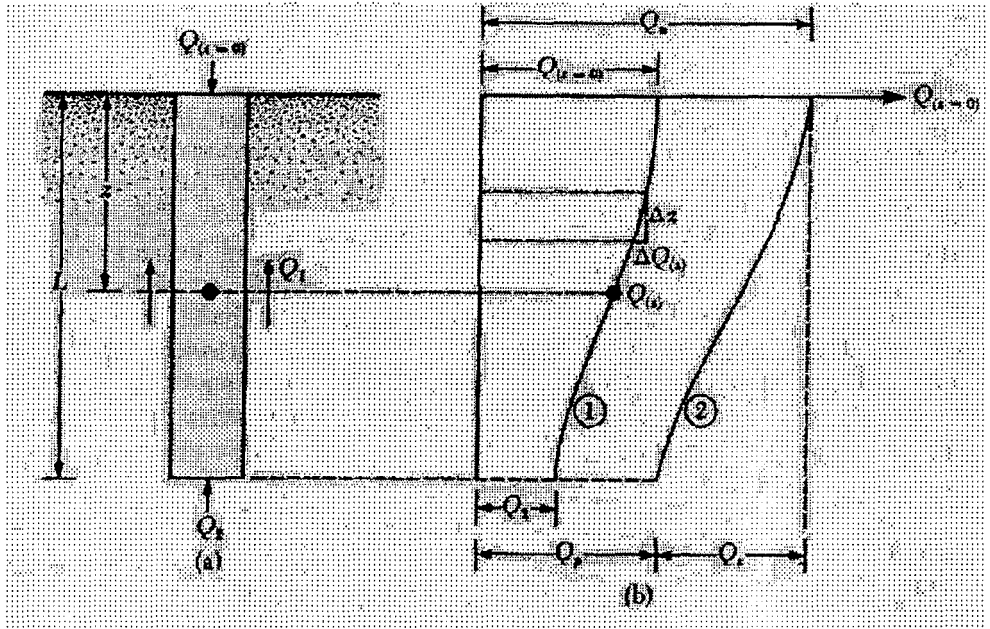
Kumlarda ve kohezyonsuz zeminlerde sondaj kazıklarının imalat etkileri konusunda fazla bir açıklayıcı bilgi yoktur. Sondaj kuyusunun göçmemesi ve kuyu duvarlarını tutmak için sondaj sıvısı veya kaplama gerekmektedir. Sonradan bu kaplama betonlama sırasında çekilmesiyle kazık yanıl yüzeyindeki zemin örselenir ve bir miktar genişler. Böylece kazık zeminden sıyrılır. Tomlinson (1975)'a göre yoğun çakıllar veya yukarı yönde hareketlerin olmadığı zamanlar, nihai kayma mukavemeti açısı kullanılmalıdır. Çünkü, beton dökülmesiyle kazık ucundaki zemin tekrar sıkışacak ve ϕ açısı yoğun durumdaki değerini alacaktır. Kazık yanıl yüzeyini de betonun yayılmasından dolayı yüksek adhezyon olması halinde kazık ucundaki zeminin sıkışması mümkün olmayacaktır [6].

6. KAZIKLARIN ZEMİNE YÜK AKTARMA MEKANİZMASI

Kazıktan zemin yük aktarma mekanizması oldukça karmaşıktır. Bu olayı yorumlamak için Şekil 6.1a'da gösterilen kazık uzunluğu "L" boyunca yük dağılımının irdelenmesi lazımdır. Kazık üzerindeki yük "Q_w" zemin yüzeyinden başlayarak derinlikte yavaş yavaş azalmaktadır. Bu yükün bir kısmı kazık gövdesi boyunca çepeçevre gelişen yüzey sürtünmesi ile karşılanan "Q_{ws}" ve kazık ucunun altında kalan zemin tarafından karşılanan "Q_{wp}" dir. Yük aktarma mekanizması toplam yükün ne kadarlık kısmının "yüzey sürtünmesi" ne kadarlık kısmının "uç mukavemeti" ile karşılanacağını belirlemektedir. Eğer herhangi bir "z" derinliğinde kazık shaftı tarafından taşınacak [Q_z] yükünün belirlenmesi için ölçümler yapılırsa "Q_{ws}" yükünün shaft boyunca dağılımı Şekil 6.1b'de görüldüğü gibi olmaktadır. Herhangi bir "z" derinliğinde "birim shaft alanına isabet eden yüzeysel sürtünme direnimi" [f_z], (6.1) bağıntısıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Şekil 6.1c) (Das, 1990).

$$f_z = \frac{\Delta Q_z}{[P][\Delta z]} \quad (6.1)$$

Bu bağıntıda "P" kazık enkesitinin çevre uzunluğunu göstermektedir. Eğer kazık üzerindeki "Q_w" yükü yavaş yavaş arttırılırsa kazık shaftı boyunca oluşan yüzeysel sürtünme direnimi kazığın çevre zeminine karşı göreceli hareketi 5 – 10 mm. ye ulaştığında maksimum derecede mobilize olmuş olacaktır. Buna karşın tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için kazık tabanının, çakma kazıklarda çapın %10'u, fore kazıklarda (%25 - %30)'u kadar hareket etmesi gerekecektir. Kazık tepesine etkiyen yükün göçme yükü – nihai yük taşıma kapasitesi "Q_u" değerine ulaşması halinde gerek çevrede ve gerekse de uçta taşınabilecek maksimum kapasitelere erişilmiş olacaktır. Nihai yük kazığa uygulandığında (Şekil 6.1d) taşıma kapasitesi maksimum değere ulaştığı için kazığın uç bölgesinde Şekil 6.1e'de tariflenen zonlarda çatlaklar oluşur. Daha büyük şiddetteki yüklerde zeminde kesme makaslaması etkisinde oluşabilen göçmeler nedeniyle kazıklar zemine gömülürler. Sonuçta ise farklı gömülülükte farklı zemin koşullarında yeni bir kazık oluşmuş olur. Kazıklı temel ve diğer derin temel inşaatlarında en fazla çatlağın zımbalama etkisinin olduğu kesimlerde meydana geldiği görülmüştür [1].



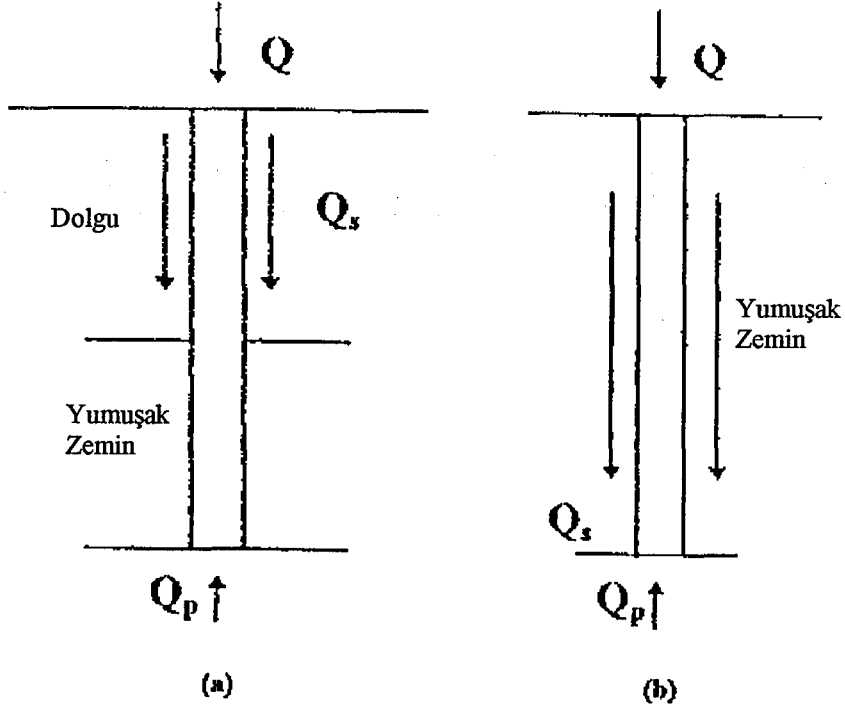
Şekil 6.1. Kazıklarda yük aktarma mekanizması (Das, 1990)

7. KAZIKLARDA NEGATİF ÇEVRE SÜRTÜNMESİ

Negatif çevre sürtünmesi kazıkların hasar görmesine sebep olan başlıca etkenlerden biridir. Pozitif çevre sürtünmesinin aksine kazık taşıma gücünü azaltan bu kuvvet bazen kazık servis yükünü büyük ölçüde azaltacak değerler almaktadır. Negatif çevre sürtünmesi oluşumunda etken olan çeşitli faktörler üzerinde durulmuştur. Zemin yüzeyi toplam oturmasının 100 mm 'den büyük olduğu, çakma yada delme kazıklarda zemin yüzeyi oturmasının 10 mm 'den büyük olduğu durumlarda, zemin yüzeyine yerleştirilen dolgu yüksekliği 2 m 'den büyük olduğunda, su seviyesindeki alçalma 4 m 'den büyük olduğunda yada kazık boyu fazla iken negatif çevre sürtünmesini tasarımda göz önüne almak uygun olur. Tabii bunlar yalnızca genel yaklaşımlardır ve pratikte problemi ortaya çıkaran zemin şartlarına bağlı başka durumlarla karşılaşılabılır.

Aşağıda negatif sürtünmenin nasıl oluştuğu anlatılmaya çalışılmıştır.

Şekil 7.1 'de görülen kazık, uygulanan Q yükü altında uçta ve kazık çevresi boyunca zemine göre rölatif olarak aşağı hareket eder. Böylece yukarı etki eden Q_p aşağı doğru etki eden Q yüküne dayanır. Bazı durumlarda şaftı çevreleyen zeminin bir kısmı yada tamamı kazığa göre rölatif aşağı hareket eder. Bu durum Q_s 'in yönünü değiştirir. Q_s böylece bir destek kuvveti olmaktan çıkar. Kazık tarafından taşınması ve tasarımda göz önüne alınması gereken bir kuvvete dönüşür. Şekil 7.1 negatif çevre sürtünmesinin oluşabileceği iki klasik durumu göstermektedir. Şekil 7.1.a 'da bir dolgu yumuşak zeminin üzerindedir ve kazık bunların arasından sağlam zemine ulaşır. Bu durum ya daha önce çakılmış kazığın üstüne dolgu konması ya da kazıkların dolgu, yumuşak zemin ve sağlam zeminden oluşan zemin profili boyunca çakılması şeklinde olabilir. Dolgu, zeminin sıkışmasına neden olur ve böylece hem dolgu hem de zeminin büyük bir kısmı aşağı doğru hareket eder. Yerleştirilen dolgu çok büyük miktarlarda oturmalara yol açabilir, çevreleyen zemin ile kazık arasındaki rölatif yer değiştirme, kazık üzerinde negatif çevre sürtünmesini harekete geçirir.



Şekil 7.1. Negatif çevre sürtünmesi oluşumu

Şekil 7.1.b ' de, kazık yumuşak zemin boyunca imal edilmiştir. Zeminin kazık tarafından örselenmesi zeminin sıkışmasında büyük bir artışa neden olabilir ve kazık shaftı çevresinde çok yüksek değerlerde basınçlar oluşabilir. Böylece oturma meydana gelir. Kazık çevresindeki zeminde oturma ayrıca yakın mahallerde yapılan inşaatlardan da kaynaklanabilir. Komşu bölgelerdeki kazık çakımı çevre basınçlarında artışa, kazıktan uzak mesafedeki bir su seviyesindeki alçalma yumuşak zeminde bir efektif gerilme artışına ve böylece oturmaya yol açabilir.

Şekil 7.1.b ' de görülen durum daha yaygın olmakla beraber, Şekil 7.1.a ' da ki durum daha ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Yumuşak zeminlere oturan dolgular çok büyük miktarlarda oturmalara yol açmaktadırlar. Kohezyonsuz zeminlerin negatif sürtünme kapasitesi ise oldukça büyüktür. Fellenius (1972) kazık üzerindeki deneyleriyle, negatif çevre sürtünmesi hakkında belli sonuçlara varmıştır. Yaptığı deneyde, üstte 40 m kalınlıkta sıkışabilir yumuşak kil ve altta 15 m kalınlıkta az sıkışan silt – kum tabakası içine çakılmış iki prefabrik kazık üzerinde negatif çevre sürtünmesinin zamanla değişimini aletsel olarak incelemiştir.

Bu deneyle de yumuşak kilin yeniden konsolide olması sonucunda kazıklara 300 kN ‘ luk ilave bir yük geldiğini gözlemiştir. Bölgesel oturmalar sebebi ile de kazıkta yılda 150 kN gibi az bir yük artışı olmuştur. Kazık yapımı bitip, kazığın normal taşıyacağı yük olan 440 kN ‘ luk yük etkilendikten 17 ay sonra her kazığa 440 kN yük eklenmiş, bir sene sonraki artış ise 360 kN olmuştur. Tüm bu yüklemeler kazığın belli bir oranda oturmasına sebep olmuş, dolayısıyla kazık üzerindeki negatif çevre sürtünmesinin bir miktar azalmasını sağlamıştır. Fakat kazık oturmasını tamamladıktan sonra bölgesel oturmanın, kazık üzerindeki negatif çevre sürtünmesi değerini arttırdığı gözlenmiştir. Buradan da kazığa gelen negatif çevre sürtünmesinin kazığın oturması ile zeminin konsolide olması arasındaki korelasyona göre artacağı veya azalacağı sonucuna varılmıştır.

7.1 Negatif Çevre Sürtünmesinin Hesabı

Meyerhof sert killerde çakma kazıklarda, negatif çevre sürtünmesinin efektif gerilme ve penetrasyon derinliği ile artan β katsayısına bağlı olduğunu ileri sürmüştür. β değeri suya doymun killerde Flaate ve Selnes tarafından önerilen ve aşırı konsolidasyon oranına bağlı ampirik korelasyonla belirlenebilir.

$$\beta = \beta_{NC} \cdot OCR^{0.5} \quad (7.1)$$

Bu eşitlikte, OCR zeminin aşırı konsolidasyon oranını, β_{NC} ise normal konsolide durumdaki β değerini ifade etmektedir.

Bjerrum (1969), negatif çevre sürtünmesinin, kilin drenajsız kayma mukavemeti ile ilgisi olmadığını ileri sürmüştür ve bunu;

$$T_{act} = K_s \cdot p_0 \cdot \tan \phi_e + X \cdot P_e \quad (7.2)$$

bağıntısı ile vermiştir.

Bu eşitlikte;

T_{act} : Birim negatif çevre sürtünmesini,

K_s : Yatay toprak basıncı katsayısını,

P_0 : Efektif üst tabaka yükünü,

ϕ_e : Efektif kayma mukavemeti açısını,

X : Yükleme oranı faktörünü,

P_e : Konsolidasyon basıncını temsil etmektedir.

Birinci terim sürtünme direncini verir ve ön yükleme oranına bağlıdır. Kohezyonu temsil eden ikinci terim kazık ve zemin arasındaki rölatif hareketin çok ufak olmasından dolayı sıfır kabul edilir. Bjerrum bu eşitlik sayesinde, negatif çevre sürtünmesini Çizelge 7.1 'de görüldüğü gibi hesaplamıştır.

Çizelge 7.1. Kil zeminlerde negatif çevre sürtünmesinin hesabı

Kil Cinsi	ϕ_e	K	Birim negatif çevre sürtünmesi
Siltli	30°	0.45	0.25 * P_0
Düşük Plastisiteli	20°	0.50	0.20 * P_0
Plastik	15°	0.55	0.15 * P_0
Yüksek Plastisiteli	10°	0.60	0.10 * P_0

Terzaghi ve Peck (1967) ise kazığa verilen maksimum düşey kuvveti, kazık boyunca elde edilen limit kayma mukavemeti kuvvetleri toplamından hesaplamışlardır. Tekil bir kazıkta, herhangi bir z derinliğinde, P düşey kuvveti,

$$P = \int_0^L \tau_a \cdot c_k \cdot dz \quad (7.3)$$

olarak bulunur. Bu eşitlikte;

τ_a : Zemin – Kazık arasındaki kayma gerilmesi limit değeri,

c_k : Kazık çevresi olarak tanımlanır.

Coulomb kırılma hipotezinden elde edilen τ_a ise;

$$\tau_a = c'_a + K_s \cdot \sigma'_v \cdot \tan \Phi'_a \quad (7.4)$$

olarak bulunur.

Bu eşitlikte;

c'_a : Drenajlı kazık çevresindeki zemin adezyonu,

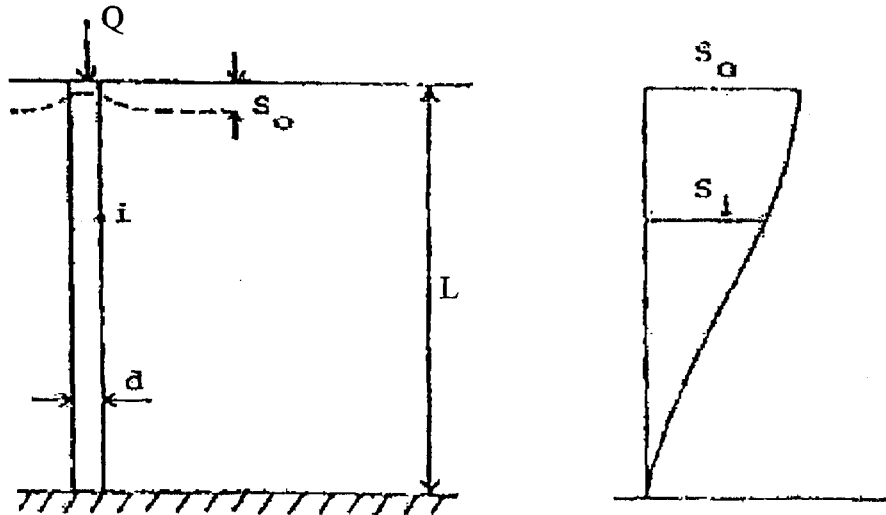
K_s : Yatay toprak basıncı katsayısı,

σ'_v : Efektif düşey gerilmesi,

$\tan \phi'_a$: Kazık çevre zeminindeki drenajlı kayma mukavemetini ifade etmektedir.

Poulos ve Davis uç kazıkları için kazık – zemin rölatif rijitliğini de hesaba katan bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri formüllerin çözümü uygun sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilebilir.

Poulos ve Davis' in analizlerinde ele aldıkları en önemli parametreler zemin elastisite modülü E_s , Poisson oranı ν_s ve zemin - kazık arasındaki kayma mukavemeti parametreleridir. Şekil 7.2 'de araştırmacıların inceledikleri yük ve zemin koşulları verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi yöntem noktasal yük için geliştirilmiştir. Zemin – kazık arasındaki kaymanın tam olarak mobilize olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte tam mobilizasyon olmadığı durumlar için bir düzeltme katsayısını hesaba katmışlardır. Ayrıca bu araştırmacılar sürşarj yükün ne kadar zamandır var olduğunu ve kazık yerleşim zamanını da hesaba katmışlardır. Bunu da aynı şekilde yine bir düzeltme katsayısı yardımı ile ifade etmişlerdir.



a) Kazık Geometrisi

b) Derinlikle zemin hareketinin dağılımı

Şekil 7.2. Yarı elastik uzayda noktasal yük altında kazık ve zemin davranışı

Poulos ve Davis'in önerdikleri yöntem Mindlin'in elastik çözümüne dayanmaktadır. Bu çözümü birçok araştırmacı analizlerinde esas almışlardır.

Poulos ve Davis'in önerdiği çözümün en basit ifadesi aşağıda sunulmuştur.

$$P = \pi.D.L. \left[c'_a + K_s \cdot \tan \Phi'_a (\gamma L / 2 + q_0) \right] \quad (7.5)$$

Bu eşitlikte;

q_0 : Dolgu yükünü,

D : Kazık çapını ve

L : Kazık boyunu ifade etmektedir.

Poulos ve Davis'in çalışmalarında belirttikleri enteresan bir nokta ise, limit kayma gerilmesi τ_a 'nın, efektif düşey gerilmeye oranı σ_v ' ye oranının (τ_a / σ_v), drenajsız kohezyon değeri c_u ' nun, efektif düşey gerilmeye oranı (c_u / σ_v) ile arttığıdır. Ayrıca bazı araştırmacılar c_u / σ_v oranının plastisite indisi ile arttığını da ortaya koymuşlardır. Kazığı bitüm ile kaplamanın τ_a / σ_v değerini önemli oranlarda azalttığı görülmüştür.

Broms, eğer kazık zemin rölatif yer değiştirmesi 5 – 10 mm 'den büyük ise negatif çevre sürtünmesi değerini veren adezyon teriminin;

$$c_a = \sigma' \cdot K_s \cdot tg \phi'_a \quad (7.6)$$

şeklinde hesaplanabileceğini belirtir.

c_a : Kazık ile zemin arasındaki adezyonu,

σ' : Efektif üst tabaka gerilmesini ifade etmektedir.

$K_s \cdot tg \phi'_a$ tamamı ile kazığa etki eden tabii yatay toprak basıncı katsayısına ve oturma hızına bağlıdır. Çizelge 7.2, 10 mm/yıl 'lık bir oturma hızı için çeşitli zeminlerdeki $K_s \cdot tg \phi'_a$ değerlerini vermektedir. Eğer likit limit %50 'den büyük ise her %10 'luk oturma hızı artışı için $K_s \cdot tg \phi'_a$ değerinin %20 arttırılabileceği kabul edilir. Yüksek likit limitli killer için önerilen değerler yaklaşık olarak, arazi Veyn deneyleri tarafından belirlenen drenajsız kayma mukavemetinin yarısıdır.

Bazı araştırmacılar negatif çevre sürtünmesinin bulunan bu değerden daha fazla olamayacağını ileri sürmektedirler.

Yine yukarıda belirtilenlere paralel olarak bazı araştırmacılar da, kohezyonlu zeminlerde negatif çevre sürtünmesinin, pozitif çevre sürtünmesinde olduğu gibi zeminin drenajsız kohezyonu ile ilgili olduğunu ileri sürmüşler ve drenajsız kohezyon değeri (c_u) 2.5 t/m² den küçük ise aynen, 5 t/m² den büyükse en çok bu değerin gözönüne alınması gerektiği görüşünü benimsemişlerdir.

Çizelge 7.2. Zemin Cinsi - $K_s \cdot tg\phi'_a$ İlişkisi

Zemin Cinsi	$K_s \cdot tg\phi'_a$
Kaya Dolgu	0.40
Kum, Çakıl	0.35
Silt, Normal konsolide kil ($w_L < 50$)	0.30
Normal konsolide kil ($w_L > 50$)	0.20

Son yıllarda, Poulos ve diğ. gibi araştırmacıların çalışmalarında ele aldığı yarı elastik uzayda kazık üzerine etki eden noktasal yükten hareketle geliştirilen hesap yöntemlerinden farklı olarak Castelli ve diğ., ayrıca Wong ve Teh gibi araştırmacılar bazı yük transfer metotları geliştirmişlerdir. Daha önceki yaklaşımların zeminin homojen olmayan ve anizotrop yapısını temsil etmediğini ileri süren Wong ve Teh zemin – kazık ara yüzeyini nonlineer hiperbolik yaylar ile ifade etmişlerdir. Böylece bu araştırmacılar karmaşık zemin – kazık ara yüzeyini basit bir hiperbolik fonksiyonla temsil etmişlerdir.

7.1.1. Kazık gruplarına etkiyen negatif sürtünme

Kazık grubuna etkiyen negatif sürtünmenin, tekil bir kazığa etkiyenden daha az olduğu yapılan birçok çalışma ile ortaya konmuştur. Broms yaptığı çalışmalar sonucunda, kazık grubunun maruz kalacağı negatif sürtünmeyi, kazık aralıkları kazık çapının dört katından büyükse ($>4D$) tekil kazıkların sahip olduğu

değerlerin toplamından; kazık aralıkları kazık çapının dört katından küçükse (<4D) toplam negatif çevre sürtünmesinin;

$$c_a = 2.c_u.L.(B_1 + B_2) \quad (7.7)$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini ileri sürmüştür. Ayrıca dolgu ağırlığı da dikkate alınmalıdır. Esas olarak grup çevresindeki zeminler negatif sürtünmeden etkilenirler. Bu kazıklarda çevreleyen zeminin yer değiştirmesi kazıklarınki ile aynı olur. Fakat kazıklar arasındaki zemine kazıkların elastik kısılmadan dolayı yükün daha az bir kısmı etki eder. Negatif sürtünmenin bir su alçalmasından kaynaklandığı durumda dolgu yükü;

$$q_0 = h_w \cdot \gamma_w \cdot g \quad (7.8)$$

ifadesinden hesaplanır. Bu ifade de h_w yer altı su seviyesinin alçalma miktarını, γ_w ise suyun birim ağırlığını temsil etmektedir.

Kazık grubunun dışındaki kazıklar daha büyük negatif çevre sürtünmesi taşırlar. Bu kazıkların;

$$S.L_1.c_u \quad (7.9)$$

eşitliğine göre, iç kısımdaki kazıkların ise,

$$q_0.S^2 \quad (7.10)$$

eşitliğine göre boyutlandırılması gerekmektedir. Bu ifadelerde; S kazık aralığını, L_1 kazık boyu ya da nötr noktaya uzaklığı, c_u drenajsız kohezyonu ifade etmektedir. Nötr nokta negatif çevre sürtünmesinin sıfırlandığı noktadır. Tasarımda negatif sürtünme dikkate alınıyorsa, yalnızca ölü yükler değerlendirilir. Hareketli yükler ise sadece negatif sürtünmenin iki katına ulaştıklarında göz önüne alınır. Güvenlik katsayısı hesaplanırken ($G.S=2.5 - 3.0$), uç mukavemetinden ($Q_{uç}$) negatif sürtünme değerinin çıkarılması (Q_{nf}) ile hesap edilen net yük dikkate alınmalıdır. Buradan izin verilen yük (Q_p);

$$Q_p = (Q_{uç} - Q_{nf}) / GS \quad (7.11)$$

olmaktadır.

Poulos ve Kuwabara kazık gruplarına gelen negatif sürtünmeyi hesaplamada, rijit sıkışmaz tabakaya oturan tekil uç kazığı için Poulos ve Davis'in önerdikleri yöntemi geliştirerek bir çözüm önermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, değerlendirmeleri kare şeklinde düzenlenmiş 25 kazıktan oluşan kazık grubu için yapmışlardır. Zemin yüzeyinin oturmasının üstte S_0 değerinden başlayarak lineer olarak azaldığı ve uç kısımda sıfır değerini aldığı varsayılmıştır. Bu araştırmacılar çalışmalarında Broms'un bulduğu sonuçlara benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda kazık grubuna etkiyen negatif sürtünmenin belli bir değere kadar kazık sayısına, kazıkların rölatif rijitliğine ve zemin modülünün derinlikle değişimine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacıların buldukları sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tekil bir kazıkta kazık – zemin ara yüzeyinde tam mobilizasyon olduğu varsayılır (Wong ve Teh, Castelli ve dig. Yöntemleri bunlardan farklıdır). Fakat grup içindeki kazıklarda, ilave kazıkların etkisi ile daha az oturma oluşmaktadır. Bu yüzden grup içindeki kazıklara, dış kazıklara göre daha az negatif sürtünme etkimektedir. Poulos ve Kuwabara bu yöntemi iki durum için incelemiştir. Birinci durumda kazık başlığı esnek kabul edilmiş ve bu durumda tüm kazıklara üstte aynı kuvvet etkilediği varsayılmıştır. Kazık başlığının rijit kabul edildiği ikinci durumda ise üniform oturma olduğu varsayılmıştır. Bu durumda kazık başlarına dış kazıklarda çekme, içerdeki kazıklarda ise basınç kuvvetleri etkimektedir. Kazık başlarına gelen yüklerin toplamı sıfırdır. Kazık grubuna gelen negatif sürtünme Broms'un çalışmasında görüldüğü gibi tekil kazıktakinden çok daha düşüktür. Ayrıca kazıkların grup içindeki pozisyonuna göre de etkiyen negatif sürtünme değeri değişmektedir. Poulos ve Kuwabara dış kazıklara tekil bir kazığa gelen negatif sürtünmenin yarısı kadar bir yük geldiğini, içteki kazıklarda ise %90'a varan azalma olduğunu kaydetmişlerdir. Dış kazıklarda shaftın üst kısımlarında çok yüksek kayma gerilmeleri ölçülmüştür, fakat içteki kazıkların %80'lik alt kısımlarında çok düşük değerler kaydedilmiştir. Kazık aralığı arttıkça içerdeki kazıkların dışarıdakilerle aynı davranışı göstermeye başladığı gözlemlenmiştir.

Kazık başlığının rijit yada esnek olması sadece üst kısımda kayma gerilmesinin değişimini etkilemiş, shaft boyunca bir etkisi görülmemiştir.

Kazık aralığının (s) – kazık çapına oranı (d) olan (s/d) değeri azaldıkça kazık grubuna etkiyen negatif sürtünme değerinin de azaldığı gözlenmiştir. Kazık grubunda ise en az kuvvet en merkezdeki kazıkta kaydedilmiştir. Aynı pozisyonlardaki kazıkların maruz kaldığı negatif sürtünme değerleri arasındaki fark kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. s/d oranını rijit ve esnek kazık başlığı için negatif sürtünme değerine etkisi incelendiğinde kazık başlığı rijit kabul edildiğinde kazıklardaki negatif sürtünme değerinin birbirine yaklaştığı gözlenmiştir. Bunun nedeni rijit kazık başlığının üniform oturma sağlamasıdır. Kazık başlığı esnek olduğu durumda uç değerlerin ortalamadan farkı %15 mertebesinde, fakat rijit olması durumunda bu değer %7 olmaktadır.

Yapılan gözlemler sonucu kazık grubunu oluşturan kazık sayısı 9 dan fazla olduğunda aynı pozisyondaki kazıkların maruz kaldığı negatif sürtünme değerinin sabit kaldığı kaydedilmiştir. Poulos ve Kuwabara elde edilen sonuçlar neticesinde, 5x5 kare şeklinde düzenlenmiş 25 kazıktan oluşan kazık grubunun büyük ölçekli kazık gruplarını incelemede referans olarak alınabileceği sonucuna varmıştır.

Araştırmacılar negatif sürtünmenin aynı şekilde kazık – zemin rölatif rijitliği ($K=E_p/E_s$). R_A) ile değişimi de incelemişlerdir. Bu değer tekil kazığa gelen negatif sürtünme değerini önemli ölçüde etkilediği fakat kazık grubuna gelen yükler üzerinde belirleyici olmadığı görülmüştür. Genel eğilim artan K değeri ile negatif sürtünmenin de artmasıdır. Fakat içteki kazıklarda alt kısımlarda pozitif sürtünme oluşması nedeni ile artan K değeri ile negatif sürtünmenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Zemin elastisite modülünün sabit varsayılmadığı ve lineer olarak değiştiği durumlarda tam mobilizasyonu sağlamak için daha büyük oturma değerleri gerekmektedir. Bu yüzden özellikle büyük kazık aralıkları için homojen olmayan durumda kazık grubuna etkiyen negatif sürtünme, homojen zeminde oluşan değerden daha küçüktür. Poulos ve Kuwabara çalışmalarını, Okabe'nin birebir ölçekli deneyinde 38 kazıktan oluşan kazık grubu için ölçtüğü değerlerle karşılaştırmış ve teorik olarak bulunan değerlerin ölçülen değerlere yakın olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer bir yaklaşım Wong ve Teh (1995) tarafından geliştirilmiştir. Wong ve Teh çalışmalarında zeminin homojen ve izotrop, kazık başlığının rijit olduğunu varsayımlardır. Ayrıca kazık başlığının zemin yüzeyi ile

temas etmediği varsayılmıştır. Bu yöntem Poulos ve Kuwabara'nın yöntemi ile bulunan değerlere yakın sonuçlar vermektedir. İki yöntem arasındaki fark problemin değişik şemalanması ve Mindlin çözümünde Wong ve Teh'in, D'appoloni ve Romualdi'nin rijit tabakanın varlığını hesaba katan görüntüleme tekniğini çözümlerine esas almalarıdır. Poulos ve Kuwabara ve Wong ve Teh'in yöntemlerinde olduğu gibi Chow ve dig. de çalışmalarında Mindlin'in elastik çözümünü ele almışlardır. Chow ve dig. çalışmalarını sıkışabilir sağlam tabakaya oturan ve soket kazık olarak adlandırılan kazıklar üzerinde yürütmüşlerdir.

Wong ve Teh yöntemlerini uç kazıkları için geliştirmiş olsalar da Chan, Karasudhi ve Lee'nin iki tabakalı elastik çözümü kullanılarak sürtünme kazıkları ve soket kazıklarda da bu yöntemin kullanılabileceğini ileri sürmektedirler. Wong ve Teh'in çalışmalarında buldukları ilginç bir sonuç E_p/E_s oranının artması ile negatif sürtünmenin daha küçük oturmalarda mobilize olduğu ve kazıklara daha fazla negatif sürtünme etkidiğidir. Shibata ve dig. de gerçekleştirdikleri model deneylerinde benzer sonuçlara varmışlardır.

7.2. Negatif Çevre Sürtünmesinin Kazık Boyunca Dağılımı

Negatif çevre sürtünmesi kazık boyunca sabit bir değer ifade etmez. Genel itibari ile kazık sürtünmesi başlangıçta derinlikle beraber artmakta, daha sonraları ise kazığın bir miktar oturması ile azalarak sıfırlanmaktadır. Kazık yüklendiğinde ise, kazığın elastik sıkışması başlangıçtaki negatif sürtünmeyi elimine eder. Sağlam tabakaya oturan zeminlerde negatif sürtünmenin sıfırlandığı nokta, kazık uç kısmına yakın bir noktadır. Oysa sıkışabilir sağlam bir zemine oturan kazıkta bu nokta daha yukarıdadır.

Negatif çevre sürtünmesi kazık oturmasının zemin oturmasına eşit olduğu ve nötr nokta olarak adlandırılan bir yere kadar etkili olur. Bu noktadan sonra pozitif çevre sürtünmesi etkili olur. Norveç'te kazığın elastik kısılmalarını hesaba katabilmek için nötr noktanın, çevreleyen zeminin 5 mm oturma yaptığı varsayılır. Bu öneri hem basit hem de birçok uygulama için yeter doğruluktur. Kazık kaya gibi taşıyıcı bir tabakaya oturduğunda hemen hemen kazığın tümü negatif çevre sürtünmesine maruz kalır. Buna neden olan etken ise sağlam tabakanın kazığın

oturmasına engel olmasıdır. Böylece nötr nokta kazığın dip kısmına yakın bir yerdedir. Uç kazığında herhangi bir şekilde kazığın oturması söz konusu olmadığından büyük negatif çevre sürtünmesi değerleri meydana gelir. Sürtünme kazığında kazık oturma imkanı bulacağından nötr noktanın yeri daha yukarı kısımlarda yer almaktadır.

Kohezyonsuz doğal zemin üzerinde kohezyonlu bir dolgunun olduğu zemin profilinde kazık inşa edildiğinde, teorik olarak yalnızca kohezyonlu tabaka içinde negatif çevre sürtünmesi meydana geleceği kabul edilir.

7.3. Negatif Çevre Sürtünmesini Azaltma Yöntemleri

Negatif çevre sürtünmesi zeminden çok kazık üzerinde yapılan bir takım işlemlerle azaltılabilmektedir.

7.3.1. Kazık boyutları

Kazık üzerinde negatif çevre sürtünmesinin etkisini azaltabilmek için uygulanacak ilk yöntem kazık boyutları üzerinde yapılacak değişikliklerdir. Bunlar kazığın çapının genişletilmesi, geniş uçlu yapılması ve kazık boyunun değiştirilmesi şeklinde olabilir. Hollanda'da bir kısım yapılarda geniş uçlu kazıkların kullanıldığı bilinmektedir. Bir diğer çalışmada kazık dışına koruyucu bir eleman geçirilip, kazık ile koruyucu arasını viskoz bir malzeme ile doldurarak bu olumsuz etkinin azaltılmasıdır. Ancak bu yöntemlerin uygulanmasının kolay olmaması bilim adamlarını yeni yöntemler aramaya itmiştir.

Eğer kazık boyu 40 – 50 m'yi aşarsa, aşırı miktarlara ulaşan negatif çevre sürtünmesi kazık ucunda hasara yol açabilir. Bu problem sürtünme kazığı seçimi ile engellenebilir. Tabii bu işlemler yapılırken oturmalar üst sınır değerlerin altında kalacak şekilde tayin edilir. Ayrıca yapının oturması ile zeminin oturmasının aynı olması istenir. Pratikte negatif çevre sürtünmesi tam olarak elimine edilemez. Bu amaçla bazı kazık sistemlerinde yapılan harcamalar kazık maliyetiyle aynı değerlere ulaşabilir. Bunun için en ucuz ve pratik yol uç

kazıklarında kazık çevresine, sürtünme kazıklarında ise kazık aralarına koruyucu kazıklar yerleştirilerek negatif çevre sürtünmesini azaltmaktır.

7.3.2. Kazık yüzeyinin kaplanması

Asfaltla kazık yüzeyinin kaplanması pratik olarak negatif çevre sürtünmesini azaltıcı bir etkiye sahiptir. Asfalt kalınlığı çelik kazıklarda en az 1 mm, yüzeyi pürüzlü olduğu için betonarme kazıklarda 2 mm olarak belirlenmiştir. Ancak asfalt kaplama kazığın çakılması esnasında zarar görebilir. Bunu önlemenin yolu geniş uçlu, asfalt sürülmüş kazıkların teşkil edilmesidir. Bunun yanı sıra oldukça pratik bir çözüm olacağı fikriyle bitüm kaplı kazık üzerinde bilim adamları birçok çalışmalar yapmışlardır. Bazı durumlarda kazık servis yükü oldukça yüksek olmasına karşın, oturma gibi bazı sınırlamalar yüzünden bu değerler oldukça küçük bir bölümünün kullanılabilirliği görülmüştür. Negatif çevre sürtünmesinin etkilediği hallerde bitüm kullanıldığında, kullanılan malzemenin, maliyeti %15 – 50 oranında artmasına karşın kazık taşıma gücünde %500 gibi artışlara ulaşabilmektedir. Bu basit örnek bile negatif çevre sürtünmesini önlemede bitümün etkinliğini ortaya koyar. Bitüm esas olarak yüksek moleküler ağırlığı olan hidrokarbonlardan oluşmuş koyu renkli bir bağlayıcı maddeler grubuna ait bir maddedir. Bitüm petrolün rafine edilmesinden elde edilir ve davranışı zeminden oldukça farklıdır. Bitüm nonlineer viskoz bir malzemedir ve kaymaya tepkisi

$$\tau = \eta\dot{\gamma} \quad (7.12)$$

eşitliği ile verilir.

Bu ifade de η viskoziteyi, $\dot{\gamma}$ ise kayma deformasyon hızını ifade eder. Kayma gerilmesi deformasyon hızıyla doğru orantılı olarak artar, fakat viskozite nonlineer bir değişim gösterdiğinden viskoziteyle ters orantılı olarak değişir.

Negatif çevre sürtünmesini azaltma amacıyla, Bjerrum (1969) farklı zemin şartlarında bitüm kaplanmış ve kaplanmamış çeşitli kazıklar üzerinde birçok araştırma ve deney yapmıştır. Deneyini iki farklı bölgede, uzun çelik kazık kullanarak, ölçümlerle gerçekleştirmiştir. Deneyinde herhangi bir takviye

yapılmayan kazıklar normal, geniş uçlu; bitümlle kaplanan kazıklar ise geniş uçlu, bentonit bulamacı ile oluşturulmuş kazıklardır. Bentonit kullanımının nedeni çakma esnasında bitüm kaplamanın zarar görmesini engellemektir. Deneyde, yapılan gözlem ve hesaplar sonucu, bitümlle kaplı kazıklarda düşey yöndeki ekstra kuvvetlerin %90 oranında azaldığı görülmüş, fakat bitümsüz ve yalnız bentonit bulamacı içinde teşkil edilen kazıkların bu kuvvetlere %15 oranında bir dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Buradan da bitümün negatif çevre sürtünmesini %75 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır.

Broms, Amesz ve Rinck (1969) yaptıkları çalışmalarda, 1 cm lik bitümlle kaplı kazık kullanmışlardır. Kazık bentonit bulamacı ile teşkil edildiğinden negatif çevre sürtünmesinin azaltılmasında %90 lık bir başarı elde edilmiştir. Bu araştırmacılar deneylerinde kazıklar arası mesafeyi detaylı olarak ele aldıklarından, kazıkların fazla yakın çakılmasından sonra negatif çevre sürtünmesinin sebep olduğu düşey kuvvetlerde %85 oranında azalma saptamışlar, fakat kazıkların 1.8 m ara ile çakılmaları durumunda bu azalmanın %50 dolaylarında kaldığını belirlediler.

Claessen ve Horvat da çalışmalarında kazığın bitümlle kaplanmasını esas almışlardır. 380*450 mm boyutlarında, üzerine 10 mm bitüm sürülmüş prefabrik kazık üzerinde yaptıkları deneyde, kaplanmamış kazıktaki 1600 – 1700 kN'luk değere karşın 24 m boyundaki kazıkta 750 kN'luk bir azalma saptadılar.

Claessen ve Horvat, kazığın uç kısmındaki bitüm kaplamanın kazığın uç taşıma kapasitesine etkidiğini ve uç mukavemetini azalttığını belirlediler. Bu problemten kaçınmak için buldukları çözüm ise, kazığın çapı veya genişliğinin 10 katı kadar bir uzunluk boyunca alt kısmının bitümlle kaplanmamasıydı. Böylece kazığın uç mukavemetinin bitümden etkilenmesini engellediler.

İngiliz araştırmacılar Gammage, Mitchell ve Cherrill, Kintburry bölgesinde 20 m kireç dolgu boyunca çakılan hazır beton kazıklarda negatif sürtünmenin azaltılması için kullanılan bitüm kaplamanın ne kadar başarılı sonuçlar verebileceğini araştırmışlardır.

Briaud ve Tucker Amerikan Devlet Otoyollar ve Ulaşım Merkezleri Birliği tarafından finanse edilen geniş kapsamlı bir araştırmada değişik tipteki bitümlerin negatif sürtünme üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Düşük viskoziteye sahip bitümler yumuşak, yüksek viskoziteye sahip olanlarsa sert olarak tanımlanırlar. Araştırmada en yumuşaktan en serte kadar farklı viskozite değerlerine sahip bitüm türleri kullanılmıştır. Araştırma kapsamında Edmonton Kanada'da ve New Orleans'da toplam 14 birebir ölçekli deney yapılmıştır. Deneyler bazı bitüm türlerinin sürtünmeyi azalttığını, bazılarının ise etkili olmadığını göstermiştir. Briaud, yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettiği tecrübelerle dayanarak iyi bir bitümün taşınması gerekli özellikleri dört ana şarta bağlamıştır.

- Bitüm depolama sırasında kendi ağırlığı altında aşırı deformasyonlar yapmamalıdır.
- Kazık çakımı sırasında meydana gelen dinamik gerilmeler altında aşırı deformasyonlar oluşmamalıdır.
- Zeminin oturması sürecinde bitüm düşük kayma mukavemeti vermelidir.
- Bitüm zemin partiküllerinin etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır.

7.3.3. Elektro-Osmos yönteminin kullanılması

Kazık üzerinde negatif çevre sürtünmesini azaltmak için kullanılan en özel çalışmalardan birisi elektro-osmos yöntemidir. Bjerrum (1969) çalışmasında 4 amper civarında bir elektrik akımı ile bu etkiyi yaklaşık olarak %50 oranında azaltabilmiştir. Ancak oldukça pahalı bir yöntemdir. Siltli kil ve killi silt gibi zeminlerde başarılı sonuç vermesine karşın yüksek plastisiteli zeminlerde kullanımı mümkün olmamaktadır. Daha ileri ki yıllarda da yapılan çalışmalarda bu konuda daha farklı bir sonuç elde edilememiştir [10].

8. DÜŞEY YÜK ALTINDA TEK BİR KAZIĞIN DAVRANIŞI

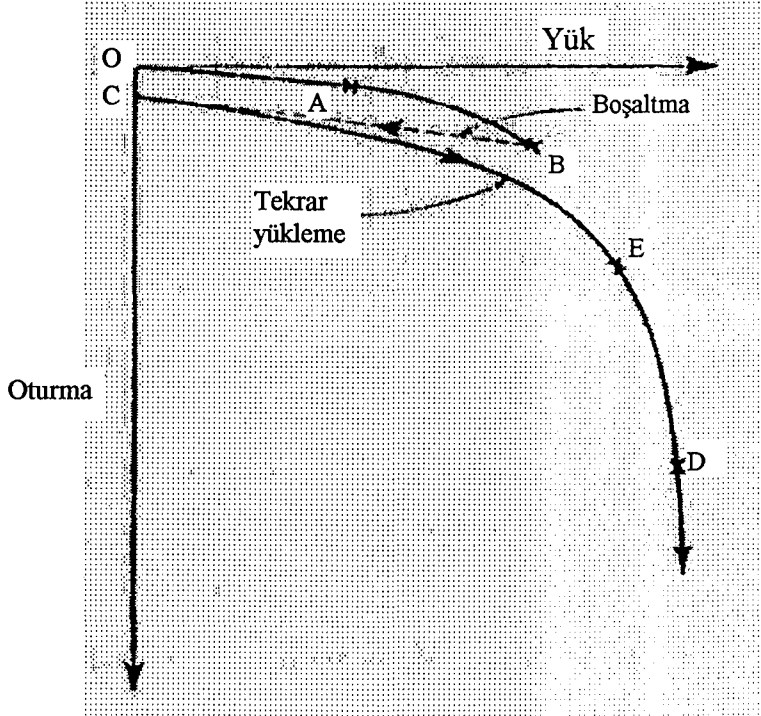
8.1. Kazık Dayanımının Hesaplanmasına İlişkin Temel Yaklaşımlar

Her farklı kazık tipi ve imalat metodu, farklı yollarla kazığı çevreleyen zemini örseler. Bu etki kazığın taşıma gücünü arttırabilir veya azaltabilir. Böylece, taşıma gücünün hesaplandığı pratik metotların formülleri için kazığın imalatının iyi belirlenmesi temel olmaktadır. Düşey yükler altında kazık dayanımının hesaplanmasındaki temel statik veya zemin mekaniği yaklaşımıdır. Son yıllarda bazı araştırmacıların çalışmaları zemin mekaniği teorisine dayanmaktadır. Bu teoride, kazık yanal yüzeyindeki çevre sürtünmesi, sükunetteki toprak basıncı katsayısı efektif gerilme ve drenajlı kayma mukavemet açısı arasındaki basit bir ilişki ile tanımlanabilir. Fakat sükunetteki toprak basıncı katsayısı, kazık imalatına göre değişen farklı katsayılarla düzeltilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde kazığın uç dayanımı, kazığın ucundaki örselenmemiş kayma mukavemetini temel olan klasik zemin mekaniği teorisi ile hesaplanabilir. Servis yükü altında kazık veya kazık grubunun oturması önemlidir ve kazıktan zemine çevre sürtünmesiyle transfer edilen yük ve elastik teori göz önüne alınarak hesaplanır.

Kazığın imalatı, kazık – zemin ortak yüzeyinde karışık bir durum oluşturur. İmalat sonunda bu ara yüzey sık sık bütün orijinal zemin davranışıyla bağdaşmaz veya tamamen yoğrulmuş bir durum alır. Kazığı çevreleyen boşluk suyu basıncı imalattan sonra yıllara, aylara, günlere ve saatlere göre büyük ölçüde değişiklik gösterir. Bunun sonucu olarak, efektif gerilmenin kullandığı çevre sürtünmesi ilişkileri doğruluğunu kaybeder. Sonuç olarak nihai taşıma gücünün hesaplanması için, efektif gerilmeler kullanıldığında, boşluk suyu basınçların değişimi ve hatta yer altı su seviyesinin mevsimlere göre değişimi gözönünde bulundurulmalıdır.

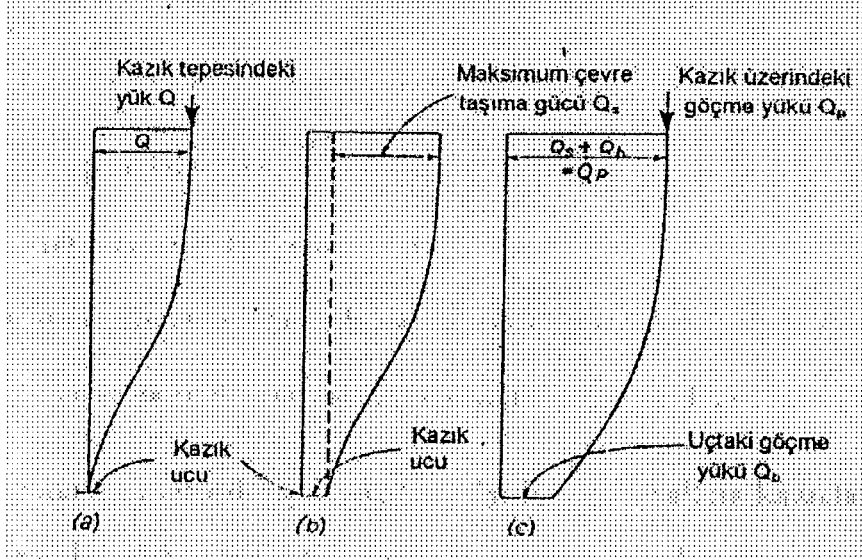
8.2. Kazığın Yük Altındaki Davranışı

Bir kazık kısa zaman içinde giderek artan düşey yük etkisi altında olduğu zaman Şekil 8.1 deki gibi yük – oturma eğrisi gösterir. Eğrideki A noktasına kadar ilişki lineerdir. Bu noktada yük boşaltılırsa kazık başı orijinal seviyeye geri döner. A noktasından sonra yük arttırılır, akma başlar veya B noktasına ulaşınca kadar kayma oluşur. Bu anda maksimum çevre sürtünmesi oluşacaktır. Eğer bu noktada yük boşaltılırsa kazık başı C noktasına gelecektir. OC arası kalıcı deformasyon olacaktır. Maksimum çevre sürtünmesinin mobilize edecek hareket miktarı çok küçüktür ve kazık çapının sadece %0.3 – 1'i kadardır. Kazığın uç mukavemetinin tamamen mobilize olması için daha büyük bir hareket gerekmektedir. Bu ise taban çapının %10 - 20 si arasında değişmektedir. Eğri üzerindeki D noktasına ulaşıldığında kazık uç direnci tamamen mobilize olur. İşte bu anda kazık, yükteki daha fazla artışa gerek olmadan aşağıya dalışa geçer veya yükteki çok küçük artışlar, büyük deplasmanlara neden olur.



Şekil 8.1. Kazığı göçmeye ulaştırılan yük için yük – oturma eğrisi

Kazığın yanal yüzeyindeki değişik noktalara kazığın her yük kademesindeki deformasyonunu ölçecek düzenek kurulursa her yük kademesindeki kazık – zemin yük transferini gösteren Şekil 8.2 deki gibi bir diyagram elde edilir.



Şekil 8.2. Kazığın yük transferi

- (a) Şekil 8.1'deki yük-oturma eğrisindeki A noktasında
- (b) Şekil 8.1'deki yük-oturma eğrisindeki B noktasında
- (c) Şekil 8.1'deki yük-oturma eğrisindeki D noktasında

Böylece A noktasına kadar yüklendiğinde bütün yük kazığın yanal yüzeyindeki çevre sürtünmesi ile taşınır. A noktasından sonraki yükleri (B'ye kadar) kazık, hem çevre sürtünmesi hem de uç direnci ile birlikte taşımaktadır. Yük B noktasına ulaştığında kazık yanal yüzü maksimum çevre sürtünmesini taşır ve kazık ucu yük taşımaya başlar. A noktasında çevre sürtünmesi ile ek bir yük transferi olmaz. Fakat uç mukavemeti maksimum değerine ulaşır. D noktasında çevre sürtünmesiyle yük transferi olmamakta ama uç yükü maksimum değerine çıkmaktadır [6].

Şaft sürtünmesi ve uç direnci, ayrı kavramlar olarak, kazık taşıma kapasitesinin statik hesaplarında temel oluştururlar. Basit denklem olarak şöyle gösterilebilir:

$$Q_p = Q_b + Q_s - W_p \quad (8.1)$$

Q_p : Kazığın nihai taşıma gücü,

Q_b : Kazığın nihai uç taşıma gücü

Q_s : Kazığın shaft taşıma gücü,

W_p : Kazığın ağırlığı

Göçme yükü Q_p 'nin bileşenleri Q_b ve Q_s Şekil 8.2c 'deki son yük aşamasında görülmektedir. W_p ağırlığı ise çoğu zaman ihmal edilir.

Avrupa Şartnamesi (Eurocode 7) Q_p 'yi Q , servis taşıma kapasitesi $Q_b = Q_{bk} / \gamma_B$ 'yi servis taban direnci ve $Q_s = Q_{sk} / \gamma_s$ 'i servis shaft direnci olarak tanımlamaktadır. Q_{bk} ve Q_{sk} ise parçalanarak şöyle ifade edilebilir:

$$Q_{bk} = q_{bk} \cdot A_b \quad (8.2)$$

$$Q_{sk} = \sum_{i=1}^n q_{sik} \cdot A_{si} \quad (8.3)$$

A_b : Kazık tabanının plandaki alanı

A_{si} : Kazığın i zemin tabakasındaki yüzey alanı

q_{bk} : Tabanın birim m^2 sindeki direncin karakteristik değeri

q_{sik} : i tabakasındaki shaftın birim m^2 sindeki sürtünmenin karakteristik değeri

γ_b ve γ_s kısmi güvenlik sayılarıdır. γ_b fore kazıklar için 1.6, çakma kazıklar için 1.3 tür. γ_s ise fore ve çakma kazıklar için 1.3 tür [4].

8.3. Göçme Yükünün Tanımı

Şekil 8.1 deki yük – oturma eğrisinde D noktasına karşılık gelen yükleme nihai taşıma gücü veya nihai limit durum olarak adlandırılır ve bu aşamada kazık ucunun hemen altındaki zemin veya kayada genel kayma göçmesi vardır. Bir kazıklı temelin mühendislik fonksiyonu, komşu iki tek kazık veya kazık grubundaki komşu kazıklar arasındaki rölatif oturma, yapısal iskelet için verilen tolerans sınırları dışında bir distorsiyona neden olunca biter. Bu aşama Şekil 8.1 deki yük – oturma eğrisinde E gibi bazı noktalarla gösterilebilir. Böylece yapısal göçme, kazığın nihai taşıma gücünden daha düşük bir yükte oluşacaktır. Kazıklarda düşey yük altındaki kayma yüzeyleri Şekil 8.3 'te görülmektedir.

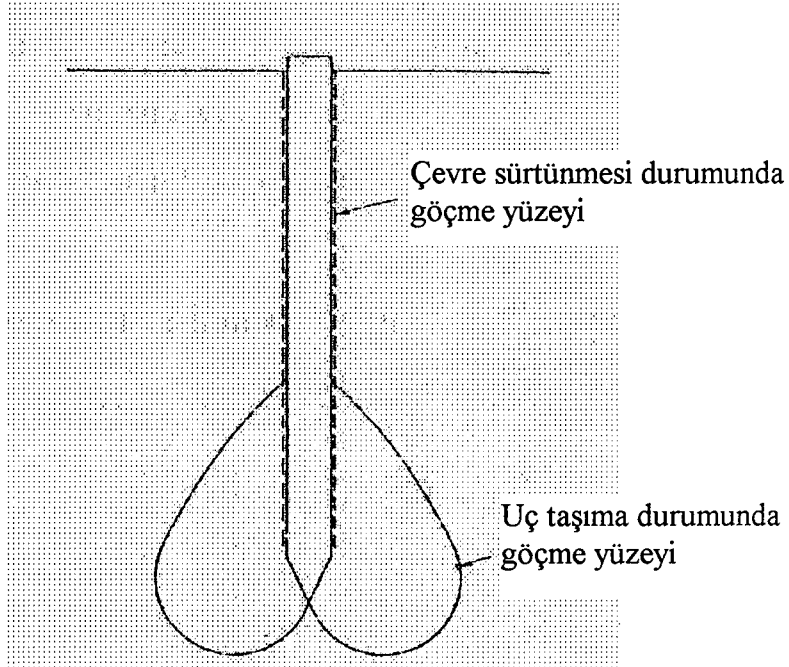
8.4. Kazıklara İzin Verilen Yükler

Kazıklarda müsaade edilen yükün hesabı için mükemmel dizayn metodu, başlangıçtan nihai kırılma noktasına kadar tüm aşamalar boyunca yükleme – deformasyon eğrisinin belirlenmesidir. Bu belirlenen eğriye göre mühendis kazık üzerindeki yük dağılımını müsaade edilen deformasyon sınırı içinde kalacak şekilde düzenler. Temel mühendisleri, nihai dayanımı beklenmeyen yük artışı ve zemin özelliklerinin değişim olasılığına karşın bir güvenlik sayısına böler.

Killerde ve kumlarda 600 mm.den büyük çaplı kazıklarla yapılan yükleme deneylerinden elde edilen tecrübeler göstermiştir ki güvenlik faktörü 2.5 alındığında servis yükü altında oturmalar 10mm.yi geçmemiştir.

$$\text{Müsaade Edilen Yük} = \text{Kazığın Nihai Taşıma Gücü} / 2.5$$

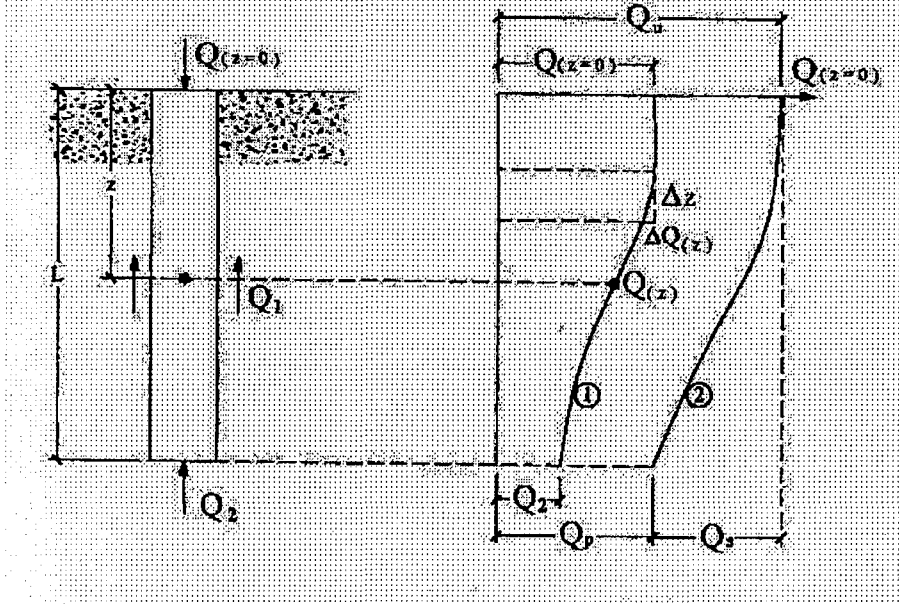
Bununla birlikte, belirsizlik nedeniyle nihai yükün belirlenmesi için aynı çapta, boyda ve tipteki deneme kazıkları üzerinde yükleme yapılmalıdır. Bu deneyler sonucunda kazıklar servis yükleri altında yaptıkları oturmalar kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır [6].



Şekil 8.3. Düşey yükler etkisindeki kazıklarda kayma yüzeyleri

9. DÜŞEY YÜK ETKİSİNDE BİR KAZIĞIN DAVRANIŞI VE TAŞIMA KAPASİTESİ

Bir kazıktan zemine yük aktarılması oldukça karmaşıktır. Yükün zemine aktarılışı Şekil 9.1 'de verilmiştir.



Şekil 9.1. Kazıkta yük aktarılışı

Kazık tepesine etkiyen yük başlangıçta Q iken bu yük çevrede Q_1 ve uçta taşınan Q_2 olarak paylaşılacaktır. Kazık yükü arttırılırsa kazığın çevre zeminine karşı göreceli olarak hareketi 5-10 mm'yi bulduğunda çevrede taşınabilecek yükün maksimumu mobilize olmuş olacaktır. Buna karşın tabanda taşınabilecek yükün maksimum değerine ulaşabilmesi için kazık tabanının, çakma kazıklarda çapın %10'u, fore kazıklarda %30'u kadar hareket etmesi gerekecektir. Kazık tepesine etkiyen yükün göçme yükü Q_u değerine ulaşması durumunda hem çevrede, hem uçta taşınabilecek maksimum yüklere ulaşılmış olacaktır. Daha büyük yüklerde zeminde kesme göçmesi meydana gelir, kazık zemine gömülür ve sonuçta farklı gömülülükte farklı zemin koşullarında yeni bir kazık meydana gelmiş olur.

Kazığın boyutuna, şekline, türüne ve zemin özelliklerine bağlı olarak maksimum taşıma gücüne uçta ve çevrede aynı anda ulaşıldığı varsayılarak

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (9.1)$$

yazılabilir.

Burada Q_u : Bir kazığın taşıyabileceği maksimum yük,

Q_s : Bir kazığın çevrede taşıyabileceği maksimum yük, bazı durumlarda kazığa ters yönde etkiyebilir (negatif çevre sürtünmesi).

Q_p : Bir kazığın ucunda taşıyabileceği maksimum yüküdür [11].

Kazıklar, genellikle, en az üç kazıktan oluşan gruplar halinde tasarlanırlar. Birçok durumda, tek bir kazığın davranışı, kazık grubunun davranışından farklıdır. Bu nedenle kazık grubunun taşıma gücünün belirlenmesinde farklı bir yol izlenir. Bununla birlikte, kazık grubunun taşıma gücünü belirlerken de tekil kazığın taşıma gücünün bilinmesine gereksinim vardır [2]. Düşey yük altında bir kazığın taşıyabileceği maksimum yükün bulunuşu için ampirik ve yarı ampirik değişik yöntemler bulunmakla birlikte genelde uygulama alanı bulanlar aşağıda sunulmaktadır.

- Zemin kayma mukavemetini kullanan statik analizler
- Arazi deneyi sonuçlarını kullanan ampirik analizler (SPT, CPT, MPT vb.)
- Dinamik çakma direnci analizleri (kazık çakma eşitlikleri, dalga yayılma eşitlikleri vb.)
- Kazık yükleme deneyi analizleri

Önceden değinildiği gibi zemin – kazık ilişkisi ve etkileşimi son derece karmaşık olup kazığın taşıyabileceği yükün zemin verileri veya diğer yarı ampirik – ampirik yöntemlere bağlı olarak bulunuşu bir tahminden öteye geçemez. Önemli her işte bu tahminin ölçekli bir yükleme deneyi ile kontrol edilmesi önerilmektedir. Kazığın taşıyabileceği tahmin edilen maksimum yük bir güvenlik sayısına bölünerek güvenle taşıyabileceği yük bulunabilir.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{G.S.} \quad (9.2)$$

Burada Q_{all} : Güvenli kazık yükü, G.S. : Göçmeye karşı güvenlik sayısıdır.

Güvenli kazık yükünün çalışma yükü (servis yükü) olarak da nitelendirilebilmesi için bu yük altında kazık malzemesinde doğacak gerilmelerin izin verilebilir değerleri aşmaması gerektiği ve beklenen oturmaların izin verilebilir sınırlar içerisinde kalacağı gösterilmesi gerektiği açıktır.

Uygulanacak güvenlik sayısı maksimum yük tahminindeki güvenilirlik ve kazığın inşaatı sırasındaki denetime bağlı olarak değişecektir. AASHTO (1992) tarafından önerilen değerler aşağıda verilmektedir.

Tablo 9.1. Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (AASHTO, 1992)

Kontrol ve Tahmin ⁽¹⁾	Artan Yapım Kontrolü				
Zemin İncelemesi	X	X	X	X	X
Statik Analiz	X	X	X	X	X
Çakma Eşitlikleri	X	-	-	-	-
Dalga Yayılma Analizi	-	X	X	X	X
Dinamik Ölçüm	-	-	X	-	X
Yükleme Deneyi	-	-	-	X	X
G.S.	3.50	2.75	2.25	2.0 0 ⁽²⁾	1.90

Not: (1) Adı geçen kontrat belgelerinde tanımlanmalıdır.

(2) Yükleme deneyinin yapıldığı herhangi bir kontrol şeklinde FS=2.00 alınabilir.

Yukarıda verilen güvenlik sayıları normal yükler altında önerilen değerler olup ASCE (1993) yaklaşımında yüklemenin olağan, seyrek beklenen ve çok seyrek beklenen durumlar için farklı güvenlik sayıları önerilmektedir. Bunlardan olağan yüklenme, servis halini ve seyrek taşkın durumunu kapsamaktadır. Seyrek beklenen yüklenme, onarım, çok seyrek taşkın durumu, çarpma ve yapım sırası yüklerini kapsamaktadır. Bu durumda kazıkta izin verilebilir malzeme gerilmeleri %33 arttırılabilir. Çok seyrek beklenen yüklenme ise kaza ya da doğal afet gibi olma olasılığı çok az yüklenme durumunu kapsar. İzin verilebilir gerilmeler %75 arttırılabilir. Bu son yüklenme durumunda bir yapıda bazı kazıkların pik yada kalıcı (rezidüel) değerlere kadar yüklenmeleri halinde denge koşullarının sağlandığı gösterilmeli, bu yüklenme de birden ve toptan göçme olmayacağından emin olmak için gerekiyorsa aletlendirme, sık yada sürekli ölçüm, kullanım kısıtlamaları gibi önlemlere başvurulmalıdır. Aşağıda önerilen güvenlik sayıları standart uygulama ve arazi araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. Önerilenler dışındaki değerler

ancak çok ayrıntılı araştırma ve deneyle parametrelerdeki belirsizliklerin en aza indirilmesi sonucunda kabul edilebilir. Önerilen kazık yapımı sırasında kazık taşıma gücünü etkileyen belirsizlikleri de içermekte ve olağan servis yük düzeylerinde kazığın doğrusal olmayan davranışının çok az tutulmasını da sağlamaktadır [11].

Tablo 9.2. Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları (ASCE,1993)

Taşıma Gücü Tahmini ve Denetim	Yük koşulu	G.S. (min)	
		Basınç	Çekme
Kazık yükleme deneyi ile doğrulanan kuramsal veya ampirik tahmin	Normal	2.0	2.0
	Seyrek	1.5	1.5
	Nadir	1.15	1.15
Kazık çakma analizi ile doğrulanan kuramsal veya ampirik tahmin	Normal	2.5	3.0
	Seyrek	1.9	2.25
	Nadir	1.4	1.7
Yükleme deneyi ile doğrulanmayan kuramsal veya ampirik tahmin	Normal	3.0	3.0
	Seyrek	2.25	2.25
	Nadir	1.7	1.7

9.1. Kazık Uç Taşıma Kapasitesinin Tahmini

Bir kazığın uçta taşıyabileceği maksimum yükün zemin mukavemet parametrelerine dayalı olarak tahmini yüzeysel temeller için önerilen formda yapılabilir. Diğer bir deyişle,

$$q_u = cN_c^* + qN_q^* + \gamma BN_\gamma^* \quad (9.3)$$

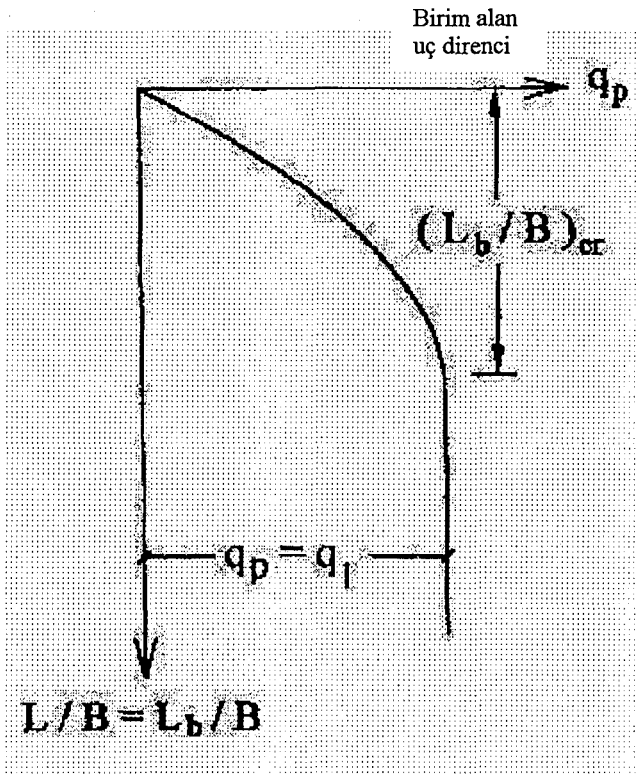
yazılabilir. Burada q_u birim alanda taşınabilecek maksimum yük olup N_c^*, N_q^*, N_γ^* şekil ve derinlik faktörlerini içeren taşıma gücü katsayılarıdır kazıkların yüzeysel temellere göre derin temeller olmaları nedeni ile yüzeysel temeller için önerilen değerlerden farklı değerlerdir. Kazıklar için temel genişliği B yerine (9.3)

eşitliğinde kazık çapını düşünmek gerekir. Son terimin diğerleri yanında küçük olacağı düşünülür ve (9.3) eşitliği efektif gerilmeler cinsinden yazılırsa

$$q_p = c'N_c^* + q'N_q^* \quad (9.4)$$

elde edilir. Meyerhof (1976) uç taşıma gücünün derinlikle artmakla birlikte kritik bir derinlikten sonra değişmediğini ileri sürmektedir. Kulhawy (1984) ise uç direncinde derinlikle birlikte artışta bir azalma olduğunu ancak bir limit değerden söz edilemeyeceğini belirtmektedir.

Yumuşak ve taşıma gücü az olan zeminleri geçtikten sonra taşıma kapasitesi yüksek tabakalara giren kazıklarda toplam kazık boyu L , kazığın taşıyıcı tabakadaki boyu L_b 'den farklıdır. (8.3) eşitliğindeki taşıma gücü faktörlerinin her ikisinin de L_b / B oranı ile değiştiği saptanmış olup kritik bir oranda maksimum değerlere ulaşılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan kazık boy ve çap değerleri bu faktörlerin maksimum değerlerine ulaşmaları için yeterli olup araştırmacılar bu oranın 10 – 20 arasında değiştiğini ileri sürmektedirler.



Şekil 9.2. Uç taşıma gücünün derinlikle değişimi

İki tabakalı zemin yapısında (yumuşak zemin – sıkı kum gibi) kritik derinliğin taşıyıcı tabakanın üzerinden başlayacak şekilde alınması ve üst tabakanın yalnızca sürüşarj yaratan etkisinin gözönünde tutulması daha doğrudur.

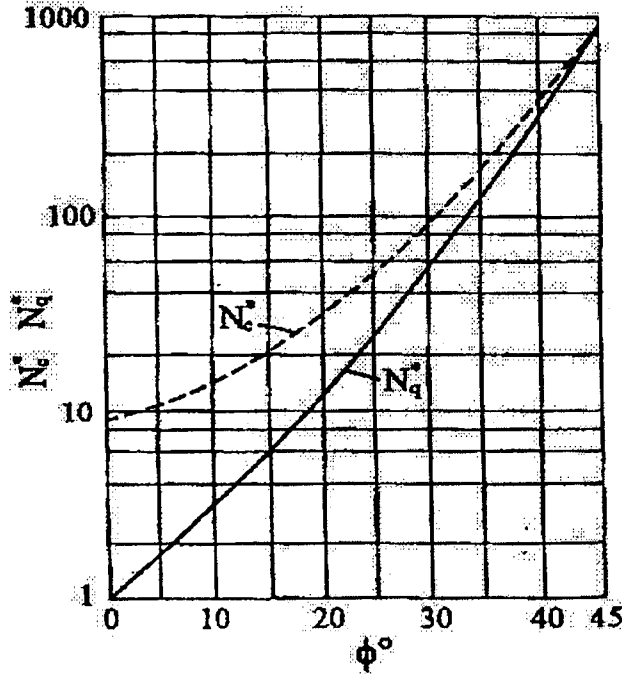
9.1.1. Kohezyonsuz zeminlerde uç taşıma kapasitesi

Kohezyonsuz zeminlerde $c' = 0$ olduğu düşünülürse bir kazığın ucunda taşınabilecek maksimum yük

$$Q_p = q_p \cdot A_p = q' \cdot N_q^* \cdot A_p \quad (9.5)$$

olarak bulunabilir. İçsel sürtünme açısı ϕ 'ye bağlı olarak (9.5) eşitliğinde kullanılabilir taşıma gücü faktörleri Şekil 3'den alınabilir. Burada A_p kazık ucu kesit alanı, q' kazık ucu seviyesinde efektif düşey gerilme olmaktadır. Çakma

kazıklarda kazık ucunda yaratılacak sıkıştırma etkisi $\phi = \frac{(\phi_1 + 40)}{2}$ (Kishida, 1967) ile gözetilebilir. Burada ϕ_1 kazık yerleştirilmeden önce içsel sürtünme açısıdır. Fore kazıklarda ise $\phi = \phi_1 - 3^\circ$ alınmalıdır (Poulos ve Davis, 1980).



Şekil 9.3. Kohezyonsuz zeminlerde N_q^* taşıma gücü faktörü (Meyerhof, 1976)

Statik eşitlik olarak bilinen yukarıdaki eşitlik yanında kazık ucu taşıma gücü tahmininde arazi deneyleri sonuçlarından yararlanan bazı ampirik eşitlikler de kullanılmaktadır. Kazık ucunda birim alanda taşınabilecek yükün sınırı Meyerhof tarafından

$$q_L = 50.N_q^* \cdot \tan \phi \quad (\text{kN/m}^2) \quad (9.6)$$

ile verilmektedir. Standart Penetrasyon Deneyi, (SPT) darbe sayısı N değerlerine bağlı olarak;

Kumlu zeminlerde

$$q_p = \frac{40\bar{N}L}{B} \leq 400\bar{N} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (9.7)$$

Kohezyonsuz siltlerde

$$q_p \leq 300\bar{N} \quad (9.8)$$

olarak ve fore kazıklar için bu değer 1/3 'ünün alınması önerilmektedir. Meyerhof SPT' ye bağlı eşitliklerde tahmin yapıldığında güvenli yük için G.S. (min) = 4.0 önermektedir. Yukarıda (9.7) ve (9.8) eşitliklerinde \bar{N} düşey jeolojik gerilmelere göre düzeltilmiş darbe sayısı değerleri olup kazık ucundan 10B yukarıda ve 4B aşağıda bir bölgede ortalama bir değer olarak alınacaktır.

Kohezyonsuz zeminler için Reese ve O'neil (1988) düzeltilmiş SPT değerlerine göre aşağıdaki çizelgeyi önermektedirler.

Çizelge 9.3. Kohezyonsuz zemin uç taşıma kapasitesi

N	Q _p (kPa)
0 – 75	58.3 N
> 75	4375

Kazık çapı 125 cm 'den büyükse ve oturmalar göz önüne alınmayacak ise önerilen değerler $\frac{100}{80B}$ ile bulunacak bir faktörle azaltılmalıdır. Burada B (m) cinsinden kazık çapıdır.

Bir kazık modeli niteliğindeki statik koni deneyi sonuçlarının kazık taşıma gücü tahmininde doğrudan kullanılabilceği Meyerhof (1976) tarafından ileri sürülmektedir.

$$q_p = q_c \quad (9.9)$$

Kohezyonsuz zeminlerde tabanda taşınan yük tahmininde kullanılan N_q taşıma gücü faktörünün varsayılan göçme mekanizmalarına bağlı olarak değişik araştırmacılar tarafından çok farklı değerler önerildiği bir gerçektir. NAVFAC (1988) pratik maksatlar için Meyerhof (1976) ve Coyle – Castello (1981) tarafından gerçekleştirilen kazık yükleme deneylerinin gözönüne alınarak ϕ' ye bağlı olarak aşağıdaki gibi alınmasını önermektedir.

Çizelge 9.4. N_q taşıma gücü faktörü için NAVFAC önerisi

$\phi \circ^*$	26	28	30	32	34	36	38	40
N_q çakma	10	15	21	29	42	62	86	145
N_q fore**	5	8	10	14	21	30	43	72

* Kazık yerleştirilmesinde su jeti kullanılıyorsa $\phi = 28^\circ$ alınmalıdır.

** Y.A.S.S altında taban temizliği yakalama kovanı veya bailer ile yapılıyorsa $\phi = 28^\circ$ alınmalıdır. Büyük çaplı kazıklarda oturma daha kritik olup eşdeğer temel oturmasının %50 'si alınmalıdır [11].

Canadian Geotechnical Society (1985) N_q taşıma gücü faktörü değerinin yüzeysel temeller için kullanılan değerlerin üç katı alınmasını önermektedir. Prakash ve Sharma (1990) çeşitli araştırmacıların verdiği değerlerden Çizelge 9.5' deki derlemeyi yapmıştır.

Tablo 9.5. Taşıma gücü faktörü değerleri (Prakash ve Sharma, 1990)

ϕ (°)	20	25	28	30	32	34	36	38	40	42	45
N_q Çakma kazık	8	12	20	25	35	45	60	80	120	160	230
N_q Fore kazık	4	5	8	12	17	22	30	40	60	80	115

9.1.1.1. Çevre Sürtünmesi

Kohezyonsuz zeminler içindeki tekil kazıkların çevre sürtünmesi, zemin mekaniğinin temel kayma direnci denklemlerine benzer şekilde,

$$f_s = \sigma'_v K_s \tan \delta \quad (9.10)$$

olarak yazılır. Burada, σ'_v düşey efektif zemin gerilmesi, K_s yatay toprak basıncı katsayısı (zemin içindeki birim elemana etkiyen yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı), δ kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısını göstermektedir.

K_s yatay toprak basıncı katsayısı, kazık malzemesine, kazığın imal şekline (çakma veya sondaj kazığı olmasına), zeminin sıklığına bağlıdır. Değeri, sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 a bağlı olarak Çizelge 9.6'de verilmektedir. Meyerhof (1976) K_s için Çizelge 9.7'deki, NAVFAC Çizelge 9.8'deki değerleri önermektedir.

Çizelge 9.6. Yatay toprak basıncı katsayısı, K_s (Tomlinson, 1994)

Kazık İmal Şekli	K_s / K_0
Çakma kazıklar, büyük sıkıştırma etkili	1 – 2
Çakma kazıklar, düşük sıkıştırma etkili	0.75 – 1.25
Yerinde dökme betonarme sondaj kazıkları	0.75 – 1.00
Su jeti kullanılarak imal edilmiş kazıklar	0.50 – 0.70

Çizelge 9.7. K değerleri (Meyerhof, 1976)

Fore kazıklar ve su jeti ile yerleştirilen hazır kazıklarda	K_0
Zemine az yer değiştiren kazıklarda	$K_0 - 1.4 K_0$
Zemine çok yer değiştiren kazıklarda	$K_0 - 1.8 K_0$

Çizelge 9.8. NAVFAC (1988) K_0 değerleri

H kesitli çelik kazıklarda	0.5 – 1.0
Hazır çakma kazıklarda	1.0 – 1.5
Konik çakma kazıklarda	1.5 – 2.0
Su jeti ile yerleştirilenlerde	0.4 – 0.9
Fore kazıklarda	0.7

Sükunetteki toprak basıncı katsayısı, K_0 kum zeminlerde aşağıdaki ifade ile hesaplanır veya Çizelge 9.9 ‘dan alınabilir.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (\text{kum zeminlerde}) \quad (9.11)$$

Çizelge 9.9. Normal konsolide kumlar için K_0 değerleri (Tomlinson, 1994)

İzafi sıklık	K_0
Gevşek	0.50
Orta sıkı	0.45
Sıkı	0.35

Kulhawy (1984) kazık yüzü ile zemin arasındaki ortalama sürtünme açısını, kazık boyunca zeminin ortalama efektif kayma mukavemeti açısına (ϕ) bağlı olarak vermiştir (Çizelge 9.10).

Tablo 9.10. δ için Kulhawy (1984) önerisi

Kazık / Zemin arayüzünün durumu	δ / ϕ
Kum – pürüzlü beton (fore)	1.0
Kum – düzgün beton (hazır)	0.8 – 1.0
Kum – pürüzlü çelik (ondüle)	0.7 – 0.9
Kum – düzgün çelik (kaplanmış)	0.5 – 0.7
Kum – ahşap	0.8 – 0.9

Kazık – zemin sürtünmesi için diğer öneriler aşağıda Çizelge 9.11 ‘de verilmektedir.

Çizelge 9.11. δ için diğer öneriler

Kazık Cinsi	NAVFAC (1988)	ASCE (1993)
Çelik	20 °	(0.67 – 0.83) ϕ
Beton	3 / 4 ϕ	(0.90 – 1.0) ϕ
Ahşap	3 / 4 ϕ	(0.80 – 1.0) ϕ

Tasarımda, çevre sürtünmesinin bir L_c kritik derinliğine kadar lineer olarak arttığı, bu derinliğin altında sabit kaldığı kabul edilir. Bu derinlik,

Gevşek kumlarda, $L_c = 10 D$,

Orta sıkı kumlarda, $L_c = 15 D$,

Sıkı kumlarda, $L_c = 20 D$

alınabilir [2]. Kohezyonsuz zeminlerde birim çevre sürtünmesinin arazi deneylerine dayalı olarak tahmininde Meyerhof (1976) tarafından önerilen değerler aşağıda verilmektedir.

Zemine fazla yer değiştiren çakma kazıklar;

$$2\bar{N} \leq 100kPa \quad (9.12)$$

Zemine az yer değiştirenler ve fore kazıklar;

$$\bar{N} \leq 40kPa \quad (9.13)$$

Çevrede güvenle taşınabilecek yük bulunurken minimum G.S. = 3 alınması önerilmektedir. Burada \bar{N} kazık boyunca ortalama ve gerilmelere göre düzeltilmiş SPT sayıdır.

Yine Meyerhof koni penetrasyon deneyi ile birim çevre sürtünmesinin

$$\text{Zemine fazla yer değiştiren kazıklar için;} \quad \frac{q_c}{200} \quad (9.14)$$

$$\text{Zemine az yer değiştiren kazıklar için;} \quad \frac{q_c}{400} \quad (9.15)$$

alınmasını önermektedir. Rüter ve Beringen (1978) ise aşağıdaki üç değerden en küçüğünün alınmasının daha doğru olacağını belirtmektedir.

- $f_s = \beta q_c$ β basınçta 1/300, çekmede 1/400

- f_L Yerel yaka sürtünme değeri
- f_L Limit değerler 120 kPa

Ayrıca Meyerhof (1976) koni deneyinde ölçülen çevre sürtünme değerinin çakma kazıklar için doğrudan kullanılabilmesini belirtirken fore kazıklar için bu değer (0.33 – 0.50) katının alınabileceğini ileri sürmektedir.

AASHTO (1993) kohezyonsuz zeminlerdeki fore kazıklar için yanal taşıma gücünün aşağıdaki ampirik eşitlikle bulunabileceği belirtilmektedir.

$$Q_s = \Pi B \sum_{i=1}^n \gamma'_i z_i \beta_i \Delta z_i \quad (9.16)$$

Burada

$$\beta_i = 1.5 - 0.135 \sqrt{z_i} \quad 1.2 > \beta_i > 0.25 \quad (9.17)$$

olarak alınacak katsayı, z_i gözönüne alınan tabakada ortalama derinlik (m), Δz_i tabaka kalınlığı, γ'_i su altındaki birim hacim ağırlığıdır. Birim alanda taşıma gücünün 190 kPa ile sınırlandırılması önerilmektedir [11].

9.1.2. Kohezyonlu zeminlerde uç taşıma kapasitesi

Kohezyonlu zeminlerde inşaat sonrası durum taşıma gücü yönünden daha kritik olduğundan drenajsız durumda $\phi_u = 0$ olup, kazık ucunda taşınan maksimum yük;

$$Q_p = N_c^* c_u A_p = 9 c_u A_p \quad (9.18)$$

şeklinde tahmin edilebilir. Burada c_u kohezyonlu zeminde drenajsız kayma mukavemetidir ve taşıma gücü faktörünün $\phi_u = 0$ için kazıklarda temel derinliği / temel genişliği oranı büyük olduğundan 9 'a eşit olduğu varsayılmaktadır. Canadian Foundation Engineering Manual (1985) fore kazıklar için büyük çaplarda bu faktörün daha az alınmasını önermektedir.

Çizelge 9.12. N_c taşıma kapasitesi faktörü için CFEM önerisi

B (m)	N_c
< 0.5	9
0.5 – 1.0	7
> 1.0	6

AASHTO (1992) ise bu taşıma gücü faktörü için

$$N_c = 6.0(1 + 0.2 \frac{L}{B}) \leq 9 \quad (9.19)$$

alınmasını önermekte, birim alanda taşınacak yükün 500 kPa ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmektedir. Drenajsız kayma mukavemeti kazık tabanından iki çap kadar aşağıda bir bölge için ölçülmüş olmalı, bu kesimde yumuşak tabaka varsa N_c değeri 1/3 'ü kadar azaltılmalıdır [11].

9.1.2.1. Çevre sürtünmesi

Killi zeminlerde yerleştirilen kazıklar kazığın yerleştiriliş biçimine göre killi zeminde önemli değişikliğe yol açabilirler. Örneğin çakma kazıklarda kazık çapına eşit bir çevre bölgesinde zemin yoğrulmuş olabilir. Çakma işlemi ile birlikte doğması beklenen fazla boşluk suyu basıncı zamanla sönümlenip daha elverişli bir ortam doğabilir. Ancak hassas veya aşırı konsolide olmuş killerde örselenmemiş duruma göre sonuçta daha küçük mukavemette bir ortam doğması beklenir.

Fore kazıklarda ise yaklaşık 25 mm kalınlıkta bir bölgede yumuşama olmakta ve zamanla bu bölgenin kayma mukavemetinde önemli değişme görülmemektedir. Pratik amaçlar için düşük – orta hassas homojen killerde kazık inşaatı sırasında kayma mukavemetinde değişiklik olmadığı varsayılabilir (Meyerhof, 1976). Sert, fissürlü killerde kayma mukavemetinin laboratuarda saptanmasında genel eğilim çatlaksız örneklerde ölçüm yapmak olduğu için bulunan değerlerin

$$c_u = c_{u \text{ lab}} \cdot R_c \quad (9.20)$$

eşitliği ile düzeltilmesi önerilmektedir (Meyerhof, 1983). Burada R_c düzeltme sayısı olup

$$\text{Çakma kazıklar için} \quad \frac{(B+0.5)}{2B} \leq 1 \quad (9.21)$$

$$\text{Fore kazıklar için} \quad \frac{(B+1)}{(2B+1)} < 1 \quad (9.22)$$

ile verilmektedir [11].

İnce daneli zeminlerde kazık yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme, zeminin kayma mukavemetine bağlıdır. Bu nedenle çevre sürtünmesi,

$$f_s = \alpha s_u \quad (9.23)$$

α = adhezyon katsayısı,

s_u = zeminin drenajsız kayma mukavemeti

olarak hesaplanır. Zemin suya doymun kil ise ($\phi_u = 0$) $s_u = c_u$ dur. α adhezyon katsayısı, kazık imali sırasında zeminin örselenmesine, aşırı konsolide killerde zeminin kazığı sarmasına bağlıdır. Ayrıca, bu değere varılabilmesi için kazığın önemli ölçüde yerdeğiştirmesi gerekir. Bu nedenlerle, adhezyon katsayısının değeri "1"den küçük bir değerdedir. Ortalama bir değer olarak,

$$\alpha = 0.45 \quad f_s \leq 100 \text{ kN/m}^2 \quad (9.24)$$

alınabilir. Fleming ve diğerleri (1985), adhezyon katsayısı için normalize edilmiş kayma mukavemetine bağlı olarak,

$$s_u / \sigma'_v < 1 \text{ için} \quad \alpha = 0.5 / (s_u / \sigma'_v)^{1/2} \quad (9.25)$$

$$s_u / \sigma'_v > 1 \text{ için} \quad \alpha = 0.5 / (s_u / \sigma'_v)^{1/4} \quad (9.26)$$

s_u = kayma mukavemeti,

σ'_v = hesap yapılan derinlikteki düşey efektif gerilme
bağıntılarını vermiştir.

Burland (1973) kil zeminlerin çevre sürtünmesinin efektif gerilmelere göre;

$$f_s = k_s \sigma'_v \tan \delta = \beta \sigma'_v \quad (9.27)$$

şeklinde hesaplanmasını önermiştir. Burada K_s : toprak basıncı katsayısı, β : sürtünme katsayısıdır. Normal konsolide kile çakılan kazıklar için;

$$\beta_{nc} = (1 - \sin \phi') \tan \phi' \quad (9.28)$$

olarak verilmiştir.

Aşırı konsolide killerde çevre sürtünmesi, normal konsolide killerden daha büyüktür. Meyerhof (1976), aşırı konsolide killer için;

$$\beta = \beta_{nc} \sqrt{OCR} \quad (9.29)$$

OCR: Aşırı konsolidasyon oranı değerini önermiştir [2].

Killi zeminlerde yer alan çakma kazıklarda birim çevre sürtünmesi için öneriler 3 grup altında toplanabilir.

- λ Yöntemi, Vijayvergia ve Focht (1972)

Kazık çakılmasının neden olduğu yer değiştirmenin pasif itkinin doğması için yeterli olduğu varsayılarak

$$f_{av} = \lambda (\sigma'_v + 2c_u) \quad (9.30)$$

yazılmaktadır. Burada λ kazık boyuna bağlı bir katsayı, σ'_v kazık boyunca ortalama düşey efektif gerilme değeri ve c_u ortalama drenajsız kayma mukavemetidir. σ'_v ve c_u ortalama değerlerinin bulunuşu tabakalı formasyonda tabaka kalınlıklarını gözönüne alan ağırlıklı ortalamalar olmalıdır.

λ değerleri için Wolf (1995) aşağıdaki bağıntıyı önermektedir.

$$\lambda = -0.406 + (3.281L)^{-0.125} \quad (9.31)$$

Burada L (m) olarak kazık boyudur.

λ yönteminin hem normal hem aşırı konsolide killerde yinelenebilir ve güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

- β Yöntemi

Kazıklar suya doygun killere çakıldıklarında kazık çevresinde boşluk suyu basıncı normal konsolide killerde $(4 - 6)c_u$ değerine çıkabilir. Bu fazla boşluk suyu basıncı zamanla sönmüldüğünde kil - kazık arasında birim çevre sürtünmesi kilin yoğrulmuş efektif gerilme parametreleriyle bulunabilir. Diğer yandan sert, fissürlü killerde drenajlı parametreler ile tahmin edilecek çevre taşıma gücü daha kritik olabileceğinden bu tür bir analiz daha doğru olabilir. Buna göre birim sürtünme

$$f = \sigma'_v \cdot \beta \quad \beta = K \tan \phi'_r \quad (9.32)$$

ile tahmin edilebilir. Burada ϕ'_r artık (residüel) içsel sürtünme açısı olup, K yanal itki katsayısı ise güvenli bir şekilde

$$\text{Normal konsolide killerde} \quad K = 1 - \sin \phi'_r \quad (9.33)$$

$$\text{Aşırı konsolide killerde} \quad K = (1 - \sin \phi'_r) \sqrt{OCR} \quad (9.34)$$

ile tahmin edilebilir.

Fore kazıklarda Meyerhof (1976) çakma kazıklar için olan β yöntemine benzer şekilde

$$\beta = 0.5 + 0.18[S_u - 48] \quad 48 < S_u < 115 \text{ kPa veya} \quad (9.35)$$

$$\beta = (1 - \sin \phi'_r) OCR^{0.5} \tan \phi'_r \quad (9.36)$$

eşitliklerini önermiştir. Chen ve Kulhawy (1974) önerisi ise

$$\beta = \left[(1 - \sin \phi'_r) OCR^{\sin \phi'_r} \right] \tan \left[\left(\frac{\delta}{\phi'_r} \right) \phi'_r \right] \quad (9.37)$$

şeklindedir.

Burland (1973) normal konsolide killerde 0.24 - 0.29 arasında bir β değeri tahmin edebileceğini (ϕ için $20^\circ - 30^\circ$ aralığında), bunun da bu formasyonlarda yaptığı ölçümlerle uyum içerisinde olduğunu belirtmektedir. Meyerhof (1976)'da verdiği sonuçlara benzer β değerleri olabileceğini doğrulamaktadır. Bununla birlikte çok uzun kazıklarda 0.15 gibi küçük bir değer

elde edilebileceğini vurgulamıştır. Yine Burland $K=K_0$, $\phi' = \phi'_r$ almanın sert killerde fore kazıklar için üst limit, çakma kazıklar için alt limit olacağını ileri sürmektedir.

- α Yöntemi

Birim çevre sürtünmesini, drenajsız kayma mukavemetini ampirik bir adhezyon faktörü α ile çarparak ($f = \alpha \cdot c_u$) tahmin etme yöntemidir. Kilin yapısı ve mukavemetinin yanı sıra kazık yapım yöntemi ve boyutu ile zamanın α üzerinde etkili olduğu ileri sürülebilir. Kavramsal olarak killi zeminler için adhezyon, yükleme deneyleri ile bulunabilirse de çoğu kez bu olanak olmadığından ampirik olarak verilen eğrilerden alınmaktadır.

Wolf (1995) α için

$$\alpha = 18(S_u)^{-0.78} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (9.38)$$

eşitliğini önermektedir. $S_u < 40 \text{ kN/m}^2$ için $\alpha = 1$ alınacaktır.

Asce (1193), normal konsolide killerde çevre taşıma gücü bulunuşunda β yöntemine benzer şekilde zemin cinsine göre ϕ' açısı alınmasını ve kohezyonlu zeminlerdekine benzer bir yaklaşımla tahminde bulunulmasını önermektedir.

Çizelge 9.13. Kohezyonlu zeminlerde çevre sürtünmesi için ASCE önerisi

Zemin Tipi	Kıvam	$\phi' (\text{°})$
Yağlı Kil CH	Çok yumuşak	13 – 17
Yağlı Kil CH	Yumuşak	17 – 20
Yağlı Kil CH	Orta katı	20 – 21
Yağlı Kil CH	Katı	21 – 23
Silt ML	-	25 - 28

α yönteminde kullanılmak üzere şimdiye dek verilen yukarıdaki değerler çakma kazıklar için olup fore kazıklarda NAVFAC (1988) tarafından verilen değerlerin kullanılması önerilir.

Reese ve O'Neill (1988) fore kazıklarda üstteki 1.5 m (bu değer çevre koşulları, uzun süreli yüklemeler veya yapım etkileri nedeni ile arttırılabilir) 'nin çevre direncine katkısının göz önüne alınmamasını önermektedir. Yine kazık tabanında düzgün şekillerde bir çap boyda, çan şeklinde genişletilmiş tabanlılarda genişlemenin başladığı yerden yukarı 1 çap boy ve çan için çevresel direncin göz ardı edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Geri kalan kesimde adhezyon faktörü olarak 0.55 önerilmekte, çevre sürtünmesi için limit değer 260 kPa olarak verilmektedir [11].

Çizelge 9.14. Kohezyonlu zeminlerde yer alan fore kazıklar için α değerleri

Koşul	α	Limit Değer (kPa)	Düşünceler
A.Homojen zeminde veya kazık ucunda çok rijit olmamak koşulu ile tabakalı zeminde düzgün kenarlı kazık			Kuruda geçilen yerler için (a) daki gibi
a) Kuruda veya bentonitle yer değiştirerek yapım	0.6	200	
b) Bazı yerlerde bentonit bırakma olasılığı	0.3	50	
B.Genişletilmiş uçlu kazıklar zemin koşulları A'daki gibi			(A (b) deki gibi)
A (a) daki gibi	0.3	50	
A (b) deki gibi	0.15	30	
C.Düz veya genişletilmiş uçlu kazıklar, çevreye göre çok rijit tabakaya oturuyorsa	0	0	

10. DÜŞEY YÜK ALTINDA KAZIKLARIN GRUP DAVRANIŞI

10.1. Kazıklı Temellerin Grup Davranışı

Düşey yük altında kazık grubunun taşıma kapasitesi, grubu oluşturan kazıkların tekil taşıma kapasitelerinin toplamından daha az olmaktadır. Bunun nedeni ise grup etkileşimidir. Ve bu durum Şekil 10.1'de görülmektedir. Bunun dışında elastik ve konsolidasyon oturmaları kazık gruplarında, tek kazıklara göre her zaman daha büyüktür. Bunun nedeni de kazık grubunun altındaki zemin ya da kayada oluşan gerilme etki bölgesi genişlik ve derinlik alanı çok geniş alana yayılmaktadır (Şekil 10.2). Görüldüğü gibi kazık gruplarının taşıma gücü oldukça karmaşık bir konudur. Kazıkların sık olması halinde zemine aktarılan gerilmelerin çakışacağı (Şekil 10.1) ve bu nedenle taşıma gücünün azalacağı söylenebilir.

Kazıkların ideal olarak kazık başlıklarının ekonomik olarak çözülebileceği kadar yakın, birbirlerini etkileyip taşıma gücünün düşmeyeceği kadar uzakta olmasına çalışılmalıdır. Ayrıca, killi zeminlerde kazık grupları blok göçmesine karşı tahkik edilmelidir. Şekil 10.3b'de tipik bir kazık grubu göçmesi görülmektedir. Şekil 10.3a' da tek kazık sağlam yada sıkı bir tabakaya yeteri kadar çakılmakta sıkı tabakanın altında da yumuşak kil tabakası bulunmaktadır ve bu durumda yükleme yapıldığında yatay tabakalar oluşan gerilmelerden etkilenmektedir. Ancak, aynı ortamdaki kazık grubuna üstyapı yükü etkilediğinde, oluşan gerilmeler yumuşak kil tabakasına ulaşacaktır ve aşırı oturmalar veya toptan göçme oluşur.

Daha önce bahsedildiği gibi kazıklar, üstyapı yükünü alttaki sağlam zemin tabakalarına aktarmak için kullanılan temel çeşitleridir. Yüzeysel temeller ile aralarındaki bu temel fark, gerilme dağılımlarıyla dikkati çekmektedir (Şekil 10.4). Burada radyenin hemen altındaki zemin örselenmediği için, aynı yük etkisindeki kazık gruba göre daha az oturabilir.

10.1.1. Hesap metotları

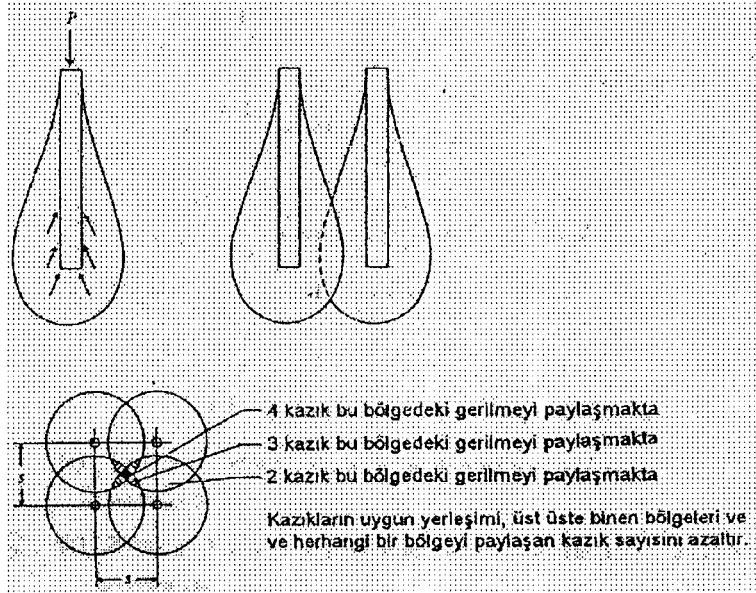
Üst yapıdan gelen belli yüklerin belirli bir emniyetle kazıklara ve sonuç olarak zemine aktarılması kazıklı temel hesabını oluşturur. Yapılan hesapla,

- Kazık grubunda her kazığa gelen yük bulunur.
- Maksimum kazık yükünün, kazığın servis yüküne uygun olduğu gösterilir.
- Kazık başlığı boyutlandırılır.
- Kazık grubunun stabilitesi irdelenir.
- Meydana gelebilecek oturmaların müsaade edilen değerlerde olduğu gösterilir.

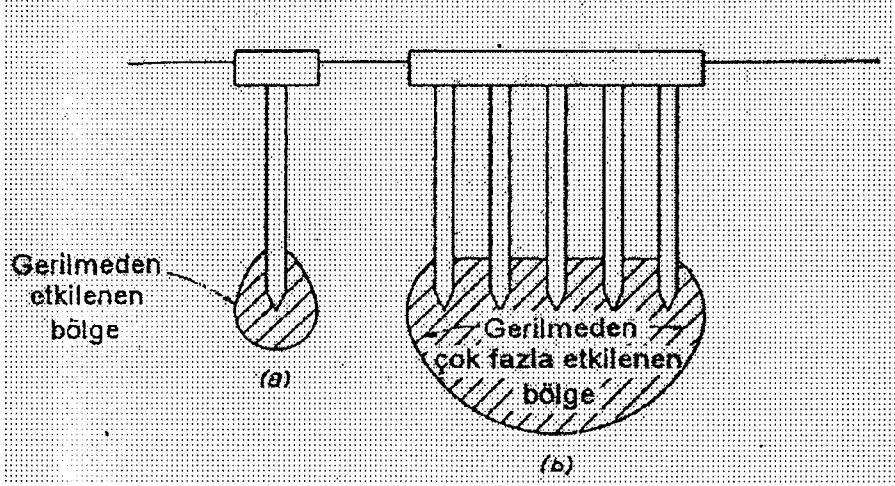
Kazık yüklerinin belirlenmesinde şu hususlar etkilidir:

- Zemin özellikleri
- Kazık tipi
- Yükün çevre sürtünmesi veya uç mukavemetiyle iletilmesi

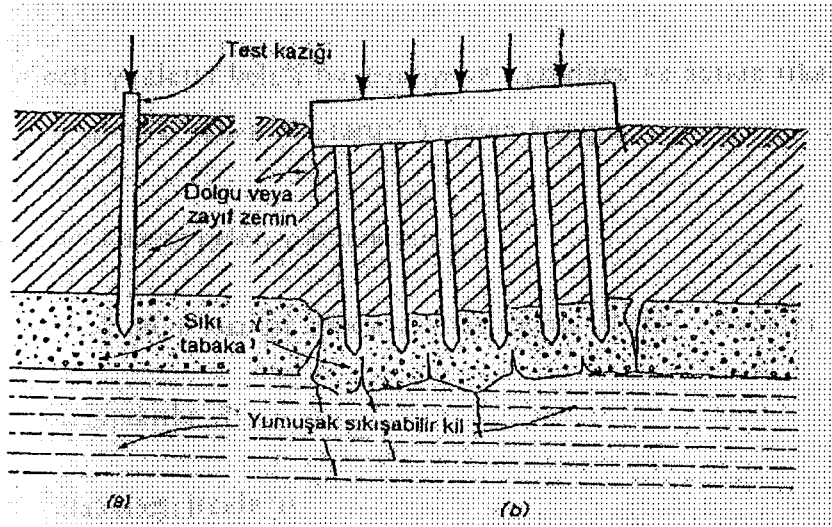
Kazık grubuna etkiyen yatay yük, düşey yükün %3'ünden az ve en fazla %5'ini geçmiyorsa, bu yatay yük düşey kazıklar tarafından alınabilir, eğik kazığa gerek yoktur (Alman Şartnamesi). Düşey kazığın taşıyabileceği yatay yük hesapla gösterilmelidir. Kazıklar taşıyıcı zemine 3.0 m girmelidir. Uç kazıklarda kayaya girme miktarı 3D kadardır (D kazık çapı).



Şekil 10.1. Sürtünme kazığını çevreleyen gerilmeler ve kazık grubunda bunların toplam etkisi



Şekil 10.2. Tek kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması a) Tek kazık b) Kazık grubu



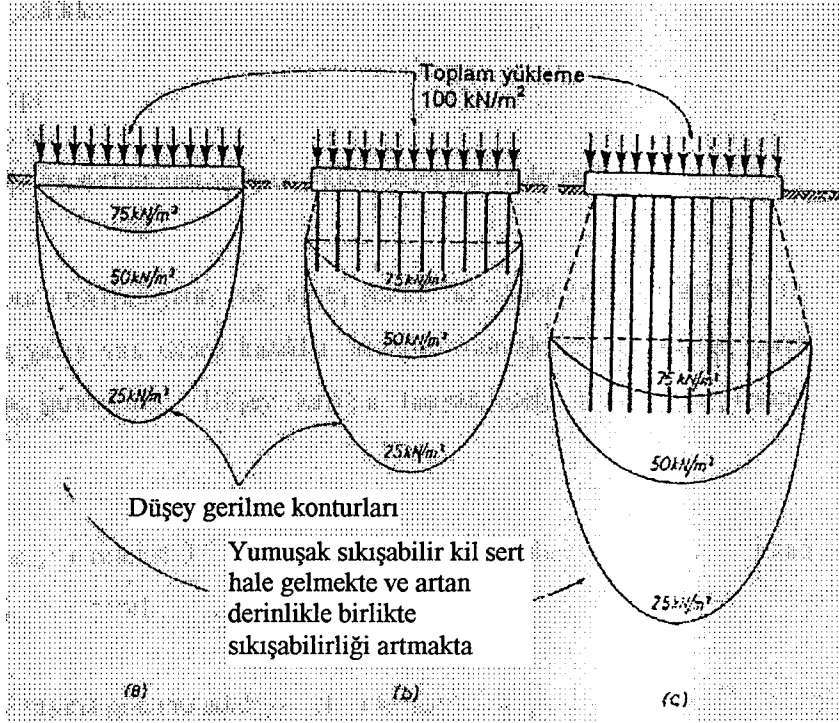
Şekil 10.3. Kazık grubunun kayma göçmesi

- (a) Test yükü tekil kazığa uygulandığı zaman yumuşak kil gerilmelerden pek etkilenmiyor.
 (b) Kazık grubuna üst yapı etkidiği zaman yumuşak kil gerilmelerden çok fazla etkileniyor.

Kazıklarda taşıma gücünü etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

- Taşıma gücü büyük ölçüde çevre sürtünmesinden oluşuyorsa, bu tür çakma kazıkların taşıyabilecekleri yük, ince kum, silt ve killi zeminlerde çakma işleminden sonra uzun bir süre artabilir.

- Kazıklar üstteki zemin tabakalarının oturması halinde, ilave negatif çevre sürtünmesiyle yüklenir (kazıkların uygun teşkili ve daha büyük kazık aralığı seçimi ile bu etki azaltılabilir).
- Kazıklı temel çevresinde yüzeysel yayılı yük bulunması halinde yumuşak zeminlerde yatay hareketler olabilir ve kazıklarda ilave eğilme zorlamaları ortaya çıkabilir.
- Büyük sallantı ve titreşimler gibi dinamik zorlamaların tesiri, kazık gücünün azalmasına neden olabilir.



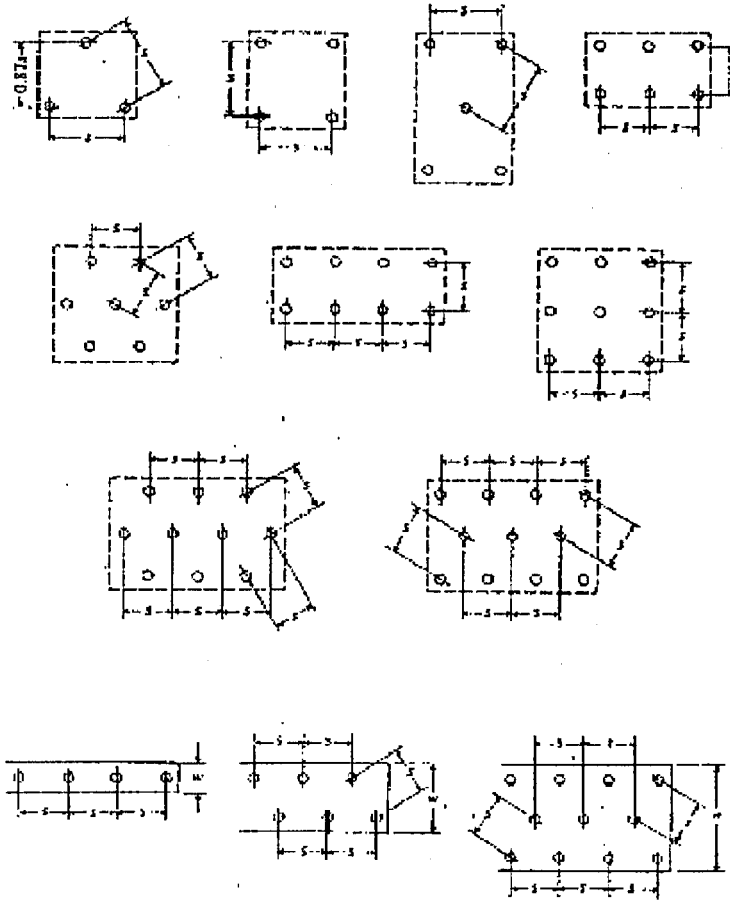
Şekil 10.4. Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımının karşılaştırılması a) Yüzeysel temel b) Mini sürtünme kazıkları c) Uzun sürtünme kazıkları

10.1.2. Kazıkların yerleştirilme esasları

Kazıkların yerleştirilmesiyle ilgili esaslar aşağıda verilmektedir:

- Grup halinde teşkilde, plandaki küçük alan boşluk maliyetini azaltır ve büyük yük halinde gerekli kazık miktarının yerleştirilebilmesine olanak sağlar.

- Zemin açısından mesafenin küçülmesi zararlıdır.
- İmalat esnasında kazıklar plandaki yerlerinden sapabilir. Bu duruma müsaade edilmemelidir.
- Bir veya iki kazıklı gruplarda eksantrisite önemli boyuta ulaşabilir, grubun en az üç kazıktan oluşması tercih edilmelidir. Şekil 10.5'te tipik kazık grupları yerleşimleri ve örnekleri görülmektedir.
- Normal yükleme halinde, grupta bir kenarda basınç, diğer kenarda çekme kazığı olmasından sakınılmalıdır.
- Oturma yönünden, uç kazıklarında farklı yükler önemli değil, yumuşak zeminlerdeki sürtünme kazıklarında kazık yükleri arasındaki eşitsizlik minimumda tutulmalıdır.



Şekil 10.5. Tipik kazık grubu örnekleri

Grup içerisindeki kazıkların ara mesafeleri Çizelge 10.1 'de çeşitli şartnamelerle verilmektedir.

Çizelge 10.1. Kazık ara mesafeleri

Şartname		Sürtünme Kazıkları	Uç Kazıkları
Amerikan Şartnamesi	Dairesel Kazık	$s=2D$	$s=D+30$ cm
	Köşeli Kazık s (min)	$s=2*\text{köşegen uzunluğu}$ ≥ 76 cm	$s=\text{köşegen uzunluğu}+30$
İngiliz Şartnamesi	Dairesel Kazık	$s=3D$	$s=2D$
	Köşeli Kazık s (min)	$s=4*\text{kenar uzunluğu}$ ≥ 106 cm	≥ 76 cm
Alman Şartnamesi	Bütün Kazıklarda	$s \geq 4D$	$s=2D$
	Sınır Değer	$s=3D$	

Japon şartnamesine göre

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

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

olmaktadır. Konuyla ilgili bağıntılar ise aşağıdadır:

$$s=(2.5P/100)^{1/2} \quad P(t), s(\text{cm}) \quad (10.1)$$

$$s=1.08(LD)^{1/2} \quad L (\text{kazık boyu}) \quad (10.2)$$

$$s=L/10 \quad (10.3)$$

$$s=(\text{kazık yük/kayan emniyet gerilmesi})^{1/2} \quad (10.4)$$

İsveç kazık şartnamesine göre kazıkların merkez-merkez mesafeleri Çizelge 10.2'de verilmektedir.

Çizelge 10.2. Kazık ara mesafeleri

Tahmin edilen kazık boyu	Uç ve Sürtünme kazıkları		Kohezyon kazıkları	
	Dairesel	Kare	Dairesel	Kare
< 10 m	3D	3.4B	4D	4.5B
10 – 25 m	4D	4.5B	5D	4.5B
> 25 m	5D	5.6B	6D	6.8B

Not : B=Kare temelin kenar uzunluğu
Bütün durumlarda min s=80 cm

10.2. Kazık Grubu Taşıma Kapasitesi

Bir grup içerisinde tek bir kazığın davranışının komşu kazıkların davranışı ve grubun geometrisinden etkilenir (Şekil 10.1). Bu etkileşime grup etkisi adı verilmektedir. Kazık – zemin – kazık etkileşiminin genelde iki bileşeni olduğu düşünülebilir. Yerleştirme etkisi veya mekanik yükleme etkisi [4]. Grup halinde, her kazığın çevresinde oluşan gerilme alanları girişim yapar. Bu yüzden, münferit kazığın etkinliği, çevresindeki kazıkların varlığı nedeniyle azalır. Grup olarak kazıkların taşıyabilecekleri nihaî yük, kazıkların tek başlarına taşıyabilecekleri nihaî yüklerin toplamından daha azdır. Kazıkların ara uzaklıklarını arttırmak ise, çoğu kere büyük ve kalın kazık başlıkları yapılmasının gerektirir ki, bu da kazıklara gelen yükleri arttırır. Grup etkinliği, E_g hakkında karma düşünceler bulunmaktadır. E_g aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$E_g = \text{Grup Kapasitesi} / \text{Kazık Sayısı} \times \text{Tek Kazık Kaspasitesi}$$

Prakash ve Saran (1967) kazıkların arasında 6D den daha büyük bir aralık bırakıldığında grup etkisinin önemli olmadığını göstermiştir. Arsoy ve Prakash (2001) kazığın birim yerdeğiştirmesinin 0.02'den küçük olması durumunda grup etkisinin nasıl azalacağını incelemiştir (Çizelge 10.3).

Çizelge 10.3. Birim yer değiştirmenin 0.02'den küçük olması durumunda grup etkisi

Kazık ara uzaklığı	Yük doğrultusunda maksimum kazık sayısı	
	2	6
3D	0.48	0.40
4D	0.60	0.50
5D	0.85	0.70
6D	1.00	0.85
7D	1.00	1.00

Sönmez ve Ergun (1994) kum içinde yapılan model deneyleri ile oturmalar üzerinde grup etkisi incelemişler ve kazıklar arasındaki uzaklık 3D'den daha fazla olduğu zaman bu etkinin azaldığını, ara 4D'yi geçtiği zaman ortadan kalktığı sonucuna varmıştır.

Whitaker (1957) kare şeklinde yerleştirilmiş model kazıklar üzerinde yaptığı deneyler ile, belli uzunluk ve sayıdaki her kazık grubu için göçme mekanizmasının bir eşik değeri olduğunu bulmuştur. Kazık aralıkları bu değer altında ise kazı grubunun "blok" olarak göçtüğü, bu değer üstünde ise kazıkların birbirlerinden bağımsız davrandıklarını göstermiştir.

Terzaghi ve Peck (1967), kazık grubunun taşıma gücünü veren bir ifade geliştirmişlerdir. Bu ifade, kazık başının tamamen rijit olduğu ve kazık grubunun bir "blok" halinde göçtüğü kabul edilerek çıkarılmıştır. Bu kabullere göre kazık grubu ve kazıklar arasındaki zeminden meydana gelen blok derin bir "ayak" gibi düşünülür ve taşıma gücü ifadesi yazılır:

$$Q_g = A_{\text{çevre}} \bar{c}_u + A_{\text{taban}} q_d - LA_{\text{taban}} \gamma \quad (10.5a)$$

$$Q_g = 2(B_g + L_g)L\bar{c}_u + (B_g L_g)5.14c_u - LB_g L_g \gamma \quad (10.5b)$$

$A_{\text{çevre}} (=2L_g B_g L)$: Bloğun çevresinin alanı,

$A_{\text{taban}} (=B_g L_g)$: Bloğun tabanının alanı,

L : Kazık uzunluğu,

B_g : Planda bloğun eni,

L_g : Planda bloğun boyu,

\bar{c}_u : Blok çevresindeki zeminin ortalama kayma mukavemeti,

c_u : Blok tabanındaki zeminin kayma mukavemeti,

γ : Blok içinde kalan zeminin birim hacim ağırlığı.

Tomlinson (1994) bu ifadenin biraz farklı bir şeklinin kullanılmasını tavsiye etmektedir.

$$Q_g = A_{\text{çevre}} \bar{c}_u + 1.3c_u N_c s A_{\text{taban}} \quad (10.6a)$$

$$Q_g = 2(B_g + L_g)L\bar{c}_u + 1.3c_u N_c s B_g L_g \quad (10.6b)$$

\bar{c}_u : Blok çevresindeki zeminin ortalama kayma mukavemeti,

c_u : Blok tabanındaki zeminin kayma mukavemeti,

N_c : Taşıma gücü katsayısı,

s : Şekil faktörü

N_c nin değerleri kazık grubunun derinlik/en oranına (L/B_g) bağlı olarak, s : şekil faktörünün değerleri kazık grubunun B_g/L_g oranına bağlı olarak verilmektedir. Daire veya kare şeklinde yerleştirilmiş kazıklarda, derinlik/en oranının 2'den büyük olması halinde taşıma gücü faktörü $N_c = 9$ alınabilir. L_g/B_g oranı 4 olduğu zaman şekil faktörü $s = 1.05$ olmakta, oranın daha büyük olması halinde ise daha küçük değerler almaktadır. L_g/B_g oranı 2 olduğu zaman $s = 1.10$ değerini almaktadır. Göçme, daha çok silt veya yumuşak kildeki sürtünme kazıklarında veya kalın bir silt veya yumuşak kil tabakası üstündeki sağlam tabakaya oturan uç kazıklarında meydana gelir. Terzaghi ve Peck'e (1967) göre, kazıklara gelen toplam proje yükü, $Q_g/3$ değerinden küçük kaldığı sürece, blok halinde göçme tehlikesi bulunmamaktadır. Blok tanımı da farklı olabilmektedir. DIN 1054 blok dış sınırını en dıştaki kazıkların çapının 3 katı kadar dışında kabul etmektedir.

Davisson (1970) kazık gruplarında yatay yatak katsayısının kazıkların merkezden merkeze uzaklıklarına göre azaltılmasını önermiştir (Çizelge 10.4) [2].

Çizelge 10.4. Kazık grupları için yatay yatak katsayıları (Davisson, 1970)

Yük doğrultusunda merkezden merkeze uzaklık	k_h ve n_h için grup azaltma faktörü
3D	0.25
4D	0.40
6D	0.70
8D	1.00

Eğer grup etkinliği, yükleme deneyiyle bulunmazsa, bazı teorik yaklaşımlarla bulunabilir. Gevşek kumlarda yapılan model deneyler bir çakma kazık grubun taşıma gücünün, tek kazıklar taşıma kapasiteleri toplamına oranı olarak tarif grup etkinliğinin, daima $E_g > 1$ olduğunu ve maksimum değer s/D (s kazık merkezleri arasındaki uzaklık) oranının 2 için elde edildiğini göstermektedir. Gruptaki kazık sayısı arttıkça grup etkinliğinin arttığı da gözlenmiştir. Sıkı kumlarda ise genel eğilim $E_g > 1$ olmakla birlikte dilatans nedeni ile $E_g < 1$ durumu doğabilir. Aynı sonuç fore kazıklar veya su jeti ile yerleştirilen kazıklar için de söz konusudur. Günümüzde alışagelmış uygulama kumda çakma kazıklarda güvenli bir varsayım üst sınır için $E_g = 1$ almak, fore kazıklar için $E_g = 0.67$ kabul etmek yönündedir. Killi zeminlerde yapılan model deneyler ise grup etkinliğinin < 1 olduğunu ve kare gruplarda $s/D < 2$ oldukça blok göçme eğilimini göstermektedir. Günümüzde blok göçme olmadıkça ve çakma sonucu doğan boşluk basıncının sönmülmesi için yük uygulamasından önce yeterli süre bırakılan hallerde $E_g = 1$ almak eğilimi vardır. Vesic, günümüz pratiğinin grup kapasitesini fazla tahmin ettiğini, blok göçmesi olmaksızın kazıkların tek tek zemine gömülmelerini gözlemlediğini belirtmektedir. Blok göçme olasılığının kontrol edilmesinin yanısıra $s/D = 2$ için $E_g = 0.7$ alıp $s/D = 8$ için $E_g = 1$ 'e arttırılmalıdır.

Değişik grup etkinlik eşitliklerinde etkinlik kazıklar arası uzaklığa bağlanmakta olup kazık - zemin durumunu gözlemlesiz daima $E_g < 1$ vermektedir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

- Converse – Labarre

$$E_g = 1 - \frac{\xi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right] \quad (10.7)$$

m = Kazık sıra sayısı

n = Bir sıradaki kazık sayısı

$\xi = \text{Arctan } D/s$

- Field

Kazık sayısına göre $E_g = 0.72 - 0.94$ değerlerinin alınmasını önermektedir.

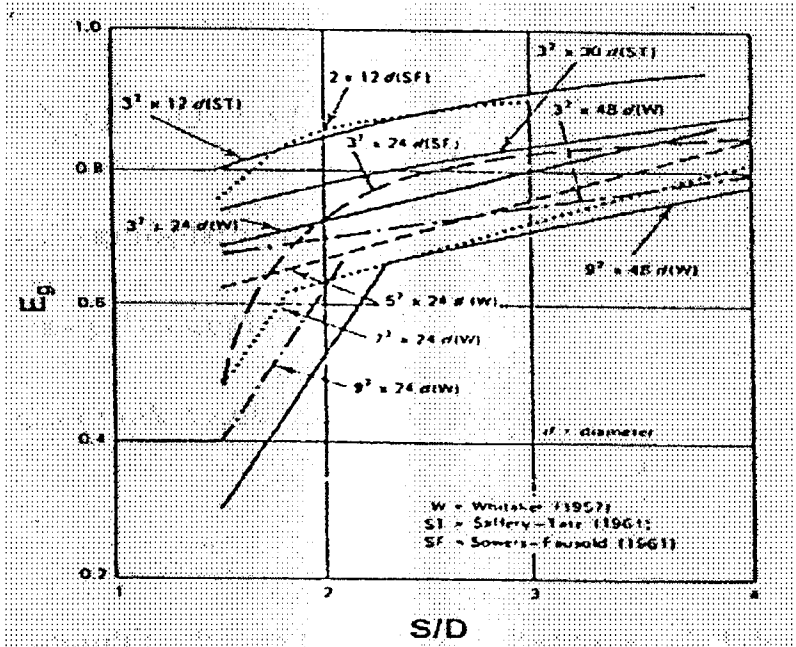
- Whiteaker

Deneyisel model sonuçlarına göre 3x3 ve 9x9'lu gruplar için s/D'nin değişik değerlerine göre etkinlik sayısı vermektedir. NAVFAC, bu eğrilerin killer için uygulanmasını önermektedir (Şekil 10.6).

- Poulos ve Davis

$$\frac{1}{E_g^2} = 1 + \frac{(mn)^2 Q_0^2}{Q_B^2} \quad (10.8)$$

Burada Q_0 tek kazığın, Q_B ise kazık grubu yerine düşünülecek eşdeğer büyük kazığın nihai yük taşıma kapasitesidir (Blok göçmesine karşı taşıma gücü).



Şekil 10.6. Killer için grup etkinliği

Çeşitli eşitlikler karşılaştırıldığında farkın fazla olduğunu belirtmektedir. Grup etkinliğinin hesaplanmasında elde anlaşılır bir matematik model olmadığı ve yalnızca grubun plandaki geometrisinin gözetildiği oysa zaman ve zemin karakteristiklerinin kazık başlığının zeminle ilişkisinin, kazık yerleştirme sırasının grup etkinliğinde etkisi olması gerektiği belirtilebilir. Aşağıda eleştirilerin bir kısmını karşılayan bir yöntem özetlenmektedir. Grup etkisinin yalnızca kazık çevresinde taşınan yükte göz önüne alınması gerektiğinden hareketle

$$Q_g = \sum Q_p + E_s \sum Q_s \quad Q_0 = Q_p + Q_s \quad (10.9)$$

Q_g = Grubun taşıyacağı toplam yük

Q_0 = Tek kazığın taşıyabileceği yük

Q_p ve Q_s = Çevredeki tek kazık yükü

$$E_s = E'_s K \quad (10.10)$$

E_s geometrik etkinlik, E'_s ve etkileşim faktörü K 'nın çarpımı ile elde edilmektedir.

$$E_g = \frac{Q_g}{\sum Q_0} = 1 - (1 - E'_s K) \frac{\sum Q_s}{\sum Q_0} \quad (10.11)$$

olur. $\sum Q_s / \sum Q_0 = Q_s / Q_0$ alınır da bu oran ρ sürtünme faktörü olarak tarif edilirse

$$E_g = 1 - (1 - E'_s K) \rho \quad (10.12)$$

olmaktadır. Uç kazıkları için $\rho = 0$ olup $E_g = 1$ vermektedir ki pratikte karşılaşılan durumlarla uyum içerisindedir. Eşitlikte kazık başlığının etkisinin gözönüne alınmadığı açıktır. Geometrik etkinlik E'_s

$$E'_s = \frac{P_g}{\sum P_p} \quad (10.13)$$

olarak grup çevresinde tek kazıklar çevrelerinin toplamına oranı olarak tarif edilir. Diğer deyişle

$$E'_s = 2 \frac{[(n-1)s + D] + [(m-1)s + D]}{\Pi mn D} \quad (10.14)$$

olup tipik değerleri 0.6 – 2.5 arasındadır. Killi zeminlerde ρ değerinin 0.60'dan büyük olması beklenirken tam sürtünme kazıklarında $\rho=1$ 'dir.

Grup etkileşim faktörü K ise kazık yerleştirme yöntemi, kazık aralığı ve zemin cinsine bağlı olacaktır. Kazık yerleştirilmesine bağlı mukavemet veya azalışları bu sayı ile modellenebilir. Sıkı kohezyonsuz veya sert kohezyonlu zeminlerde yüksek, gevşek ve yumuşak zeminlerde düşük değerler beklenecektir. Orta sıkı kumlarda 2-3 gibi değerler önerilmektedir. Tasarımda kullanılabilir K değerleri aşağıda verilmektedir (Çizelge 10.5). K için alt sınır değerleri az sayıda kazıklı grup, üst sınır çoklu kazık grupları için uygundur. Değerlerin çakma veya itme yoluyla yerleştirilen kazıklar için uygun olduğu, fore kazıklarda önemli farklılıklar doğabileceği özellikle vurgulanmalıdır. Hem kil hem kumda çakılmış gruplar için yapılan ölçüm sonuçlarıyla yaptıkları karşılaştırmalarda yöntemin büyük uyum sağladığını belirtmektedirler.

Çizelge 10.5. Tasarımda kullanılacak K değerleri

Zemin Türü	ρ	s/D	K
Gevşek kum	0.1 – 0.2	2	3 – 7
		4	2 – 4
		6	1 – 2
Orta sıkı kum	0.2 – 0.3	2	2 – 4
		4	1 – 3
		6	1
Yumuşak kil	0.8 – 0.9	2	1.1 – 1.7
		4	0.7 – 0.9
		6	0.5 – 0.6
Orta katı kil	0.6 – 0.7	2	1.5 – 1.7
		4	0.75 – 0.80
		6	0.50

Kazık başlığının kumlu zeminlerde zeminle temasta olması halinde grubun taşıyacağı yüke büyük katkısı olabilir. Bununla birlikte böyle bir kapasitenin mobilize olması başlığın kazıklardan daha fazla hareket etmesini gerektirebilir. Poulos ve Davis kazıklardan başlık ucuna kadar olan uzaklığın yarısını genişlik olarak kabul eden şerit bir temelin taşıma gücünün pratik maksatlar için gözönüne alınabileceğini belirtmektedirler. Eğer kazık grubu tamamen yumuşak bir kil içinde sonlanacaksa (bu pek istenen bir uygulama değil), grubun toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı hesaplanmalıdır. Grubun çevrelediği blok zeminin (Şekil 10.7) nihai kapasitesi (10.15) denklemi ile hesaplanabilir:

$$Q = 2D(B + L)\bar{c} + 1.3c_b s N_c BL \quad (10.15)$$

D = Kazıkların yüzeyden itibaren derinliği

B = Toplam genişlik

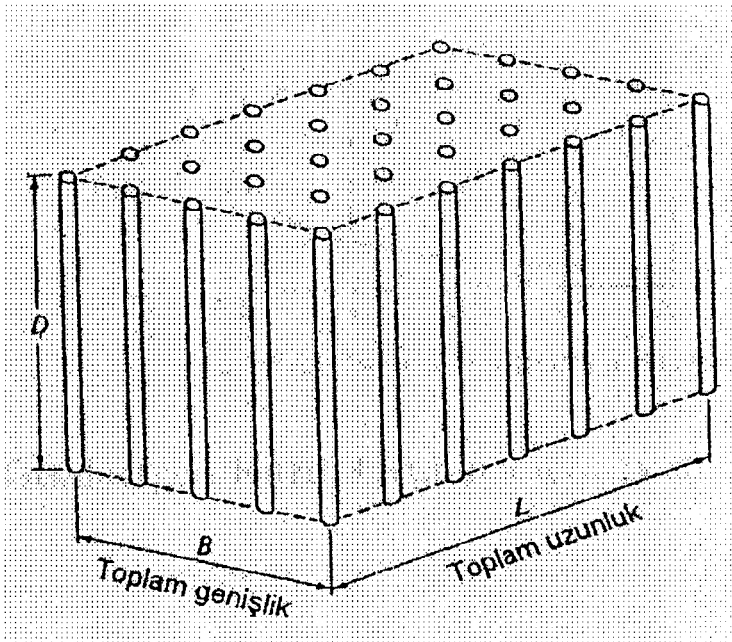
L = Toplam uzunluk

\bar{c} = Kazık boyunca bulunan kilin ortalama kohezyon değeri

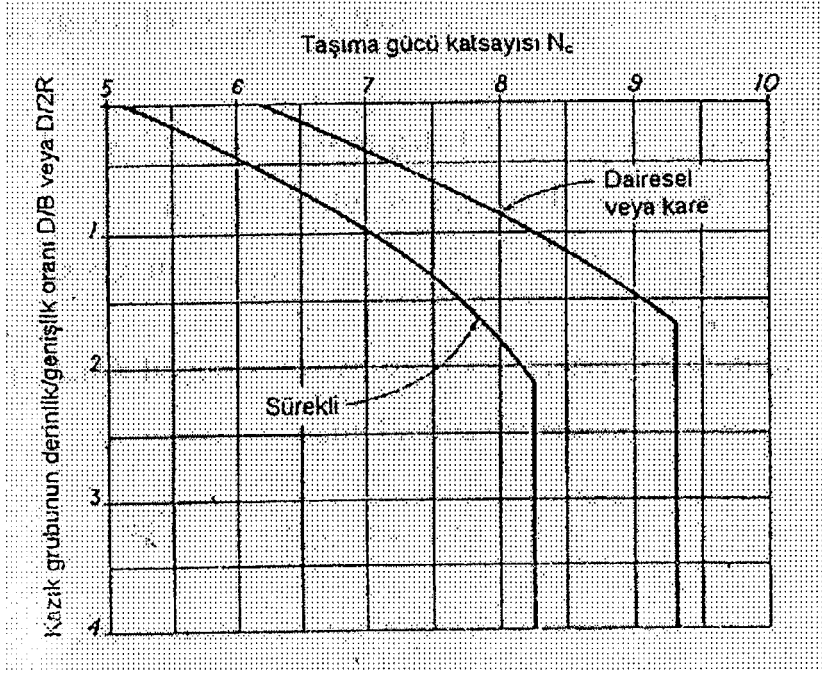
s = Şekil faktörü

N_c = Taşıma gücü katsayısı

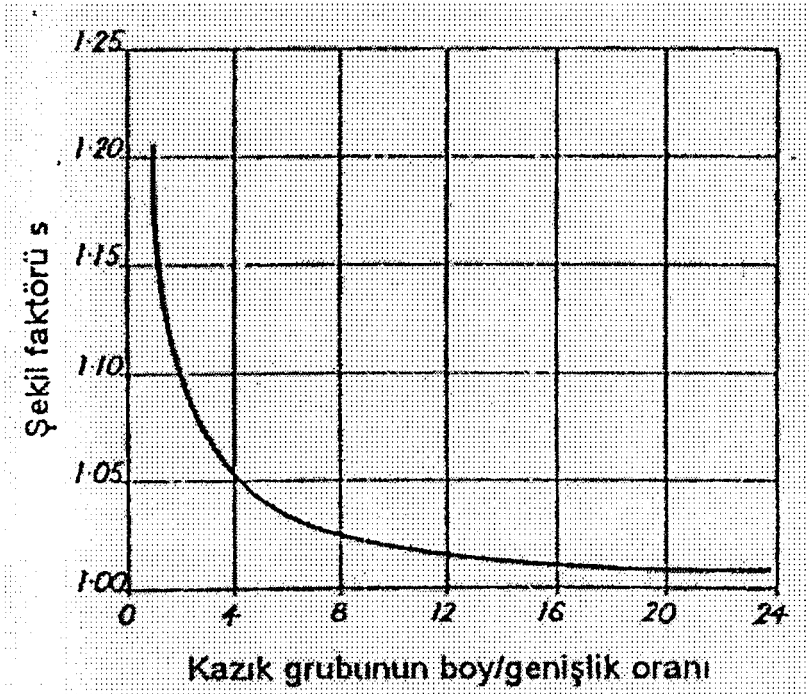
N_c değerleri Şekil 10.8'den, s değerleri Şekil 10.9'dan elde edilebilir.



Şekil 10.7. Kazık grubunun blok temel gibi davranması



Şekil 10.8. Taşıma gücü katsayısı, N_c



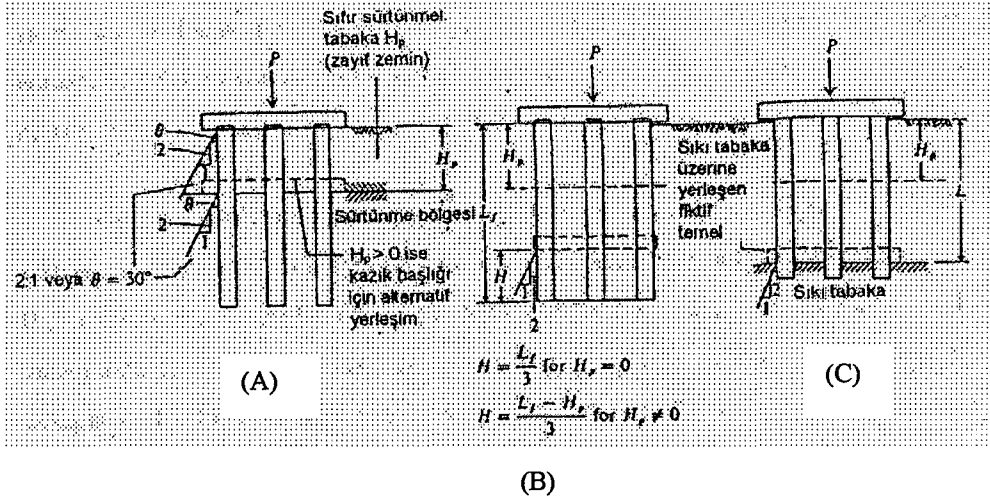
Şekil 10.9. Dikdörtgen kazık grupları için şekil faktörü

10.3. Kazık Gruplarının Altında Bulunan Zemin Tabakalarındaki Gerilmeler

Kazık gruplarının altındaki zeminlerin dayanımı ve oturmalarını tahmin etmek gerçekten çok zordur. Bunun nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Kazık başlığının etkisi – genellikle şişen zeminler hariç zemin ile direkt temas halindedir. Bu temas, kazık – zemin etkileşimini oldukça belirsiz hale getirmektedir.
- Kazık boyunca oluşan sürtünme etkisinin tam bilinmemesi, bu yüzden de kazık ucundaki yükün bulunamaması
- Komşu kazıkların gerilmelerinin çakışmaları değerlendirmeyi güçleştirmesi
- Çakma kazıkların çevre zemini etkilemeleri
- Konsolidasyon, tiksotropi, değişken yükler ve yer altı suyu seviyesinin değişimi gibi zamana bağlı etkilerin oluşması.

Bazı araştırmacılar, buradaki 2:1 gerilme dağılımının (veya 30°) kullanılmasının iyi bir metot olmadığını ve elastik çözümlerin tercih edilmesini istemektedirler. Kazık gruplarının altındaki zeminde oluşan gerilmelerin hesaplanması için bir analitik metot Geddes tarafından önerilmiştir. Geddes bu metodu Mindlin'nin elastik katılar içindeki tekil yük çözümünün üzerine adapte ederek bulmuştur. Boussinesq analizindeki gibi bu metot, zemini yarı sonsuz, izotropik, homojen ve elastik varsaymaktadır. Geddes bu metot için 3 durum geliştirmiştir (Şekil 10.11). Burada gerilme katsayıları elektronik hesap makineleri ile hesaplanabilir. Her durum için dört gerilme elde edilebilir (düşey, kayma, yanal ve çevresel) [4].



Şekil 10.10. Kazık gruplarının altında bulunan zemindeki gerilmelerin basit hesabı (A) Sürtünme kazıkları (B) Sürtünme kazıkları için alternatif metot (C) Uç kazıkları

10.4. Çeşitli Zeminlerde Kazık Gruplarının Davranışı

10.4.1. Kum içindeki sürtünme kazıkları

Sıkı kum içine kazık çakılması sırasında kolaylık sağlamak için, kazık ucu önündeki zemin su jeti ile gevşetilir. Kazıklar arasında merkezden merkeze uzaklığın en az kazık başındaki kazık çapının 3 katı olması istenir.

Gevşek kumlarda yapılan yükleme deneylerinde, kazık çakılması sırasında zeminin sıkılığının arttığı görülmüştür. Nitekim büyük çaplı kazık deneyleri ile kazık çakılmasından komşu kazığın taşıma gücünün etkilenmemesi için ara mesafesinin en az kazık çapının 5 katı olması gerektiği bulunmuştur (Petrasovits, 1973).

Oturmalar bakımından durum karışıktır. Bir kere, gevşek kumlarda oluşturulan kazık grupları zeminin sıkışmasına yol açar. İkincisi, blok olarak daha derin tabakalar ve daha geniş bir alan etkilenir ve genel olarak derine gidildikçe zeminin deformasyon modülü artar. Bu yüzden münferit bir kazığın oturması ile grup içindeki bir kazığın oturması birbirleriyle kolayca ilişkilendirilemez.

10.4.2. Sıkışabilir tabakalar altındaki kum veya çakıla oturan kazık grupları

Sıkışabilir tabakanın, genellikle, kazık taşıma gücüne etkisinin az olduğu durumlarda, kazık uç kazığı olarak tasarlanır. Bazı yerlerde, anakaya ayrılmış veya bozulmuş bir zemin tabakası ile örtülüdür. Kazık gruplarının teşkili sırasında, kazıkların çakımında farklı *refü* değerleri elde ediliyorsa nedeninin araştırılması gerekir. Bu amaçla, o kesimde zemin inceleme sondajı yapılmalıdır. İnceleme sonunda, farklı boydaki kazıkların altında yumuşak kil veya silt cepleri bulunduğu belirlenirse, kısa çakılmış kazıkların daha güçlü bir tokmakla tekrar çakılması gerekebilir (Terzaghi, Peck, Mesri, 1995).

Arazi kazılarak veya doldurularak elde edilen alanlarda dolgu altında gevşek kum tabakaları bulunuyorsa, dolgunun etkisi ihmal edilebilir. Bununla birlikte gevşek kumun sıvılaşma potansiyeli araştırılmalıdır. Dolgu alanlarının altında sıkışabilir zeminler varsa, bu zeminlerin konsolidasyonu sonucu kazıklara etkiyecek negatif sürtünme dikkate alınmalıdır.

Yeni dolgular veya yumuşak tabakalar geçilerek kuma oturan kazık gruplarında kazık uçlarına gelen nihai yük,

$$Q_F = Q + Q_I + Q_{II} \quad (10.16)$$

olarak yazılabilir. Burada Q yapı yükünü, Q_I kazıklar arasında kalan zeminin ağırlığını, Q_{II} kazıkların içinden geçtiği sıkışabilir tabakaların blok çevresindeki toplam kayma gerilmesini göstermektedir.

10.4.3. Sıkışabilir tabakalar altındaki kile oturan kazık grupları

Bu durumda, kazığa etkiyen kuvvetler kazığın ucu çevresindeki kilde oluşan gerilmeler ile karşılanır. Sıkışabilir tabakaların zamanla oturması sonucunda meydana gelen negatif sürtünme kazıklara etkiyen kuvvetlerin artmasına yol açar.

Sıkışabilir tabakalar altındaki kil tabakalarına oturan kazıklar arasındaki uzaklık kazık çapının 3 katından daha az olmamalıdır. Terzaghi, Peck, Mesri (1995), bu aralığın çapın 3.5 katı olmasının tercih edilmesini önermektedir.

10.4.4. Yüksek mukavemetli fakat altında yumuşak kil bulunan tabakalara oturan kazık grupları

Arazi profili, üstte sıkı kum tabakası, daha derinde yumuşak kil tabakasından oluşuyorsa, kazık grubunun oturmasını iki bileşene ayırabiliriz. Birinci bileşen kum içerisinde kazıkların, daha derinde yumuşak kil tabakası olmaması halindeki oturmasıdır. İkinci bileşen, kum tabakası altındaki yumuşak kilin konsolidasyonundan ötürü ortaya çıkan oturmadır. Tasarım isabetli ise birinci bileşen önemli olmayabilir. Bununla birlikte, ikinci bileşenin ihmal edilemeyecek mertebelerde olduğu görülmüştür.

10.4.5. Kayaya oturan kazık grupları

Kaya yüzeyi aşırı eğimli değilse, kayaya oturan kazık gruplarının blok olarak göçmesi tehlikesi yoktur. Kayaya oturan kazık gruplarının oturması genellikle ihmal edilebilecek mertebededir. Masif kayanın serbest basınç mukavemetinden yararlanılarak çatlaklı kayanın deformasyon modülünün hesaplanması için bir bağıntı BS8004'te verilmektedir:

$$E_d = jM_r q_u \quad (10.17)$$

Bu ifadede E_d çatlaklı kayanın deformasyon modülü, j kütle faktörü, M_r masif kayanın elastisite modülünün masif kayanın serbest basınç mukavemetine q_u oranıdır. M_r değerleri Çizelge 10.6'de, ve j değerleri Çizelge 10.7'te verilmektedir.

10.5. Kazık Gruplarının Neden Olduğu Zemin Kabarması

Silt veya kile çakılan kazıklar daha önce çakılmış kazıkların kabarma ile çıkmasına yol açar. Kazıkların, çıkması aşırı değerlere varacak olursa tekrar çakılmaları gerekir. Kazığın çıkmasına karşı önlem olarak, çakımdan önce kazık çukurunun açılması ve kazığın bu çukura çakılması veya zemini sıkıştırmayan kazıklar kullanılması düşünülebilir. Çeşitli yerlerde yapılan gözlem ve ölçmeler, kazık çakımı sırasında kil zeminde kabarma olmaması için kazıklar arasında,

kazık çapının 8-10 katı bir uzaklık bulunması gerektiğini göstermiştir (Tomlinson, 1994). Kilde zemin kabarması, ve yüksek boşluk suyu basınçların oluşmasına yerinde dökme betonarme (fore) kazıklarda rastlanılmaz.

Gevşek kumlu zeminlere kazık çakılması sırasında zemin sıkışır ve yüzeyde kabarma görülmez. Buna karşılık, zeminin sıkışması nedeniyle proje kotunun sağlanması için dolgu yapılması gerekebilir. Yerinde dökme betonarme kazık yapılması halinde, kazı işleminde uygun yöntem kullanılmayacak olursa, meydana gelecek oturmalar çok daha fazla olabilir [2].

Çizelge 10.6. M_r değerleri

Grup	Kaya Cinsi	M_r
1	Kireçtaşı ve dolomit Porozitezi düşük karbonatlı kumtaşı	600
2	Püskürük Oolitik ve marnlı kireçtaşı İyi çimentolaşmış kumtaşı Karbonatlı kumtaşı Sleyt ve şistler dahil metamorfik kayalar	300
3	Marnlı kireçtaşı Zayıf çimentolu kumtaşı Çimentolu çamurtaşı ve şeyl Sleyt ve şist	150
4	Çimentosuz çamurtaşı ve şeyl	75

Çizelge 10.7. Kaya kütle faktörü, j, değerleri

RQD (%)	Metrede çatlak frekansı	Kütle faktörü, j
0 – 25	15	0.2
25 – 50	15 – 8	0.2
50 – 75	8 – 5	0.2 – 0.5
75 – 90	5 – 1	0.5 – 0.8
90 - 100	1	0.8 – 1.0

11. YANAL YÜKLER ALTINDA KAZIKLARIN DAVRANIŞI

Üst yapının maruz kaldığı rüzgar, deprem kuvvetleri, toprak basıncı, gemi darbe ve çekme kuvvetleri, dalga çarpması, v.s. dolayısıyla temellere yan al yükler etkir. Bazen simetrik olmayan sürşarjdan dolayı da yan al kuvvetlere maruz kalır (Veloso ve diğ., 2001). Kuvvetin yatay bileşenin in düşey bileşene göre küçük olduğu durumlarda, düşey kazıklar yan al yükleri emniyetle taşıyacak yatay dirence sahip olabilir. Bir kazıklı temelde müsaade edilebilecek yan al yük, kazık cinsine, zemin cinsine ve zemin durumuna, kazık başlığının kazığa bağlanma şekline bağlıdır. Ayrıca, yapının özelliğinden doğan kayıtlar varsa bunlara uyulmalıdır [7].

Düşey bir kazık rijit bir başlıkla tespit edilmemişse, kazık başına gelen yatay yükün tamamını zemin alacaktır. Bu durumda, yan al kuvvet, kazığın şekil değıştirmesine de bağlı olarak belli bir derinliğe kadar zeminde oluş an gerilmeler ile karşılanır. Serbest başlı kısa kazığa etkiyen yatay kuvvetler artınca kazık ötelenir. Uzun kazıkların yan al yük karşısında davranışı farklıdır. Artan yan al kuvvetler karşısında uzun kazıkları alt tarafları düşey olarak kalır, üst tarafları yerdeğıştirir. Yumuşak kil veya şilt içine düşey olarak inşa edilmiş kazıklarda, zeminin kazığın yan al direncine katkısı azdır. Bu yüzden, böyle zeminlerdeki kazıkların kesit momenti hesaplanarak eğilmeye karşı dirençlerini arttıracak donatı konulmalıdır [2].

Kazığın başlık hizasında izin verilebilecek yatay yer değıştirmesi, kabaca, binalarda 6mm., geniş binalarda 12mm. alınabilir. Müsaade olunabilecek yan al yükler için McNulty (1956) tarafından deneylere dayanılarak Çizelge 11.1 deki değıerler verilmiştir.

Yumuşak kil veya silt içinde düşey olarak inşa edilmiş kazıkların yan al direncine zeminin katkısı azdır. Bu yüzden böyle zeminlerde, inşa edilmiş yan al yük alan kazıklara eğilme dirençlerini arttıracak şekilde donatı konulmalıdır.

Çizelge 11.1. Düşey kazıklar için izin verilen yatay yükler

Kazık Cinsi	Kazık Başlığı	Zemin Cinsi	İzin verilebilir yük (ton)
AHŞAP (30 cm çap)	Mafsalsal	Kum	0.7
		Orta kil	0.7
	Ankastre	Kum	2.0
		Orta kil	1.8
BETON (40 cm çapında)	Mafsalsal veya Ankastre	Orta kum	3.2
		İnce kum	2.5
		Orta kil	2.3

İshii ve diğerleri (1960), kazıkların yanal direnci için killi zeminlerde en çok 5 ton, üst 2 m. si kazılıp doldurulmuş killi zeminler için en çok 7 ton ve kumlu zeminler için en çok 10 ton değerlerinin Japonya için standart olduğunu bildirmektedirler. Bu yükler için kazık başının yer değiştirmesinin 5-10 cm. mertebesinde olacağı da belirtilmektedir. Kazık gruplarının yatay direnci ise her kazığın direncinin toplamı olacaktır. Genellikle şartnamelerde düşey kazıkların taşıyabilecekleri yatay yükler hakkında ayrıntılı kayıtlar bulunmamaktadır. Almanya'da kazık grubunu teşkil eden kazıklara gelen düşey yükün %3 'ü nihayet %5 'i kadar bir yanal kuvvete müsaade edilmektedir. Yanal yük müsaade edilen değerden fazla ise eğik kazıklar çakılması zorunlu olur.

11.1. Düşey Kazıkların Yanal Kuvvetlere Karşı Hesabı

Yanal yükler altında kazıkların davranışını incelerken proje yükleri altında kazığın eğilmesi ve kazığın nihai direnci ayrı ayrı göz önüne alınır. Böylece, her iki durum için kazığın güvenilir olduğu hesapla gösterilir. Kazığın proje yükleri altında eğilmesini kesin olarak hesaplayamayız. Zira, zemin için basit bir gerilme deformasyon bağıntısı verilememektedir. Öyleyse, problemi ancak belli kabuller yaparak, zemin davranışını idealize ederek inceleyebiliriz. Bu inceleme esas olarak iki şekilde yapılabilir:

- Zemin davranışını -temsil eden bir yatak katsayısı tanımlayarak,
- Zemini ideal elastik bir cisim olarak kabul ederek.

Aşırı derece de basitleştirici bir kavram olan zemin katsayısı, herhangi bir noktadaki zemin direnci ile o noktadaki yer değiştirme arasındaki ilişkiyi verir. Şuraya da işaret edilmelidir ki, yatak katsayısının tayini zordur, hatta imkansızdır. Çünkü yatak katsayısı, gerçek bir zemin sabiti olmayıp fiziksel bir özelliği tayin etmemektedir. Zemini, homojen, izotrop, elastik yarı ortam; kazığı, elastik bir cisim olarak kabul ederek yaklaşık bir çözüm de elde edilmektedir. Bu ikinci yol, elastik sabitler E_s elastisite modülü ve ν_s Poisson oranının, zemin davranışını bir ölçüde temsil etmesi beklenebilecek olan üniform kohezyonlu zemin tabakaları için bir sonuç verebilir. Kazığın nihai yanal direncinin hesaplanabilmesi için mümkün kırılma mekanizmaları göz önüne alınır. Kırılma mekanizması, kazık boyu, kazık başlığının rijitliği ve zemin cinsine bağlıdır.

11.2. Kazığın Yanal Yer Değiştirmesi

Kazığa etkileyen yanal kuvvetlere karşı zeminin karşı koyması bir seri yay ile idealize edilebilir. Kazığın birim boyunda birim yerdeğiştirme meydana getiren yanal gerilme, yayın k_h rijitliğini belirler, bu değere genellikle yatay yatak katsayısı adı verilir. Zemin üstündeki bir kirişin herhangi bir noktasındaki gerilme (p) ile o noktanın yer değiştirmesi (y) yani çökmesi arasındaki orana yatak katsayısı denir,

$$k_s = \frac{P}{y} \quad (11.1)$$

Bu tanımlama, kirişin herhangi bir noktasının çökmesinin yalnızca o noktadaki gerilme etkisinde meydana geldiği varsayılmaktadır. Terzaghi (1955) kazıkları da düşey kirişler gibi düşünerek bir yatay yatak katsayısı (k_h) tanımlamıştır. Öyle ki, bu katsayı kohezyonlu zeminlerde, zeminin serbest basınç direnci (q_h) ile kabaca orantılıdır. Öte yandan, normal konsolide olmuş killerin ve siltlerin serbest basınç direnci derinlikle lineer olarak arttığı için, böyle zeminlerde, yatak katsayısının da derinlikle arttığı söylenebilir. Üzerindeki buzulların kalkması, v.s. sebeplerle aşırı konsolide olmuş killerde yatak katsayısı derinlikle değişmez. Buna karşılık

kuruma ile aşırı konsolide zeminlerde yatak katsayısı derinlikle azalabilir. Burada, servis yüklerinde kazığın yanal yer değiştirmesinin, eğilme momenti dağılımının, kesme kuvvetlerinin yatak katsayısı teorisinden faydalanılarak nasıl hesaplanacağı anlatılacaktır. Hesaplarda basitliği sağlamak için kohezyonlu zeminlerde yatak katsayısının derinlikle değişmediği kabul edilecektir.

11.2.1. Kohezyonlu zeminlerdeki kazıkların yanal yer değiştirmesinin hesaplanması

Broms (1964 a) kohezyonlu zeminlerin davranışını *ideal elastik* katı cisim davranışına benzeterek bir hesap yolu vermiştir. Zemin davranışının yatak katsayısı ile iyi bir şekilde temsil edildiği kabul edilmektedir. Yer değiştirmeler, eğilme momentleri ve zemin reaksiyonu boyutsuz bir βL uzunluğuna bağlıdır,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h D}{4EI}} \quad (11.2)$$

Burada L kazık boyu, k_h yatak katsayısı, D kazığın çapı, E ve I kazığın elastisite modülü ve atalet momentidir. Kazığın zemin yüzü seviyesindeki yer değiştirmesi (y_0) aşağıdaki ifadelerden hesaplanabilir veya Şekil 11.1 'den bulunabilir (Broms ,1964 a). Bu şekil boyutsuz yanal yer değiştirme $y_0 k_h D L / P$ ile boyutsuz kazık boyu βL göre hazırlanmıştır.

$$\text{Kazık başlığı rijit, } \beta L < 0.5 \text{ ise} \quad y_0 = \frac{P}{k_h D L} \quad (11.3)$$

$$\text{Serbest başlık, } \beta L < 1.5 \text{ ise} \quad y_0 = \frac{4P(1+1.5\frac{e}{L})}{k_h D L} \quad (11.4)$$

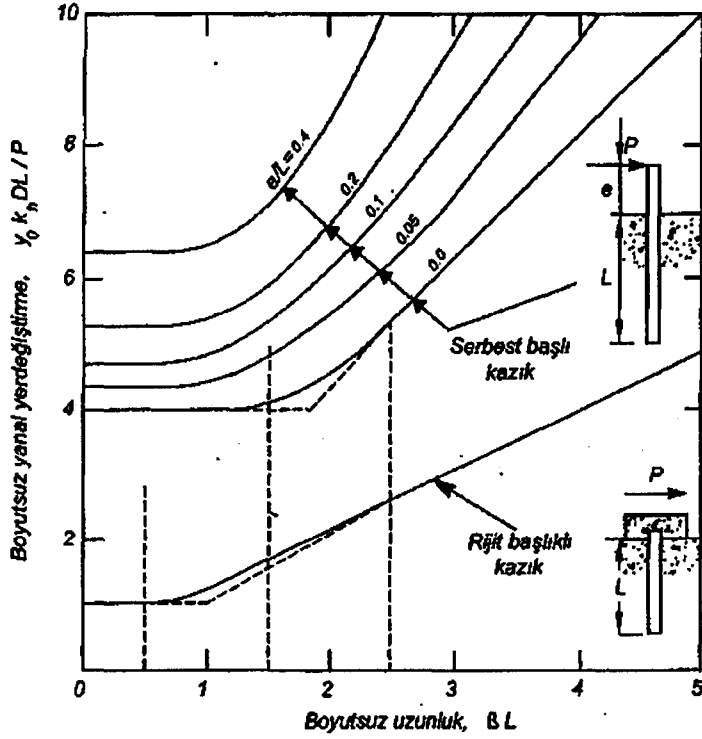
Sonsuz uzunlukta sayılabilecek kazıklarda

$$\text{Başlık rijit ve } \beta L > 1.5 \text{ ise} \quad y_0 = \frac{P\beta}{k_h D} \quad (11.5)$$

$$\text{Serbest başlık ve } \beta L > 2.5 \text{ ise} \quad y_0 = \frac{2P\beta(e\beta + 1)}{k_h D} \quad (11.6)$$

Kısa kazıklarda kazık boyunun artması, zemin yüzü seviyesindeki kazık yer değiştirmesini büyük ölçüde azaltır. Buna karşılık kazığın rijitliğinin etkisi yoktur. Rijit başlıklı kısa kazıkların zemin seviyesinde yanal yer değiştirmeleri, serbest başlıklı kazıklarınkinin teorik olarak dörtte biri kadar veya daha azı olur.

Uzun kazıklarda, βL değerinin serbest başlıklı kazıklarda 2.0 ve rijit başlıklı kazıklarda 1.0 den büyük değerleri için, kazığın veya zeminin özelliklerinin y_0 in hesaplanmasında önemi yoktur.



Şekil 11.1. Kohezyonlu zeminlerde kazığın yanal yer değiştirmesi (Broms, 1964a)

11.2.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıkların yanal yer değiştirmesinin hesaplanması

Yatak katsayısı kohezyonsuz zeminlerde derinlikle arttığı için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$k_h = n_h \frac{z}{D} \quad (11.7)$$

n_h 'in değerleri Çizelge 11.2 'de verilmiştir. Bu durumda, boyutsuz derinlik ηL olarak yazılır. η 'nın değeri aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\eta = \sqrt[5]{\frac{n_h}{EI}} \quad (11.8)$$

Çizelge 11.2. 1 m. genişliğinde şerit şeklindeki zemin karşısındaki 1 m. genişliğinde kazık için n_h (ton/m³) katsayıları (Terzaghi 1955)

Kumun izafi sıklığı	Gevşek	Orta	Sıkı
\bar{A} 'nın değerleri	100 - 300	300 - 1000	1000 - 2000
Temsili \bar{A} değeri	200	600	1500
Kuru veya nemli kumda n_h	240	710	1800
Su altında kumda n_h	150	450	1100

Broms (1964), boyutsuz yanal yer değiştirme $y_0(EI)^{3/5} (n_h)^{2/5}/PL$ ile boyutsuz kazık boyu ηL arasındaki bağıntıyı gösteren diyagramlar hazırlamıştır (şekil 11.2). Zemin yüzü seviyesindeki yanal yer değiştirme aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilir.

Rijit başlıklı kısa kazıkta
$$y_0 = \frac{2P}{L^2 n_h} \quad (11.9)$$

Rijit başlıklı ve $\eta L > 4.0$ ise
$$y_0 = \frac{0.93P}{n_h^{3/5} (EI)^{2/5}} \quad (11.10)$$

Serbest başlıklı ve $\eta L > 2.0$ ise
$$y_0 = \frac{18P \left(1 + \frac{4}{3} e/L\right)}{L^2 n_h} \quad (11.11)$$

Serbest başlıklı ve $\eta L > 4.0$ ise
$$y_0 = \frac{2.4P}{n_h^{3/5} (EI)^{2/5}} \quad (11.12)$$

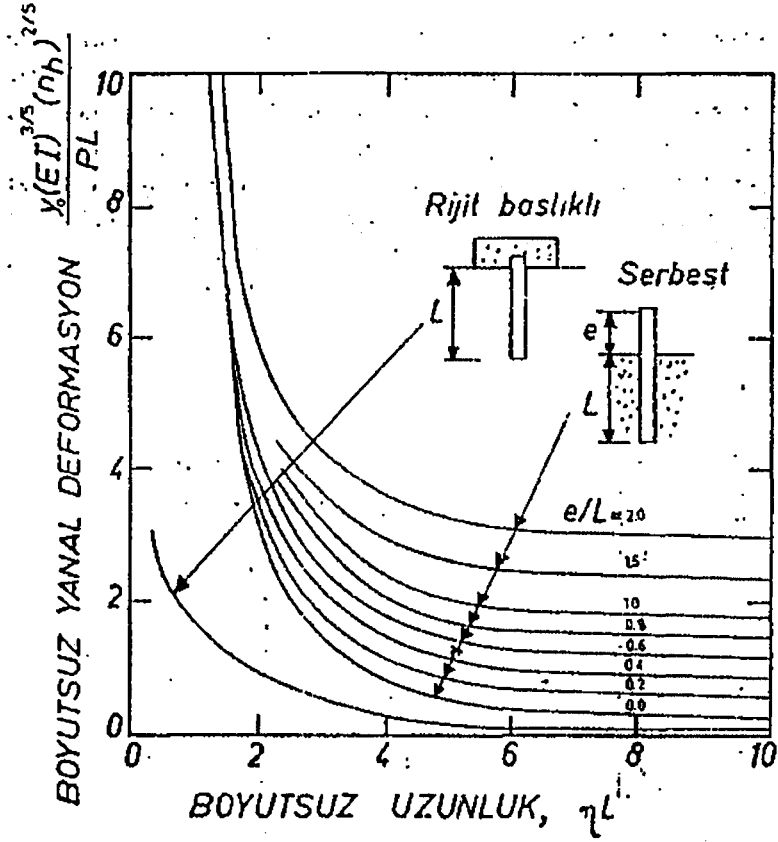
11.3. Kazığın Yanal Direnci

Kazığın taşıyabileceği maksimum yüke erişilirken yük artımlarına karşılık gelen yer değiştirmeler hızla artar. Kazığın yanal direnci, kazığın kırılma biçimine (mekanizmasına) bağlı olarak zeminin kayma direnci veya kazığın akma gerilmesi ile belirlidir. Kazığın yanal direncini inceleyen Broms (1964) hiperstatik sistemlerin plastisite metotları ile çözümünde yapıldığı gibi, en fazla zorlanan yerlerde plastik mafsallar oluşumuyla kazığın kırılacağını kabul etmiştir. Plastik mafsallın olduğu yerde moment sabit kalacağından statik belirsizlik ortadan kalkmaktadır. *Başı serbest kazık/ar*, kısa ve uzun kazıklar olarak, ikiye ayrılmıştır. Kısa kazık halinde yanal direnç zeminin direnci ile belirlidir (Şekil 11.3); uzun kazık halinde ise kazık kesitinin akma momentinin hesaplarında esas almak gerekir (Şekil 11.4). Kısa ve uzun kazıkları birbirinden ayırmak için kazığa etkiyen maksimum kuvvet hesaplanır ve bunun kazığın akma momentinden küçük olup olmadığına bakılır.

Maksimum moment oluşan olan kesitte kesme kuvveti sıfır olacağından f uzunluğu (Şekil 11.3 veya 11.4),

$$f = \frac{P_n}{9c_u D} \quad (11.13)$$

yazılabilir. Burada P_n kazığın taşıyabileceği nihai yanal kuvveti, c_u drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile bulunan kohezyonu, D kazık çapını göstermektedir.



Şekil 11.2. Kohezyonsuz zeminlerde kazığın yanal yer değiştirmesi

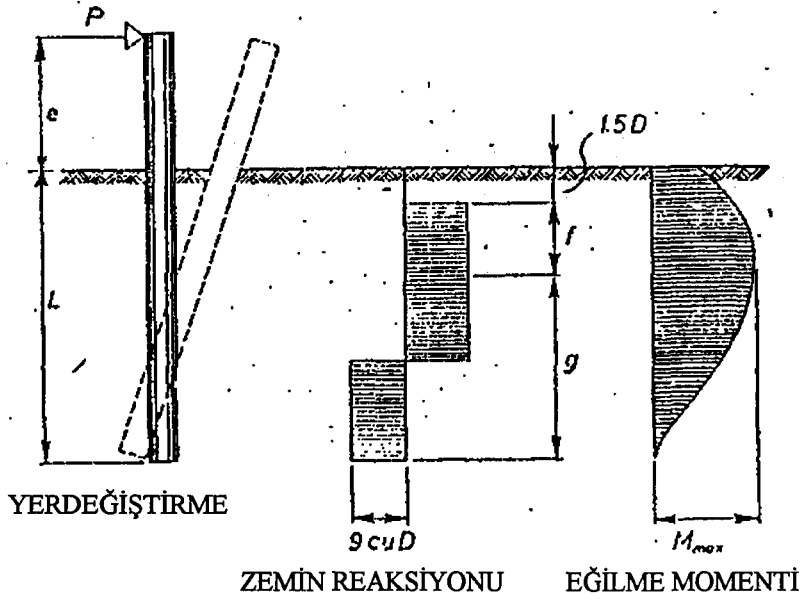
Aynı kesitte moment (Şekil 11.3),

$$M_{\max} = 2.25Dg^2c_u = P(e + 1.5D + 0.5f) \quad (11.14)$$

yazılabilir. Öteyandan, kazık boyu,

$$L = 1.5D + f + g \quad (11.15)$$

olarak belli olduğundan yukarıdaki denklemlerden P_n için bir çözüm ele geçer. Broms, hesaplamayı kolaylaştırmak amacı ile boyutsuz L/D ve P_n/c_uD^2 oranlarına bağlı olarak kısa kazığın nihai yükünün bulunmasında kullanılacak bir diyagram vermiştir (Şekil 11.5).



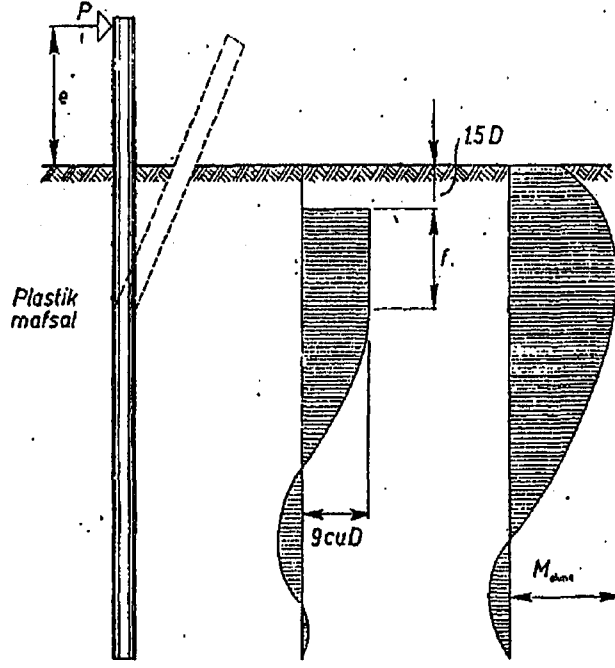
Şekil 11.3. Kısa kazıkların yanal direnci – Kohezyonlu zemin (Broms 1964)

Uzun kazık halinde, $M_{\max} = M_{\text{akma}}$ yazılabileceğinden, 11.13 ifadesi ve 11.14 ifadesinin ikinci kısmı kullanılarak nihai yanal yük için bir çözüm elde edilir. Boyutsuz $P_n/c_u D^2$ ve $M_{\text{akma}}/c_u D^3$ eksenlerine göre hazırlanmış bir diyagram verilmiştir (Şekil 11.6).

Başlığı rijit olan kazıklar için de mekanizmalardan birini veya diğerini tercih etmek kazıkta meydana gelen maksimum momentin, kazık kesitinin akma momentine eşitliği araştırılarak mümkün olur. Üç kırılma mekanizması tarif edilmiştir (Şekil 11.7, 11.8, 11.9). Birinci halde yanal kuvvet kazığın ötelenmesine sebep olmaktadır (Şekil 11.7). Nihai yanal yük ve maksimum moment şöyle yazılabilir:

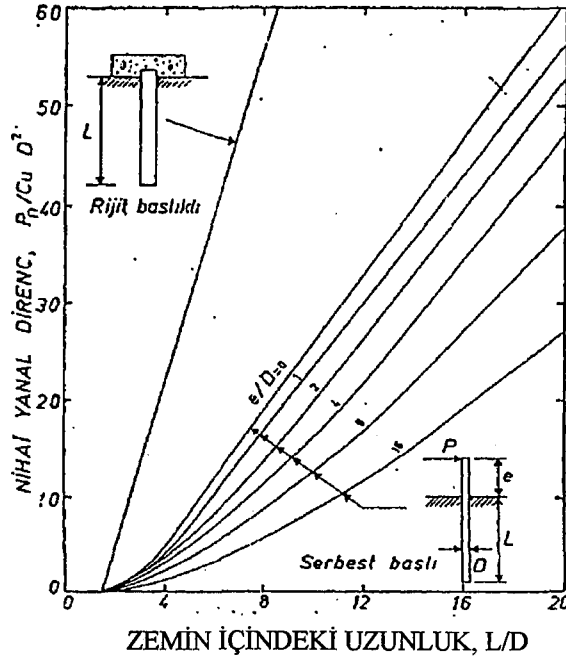
$$P_n = 9c_u D(1 - 1.5D) \quad (11.16)$$

$$M_{\max} = P_n(0.5L + 0.5D) \leq M_{\text{akma}} \quad (11.17)$$



YERDEĞİŞTİRME ZEMİN REAKSİYONU EĞİLME MOMENTİ

Şekil 11.4. Uzun kazıkların yanal direnci – Kohezyonlu zemin (Broms 1964)



Şekil 11.5. Kısa kazıkların nihai yanal yükünün bulunması – Kohezyonlu zemin

bulunur. Bu ifadeler ile birlikte 11.15 ifadesi de göz önüne alınırsa nihai yanal yük için bir çözüm ele geçer. Şekil 11.8 'de görülen orta boy kazık halinin olabilmesi için, $1.5D+f$ derinliğinde meydana gelen maksimum momentin kazığın akma momentinden daha küçük olması gereklidir. Aksi halde Şekil 11.9 'da gösterilen uzun kazık hali meydana gelir.

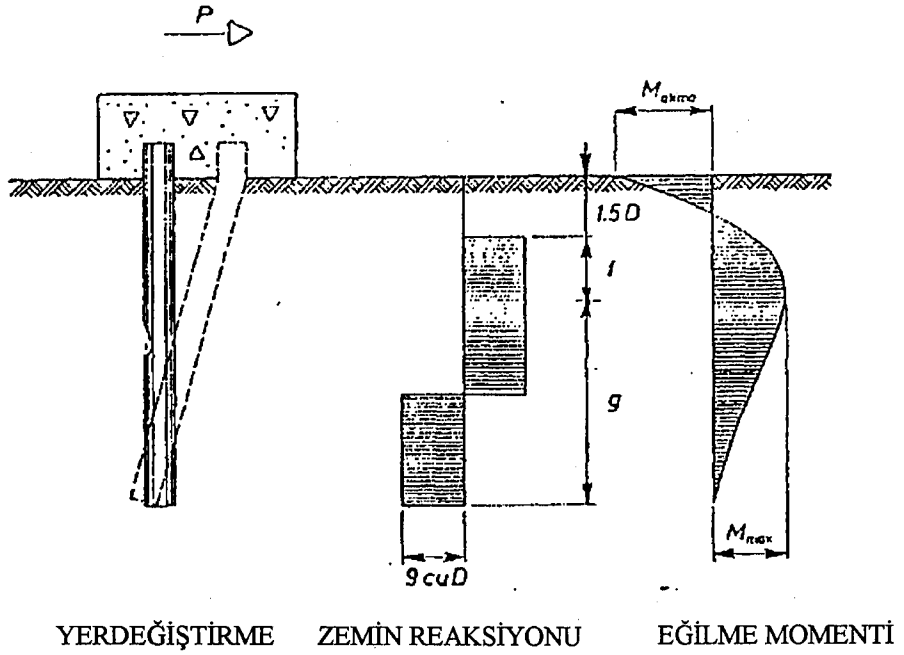
Rijit başlıklı uzun kazık halinde nihai yük,

$$P_n = \frac{2M_{akma}}{1.5D + 0.5f} \quad (11.19)$$

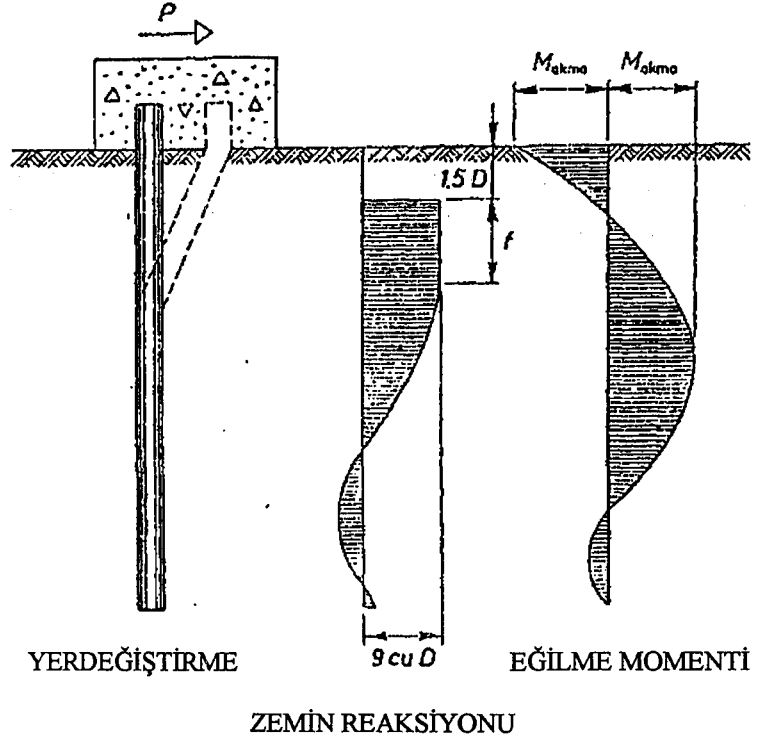
ifadesi ile verilebilir, 11.13 ifadesi kullanılarak

$$P_n^2 + 27c_u D^2 P_n - 36c_u D M_{akma} = 0 \quad (11.20)$$

bulunur. Boyutsuz eksenlere göre hazırlanmış diyagram Şekil 11.6' da verilmiştir.



Şekil 11.8. Rijit başlıklı orta boy kazıkların yanal direnci – Kohezyonlu zemin



Şekil 11.9. Rijit başlıklı uzun kazıkların yanal direnci – Kohezyonlu zemin

11.3.2. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıkların yanal direnci

Kohezyonsuz zeminlerde kazığın yanal direncini hesaplamak için Broms şu kabulleri yapmaktadır:

- Kazığın arkasındaki aktif gerilme ihmal edilmektedir,
- Kazığın önündeki pasif basınç olarak Rankine'nin plastik denge durumuna göre hesaplanan değer üç katı alınmaktadır,
- Kazık kesitinin şekli yanal direnç veya toprak basıncı dağılışını etkilemektedir,
- Göz önüne alınan yer değiştirmelerin olabilmesi için yanal direncin tümü kullanılmaktadır (mobilize olmaktadır).

İkinci kabule göre, z derinliğindeki yanal toprak basıncı,

$$q = 3D\gamma zK_p \quad (11.21)$$

ifadesi ile verilebilir. Burada K_p pasif toprak basıncı katsayısıdır ve ϕ_a drenajlı deneyde bulunan kayma direnci açısı ise,

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi_a}{1 - \sin \phi_a} \quad (11.22)$$

ifadesi ile hesaplanabilir, γ zeminin tabii birim hacim ağırlığıdır. Göz önüne alınan kesim su seviyesi altında ise su altında birim hacim ağırlığı γ_a kullanılmalıdır.

Serbest başlı kazıklara gelecek toprak basıncı ve kazık kesitine gelecek moment dağılımları Sekil 11.10 ve 11.11 'de görülmektedir. Kazıkta meydana gelen maksimum moment, kazık kesitinin akma momentinden küçükse kazık, kısa kazıktır (Şekil 11.10), taşıyabileceği maksimum yanal kuvvet,

$$P_n = \frac{0.5DL^3 K_p \gamma}{e + L} \quad (11.23)$$

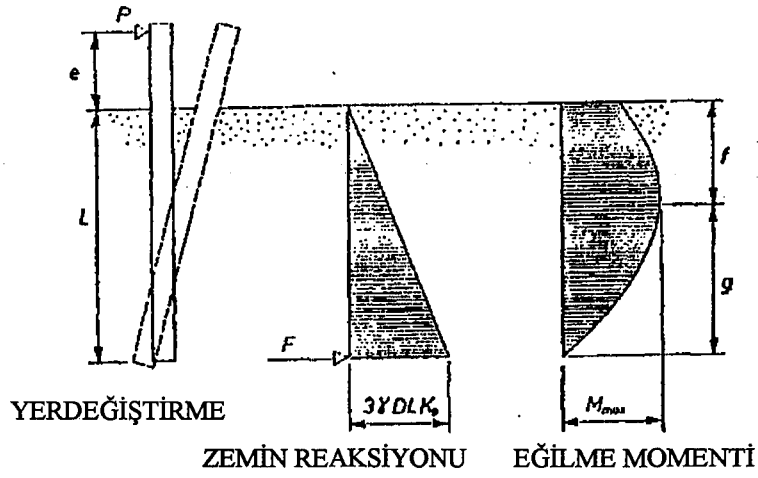
olarak bulunur. Maksimum moment zemin yüzünden f derinliğinde meydana gelecektir. Burada kesme kuvveti sıfır olacağından

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{P}{DK_p \gamma}} \quad (11.24)$$

yazılabilir. Maksimum moment ise,

$$M_{\max} = P \left(e + \frac{2}{3} f \right) \quad (11.25)$$

olur. Eğer 11.25 denkleminde bulunan moment kazık kesitinin akma momentinden büyük ise uzun kazık mekanizması geçerli olur (Şekil 11.11). f derinliğinde plastik bir mafsal oluşumu söz konusudur ve nihai yanal direnç 11.24 ve 11.25 ifadelerinden hesaplanır. Broms (1964) kısa kazıkların hesabı için, L/D ve $P_n/K_p \gamma D^3$ boyutsuz katsayılarını kullanarak; uzun kazıkların hesabı için $P_n/K_p \gamma D^3$ ve $M_{\text{akma}}/D^4 \gamma K_p$ katsayılarını kullanarak diyagramlar hazırlamıştır (Şekil 10.12, 10.13).



Şekil 11.10. Kısa kazıkların yanıl direnci – Kohezyonsuz zemin

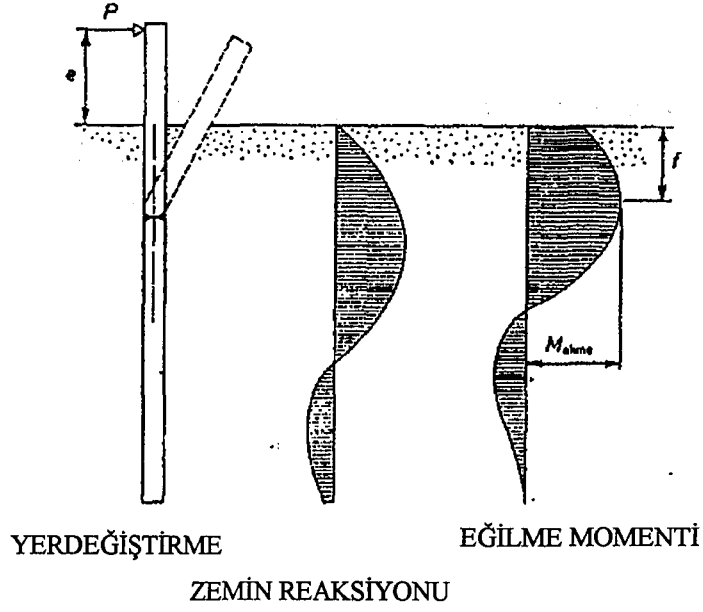
Rijit başlıklı kazıkların yanıl direncini hesaplariken zeminlerde kısa, orta boy ve uzun kazık durumu vardır.

Kısa kazık olarak adlandırılan mekanizmada maksimum moment, başlığın hemen altında meydana gelmektedir (Şekil 11.14). Nihai yanıl direnç doğrudan doğruya zeminin pasif direncine eşit olmaktadır:

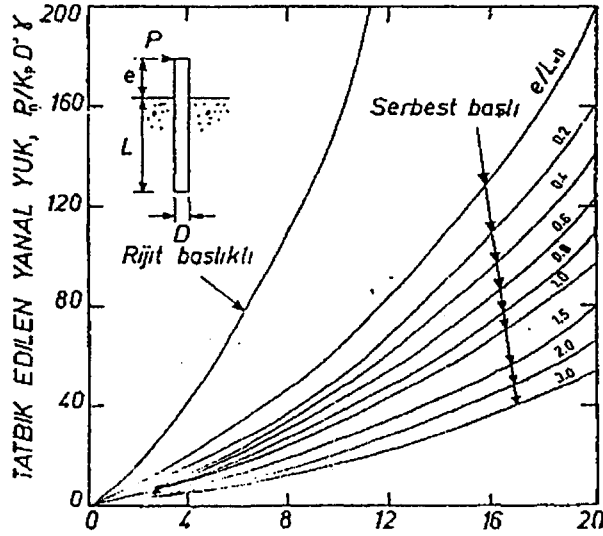
$$P_n = 1.5\gamma L^2 DK_p \quad (11.26)$$

Maksimum moment ise kolayca hesaplanabilir,

$$M_{max} = \frac{2}{3} PL \quad (11.27)$$



Şekil 11.11. Uzun kazıkların yanıl direnci – Kohezyonsuz zemin

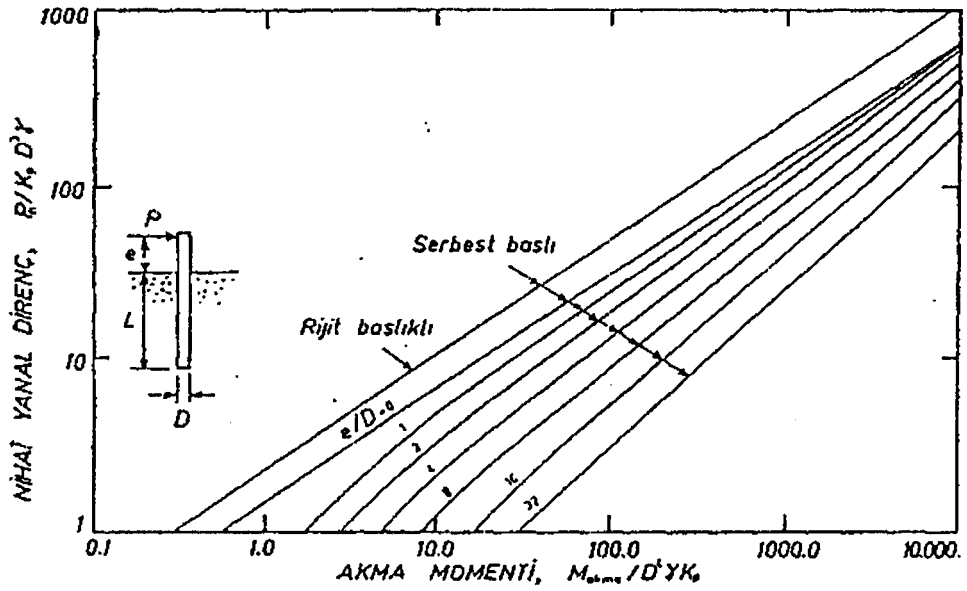


Şekil 11.12. Kısa kazıkların nihai yanıl yükünün bulunması – Kohezyonsuz zemin

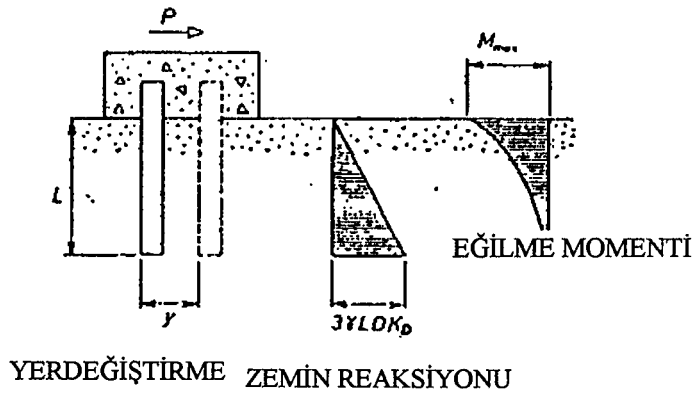
Maksimum momentin değeri kesitin akma momentine ulaşırsa orta boy kazık haline varılmış olur (Şekil 11.15). Artık rijit başlığın hemen altında bir plastik mafsal oluşmuştur. Kazığın dönmesinden dolayı ortaya çıkan pasif toprak direnci yerine kazık alt ucuna bir F kuvveti ikame edilir. Kuvvetlerin yatay izdüşümlerinden,

$$F = \frac{3}{2}DL^2K_p\gamma - P \quad (11.28)$$

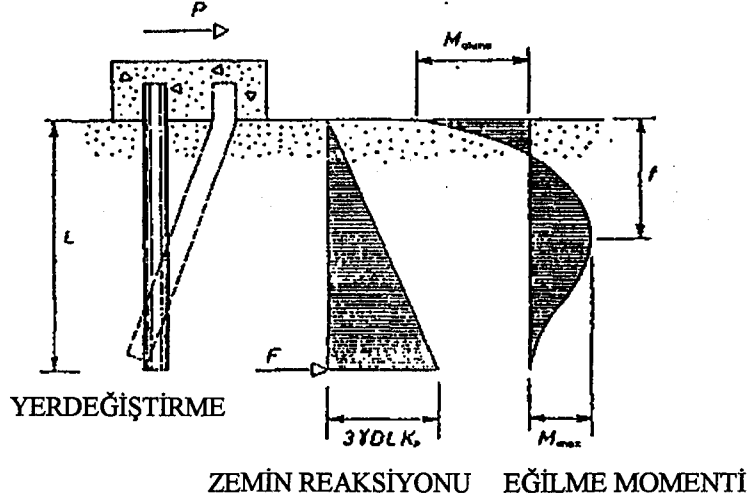
yazılır.



Şekil 11.13. Uzun kazıkların nihai yanıl yükünün bulunması – Kohezyonsuz zemin



Şekil 11.14. Rijit başlıklı kısa kazıkların yanıl direnci – Kohezyonsuz zemin



Şekil 11.15. Rijit başlıklı orta boy kazıkların yanal direnci – Kohezyonsuz zemin

Başlığın hemen altındaki noktaya göre moment alınır ve F 'nin yerine eşiti konacak olursa

$$M_{akma} = 0.5\gamma DL^3 K_p - P_n L \quad (11.29)$$

ifadesi elde edilir. Nihai direnç 11.29 denkleminde

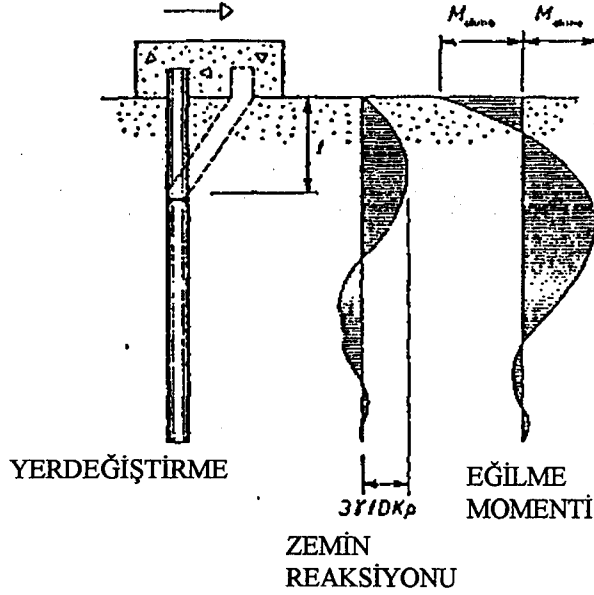
$$P_n = \frac{M_{akma} - 0.5DL^3 K_p \gamma}{L} \quad (11.30)$$

olarak bulunur.

Orta boy kazık hali, zemin yüzünden herhangi bir f derinliğinde eğilme momentinin kazığın akma momentinden küçük kalabildiği sürece geçerlidir. f derinliğinde ikinci plastik mafsallın oluşumu ile (Şekil 11.16) uzun kazık mekanizması ortaya çıkar. Bu durumda nihai yükü aşağıdaki ifade ile verebiliriz (Toğrol 1970).

$$P_n \left(e + \frac{2}{3} f \right) = 2M_{akma} \quad (11.31)$$

Şekil 11.12 ve 11.13'de nihai yükün bulunabilmesi için hazırlanmış diyagramlar görülmektedir [7].



Şekil 11.16. Rijit başlıklı uzun kazıkların yanıl direnci – Kohezyonsuz zemin (Broms 1964)

11.4. Yanal Yük Etkisinde Kazık Grupları

Yanal yüklü kazık gruplarında tek kazıkta olduğu gibi kazıkların yapısal göçmesi, grubun aşırı yer değiştirmesi ve kazıklar etrafındaki zeminde son taşıma gücüne ulaşma nedeni ile göçme olasılığı birlikte gözetilmelidir. Kazık gruplarıyla ilgili problemlerde genellikle en çok yük alan kazıkta doğan maksimum eğilme momenti veya yer değiştirmeler daha kritik olmaktadır.

Bir grup içerisindeki yerleşime göre gruplar geniş ve dar aralıklı diye ikiye ayrılabilir. Geniş aralıklarda bir kazığın yer değiştirmesi diğerini etkilememekte olup, yanıl yük kazıklara eşit bölünüp daha sonra tek kazık analizi yapılabilir. Sık aralıklı gruplarda ise bir kazığın davranışı diğerini etkilemektedir. Bu davranışa (kazık-zemin-kazık etkileşimi) etki eden diğer etkenler arasında kazık başlığının zeminle ilişkisi ve kazık başlığının varlığı ile onun sağladığı rijitlik sayılabilir. Tek bir kazık için bile serbest ve tutulu başlı kazıkta yanıl ötelenme 4:1 oranında olduğu bilindiğinden bir grupta kazık başlığının, kazık başlarına sağladığı rijitlik özellikle göz önüne alınmalıdır. Diğer yandan kazığın yerleştirme biçimi (çakma

veya delme) zeminin içerisindeki gerilmeleri farklı şekilde değiştirdiğinden kazık grubunun davranışında etkili olması beklenir.

Kazık gruplarının yanal yükler etkisinde tasarımı için var olan yöntemlerden çok bilinenleri aşağıda özetlenmektedir.

11.4.1. Grup azaltma faktörü yöntemi

Kumlar üzerinde yapılan model deneylere dayanmakta olup Davisson (1970)'a göre 8B'den daha fazla aralıkta kazık-zemin-kazık etkileşimi söz konusu değildir. Kazık grubunun yatay yük taşıma gücünü bulmak için yatak katsayısı (kumlu ve normal konsolide killi zeminlerde yatak katsayısı değişim çarpanı n_h veya aşırı konsolide killi zeminlerde değişmez yatak katsayısı k_h) yatay yük yönündeki aralığa göre aşağıdaki gibi azaltılmalıdır.

Çizelge 11.3. Grup azaltma faktörü

Yük yönünde kazık aralığı	n_h veya k_h 'da azaltma faktörü
3B	0.25
4B	0.40
6B	0.70
8B	1.00

Kazıkların yanal yük taşıma güçlerini deplasmanla sınırlamak için yapılacak analiz de bu azaltılmış değere göre tek bir kazığın taşıma gücü bulunduğundan sonra grup için tek kazık taşıma güçleri toplanacaktır. Diğer bir yöntem de grubun yanal taşıma gücünü bulmak için tek kazık taşıma gücü toplamına bir grup etkinlik faktörü uygulamaktır. Kohezyonsuz zeminlerde grup etkinlik faktörü Oteo (1972) tarafından verilmektedir.

Çizelge 11.4. Kohezyonsuz zeminler için grup etkinliği

S/B	G_e
3	0.50
4	0.60
5	0.68
6	0.70

Kohezyonlu zeminlerde grup etkinlik faktörü Prakash ve Saran (1967) tarafından verilmektedir.

Çizelge 11.5. Kohezyonlu zeminler için grup etkinliği

S/B	G_e
3	0.40
4	0.50
5	0.55
6	0.65
8	1.00

Grup etkinlik faktörü yardımı ile

$$Q_{u_g} = G_e n Q_u \quad (11.32)$$

eşitliğinde kullanılarak grup taşıma gücü bulunacaktır. Q_u tek bir kazığın taşıyabileceği son yüktür. G_e değerlerinin kohezyonlu zeminlerde, kohezyonsuza göre daha küçük olduğu görülmektedir.

11.4.2. Grup büyütme yöntemi, Ooi ve Duncan (1994)

Bir grupta bir kazığın çevresindeki zeminin yer değiştirmesine neden olarak diğer kazıkların yer değiştirmesine ek bir etki yapması beklenir. Grup için yer değiştirme tek kazığa göre fazla olacağından kazıklardaki eğilme momentleri de daha fazla olacaktır. Bu nedenle tek bir kazığın yanal ötelenmesi ve momenti grup için bir büyütme faktörü ile çarpılıp bulunabilir.

$$y_g = C_y y_s \quad M_g = C_m M_s \quad (11.33)$$

Burada y_s ve M_s tek kazık için bulunacak yanal ötelenme ve moment, C_y ve C_m ise ötelenme ve moment büyütme faktörüdür.

Ooi ve Duncan bir çok kazık grubunda farklı kazık sayısı, farklı kazık aralığı, farklı kazık boyutu, farklı kazık rijitliği ile farklı zemin mukavemet ve rijitliği için konuyu araştırmışlardır. Parametrik çalışmalar sonunda

$$C_y = \frac{A + N_k}{B' \left(\frac{S}{B} + \frac{P_s}{CP_N} \right)^{0.5}} \quad (11.34)$$

bulunmuştur. Burada A kilde 16, kumda 9 alınması gereken boyutsuz katsayı, N_k gruptaki kazık sayısı, B' kilde 5.5, kumda 3.0 alınması gereken boyutsuz katsayı, S ortalama kazık aralığı, B kazık çapı, P_s bir kazığa gelen ortalama yük (toplam yük/kazık sayısı), C kilde 3, kumda 16 olan boyutsuz katsayı, P_N kil için $S_u B^2$, kum için $K_p \gamma B^3$ dür. γ üstteki 8B bölgesinde toplam birim hacim ağırlığı, K_p ise 8B bölgesindeki ortalama ϕ 'ye göre bulunacak pasif itki katsayısıdır.

Brown vd. (1988)'e göre serbest başlı kazıkların grubunda maksimum moment ön sıra kazıkta olur, en fazla yük ise köşe kazıklardadır. Maksimum momentin büyüklüğü ve yeri etkiyen yükün büyüklüğüne ve statik ya da çevrimli etki etmesine göre değişmekte olup hiçbir basit yöntemle tam tahmin edilemez.

Grup yer değiştirmesi bulunduktan sonra zeminde S_u veya ϕ azaltılarak zemin 'yumuşatılır' ve tek kazık yer değiştirmesinin grubunkine eşit duruma gelmesi sağlanır. Maksimum moment bu yumuşatılmış zemin parametresine göre hesaplanabilir. Böylece hesaplanacak moment, grubun fazla deplasmanı ile uyum

içinde olacak ve grubun en fazla yüklenen kazığının maksimum momentini verecektir. Bu şekilde moment büyütme faktörü

$$C_m = (C_y)^n \quad (11.35)$$

olarak elde edilmiştir. Buradaki n sayısı

$$\text{kilde } n = \frac{P_s}{150P_N} + 0.25, \text{ kumda } n = \frac{P_s}{300P_N} + 0.30 \quad (11.36)$$

alınacaktır.

Gelecekte yoğun uygulama alanı bulması beklenen bu yöntemin üniform aralıklar için geliştirilmesi nedeni ile üniform olmayan aralıklarda ortalama değer olarak hesap yapılabilir. Yöntem dairesel gruplar veya eğik kazıklar için uygun değildir. Tek kazık deplasman ve momentleri hesaplanırken kazık başının rijitliği göz önüne alınmalıdır. Yöntem grup içindeki sıralamayı gözetmeksizin aynı sayıdaki kazık grupları için aynı sonucu vermektedir. Kuramsal ve deneysel çalışmalar böyle bir farkın doğabileceğine işaret etmekte iseler de fark çok olmadığından bu konu yöntemin olumsuzluğu gibi görülmemelidir. Yöntem üniform zemin koşulları varsaymakla birlikte 8B bölgesindeki ortalama değerler kullanmak farklı ortamlar için uygulamada yeterlidir.

12. YATAK KATSAYISI KAVRAMI

12.1. Yatak Katsayısının Tanımı

Yatak katsayısı veya zemin modülü kavramı ilk önce Winkler (1867) tarafından öne sürülmüştür. Bu teorinin temel noktası zeminin elastik olduğu ve birbirine bitişik sonsuz sayıda bağımsız yaydan oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Yatak katsayısı, zeminin belirli bir noktasındaki taban basıncının, o nokta altında meydana getirdiği yer değiştirmeye oranı olarak tarif edilebilir. Bu orantı Winkler tarafından doğrusal olarak tarif edilmiş ve zeminin elastik davranış biçimi gösterdiği yükleme sınırları içerisinde Hooke kanunlarına uygun olarak değiştiği çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış yükleme deneyleri ile gösterilmiştir.

$$k = p / \delta \quad (12.1)$$

Burada k yatak katsayısını, p zemin noktasına uygulanan gerilmeyi ve δ ise o nokta altında meydana gelen yer değiştirmeyi simgelemektedir. Boyutu FL^{-3} tür. Elastisitenin temeli olan Hooke kanununa benzetme yapılarak muhtelif araştırmacılar tarafından k için zemin rijitliği ismi de kullanılmıştır.

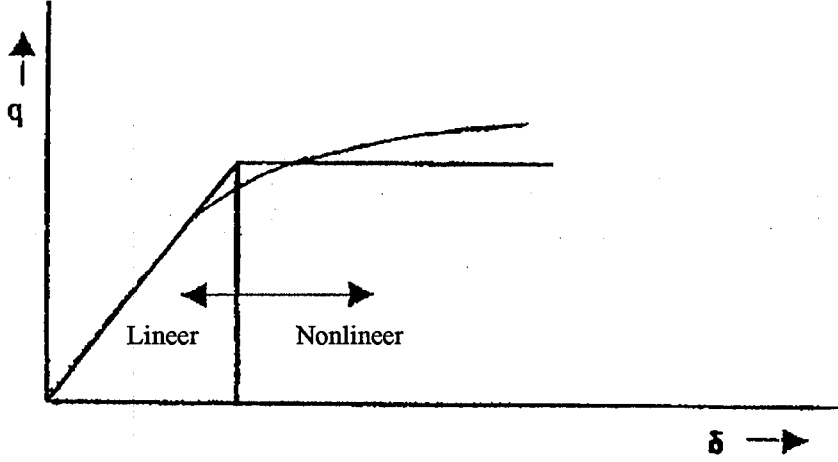
Bir çok araştırmacı elastik zeminlere oturan giriş ve plak problemleri üzerinde geniş araştırmalar yapmış ve özellikle Hayashi, Hetanyi, Vlasov ve Leontiev, Wölfer ve Sherif bu konuda ayrıntılı çalışmalarını yayınlamışlardır. Yatak katsayısı homojen ve izotrop bir zemin içerisinde yatay olarak sabit olabileceği gibi değişik değerlerde alabilmektedir. Düşey doğrultuda ise yatak katsayısı özellikle derinlikle değişim göstermekte ve belirli bir sınır değere kadar derinliğin artışına paralel olarak artabilmektedir (Şekil 12.1).

12.2. Düşey Yatak Katsayısı Değerinin Hesaplanması

Yatak katsayısı değeri genellikle zemin yükleme deneyleri, sondalama, laboratuvar deneyleri veya aynı bölgede daha önce yapılmış deneylere ait tablolar kullanılarak elde edilmektedir.

12.2.1. Plaka yükleme deneyi ile yatak katsayısı değerinin hesaplanması

Winkler modeli elastik zemine oturan bir plak altında meydana gelen maksimum gerilmeler üzerinde yatak katsayısının ihmal edilebilecek kadar küçük etkisi olduğu ilgili denklemlerden kolaylıkla görülebilir. Bu nedenle özellikle yol inşaatında yatak katsayısının tespiti çok kritik bir özellik taşımamaktadır. Yatak katsayısının tespiti için arazi yükleme deneyleri genellikle çapları 0.30 m ile 0.80 m arasında olan rijit plakaların kullanılması ile yapılmaktadır. Üniform zeminlerde yapılan ve çapı 0.80 m den büyük plakalar kullanılan deneylerde yükleme alanının çapının büyük olmasının yatak katsayısını bir miktar değiştirdiği görülmüştür. Bir plaka altında meydana gelen toplam gerilmelerin çoğu yükleme alanının altında kalan ve çapı 10.4 eşitliğinde gösterilen $1/\beta$ karakteristik uzunluğunun 4-5 katı olan bir daire içerisinde oluşmaktadır. Bu nedenlerde hesaplarda kullanılacak yatak katsayısının tespitinde, tüm zemin özelliklerinin dahil edilebilmesi için yukarıda bahsedilmiş olan karakteristik uzunluğun 4-5 katı büyüklüğünde bir yükleme plakası kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı, örneğin 20 cm. yüksekliğindeki bir asfalt kaplaması için deney yapılması gereken yükleme alanının 10-15 kat daha büyük olması gerektiği düşünülürse en az 2 m. çapında bir yükleme plakası kullanılması gerekecektir. Bu çaptaki bir plaka üzerinde pratikte gerekli test yüklerine ulaşabilmek ise oldukça güçtür. Bu nedenle Terzaghi çapı 1 ft (yaklaşık 0.30 m.) olan bir plaka kullanarak yapılmış olan yükleme deneyi sonuçlarının kullanılması ile elde edilen k_{01} zemin modülünden çeşitli ampirik denklemlerle temel yapısı tabanındaki zemine ait yatak katsayısı sabitinin büyük bir yaklaşıklıkla elde edileceğini ifade etmiştir. Plaka boyutunun deney sonucu elde edilecek zemin modülüne etkisi, İngiliz Araştırma Laboratuvarı tarafından incelenmiştir [12].



Şekil 12.1. Yatak katsayısı

Zeminin yaylarla modellenmesinde kullanılan yatak katsayısı kavramı 0.3x0.3 m boyutlu bir plaka üzerine uygulanacak yük altında oluşan yer değiştirmelerin ölçümü ile belirlenir. Oturmalar boyuta bağlı olduğundan gerçek temel için tanımlanacak yatak katsayısının gerçek temel boyutlarına bağlı olacağı açıktır. $k_{0.3}$ ile tanımlanan Standart Plaka için tanımlanmış yatak katsayısı değerlerinin gerçek temel için aşağıdaki şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$\text{Kum zeminde kare temel} \quad k_{BB} = k_{0.3} \left(\frac{B+0.3}{2B} \right)^2 \quad (12.2)$$

$$\text{Kil zeminde kare temel} \quad k_{BB} = \left(\frac{0.3}{B} \right) \quad (12.3)$$

Temel şekli dikdörtgen ise, kare temel için bulunan bu değerler

$$k_{BL} = \frac{k_{BB} \left(1 + \frac{B}{L} \right)}{1.5} \quad (12.4)$$

eşitliği ile yeniden dönüştürülmelidir.

Deneyel olarak bulunan yatak katsayılarının plaka etki alanı ile sınırlılığı ve kohezyonlu zeminde konsolidasyona olanak tanımayan hızda yapılması nedeniyle kullanımda özen gösterilmesi gerekmektedir. Deneyel veri olmaması durumunda bazı zeminler için kullanılabilir $k_{0.3}$ değeri aşağıda verilmektedir.

Çizelge 12.1. Bazı zeminlerde $k_{0,3}$ değerleri (Das,1990)

Zemin	Sıklık - Kıvam	$k_{0,3}$ (MN / m ³)
Kuru veya nemli kum	Gevşek	8 – 25
	Orta sıkı	25 – 125
	Sıkı	125 – 375
Suya doymun kum	Gevşek	10 – 15
	Orta sıkı	35 – 40
	Sıkı	130 – 150
Kil	Katı ($s_u = 50 - 100$) ^{kPa}	12 – 25
	Çok katı ($s_u = 100 - 200$) ^{kPa}	25 – 50
	Sert ($s_u > 200$) ^{kPa}	> 50

Scott'a göre kumlu zeminlerde $k_{0,3}$ (MN / m³) = 1.8 N bağıntısı kullanılabilir. Burada N düzeltilmiş SPT sayısıdır. Vesic (1961) uzun kirişler için

$$k' = B.k = 0.654 \sqrt{\frac{E_s B^4}{E_F I_F} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2}} \quad (12.5)$$

bağıntısını önermektedir. Bu eşitlik pratik amaçlar için $k = \frac{E_s}{B(1 - \mu^2)}$ olarak kullanılabilir. Burada μ zeminin poisson oranı, B temel genişliği, E_F ve I_F temel için elastisite modülü ve atalet momenti, E_s zemin elastisite modülüdür [11].

12.2.1.1. Kohezyonsuz zeminler

Bu tip zeminlerde Terzaghi ve Peck tarafından verilmiş olan 12.6 bağıntısı kullanılarak k_0 değeri 12.7 eşitliği vasıtası ile elde edilebilir.

$$\frac{w}{w_1} = \left(\frac{2B}{B+1} \right)^2 \quad (12.6)$$

Bu bağıntıda w (cm) temel yapısının oturmasını, w_1 (cm) 0.30 m çapındaki deney plakasının oturmasını ve B (m) ise temel yapısının genişliğini ifade etmektedir.

$$k_0 = \left(\frac{B+1}{2B}\right)^2 \cdot k_{01} \quad (12.7)$$

12.7 eşitliğinde gösterilen k_{01} katsayısı 0.30 m çapındaki deney plakası ile yapılan deney sonucu elde edilmiş olan oturmalar göre 12.6 eşitliği vasıtasıyla hesaplanan zemin modülü, k_0 ise B genişliğindeki temel yapısı altındaki zemin modülüdür. Bu eşitlikten B 'nin çok büyük değerleri için yatak katsayısının $0.25k_{01}$ değerine ulaşacağı kolaylıkla görülebilmektedir.

Kohezyonsuz bir zeminde $B \times B$ boyutlarındaki bir dikdörtgen temel altındaki yatak katsayısı 12.14 bağıntısından hareketle Terzaghi tarafından 12.7.1 eşitliğinde gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$k_0 = \left(\frac{m+0.5}{1.5m}\right) k_{01} \quad (12.7.1)$$

Burada dikkate alınması gereken bir nokta ise temel genişliğinin tesbit edilmesidir, hesaplara başlanıldığında B temel genişliği henüz belirlenmemiştir. Bu nedenle başlangıç değeri olarak, tahmin edilen temel kalınlığının 15 katı alınabilir (bu değer Terzaghi tarafından temel kalınlığının 14 katı olarak verilmiştir). Başlangıç değeri olarak alınan B , 12.7 eşitliğinde yerine konularak temel yapısının karakteristik uzunluğu $1/\beta$ elde edilir, bu değer 5 ile çarpılması ile temel tabanındaki gerilmenin etki alanı çapı bulunur. Bulunan etki alanı çapı başlangıç olarak tahmin edilen B değeri ile mukayese edildiğinde oran 2 den büyükse $1/\beta$ değeri ile hesaplanan B temel genişliği 12.7 eşitliğinde yerine konularak k_0 tekrar hesaplanmalıdır. Burada, karakteristik uzunluğun 5 katının temel genişliği B 'nin etki alanı olan $1.5 B$ ye yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_0}{D}} \quad (12.8)$$

12.8 eşitliğinde kullanılan plak eğilme rijitliği D 12.9 eşitliğinde E plak Young modülü, ν Poisson oranı ve h plak kalınlığı yerlerine konularak elde edilir.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (12.9)$$

Terzaghi k_0 'ın tesbitinde ön hesaplar için veya elde deney sonuçlarının bulunmaması durumunda kullanılması için 0.30 m² alanındaki plakanın yükleme deneyleri sonucu elde edilmiş olan k_{01} değerlerini vermiştir (Çizelge 12.2).

Çizelge 12.2. Kum zeminde 0.30 m² alanındaki plaka kullanılarak yapılmış olan yükleme deneyi sonucu elde edilen yatak katsayısı değerleri (MN/m³)

Zemin özelliği	Gevşek	Orta sıklıkta	Sıkı
Kuru veya nemli kum	6 - 18	18 - 90	90 - 300
Suya doymuş kum	7.5	24	90

Çizelge 12.2'de verilmiş olan değerler aynı plaka üzerinde yapılmış olan standart penetrasyon (SPT) deneyi sonuçları ile mukayese edildiğinde yatak katsayısının 4N değerine eşit olduğu görülebilir. Burada N, temel tabanı altındaki B derinliğindeki zemine ait SPT deneyi darbe sayısını simgelemektedir. Terzaghi ve Peck tarafından verilmiş olan bu değerlerin, daha sonraki yıllarda gerçekleştirilmiş olan bir çok deney sonuçları ile karşılaştırıldığında oldukça emniyetli tarafta yer aldığı görülmektedir. Bu Terzaghi ve Peck tarafından önerilmiş olan 12.6 eşitliğinin kullanılması ile elde edilen oturmaların gerçekte olduğundan daha yüksek olmasından kaynaklanmakta ve dolayısıyla temelin daha büyük tasarlanması sonucunu doğurmaktadır. Yapılmış olan deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile kum zeminlerdeki oturmaların gerçekte, 12.6 eşitliği ile hesaplanan oturmaların 2/3'ü mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle Terzaghi ve Peck'in vermiş oldukları değerlerin %50 fazlası ile hesaplanacak k_{01}

değerinin daha gerçekçi olacağı söylenebilir. Böylece k_{01} değerinin hesaplanması için 12.10 denklemini kullanılabilir.

$$k_{01} = 6N \quad (12.10)$$

Bu eşitlikte N temel yapısı tabanı altındaki SPT darbe sayısıdır. Çizelge 12.3, 12.10 eşitliği kullanılarak elde edilmiş k_{01} değerlerini değişik sıklıktaki kum zeminler için vermektedir.

Çizelge 12.3. Düzeltilmiş yatak katsayısı değerleri (MN/m³)

Zemin özelliği	Gevşek	Orta sıklıkta	Sıkı
Kuru veya nemli kum	9 - 27	27 - 135	135 - 450
Suya doymuş kum	10.5	36	135

Zeminler gerçekte nonlinear davranış gösterirler. Bu yüzden bir zemin için yatak katsayısının saptanacağı zeminde yapılacak yükleme deneyinde yükün şiddetini belirli sınırlar içinde tutmak gereklidir. Kiriş veya tekil sömel durumunda zemini lineer sınırlar içerisinde tutmak için, temel yapısı altındaki gerilmeler, zeminin göçme yükünün yarısından az olmalıdır. Vesic, Terzaghi tarafından zemin modülünün saptanması için önerilen karakteristik uzunluğun beş katı olan eşdeğer plakanın çok büyük olduğunu düşünmüştür. Yarı sonsuz elastik bir zemin üzerindeki dairesel rijit plağın oturmalarını, Winkler zeminindeki plak oturmaları ile karşılaştırması sonucunda, Vesic gerçek durumu temsil edecek plaka çapının Terzaghi tarafından önerilenin yaklaşık yarısı kadar olduğunu bulmuştur. 12.11 bağıntısı Vesic tarafından önerilen eşdeğer plaka çapını vermektedir.

$$B = \frac{4h}{\pi} \sqrt[3]{\frac{E}{E_s}} \quad (12.11)$$

12.11 bağıntısı elastisite modülü E_s nin zemin yüzeyi altından karakteristik uzunluğun 10 katı derinliğe kadar sabit olarak tanımlanmış olması durumunda

geçerlidir. E_s nin ani değışiklikler dışında derinlikle artması veya değışmesi durumunda karakteristik uzunluğun 2.5 katı derinlikteki ortalama E_s alınarak 12.11 bağıntısını kullanmak mümkündür. Uygulamada elastisite modülü E_s standart penetrasyon veya koni penetrasyon deneyleri sonuçlarından 12.12 bağıntısına göre saptanmakta ve 12.11 eşitliğinde yerine konularak k_0 değeri hesaplanması için gerekli olan eşeğer plaka çapı bulunmakta ve buradan da 12.7 eşitliği ile k_0 elde edilmektedir.

$$E_s = 2q_c \quad (12.12)$$

Burada q_c uç mukavemetini göstermektedir.

12.2.1.2. Kohezyonlu zeminler

Kohezyonlu bir zemin söz konusu olduğunda, yükleme kalıcı olursa konsolidasyon oturması oluşacaktır. Bir yol kaplamasında en büyük moment ve gerilmeler konsolidasyon sonrasında ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla tasarım için kullanılacak zemin modülü bu kohezyonlu zeminde konsolidasyona yeterli olacak kadar uzun süreli bir deney sonucunda elde edilmelidir. Plaka yükleme testleri çok nadiren konsolidasyonun tamamlanması için gereken süre boyunca uygulanmaktadır. Bu nedenle Terzaghi izelge 12.4 deki k_{01} değeri yalnızca katı killer için vermiştir.

Çizelge 12.4. Kohezyonlu zeminlerde 0.3 m genişliğindeki plaka altında llen yatak katsayısı değeri

Zemin karakteristiği	Katı kil	çok katı kil	Sert kil
Serbest basınç mukavemeti q_u (MN/m ²)	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	> 0.4
k_{01} (MN/m ³)	15 - 30	30 – 60	> 60

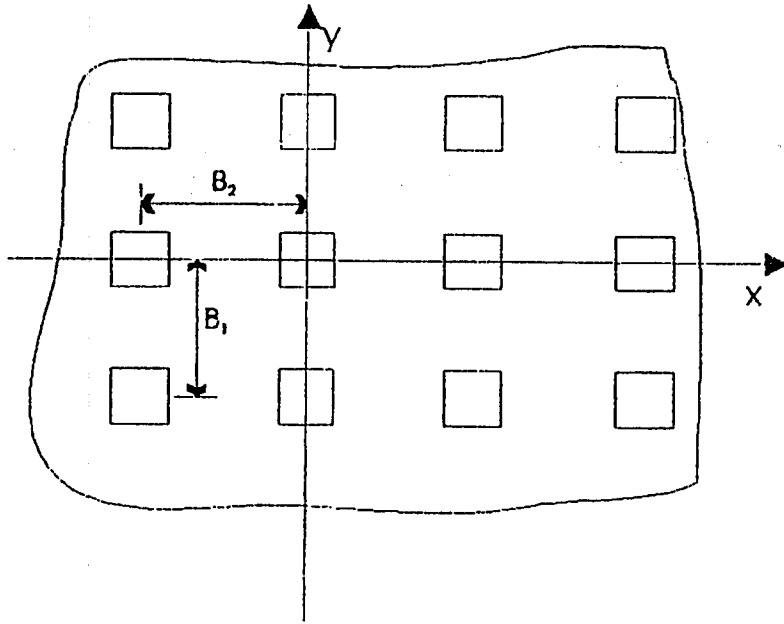
Katı killer ideal elastik homojen malzeme olarak tanımlanabileceklerinden, tatbik edilen bir yük altındaki oturmalar yüklü alanın genişliği ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu durumda zemin yatak katsayısı da B boyutu ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu bağıntı 12.13 'de gösterilmiştir.

$$k_0 = \frac{1}{B} k_{01} \quad (12.13)$$

Katı bir kil zemindeki plağa ait B genişliği Terzaghi veya Vesic'in yöntemleri kullanılarak hesaplanabilir. Yumuşak ve orta katılıktaki ve normal konsolide, serbest basınç mukavemeti 0.1 MN/m² değerinden küçük killer için tam drenajlı yükleme deneyi sonuçlarından elde edilen k_{01} değerleri çok düşüktür. Bundan dolayı Terzaghi plak veya kiriş temellerin eğilme momentlerinin hesabında rijit olarak düşünülmesi gerektiğini söylemiştir. Hesaplar için plak sonsuz değil sonlu boyutlarda ve çapı kalınlığının 15 katı olarak düşünülmelidir.

Şerit yük veya tekil yüke maruz radye temel durumunda, yüklenmiş alanın boyutları tekil yükün etkime alanından büyük veya küçük olabilir. Eğer yükleme alanı tekil yükün etkime alanı olan $5/\beta$ dan büyükse, yatak katsayısı $5/\beta$ ile belirlenir. Eğer daha küçükse k_0 'ın hesabı gerçek genişlik düşünülerek yapılır. İki doğrultuda eşit olmayan kolon aralıkları olması durumunda, Terzaghi hesaplamalarda yatak katsayısı için iki ayrı değere ihtiyaç olduğunu işaret etmiştir. Şekil 12.2'teki geniş açıklıklı kolonlar doğrultusunda (x doğrultusu) düşey düzlemdeki eğilme momentlerinin hesaplanması için k_0 katsayısının saptandığı yüklü alan B_2 genişliğindeki şerittir. Diğer taraftan y doğrultusundaki eğilme momentleri için yüklü alan $B_1 \times B_2$ dikdörtgeni olarak düşünülür ve k_0 bu alan için hesaplanır.

Kum zemindeki bir plak için, temelin merkez ve kenarlarındaki eşit gerilmelerin kenarlarda daha büyük oturmalara yol açacağı beklenmektedir. Bu nedenle yatak katsayısı radye merkezinden kenarlara doğru azalacak şekilde düzeltilmelidir. Kil zeminlerde ise tam tersi bir durum beklenebilir. Bu davranış Baker tarafından tanımlanan yöntemde yaklaşık olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 12.2. Radye plak üzerindeki kolon yükleri

12.2.2. Kirişler

Çok uzun kiriş mevcudiyeti durumunda, kiriş genişliği B , projelendirilmenin ilk safhalarından itibaren nihai durumuna oldukça yakın bir şekilde bilinmektedir. Böylece, kohezyonsuz bir zemin üzerindeki kiriş için, plaka yükleme deneyi ile tespit edilen veya tablo 12.3'den alınan k_{01} değeri kullanılarak k_0 katsayısı 12.7 bağıntısı ile kiriş genişliği B için hesaplanabilir. Rijit veya eğilebilir temel denklemlerini kullanmak için yatak katsayısı $k = Bk_0$ olarak hesaplanmalıdır. Kiriş katı killi zemin üzerinde ise k_0 , arazi deneyinden elde edilen veya Çizelge 12.4'den alınan k_{01} değerinin 12.13 eşitliğine tatbik edilmesi ile hesaplanır. Sonlu l uzunluğundaki kohezyonlu veya kohezyonsuz zemin üzerine oturan bir kirişin durumunu öncelikle kohezyonsuz zemin için inceleyelim. Sabit genişlikteki bir temel tabanındaki oturmaların temel uzunluğu boyunca eşit olmasından dolayı 12.7 eşitliği kullanılarak k_0 bir defa elde edildiğinde bu k_0 değeri herhangi bir uzunluktaki kohezyonsuz zemin üzerine oturmuş kirişlerin hesaplanmasında kullanılabilir.

Zemin ortamı sıkı kilden oluşuyorsa ve kiriş genişliği 0.30 m den fazla ise Terzaghi yatak katsayısının saptanması amacı ile 12.14 eşitliğini vermiştir.

$$k_{0L} = k_{01} \frac{L+0.5}{1.5L} \quad (12.14)$$

Yukarıda bahsedildiği şekilde B genişliğindeki bir temel için yatak katsayısı genişlikle ters orantılı olarak 12.15 eşitliğinde gösterildiği şekilde değişmektedir.

$$k_0 = \frac{k_{0L}}{B} \quad (12.15)$$

veya çok uzun bir kiriş için 12.16 eşitliği de yazılabilir.

$$k_0 = \frac{2k_{01}}{3B} \quad (12.16)$$

Katı kil üzerine oturmuş sonlu ve çok uzun kirişlerde yer değiştirmeleri ve momentleri hesaplamak için kullanılacak yatak katsayısı 12.17 bağıntısında gösterilmiştir.

$$k = k_0 B \quad (12.17)$$

12.16 eşitliği yerine Broms tarafından Vesic'in 12.19 bağıntısında sonucu gösterilen, kiriş ve zemin özelliklerini birlikte dikkate alan eşitliğinden bulunan katsayısının kullanılması önerilmiştir.

$$k_0 = \frac{\alpha k_{01}}{B} \quad (12.18)$$

$$\alpha = 0.52^{12} \sqrt{\frac{kB^4}{EI}} \quad (12.19)$$

Broms önermiş olduğu 12.18 eşitliğini 12.20 de gösterildiği gibi zemin ve giriş özelliklerini ayrı ayrı simgeleyen iki parçaya ayırmıştır.

$$\alpha = n_1 n_2 \quad (12.20)$$

Bu ifadede n_1 zeminin serbest basınç mukavemetine bağlı, n_2 ise giriş özelliklerine bağlı olan terimlerdir. 12.19 eşitliğinde yer alan 12. dereceden kök nedeni ile n_1 ve n_2 çok küçük bir aralıktaki değerlere sahip olabilmektedir. Broms çalışmalarında katı zeminlerde n_1 ve n_2 için yaklaşık 0.40 değerini elde etmiştir. Her iki katsayıdan hesaplanacak a değerinin Terzaghi'nin önerdiği değer olan $2/3$ 'ten oldukça küçük olan yaklaşık 0.16 ya eşit olacağı görülmektedir.

Kögler ve Scheidig tarafından kare temellerin yatak katsayısının hesabı için önerilmiş olan 12.21 bağıntısı da uygulamada kullanılmaktadır.

$$K = E_s \frac{a + 2H}{aH} \quad (12.21)$$

Bu ifadede, a kare temelin bir kenarının uzunluğunu, H sıkışabilir tabaka kalınlığını ve E_s ise sıkışabilir tabakanın elastisite modülünü göstermektedir.

12.3. Yatay Yatak Katsayısı Değerinin Hesaplanması

Bir kazık veya istinat yapısı yatay yüklere maruz kaldığı zaman, kazık veya istinat yapısının hareketi zemin ve temel yapısı arasında doğacak basınç tarafından engellenecektir. Bu tip bir zemin davranışı Winkler modeli ile tanımlanabilir. Bu nedenle yatay ve düşey yatak katsayısı yer değiştirmelerin ve momentlerin hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu çeşit zemin yapılarına tatbik edilen yüklerin genellikle zemin yüzeyinde hasara yol açabilecek büyüklükte deformasyona sebep olmasından dolayı veya en azından nonlineer davranış göstermesine sebep olmasından dolayı bu durum için Winkler modelinin uygulanmasının sonuçları oldukça şüphelidir. Özellikle kohezyonsuz zeminler ve normal konsolide killerde ve hatta bazen aşırı konsolide killerde bu düşünce doğrudur. Fakat en azından ön boyutlandırma için yatay yatak katsayısının kullanılması ile Winkler modeli uygulanabilir.

Eğer zemin, üzerinde bulunan kirişe lineer yay şeklinde tepki gösteriyorsa, aynı zemini gömülü kirişler yada kazıklara karşı da, bir tanesi önde diğeri arkada olmak üzere iki yay ile temsil edebilmemiz gerekmektedir. Bu kabulde kazık kenarları boyunca oluşan kesme dayanımları ihmal edilmektedir. Bundan dolayı izotropik bir zeminde kazık hesaplamalarında kullanılacak yatak katsayısı, aynı zemin yüzeyinde bir kiriş için saptanan yatak katsayısının iki katıdır.

Katı kilde, yatak katsayısı derinlik boyunca sabit olarak kabul edilebilir ve 0.3 m çapındaki alana zemin yüzeyinde uygulanan düşey yükleme testi ile elde edilen yatak katsayısı değerinin iki katı kullanılabilir. Bu nedenle Çizelge 12.4'teki değerlerin de iki katı hesaplara esas olarak alınabilir. Aşırı konsolide Londra killeri üzerinde yapılan deneyler yatay zemin modülünün düşey modülün 1.6 katı büyük olduğunu göstermiştir. Bu durumda Çizelge 12.3'teki değerler tekrar 1.5 ile çarpılmalıdır.

Yatay yüklerin çok uzun zaman etkimesi durumunda kazık deformasyonları artacaktır. Killi zeminlerde aksenal ve yatay yüklü kazıklar ve kazık grupları ile yapılan araştırmalar, yüzeysel temellerin aksine kazıklarda uzun dönem içindeki oturmanın ani çökmenin yalnızca 1.1 ile 1.25 katı olduğunu göstermiştir.

Yer değiştirmeler zemin reaksiyon katsayısı ile doğrudan ilişkili olduğundan, uzun dönem yer değiştirmeler ve moment hesaplarına esas olacak katsayıya ulaşmak için burada verilen ani katsayılar yukarıdaki rakamlarla azaltılmalıdır. Kumda, yatay doğrultudaki yatak katsayısı düşey doğrultuda olandan farklıdır ve derinlikle de artar. Kazık genişliği etkisini dahil ederek ve derinlikle lineer değiştiğini kabul ederek kohezyonsuz zeminde B genişliğindeki bir kazık için 12.22 eşitliği yazılabilir.

$$k_{oh} = \frac{nz}{B} \quad (12.22)$$

Bu eşitlikte z zemin yüzeyinden derinliği ve n ise Terzaghi tarafından zeminin relatif yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak tanımlanan yatay zemin reaksiyonu sabitini göstermektedir. Terzaghi bu konuda vermiş olduğu rakamların kaynağı

hakkında açıklama yapmamıştır. Kohezyonsuz zeminlerde kazıkların yatay yer değiştirmeleri üzerinde yapılan çalışmalar, kazık yerdeğiştirmelerinin Terzaghi tarafından verilmiş sabitlerin kullanılması ile yapılan hesaplardan gerçekte daha küçük olduğunu göstermiştir. Dolayısı ile Terzaghi tarafından verilmiş olan değerler Çizelge 12.5’de iki katına çıkarılmışlardır. Burara da önceden olduğu gibi, kohezyonlu zeminler için, kazık boyunun etkisi dikkate alınmamıştır. Orta sıklıkta olan kumlu zeminlerle çok sıkı kumlu zeminlerde yer altı suyu seviyesinin altında tam ölçekli olarak yapılan yatay yükleme deneylerine istinaden Reese, Cox ve Koop n sabiti için daha da yüksek değerler önermişlerdir. Bu değerler Tablo 12.5’de parantez içinde gösterilmiştir. Arazide, yüzeyde yapılan plaka yükleme deneyinin yatay bir eşdeğeri yoktur ve kumlar için (Çizelge 12.5’deki n değerleri) veya killer için yatay yatak katsayısı değeri deneysel olarak saptanmak istenirse bu amaçla uygun aletlerle donatılmış deney kazıkları kullanılmalıdır.

Killi zeminler için, deney yükü kazık etrafındaki zeminin aşırı konsolidasyonunu sağlayacak kadar uzun süre tatbik edilmelidir. Gerçekte, üniform bir kum zeminde elastisite modülü ve bundan dolayı da yatak katsayısı derinlikle orantılı olarak 1 den farklı bir kuvvette artabilmektedir. Bu durumda n nin yerini alacak başka bir sabite ihtiyaç duyulacaktır.

Çizelge 12.5. Kohezyonsuz zeminde 0.3 m genişlikteki kazık veya kiriş için n sabiti değerleri (MN/m³)

Zemin cinsi	Gevşek	Orta sıklıkta	Sıkı
Kuru veya nemli kum	4.2	12.6	33.6
Su altındaki kum	2.4 (5.1)	8.4 (15)	20.4 (33)

Yumuşak kil veya kumlu zemin durumunda, lineer olmayan davranış şekli hakimdir. Fakat arazi deneyleri eğilme momentlerinin hesabı için yatak katsayısının eşdeğer sekant modülünü verecektir. Fakat burada farklı boyutlardaki kazıklar arasında ilişki kurarken, problemin gerçekte lineer olmayan yapısından dolayı çok dikkatli olunmalıdır.

Uygulamada çoğu durumda, kazıklar rüzgar, dalga, deprem etkisi gibi dinamik yatay yükler göz önüne alınarak projelendirilmektedirler. Bu durumda, yükler sürekli değildir ve dolayısıyla konsolidasyona yol açmazlar. Dönüşümlü olarak etkiyen bu dinamik yükler nedeni ile zamanla zemin özellikleri değişmektedir. Bundan dolayı doğru bir hesap yaklaşımı için zeminin başlangıç ve nihai zemin modülü değerleri veya bu durumlardaki zeminin davranış modeli bilinmelidir. Bazı çalışmalar göstermiştir ki, orta sıklıktaki bir kumda zemin yatak katsayısı yaklaşık 40 ardışık yüklemekten sonra 3 kat azalmıştır. Reese, Cox ve Koop deneylerinde azalmanın daha küçük olduğunu bulmuşlardır. Zemin özelliğinin bozulması rölatif yoğunluğun bir fonksiyonudur ve gevşek kumlarda diğer tüm zeminlerden fazladır.

Bu genel hesap yöntemlerinden ayrı olarak Broms, kazık uzunluğunun kazık çapının 5 katından büyük olması durumunda yatay yatak katsayısının hesaplanması için kohezyonlu zeminlerde kısa ve uzun süreli yüklemeler için iki ayrı eşitlik tanımlamıştır. Bunlar kısa süreli yükleme durumunda 12.23, uzun süreli yükleme durumunda ise 12.24 eşitliği ile gösterilmiştir.

$$k_h = \frac{120C_u}{D} \quad (12.23)$$

$$k_h = \frac{20C_u}{D} \quad (12.24)$$

Eşitliklerde C_u drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile bulunan kohezyonu ve D kazık çapını göstermektedir. Eşitliklerden de görülebileceği gibi Broms, uzun süreli yükler altında oluşan kazık yer değiştirmelerinin kısa süreli yükler altında meydana gelen yer değiştirmelerin ortalama 6 katı olduğunu kabul etmiştir.

Bunların yanısıra Gabr, Lunne ve Powell yatay yüklü kazıkların p-y yöntemi ile hesaplanması için Dilatometer deneyi sonuçlarının kullanılmasını önermiştir. Çalışmalarında p-y eğrilerinin şekil ve büyüklüğünün başlangıçtaki yatay yatak katsayısına (k_{ho}) bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Marchetti (1980) tarafından geliştirilmiş olan düz dilatometer deneyi vasıtası ile elde edilen sonuçlardan yatay yatak katsayısı için oldukça yakın değerler bulunabilmektedir. Dilatometer deneyi

sonuçları ile k_{ho} 'ın bulunması ile elde edilen p-y eğrileri ve kazık yükleme deneyi ile bulunan p-y eğrileri bahsedilen araştırmacılar tarafından karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın sonuçlar bulunmuştur. Gabr ve Borden (1988) DMT sonuçlarının kullanılması ile yatay yatak katsayısının hesabı için 12.25 ifadesini yazmışlardır.

$$k_{ho} = (P_0 - \sigma_h) / \text{bıçak yarı kalınlığı} \quad (12.25)$$

Bu ifadede P_0 DMT deneyi ile elde edilen düzeltilmiş bir değer, σ_h sükunetteki arazi yatay gerilmesini simgelemektedir. Bu yöntemin P_0 in tespit edilebildiği tüm zeminler için kullanılabilmesi yazarları tarafından belirtilmiştir. σ_h nin saptanması için Marchetti (1980) ve Lacasse ve Lunne (1988) bazı tahmin yöntemleri vermişlerdir [12].

Bazı araştırmacılar tarafından kazıklar için tablo halinde verilen yatak katsayıları aşağıdadır. Çizelge 12.6 da Terzaghi'ye göre, Çizelge 12.7'de Sulzberger'e göre, Çizelge 12.8' de de Soletanche'ye göre verilmiştir.

Çizelge 12.6. Terzaghi'ye göre yatay yatak katsayıları [13]

Zemin Cinsi	Yatay Yatak Katsayısı MN/m ³
%88 kum, %12 killi yıkanmış zemin	20 – 30
Sıkı tabakalaşmış sert kum	100 – 125
Yaşlı dolgu kumu	7 – 13
Temiz yıkanmış kum	20 – 40
Özel olarak sağlam tabakalaşmamış örselenmemiş kum	20
Yıkanmış zemin (%16 su ihtiva eden kumlu balçık)	73 – 120
Küçük daneli maden cürüflü zemin	50 – 60
Çakıl yatağı	30 - 40

Çizelge 12.7. Sulzberger'e göre yatay yatak katsayıları [13]

Zemin Cinsi	Yatak Katsayısı MN/m ³
Hafif turba ve bataklık arazi	5 – 10
Ağır turba ve bataklık arazi	10 – 15
İnce kıyı kumu	10 – 15
Kum, çakıl ve humuslu dolgu	10 – 20
Balçık zemin; Islak	20 – 30
Rutubetli	40 – 50
Kum	60 – 80
Kum ve sert	100
Az taşlı balçık ve sıkı kumlu humus	60 – 80
Çok taşlı balçık	80 – 100
Çok miktarda ince kumlu ince çakıl	70 – 90
İnce kumlu orta çakıl	90 – 110
Kaba kumlu orta çakıl	110 – 130
Çok miktarda kaba kumlu kaba çakıl	110 – 130
Az miktarda kaba kumlu kaba çakıl	130 – 160
Az miktarda kaba kumlu ve çok sağlam tabakalaşmış kaba çakıl	160 - 200

Çizelge 12.8. Soletanche'ye göre yatay yatak katsayıları [14]

İçsel Sürtünme Açısı, ϕ°	k_h (MN/m ³)
10	7.85
20	13.67
30	26.40
40	58.75

12.3.1. Zemin elastisite modülünden yatay yatak katsayısının belirlenmesi

Zemin elastisite modülü E_s , yatak katsayısının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri olup, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar aşağıda özetlenmiştir. DIN 4014 (1977) de yatay yatak katsayısı

$$k_h = E_s / B \quad (12.26)$$

yaklaşık bağıntısıyla verilmektedir. Burada B, kazık genişliğidir. Glick (1948), diğer araştırmacıların elde ettiği sonuçlardan yararlanarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k'_h = \frac{22.4E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)[2\ln(2L/B)-0.443]} \quad (12.27)$$

Burada, μ zeminin Poisson oranı olup, Bowles (1989) çeşitli zeminler için yaklaşık μ değerleri vermiştir. Çelik ve beton kazıklar için bu bağıntı, Francis (1964) tarafından iterasyonla hesaplanmak üzere aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$k'_h = \frac{19.5E_s(1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)(8.5-\log k'_h)} \quad (12.28)$$

Verilen iki denklemden yararlanarak enine yatak katsayısı,

$$k_h = k'_h / B \quad (12.29)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Elastik zemine oturan yüzeysel temeller için Vesic (1961) aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k'_s = 0.65 \left[\frac{E_s B^4}{EI} \right]^{1/12} \frac{E_s}{1-\mu} \quad (12.30)$$

Burada, B temel genişliği olup EI temelin eğilme rijitliğidir. Bowles (1989) kazıklı temeller için bu bağıntının iki katının kullanılmasını önermiştir. Bu durumda enine yatak katsayısı,

$$k_h = 2k'_s / B \quad (12.31)$$

ile elde edilir.

12.3.2. Zemin taşıma gücü bağıntılarından yatay yatak katsayılarının belirlenmesi

Bowles (1989), enine ve boyuna yatak katsayılarının derinlikle değişiminin tahmin edilmesi için aşağıdaki genel bağıntıyı önermektedir.

$$k_s = A_s + B_s z^n \quad (12.32)$$

Burada A_s , B_s ve n önceden bilinmeyen ve her özel arazi koşulu için, yatay yükleme deneyleri sonuçları kullanılarak hesaplanabilecek sabitlerdir.

Bowles (1989) boyuna yatak katsayısını sürekli bir temelin taşıma gücü bağıntılarından yararlanarak

$$k_s = 40[cN_c + \gamma z N_q + 1/2BN\gamma] \quad (12.33)$$

formülü yardımıyla hesaplanabileceğini önermiştir. (12.32) ve (12.33)'e göre A_s ve B_s ,

$$A_s = 40[cN_c + 1/2BN\gamma] \quad (12.34)$$

$$B_s = 40[\gamma z N_q] \quad (12.35)$$

dir.

Francis (1964), kazık cidarındaki zeminin kayma gerilmelerini de gözönüne alarak enine yatak katsayısının boyuna olanın iki katı kadar alınabileceğini önermiştir. $n=1$ için,

$$k_h = [80cN_c + 40BN\gamma] + [80\gamma z N_q] \quad (12.36)$$

Bowles (1989) yapmış olduğu araştırmalarda k_h değerinin kazık kesit şekline de bağlı olduğunu göstermiş ve denklem 10.36'nın kare kazıklar için kullanılmasını önermiştir. Daire kesitli kazıklar için ise aşağıdaki denklemi vermiştir:

$$k_h = s_1 A_s + s_2 B_s z^n \quad (12.37)$$

$s_1 = 1.3 - 1.7$, $s_2 = 2.0 - 4.4$ arasında değişen sabitlerdir.

12.3.3. Yanal yatak katsayısı ve BROMS (1964) yöntemi

Kazık boyunca gerekli son zemin direnci için kolaylaştırıcı varsayımlar yapan ve yine zemin basıncı kuramına dayalı bir yöntemdir. Kısa ve uzun kazıkların ikisi için de uygundur, ancak zemini ya tam granüler ($c=0$) ya da tam kohezyonlu ($\phi_u=0$) varsaymak zorunluluğu vardır. Tabakalı zeminlerde uygulanamaz. Serbest ve tutulu başlı kazıkların ayrı ayrı analizleri olanaklıdır. Kazıklar bu yöntemde kısa (rijit) kazıklar ve uzun (bükülebilir) kazıklar diye iki grupta göz önüne alınmaktadır. Bu ayırım aşağıda tanımlanan rijitlik boylarına göre yapılmaktadır.

$$\text{Kohezyonsuz zeminler için } T = \left[\frac{EI}{n_h} \right]^{1/5} \quad (12.38)$$

$$\text{Kohezyonlu zeminler için } R = \left[\frac{EI}{k_s B} \right]^{1/4} \quad (12.39)$$

Kısa rijit kazıklarda $\frac{L}{T} \leq 2$ veya $\frac{L}{R} \leq 2$ olup, uzun bükülebilir kazıklarda $\frac{L}{T} \geq 4$

veya $\frac{L}{R} \geq 3.5$ dur.

Burada E ve I kazık kesitinin elastisite modülü ve atalet momenti, L ise kazık boyudur.

Kohezyonsuz zeminlerde (ve normal konsolide killi zeminlerde) yatak katsayısının derinlikle doğrusal olarak arttığı varsayılabilir ve

$$k_h = n_h x \quad \left(k_s = n_h \frac{x}{B} \right) \quad (12.40)$$

yazılabilir. Dolayısıyla n_h bu tür zeminlerde yatak katsayısı değişim çarpanıdır.

Uygulamada granüler zeminlerde alınabilecek n_h değerleri Das (1990) tarafından aşağıda verilmektedir.

Çizelge 12.9. Granüler zeminlerde n_h değerleri

Kumda sıklık	Gevşek	Orta sıkı	Sıkı
n_h kuru ve nemli zeminde (kN/m^3)	1800 - 2200	5500 - 7000	15000 - 18000
n_h su altında (kN/m^3)	1000 - 1400	3500 - 4500	9000 - 12000

Normal konsolide killerde yatak katsayısının granüler zeminlerdekine benzer şekilde derinlikle doğrusal arttığı varsayılabilir. Bu tür zeminler için kaynaklarda önerilen n_h değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Çizelge 12.10. Normal konsolide kohezyonlu zeminlerde n_h değerleri

Zemin	n_h (kN/m^3)	Kaynak
Yumuşak Kil	160 – 3500	Reese – Matlock (1956)
	270 – 340	Davisson – Prakash (1963)
Organik Zemin	100 – 270	Peck – Davis (1962)
	100 – 815	Davisson (1970)
Turba	55	Davisson (1970)
	30 - 100	Wilson – Hilfs (1967)

Normal konsolide kohezyonlu zeminlerde NAVFAC (1988) n_h değerleri için çok yumuşak kıvamda olanlarda $0 - 300 \text{ kN/m}^3$, yumuşak kıvamda $300 - 1500 \text{ kN/m}^3$, orta katı için $1500 - 3300 \text{ kN/m}^3$ değerleri önerilmektedir.

Aşırı konsolide kohezyonlu zeminlerde ise yatak katsayısının derinlikle değişmeyeceği varsayılabilir. Drenajsız kayma mukavemetine bağlı olarak

$$k_s = 67 \frac{S_u}{B} \quad (12.41)$$

alınması önerilmektedir. Daha sonra yapılan araştırmalarda yatak katsayısı için bu eşitliğin oldukça tutucu olduğu belirlendiğinden yaklaşık iki katının alınmasının

daha doğru olacağı ileri sürülmüştür, Robinson (1978). Bir diğer seçenek olarak Vesic (1961) 12.5 eşitliğinde $\mu = 0.3 - 0.4$ alınarak kullanılabilir. Eşitlikteki $E_s = \frac{3(1-\mu)}{m_v}$ olarak tahmin edilebilir. Burada m_v deneysel olarak bulunacak

hacimsel sıkışma katsayısıdır. NAVFAC (1988), çevrimli uzun yüklemeler için, katı killerde statik yükler için önerilen yatak katsayısı değerinin %25 - %50 'sinin, yumuşak - gevşek zeminlerde %25'inin alınmasını önermektedir. Uzun süreli yüklemeler kazığın eğilmesini zamanla artırmakta ve sonuçta yatak katsayısının azalmasına yol açmaktadır. Bu durumu modellemek için katı killerde başlangıç değerlerinin %25 - 50'si, yumuşak killerde %20 - 30'u ve kumlarda %80 - 90'ı alınmalıdır [11].

12.4. Yatak Katsayısının Derinlikle Değişimi

Kohezyonlu zeminler için Terzaghi tarafından tanımlanmış olan yatay yatak katsayısının zeminin serbest basınç direnci q_u ile büyük bir yaklaşıklıkla orantılı olduğu söylenebilir. Normal konsolide zeminlerde serbest basınç direnci derinlikle lineer olarak arttığından, yatak katsayısının da derinlikle lineer olarak arttığı düşünülebilir. Üzerindeki yüklerin kalkması gibi sebeplerle aşırı konsolide olan zeminlerde ise yatak katsayısı derinlik boyunca sabittir. Fakat bu durumların tam tersine, kuruma ile konsolide olmuş zeminlerde ise yatak katsayısının derinlikle orantılı olarak arttığı Terzaghi tarafından belirtilmiştir. Dolayısı ile yatak katsayısının derinliğin artması ile değişmediği yani sabit olduğu kabulü ancak aşırı konsolide killerde geçerli olabilir. Diğer zeminler için yatak katsayısının herhangi bir şekilde derinlikle değiştiğini düşünmek daha mantıklı olacaktır. Bunu yansıtan genel bir bağıntı 12.42 eşitliği ile verilmiştir.

$$k = k_n z^n \quad (12.42)$$

Zemin yatak katsayısının derinlikle değişimini dikkate alan problemler çoğunlukla yatay yüklü kazıkların hesaplanmasında ortaya çıkar. Bunun yanı sıra kazıkların eksenel yükler veya burulma momentleri için hesaplanmasında da

zemin yayları yani yatak katsayısı kavramı ön boyutlandırma için kullanılmaktadır. Özellikle Matlock ve Reese tarafından önerilen yöntem bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Zemin yaylarının lineer olduğunu kabul eden Winkler yöntemi, tam bir elastisite kabulüne dayanmaktadır. Gerçekte ise zeminler elasto – plastik davranış gösterirler. Yatak katsayısının elasto – plastik özellikleri taşıyabilmesi için akma durumunu da içermesi gereklidir. Bu da zamana bağlı özellikleri de içine alan nonlineer davranışın tanımlanması durumunda mümkün olabilir. Reese, Cox ve Koop bu durumu incelemişler ve analizin karmaşıklığından dolayı konuyu basitten gerçek ve karmaşık olan duruma doğru giden adımlarla anlatmışlardır. İdealize edilmiş plastik zemin davranışını temsil etmek için elastik zemin yayı k ve akma değeri t_y tanımlanmalıdır. Analizi basitleştirmek için her iki değerinde derinlikle değişmediği aşırı konsolide zemin durumu ele alınabilir. Bu durumda, zemin mukavemeti herhangi bir derinlikte bir S maksimum deformasyon değerine kadar lineerdir. S maksimum deformasyon değeri 12.43 eşitliği ile verilen şekilde hesaplanabilir.

$$S = \frac{t_y}{k} \quad (12.43)$$

Maksimum deformasyondan daha büyük yer değiştirmelerde zemin mukavemeti sabittir. Maksimum deformasyonun hesabında kullanılan her iki değişkende derinlikle değişmediğinden S' de derinlikle sabittir.

12.5. Yatak Katsayısı Hakkında Sonuç

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yatak katsayısı, zemin sınıfının davranışını tam olarak belirleyen bir kavram değildir. Yatak katsayısı sadece zemin özelliklerine bağlı olmayıp aynı zamanda yük şiddetine ve yükün etkime doğrultu ve noktasına göre de değişebildiğinden, Young (elastisite) modülü ve Poisson oranı gibi zemine ait karakteristik bir özellik de değildir. Bu nedenle, herhangi bir zemin için genelleme yapmak olanaksızdır. Hatta belirli bir arazi parçası üzerinde ve üniform homojen bir zeminde dahi yapılacak yükleme deneylerinden farklı yatak katsayısı değerleri elde edilebilir. Fakat bir kiriş veya

plakta oluşan moment ve gerilmelerin yatak katsayısının değerinden çok fazla etkilenmemesi nedeni ile büyük hatalar yapmaksızın seçilebilecek yatak katsayısı değeri çok geniş bir aralıkta yer almaktadır. Bu nedenle daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi Terzaghi ve Vesic gibi bazı araştırmacılar tarafından zemin cinslerine göre tablolar halinde verilmiş olan yatak katsayısı değerleri, mühendislik yargısı ile birleştirilerek çok önemli olamayan yapıların geoteknik hesaplarında mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Bowles tarafından verilmiş olan Çizelge 12.11 çeşitli zemin cinslerine göre yatak katsayısının alabileceği değer aralıklarını göstermektedir. Bunun yanı sıra Bowles temel yapısının, zeminden 10 kat ve hatta daha fazla rijit olması sebebi ile, yukarıda da bahsedildiği gibi, yatak katsayısı değerinin 12.44 eşitliği kullanılarak zeminin maksimum taşıma kapasitesine göre saptanmasının çok yanıltıcı bir sonuç vermeyeceğini ve yaklaşık bir hesap için kullanılabileceğini ifade etmiştir.

$$k_s = 40(GS)q_a \quad \text{kN/m}^3 \quad (12.44)$$

Bu eşitlikte q_a ifadesi, zeminde 0.0254 m derinliğinde bir oturmaya yol açacak zemin taşıma kapasitesinin (q_u) bir emniyet sayısına (GS) bölünmesi ile elde edilen emniyetli taşıma kapasitesidir. 40 katsayısı 0.0254 m oturma değeri için verilmiştir. Daha farklı bir oturma değeri için ise 40 katsayısı müsaade edilen oturmanın 0.0254 m oturma miktarına oranı ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Bowles gerek düşey gerekse yatay yatak katsayısının hesabı için en genel şeklin 12.45 bağıntısındaki gibi olduğunu belirtmiştir. Terzaghi ve Hansen tarafından verilmiş olan 12.46 taşıma kapasitesi bağıntısını 12.45 bağıntısında yerine koyarak 12.47 ve 12.48 eşitliklerine ulaşmıştır. Bu eşitliklerde belirtilen C, 12.44 ifadesindeki 0.0254 m oturma değeri için verilmiş olan 40 katsayısını göstermektedir.

Çizelge 12.11. Çeşitli zeminler için yatak katsayısı değerleri

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Gevşek kum	4800 – 16000
Orta sıklıkta kum	9600 – 80000
Sıkı kum	64000 – 128000
Killi orta sıklıkta kum	32000 – 80000
Siltli orta sıklıkta kum	24000 – 48000
Killi zeminler:	
$q_u \leq 200$ kPA	12000 – 24000
$200 < q_u \leq 400$ kPA	24000 – 48000
$q_u > 800$ kPA	> 48000

$$k_s = A_s + B_s Z^n \quad (12.45)$$

Bu ifadede, A_s yatay veya düşey yatak katsayısı için sabit değeri, B_s derinlikle değişim katsayısı, Z derinlik, n mevcut yükleme deneyi sonuçları veya başka bilgilerle verilmiş olan yatak katsayısı değerlerine uygunluğu sağlayan bir değeri göstermektedir (Çizelge 12.12).

$$q_{ult} = cN_c s_c + \gamma Z N_q s_q + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma \quad (12.46)$$

$$A_s = C(cN_c s_c + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma) \quad (12.47)$$

$$B_s Z^1 = C(\gamma N_q s_q) Z^1 \quad (12.48)$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta 12.47 ve 12.48 bağıntılarında emniyet katsayısı GS 'nin bulunmayışıdır. Ayrıca 12.48 ifadesi yatak katsayısının derinlikle artışı belirtmektedir. Fakat yatak katsayısı üzerinde yapılan deneyler göstermiştir ki, yatak katsayısı belirli bir değere kadar artmakta bu değerden sonra ise değişmemektedir. Bu son noktanın da dikkate alınması ile 12.48 bağıntısının sol tarafı 12.49 ifadesi gibi olur [12].

$$B_s \tan^{-1} \frac{Z}{D} \quad (12.49)$$

Çizelge 12.12. Çeşitli zeminler için yatay yatak katsayısı değerleri [15]

Zemin	k_s , MN/m ³
Sıkı kumlu çakıl	220 – 400
Orta sıkı kaba kum	157 – 300
Orta sıkı kum	110 – 280
İnce kum	80 – 200
Sıkı kil (ıslak)	60 – 220
Sıkı kil (suya doymuş)	30 – 110
Orta kil (ıslak)	39 – 140
Orta kil (suya doymuş)	10 – 80
Yumuşak kil	2 – 40

13. DÜŞEY YÜKLER ALTINDA KAZIKLARIN OTURMA HESABI

Zemine yerleştirmenin neden olduğu örselenme ile kazıktan zemine aktarılan gerilmenin dağılışı ve yerinin belirsizliği aksel yükler altında kazığın yapacağı oturmaları karmaşık bir hale getirmektedir. Vesic (1977), Sharma ve Joshi (1988) kazığın yaklaşık 1 cm lik bir deplasman yapabilmesi için mobilize olması gereken çevre sürtünmesi değerinin gerçekte küçük olduğunu ve kazık çapı, zemin ve kazık cinsinden bağımsız olacağını savunmakta; aynı deplasmanın oluşması için mobilize olması gereken uç direncinin ise kazık çapı, zemin ve kazık cinsine bağlı olarak daha büyük değerler alacağını öne sürmektedirler. Bu durumda nihai çevre sürtünmesi aksel yükler altında iken nihai uç direncine kıyasla daha çabuk tümüyle mobilize olabilmektedir. Bununla beraber kazığın uzunluğuna ve zeminin cinsine bağlı olarak kazığa aktarılan üst yapı yüklerinin zemine dağılışı ve kazık çevresindeki yayılışında farklılık olması kaçınılmazdır.

13.1. Kohezyonsuz Zeminlerde Tek Bir Kazığın Oturması

Düşey yükler altındaki bir kazığın yapacağı toplam oturmanın tahmininde başlıca üç yöntemin kullanılabileceği literatürde rapor edilmektedir (Prakash ve Sharma, 1990). Bu yöntemler;

- Yarı ampirik yöntemler
- Ampirik yöntemler
- Kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayalı yöntemler olarak tariflenmektedir.

13.1.1. Yarı ampirik yöntemler

Tasarım amaçları için çalışma yükü altında bir kazığın toplam oturması kazık malzemesinin elastik kısılması ile uçtaki ve çevredeki aktarılan yüklerin neden olduğu oturmaların toplamı olarak alınabileceği Vesic (1977) kaynağında aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$S=S_1+S_2+S_3 \quad (13.1)$$

S : Kazığın toplam oturması

S₁ : Kazık malzemesinin shaft boyunca elastik kısılması

S₂ : Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

S₃ : Kazık shaftı boyunca aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma

S₁'in belirlenmesi

Kazık malzemesi elastik kabul edilirse malzeme mekaniğinin temel prensipleri uyarınca shaft boyunca kazığın elastik kısılması (13.2) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})}{A_p E_p} \quad (13.2)$$

Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük

Q_{ws} : Çalışma yükü altında shaft boyunca taşınan yük

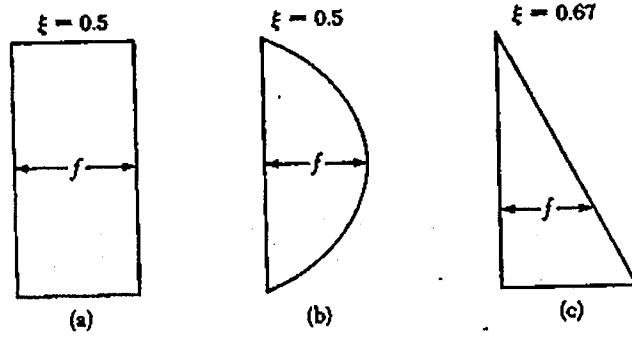
A : Kazık kesit alanı

E : Kazık malzemesinin elastisite modülü

L : Kazık uzunluğu

ξ : Birim çevre sürtünmesinin kazık boyunca dağılımına bağlı bir katsayıdır.

“ξ” katsayısı Das (1990) kaynağında da ifade edildiği gibi üniform ve parabolik dağılımlar için 0.5, üçgen dağılımlar için 0.67 değerlerini önermektedir (Şekil 13.1). Sharma ve Joshi üniform ya da üçgen dağılışa göre tahmin edilen oturmaların “ξ” değerine fazla duyarlı olmadığını ve pratik maksatlar için “ξ” nin her iki değerini de kullanılabileceğini belirtmektedirler. ξ için uzun çakma kazıklarda daha küçük değerler gözlenmiş olup sıkı kuma çakılan kazıklarda 0.1 mertebesinde olabilmektedir (Yıldırım ve Özaydın, 1994).



Şekil 13.1. Birim çevre sürtünmesinin şaft boyunca dağılıma biçimlerine bağlı olarak “ξ” katsayısı değerleri [16]

S₂'nin belirlenmesi

Kazık ucuna aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma yüzeysel temellerin oturma denklemlerine benzer yapıda (13.3) bağıntısında görüldüğü gibi hesaplanabilir.

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} [1 - \mu_s^2] I_{wp} \quad (13.3)$$

q_{wp} : Kazık ucuna aktarılan gerilme, ($q_{wp} = Q_{wp}/A_p$)

I_{wp} : Etki faktörü

μ_s : Zeminin poisson oranı

E_s : Kazık ucunun çevresindeki zeminin elastisite modülü

Deneysel veri yetersizliği nedeniyle “μ” poisson sayısı değerleri Çizelge 13.1 yardımıyla seçilebilir.

Vesic (1977) çalışmasında ise “S₂” oturmasının belirlenmesi için (13.4) eşitliği ile tanımlanan yarı ampirik bağıntının kullanılması önerilmektedir.

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \quad (13.4)$$

q_p : Kazık ucunda birim alanda taşınabilecek nihai yük

C_p : Ampirik faktör

“C_p” ampirik faktörünün zemin ve kazık türüne bağlı olarak Tablo 13.2’de görüldüğü gibi seçilebilir.

Çizelge 13.1. Çeşitli zemin türleri için “ μ_s ” poisson sayıları (Das, 1990)

Zemin Cinsi	Elastisite Modülü		Poisson Oranı
	(MN/m ²)	(lb/in ²)	
Gevşek Kum	10.35 – 24.15	1.500 – 3.500	0.20 – 0.40
Orta Sıkı Kum	17.25 – 27.60	2.500 – 4.000	0.25 – 0.40
Sıkı Kum	34.50 – 55.20	5.000 – 8.000	0.30 – 0.45
Siltli Kum	10.35 – 17.25	1.500 – 2.500	0.20 – 0.40
Çakıllı Kum	69.00 – 172.50	10.000 – 25.000	0.15 – 0.35
Yumuşak Kil	2.07 – 5.18	300 – 750	
Katı Kil	5.18 – 10.35	7.50 – 1.500	0.20 – 0.50
Çok Katı Kil	10.35 – 24.15	1.500 – 3.500	

Çizelge 13.2. Zemin ve kazık türüne bağlı olarak “ C_p ” ampirik faktörünün aldığı değerler, (Yıldırım ve Özaydın, 1994)

Zemin Türü	Çakma Kazık	Sondaj Kazık
Kum (sıkı – gevşek)	0.02 – 0.04	0.09 – 0.18
Kil (katı – yumuşak)	0.02 – 0.03	0.03 – 0.06
Silt (sıkı – gevşek)	0.03 – 0.05	0.09 – 0.12

Çizelge 13.2’deki değerler kazık ucundaki taşıyıcı diye adlandırılacak tabakanın en az “10D” kadar daha devam ettiği ve kazık ucundaki zemine göre en az onun kadar sıkı olduğu hallerde uzun süredeki oturmalar içindir. Kazık ucu altında fazla sıkışabilir bir tabaka varılmadıkça genelde konsolidasyon oturması toplam oturmanın %15 ‘ini geçmez, aksi takdirde konsolidasyon oturması hesaplanıp oturma değerine eklenmelidir (Yıldırım ve Özaydın, 1994).

S₃’ün belirlenmesi

Kazık boyunca çevreye aktarılan yük nedeniyle oluşan oturma yine yüzeysel temellerin oturma hesaplarına benzer biçimde (13.5) bağıntısı aracılığıyla hesaplanabilmektedir.

$$S_3 = \left[\frac{Q_{ws}}{PL} \right] \left[\frac{D}{E_s} \right] [1 - \mu_s^2] I_{ws} \quad (13.5)$$

P : Kazık çevresi

I_{ws} : Etki faktörü

$Q_{ws} / PL = q_{ws}$

Etki faktörü (13.6) bağıntısı yardımıyla bulunabilir.

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (13.6)$$

Vesic (1977), çalışmasında çevreye aktarılan yük nedeniyle oluşan oturmaların (13.4) bağıntısına benzer yapıda tariflenen bağıntı yardımıyla hesaplanabileceğini savunmaktadır.

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (13.7)$$

Burada görülen “ C_s ” ampirik faktörünün

$$C_s = (0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{D}}) C_p \quad (13.8)$$

ifadesi ile tayin edilebileceğini ve (13.7) bağıntısı ile killi zeminler için hesaplanacak “ S_3 ” oturmalarının ani oturmalara tekabül edeceği yorumlanmaktadır. (13.8) ifadesindeki “ C_p ” terimi (13.2) eşitliğinde yer alan ve Çizelge 13.2 aracılığıyla değeri kestirilebilen ampirik faktördür.

13.1.2. Ampirik yöntemler

Vesic (1970) çalışmasında işletme yükleri altında bir kazığın toplam oturması (13.9) denklemi ile ifade edilmektedir (Prakash ve Sharma, 1990).

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q_{wa} L}{A_p E_p} \quad (13.9)$$

S : Kazığın toplam oturması, (inç)

Q_{wa} : Çalışma yükü (lb)

D : Kazık çapı (inç)

A_p : Kazık enkesit alanı (inç)

E_p : Kazık malzemesinin elastisite modülü (lb/in²)

L : Kazık uzunluğu (inç)

Frank (1985) 'e göre kılıflı kazıklar üzerinde yapılan pratik denemeler sonucunda tasarım yükleri altında meydana gelecek oturmalar aşağıda ifade edildiği şekilde bulunur.

Çakma Kazıklar	$0.8 [D] < [S] < 1.2 [D]$
	Ortalaması : $[S] = 0.9 [D]$
Sondaj Kazıkları	$0.3 [D] < [S] < 1 [D]$
	Ortalaması : $[S] = 0.6 [D]$

Briaud ve Tucker (1988) kaynağında ise araştırmacılar toplam kazık oturmasının %95 olasılıkla nihai taşıma gücünün yarısına eşit bir çalışma yükü için kazık çapının 12.5 katından daha az olacağını vurgulamaktadır. Poulos (1990) çalışmasında tek kazığın oturması için elastik zemin koşulları kabulü yapılarak daha pratik bir yaklaşımla (13.10) ifadesi önerilmiştir.

$$S = \frac{Q_{wa}L}{A_p E_p} + \frac{Q_{wa}}{DE_{SL}} I_p \quad (13.10)$$

S : Kazığın toplam oturması

Q_{wa} : Uygulanan eksenel yük

A_p : Kazık kesit alanı

E_p : Kazık malzemesinin elastik modülü

D : Kazık çapı

E_{SL} : Kazık ucu seviyesinde zeminin elastisite modülü

I_p : Etki faktörü

olarak tariflenmektedir (Poulos, 1990).

13.2. Kohezyonlu Zeminlerde Tek Bir Kazığın Oturması

Kohezyonlu formasyonlarda bir kazığın toplam oturması başlıca aşağıda tanımlanan oturma bileşeninden oluşmaktadır.

- Uygulanan yük nedeniyle kısa sürede oluşan ani oturmalar
- Yüklerin zemine yayılmasına bağlı olarak boşluk suyu basınçlarının drene olmasının sonucunda uzun sürede gelişen konsolidasyon oturmaları.

Genel olarak kısa sürede oluşan oturmalar kohezyonlu zeminlerdeki elastik durumlardan ileri gelmektedir. Bu oturma bileşeni, kısmen suya doygun ve aşırı konsolide olmuş suya doygun kohezyonlu zeminler için toplam oturmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Aşırı konsolide zeminler bilindiği gibi geçmişte, şu anda üzerinde mevcut bulunan düşey efektif jeolojik yükten daha fazla düşey efektif jeolojik yüke maruz kalmış zeminlerdir. Kohezyonlu zeminlerde tek kazığın yapacağı ani oturmanın tahmini zemin koşulları uygun oldukça, yukarıda kohezyonsuz zeminlerde tek kazığın oturma hesaplarında açıklanan yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Uzun süreli konsolidasyon oturmaları ise çoğu kez kohezyonlu zeminlerdeki kazık gruplarının oturması başlığı altında görüleceği gibi “grup davranışı” olarak incelenmektedir [1].

13.3. Kazık Grubunun Oturması

Kazıkların oturması,

- Üst yapının oturmaya karşı hassas olması,
- Kazık grubunun çok sıkışabilen bir tabaka içinde bulunması,
- Kazık grubunun düşey yükler altındaki yerdeğiştirmesinin üst yapının statik hesabında gerekmesi durumlarında hesaplanır.

Bir büyük kazık grubunun aynı kazık yüklerinde küçük bir gruba göre, büyük ya da küçük kazık grubunun da tek kazığa göre oturmasının daha fazla olduğu uygulamada gözlenmektedir. Bu gözlem elastik oturmalar için de konsolidasyon oturmaları için de doğrudur.

Killi zeminlerde bir grubun oturmasının zaman, zemin örselenmesi ve ölçek farklılıkları nedeni ile tek kazığın oturmasından yararlanılarak bulunamayacağı açıktır. Bu nedenle kazık grubunun yükü zemine nasıl aktardığı konusunda varsayım yapılmakta ve bu aktarımın gerçekleştiği yerde sanal bir temel varsayılarak oturması hesaplanmaktadır. Kaynaklarda aşağıdaki varsayımların kullanıldığı görülmektedir.

- Kazık boyunun $2/3 L$ aşağısında kazıklarca çevrelenen sanal temel (Terzaghi ve Peck, 1967). Burada eşdeğer plak temelin oturması, kazık grubu ile aynı toplam yükü taşıyan, $2/3 L$ derinliğinde, gerilemenin 1 (yatay) / 2 (düşey) açı ile genişleyen bir alanda dağıldığı kabul edilerek hesaplanmaktadır (Şekil 13.2).
- Yüzeyden başlayan 4 düşey ve 1 yatay açıyla genişleyen ve yine $2/3 L$ derinlikte sanal temel (Tomlinson, 1994) (Şekil 13.3) [2].
- Kazıkların ucunda kazıkların çevrelediği sanal temel
- Kazık ucunda daha geniş alanlı sanal temel

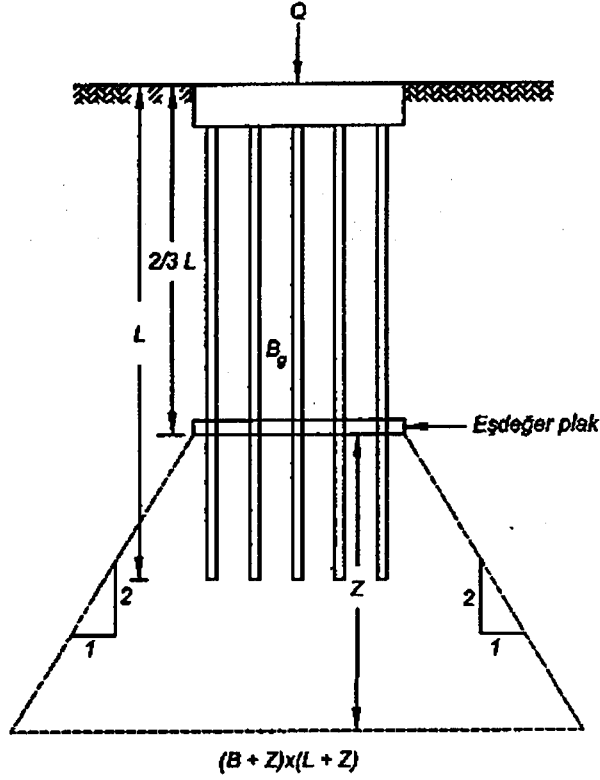
Simons ve Menzies (1976) zemine yer değiştiren kazıklarda 1 ve 2'nin daha uygun bir çözüm olacağını, zira 3'e göre daha fazla oturma vereceğini belirtmekte ve bunun kazık çakımı ile ilgili örselenmeyi de gözönüne alacağını söylemektedirler. Fore kazıklar özellikle yakın aralıklı ise 3 varsayımı daha gerçekçidir. Kohezyonsuz zeminlerde killerdeki benzer bir yöntemle oturmaları hesaplamak olanaklı ise de genellikle bu yol izlenmeyip grup oturması tek kazık oturma sonucuna göre belirlenmektedir.

Bu konuda önerilen basit eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$\text{Skempton (1953)} \quad \frac{S_g}{S} = \left[\frac{4B_g + 3}{B_g + 4} \right]^2 \quad (13.11)$$

$$\text{Vesic (1977)} \quad \frac{S_g}{S} = \sqrt{\frac{B_g}{B}} \quad (13.12)$$

Burada S tek kazığın çalışma yükündeki oturması, B_g grup genişliği, S_g grup oturmasıdır. Vesic (1977) eşitliği NAVFAC (1988) ve Canadian Foundation Design Manual (1985) tarafından da önerilmektedir. Eşitliğin hem kumlar hem killerin elastik oturmasında kullanılabilmesi belirtilmektedir. Killi zeminlerde önceden açıklanan sanal temelin konsolidasyon oturmasının buna eklenmesi gerektiği açıktır.



Şekil 13.2. Kazık grubunun oturmasını hesaplariken yapılan gerilme dağılışı kabulü (Terzaghi ve Peck, 1967)

Meyerhof (1976) kum ve çakıllar için ampirik olarak (mm)

$$S_g = \frac{0.92q\sqrt{B_g I}}{\bar{N}} \quad q = \frac{Q_g}{A_g B_g} \quad (13.13)$$

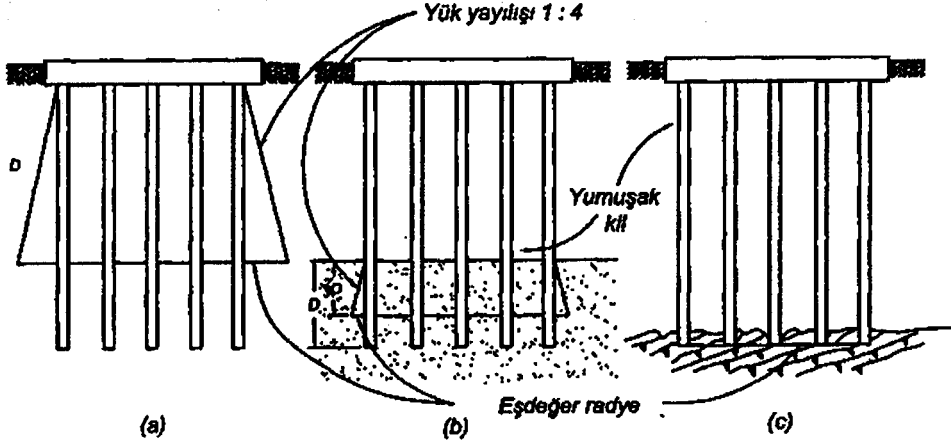
önermektedir. \bar{N} kazık ucundan kazık grubunun genişliği B_g kadar alta uzanan bölgede düzeltilmiş SPT darbe sayısı, I etki faktörü ise;

$$I = 1 - \frac{L}{8B_g} \geq 0.5 \quad (13.14)$$

olup siltli kumlar için tahmin edilen oturmaların iki katı alınmalıdır. Koni deneyi sonuçlarından ise

$$S_g = \frac{qB_g I}{2q_c} \quad (13.15)$$

eşitliği ile yararlanılabilecektir. Tüm bu yöntemlerin üniform zemin koşullarını kabul ettikleri gözönüne alınmalıdır [11].



Şekil 13.3. Kazık grubundan yükün zemine aktarılması

- Sürtünme kazıklarından oluşan grup
- Yumuşak kilden sıkı ayrık daneli zemine giren kazık (çevre sürtünmesi + uç mukavemeti)
- Uç kazıklarından oluşan grup

14. KAZIK – RADYE SİSTEMLERİ

Taşıma kapasitesi sorunlarının yaşanabileceği ağır yapılar dışında, genellikle toplam veya farklı oturma şartı, temellerin planlamasını kontrol eden en önemli faktördür. Radye temeller bazı durumlarda taşıma kapasitesi şartını sağlamasına rağmen, meydana gelecek oturma değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde olmayabilir. Oturmalar, radye taban alanını genişleterek veya radyeyi daha derinlere taşıyarak azaltılabilir. Ancak bu çözümler, birincisi gerekli temel alanını büyüteceği, ikincisi ise çok miktarda kazı gerektireceği için çevre şartları ve ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Bu durumlarda yapı yüklerini daha alttaki sağlam tabakalara taşımak kaçınılmaz olup kazıklı temellerin kullanılması gerekir. Fakat taşıma gücünün yeterli olduğu sadece oturmaların azaltılması gereken durumlarda, kazıkların radyenin altında oturmayı azaltıcı eleman olarak kullanıldığı kazıklı radye temelleri kullanmak daha ekonomiktir [17].

Kazıklı radyeler, taşıma gücünün artırılması ve/veya radye altındaki oturmaların farklı olmasını önlemek için kullanılır. Kazıklı radye tasarımında,

- kazıklı radyenin yük-oturma davranışı,
- kazıklar ve radyenin yükü paylaşım oranı,
- radye altındaki yerine göre kazıklara gelen yükler,
- sistemin iç kuvvetler ve momentlerin değerleri

belirlenmelidir [2].

Klasik hesap yöntemlerinde, kazıklı temellerin hesabı, gelen yükün tamamını kazıkların taşıdığı varsayımına göre yapılmaktadır. Ama gerçekte bir kazıklı radye temelde, yük zemine doğrudan temas eden radye ile kazıklar arasında bölüşür ve zemine kısmen radye ve kısmen de kazıklar tarafından aktarılır. Radye tarafından aktarılan yük temelin boyutlandırılmasında göz önüne alınacak olursa ekonomik açıdan önemli ölçüde tasarruf edilebilir. Bu nedenle, kazıklı radyelerin boyutlandırılmasında kullanılan bugünkü metotlarda, kazık-radye-zemin arasındaki etkileşime bağlı olan yük dağılımı büyük önem taşımaktadır.

“Oturmaları azaltıcı eleman” terimi kazıklar için Burland ve diğerleri (1977) tarafından kullanılmıştır. Oturmaları istenilen, kabul edilebilir değerlere indirmek için gerekli olan kazık sayısı, kazıklı radye temellerde klasik yöntemlerle hesaplanan kazıklı temellere göre çok daha azdır. Buna bağlı olarak kullanılan kazık aralığı daha geniş olduğundan, bu sistemlerde grup etkisi daha az gözlenmektedir.

Cooke (1986) çeşitli boyutlardaki radyeler, serbest kazık grupları ve kazıklı radye temeller üstünde yaptığı deneyler sonucunda radye altında kullanılacak kazık sayısının belirlenmesinde kullanılacak en uygun yöntemin, kazık sayısını direkt olarak oturma miktarında istenen azalmaya bağlı olarak belirlemek olduğunu belirtmiştir. Ancak eklenecek kazıklar belirli bir noktaya kadar oturma miktarında bir azalmaya sebep olurken, kazık-zemin blok davranışının oluşabileceği kazık aralığına yaklaştıkça, eklenen yeni kazıkların oturmaya etkisi gittikçe azalmaktadır. Blok hareketin başladığı andan itibaren ise daha yakın aralıkta kazık eklemenin artık oturmayı azaltıcı bir etkisi olmamaktadır.

Kazıkların, radye altında “oturmaları azaltıcı eleman” olarak kullanılmasının sağladığı daha ekonomik ve daha verimli bir temel boyutlandırılmasında en önemli amaç kabul edilebilir oturma miktarını elde etmeyi sağlayacak minimum kazık sayısını, en uygun kazık yerleşimini, optimum radye kalınlığını ve kazık boyutlarını belirlemektir. Bu amaçla kazıkların direkt olarak elde edilmek istenen oturma miktarındaki azalmaya bağlı olarak hesaplanması uygun olacaktır. Bu sayede kazıklar için yapılan harcamalarda ve genel olarak temel tasarımında önemli ölçüde ekonomi sağlanacağı açıktır.

Kazıkların radye ile beraber kullanıldığı kazıklı radye sistemlerin hesabında en önemli nokta, uygulanan yükün zemine nasıl aktarıldığı ve bazı faktörlerin (kazık sayısı, aralığı, boyu, rijitliği, temel şekli, zemin tabakalarının kalınlığı ve zemin özellikleri) bu davranış üzerindeki etkisinin ne olacağıdır. Bu nedenle, kazıklı radye sistemlerde, yapıdan gelen yükün taşıyıcı zemine, her bir temel elemanı (kazıklar ve radye) tarafından nasıl aktarıldığı, toplam ve farklı oturma miktarlarını etkileyen faktörlerin bilinmesi uygun bir boyutlandırma için büyük önem taşımaktadır. Kazık-radye-zemin sistemlerini, her üç elemanın da

lineer elastik davranış gösterdiği kabulüne dayanarak inceleyen analiz yöntemleri bulunmasına rağmen, bu metotların kazıklar ve radye arasındaki yük dağılımını belirlemede yeterli olmadığı görülmektedir. Ayrıca bu sistemlerin davranışının daha detaylı anlaşılmasını sağlayacak arazi deneylerinin ve güvenilir ölçümlerin azlığı, kazıklı radye temellerin analizinde kullanılan yöntemlerin değerlendirilmesinde önemli bir eksiklik oluşturmaktadır.

Kazıklı radye sistemlerin yük-oturma davranışı büyük önem taşımaya rağmen, arazi ve laboratuvar deneyleri ile teorik çalışmalar çoğunlukla tekil kazıklar veya kazık başlığının zemine oturmadığı kazık grupları (serbest kazık grupları) üstünde yapılmaktadır. Ayrıca kullanılan ilk analizler, temel elemanları arasındaki etkileşimi de dikkate almamaktadır.

Kazıklı radye sistemlerini incelemek için daha sonra geliştirilen metotlar da ise, kazık-radye-zemin arasındaki etkileşim de göz önüne alınmakla başarılı bir ekonomik boyutlandırmanın ancak sistemin bu üç elemanı arasındaki ilişkinin dikkate alınması ile elde edilebileceği belirtilmektedir. Üstelik üstyapının rijitliği, radyeye iletilen yükün ve momentlerin dağılımını etkileyeceğinden incelenecek sistemin üstyapı-kazıklar-radye-zemin olması gereklidir. Ancak bu karmaşık sistemlerde öncelikle incelenmesi gereken konu temel ve zeminin birbirleri üzerindeki etkileri olmalıdır.

Zemin-yapı etkileşiminin kazıklı radye temellerin davranışında önemli bir etkisinin olacağı açıktır. Bu etkileşim, sonraki çalışmalarda daha çok dikkate alınmıştır. Bu sistemler, araştırmacılar için ilginç bir problem olarak görüldüğünden, günümüzde temel mühendisliğinde yapılan çalışmalar içinde geniş bir yer tutmaktadır. Kazıklı radye temeller konusunda geniş incelemeler yayınlanmıştır (Brown ve diğerleri, 1975; Hooper, 1979; Cooke, 1986; Poulos, 1991a, 1994b; Randolph, 1994; Poulos ve diğerleri, 1997). Teorik çalışmaların sayısının fazlalığına rağmen, bu konuda yapılmış model deneyleri oldukça yetersiz kalmıştır ve literatürde bu tür çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bu çalışmalar arasında, Whitaker (1961), Ghosh (1975), Abdrabbo (1976), Wiesner ve Brovvn (1980), Horikoshi (1995) sayılabilir.

Poulos (1991a, 1994a, 1994b) kazıklı radye temellerin analizinde kullanılan metotları incelemiş ve aşağıda belirtildiği gibi 6 grupta toplamıştır:

- Elastik ortamdaki kazık grubu ve radyenin incelenmesinde kullanılan teorik çalışmaları içeren, bilgisayar kullanımı gerektirmeyen yaklaşık hesap yöntemleri,
- Zemine oturan plak veya şeritlerin incelendiği metotların kullanılarak, kazıkların yaylar yardımıyla tanımlandığı geliştirilmiş çalışmalar,
- Radye ve kazıkların ayrı ayrı ele alınarak, elastisite teorisi yardımıyla aralarındaki etkileşimin göz önüne alındığı sınırlı elemanlar yöntemi,
- Zemin içinde kazıkların ve radyenin tek bir blok gibi kabul edildiği sonlu elemanlar yöntemi,
- Radyenin plak, kazıkların ise yaylarla tanımlandığı sonlu elemanlar yöntemi,
- 3 boyutlu lineer sonlu elemanlar yöntemi.

Kazıklı radye temellerin davranışını etkileyen faktörler ise aşağıdaki gibi dört ana grupta toplanabilir (Poulos, 1991a):

- Radye özellikleri (rölatif rijitlik, şekil ve boyutlar)
- Kazık özellikleri (sayı, uzunluk, çap, yerleşim, rijitlik)
- Uygulanan yükün özellikleri (tekil, düzgün, yayılı)
- Zemin özellikleri (zemin profili, rijitlik, taşıma gücü)

Poulos (1991 a)' a göre kazıklı radye temellerin kullanımının en uygun olduğu durumlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sert killerin yer aldığı zemin profili,
- Sıkı kumların yer aldığı zemin profili,
- Kazıkların yer aldığı temel derinliğinde, yumuşak veya gevşek tabakaların bulunmadığı zemin profili.

Bu sistemlerin kullanılmasının uygun olmayacağı durumlar ise :

- Zemin yüzüne yakın yumuşak kil tabakasının bulunduğu zemin profili,
- Zemin yüzüne yakın gevşek kumların bulunduğu zemin profili,
- Dış etkiler dolayısıyla konsolidasyon veya şişme oluşabilecek zemin tabakalarının bulunduğu zemin profili.

İlk iki durumda, radye temel tek başına yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayabilir. Sonuncu durumda ise zeminde oluşacak hareketlerden dolayı kazıklarda önemli ölçüde yük artışları meydana gelebilmektedir. Kazıklı radye temellerin analizinde, dış etkilerden dolayı oluşabilecek zemin hareketlerinden

(şişme, büzülme, konsolidasyon gibi) dolayı sistemin davranışında görülebilecek değişiklikler, kullanılan analiz yöntemlerinde çok az dikkate alınmıştır ya da hemen hemen hiç dikkate alınmamıştır. Halbuki kazıklar ve radye arasındaki yük dağılımı, ve oturmalar bu zemin hareketlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Poulos (1993), şişme veya büzülme sebebi ile zeminin yaptığı hareketlerin sebep olduğu efektif gerilmelerdeki veya emme basıncındaki değişikliklerin kazıklar-radye-zemin etkileşimi üzerinde meydana getirdiği etkiyi sınırlı elemanlar metodunu kullanarak incelemiş ve ulaştığı sonuçları aşağıdaki şekilde özetlemiştir:

- Konsolidasyona maruz kalan zeminlerde, negatif çevre sürtünmesinden dolayı kazıklarda basınç gerilmesi artışı meydana gelir ve radyenin ağırlığı da kazıklar tarafından taşınmaya başlar.
- Şişen zeminlerde ise, zeminin hareketinden ve radye altında oluşan gerilmelerden dolayı kazıklarda çekme gerilmesinde artış meydana gelir.

Her iki durumda da, kazıklı radye temelde oluşacak hareket serbest kazık grubuna göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeple, dış etkilerden dolayı düşey zemin hareketlerinin oluşabileceği durumlarda kazıklı radye sistemlerin kullanılmasından kaçınılması daha uygun bir çözümdür.

Kazıklı radye temellerin boyutlandırılmasında kullanılacak metodların aşağıdaki şartları içermesi gerekmektedir (Poulos ve diğerleri, 1997) :

- Kazık-radye-zemin etkileşiminin bir şekilde dikkate alınması,
- Kazık sayısının, yerinin ve karakteristik özelliklerinin değişimi,
- Gerçekçi zemin profillerinin kullanılması,
- Kazıklar ve radye arasındaki yük dağılımının hesaplanması,
- Kazıklarda (basınç ve çekme) taşıma kapasitesinin kullanılmasına ve temelin lineer olmayan yükleme-deformasyon davranışının oluşmasına imkan verilmesi,
- Tüm temel sisteminin toplam ve farklı oturma miktarlarının hesaplanması,
- Radyenin betonarme hesabı için eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin hesaplanması,
- Metodun uygulamacılar tarafından farklı bir eğitim ve çaba gerektirmeden,

mevcut bilgileri ile rahatça kullanılabilmesi.

Kazıklı radye temellerin, radye temellerin taşıma kapasitesinin yeterli olduğu ancak kabul edilebilir oturma değerlerini aştığı durumlarda, klasik metotlarla hesaplanan kazıklı temellere alternatif olarak daha ekonomik ve uygun bir çözüm olduğu görülmektedir. Kazık sayısında ve radye boyutlarında büyük ölçüde ekonomi sağlamaktadır. Bu yüzden toplam veya farklı oturumların azaltılmak istendiği durumlarda kazıklı radye sistemler geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Kazıklı radye sistemlerde her elemanın (radye ve kazıklar) taşıma gücüne etkisi ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır çünkü bu tür sistemlerde, yük hem zemin-radye hem de zemin-kazık arasında oluşan gerilmeler tarafından alttaki zemin tabakalarına aktarılmaktadır. Kazıklı radye temellerin davranışı, serbest kazık gruplarına göre artan taşıma gücü ve radyeye göre azalan oturma miktarı açısından incelenmelidir. Günümüzde, mevcut yöntemler kazıklı radye sistemlerin davranışını incelemeye uygun sonuçlar veriyor olsa da, hala bu temellerin davranışının detaylı olarak elde edilebilmesi için daha çok teorik ve deneysel çalışmaya ihtiyaç olduğu kesindir [17].

Deneysel çalışmalar, kazıkların radye ile birlikte tasarlanması ve çalıştırılması durumunda önemli tasarruflar sağlanabileceğinin göstermektedir (Gök, Toğrol, 2001). Poulos (2001) kazıklı radyelerin hesaplanması için sadeleştirilmiş bir yöntem önermiştir. Bu yöntem, daha önce Poulos ve Davis (1980) ve Randolph (1994) tarafından yapılmış çalışmalara dayanmaktadır. Kazıklı radyenin rijitliğini K_{pr} , kazık grubunun rijitliğini K_p , radyenin rijitliğini K_r , kazık ile radye arasındaki etkileşim faktörünü α_{cp} ye bağlı olarak yazabiliriz:

$$K_{pr} = \frac{K_p + K_r(1 - \alpha_{cp})}{1 - \alpha_{cp}^2 K_r / K_p} \quad (14.1)$$

Radyenin rijitliği, elastisite teorisi ile hesaplanır. Tek kazığın rijitliği elastisite teorisi ile hesaplanıp grup rijitlik azaltması sayısı ile çarpılarak kazık grubunun rijitliği bulunur. Radye tarafından taşınan yükün Q_r toplam yüke Q , oranı 14.2 ifadesi ile hesaplanabilir.

$$\frac{Q_r}{Q_t} = \frac{K_r(1-\alpha_{cp})}{(K_p + K_r(1-\alpha_{cp}))} = X \quad (14.2)$$

Radye kazık etkileşim faktörü,

$$\alpha_{cp} = 1 - \ln\left(\frac{r_c}{r_0}\right) / \xi \quad (14.3)$$

olarak yazılabilir. Burada r_c kazık başlığının ortalama yarıçapı, r_0 kazığın yarıçapını göstermektedir.

$$\xi = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right) \quad (14.4)$$

$$r_m = 0.25 + \xi[2.5\rho(1-\nu_s) - 0.25]L \quad (14.5)$$

olarak hesaplanır. 14.5 ifadesinde

$$\xi = \frac{E_{sl}}{E_{sb}} \quad (14.6)$$

$$\rho = \frac{\bar{E}_s}{E_{sl}} \quad (14.7)$$

ν_s : Zeminin poisson oranı,

L : Kazık boyu,

E_{sl} : Kazığın ucu seviyesindeki zeminin elastisite modülü,

E_{sb} : Kazığın altındaki taşıyıcı zeminin elastisite modülü,

\bar{E}_s : Kazık boyunca zeminin ortalama elastisite modülüdür.

Bu yöntem ile üç aşamalı bir yük-oturma eğrisi elde edilir. Kazıklı radyenin rijitliği 14.1 ifadesinden hesaplanır. Kazık grubunun nihai taşıma gücü Q_u olduğuna göre, kazıkların nihai taşıma gücünün uyanacağı (mobilize olacağı) Q_t yükü,

$$Q_t = Q_u(1 - X) \quad (14.8)$$

olarak hesaplanır. Bu noktadan sonra temel sisteminin rijitliği sadece radyenin rijitliğine (K_r) bağlıdır ve bu durum kazıklı radye sisteminin nihai yüküne ulaşılanaya kadar devam eder.

Kazıklı radyelerin hesaplanması çeşitli yöntemler önerilmiştir. Yaylı sistemler, temelin çeşitli elemanları arasında etkileşime izin vermediği için tavsiye edilmemektedir. Radyenin şeritler ile hesaplanmasına dayanan analitik yöntemler hatalı sonuçlar vermektedir. Dikkate alınan zeminin kalınlığı momentleri büyük ölçüde etkilememekte; bununla birlikte oturmalar üzerinde etkili olmaktadır. Kazıklı radye temeli üstündeki yapının rijitliği, radyenin rijitliğinin artmasına yol açmakta, bu yüzden farklı oturmalar sınırlı kalmaktadır [2].

14.1. Kazık Başığı Hakkında Bilgiler

Kazık grubundaki kazıklar, bir radyeye bağlanırlar. Kazıkların bu radyeye bağlantı şekli, gerek ötelenme ve gerekse grup taşıma gücü açısından önem taşımaktadır. Gerek ötelenme miktarları gerekse kazık boyunca rastlanan maksimum moment kazık başında izin verilen dönmenin azaltıldığı ölçüde azalmaktadır. Bu durumda kazık başında meydana gelen ters moment en büyük moment olmaktadır.

Böyle olmakla beraber, kazık başlıkları hakkında yapılmış araştırma ve deneysel çalışma sayısı, genelde yapılmış olan diğer çalışmalara nazaran çok azdır. Radye kalınlığının ne olması gerektiği, kazık başı-radye bağlantılarının şekli, kullanılacak donatı miktarı, donatının radye içinde konulacağı yer (radye altı, radye üstü, her ikisi gibi) hakkında Avrupa'da (Eurocode) bazı veriler olmakla beraber ABD'deki pek çok eyalette ayrı ayrı ve bazı hallerde birbiri ile çelişen şartnameler vardır. Konunun dağınık olması her şeyden önce problemin oldukça karmaşık olmasının bir sonucudur. Bilindiği gibi, radye rijitleştikçe, kazıkların aksenal yükleri eşitlikten uzaklaşacak ve radyeyi eşit olmayan kazık yükleri etkileyecektir. Diğer taraftan, bina yüklerini radyeye ileten yapı elemanlarının geometrik merkezlerinin, yük merkezi ile çakışmaması durumunda bu karmaşıklık artmaktadır. Yatay yüklerin karşılanması için öngörülen eğik kazıklar sorunun diğer bir parçasıdır. Üst yapı elemanları ile kazıkların radyeye

bağlandığı yerlerin yakın olması durumlarında gerek kesme kuvvetleri gerekse momentler için yapılan hesaplarda kritik kesitlerin nerelerde alınması gerektiği ayrıca tartışma konusudur. Bu durum; bir bakıma kazıklı temel yapımında kullanılan ve özel patentler ile uygulanan çok sayıdaki yapım metodunun varlığı, bir bakıma da bu konunun yapı mühendisliği ile geoteknik mühendisliği alanları arasına sıkışmış olması nedenleri ile gereken ilgiyi görmemiştir. Bu konudaki genel gözlem, bu probleme düşey yük taşıyan bir yüzeysel temel gibi yaklaşıldığını ortaya koymaktadır. Bu durumda hesaplar genellikle kazıkları dayanak noktaları olarak kabul eden bir sürekli şerit kirişin hesabına indirgenmekte, donatı da bu hesaptan elde edilen sonuçlara göre düzenlenmektedir.

ABD eyaletlerinin değişik şartnamelerine bakıldığında radye kalınlığının 0.60 m den başlayarak 1.0 metre kalınlığa kadar olmasının istenildiği görülmektedir. Aynı şekilde kazık başlarının radye içine gömülme miktarı şartnameye göre 150 mm ile 600 mm arasında değişmektedir. Kazık-radye ekleminde donatı şekli düz, etriyeli veya spiral donatı, bükülmüş kancalı donatı gibi çok değişik hükümler içermektedir. Aynı dağınıklık, donatının konacağı yer konusunda da karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Pensilvanya eyaleti donatının; radye içinde gömülü olan kazık başının üstüne, Michigan eyaleti ise hem radye altında hem gömülü kazık başı üstünde bulunmasını koşullamaktadır. Amerikan Eyalet Kara Yolları Birliği (AASHTO) (1977) ise kazık radye sisteminin donatılma şekline aynen bir yüzeysel temelin donatılması şeklinde yaklaşmaktadır. Bu birlik çelik kazıklarda kazık başının en az 300 mm ve fore kazıklarda ise en az 150 mm gömülmesini öngörmektedir. Radye tasarımı, radyenin kalın oluşu nedeni ile genelde kesme kuvvetlerinin ön aldığı bir problem olmaktadır. Bu nedenle aynı şartname ACI 318-77 (1981) nin kullanılmasını öngörmektedir. Kazık başı üzerinde bükülmüş donatı kullanılarak yanal destek verilmeye çalışılmaktadır. İngiltere Çimento Araştırma Enstitüsü, (1983) donatının kazık başlarının üzerinde bükülmesinin, bunların bir grid içinde kazık başı üzerine yerleştirilmesinden daha etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Yukarıda değinildiği gibi tüm bu öneriler, eksenel yükleri göz önüne almakta ve soruna yüzeysel bir temelin davranışına bakıldığı şekilde

yaklaşmaktadırlar. Yanal yüklerin uygulandığı az sayıdaki bire bir ölçekli deneylerde ise aynı şartlarda donatılmış ankastre başlı bir kazığın serbest başlı bir kazığa kıyasla iki misline yakın bir yük taşıdığı ve bu sırada baş ötelenmesinin de yarıya indiği gözlenmiştir. Bu deneylerde ayrıca, eklem donatısının radye tabanına konmasının kazık ile radye arasındaki ayrışmayı önlediği ve bu nedenle önerilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Kazık ile radye arasındaki ayrışma, kazık başının gömülü durumdan çıkarak serbestleşmesini olası kılmaktadır. Bu tür bir deneyde iki HP 8x36 çelik kazık radye içine 300 mm gömülmüşler, biri radye tabanında diğeri ise kazık başının 150 mm üstünde grid donatı ile donatılmışlardır. Bu deneyde radye tabanına birim deformasyon ölçerleri yerleştirilmiş, bu suretle tabandaki gerilmeler gözlenmiştir. Donatı kazık başı üstüne yerleştirilmiş olan kazık, kazık radye ayrışması sonucunda yüksek ötelenme göstermiş, tabanda çatlaklar oluşmuştur. Bu durumda betonda ezilme gözlenmemiştir. Diğer kazık ise aynı yüklerde, ayrışan kazığın yansı kadar bir ötelenme ile normal davranış göstermiştir. Diğer taraftan, ayrışma gösteren kazığın radye tabanındaki gerilme miktarları ayrışmanın verdiği ferahlama nedeni ile diğerinin yansı kadar olmuştur. Bu bulgulara rağmen, pratikte çok rastlanan bir uygulama, donatının gömülü kazığın başının üstüne yerleştirilmesidir. Bu uygulama genellikle imalat sırasında donatının kolayca yerleştirilmesi, betonun kolayca dökülmesi, zımbalama olayına karşı bir önlem olduğunun düşünülmesi ve baş üstündeki yük dağılımının daha düzgün olduğunun varsayılması gibi nedenlere dayanır. Ancak bu yaklaşımda yine genel bir alışkanlık olarak kazık-radye etkileşiminde yalnızca kazıklara gelecek olan eksenel yüklerin düşünülmesi ağırlık taşımaktadır. Tüm bu pratik sorunlara karşın, tasarım sırasında kazık başı genellikle "sonsuz rijit" bir radyeye bağlanmış olarak kabul edilmekte ve hesaplar bu varsayıma göre yapılmaktadır [18].

14.1.1. Öneriler

Aşağıdaki hususlar, başarılı olacağı düşünülen bir kazık başlığı-kazık sisteminin yapımı yönünde öneriler olarak kabul edilmelidirler:

- Bir çok şartname kazık başı üstündeki radyenin en kesitinde radyenin hem üstte hem altta donatı olmasını öngörmektedir. Bu öneriye uyulması, birçok sorunu ortadan kaldırabilecek niteliktedir.
- Radye donatısı için pas payları en az 75 mm olacaktır. Kazık başlarının kazık içine en az 75 mm girmeleri önerilir. Ancak, bir kazık başının rijit sayılabilmesi ve hesapların bu varsayım göre yapılabilmesi için bu gömülme miktarı 300 mm dir. Kazık başlarının 75 mm gömülmesi halinde ayrılmayı önlemek için bu 75 mm nin üzerine mutlak surette donatı konulmalıdır. Maksimum moment için bulunan donatı, kazık başlarından itibaren, kazık uzunluğunun en az üçte birine kadar her yönde eğilmeyi karşılayacak şekilde yerleştirilmelidir. Donatı bu derinlikten sonra moment diyagramındaki değerler göz önüne alınarak minimum donatı seviyesine indirilebilir.
- Kazık başının başlık içine 75 mm den fazla gömülmesi halinde radye tabanında altta bulunan donatı kazık çevresinde dolandırılmalıdır. Bu önlem ayrılmayı önleyecektir.
- Kazık radyesinin kalınlığı, gömülü kazık başlarının en üst seviyesinden itibaren en az 300 mm alınmak ve ayrıca 2. maddede önerilen pas payları eklenmek sureti ile saptanır.
- Kazık radyesinin boyutları, ızgaradaki en dış kazıkların dış yüzlerinden itibaren en az 150 mm dışarıda olacak şekilde saptanmalıdır. Bu, tercihen 300 mm olabilir.
- Çekmeye çalışması olası kazıklar için özel kesme kuvveti bağlantıları tasarlanmalıdır [18].

14.2. Kazık-Radye Sistemleri Yapım-Tasarım Önlemleri

Bu sistemin zeminle sağlıklı bir etkileşme içine girebilmesi için kazıklı temel uygun bir şekilde hazırlanmalıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için önce yüzeydeki zemin 1-2 metre sıyılır. Bu işlemden sonra temizlenmiş yüzeye kalınlığı 0.50 m ila 0.70 m arasında değişen kum-çakıl bir şilte sıkıştırılarak serilir. Kazıklar çakılır ve kazık başlarında gerekli filizler bırakılır. Bu şilte üzerine 0.15- 0.20 m lik bir tesviye betonu atılır. Radye-Kazık sisteminin başlığı

bu tesviye betonunun üstüne dökülür. Kazık başlarının üst kotunun, radyeye bağlanacağı kot göz önüne alınarak saptanması gerekir.

Basit bir şekilde yapılacak bir hesapla grupta gerekli kazık sayısı saptanmalı, bu kazıklar planda tasarlanan ızgara üzerine yerleştirilmeli ve Kazık-Radye hesapları bundan sonra yapılmalıdır. Diğer taraftan, kazık ızgarasının ve radyenin tasarımı sırasında üstyapı yüklerinin göz önünde tutularak radyede meydana gelebilecek eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin aşağıda verilen bilgilerden yararlanılarak en alt düzeye indirilmesi uygun olacaktır. Bu tasarım sırasında önemli olan hususlar şunlardır:

- Kazık – Radye beraber çalışsalar dahi, rijit bir radye altındaki kazık gruplarında köşelerdeki kazıkların yüklerinin, ortalama kazık yükünün çok üstüne çıkabileceği göz önüne alınmalıdır.
- Diğer taraftan, radyenin esnek olması durumunda ise radye ortasının kenarlara oranla daha fazla oturacağı bu nedenle farklı oturmaların radyeyi zorlayacağı da hatırlanmalıdır.

Bu hususlar, radyenin boyutları ve mekanik özellikleri ile temel zemininin mekanik özelliklerini kapsayan ve Radye rijitliği denilen kavramla yakından ilişkilidir [18].

14.3. Kazık Başlığı Hesabı

Kazık başlığına etkiyen kuvvetleri hesaplamak için sade bir hesap tarzı yararlı olabilir. Kazık grubuna etkiyen dış kuvvetlerin R bileşkesi, düşey V ve yatay H bileşenlerine ayrılabilir. Düşey kazıklardan oluşan bir kazık grubuna etkiyen kuvvet ve momentlerden her bir kazığa gelen düşey yük Q_i :

- Kazık başlığı sonsuz rijit, bükülmez,
- Tüm kazıklar düşey
- Kazıklar başlığa mafsalı olarak bağlı ve bu nedenle başlıktan moment almazlar, sadece eksenel yük taşırlar,
- Kazık grubunun simetri merkezindeki düşey yük V, momentler M_x ve M_y , kabulleri ile hesaplanır.

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2} \quad (14.9)$$

- Q_i : Herhangi bir kazığa etkiyen düşey kuvvet,
 V : Kazık grubuna etkiyen bütün düşey kuvvetlerin bileşkesi,
 M_x : x eksenine etrafındaki moment,
 M_y : y eksenine etrafındaki moment,
 x_i : y eksenine uzaklık,
 y_i : x eksenine uzaklık,
 n : Gruptaki kazık sayısı.

Kazık gruplarına etkiyen kuvvet ve momentler elastik yöntemle ayrıntılı olarak hesaplanabilir (Hrennikoff, 1950). Bu yöntemi uygularken,

- Kazıkların aksenal yükler altında elastik olarak davrandıklarını,
- Kazık başlığının rijit olduğunu,
- Kazık çevresindeki zeminin tamamen elastik olarak davrandığı kabul edilir.

Kazık başları, başlığa bağlanma şekline göre, ankastre veya serbest mafsallı olabilir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için Terzaghi'nin tarif ettiği yatay yatak katsayısının değerinin de bilinmesi gerekmektedir.

Hrennikoff (1950), kazığın elastik özelliklerini belirtmek üzere kazık başının birim yer değiştirmeleri sonunda ortaya çıkan kuvvetleri (kazık sabitlerini) tanımlamıştır. Aksenal $\delta_i = 1$ yer değiştirmesi kazıkta n aksenal reaksiyon meydana gelmesine neden olur. Enine $\delta_i = 1$ yer değiştirmesi, t_δ reaksiyonu ve m_δ momentini doğurur. Kazık başının $\alpha = 1$ radyanlık dönmesi, t_α yanal reaksiyonu ve m_α momentini ortaya çıkarır. Görüldüğü gibi, aksenal yer değiştirme ne moment ne de enine reaksiyon doğurmakta, buna karşılık aksenal yer değiştirme ve dönme de aksenal reaksiyon ortaya çıkarmamaktadır.

t_δ , m_δ ve m_α sabitlerinin yaklaşık değerleri, kazığı sonsuz uzunlukta bir elastik zemine oturan, serbest ucundan yüklenmiş bir kiriş gibi düşünerek hesaplanabilir. Böylece, kazık başı rijit ise,

$$t_{\delta} = \frac{k_h D}{\beta} \quad (14.10)$$

$$m_{\delta} = \frac{k_h D}{2\beta^2} \quad (14.11)$$

Kazık başı mafsallı ise,

$$t_{\delta} = \frac{k_h D}{2\beta} \quad (14.12)$$

$$m_{\delta} = 0 \quad (14.13)$$

olur. Burada k_h yatay yatak katsayısı, D kazığın çapı, β ise zemin ve kazığın özelliklerine bağlı bir katsayıdır. E_p kazık malzemesinin elastisite modülünü, I_p kazık kesitinin atalet momentini göstermek üzere,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h D}{4E_p I_p}} \quad (14.14)$$

olarak verilir. Birim dönme ($\alpha = 1$) için kazık başı rijit ise,

$$m_{\delta} = \frac{k_h D}{2\beta^3} \quad (14.15)$$

$$t_{\alpha} = m_{\delta} \quad (14.16)$$

Kazık başı serbest ise,

$$m_{\alpha} = t_{\alpha} = 0 \quad (14.17)$$

olur. Temele ait sabitleri ifade ederken kolaylık olması için x-ekseni başlık tabanına rastlatılmış, pozitif doğrultular sağa ve aşağı doğru alınmıştır (Şekil 14.1). Başlangıç noktasının seçilişi keyfidir. x-ekseni boyunca birim yerdeğiştirme X_x , Y_x , M_x , y-ekseni boyunca birim yer değiştirme X_y , Y_y , M_y ; birim dönme, X_{α} , Y_{α} , M_{α} kuvvet ve momentlerini ortaya çıkarır. Betti teoremine göre, yalnız 6 bağımsız sabit vardır: X_x , $Y_x = Y_y$, $M_x = X_{\alpha}$, Y_y , $M_y = Y_{\alpha}$, M_{α} . Bu sabitleri, temelin geometrisinden faydalanarak her kazığın elastik sabitleri cinsinden ifade etmek mümkündür:

$$X_x = -\sum (n \cos^2 \psi + t_{\alpha} \sin^2 \psi)$$

$$Y_x = -\frac{1}{2}(n - t_{\delta}) \sum (\sin 2\psi)$$

$$M_x = -\frac{1}{2}(n-t_s)\sum(X \sin 2\psi) + m_s \sum(\sin \psi) \quad (14.18)$$

$$Y_y = -\sum(n \sin^2 \psi + t_s \cos^2 \psi)$$

$$M_y = -\sum(n \sin^2 \psi + t_s \cos^2 \psi)X - m_s \sum(\cos \psi)$$

$$M_\alpha = -\sum[(n \sin^2 \psi + t_s \cos^2 \psi)X^2] - 2m_s \sum(X \cos \psi)Nm_\alpha$$

Burada, N temeldeki toplam kazık sayısını, X ise kazık başının keyfi seçilmiş başlangıç noktasına uzaklığını göstermektedir.

Bundan sonra, kazıklı temelin, x-ekseni boyunca etkileyen H, y-ekseni boyunca etkileyen V kuvvetleri ve kazık grubunun merkezine etkileyen M momentinin ortaya çıkardığı Δx , Δy yer değiştirmeleri ve α dönmesini hesaplamak için denge denklemleri yazılır:

$$X_x \Delta x + X_y \Delta y + X_\alpha \alpha + H = 0$$

$$X_y \Delta x + Y_y \Delta y + Y_\alpha \alpha + V = 0 \quad (14.19)$$

$$X_\alpha \Delta x + Y_\alpha \Delta y + M_\alpha \alpha + M = 0$$

14.18 ve 14.19 denklemleri çözüldükten sonra herhangi bir kazığın yer değiştirmesi geometrik düşüncelerle yazılabilir. Kazığın aksenal sıkışması,

$$\delta_t = \Delta x \cos \psi + \Delta y \sin \psi + \alpha X \sin \psi \quad (14.20)$$

Kazığın sağa doğru enine yer değiştirmesi,

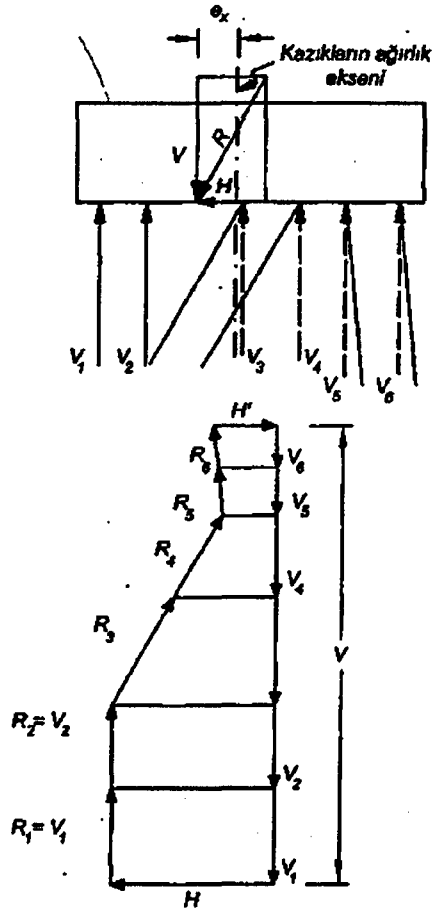
$$\delta_i = \Delta x \sin \psi - \Delta y \cos \psi - \alpha X \cos \psi \quad (14.21)$$

olur. Böylece, herhangi bir kazığın yer değiştirmesi hesaplanabildiği gibi her kazığa etkileyen aksenal ve enine kuvvetler ve moment hesaplanabilir:

$$\text{Eksenal kuvvet} = n\delta_t$$

$$\text{Enine kuvvet} = -t_s \delta_t + m_s \alpha \quad (14.22)$$

$$\text{Moment} = M_s \delta_t - m_\alpha \alpha$$



Şekil 14.1. Kazık gruplarının hesabı için elastik analiz [2]

15. KAZIKLI TEMELLERİN DÜZENLENMESİNDE TASARIM ESASLARI

Kazıklı temelerde yapı yüklerinin sadece kazıklar ile zemine iletilmesi sağlanmalı ve kazıklar bu esasa göre hesaplanarak düzenlenmelidir. Kazıklı temellere iletilen yapı yükleri, düşey olabileceği gibi, bazı yatay kuvvetlerinde etkisi sözkonusu olabilir. Bu şekildeki yatay yükler, eğimli (düşey olmayan) kazıklar tarafından karşılanabileceği gibi, ankraj vb. işlerde eğilme etkisi altında kalan kazıklara da taşıtırılabilir. Bu nedenle, temel kazıkları, taşıdıkları ve temel zeminine ilettikleri yüklerin ve etkilerin biçim ve yönlerine göre de çeşitlenirler.

Kazıklı temellerin tasarımında kullanılan kazıklar için oluşacak normal kuvvetin cinsine göre:

- Basınç kazıkları,
 - Çekme kazıkları
- olmak üzere iki kazık çeşidi,

Kazık yükünün kazıkta oluşturacağı etkinin biçimine göre:

- Eksenel yüklü kazıklar,
 - Eğilme etkisindeki kazıklar,
 - Aynı zamanda hem eksenel yük hem de eğilme etkisindeki kazıklar
- olmak üzere üç kazık çeşidi söz konusudur.

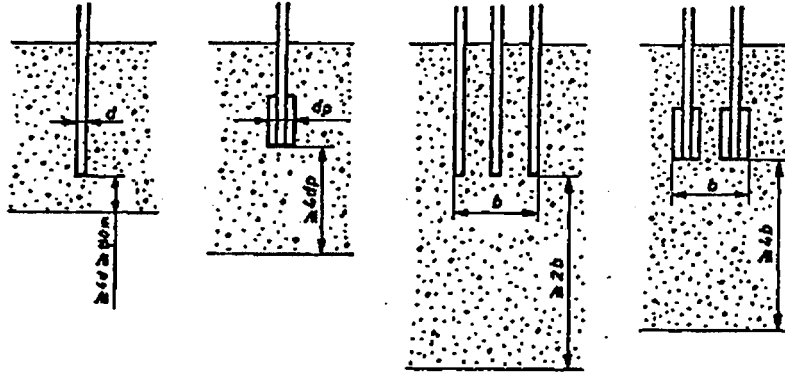
Kazıklı temellerin düzenlenmesinde, eksenel yüklü kazıklar, eğilme etkisindeki kazıklar ve aynı zamanda hem eksenel yük hem de eğilme etkisindeki kazıklar ayrı ayrı veya bir arada kullanılabilirlerse de, olabildiğince eksenel yüklü olan kazıkların kullanılması tercih edilmelidir. Kazıklar her ne şekilde olursa olsun, karşısında kalacakları kuvvet ve etkilerin oluşturacağı gerilmeleri, yapımlarında kullanılan malzemeye göre emniyetle taşıyabilecek şekilde yapılmış olmalıdır. Kazıklı temelerde bir kazığın payına düşecek yükün hesaplanmasında, uygun yaklaşım metotları kullanılmalıdır. Temel sistemi içinde kuvvetin iletilmesinde hiperstatik durumda bulunan kazıklarda kazık yükü, gerek zeminin ve gerekse kazığın şekil değiştirmesi, birlikte göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Kazıklı temelerde, yapı yüklerinin kazıklara tamamen iletildiği ve kazık yüklerinin bileşkesinin, yapının kazıklı temele ilettiği yüklere eşdeğer olduğu

hesapla gösterilmiş olmalıdır. Kazıkların en kesit boyutları kazığın uzunluğuna, istenilen kazık yüküne ve kazık malzemesi ile yapım tekniğine göre seçilir. Ancak, burkulma sakıncası nedeni ile; basınç kazıklarının kalınlık veya çapı 25 cm' den az olmamalıdır. Kazıkların, serbest kalacak üst kısımları varsa, bu kısımlar için, mesnetlenme şekli de gözönünde tutularak burkulma kontrolü yapılmalıdır.

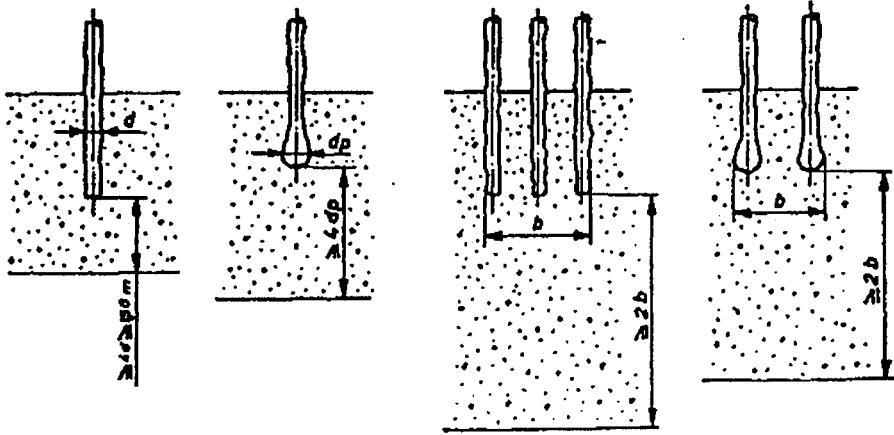
Temel kazıklarından oluşan bir temel grubunda, kazık normal kuvveti bakımından aynı cins kazıklar (basınç kazığı veya çekme kazığı) ve kazık yapım şekli, malzemesi ve uzunluğunun olabildiğince aynı olması sağlanarak şekil değiştirme ve oturma biçim ve miktarlarının benzerliği temin edilmelidir. Temel kazıklarının taşıma kapasitesi, zemin çeşit ve özelliklerine, yer altı suyunun durumuna, kazığın taşıyıcı zemindeki etkili uzunluğuna, şekil ve en kesit biçim ve büyüklüğüne, dış yüzünün yapısına, uç kısmında pabuç bulunup bulunmadığına ve pabuç varsa pabucun biçim ve boyutları ile aralıklarına bağlı olarak değişir. Genel olarak kazıkların taşıma kapasitelerinin ve kazık yüklerinin hesaplanması, zemin statığı esaslarına göre ve deneysel (ampirik) metotlar ile yapılmaz.

Deneysel metotların kullanılabilmesi için, o bölgenin çok iyi tanınması ve o zeminde veya kıyaslanabilecek yeterlikte benzer bir başka zeminde daha önceki deneme yüklemelerinin çok ciddi ve titiz bir tutum ile yapıldığından emin olunması gerekir. Bu durumda zemin özelliklerinin benzerliğinin tayininde, taşıyıcı zemin tabakalarının, zemin mekaniği açısından tanıtıcı değerlerinin benzerliği esas alınır.

Yüzen kazıklarda kazığın, taşıyıcı zemin tabakaları arasında kalan kısmının uzunluğu yeterli olmalıdır. Örneğin kum ve çakıllı zeminlerde, başka bir nedenle daha büyük veya daha küçük uzunluk gerekmiyorsa, yaklaşık 3 m'lik bir kazık etkili uzunluğu gereklidir. Ayrıca, yüzen kazıkların uç kısımlarının altında taşıyıcı zemin katmanları bulunmalı ve bunların minimum kalınlıkları Şekil 15.1 ve Şekil 15.2'de belirtilenlere uygun olmalıdır.

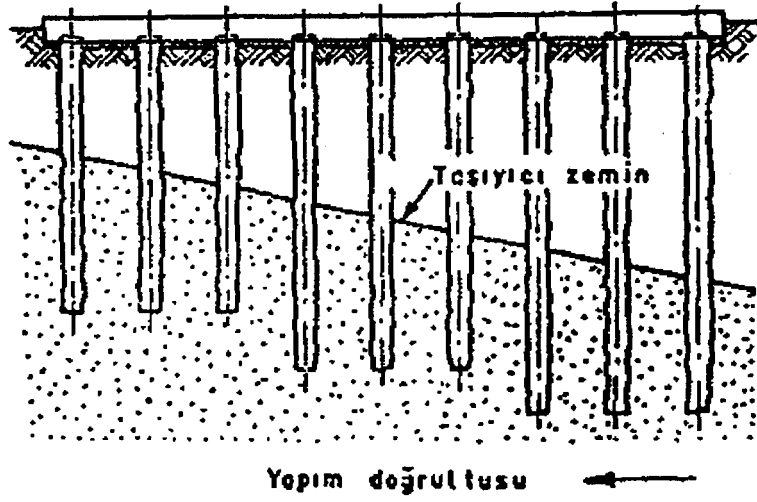


Şekil 15.1. Çakma kazıklarda kazık ucunun altında bulunması gerekli minimum taşıyıcı zemin kalınlıkları [19]

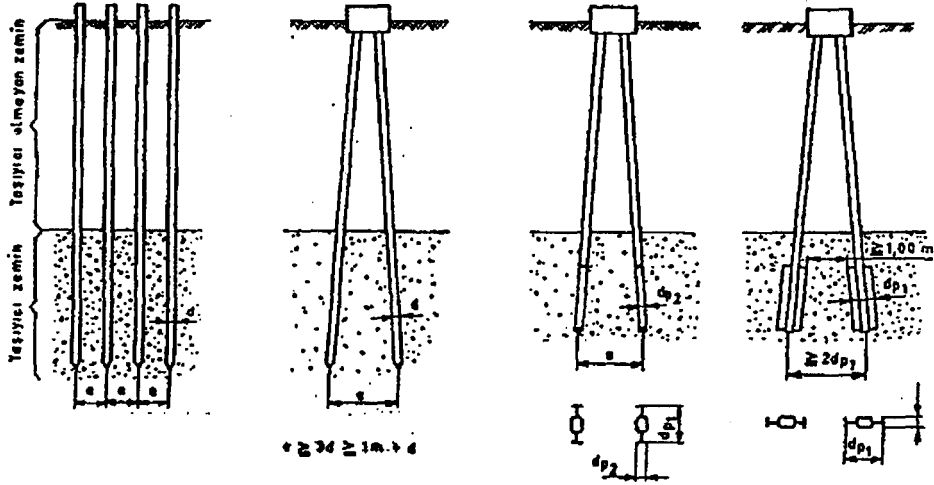


Şekil 15.2. Fore kazıklarda, kazık ucunun altında bulunan gerekli minimum taşıyıcı zemin kalınlıkları [19]

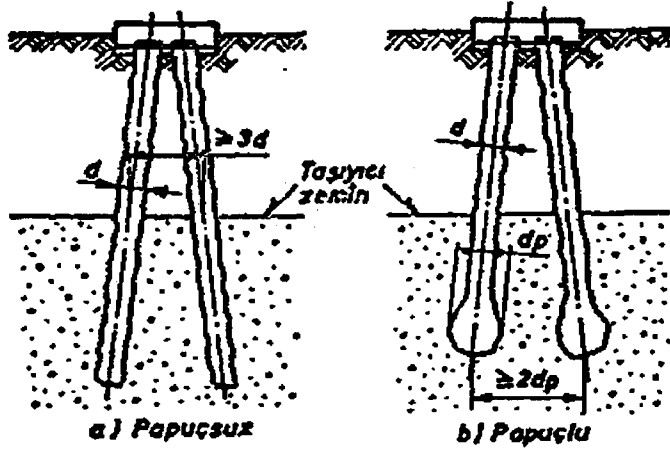
Kazıklar olabildiğince aynı derinlik ve aynı uzunlukta düzenlenmelidir. Taşıyıcı zeminin meyilli olması vb. nedenler ile bunun yapılması mümkün olmadığında, kazıkların yapım veya çakılma işlemlerine, daha derin ve uzun olanlardan başlanılmalı ve daha az derin olanların daha sonra yapılması sağlanmalıdır (Şekil 15.3). Kazıklar yakınlarındaki diğer kazıkların taşıma kapasitelerine olumsuz etkiler yapabilirler. Bu nedenle kazıklı temellerin tasarımında kazık ara mesafelerinin, çakma kazıklar için Şekil 15.4'de ve delme kazıklar için Şekil 15.5'de verilene uygun olması sağlanarak bu sakınca önlenmelidir.



Şekil 15.3. Taşıyıcı zeminin eğimli olması halinde yapım doğrultusu [19]



Şekil 15.4. Çakma kazıklarda minimum kazık aralıkları [19]



Şekil 15.5. Fore kazıklarda minimum kazık aralıkları [19]

Tasarımda, çakma kazıklarda zamanın etkisine de gözönünde tutulmalıdır. Özellikle ince kumlu ve killi zeminlerde, çakma işleminden uzun bir süre sonra, kazığın taşıma kapasitesinde bir artış görülür. Kazıklarda, negatif dış yüzey sürtünmesi, kazıkların taşıma kapasitelerinde sonradan azalmalar meydana getirebilir. Üst kısımdaki zemin katmanlarında, sonradan çökmeler meydana gelmesi, binada veya kazıkların üst kısımlarında negatif dış yüzey sürtünmesi oluşturarak, kazıklara, tasarım sırasında göz önüne alınmamış ilave yüklerin etki etmesine neden olabileceği gözden uzak tutulmamalıdır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda, daha uygun bir kazık yapısı seçilmesi veya kazık aramessafelerinin artırılması yolu ile bu etki azaltılabilir.

Taşıyıcı zemin katmanlarının kademeli olması veya önemli derecede eğimli olması halinde yapılacak kazıklı temellerin tümünün veya temeldeki bir kazık grubunun, taşıyıcı zeminde veya bu zeminin kademelerinde kopma oluşturması söz konusu olabileceği unutulmamalıdır. Temel zeminindeki suyun kaldırma kuvveti, zemin suyunun ve yapı temelini kötü ve dolayısıyla temel su içinde kalan kısmının boyutlarına bağlı olup bu kuvvet, çekmeye çalışan temel elemanları veya çekme kazıkları ile dengelenir. Kazıklı temelli bir yapının temel zemininde, kaldırma kuvveti oluşturabilecek durumda yer altı suyu bulunması halinde yapıya etki edebilecek kaldırma kuvveti, temel hesabında göz önüne

alınarak, yapının zemin suyunun kaldırma kuvveti bakımından emniyet altına alınması sağlanmalıdır. Bu hesapta, suyun kaldırma kuvveti için, I. ve II. Yük hallerinde 1.4 ve III. Yük halinde ise 1.2 emniyet katsayısı kullanılmalıdır.

15.1. Yük Durumları

Kazıklı temellerin tasarımında, sınır yüklerden kazık yüklerinin hesaplanmasında emniyet katsayıları aşağıdaki yük durumlarına göre tespit edilir.

- I.Yük Hali: Yapının kendi yüklerinin ve normal hareketli yüklerin (rüzgar yükü dahil) tesir etmesi hali.
- II. Yük Hali : Yapıda I. yük haline ilave olarak çeşitli nedenlerle etki yapan geçici ve büyük hareketli yüklerin (inşa safhası yükler) tesir etmesi hali.
- III. Yük Hali (Özel Hal): Yapıda II. Yük haline ilave olarak çeşitli nedenlerle oluşacak beklenmeyen yüklerin (örneğin işletme safhasında parça düşmesi hali) tesir etmesi hali [19].

15.2. Düzenleme

Taşıyıcı zeminin derinde bulunması durumunda, bina yükleri kazıklarla bu tabakalara iletilir. Kazık başlığı adı verilen rijit kiriş veya plaklarla kazıklara aktarılan bina yükleri, yüzey sürtünmesi ve uç normal gerilmesi ile karşılanır. Kazıklar, prefabrike olarak imal edilip, zemine daha sonra çakılabildikleri gibi, kazık boşluğunun açılmasından sonra donatı konulup, beton yerleştirilerek yerinde de imal edilebilirler. Çakma kazıklar zemini sıkıştırarak çakıldığı için, sürtünme etkisi daha fazla olur. Yerinde imal edilen kazıklar genellikle daire kesitli olduğu halde, prefabrike kazıklar daire yanında kare kesitli de olabilirler. Kazık sistemlerinin düzenlenmesinde en önemli husus, ağır bina yüklerini taşıyan kolon ve perdelerin altına kazık düzenlenerek yüklerin doğrudan zemine iletilmesini sağlamak ve kazıklar ile bina düşey yüklerinin ağırlık merkezini yaklaştırarak ek moment etkilerini azaltmaktır. Ayrıca, kazıkların planda düzgün yayılmasına ve alacakları yüklerin birbirinden çok fark etmemesine gayret edilmesi faydalıdır. Kazıkların başları rijit kirişler, ya da kalın bir betonarme plakla birleştirilerek, beraber çalışmaları sağlanır.

15.3. Boyutlandırma

Eksenel kuvvet taşıyan kazıkların taşıma kapasiteleri, W kazığın ağırlığını göstermek üzere,

$$P_u = P_{su} + P_{bu} - W \quad (15.1)$$

olarak hesap edilebilir. Buradaki büyüklükler sıra ile çevre sürtünmesinden ve uç gerilmelerinden olan katkıyı göstermektedir:

$$P_{su} = \int_0^L \Pi D \tau_a dz \quad (15.2)$$

$$\tau_a = c_a + \sigma_v k_s \tan \phi_a \quad (15.3)$$

$$P_{bu} = 0.25 \Pi D^2 (c N_c + \sigma_{vb} N_q) \quad (15.4)$$

Verilen ifadelerde D kazığın çapını, τ_a kazık-zemin arasındaki kayma gerilmesini, c_a zeminin adezyonunu, σ_v kazık-zemin arası normal gerilmeyi, k_s yanıl basınç katsayısını, ϕ_a kazık-zemin arası sürtünme katsayısını, c zeminin kohezyonunu, σ_{vb} kazık ucunda zemin düşey basıncını göstermektedir. N_c ve N_q ise zemin ve kazık geometrisine bağılı katsayılardır. Bir kazığın ($G + Q$) yükleme durumunda yaklaşık 2.5 -3.0 gibi bir emniyete sahip olması tavsiye edilir.

Kazık sisteminin düşey kazıklardan ibaret olması ve yüklerin düşey olması durumunda, kazıklara gelen yüklerin hesabında en yaygın kabul kazık başlık plağını rijit ve kazıklan da düşey elastikliği olan yaylar şeklinde modellemektir. Bu durumda, kazıkların (A / I) düşey rijitliklerini noktasal kütle kabul ederek kazık sisteminin kütle merkezi ve asal eksenleri bulunur. Genellikle kazık boy ve alanlarının sabit olması ve kazık düzeninin simetri ekseninin bulunması durumunda bu eksenler asal eksenler olur. Bu durumda kazık eksenel yükleri aşağıdaki şekilde hesap edilebilir:

$$P_i = N / n + y_i M_x / \sum y^2 - x_i M_y / \sum x^2 \quad (15.5)$$

Burada, N toplam düşey yükü, M_x ve M_y bu yüklerin ilgili eksenlere göre momentini, n kazık sayısını, x_i ve y_i göz önüne alınan kazığın koordinatlarını göstermektedir. Toplamlar da tüm kazıkların koordinatları gözönüne alınarak yapılacaktır. Kazıkları birleştiren kiriş veya plağın da kazıklar arası beraber çalışmayı sağlayacak biçimde kesit ve donatıya sahip olması gerekir.

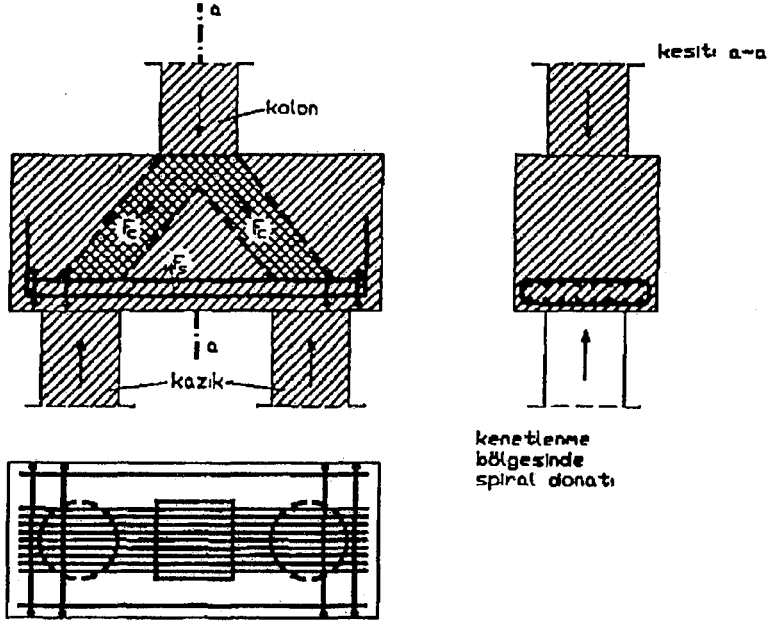
Kazık sistemin yatay yük etkisi altında bulunması durumunda, yükün paylaşımında kazık yatay rijitlikleri etkili olur. Bu durumda kazıklar ve onları bağlayan kiriş veya plak, bir çerçeve sistemi oluşturur. Böylece yatay etkiler altındaki konsol durumundaki kazıklar, çerçeve elemanı durumuna gelerek etkileri daha dengeli biçimde karşılarlar. Yatay etkilerin kazık ve zemin arasındaki etkileşimle taşınabilmesi için, kazık aralarının en az kazık çapının üç katı kadar olması uygundur.

15.4. Konstrüktif Kurallar

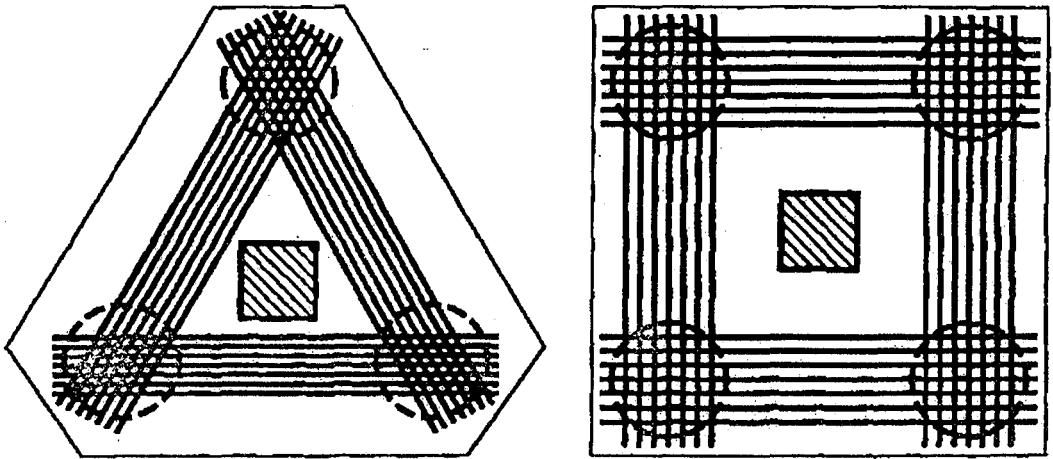
Çakma kazıklarda boyutlandırma ve donatı belirlenirken yükler yanında, taşıma ve yerleştirilme durumlarının da göz önüne alınması ve bunlar için uygun konstrüktif donatılar konulması önemlidir. Minimum donatı koşulları bakımından kolonlarda verilen değerlere uyulması yeterlidir. Çakma kazıkların uçlarının kalem gibi sivri veya keskin düzenlenmesi ve sert zeminlerde uca metal çarık geçirilmesi gerekir.

Kazık başlık plakları genellikle kalın olarak seçilerek, kolon yükleri ile kazık yüklerinin plağın içinde olduğu tasarlanan kafes sistem modeline uygun dengelenmesi sağlanır. Örneğin, Şekil 15.6 da bir kolondan gelen yük, kazıklara beton basınç çubukları ile geçerken oluşan çekme bandı gösterilmiştir. Eğer düşey yük ikiden fazla kazığa Şekil 15.7 deki gibi dağıtıyorsa, kazıkları kısa mesafelerde birleştiren çizgilerde çekme çubukları oluşur. Bu durumda kazık başlarının donatılarla bağlanması tavsiye edilir. Şekil 15.8 de de bir perdenin yükünün dört kazıkla karşılanması durumunda yük aktarımı ve donatı düzeni gösterilmiştir. Kazık başlığının altındaki bölgede en çok zorlanan kesitler bulunur. Bu nedenle kazık boyunun $7/3$ ünde 3m den az olmayan bölgede boyuna donatı oranı 0.008 (prefabrike kazıklarda 0.010) den az olmamalı ve etriye $\phi 8/200$ mm daha ince

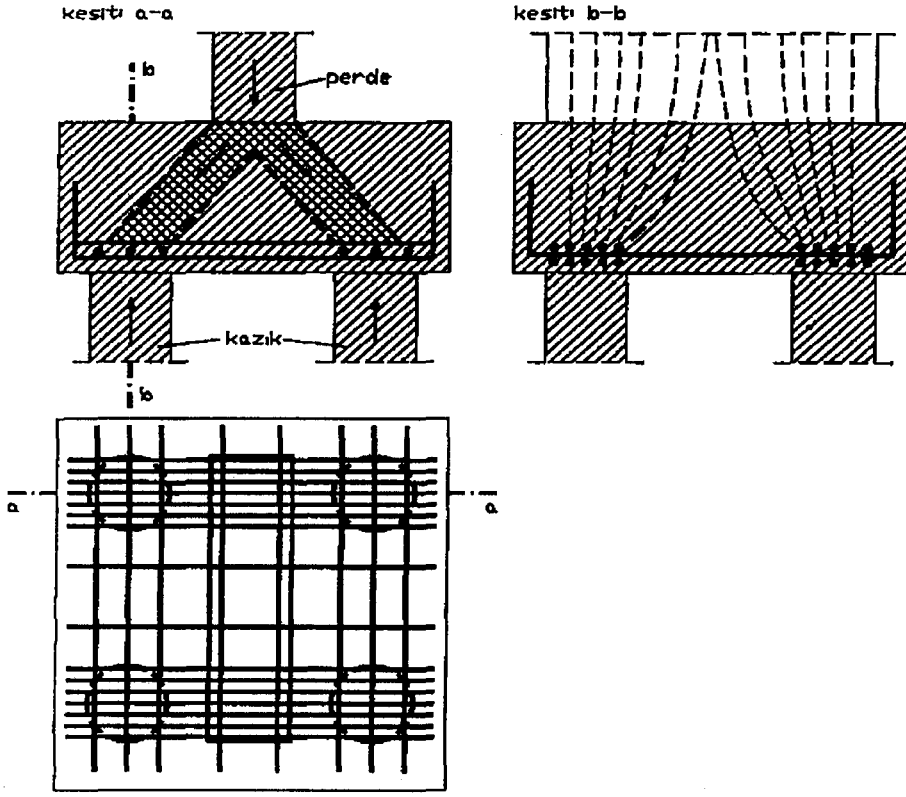
veya seyrek seçilmemelidir. Ayrıca, en çok zorlanan üstten iki kazık çapı kadar yükseklikte etriye aralığı 100 mm ye indirilmelidir. Deprem yüklerinin yatay etki olduğu gözönüne alınarak, 1. ve 2. deprem bölgelerinde düşeye göre eğimleri 1/6 dan daha fazla eğik kazıkların kullanılmasına izin verilmez [20].



Şekil 15.6. Bir kolona mesnetlik eden iki kazık başında kuvvet akışı [20]



Şekil 15.7. Üç ve dört kazık başında çekme şeritleri ve donatısı [20]



Şekil 15.8. Perdeye mesnetlik eden dört kazık başında çekme şeritleri ve donatısı
[20]

15.4.1. Fore kazıklar

Delme kazıklar, kazık uzunluğunca devam eden boyuna ve enine donatı ile donatılmalıdır. Betonlama sırasında kayıp dağılmaması ve geçici koruma borusu çekilip çıkarılırken takılıp sıyrılmaması için, donatının tümü dışarda bir kafes şeklinde bağlanarak hazırlanmalı ve betonlanmadan önce delgi kuyusuna ve alt ucu kuyu tabanından 5 – 10 cm yukarıda bulunacak şekilde yerleştirilmelidir. Eksantrik yükleme ve herhangi bir sebeple eğilme veya çekme karşısında kalmayacağı kesin olarak bilinen, çapları en az 30 cm boyu en çok 7.50 m olan düşey basınç kazıklarında, boyuna donatıda ek yapılabilirse de, eksiz donatı kullanılması tercih edilmelidir. Eğik kazıklarda, donatının eksiz olmasına daha çok özen gösterilmelidir. Donatı hesabında TS 500 de belirtilenlere uyulmalıdır.

- **Boyuna Donatı**

Delme kazıklarda boyuna donatı olarak en az 5 ϕ 14 mm kullanılmalıdır. Ayrıca kullanılan boyuna donatı kesit alanı beton alanının %0,8'inden az olmamalıdır. Yüksek kaliteli çelik kullanılsa bile yukarıdaki donatı çap ve sayısı azaltılmamalıdır.

- **Enine Donatı**

Enine donatı aralıkları en çok 15 – 20 cm olmak üzere spiral şeklinde hazırlanmalıdır. Enine donatı ϕ 6'dan küçük olmamalıdır.

- **Pas Payı**

Kazıkta kalıcı koruma borusu bulursa bile, donatı ile kazık gövde betonunun dış yüzü arasında en az 3 cm'lik beton pas payı bulunmalıdır. Betona zararlı zeminler veya zararlı yer altı sularının sözkonusu olduğu hallerde pas payı, en az 5 cm olmalıdır [21].

15.4.2. Çakma kazıklar

Betonarme çakma kazıkların kesit hesabı kazık yüküne ve TS 500 esaslarına uygun olarak yapılmalıdır. Ayrıca en kesit büyüklüğü ve donatı miktarı, kazığın taşınması amacı ile kaldırılması sırasında çatlamasına engel olacak şekilde tertiplenmelidir. Bu bakımdan yapılacak hesaplarda kazığın, bir ucundan kaldırılacağı göz önünde tutulmalıdır. Bu sırada betonda yer alacak gerilmelerin, TS 500'de beton sınıflarına göre verilmiş bulunan sınır değerlerini %15 kadar aşmasına izin verilebilir.

- **Donatı**

Dolu dikdörtgen veya kare kesitli betonarme çakma kazıklarda en az 4 ϕ 14 mm ve daire kesitli kazıklarda ise en az 5 ϕ 14 mm boyuna donatı, kancasız olarak bulunmalıdır. Uzunluğu 10 m'den daha büyük kazıklarda boyuna donatı toplam enkesit alanı kazık enkesit alanının %0,8'inden daha az olmamalıdır. Enine donatı çapı en az 6 mm olmalı, etriye veya fret aralıkları 12 cm'den fazla olmamalıdır. Kazığın çakılması sırasında darbelerin dinamik etkisinin güvenle karşılanabilmesi için, boyuna donatı enine donatı tarafından sıkıca sarılmış olmalı ve kazığın baş ve ucunda bulunan 1'er metrelik kısımlarında enine donatı aralığı 5 cm'ye

düşürülmelidir. Boyuna donatı en az 40 mm'lik bir pas payı ile korunmuş olmalıdır [22].

15.5. Kazıklara Deprem Yüklerinin Etkisi

Günümüzde kazıklı temellerin tasarımı, genellikle statik yüklere göre yapılmaktadır. Deprem yükleri etkisinde kazıklarda meydana gelen gerilmelerin ve yer değiştirmelerin hesaplanması ise dinamik bir problemdir. Depremde, kazıklı temellerin davranışı, kazığın çevresindeki zemin tabakalarının davranışına büyük ölçüde bağlıdır. Deprem sırasında kazıklarda meydana gelen hasar her zaman kolayca fark edilemediği için, tasarımın ne kadar başarılı olduğunu belirlemek mümkün olmamaktadır.

Deprem sırasında, temellerin davranışı, zeminin davranışına bağlı olmaktadır. Kazık gruplarının depremdeki davranışını inceleyen Chang ve diğ. (2001), kazıklar ile yapı arasında etkili bir yalıtım veya engel bulunmasını önermektedir. Zemin dinamik deformasyonlara maruz kalınca sıvılaşabiliyorsa, kazıkların yanal kuvvetlere mukavemeti ve çevre sürtünmesi büyük ölçüde azalır. Öte yandan, sıvılaşan zeminin dinamik davranışı, ayrıca incelenmesi gereken bir konudur. Kazık gruplarının deprem halinde nasıl davrandığı hakkında bilgi azdır. Genellikle, kazıklar arasında kalan zeminin kazıklarla birlikte hareket ettiği kabul edilir. Zeminin hassasiyetinin yüksek olması veya sıvılaşma olasılığı, zeminin yanal direncinin belirgin ölçüde azalacağına işaret eder.

Kazıklı temellere oturan yapıların depremdeki davranışını, kazık başının yatay hareketi y_0 , ve çevredeki zeminin yanal hareketi y , bakımından dört başlık altında inceleyebiliriz:

- Temellerin çok rijit olması ve çevredeki zeminin yer değiştirmesine dayanabilmesi durumunda (nükleer santral temellerinde olduğu gibi):

$$y \ll y_0 \text{ olur,}$$

- Derin bodrumu olan yapılarda, bodrum duvarları büyük ölçüde yanal yükleri taşır, kazıklar deprem yüklerinden hemen hemen etkilenmez ve

$$y_0 < y \text{ olur,}$$

- Bodrumu olmayan ve zeminin oturması gibi nedenlerle kazık

başlığını da oluşturan radyenin zeminle temasının tam olmadığı durumda, kazık başlarına gelen kesme kuvvetleri, kazıkların üst kısımları tarafından karşılanır,

- Deprem sırasında zeminde yumuşama veya sıvılaşma meydana gelirse, bu durumda kazıkların serbest boyunun arttığı düşünülmalıdır, ve $y_0 > y$ olur.

Kazık gruplarının depremdeki davranışını incelerken, görüldüğü gibi, zeminin depremdeki davranışının da bilinmesi gerekmektedir. Ohashi (1976), çeşitli zeminlerde depremde meydana gelebilecek zemin hareketi y nin maksimum değerlerini vermiştir (Çizelge 15.1). Bu değerler, tasarım aşamasında genel bir fikir vermek bakımından yararlı olabilir. Depremde meydana gelebilecek zemin yerdeğiştirme değerleri kazık kesit hesabında dikkate alınabilir. Bu çizelgede, H zemin tabakasının kalınlığını, N_{30} standart penetrasyon sayısını, y maksimum yanal zemin hareketini göstermektedir.

Çizelge 15.1. Depremde oluşacak yanal zemin hareketinin maksimum değerleri

Zemin durumu			H (m)	y (mm)
Sıkı kum	kum	$20 < N_{30} < 30$	10	10
Katı kil	kil	$5 < N_{30} < 20$	20	15
			30	20
Orta sıkı kum	kum	$5 < N_{30} < 20$	10	30
Orta katı kil	kil	$2 < N_{30} < 5$	20	70
			30	100
Gevşek kum	kum	$N_{30} < 5$	10	150
Yumuşak kil	kil	$N_{30} < 1$	20	250
			30	350

Bayındırlık ve İskan Bakanlığının, 1998 de son değişiklikleri ile yayınladığı "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te kazıklı temeller ile ilgili olarak;

- Kazıklı temeller, eksenel yüklere ek olarak depremden oluşan yatay yüklere göre de hesaplanacaktır. Temel zemini olarak yönetmelikte tanımlanan (A), (B) ve (C) gruplarına giren zeminlerde, statik yüklere göre tanımlanan zemin emniyet gerilmesi ve kazıklı temellerde kazığın yatay ve eksenel yükler için emniyetli taşıma yükü, deprem durumunda en fazla %50 arttırılabilir. Temel zemini olarak (D) grubuna giren zeminlerde, deprem durumunda zemin emniyet gerilmesi ve kazıkların emniyetli taşıma yükü arttırılmaz,
- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, düşeye göre eğimleri 1/6 dan daha fazla olan eğik kazıklar kullanılmayacaktır,
- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, (C) ve (D) gruplarına giren zeminlerde, deprem yükleri altında kazıkların yatay yataklanma parametreleri ile yatay ve eksenel yük taşıma güçlerinin belirlenmesi, saha ve laboratuvar deneylerini içeren zemin araştırmalarına göre yapılacaktır,
- Betonarme ve çelik binalarda kazık başlıklarını her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizalarında birbirlerine bağlayan bağ kirişleri düzenlenecektir. Temel zemini yönetmelikte tanımlanan, (A) grubuna giren zeminlerde bağ kirişleri yapılmayabilir veya sayısı azaltılabilir,
- Temel sisteminin düşey ya da düşeye göre eğimi 1/6 ya eşit veya daha az eğik kazıklardan oluşması durumunda, yerel zemin sınıfı olarak belirlenecek en üst zemin tabakası, en kısa kazığın alt ucundaki tabaka olarak yorumlanabilir; üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde kazık eğiminin düşeye göre 1/6 dan daha fazla yapılması durumunda en üst zemin tabakası, kazık başlıklarının altındaki ilk tabaka olarak alınacaktır [2],
- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kılıflı ya da kılıfsız yerinde dökme fore kazıklarda, 3 metreden az olmamak üzere, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten 1/3'ünde boyuna donatı oranı 0.008'den az olamaz. Bu bölgeye konulacak spiral donatı çapı 8 mm' den az ve spiral adımı 200 mm' den fazla olmayacak, ayrıca üstten en az iki kazık çapı kadar yükseklikte spiral donatı adımı 100 mm' ye indirilecektir.

- Betonarme prefabrike çakma kazıklarda boyuna donatı oranı 0.01' den az olamaz. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten 1/3'ünde enine donatının çapı 8 mm' den az olmayacaktır. Bu bölgede, etriye aralığı veya spiral donatı adımı 200 mm' den fazla olmayacak, ayrıca üstten en az iki kazık çapı (dikdörtgen kesitli kazıklarda en büyük boyutun iki katı) kadar yükseklikte etriye aralığı ya da spiral donatı adımı 100 mm' ye indirilecektir. Enine donatı koşulları, önerilmeli prefabrike çakma kazıklarda da aynen uygulanacaktır hususları yer almaktadır [23].

16. KAZIKLI TEMEL DİZAYNINA AİT BAZI UYGULAMALAR

Çapları 0,6 , 0,8 ve 1,0 m lik kazıklar için hesap yapılmıştır (Zemin profili ekte sunulmuştur).

Çapı 0,6 m. olan Kazık İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L=15 \text{ m} \quad A_p = \frac{\Pi R^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 0,6^2}{4} = 0,2827 \text{ m}^2$$

- Meyerhof Metodu [16]

$$L_b = L = 15 \text{ m}$$

$$L_b / D = 15 / 0,6 = 25$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \quad N_q^* \approx 280$$

$$q' = 19,5 \cdot 1,5 + (20 - 9,81) \cdot 4,5 + (19,2 - 9,81) \cdot 4 + (19,7 - 9,81) \cdot 5$$

$$q' = 162,115 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,2827) \cdot (162,115) \cdot 280 = 12832 \text{ kN}$$

$$q_1 = 50 \cdot N_q^* \tan \phi = 50 \cdot 280 \cdot \tan 38^\circ = 10938 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \cdot q_1 = (0,2827) \cdot (10938) = 3092 \text{ kN}$$

$$3092 < 12832 \quad \Rightarrow \quad Q_p = 3092 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu [16]

$$L / D = 15 / 0,6 = 25 \text{ ve } \phi = 38^\circ \text{ için } N_q^* \approx 80$$

$$Q_p = (0,2827) \cdot (162,115) \cdot 80 = 3666 \text{ kN}$$

- Vesic Metodu [16]

$$I_{rr} = I_r = 80 \quad N_{\sigma}^* = 99,60$$

$$Q_p = A_p \cdot \sigma'_0 \cdot N_{\sigma}^*$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2K_0}{3} q' \quad K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 38^\circ = 0,38$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2 \cdot 0,38}{3} (162,115) = 95,11 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,2827) \cdot (95,11) \cdot 99,60 = 2678 \text{ kN}$$

- $q_p = 40N \frac{L}{D} \leq 400N \quad N = 32$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = (0,2827) \cdot 40 \cdot 32 \cdot 25 = 9046 \text{ kN}$$

- Limit Değeri [16]

$$Q_p = A_p \cdot 400 N = (0,2827) \cdot 400 \cdot 32 = 3619 \text{ kN}$$

⇒ Tahmini Dizayn Değeri [16]

$$Q_p = (3092 + 3619) / 2 = 9628,7 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{Q_p = 3356 \text{ kN}}$$

Çizelge 16.1. Çapı 0,6 m olan kazığın Q_p değerleri

Kullanılan metotlar	Q_p değerleri (kN)	Tahmini Dizayn Değeri (kN)
Meyerhof	3092	(3092+3619) / 2 = 3356
Coyle ve Castello	3666	
Vesic	2678	
Q_p	9046	
Limit değeri	3619	

Yüzey sürtünmesi Q_s hesabı

- $f = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta$ [16] $\delta = 0,6 \phi$ $K=1,4$

$$L' = 15D = 15 \cdot 0,6 = 9$$

$z = 0 - 9$ m için

$$\sigma'_v = 19,5 \cdot 1,5 + (20 - 9,81) \cdot 4,5 + (19,2 - 9,81) \cdot 3 = 103,28 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = p \cdot L' \cdot f_{av} = (4 \cdot 0,6)(15 \cdot 0,6) \left(\frac{1,4 \cdot (103,28) \cdot \tan(0,6 \cdot 38)}{2} \right) = 656 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu [16]

$$f_{av} = K \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \tan \delta \quad \delta = 0,8 \phi$$

$$Q_s = f_{av} \cdot p \cdot L \quad L/D = 15/0,6 = 25 \Rightarrow K = 1,8$$

$$\bar{\sigma}'_v = 103,28 / 2 = 51,64 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = (1,8 \cdot 51,64 \cdot \tan(0,8 \cdot 38)) \cdot (4 \cdot 0,6 \cdot 15) = 1963 \text{ kN}$$

Hesap Q_s değeri : $Q_s = (656 + 1963) / 2 = 1301 \text{ kN} \Rightarrow \underline{Q_s = 1301 \text{ kN}}$

Tablo 16.2. Çapı 0,6 m olan kazık için Q_s değerleri

Kullanılan metotlar	Q_s değeri (kN)	Hesap Q_s değeri (kN)
Q_s	656	$(656 + 1963) / 2 = 1301$
Coyle ve Castello	1963	

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 3356 + 1301 = 4657 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{GS} = \frac{4657}{4} = 1164 \text{ kN}$$

Çapı 0,8 m. olan Kazık İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L=15 \text{ m} \quad A_p = \frac{\pi R^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 0,5 \text{ m}^2$$

- Meyerhof Metodu

$$L_b = L = 15 \text{ m}$$

$$L_b / D = 15 / 0,8 = 18,75$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \quad N_q^* \approx 300$$

$$q' = 19,5 \cdot 1,5 + (20 - 9,81) \cdot 4,5 + (19,2 - 9,81) \cdot 4 + (19,7 - 9,81) \cdot 5$$

$$q' = 162,115 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,5) \cdot (162,115) \cdot 300 = 24317 \text{ kN}$$

$$q_l = 50 \cdot N_q^* \tan \phi = 50 \cdot 300 \cdot \tan 38^\circ = 11719,28 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \cdot q_l = (0,5) \cdot (11719,28) = 5860 \text{ kN}$$

$$5860 < 11719,28 \quad \Rightarrow \quad Q_p = 5860 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu

$$L / D = 15 / 0,81 = 18,75 \text{ ve } \phi = 38^\circ \text{ için } N_q^* \approx 80$$

$$Q_p = (0,5) \cdot (162,115) \cdot 80 = 6485 \text{ kN}$$

- Vesic Metodu

$$I_{rr} = I_r = 80 \quad N_\sigma^* = 99,60$$

$$Q_p = A_p \cdot \sigma'_0 \cdot N_\sigma^*$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2K_0}{3} q' \quad K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 38^\circ = 0,38$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2 \cdot 0,38}{3} (162,115) = 95,11 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,5) \cdot (95,11) \cdot 99,60 = 4736 \text{ kN}$$

- $q_p = 40N \frac{L}{D} \leq 400N$ $N = 32$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = (0,5) \cdot 40 \cdot 32 \cdot 18,75 = 12000 \text{ kN}$$

- Limit Değeri

$$Q_p = A_p \cdot 400 N = (0,5) \cdot 400 \cdot 32 = 6400 \text{ kN}$$

⇒ Tahmini Dizayn Değeri

$$Q_p = (5860 + 6400) / 2 = 6130 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{Q_p = 6130 \text{ kN}}$$

Çizelge 16.3. Çapı 0,8 m olan kazığın Q_p değerleri

Kullanılan metotlar	Q_p değerleri (kN)	Tahmini Dizayn Değeri (kN)
Meyerhof	5860	(5860+6400) / 2 = 6130
Coyle ve Castello	6485	
Vesic	4736	
Q_p	12000	
Limit değeri	6400	

Yüzey sürtünmesi Q_s hesabı

- $f = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta$ $\delta = 0,6 \phi$ $K=1,4$

$$L' = 15D = 15 \cdot 0,8 = 12$$

$z = 0 - 12$ m için

$$\sigma'_v = 19,5 \cdot 1,5 + (20 - 9,81) \cdot 4,5 + (19,2 - 9,81) \cdot 4 + (19,7 - 9,81) \cdot 2$$

$$\sigma'_v = 132,45 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = p \cdot L' \cdot f_{av} = (4,0,8)(15,0,8) \left(\frac{1,4 \cdot (132,45) \cdot \tan(0,6 \cdot 38)}{2} \right) = 1497 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu

$$f_{av} = K \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \tan \delta \quad \delta = 0,8 \phi$$

$$Q_s = f_{av} \cdot p \cdot L \quad L / D = 15 / 0,8 = 18,75 \Rightarrow K = 2$$

$$\bar{\sigma}'_v = 132,45 / 2 = 66,23 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = (2 \cdot 66,23 \cdot \tan (0,8 \cdot 38)) \cdot (4 \cdot 0,8 \cdot 15) = 3730 \text{ kN}$$

$$\text{Hesap } Q_s \text{ değeri : } Q_s = (1497 + 3730) / 2 = 2614 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{Q_s = 2614 \text{ kN}}$$

Tablo 16.4. Çapı 0,8 m olan kazık için Q_s değerleri

Kullanılan metotlar	Q_s değeri (kN)	Hesap Q_s değeri (kN)
Q_s	1497	(1497+3730) / 2 = 2614
Coyle ve Castello	3730	

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 6130 + 2614 = 8744 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{GS} = \frac{8744}{4} = 2186 \text{ kN}$$

Çapı 1 m. olan Kazık İçin Taşıma Kapasitesi Hesabı

$$L=15 \text{ m} \quad A_p = \frac{\Pi R^2}{4} = \frac{\Pi \cdot 1^2}{4} = 0,7854 \text{ m}^2$$

- Meyerhof Metodu

$$L_b = L = 15 \text{ m}$$

$$L_b / D = 15 / 1 = 15$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^* \quad N_q^* \approx 300$$

$$q' = 19,5 \cdot 1,5 + (20 - 9,81) \cdot 4,5 + (19,2 - 9,81) \cdot 4 + (19,7 - 9,81) \cdot 5$$

$$q' = 162,115 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,7854) \cdot (162,115) \cdot 300 = 38197,5 \text{ kN}$$

$$q_1 = 50 \cdot N_q^* \tan \phi = 50 \cdot 300 \cdot \tan 38^\circ = 11719,28 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \cdot q_1 = (0,7854) \cdot (11719,28) = 9204,3 \text{ kN}$$

$$9204,3 < 38197,5 \quad \Rightarrow \quad Q_p = 9204,3 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu

$$L / D = 15 / 1 = 15 \text{ ve } \phi = 38^\circ \text{ için } N_q^* \approx 80$$

$$Q_p = (0,7854) \cdot (162,115) \cdot 80 = 10186 \text{ kN}$$

- Vesic Metodu

$$I_{rr} = I_r = 80 \quad N_\sigma^* = 99,60$$

$$Q_p = A_p \cdot \sigma'_0 \cdot N_\sigma^*$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2K_0}{3} q' \quad K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 38^\circ = 0,38$$

$$\sigma'_0 = \frac{1 + 2 \cdot 0,38}{3} (162,115) = 95,11 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = (0,7854) \cdot (95,11) \cdot 99,60 = 7440 \text{ kN}$$

- $q_p = 40N \frac{L}{D} \leq 400N$ $N = 32$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = (0,7854) \cdot 40 \cdot 32 \cdot 15 = 15079,7 \text{ kN}$$

- Limit Değeri

$$Q_p = A_p \cdot 400 N = (0,7854) \cdot 400 \cdot 32 = 10053,12 \text{ kN}$$

⇒ Tahmini Dizayn Değeri

$$Q_p = (9204,3 + 10053,12) / 2 = 9628,7 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{Q_p = 9629 \text{ kN}}$$

Çizelge 16.5. Çapı 1,0 m olan kazığın Q_p değerleri

Kullanılan metotlar	Q_p değerleri (kN)	Tahmini Dizayn Değeri (kN)
Meyerhof	9204,3	$(9204,3+10053,12) / 2 = 9629$
Coyle ve Castello	10186	
Vesic	7440	
Q_p	15079,7	
Limit değeri	10053,12	

Yüzey sürtünmesi Q_s hesabı

- $f = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta$ $\delta = 0,6 \phi$ $K=1,4$

$$L' = 15D$$

$$z = 0 - 15D \text{ için } \sigma'_v = 162,115 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = p \cdot L' \cdot f_{av} = (4.1)(15.1) \left(\frac{1,4 \cdot (162,115) \cdot \tan(0,6.38)}{2} \right) = 2862,2 \text{ kN}$$

- Coyle ve Castello Metodu

$$f_{av} = K \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \tan \delta \quad \delta = 0,8 \phi$$

$$Q_s = f_{av} \cdot p \cdot L \quad L/D = 15/1 = 15 \Rightarrow K = 2,75$$

$$\bar{\sigma}'_v = 162,115 / 2 = 58,06 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = (2,75 \cdot 58,06 \cdot \tan (0,8 \cdot 38)) \cdot (4 \cdot 1 \cdot 15) = 5620,5 \text{ kN}$$

$$\text{Hesap } Q_s \text{ değeri : } Q_s = (2862 + 5620,5) / 2 = 4241 \text{ kN} \quad \Rightarrow \underline{Q_s = 4241 \text{ kN}}$$

Tablo 16.6. Çapı 1,0 m olan kazık için Q_s değerleri

Kullanılan metotlar	Q_s değeri (kN)	Hesap Q_s değeri (kN)
Q_s	2862	$(2862+5620,5) / 2 = 4241$
Coyle ve Castello	5620,5	

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 9629 + 4241 = 13870 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{GS} = \frac{13870}{4} = 3467,5 \text{ kN}$$

Çizelge 16.7. Çapı 0,6, 0,8 ve 1,0 m olan kazıkların çözümünde kullanılan yükleme durumları

Yükleme Durumu	M (kN)	V (kN)	N (kN)
1	20	10	1500
2	20	20	1500
3	25	10	1500
4	50	10	1500
5	20	0	1500
6	25	0	1500
7	50	0	1500

Bu yükleme durumlarına göre kazıklar SAP 2000 Yapı Analiz programında çözülmüş ve elde edilen max. değerler Çizelge 8, 9 ve 10' da sunulmuştur.

Çizelge 16.8. Çapı 0,6 m olan kazık için oluşan maksimum değerler

Yükleme Durumu	Çapı 0,6 m olan kazık için			
	M (max.)	V (max.)	N (max.)	Δ
1	18,57	4,65	1449,18	3,363E-04
2	20,86	11,57	1449,18	5,295E-04
3	22,63	4,08	1449,18	3,720E-04
4	42,94	7,94	1449,18	5,509E-04
5	17,39	3,83	1449,18	1,431E-04
6	21,73	4,79	1449,18	1,788E-04
7	43,47	9,58	1449,18	3,577E-04

Çizelge 16.9. Çapı 0,8 m olan kazık için oluşan maksimum değerler

Yükleme Durumu	Çapı 0,8 m olan kazık için			
	M (max.)	V (max.)	N (max.)	Δ
1	20,78	5,72	1458,48	2,690E-04
2	24,77	13,03	1458,48	4,377E-04
3	25,26	5,32	1458,48	2,940E-04
4	47,66	7,53	1458,48	4,194E-04
5	18,72	3,36	1458,48	1,003E-04
6	23,40	4,20	1458,48	1,254E-04
7	46,80	8,40	1458,48	2,507E-04

Çizelge 16.10. Çapı 1,0 m olan kazık için oluşan maksimum değerler

Yükleme Durumu	Çapı 1,00 m olan kazık için			
	M (max.)	V (max.)	N (max.)	Δ
1	22,60	6,50	1463,85	2,201E-04
2	29,26	14,14	1463,85	3,67E-04
3	26,04	6,21	1463,85	2,31E-04
4	50,04	4,77	1463,85	3,284E-04
5	19,29	2,89	1463,85	7,22E-05
6	24,12	3,62	1463,85	9,029E-05
7	48,23	7,23	1463,85	1,806E-04

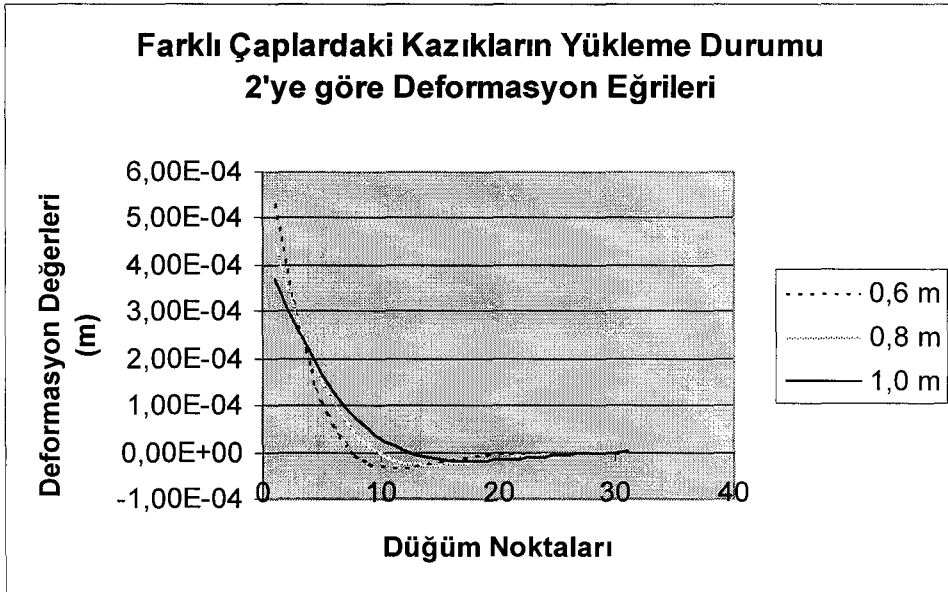
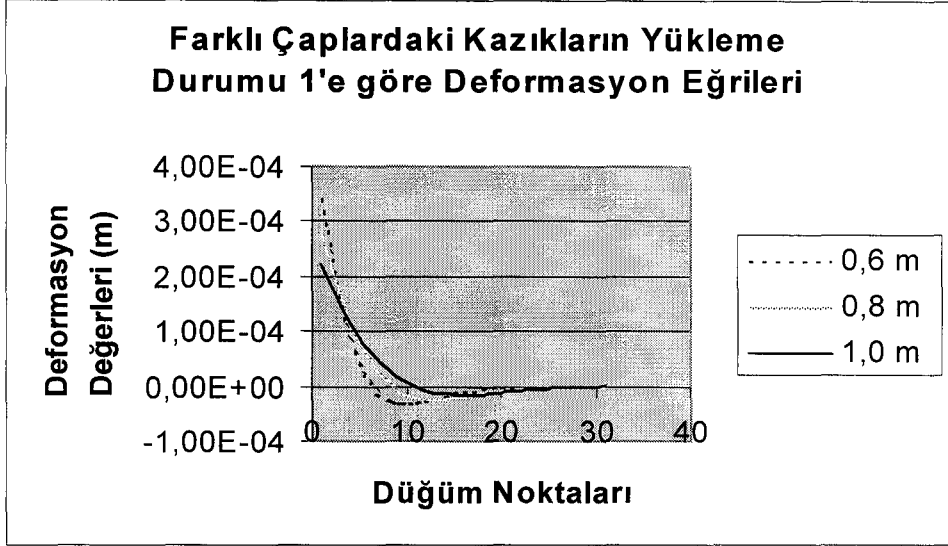
M = Moment (kNm)

V = Kesme kuvveti (kN)

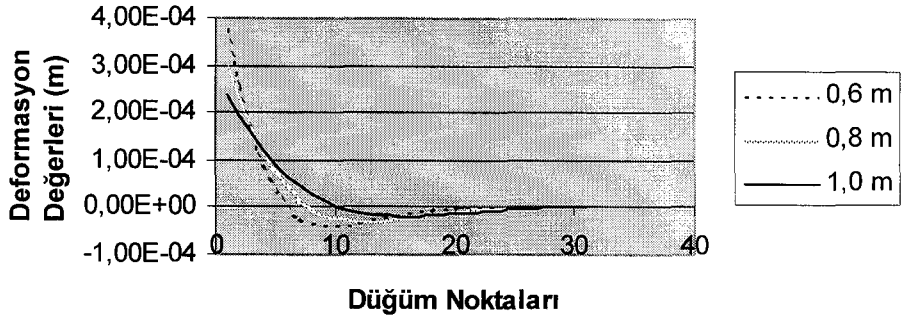
N = Eksenel Kuvvet (kN)

Δ = Deplasman (m)

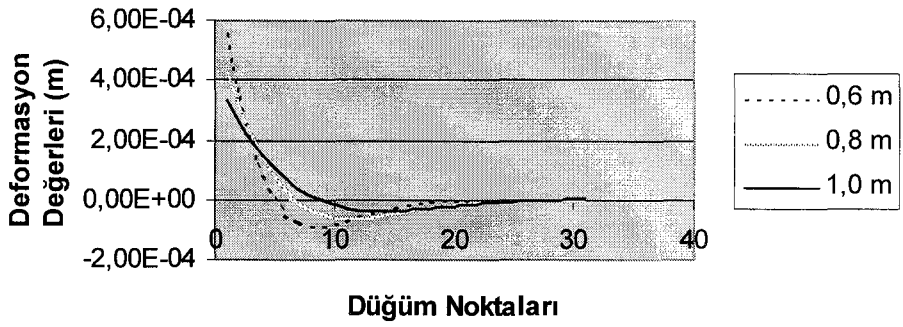
SAP 2000 Yapı Analiz Programında yapılan çözümler sonucunda 0,6, 0,8 ve 1,0 m lik kazıkların deformasyon eğrileri aşağıdaki gibidir.



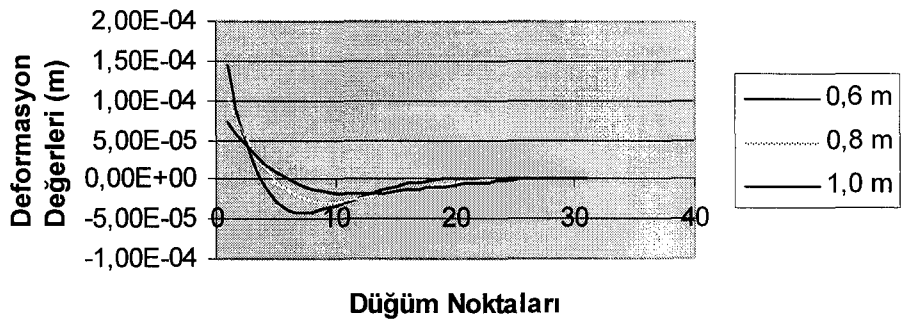
Farklı Çaplardaki Kazıkların Yükleme Durumu 3'e göre Deformasyon Eğrileri

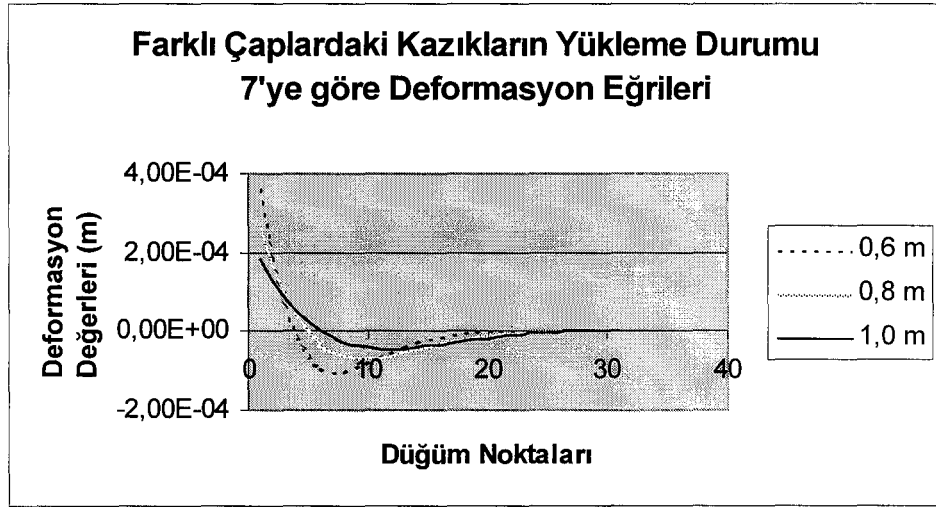
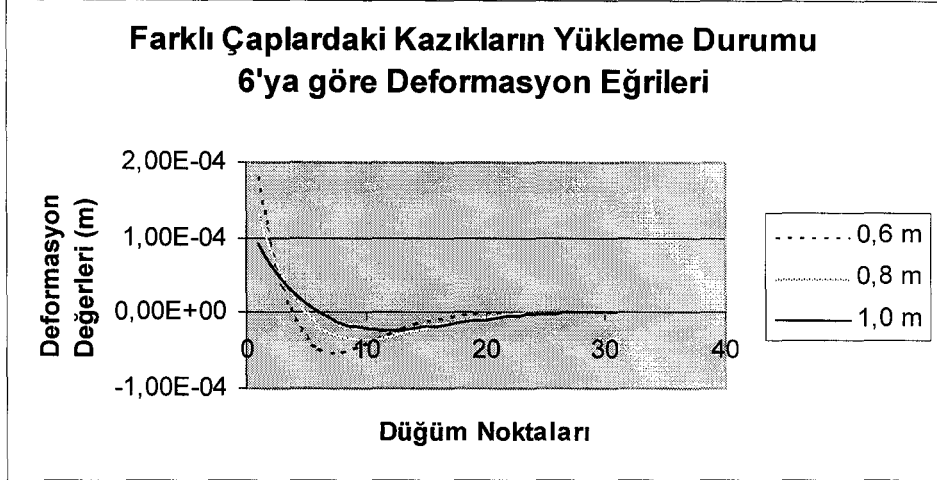


Farklı Çaplardaki Kazıkların Yükleme Durumu 4'e göre Deformasyon Eğrileri



Farklı Çaplardaki Kazıkların Yükleme Durumu 5'e göre Deformasyon Eğrileri





- **Betonarme Hesabı [20]**

Malzeme: BÇ III, BS 20

$d' = 0,1$ m (pas payı)

$h = 1$ m (kazık çapı)

$d' / h = 0,1 / 1 = 0,1$

$N_d = 1,5 \times 1463,85 = 2196$ kN

$M_d = 1,5 \times 22,6 = 33,9$ kNm

$$n_d = \frac{N_d}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c} = \frac{2196}{0,85 \cdot 13300 \cdot 0,7854} = 0,25$$

$$m_d = \frac{M_d}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c \cdot h^2} = \frac{33,9}{0,85 \cdot 13300 \cdot 0,7854 \cdot 1^2} = 0,00382$$

$$\rho_m = \rho_{\min} = 0,01$$

$$A_s = \rho \cdot A_c = 0,01 \cdot 0,7854 = 7,854 \cdot 10^{-3} = 78,54 \text{ cm}^2 \Rightarrow 15 \phi 26 \text{ (79,64 cm}^2\text{)}$$

Etriye:

$$\min \phi_h = \phi_l / 3 = 26 / 3 = 8,67 \text{ mm} \Rightarrow \phi 10 \text{ luk sargı donatısı}$$

$$s \leq 12\phi_l = 12 \cdot 2,6 = 31,2 \text{ cm}$$

$$s \leq 20 \text{ cm} \Rightarrow \phi 10 / 200$$

Diğer sonuçlar çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 16.11. Çapı 1,0 m olan kazığın donatıları

Yükleme Durumu	1,00 m lik kazık için		
	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	Boyuna donatı	Sargı donatısı
1	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
2	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
3	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
4	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
5	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
6	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200
7	78,54	15 ϕ 26	ϕ 10 / 200

Çizelge 16.12. Çapı 0,8 m olan kazığın donatıları

Yükleme Durumu	0,80 m lik kazık için		
	A_s (cm ²)	Boyuna donatı	Sargı donatısı
1	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
2	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
3	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
4	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
5	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
6	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200
7	50,27	10 ϕ 26	ϕ 10 / 200

Çizelge 16.13. Çapı 0,6 m olan kazığın donatıları

Yükleme Durumu	0,60 m lik kazık için		
	A_s (cm ²)	Boyuna donatı	Sargı donatısı
1	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
2	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
3	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
4	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
5	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
6	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200
7	28,27	6 ϕ 26	ϕ 10 / 200

- Eksenel yük 750 kN ve 3000 kN alınarak çapı 0,8 m olan kazık için çözümler yapılmıştır.

Çizelge 16.14. Çapı 0,8 m olan kazık çözümünde kullanılan yükleme durumları (N=750kN)

Yükleme Durumu	M (kN)	V (kN)	N (kN)
1	20	10	750
2	20	20	750
3	25	10	750
4	50	10	750
5	20	0	750
6	25	0	750
7	50	0	750

Çizelge 16.15. Çapı 0,8 m olan kazık için (N=750 kN) oluşan maksimum değerler

Yükleme Durumu	Çapı 0,8 m olan kazık için			
	M (max.)	V (max.)	N (max.)	Δ
1	20,78	5,72	730,24	2,690E-04
2	24,77	13,03	730,24	4,377E-04
3	25,26	5,32	730,24	2,940E-04
4	47,66	7,53	730,24	4,194E-04
5	18,72	3,36	730,24	1,003E-04
6	23,40	4,20	730,24	1,254E-04
7	46,80	8,40	730,24	2,507E-04

Çizelge 16.16. Çapı 0,8 m olan kazık çözümünde kullanılan yükleme durumları
(N=3000 kN)

Yükleme Durumu	M (kN)	V (kN)	N (kN)
1	20	10	3000
2	20	20	3000
3	25	10	3000
4	50	10	3000
5	20	0	3000
6	25	0	3000
7	50	0	3000

Çizelge 16.17. Çapı 0,8 m olan kazık için (N=3000 kN) oluşan maksimum değerler

Yükleme Durumu	Çapı 0,8 m olan kazık için			
	M (max.)	V (max.)	N (max.)	Δ
1	20,78	5,72	2914,95	2,690E-04
2	24,77	13,03	2914,95	4,377E-04
3	25,26	5,32	2914,95	2,940E-04
4	47,66	7,53	2914,95	4,194E-04
5	18,72	3,36	2914,95	1,003E-04
6	23,40	4,20	2914,95	1,254E-04
7	46,80	8,40	2914,95	2,507E-04

Elde edilen sonuçlar 17. Bölümde irdelenmiştir.

17. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada derin temellerin bir çeşidi olan ve günümüzde çok kullanılan kazıklı temellerin genel olarak fonksiyonlarından, kullanım amaçları açıklanmış, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılan kazıklı temellerin avantajlı ve dezavantajlı olduğu hususlar özetlenerek, kazıkların zemine yerleştirilmesi konusuna kısaca değinilmiştir.

Diğer bölümlerde ise negatif çevre sürtünmesi konusundan bahsedilmiş ve düşey ve yatay yüklere maruz bir kazığın ve kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesine etkileyen faktörler incelenerek, nihai taşıma kapasitesi hesap yöntemleri anlatılmıştır. Tek bir kazık ve kazık grubunun oturmasına da kısaca değinilmiştir.

Uygulama kısmında da tek bir kazık SAP 2000 Yapı Analiz Programında çözülmüş ve kazığa ait moment, kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve deformasyon eğrileri elde edilmiştir.

Son olarak da elde edilen değerlere göre betonarme hesabı yapılmıştır.

Çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan hesapların ve analizlerin ışığı altında ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Kazık nihai taşıma kapasitesi ve oturma değerleri genel olarak zeminin, kazık inşa sisteminin ve kazık malzeme özelliklerinin bir fonksiyonu olup, farklı hesap yöntemlerinin doğruluğu, zemin durumunun iyi analiz edilmesine bağlıdır. Bu yüzden kazığın teşkil edildiği yerlerdeki zemin profilinin ve zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yeterince iyi saptanabilmesi için kapsamlı bir geoteknik inceleme yapılmalıdır.
- Kazıkların boyutlandırılması, taşıma kapasitesi ve oturma büyüklüklerinin tayin etmek amacıyla kullanılan en pratik yaklaşım statik formüllerdir. Bu formüller sayesinde taşıma kapasitesi ve oturma parametreleri kısa bir sürede tahmin edilebilir. Bunun için zemin özelliklerinin çok iyi araştırılıp, analiz edilmesi gerekir.
- Yatay yük ve moment ile yüklenmiş kazıklı temellerde maksimum deplasman ve maksimum eğilme momenti kazığın zemin yüzeyindeki kısmında oluşmakta olup zemin derinliğine doğru azalmaktadır.

- Yatay yük ve momentin aksenal kuvvete bir etkisi yoktur.
- Aynı yönlü yatay yük ve moment deplasmanı arttırmaktadır.
- Kazık çapı büyüdükçe kazığın yapacağı deplasman azalmakta, oluşan kesme kuvveti, moment ve aksenal kuvvet artmaktadır. Bu değerlere bağlı olarak donatı miktarı da artar.
- Uygulanan kesme kuvveti ve moment değerleri büyüdükçe çapı 0,8 ve 1,0 m olan kazıklar, kazık ucuna doğru bir noktada sıfırlanıp daha sonra işaret değiştirerek yeni değerler alıyorlar. Bu durumlarda buradaki etkiyi azaltıcı önlemler alınmalıdır. Bu önlemlerde bu bölgelerde sargı donatısını sıklaştırmaktır.
- Yatay yük ve moment ile yüklenmiş kazıklı temelerde maksimum deplasman ve maksimum eğilme momenti kazığın zemin yüzeyindeki kısmında oluşmaktadır. Bu değer çapı küçük olan kazıkta daha büyüktür. Bu değerler zemin derinliğine doğru azalarak gitmektedir. Kazık ucuna doğru sıfırlanır. Bazı yükleme durumlarında sıfırlandıktan sonra işaret değiştirerek yeni değerler alır. Bu durumda çapı büyük olan daha büyük değer alır.

KAYNAKLAR

1. ODBAY, O., *Kazıklı temeller ve düşey yükler altında kazıklı temel sistemlerinin hesap ve analiz yöntemlerinin rasyonelleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1995).
2. TOĞROL, ve E., TAN, O., *Kazıklı temeller*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye (2003).
3. BOZ, M., *Zemin mekaniği projesi*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (1993).
4. ÖZTOPRAK, S., *Kazıklı temellerin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanması ile ilgili bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1996).
5. ÖNALP, A., *İnşaat mühendislerine geoteknik bilgisi*, Karadeniz Üniversitesi, Yayın No:3, Trabzon, Türkiye (1983).
6. TOKGÖZ, C., *Kazık taşıma gücünün sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kohezyonlu lineer olmayan zemin davranışında incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1997).
7. KOYUNLU, K., *Tekil kazık davranışının lineer olmayan zemin modelinde incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1996).
8. DURLANIK, N., *Kazıkların eksenel ve yatay yük taşıma kapasiteleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1995).
9. İNAN, Ç., *Kazıklı temeller ve kazıklı temellerin bilgisayar programları ile hesabı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1993).
10. GÜZELLER, E., *Negatif çevre sürtünmesinin kazık taşıma gücüne etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1999).

11. YILDIRIM, S., *Zemin incelemesi ve temel tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye (2002).
12. DEVELİOĞLU, N., *Yatak katsayısı ve temel yapılarına uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1996).
13. AKTUĞ, İ.H., *Yatay yük ve moment etkisi altındaki düşey tekil kazıkların yatak katsayısı kullanılarak sonlu elemanlar (deplasman) metodu ile statik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (1988).
14. GÜNEY, Y., *Kazık temellerin (kazık grubu) yatak katsayısı ile statik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (1992).
15. BOWLES, J.E., *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill Book, Fourth Edition, Company, United States of America (1988).
16. DAS, B.M., *Principles of foundation engineering*, Wadsworth, Inc., California, USA (1984).
17. GÖK, S., *Kazıklı radye temellerin analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1998).
18. BİRAND, A.A., *Kazıklı temeller*, Teknik Yayınevi, Ankara Türkiye (2001).
19. TS 3167, *Kazık temellerin hesap ve düzenlenmesinde genel kurallar*, Ankara, Türkiye (1978).
20. CELEP, Z. ve KUMBASAR, N., *Betonarme yapılar*, Sema Matbaacılık, İstanbul, Türkiye (1998).
21. TS 3168, *Delme kazıklar tasarım, yapım ve uygulama kuralları*, Ankara, Türkiye (1978).
22. TS 3169, *Çakma kazıklar, tasarım, yapım ve uygulama kuralları*, Ankara, Türkiye (1978).
23. *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25, 12.Baskı.

EKLER:
EK 1 – ZEMİN PROFİLİ

EK 1 – ZEMİN PROFİLİ

0.00 m.

ZEMİN SEVİYESİ

