

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI RADYE TEMELLERDE OPTİMUM
TASARIM KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fatih Savaş KADIOĞLU**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2002

**KAZIKLI RADYE TEMELLERDE OPTİMUM
TASARIM KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Fatih Savaş KADIOĞLU
(501981161)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ocak 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ergün TOĞROL
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Ahmet SAĞLAMER (İ.T.Ü.)
: Prof.Dr. Feyza ÇİNİCİOĞLU (İ.Ü.)

ARALIK 2002

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim süresince engin hoşgörüsü ile desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ergün TOĞROL' a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca üniversite öğrenimim süresince kitaplarından istifade ettiğim Mustafa İnan kitaplığı çalışanlarına, kişisel kütüphanesini kullanmama izin veren sayın Dr. Orkun AKKOL'a, yüksek lisans öğrenimimi destekleyen genel müdürüm sayın Chai Seng CHIEW'a tüm tez çalışmam boyunca benden yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen eşim Senem' e ve bugünlere gelmem de fedakarlıklarını esirgemeyen çok sevgili aileme, o güzel insanlara teşekkür ederim.

Aralık 2002

Fatih Savaş KADIOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAZIKLI TEMELLER.....	3
2.1. Kazıkların Sınıflandırılması.....	4
2.1.1. Kullanılan Malzeme Cinsine ve Yapım Teknolojisine Göre Sınıflandırma.....	4
2.1.2. Kazıkların Zemine Yerleştirme Yöntemine Göre Sınıflandırılması.....	9
2.2. Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler.....	11
3. ZEMİN İÇİNDE KAZIK DAVRANIŞI.....	12
3.1. Düşey Yük Altında Tek Kazık Davranışı.....	12
3.1.1. Kazığın Yük Altındaki Davranışı.....	12
3.1.2. Göçme Yükünün Tanımı.....	14
3.1.3. Kazıklarda İzin Verilen Yükler.....	15
3.1.4. Kazıklarda Uç Taşıma Gücü.....	17
3.1.4.1. Killi Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesi.....	18
3.1.4.2. Ayrık Daneli Zeminlerde Kazık Uç Taşıma Kapasitesi.....	20
3.1.5. Kazıkların Çevre Taşıma Gücü.....	21
3.1.5.1. Killi Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü.....	21
3.1.5.2. Ayrık Daneli Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü.....	29
3.1.6. Yerinde Yapılan Arazi Deney Bilgilerinin Kullanıldığı Yöntemler.....	32
3.1.6.1. Statik Koni Penetrasyon Testi	32
3.1.6.2. Standart Penetrasyon Testi	33
3.1.7. Kayaca Soketlenmiş Kazıklarda Taşıma Gücü.....	35
3.1.8. Kazıklarda Taşıma Gücünün Pratik Olarak Hesabı.....	37
3.1.9. Düşey Yük Altında Oturma.....	38
3.1.10. Oturma Tahmini Analiz Yöntemleri.....	41
3.1.11. Tasarım Grafikleri ve Tek Kazıklar İçin Denklemler.....	42
3.1.11.1. Non-Linear Analiz.....	45
3.2. Düşey Yük Altında Grup Kazık Davranışı.....	47
3.2.1. Hesap Esasları.....	50
3.2.2. Kazık Grubu Taşıma Kapasitesi.....	54
3.2.3. Kazık Grubu Verimi.....	61
3.2.4. Kazık Grubu Oturması.....	62

3.2.4.1. Analiz Yöntemleri.....	62
3.2.4.2. Grup Oturmalarının Pratik Olarak Belirlenmesi.....	64
3.2.4.3. Parametrelerin Belirlenmesi.....	67
4. KAZIKLI RADYE TASARIMI.....	71
4.1. Kazıklı Radyeler İçin Uygun ve Uygun Olmayan Koşullar.....	71
4.2. Tasarım Aşaması.....	72
4.2.1. Ön Tasarım Aşaması.....	72
4.2.1.1. Kazık İhtiyacının Belirlenmesi.....	76
4.2.1.2. Maksimum Moment Kriteri.....	78
4.2.1.3. Maksimum Kesme Kuvveti (Kayma Kriteri).....	79
4.2.1.4. Maksimum Taban Basıncı Kriteri.....	80
4.2.1.5. Yerel Oturma Kriteri.....	81
4.2.2. Kolon Bölgesinde Kazık Gereksiniminin Belirlenmesi.....	82
4.2.3. Kritik Kolon Yükleri Örneği.....	83
4.2.4. Detaylı Tasarım Aşaması.....	86
4.2.4.1. Bazı Davranış Özellikleri.....	90
4.2.4.2. Kazık Sayısının ve Yükleme Tipinin Etkisi	91
4.2.4.3. Radye Kalınlığının Etkisi.....	93
4.2.4.4. Yük Seviyesinin Oturma Üzerindeki Etkisi.....	96
4.3. Bölümün Değerlendirmesi.....	97
5. KAZIKLI RADYE TEMELLERİN OPTİMUM TASARIMI.....	98
5.1. Giriş	98
5.2. Analiz Metodu.....	100
5.3. Parametrik Çalışma İçin Boyutsuz Parametreler.....	101
5.4. Kazıklı Kare Radye İçin Parametrik Çalışma.....	105
5.4.1. Kazık Ara Mesafesinin Etkisi.....	107
5.4.2. Zemin Derinliğinin Etkisi.....	112
5.4.3. Kazık Sıkışabilirliğinin Etkisi.....	112
5.4.4. Zeminin Poisson Oranının Etkisi.....	113
5.4.5. Kazık Uzunluğunun Etkisi.....	116
5.4.6. Kazık Aralığının Etkisi (Optimum K_{pr}).....	118
5.5. Bölümün Değerlendirmesi.....	121
6. KAZIK İLE RADYE ARASINDAKİ YÜK PAYLAŞIMI.....	122
6.1. Birleşik Kazıklı Radye Temeller (CPRF-Combined Piled Raft Foundation).....	122
6.2. Kazıklı Temellerde Kazıklar İle Radye Arasında Yük Paylaşımı	129
6.3. Zhang ve Small' un Yaklaşımı.....	130
6.3.1. Kazık-Zemin Rijitlik Oranının Yük Dağılımı ve Yerdeğiştirme Üzerinde Etkisi.....	133
6.3.2. Radye-Zemin Rijitlik Oranının Yük Dağılımı ve Yerdeğiştirme Üzerindeki Etkisi.....	136
6.3.3. Kazıklar Arası Mesafenin Yük Dağılımı ve Yerdeğiştirme Üzerindeki Etkisi.....	138
7. TEK KAZIKLI RADYENİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ ÇALIŞMASI.....	140
7.1. Kazık-Radye-Zemin Etkileşimi.....	140
7.2. Modeldeki Radye, Kazık ve Zemine Ait Özellikler.....	144
7.2.1. Geometrik Özellikler.....	144

7.2.2. Malzeme Özellikleri.....	144
7.2.3. Zemin Profili	144
7.2.3.1. Zemine Ait Parametrelerin Belirlenmesi.....	145
7.3. Tek Kazığın Taşıma Kapasitesinin Hesabı.....	146
7.3.1. Kazığın Uç Direncinin Hesabı.....	147
7.3.2. Kazığın Çevre Sürtünmesi Direncinin Hesabı.....	150
7.3.3. Zemine Ait Yatak Katsayısının Belirlenmesi.....	151
7.4. ETABS 7.2 İle Yapılan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	152
7.4.1. Yük Dağılımının Kazık Boyu İle Değişiminin İncelenmesi.....	152
7.4.2. Yük Dağılımının Toplam Oturma İle Değişiminin İncelenmesi.....	154
7.5. Amprik Denklemler İle Oturma Bileşenlerinin İncelenmesi.....	155
7.5.1. S_1 Oturmasının İncelenmesi.....	155
7.5.2. S_2 Oturmasının İncelenmesi.....	156
7.5.3. S_2 Oturması ve Yük Dağılımının İncelenmesi.....	159
7.6. Analiz Sonuçları İle Amprik Denklemlerle Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması.....	164
7.7. Bölümün Değerlendirmesi.....	165
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	167
KAYNAKLAR.....	172
EKLER.....	174
ÖZGEÇMİŞ.....	180

KISALTMALAR

FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
CPT	: Koni Penetrasyon Deneyi
RQD	: Rock Quality Designation
RMR	: Rock Mass Rating
BS	: British Standart
FS	: Güvenlik Sayısı
CFEM	: Canadian Foundation Engineering Manual
ASCE	: American Society of Civil Engineers
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Çeşitli kazık tiplerinin avantaj ve dezavantajları	10
Tablo 3.1 Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları.....	16
Tablo 3.2 Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları ASCE,1993.....	17
Tablo 3.3 Kazık Çapı (D) – N_c ilişkisi.....	19
Tablo 3.4 N_q^* Taşıma Gücü Katsayısı için NAVFAC önerileri	21
Tablo 3.5 Adhezyon faktörü değerleri.....	25
Tablo 3.6 ϕ' değerleri	26
Tablo 3.7 Killi zeminlerdeki fore kazıklar İçin α değerleri	28
Tablo 3.8 K değerleri.....	29
Tablo 3.9 Yanal itki katsayısı (K) değerleri.....	29
Tablo 3.10 Rölatif Sıkılık- K_0 ilişkisi.....	30
Tablo 3.11 K değerleri (NAVFAC).....	30
Tablo 3.12 Kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı δ - ϕ ilişkisi.....	30
Tablo 3.13 Çeşitli ara yüzey durumları için kazık-zemin sürtünme açısı, δ değerleri	31
Tablo 3.14 CPT için nihai çevre sürtünmesi korelasyon (Melt, 1993).....	33
Tablo 3.15 CPT için taşıma kapasitesi (Melt, 1993).....	34
Tablo 3.16 Temel taşıma katsayısı, K_b (Decourt, 1995).....	34
Tablo 3.17 f_s – N İlişkisi	35
Tablo 3.18 c_p değerleri.....	40
Tablo 3.19 Kazık ara mesafeleri.....	53
Tablo 3.20 Kazık ara mesafeleri.....	54
Tablo 3.21 Tasarımda kullanılacak K değerleri.....	58
Tablo 3.22 Kazık grubu verimliliğinin belirlenmesine ilişkin öneriler.....	62
Tablo 3.23 Kazık oturma analizi için drenajlı Young Modülü için bazı korelasyonların özeti.....	70
Tablo 5.1 Kare kazıklı radyelerin, temel parametrik çalışması için kullanılan parametreler.....	109
Tablo 5.2 Kare kazıklı radyelerin, boyutsuz parametrik çalışması için kullanılan parametreler.....	109
Tablo 6.1 Frankfurt Kiline ait zemin parametreleri.....	123
Tablo 6.2 Araştırılan geometrik değişkenler.....	124
Tablo 6.3 Hesap Sonuçları.....	126
Tablo 7.1 Ayırık daneli (kumlu) zemine ait zemin özellikleri	146
Tablo 7.2 Kumlu zeminde düşey zemin gerilmesi.....	146
Tablo 7.3 Kazık uç direncinin hesap tablosu.....	149
Tablo 7.4 D=30 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu.....	150
Tablo 7.5 D=40 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu.....	151
Tablo 7.6 D=50 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu.....	151
Tablo 7.7.a D=30 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi.....	153
Tablo 7.7.b D=40 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi.....	153

Tablo 7.7.c	D=50 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi.....	153
Tablo 7.8.a	D=30 cm kazık için yük dağılımının toplam oturma ile değişimi...	154
Tablo 7.8.b	D=40 cm kazık için yük dağılımının toplam oturma ile değişimi...	154
Tablo 7.8.c	D=50 cm kazık için yük dağılımının toplam oturma ile değişimi...	154
Tablo 7.9.a	D=30 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri.....	156
Tablo 7.9.b	D=40 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri.....	156
Tablo 7.9.c	D=50 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri.....	156
Tablo 7.10	C_p 'nin zemin tipine ve kazık tipine bağlı değerleri.....	157
Tablo 7.11.a	D=30 cm kazık için kazık ucu direncinin hesaplanması.....	157
Tablo 7.11.b	D=30 cm için S_2 oturmasının hesaplanması.....	157
Tablo 7.12.a	D=40 cm kazık için kazık ucu direncinin hesaplanması.....	158
Tablo 7.12.b	D=40 cm için S_2 oturmasının hesaplanması.....	158
Tablo 7.13.a	D=50 cm kazık için kazık ucu direncinin hesaplanması.....	158
Tablo 7.13.b	D=50 cm için S_2 oturmasının hesaplanması.....	159
Tablo 7.14.a	D=30 cm kazık için S_3 oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması.....	160
Tablo 7.14.b	D=40 cm kazık için S_3 oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması.....	160
Tablo 7.14.c	D=50 cm kazık için S_3 oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması.....	161
Tablo 7.15.a	D=30 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı	162
Tablo 7.15.b	D=30 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı yüzdesi.....	162
Tablo 7.16.a	D=40 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı	162
Tablo 7.16.b	D=40 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı yüzdesi.....	163
Tablo 7.17.a	D=50 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı	163
Tablo 7.17.b	D=50 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı yüzdesi.....	163
Tablo 7.18.a	D=30 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması.....	164
Tablo 7.18.b	D=40 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması.....	164
Tablo 7.18.c	D=50 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması.....	165

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	Yük-Oturma Eğrisi..... 12
Şekil 3.2	Kazığın yük transferi..... 13
Şekil 3.3	Düşey Yük Altındaki Kazıklarda Kayma Yüzeyleri..... 15
Şekil 3.4	Kazık Uç Kapasitesinin Derinlikle Değişimi..... 18
Şekil 3.5	Kazıklar İçin Taşıma Gücü Faktörleri..... 20
Şekil 3.6	λ Yöntemi İçin Değerler 23
Şekil 3.7	Adhezyon Faktörü..... 25
Şekil 3.8	Tabakalı Zeminlerde α Değerleri..... 27
Şekil 3.9	α İçin ASCE Önerisi..... 28
Şekil 3.10	Ktan δ İçin Poulos-Davis Önerisi..... 31
Şekil 3.11	Tek Kazık Geometrisinin Tanımı..... 43
Şekil 3.12	Homojen Kildeki Tek Kazığın Oturması..... 44
Şekil 3.13	Doğrusal Artan Modüle Sahip Zemindeki Tek Kazığın Oturması..... 45
Şekil 3.14	Yük-Oturma Eğrisinin Oluşturulması 46
Şekil 3.15	Sürtünme Kazığını Çevreleyen Gerilmeler ve Kazık Grubunda Bunların Toplam Etkisi..... 47
Şekil 3.16	Tek Kazık ve Kazık Grubu Altında Gerilmeden Etkilenen Bölgelerin Karşılaştırılması..... 48
Şekil 3.17	Kazık Grubunun Kayma Göçmesi..... 49
Şekil 3.18	Yüzeysel Temel ve Kazık Gruplarının Altındaki Gerilme Dağılımının Karşılaştırılması..... 49
Şekil 3.19	Tipik Kazık Grubu Örnekleri..... 52
Şekil 3.20	Killer İçin Grup Etkinliği Katsayısı..... 56
Şekil 3.21	Kazık Grubunun Blok Temel Gibi Davranması..... 60
Şekil 3.22	Taşıma Gücü Katsayısı, N_c 60
Şekil 3.23	Dikdörtgen Kazık Grupları İçin Şekil Faktörü..... 61
Şekil 3.24	Zemin Tabakasındaki Eşdeğer Ayağın Oturması..... 66
Şekil 3.25	Eşdeğer Ayak İçin Taban Yüğü Oranı..... 68
Şekil 4.1	Basitleştirilmiş Kazık-Radye Temsili (Randolph, 1994)..... 75
Şekil 4.2	Ön Analiz İçin Basitleştirilmiş Yük-Oturma Eğrileri..... 75
Şekil 4.3	Mathcad İle Yapılan Analizinin Tipik Sonuçları..... 76
Şekil 4.4	Her Bir Kolon Yüğü İçin Problemin Tanımı..... 77
Şekil 4.5	Dairesel Kolon İçin Moment Katsayıları: A,B..... 79
Şekil 4.6	Dairesel Kolon İçin Kesme Katsayısı: c_q 80
Şekil 4.7	Taban Basıncı Katsayısı: q 81
Şekil 4.8	Oturma Katsayısı, w (Çok derinde ve homojen olduğu varsayılan zemin) 82
Şekil 4.9	Farklı Kriterler İçin Maksimum Kolon Yüğüne Örnek..... 85
Şekil 4.10	Farklı Kazıklı Radye Analiz Metotlarının Karşılaştırılması İçin Kullanılan Kuramsal Örnek..... 88

Şekil 4.11a	9 Kazıklı ve Toplam Yüğü 12 MN Olan Hipotetik Örnek İçin Karşılaştırmalı Sonuçlar.....	89
Şekil 4.11b	15 Kazıklı ve Toplam Yüğü 12 MN Olan Hipotetik Örnek İçin Karşılaştırmalı Sonuçlar.....	89
Şekil 4.12	Toplam yüğü 12 MN Olan Hipotetik Örnek İçin Kazıklı Radye Davranışına Kazık Sayısının Etkisi.....	92
Şekil 4.13	Toplam yüğü 12 MN Olan Hipotetik Örnek İçin Kazıklı Radye Davranışına Radye Kalınlığının Etkisi.....	94
Şekil 4.14	Farklı Kazıklı Radye Sistemleri İçin Yüğü-Oturma Eğrileri.....	96
Şekil 5.1	Oturmayı Azaltan Kazıkların Prensipleri.....	99
Şekil 5.2	Kazıklı Radye İçin Analitik Model (Clancy, 1993).....	100
Şekil 5.3	Kare Kazıklı Radyelerin Analizinde Kullanılan Radye Parçaları.....	106
Şekil 5.4	Kazık Aralığının Diferansiyel Oturmaya Etkisi, $K_{rs}=0.1$	108
Şekil 5.5	Kazık Aralığının, Kazık Yüğüne Etkisi.....	110
Şekil 5.6	Farklı Oturma (dW veya ΔW) ve Kazık Kapasitesi Oranının (P_g^*), Kazık Kapasitesinin Mobilize Olma Derecesi (m) İle Değişimi.....	111
Şekil 5.7	Zemin Derinliğinin Farklı Oturmaya Etkisi (K_{rs}).....	112
Şekil 5.8	Kazık-Zemin Rijitliğinin Farklı Oturma Üzerindeki Etkileri ($K_{rs}=0.1$).....	113
Şekil 5.9	Poisson Oranının Farklı Oturma Üzerindeki Etkileri ($K_{rs}=0.1$).....	114
Şekil 5.10	Boyutsuz Parametrelerin m İle Değişimi.....	115
Şekil 5.11	Kazık Uzunluğunun Farklı Oturmaya Etkileri (Tam Elastik Çözüm).....	116
Şekil 5.12	Kazık Boyunun Toplam Oturma Üzerindeki Etkileri.....	117
Şekil 5.13	Kazık Boyunun P_g^* Değerine Etkisi.....	117
Şekil 5.14	Kazık Aralığının Farklı Oturmalar Üzerindeki Etkisi ($K_{rs}=0.1$).....	118
Şekil 5.15	Kazık Aralığının Kazıklı Temele Olan Etkileri ($K_{rs}=0.1$) (K_{pr} Şekil 14b'den alınmıştır.).....	119
Şekil 5.16	Boyutsuz Parametrelerin m ile Değişimi.....	120
Şekil 6.1	CPRF İçin Ele Alınan Model.....	124
Şekil 6.2	CPRF ve Bileşenleri İçin Kısmi Güvenlik Katsayısı.....	127
Şekil 6.3	Oturma Yükleme İlişkisi.....	128
Şekil 6.4	Kazıkta Yüğü Dağılımı %'si Oturma İlişkisi.....	128
Şekil 6.5	Kazık Sayısının Nihai Taşıma Kapasitesine ve Oturmaya Olan Etkisi.....	131
Şekil 6.6	Kazık Boyunun Temel Performansına Etkileri.....	132
Şekil 6.6	Radye Kalınlığının Temel Performansına Etkileri.....	133
Şekil 6.7	Kazık-Zemin Rijitlik Oranının Kazıkların Yüğü Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi.....	136
Şekil 6.8	A-A Kesiti Boyunca Arayüzdeki Kayma Gerilmesinin Varyasyonu.....	134
Şekil 6.9	Kazık-radye rijitlik oranının radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki etkisi.....	135
Şekil 6.10	Kazık-zemin rijitlik oranının kazıkların yüğü taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi.....	135
Şekil 6.11	Radye-zemin rijitlik oranının radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki Etkisi.....	137
Şekil 6.12	Radye-zemin rijitlik oranının kazıkların yüğü taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi.....	137

Şekil 6.13	Kazık ara mesafesinin kazıklı radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki Etkisi.....	138
Şekil 6.14	Kazık ara mesafesinin kazıklı radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki Etkisi.....	139
Şekil 7.1	Kazık-radye-zemin etkileşiminin kümeler ile ifade edilmesi	141
Şekil 7.2	Kullanılan modelin üç boyutlu şekli.....	145
Şekil 7.3	N_{γ}^* 'ın ϕ' ve I_r 'ye bağı olarak tespiti için diyagram.....	148
Şekil 7.4	$N_{\gamma q}^*$ 'ın ϕ' ve I_r 'ye bağı olarak tespiti için diyagram.....	149

SEMBOL LİSTESİ

Q_P, Q_U	: Kazığın nihai taşıma gücü
Q_b	: Kazığın nihai uç taşıma gücü
Q_s	: Kazığın çevre taşıma gücü
W_P	: Kazığın ağırlığı
A_b	: Kazığın kesit alanı
A_{si}	: Kazığın i zemin tabakası içindeki çevresinin alanı
q_{bk}	: Tabanın birim m^2 'sindeki direncin karakteristik değeri
q_{sik}	: i tabakasındaki çevre birim m^2 'sindeki sürtünmenin karakteristik değeri
q_b	: Birim alanda taşınabilecek maksimum yük
q	: Sürşarj yükü
γ_b, γ_s	: Kısmi güvenlik katsayıları
c_u	: Drenajsız kohezyon
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
N	: SPT vuruş sayısı
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü katsayıları
ϕ°	: Kayma mukavemeti açısı
α	: Adhezyon katsayısı
f_s	: Soket çevre sürtünmesi
q_u	: Serbest basınç mukavemeti
S	: Oturma
E_p	: Kazığın elastisite modülü
E_g	: Grup etkinliği
L	: Kazık boyu
δ	: Kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı
μ	: Zeminin poisson oranı
ν	: Poisson oranı
s	: Kazıklar arası mesafe
B	: Kazık başlığının kenar uzunluğu
d, D	: Kazık çapı
ϕ	: Fiktif gerilme şiddetleri
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
β	: Koni açısı
E_{eq}	: Eşdeğer kuyu temel modülü
d_{eq}	: Eşdeğer kuyu çapı
E_s	: Zemin tabakasının modülü
R	: Randolph ve Horikoshi'nin kullandığı gruptaki kazık sayısına, kazıklar arası mesafeye ve kazık boyuna bağlı boyutsuz parametre.
L_p/a	: Rölatif kazık uzunluğu
L_p/a_{eq}	: Dikdörtgen radyeler için rölatif kazık uzunluğu
a_{gr}	: Kazık grubu kesit alanının radye alanına oranı

E_{eq}/E_s	: Eşdeğer kuyu temel in rijitlik oranı ile zemin rijitliğinin oranı.
K_{pr}	: Kazık grubu-radye rijitlik oranı
a_{eq}	: Eşdeğer dairesel radye yarıçapı
ξ	: Kuyu etki yarıçapı
r_r	: Radye yarıçapı
r_m	: Tek bir kazığın maksimum etki yarıçapı
r_p	: Kazık yarıçapı
P_g^*	: Kazık alan yükünün, kazık parametresine oranı
P_t	: Toplam radye yükünün kazık kapasitesine oranı
m	: Kazık kapasitesinin mobilize derecesi
ΔW^*	: Normalize edilmiş farklı oturma

KAZIKLI RADYE TEMELLERDE OPTİMUM TASARIM KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Son yüzyılda artan insan nüfusu ve ihtiyaçları her branşta olduğu gibi inşaat mühendisliğinin geoteknik mühendisliği disiplininde de önemli çalışmaların yapılmasına önayak olmuştur. Artan insan ihtiyaçları her geçen gün daha büyük geometriye sahip; yüksek binaların, kulelerin, köprü ve viyadüklerin, önemli kıyı ve deniz yapılarının, barajların, metro ve benzeri yapıların inşasını gerekli kılmıştır.

Bu tür büyük yapıların yapımı, zemine aktarılan yüklerde önemli artışlara neden olmuştur. Üzerine yapının inşa edileceği yüzeye yakın zemin tabakaları her zaman gereken taşıma kapasitesi ve diğer zemin özelliklerine sahip olmayabilir. Ayrıca yüzeye yakın zemin tabakaları deprem v.b. yatay yükleri üst yapıya zarar verebilecek şekilde aktarabilir veya bu etkilere büyütme etkisi yapabilir. Böyle durumlarda üst yapıdan gelen yüklerin daha derindeki nispeten sert tabakalara veya kaya katmanlarına aktarılması gerekir.

Kazıklar, temellerin altında teşkil edilen ve bu yük aktarımını sağlayan önemli yapı elemanlarıdır. Ancak kazıkların ve kazıklı temellerin inşa maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle tasarım yapılırken maliyeti düşürecek yönde optimum çözümlerin yapımına ihtiyaç duyulur.

Hazırlanan tez çalışması ile kazıklı radye temellerde optimum tasarımı etkileyen kriterler incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak kazıklara, zemine ve radyeye ait özellikler ve kazık-zemin-radye etkileşimi kavranmaya çalışılmış ve bu doğrultuda literatür taraması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci safhasında kazıklı temellerin tasarımına ilişkin güncel akademik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle kazıklı radyelerin optimum tasarımı üzerine yapılan çalışmalar ile kazık-radye-zemin etkileşiminin ele alındığı ve değişik parametrelerin incelendiği çalışmalar araştırılmış ve bu akademik çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu çalışmaların incelenmesinden sonra ETABS adlı yapı analizi yapan bilgisayar programı kullanılarak kumlu zeminde basit tek kazıklı radye temel modellenmiştir. Bu model üzerinde analiz yapılmış ve şu sonuçlara varılmıştır:

Kumlu zeminde imal edilen kazıklar uç direncinden çok kazık çevresinde oluşan sürtünme kuvveti ile yük aktarımı yapmaktadırlar.

Kazık çapı, radye kalınlığı ve radye çapı sabit tutulurken kazık boyunda meydana gelen artış ile toplam oturmada azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kazık ile radye arasındaki yük paylaşımında artan kazık boyu ile birlikte kazık çevre sürtünmesinin katkısı ile azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Kumlu zeminlere oturan kazıklı radyelerde sağlam zemin ya da kayaya soketli kazıklardan farklı olarak yüzey sürtünmesinin daha fazla etkili olduğu tespit

edilmiştir. Kazık yüzeyindeki sürtünme direnci kazığın mobilize olma düzeyine bağlı olarak gelişen bir mekanizmaya sahiptir.

Kazık ve radye birbirine rijit olarak bağlı elemanlar olduğu için yüzey sürtünmesi de kazıklı radyenin yaptığı oturmanın belirli bir düzeye erişmesi ile birlikte devreye girdiği için doğal olarak radye ile zemin arasındaki gerilmeler de değişimler olmaktadır. Modelimizde radyenin altına konulan yaylar ile bu hareket tespit edilmiştir.

Kazık ile radye arasındaki yük paylaşımı için analiz sonucu ile amprik denklemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu korelasyon katsayılarının 0,958 ile 1,000 arasında değişen değerler aldığı bulunmuştur. Bu da bize model üzerinde yapılan analizlerin belirli bir düzeye kadar amprik denklemler ile yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.

THE STUDY OF THE OPTIMUM DESIGN CRITERIA IN PILED RAFT FOUNDATIONS

SUMMARY

Last century increasing human population and needs have encouraged civil engineers to perform important geotechnical studies. Also increasing human needs have made it necessary to build higher and larger construction, towers, bridges, important off-shore structures, dams etc.

Construction of such structures causes the loads that is transferred to soil to increase. The soil near the surface on which the structure is built may not always have the sufficient bearing capacity and other soil characteristics. Moreover, the soil strata near the surface may be detrimental to the superstructure while transferring lateral loads or it can make these influences larger. In these cases the loads coming from superstructure must be transferred to relatively harder and deeper soil strata or rock strata.

Piles placed below foundations are important structures elements which enables loads to be transferred. However building of piles and piled raft cost too much. Optimum solutions diminishing the cost are needed in designing.

This study scopes for the optimum design criteria of piled raft foundations.

Firstly, it has been tried to comprehend the interaction of pile-soil-raft and the properties of piles, soil and raft.

Following this, actual academic studies related to the design of piled foundations are examined. Especially, the studies which includes optimum design of piled foundation and the interaction of pile-raft-soil are taken into account. The results of these academic studies are tried to be understood.

After examining these studies, a simple piled-raft foundation has modelled by using ETABS Version 8, structural analysis software, and various analysis was carried out. Based on the analysis mentioned above, the following results are obtained:

The piles constructed sandy soil are transferring load by friction force occur around the perimeter of the pile rather than the tip resistance.

An increase in the length of the pile and decrease in the total settlement is determined while the pile diameter, raft thickness and diameter are kept constant. Besides an increase in the load distribution between pile and raft is determined with the increase pile length and with the effect of the friction force around the perimeter of the pile.

In the piled raft settled on sandy soils, different from the pile in stiff soil or rock, the side friction is found to more effective. The friction resistance on the surface of the pile has a developing mechanism with respect to the mobilization level of the pile.

Since the pile and the raft are rigidly connected elements and since the surface friction is active when the settlement of the piled raft is reached to a level, naturally

there have been changes in the stress between raft and soil. In our model this settlement is observed by adding spring elements under the model raft.

For the load distribution between pile and raft, the results obtained from the analysis and empirical formulas are compared and correlation coefficients between them are calculated. It has been found that these correlation coefficients vary with 0.958~1.000 . This shows as that the analysis made on model give similar results with the ones obtained by empirical equations in a limited range.

1. GİRİŞ

Geride bıraktığımız yüzyıl içinde artan insan nüfusu ve ihtiyaçları büyük yapıların imal edilmesi sonucunu doğurmuştur. Yapı boyutlarında meydana gelen artış, zemine aktarılan yüklerin de önemli miktarda artmasına neden olmuştur. Yapının üzerinde inşa edileceği zeminin yüzeye yakın bölümleri her zaman yapıdan gelen yükleri karşılayabilecek kapasitede olmamakta ve yükün daha derindeki sağlam tabakalara aktarılması gereksinimini doğurmaktadır. Bu yük aktarımı çok eski çağlardan beri kullanıla gelen kazıkların önemini artırmış ve temel sistemleri kazıklar ile inşa edilmeye başlanmıştır. Kullanımı artan kazıklı temel sistemleri için, kazık başlığı-zemin, kazık-zemin ve kazık başlığı-kazık-zemin etkileşimi kriterleri üzerine önemli bilimsel çalışmalar yapılmış ve çok çeşitli çözüm metotları geliştirilmiştir.

Tüm bu gelişmelere rağmen kazıklı temel uygulamalarında kazıklar üst yapıdan gelen yüklerin tamamını taşıyan yapı elemanları olarak görülmekte ve kazıklı temel dizaynı bu kabule göre yapılmaktadır. Sonuç olarak çok sayıda kazık içeren ve ekonomik olmayan temel sistemleri imal edilmektedir. Oysa yapılan son çalışmalar, üst yapıdan gelen yükün zemine aktarımında imal edilen kazık başlığının da etkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Yapılacak optimum dizayn ile yapı için güvenli koşulları sağlayabilecek ve daha az sayıda kazık içeren kazıklı radye temel sistemlerinin yapılabilceği sonucunu ortaya çıkarılmıştır.

Bu tez çalışmasının kapsamında konu ile ilgili literatür taraması yapılmış ve geçmişte yapılan çalışmaları ve güncel gelişmeleri de kapsayan kaynaklar taranmıştır. Edinilen bilgiler ışığında kazık-zemin, radye-zemin ve radye-kazık-zemin arasındaki etkileşim incelenmiştir.

Bölüm 2’ de kazıklar ve kazıklı temeller başlığı altında; kazık tipleri, özellikleri, avantaj ve dezavantajları, kazık seçimini etkileyen faktörler incelenmiştir.

Bölüm 3’ de zemin içinde kazık davranışı incelenmiş, kazıklar için taşıma kapasitesi ve oturma hesapları üzerinde durulmuştur.

Bölüm 4' de, kazıklı radye tasarımı için çeşitli yaklaşımlar incelenmiştir.

Bölüm 5'de, kazıklı radye temellerde optimum tasarım konusu üzerine çalışılmış, konu ile ilgili çok güncel makaleler incelenmiş ve optimum dizayn kriterleri ele alınmıştır.

Bölüm 6' da , kazıklı radye temellerde kazıklar ile radye arasındaki yük paylaşımı konusunda yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Bölüm 7' de , ETABS Programı yardımı ile basit bir kazıklı radye modellenmiş ve sabit düşey yükleme altında analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen toplam oturma, kazık malzemesinin elastik kısalmasından kaynaklanan oturma, kazık ucunda ve radye altında meydana gelen gerilme değerleri bulunmuştur. Bu değerler ile literatürde düşey yüklü kazıkların oturmasının hesaplanmasında kullanılan amprik denklemler kullanılarak kazık yüzey sürtünmesinin ne düzeyde mobilize olduğu hesaplanmıştır. Kazık yüzeyinde meydana gelen sürtünme direncinin tamamının mobilize olduğu ve amprik formüllerle elde edilen mobilize olma mertebesine göre iki farklı kazık-radye yük paylaşımı dağılımı elde edilmiştir.

Sonuç bölümünde ise tüm tez çalışması süresince edinilen bilgiler ışığında kazıklı radye tasarımında optimizasyonun sağlanabilmesi için, tasarım aşamasında yapılması gerekenler özetlenmiştir.

2. KAZIKLI TEMELLER

Kazıkların en önemli görevi temel yüklerini nispeten daha zayıf ve gevşek tabakadan alttaki daha sıkı zemin ya da kaya tabakalarına aktarmasıdır. Kazıklar ayrıca deniz koşullarında kaldırma kuvveti ve oyulma seviyesinin altındaki yükleri taşır. Yanal yükleri karşılar, yüzeysel ve derin temellerin oturmasını azaltır. Kazıkların düşey yüklere dayanımı kazığın yanal sürtünmesi ve uç direncinin kombinasyonu ile sağlanır. Ancak önemli miktarda dayanım yanal sürtünme ile sağlanır. Yanal yüke maruz kalan kazıkların dayanımı yüzeye yakın zeminde gelişen dirence bağlıdır. Bu bölgedeki zemin genelde örselenme ya da zemin dayanımı ve rijitliğini önemli miktarda etkileyen mevsimsel su muhtevası değişimi etkileri altındadır. Bu nedenle kazıkların yanal davranışının tahmini düşey yükler altındaki davranışın tahmininden daha zordur [15].

İnşa edilecek yapı temeli altında kazıkların teşkil edilmesine neden olan durumları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [9]:

- a) Yüzeye yakın zemin tabakaları, üst yapı yüklerine karşı yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayabilir veya sıkışabilir olmaları nedeni ile üst yapıda farklı oturmalara neden olabilirler. Bu nedenle yapı yüklerinin daha derindeki daha sağlam zemin tabakalarına ya da kayaca aktarılması gerekebilir. Kazıklar bu yük aktarımını sağlayabilecek yapı elemanlarıdır.
- b) Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgar ve deprem yükü gibi yanal etkilerin karşılanması için kazıklar kullanılabilir.
- c) Yapının üzerine inşa edildiği zemin tabakalarında yer yer aktif zon olarak tanımlanan yani su etkisi ile şişme ve çökme yapabilen tabakalar olabilir. Üst yapı yüklerinin bu tabakaları geçerek yeterli taşıma kapasitesine sahip tabakalara aktarmak için kazıklar uygun yapı elemanlarıdır.

- d) Kuleler, deniz platformları ve yer altı suları için imal edilen radyeler kaldırma kuvveti etkisindedirler. Bu tür kaldırma kuvveti etkileri kazıklar vasıtasıyla karşılanabilir.
- e) Köprü ayaklarına imal edilen radyelerin altındaki zemin erozyon etkisindedir ve bu tür zemin oyulması etkileri kazıklar ile düzenlenebilir.
- f) Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol etmek amacıyla kullanılabilir. Derin zemin kazılarında yamaç stabilitesinin sağlanmasında da kazıklar kullanılabilir.
- g) Temel altında yer alan gevşek ayırık daneli zeminlerin sıkıştırılarak iyileştirilmesi amacı ile de kazıklar kullanılabilir.

2.1 Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar, kullanılan kazık malzemesine (ahşap, çelik, beton, kompozit) göre, yerleştirilme biçimlerine göre (çakma, yerinde dökme kazıklar, sondaj ile açılan kuyulara dökülerek imal edilen kazıklar, vidalı kazıklar, kompozit kazıklar) ve yerleştirme işleminin çevre zemini üzerindeki etkisine göre sınıflandırılırlar.

2.1.1 Kullanılan Malzeme Cinsine ve Yapım Teknolojisine Göre Sınıflandırma

Kazıklar, yapımları için kullanılan malzemenin cinsine ve yapım yöntemlerine göre; beton, çelik, ahşap ve kompozit kazıklar olarak sınıflandırılabilirler. Ayrıca kazıklar ayrı ayrı firmaların keşfettikleri ve patentlerini almış oldukları yöntemlere göre de imal edilirler. Bu tür kazıklara ilişkin özellikler firma kataloglarında gösterilirler. Kazıklı temel dizayn edilirken genel olarak birçok alternatif arasından tercih yapılır. Tercih işlemi yapılırken kazık özellikleri çok iyi tespit edilmeli, maliyet, inşaat süresi, zemine yerleştirilirken çevrede meydana getireceği etkiler ve ihtiyaç duyulan kapasiteyi karşılayabilmesi açısından tüm alternatifler arasından en uygun olan kazık tercih edilmelidir. Yapımları için kullanılan malzemenin cinsine göre kazıklar aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar:

2.1.1.1 Ahşap Kazıklar

Ahşap kazıklar çok eski zamandan beri kullanılan kazık tipidir. Ahşap kazıklar hafif oldukları için kolayca nakledilebilirler. Özellikle killi zeminlerde, zemin ile kazık arasında iyi bir aderans sağlarlar. Su seviyesi altında uzun ömürlü olan ahşap kazıklar su seviyesinin üstünde mantar ve bazı böcekler nedeniyle çürüyebilirler. Ahşap kazıklar basınçlı kreozot uygulanmak suretiyle çürümeye karşı korunabilirler.

Ahşap kazıklar sert zeminlere çakılırken önemli deformasyonlara uğrayabilir. Bu tip zeminlerde pek tercih edilmemekle birlikte eğer uygulanacaksa çakma işlemi sırasında kazığın davranışı çok iyi takip edilmelidir.

Ahşap kazıkların taşıma gücü yüksek değildir. Yaklaşık olarak 20-25 cm çaplı bir kazığın taşıyabileceği yük 200-300 KN civarındadır [2].

2.1.1.2 Betonarme Kazıklar

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kazık tipidir. Bir çok yöntem ile imal edilen bu kazıkları iki kategoride incelemek mümkündür:

a) Betonarme Çakma Kazıklar:

Bu tip kazıklar fabrikada imal edilir şantiyeye taşınır ve vinçler vasıtası ile bir çakma sehпасına konulur ve üzerine düşürülen ağırlık vasıtası ile zemine çakılırlar. Kazıkta kullanılacak beton kalitesi zemindeki yer altı suyu ve yeraltı suyunun içerdiği kimyasal maddelerin etkileri dikkate alınarak yapılır. Genellikle sabit kesitli olarak imal edilen bu tür kazıklarda kazık ucu sivridir ve çakma işlemi sırasında zarar görmemesi için çarık denilen çelik parça ile korunur. Betonarme kazıklar moment ve kesme kuvvetini alacak şekilde enine ve boyuna donatı ile donatılırlar. Bu donatılar kazıkların transferi ve yerleştirilmesi sırasında da güvenliği sağlarlar. Kazıklar vinç ile kaldırılırken ya kazık ortasından ya da kazık uçlarına kazık boyunun 1/3'ü kadar mesafeden askıya alınmalıdır. Aksi halde kazıkta kırılma ve benzeri deformasyonlar oluşabilir. Betonarme çakma kazıklarda minimum donatı oranı % 1- % 4 arasındadır.

Çakma betonarme kazıklarda inşaat sırasında kazık boyunun ayarlanması, kazığın kesilmesi, kısaltılması veya kazığa ek yapılması işleri oldukça zordur. Kazıklara ilave yapılması gerektiğinde mevcut kazığın üst kısmından filiz donatısı olacak uzunlukta donatı açığa çıkarılır ve ilave donatılar uygun bindirme boyu dahilinde bağlanarak, ilave bölüm oluşturulur. Ek kısmının çevresine çelik manşon konulması uygun olur.

Betonarme kazıklar santrafuj tezgahları kullanılarak donatı ve çelik tellerin kullanımıyla boru şeklinde ön germeli kazıklar olarak da imal edilebilirler [2].

b) Yerinde Dökme Kazıklar:

Uygulamada fore kazık, sondaj kazığı veya delme kazığı olarak adlandırılan bu kazıklar; sondaj teknikleri kullanılarak veya boş bir borunun çakılması suretiyle oluşturulan şaft içine gereğinde donatı da yerleştirilerek betonlanması sonucu elde edilirler. Fore kazıklar çakma kazıkların aksine zeminde ötelenme ve sıkışma meydana getirmezler.

Bu tür kazıklar ülkemizde çok yaygın olarak kullanılırlar, bu tip kazıkların avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz [2]:

Avantajları:

- 1) Zemin şartları uygun olduğu sürece kısa sürede imal edilebilirler.
- 2) Büyük çapta ve derinlikte imal edilebilirler.
- 3) Çakma kazıklarda çakma sırasında karşılaşılan taş ve bloklar, bu tip kazık imalatı sırasında sondaj işlemi nedeniyle engel teşkil etmezler.
- 4) İmalatı sırasında önemli titreşimler oluşturmazlar, bu nedenle şehir içinde ve komşu binaların olduğu alanlarda imal edilmesinin herhangi bir sakıncası yoktur.
- 5) Kazıklar yerinde üretildiği için avantajlıdır.
- 6) Gerekli durumlarda kazık dibinde enjeksiyon yapılarak veya kazık ucunda aşırı tokmaktama yapılarak, kazık ucunda genişletilmiş bölge (soğan) oluşturulur ve böylece kazığın çekmeye karşı direnci artırılır.
- 7) Açılan şaftta geçilen zemin türlerinin takibi yapılabilir ve istenen kapasiteye sahip sağlam zemine inildiği kolayca kontrol edilebilir.
- 8) Fore kazıklarda kazık boyu imalat sırasında ayarlanabilir.

Dezavantajları ve dikkat edilmesi gereken hususlar:

- 1) Yağışlı ve kötü hava koşulları sondaj işlemini aksatır.
- 2) Kazık betonu hazırlanırken istenilen özelliklerde betonun temini ve uygulama sırasında sıkı takip gereklidir.
- 3) Yer altı suyunun varlığı ; kazık betonuna zarar verebilir, kazık deliği çevresindeki zeminde gevşeme oluşturabilir ve kazık ucunda kaynamaya neden olabilir. Bu durumların imalat öncesi yapılacak zemin etütleri ile öngörülmesi ve önlemlerinin alınması gerekir.
- 4) Fore kazıkları genellikle uç kazığı olarak kullanılırlar. Sert killerde kazık deliği kendini tutabilir ve deliğin üst 4-5 metresi dışında muhafaza borusu gerekmebilir. Ancak kuru ya da ıslak olsun; kum-çakıl, yumuşak kil, siltli kil, çamur ile yer altı suyu altındaki silt veya ince kum zeminlerin varlığı deliğin açılması işlemini zorlaştırabilir . Bu tip deliklerde sürekli muhafaza borusu indirilerek açılır. Beton döküldükten sonra muhafaza borusu çekilir. Yer altı suyunun betonu yıkama tehlikesinin olduğu yerlerde muhafaza borusu içine daha ince ikinci bir boru indirilir. Muhafaza borusu çekilir, ikinci boru içeride bırakılır. Ancak bu durumun kazık-zemin arasındaki sürtünmede azaltmaya neden olabileceği gözden kaçırılmamalıdır.
- 5) Fore kazıkların proje ve inşası sırasında dikkat edilmesi gereken şartlar ve tavsiyeler detaylı olarak TS 3168’de verilmektedir.

2.1.1.3 Çelik Kazıklar:

Bu kazıklar çakma kazık olarak kullanılırlar. Çelik kazıklar H veya I profili veya dairesel boru şeklinde olabilir. Boru şeklinde olanların uçları açık veya kapalı olabilir. Bu borular çakıldıktan sonra içi betonlanır. Çakma sırasında uçları takviye edilir. Kazığın uzatılması gerektiğinde perçin, bulon veya kaynak yapılırsa da pek çok şartname kaynak yapımını uygun görmektedir. Çelik kazıklar yer altı suyunun zararlı madde içermesi halinde ve deniz içinde çabuk çürürler. Çürüme oksijenin varlığına bağlıdır. Bu nedenle çelik kazıklar kumlu zeminlerde çok uzun ömürlü olmazlar, sert ve katı killerde ise oksijen azlığı nedeniyle daha uzun süre hizmet verirler. Çürümeye karşı çelik kazıkların dış yüzeylerine bitümlü maddeler sürülür , beton gömlek içine alınabilirler veya katodik yöntem ile korunabilirler [2].

2.1.1.4 Kompozit (Karma) Kazıklar

Kompozit kazıklar, birden fazla farklı malzeme kullanılarak yapılan kazıklardır. Genellikle bu tip kazıkların alt kısmı ahşap, üst kısmı da beton veya çelikten oluşur. Ahşap kısım, çürümeden etkilenmeyeceği derinliklere (örneğin yer altı su seviyesinin tamamen altına) kadar çakılır. Sonra üst kısım beton olarak, şartlara göre gereğinde kaplama borusu yerinde bırakılarak imal edilir. Bu tip kazıkların uygulama alanı geniş değildir [2].

2.1.1.5 Özel Kazıklar:

Son yıllarda çeşitli amaçlar için özel kazıklar kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan “Mini Kazıklar” 10-25 cm çapında olup, foraj yolu ile açılan deliğin basınç altında (gereğinde demir donatı da konarak) betonlanması ile oluşturulurlar. Mini kazıkların taşıma gücü yüksek olabilmektedir. Örneğin; 25 cm çaplı bir kazık 100 KN basınç yükü taşıyabilir. Kısa sürede pek çok kazığın yapılabilmesini öngören projeler için uygun olabilirler. Ancak bu kazıkların moment taşıma kapasiteleri yok denecek kadar azdır. Pratikte bu hususa çok dikkat etmek gerekir [2].

“Zemin Çivisi” denilen uygulamada bir anlamda kazık sayılabilecek elemanları doğal zemine çakmak, delik açarak yerleştirmek ve/veya titreşimle yerleştirmek yoluyla zeminin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu tür uygulamalar daha çok şev stabilitesi, kazılar sırasında denge güvenliğini sağlamak ve mevcut yapıları takviye etmek amacıyla yapılır.

“Kum Kazıklar”, zemin iyileştirilmesinde kullanılan, fore kazık veya çakma kazık tekniği ile imal edilen ancak demir ve betonun kullanılmadığı tipte kazıklardır. Yumuşak killerde 70-80 cm çaplı, 2-3 metre aralıkla yerleştirilen bu kazıklar hem zemin taşıma gücünü arttırmakta hem de oturmaları azaltmaktadır. Zemin iyileştirmesi için ön yükleme uygulaması yapılması halinde bu kazıklar zeminin geçirgenliğini artırarak oturmanın hızlanmasını sağlarlar. Kazıkta kullanılacak ayırık daneli malzemenin içine kil tanelerinin girerek özelliğini bozmaması için kazık yapımında geodren fitilleri daha ekonomik olmaları ve daha kısa sürede çakılmaları nedeni ile bu tür kazıkların uygulaması çok azalmıştır.

2.1.2 Kazıkların Zemine Yerleştirme Yöntemine Göre Sınıflandırılması

Bu sınıflandırmaya göre kazıklar, zeminde çok yer değiştirmeye neden olan kazıklar, zeminde az yer değiştirmeye neden olan kazıklar ve zeminde yer değiştirmeye neden olmayan kazıklar olmak üzere BS 8004 (1986)' e göre aşağıdaki üç kategoride incelenir [19]:

2.1.2.1 Zeminde Çok Yer Değiştirmeye Neden Olan Kazıklar

Genel olarak çakma kazıklar bu gruba girmektedir. İçi boş ancak alt ucu kapalı kesitlerin veya içi dolu kesitlerin zemine çakılıp yerinde bırakılmalarıyla oluşturulurlar. İçi dolu kesitler ahşap veya hazır beton (normal donatılı veya ön germeli) kazıklardır, içi boş kesitler ise çelik boru veya beton boru kazıklar olabilirler. İçi boş kesitli kazıkların içleri çakıldıktan sonra boş bırakılabilir veya betonla doldurulabilir [19].

2.1.2.2 Zeminde Az Yer Değiştirmeye Neden Olan Kazıklar

H kesitli, ucu açık veya kutu çelik kazıklar çakma sırasında uçlarında bir tıkaç oluşturumuyorsa zeminde çok az yer değiştirmeye neden olurlar. Büyük çekme kuvvetleri taşınabilen çelik vida kazıklar da bu grup kazıklara örnektir [19].

2.1.2.3 Zeminde Yer Değiştirmeye Neden Olmayan Kazıklar

Zemin kazılarak bir boşluk açılıp, bu boşluğun beton ile doldurulması ile oluşturulan kazıklardır. Boşluk kenarlarının desteklenip desteklenmemesi, destekleniyorsa kalıcı mı yoksa geçici mi olduğu, geçici ise bir kılıf yardımı ile mi yoksa sondaj çamuru ile mi yapıldığına göre değişik kazık türlerinden söz edilebilir.

Bir kazığın yerleştirilme metodu yük taşıma kapasitesi ve yük-oturma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çeşitli kazık tipleri ve bunların yerleşimine ait detaylar Tomlinson (1977) ve Fleming (1992) tarafından verilmiştir. Tablo 2.1' de bazı kazık tiplerinin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir [19].

Tablo 2.1 Çeşitli kazık tiplerinin avantaj ve dezavantajları -Tchepak, 1997 [19]

Kazık Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Betonarme çakma kazıklar	• Zeminde yerdeğiştirmeye neden olan kazık performansı gösterirler, • Nispeten ekonomiktirler, • Güvenli temel inşası.	• Gürültü ve vibrasyona ilişkin potansiyel problemlere neden olur, • Büyük uzunluklarda mekanik bağlantılı birleşim detayları gerekir, • Kazık başlığı gerekir, • Eğilme ve çekmede nispeten zayıftır.
Sondaj kazıkları	• Kazık başlığı gerekmez. • Gürültü ve vibrasyon etkisi yoktur, • Büyük çaplar için yüksek eğilme dayanımına sahiptirler.	• Kaldırılması gereken cüruf varlığı (yüksek maliyete neden olur.), • Sondaj sıvısı kazık performansında belirsizliğe neden olabilir, • Pahalı olabilir.
Yerinde dökme kazıklar	• Zeminde yerdeğiştirmeye neden olan kazık performansı gösterirler, • Güvenli temel inşa koşulları, • Çeşitli zemin koşullarına uyum sağlayabilme, • Düşük maliyet,	• Potansiyel vibrasyon problemleri, • Genellikle kazık başlığı gereklidir.
Burgulu kazıklar	• Vibrasyon ve gürültüden bağımsız, • Genellikle hızlı yerleşim.	• Nispeten yüksek maliyet. • Kaldırılması gereken cüruf (maliyeti arttırabilir.), • Zeminde yerdeğiştirmeye neden olmayan kazık performansı gösterir, • Kapsamlı saha araştırması gerekliliği,
Vidalı kazıklar	• Zeminde yerdeğiştirmeye neden olan kazık performansı gösterirler, • Çok güvenli inşa, • Cüruf yoktur, • Vibrasyon ve gürültüden bağımsızdır.	• Kazık başlığı gerektirir. • Nispeten düşük eğilme kapasitesine sahiptir.

2.1 Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler

Kazık tipinin seçiminde birçok faktör etkilidir. Fakat Tomlinson (1994) üç ana faktör belirlemiştir [23]:

- 1) Yapının tipi ve yerleşimi,
- 2) Zemin koşulları,
- 3) Durabilite.

Bunlar kazık tiplerini bir ya da iki ana gruba indirgeyerek kazık seçimini kolaylaştırır ve en son seçim ekonomik şartlara bağlı olarak yapılır.

Kazık seçimini etkileyen etkenlerin tamamını ise şöyle sıralayabiliriz [11]:

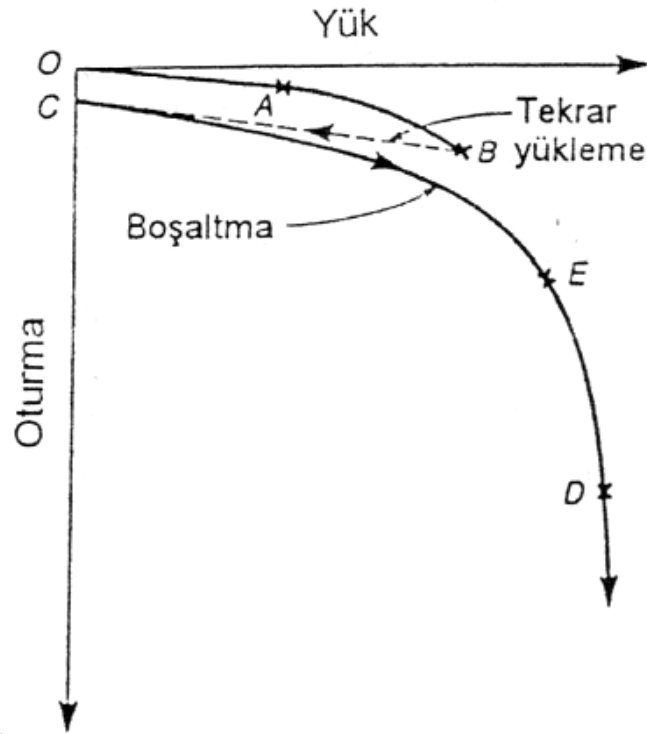
- 1) Ekonomi
- 2) Kazık boyu, boyların eşit veya değişken olması, boyların değişken olması durumunda uygulanabilirlik.
- 3) Mevcut zemin şartlarında, her tipin emniyetle taşıyabileceği yük.
- 4) Kazıkların, zeminde imalinde kolaylık, imalat hızı veya hazırlanma ve çakılma hızı.
- 5) Kazık başlıklarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyete alınabilmesi
- 6) Gerektiğinde kazık sayısını artırabilme esnekliği.
- 7) Eski yapıya ilave kazık yapılması durumunda, önceden yapılmış kazıkların tipi.
- 8) Eğik kazık gerektiğinde, kazığın belirli bir açı ile uygulanabilme kolaylığı.
- 9) Uygulanacak kazık tipi için yüklenici ve işverenin (ya da işveren adına müşavirlik yapan kişi ya da kuruluşun) tecrübesi.

3. ZEMİN İÇİNDE KAZIK DAVRANIŞI

3.1 Düşey Yük Altında Tek Kazık Davranışı

3.1.1 Kazığın Yük Altındaki Davranışı

Kazık, kısa sürede artan düşey yük etkisi ile Şekil 3.1'deki gibi Yük-Oturma davranışı gösterir:

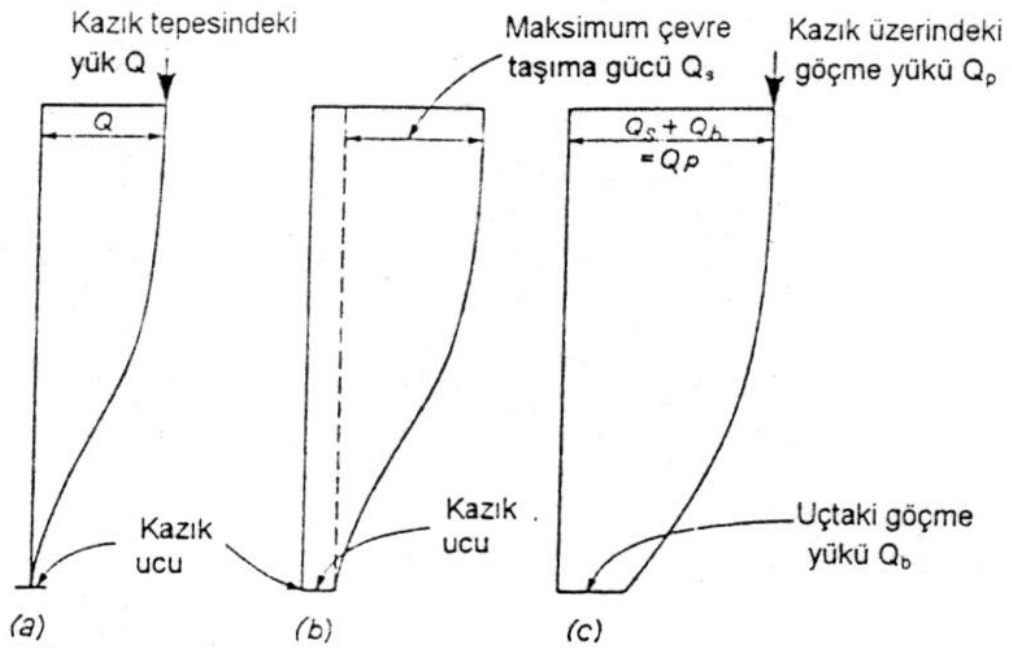


Şekil 3.1 Yük-Oturma eğrisi (Kazığı göçmeye ulaştıran yük etkisi ile) [23]

O ile A noktası arasında yük ile oturma arasındaki ilişki lineerdir. A noktasından sonra akma başlamıştır ve B noktasına kadar kayma ve kazık-zemin ara yüzü oluşur. B noktasında kazık şaftında maksimum çevre sürtünmesi mobilize olmaktadır. B noktasında kazık üzerindeki yük boşaltılacak olursa, kazık tabanı C noktasına dönecektir. Düşey eksenindeki OC mesafesi “kalıcı oturma” olarak adlandırılır. C, E

ve D noktaları arasındaki eğri üzerinde kazık uç direncinin mobilize olduğu ve D noktasında kazık uç direncinin tamamen mobilize olduğu görülmektedir. Maksimum çevre sürtünmesini mobilize eden hareketin kazık çapının % 0.3~1.0'i kadar, kazık uç direncini mobilize eden hareketin ise kazık taban çapının % 10~20'si kadar olduğu tespit edilmiştir. D noktasından itibaren yükteki çok küçük artışların, büyük deplasmanlara neden olduğu görülmektedir.

Kazık çevresine bir ölçüm düzeneği kurulacak olursa, Şekil 3.1'de verilen A,B ve D yük değişim mertebelerinde kazıktan, zemine aktarılan yük değişiminin Şekil 3.2'deki gibi olduğu görülür. Bu şekillerde A noktasına kadar kazık üstündeki yüklerin çevre sürtünmesi ile karşılandığı, A ile B noktası arasında yükün çevre sürtünmesi ile birlikte kazık uç direnci tarafından karşılandığı ve D noktasında ise kazık uç direncinin en büyük değerine ulaştığı ve çevre sürtünmesi ile yük aktarımının olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.2 Kazığın yük transferi [23]

- Şekil 3.1'deki verilen yük-oturma eğrisindeki A noktasında yük transferi durumu
- Şekil 3.1'deki verilen yük-oturma eğrisindeki A-B noktaları arasındaki yük transferi durumu
- Şekil 3.1'deki verilen yük-oturma eğrisindeki D noktasında yük transferi durumu

Çevre sürtünmesi ve kazık uç direnci, ayrı kavramlar olarak, kazık taşıma kapasitesinin statik hesabına temel oluştururlar. Kazığın nihai taşıma gücünün hesabında kullanılan denklem şöyle gösterilebilir:

$$Q_p = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.1)$$

Q_p : Kazığın nihai taşıma gücü,

Q_b : Kazığa ait nihai uç direnci,

Q_s : Kazığın çevre sürtünmesi direnci,

W_p : Kazığın ağırlığı.

Kazığın nihai taşıma gücü Q_p 'nin bileşenleri Q_b ve Q_s Şekil 3.2c'de görülmektedir. Kazığın ağırlığı, W_p ise çoğu zaman ihmal edilir.

Eurocode 7'ye göre Q_p , Q ve kazığın taşıma kapasitesi $Q_b = Q_{bk} / \gamma_B$ 'yi ve shaft direnci olarak $Q_s = Q_{sk} / \gamma_B$ şeklinde gösterilir [22]:

$$Q_{bk} = q_{bk} \cdot A_b \quad (3.2)$$

$$Q_{sk} = \sum_{i=1}^n q_{slk} \cdot A_{si} \quad (3.3)$$

A_b : Kazık tabanının kesit alanı,

A_{si} : Kazığın i zemini içerisinde kalan yanal alanı,

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

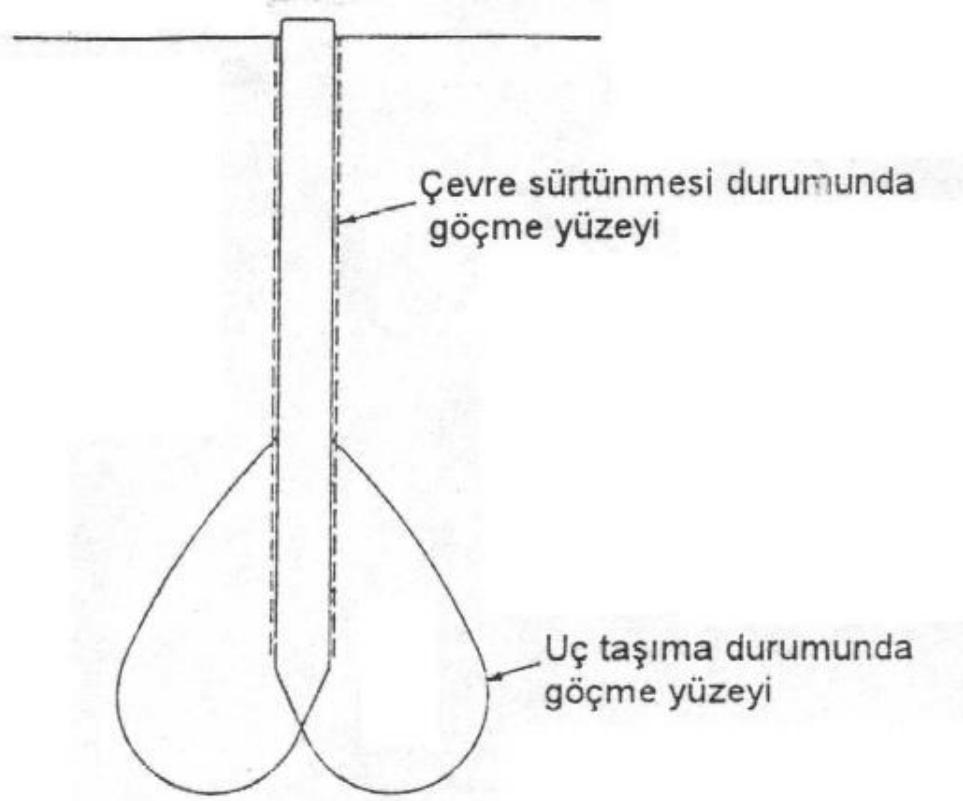
q_{slk} : i tabakasındaki shaftın birim m^2 'sindeki direncin karakteristik değeri.

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.

3.1.2 Göçme Yükünün Tanımı

Şekil 3.1'de yük-otuma eğrisinde D noktasına karşılık gelen yükleme nihai taşıma gücü veya nihai limit durum olarak adlandırılır. 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 bükülmeye neden olunca biter. Bu safha Şekil 3.1'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 yüzeyi, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Düşey Yük Altındaki Kazıklarda Kayma Yüzeyleri [23]

3.1.3 Kazıklarda İzin Verilen Yükler

Düşey yük altında bir kazığın taşıyabileceği maksimum yükün bulunuşu için amprik ve yarı amprik değişik yöntemler bulunmakla birlikte genelde uygulama alanı bulanlar aşağıda verilmiştir:

1. Zemin mukavemeti tekniklerinin kullanıldığı statik analizler,
2. Arazi deneyi sonuçlarını kullanan amprik analizler (SPT, CPT, Presyometre, v.b.),
3. Dinamik çakma direnci analizleri (Kazık çakma eşitlikleri, dalga yayılma eşitlikleri v.b.),
4. Kazık yükleme deneyi analizleri.

Kazığın taşıyabileceği tahmin edilen maksimum yük bir güvenlik sayısına bölünerek güvenle taşıyabileceği yük bulunabilir. 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 kalacağının gösterilmesi gerektiği açıktır.

Uygulanacak güvenlik sayısı maksimum yük kapasitesinin tahminindeki güvenilirlik ve kazığın inşaatı sırasındaki denetime bağlı olarak değişecektir. Bu durumlar için önerilen değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları [25]

Kontrol ve Tahmin *	Artan Yapım Kontrolü				
Zemin İncelemesi	X	X	X	X	X
Statik Analiz	X	X	X	X	X
Çakma Eşitlikleri	X	-	-	-	-
Dalga Yayılma Hızı	-	X	X	X	X
Dinamik Ölçüm	-	-	X	-	X
Yüklemeye Deneyi	-	-	-	X	X
Güvenlik Sayısı, FS	3.50	2.75	2.25	2.00**	1.90

Notlar:

* Adı geçen kontrat belgelerinde tanımlanmalıdır.

** Yükleme deneyinin dahil edildiği herhangi bir kontrol kombinasyonunda FS=2.00 alınabilir.

Yukarıda verilen güvenlik sayıları yükler altında önerilen değerler olup Tablo 3.2’de yüklemenin normal, seyrek beklenen ve nadir beklenen durumlar için farklı güvenlik sayıları önerilir.

Tablo 3.2: Kazık taşıma güçleri için güvenlik sayıları - ASCE,1993 [24]

Taşıma Gücü Tahmini ve Kontrol	Yük Koşulu	Minimum FS	
		Basınçta	Çekmede
Kazık yükleme deneyi ile doğrulanan teorik veya amprik tahmin.	Normal	2.0	2.0
	Seyrek	1.5	1.5
	Çok Seyrek	1.15	1.15
Kazık çakma analizcisi ile doğrulanan teorik veya amprik tahmin	Normal	2.5	3.0
	Seyrek	1.9	2.25
	Çok Seyrek	1.4	1.7
Yükleme deneyi ile doğrulanmayan teorik veya amprik veya tahmin	Normal	3.0	3.0
	Seyrek	2.25	2.25
	Çok Seyrek	1.7	1.7

3.1.4 Kazıklarda Uç Taşıma Gücü

Kazık ucunun taşıyabileceği maksimum yükün zemin mukavemet parametrelerine dayalı olarak tahmini Terzaghi ve Meyerhof tarafından yüzeysel temeller için önerilen formda yapılabilir. Bu denklem aşağıda verilmiştir [25]:

$$q_b = c.N_c^* + q.N_q^* + \gamma.B.N_\gamma^* \quad (3.4)$$

q_b : Birim alanda taşınabilecek maksimum yük

N_c^* , N_q^* , N_γ^* : Şekil ve derinlik faktörlerini içeren taşıma gücü katsayıları,

q : Sürşarj yükü ,

c : Kohezyon veya drenajsız kayma mukavemeti S_u ,

B : Kazık taban genişliği,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı.

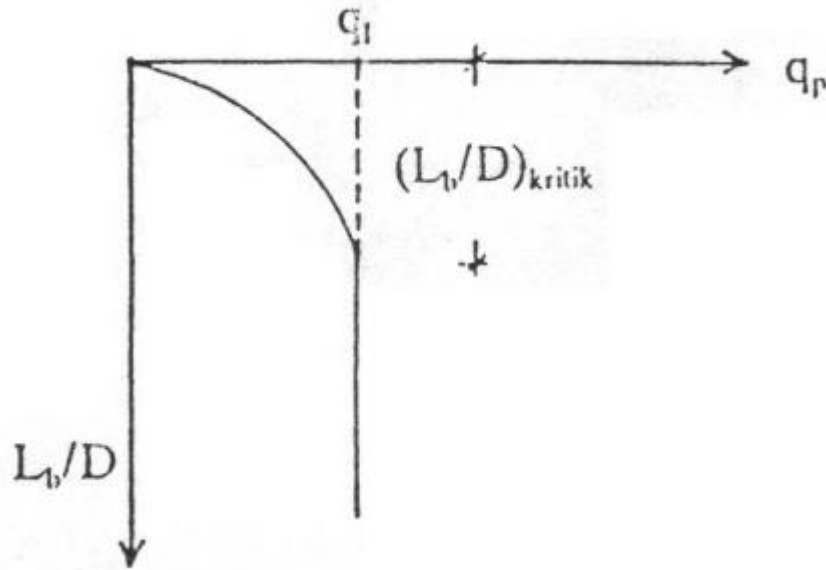
N_c^* , N_q^* , N_γ^* taşıma gücü katsayıları, kazıkların derin temellere girmeleri nedeniyle yüzeysel temeller için tarif edilen değerlerden farklı değerlerdir (Şekil 3.4). Kazıklar için temel genişliği B yerine (3.4) eşitliğinde D çapını düşünmek gerekir. Son terimin

diğerleri yanında küçük olacağı düşünölür, (3.4) eşitliğı efektif gerilmeler cinsinden yazılırsa,

$$q_b = c' . N_c' + q . N_q' \quad (3.5)$$

elde edilir [25].

Kazık uç kapasitesinin derinlikle artmakla birlikte kritik bir derinlikten sonra sabit kaldığı ileri sürölmektedir (Şekil 3.4). Yumuşak ve taşıma gücü az olan zeminleri geçtikten sonra iyi nitelikteki tabakalara giren kazıklarda toplam kazık boyu L , kazığın taşıyıcı tabakadaki boyu L_b ' den farklıdır. Denklem 3.5'deki taşıma gücü faktörlerinin her ikisinin de L_b/D oranı ile değıştiğı saptanmış olup kritik bir oranda maksimum değörlere ulaşmaktadırlar. Pratikteki uygulanan kazık boy ve çap değörleri bu faktörlerin maksimum değörlere ulaşmaları için yeterli olup araştırmacılar bu oranın 10-20 arasında değıştiğini ileri sürmektedirler.



Şekil 3.4 Kazık uç kapasitesinin derinlikle değışimi [24]

3.1.4.1 Killi Zeminlerde Uç Taşıma Kapasitesi

Killi zeminlerde inşaat sonrası durum taşıma gücü yönünden daha kritik olduğundan drenajsız durumda $\Phi_u=0$ olur ve bu durum için $N_c=9$ alınarak uç taşıma kapasitesi şu şekilde hesaplanır [25]:

$$Q_p = N_c . c_u . A_p = 9 . c_u . A_p \quad (3.6)$$

Q_p : Nihai kazık uç taşıma direnci,

A_p : Kazığın Plandaki Alanı,

N_c : Taşıma gücü katsayısı,

c_u : Örselenmemiş drenajsız kohezyon.

Canadian Foundation Engineering Manual, büyük çaptaki fore kazıklarda N_c , taşıma gücü katsayısının daha az alınmasını önermektedir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Kazık Çapı (D) – N_c ilişkisi [25]

D (m)	< 0.5	0.5-1.0	>1.0
N_c	9	7	6

AASHTO (1992) ise bu taşıma gücü faktörü için,

$$N_c = 6 \left(1 + 0.2 \frac{L}{B} \right) \leq 9 \quad (3.7)$$

alınması önermektedir, birim alanda taşınacak yükün 500 kPa ile sınırlandırılmasının 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. Derin temelin çapı $D > 1.90$ m ise ve oturması ayrıca analiz edilmeyecekse,

$$F_r = \frac{2.5}{\left(\frac{q.B}{12} + 2.5b \right)} \quad (3.8)$$

ile tarif edilen birim alanda taşınacak yük çarpılarak azaltılmalıdır. Burada,

$$a = 0.0071 + 0.0021 \frac{L}{B} < 0.015 \quad (3.9)$$

$$b = 0.45(c_u)^{0.5} \quad 0.5 < b < 1.5 \quad (3.10)$$

ile verilmektedir.

3.1.4.2 Ayrık Daneli Zeminlerde Kazık Uç Taşıma Kapasitesi

Ayrık daneli zeminlerde $c'=0$ olduğu düşünülürse bir kazığın nihai uç taşıma gücü bulunur [24]:

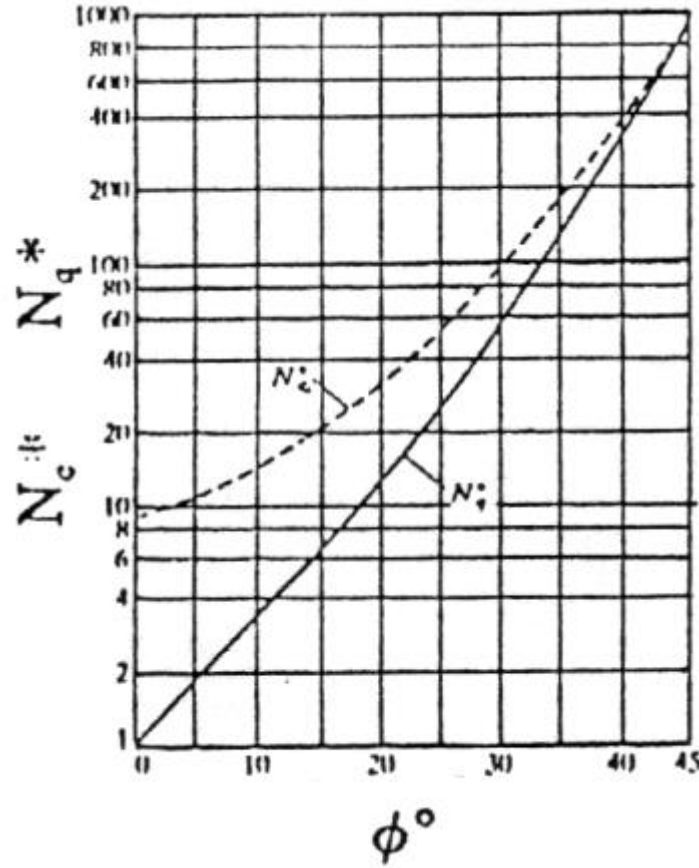
$$Q_b = N_q^* \cdot \sigma_{vo}' \cdot A_b \quad (3.11)$$

Q_b : Kazık nihai Uç Kapasitesi,

A_b : Kazığın plandaki alanı,

σ_{vo}' : Kazık ucu seviyesindeki efektif düşey gerilme,

N_q^* : Taşıma gücü katsayısı.



Şekil 3.5 Kazıklar için taşıma gücü faktörleri [24]

N_q^* taşıma gücü katsayısı, Şekil 3.5'teki diyagram yardımıyla bulunabileceği gibi varsayılan göçme mekanizmalarına bağlı olarak değişik araştırmacılar tarafından

birbirinden farklı değerlerin kullanılması da önerilmiştir. Kazık yükleme deneyleri dikkate alınarak ϕ 'ye bağlı değerler Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 N_q^* Taşıma gücü katsayısı için NAVFAC önerileri [24]

ϕ° (*)	26	28	30	32	34	36	38	40
N_q Çakma Kazıklar	10	15	21	29	42	62	86	145
N_q Fore Kazıklar (**)	5	8	10	14	21	30	43	72

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

(**) YASS altında taban temizliği yakalama kovanı yapılıyorsa $\phi=28^\circ$ alınmalıdır. Büyük çaplı kazıklarda oturma daha kritik olup eşdeğer temel oturmasının % 50'si alınmalıdır.

3.1.5 Kazıklarda Çevre Taşıma Gücü

Kazıkların yanal yüzeyler ile taşıyabilecekleri maksimum yük 3.12 eşitliği ile ifade edilebilir [25]:

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f \quad (3.12)$$

Q_s : Kazık çevre taşıma gücü,

p : Kazık çevresi,

ΔL : f ve p 'nin sabit alınabileceği kazık uzunluğu parçası,

f : Birim sürtünme direnci

3.1.5.1 Killi Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü

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 basıncı zamanla sönümlenip daha kuvvetli bir ortam doğabilir. Ancak hassas veya aşırı konsolide olmuş killerde örselenmemiş hale göre sonuçta daha küçük mukavemette bir ortam oluşması beklenir.

Fore kazıklarda ise yaklaşık 25 mm kalınlıkta bir bölgede yumuşama olmakta ve zamanla bu bölgenin kayma mukavemetinde önemli değişimler olmamaktadır. Hesaplarda pratiklik açısından düşük-orta hassas homojen killerde kazık inşaatı

sırasında kayma mukavemetinde değişiklik olmadığı varsayılabılır. Sert, fisürlü killerde kayma mukavemeti laboratuvar ortamında belirlenirken genel eğilim çatlaksız numuneler üzerinde ölçüm yapmak olduğu için bulunan değerlerin aşağıdaki eşitlik yardımı ile düzeltilmesi önerilmektedir:

$$c_u = c_{u(lab)} \cdot R_c \quad (3.13)$$

R_c : Düzeltme sayısıdır ve aşağıdaki değerler alınır:

$$\text{Çakma kazıklar için : } (D + 0.5) / 2D \leq 1 \quad (3.14)$$

$$\text{Fore kazıklar için : } (D + 1) / (2D + 1) \leq 1 \quad (3.15)$$

bağıntıları geçerlidir. Killi zeminlerde birim çevre sürtünmesi için değişik 3 grup verilebilir.

a) λ Yöntemi

Kazık çakılmasının neden olduğu yer değiştirmenin pasif itkinin doğması için yeterli olduğu varsayılarak aşağıdaki ifade yazılabilir [25]:

$$f_{av} = \lambda \cdot (\sigma_v' + 2c_u) \quad (3.16)$$

Burada λ kazık boyuna bağlı bir katsayısı, 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 kalınlıkları göz önüne alan ağırlıklı ortalamalar olmalıdır.

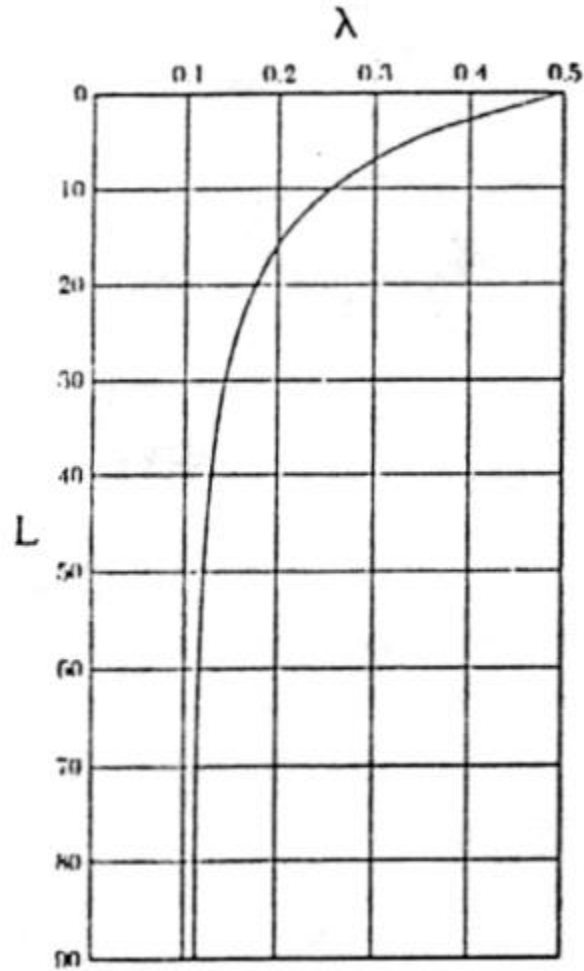
λ değerleri için Wolf (1995) aşağıdaki bağıntıyı önermektedir.

$$\lambda = -0.406 + (3.281L)^{-0.125} \quad (3.16a)$$

Burada L (m) olarak kazık boyudur.

Yükleme deneyleri sonucunda Şekil 3.6' da verilen λ eğrisinin biraz değiştirilerek $\lambda_{\min} = 0.14$ alınması önerilmektedir [24].

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



Şekil 3.6 λ yöntemi için değerler [24]

b) β Yöntemi

Kazıklar suya doymun killere çakıldıklarında kazık 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 kayma mukavemeti parametreleri ile bulunabilir. Diğer yandan sert, fisürlü

killerde drenajlı parametreler ile tahmin edilecek çevre kapasitesi daha kritik olabileceğinden bu tür bir analiz daha uygun olabilir. Buna göre birim sürtünme,

$$f = \sigma'_v \beta \quad \text{ve} \quad \beta = K \tan \phi'_r \quad (3.17)$$

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

$$\text{Normal konsolide kilerde } K=1-\sin \phi'_r \quad (3.18)$$

$$\text{Aşırı konsolide kilerde } K=(1-\sin \phi'_r)\sqrt{OCR} \quad (3.19)$$

tahmin edilebilir.

Normal konsolide kilerde 0.24-0.29 arasında bir β değeri tahmin edilebileceğini (ϕ' için 20° - 30° aralığında) ve formasyonlarda yapılan ölçümlerle uyum içerisinde olduğu belirtilebilir. Meyerhof 'da verdiği sonuçlarla benzer β değerleri olabileceğini doğrulamaktadır. Bununla birlikte çok uzun kazıklarda 0.15 gibi küçük bir değer elde edilebileceği de vurgulanmıştır. Yine Burland $K=K_o$, $\phi'=\phi'_r$ almanın sert kilerde teşkil edilen fore kazıklar için üst limit, çakma kazıklar için de alt limit olacağı ileri sürülmektedir [25].

b) α Yöntemi

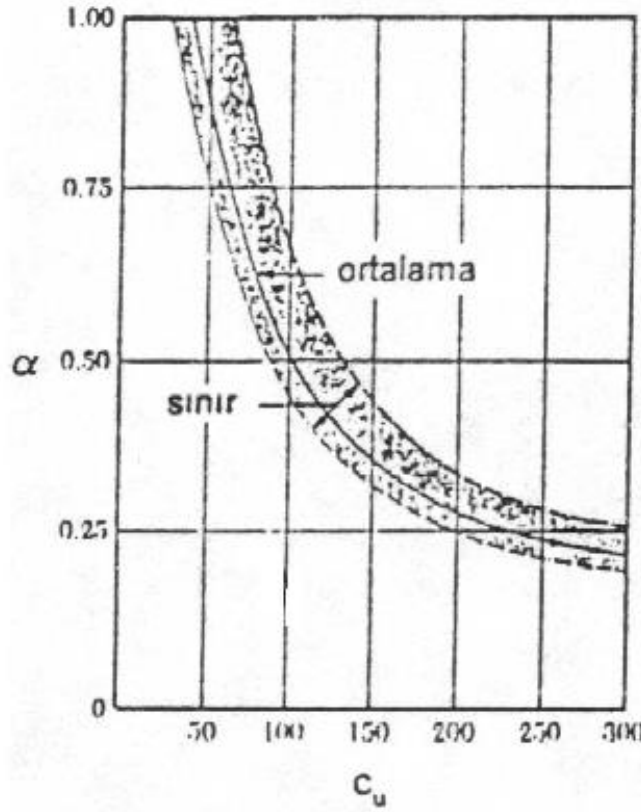
Birim çevre sürtünmesini, drenajsız mukavemetini amprik bir adhezyon faktörü α ile çarparak tahmin etme yöntemidir. Kilin yapısı ve mukavemetinin yanı sıra kazık yapım yöntemi ve boyutu ile zamanın, α üzerinde etkili olduğu ileri sürülebilir. İdeal olarak killi zeminler için adhezyon, yükleme deneyleri ile bulunabilirse de çoğu kez bu olanak olmadığından amprik olarak verilen eğrilerden alınmaktadır (Şekil 3.7).

Kilin üzerindeki tabakaların, adhezyon faktörüne olan etkisinin göz önüne alınmasını ve kazığın kil tabakasına girme miktarına bağlı olarak aşağıdaki değerleri önerilmektedir (Tablo 3.5). Kohezyonlu zeminlerde ASCE önerisi Şekil 3.9'daki gibidir.

Tablo 3.5 Adhezyon faktörü değerleri [24]

Zemin	(L/d) Giriş Oranı	α
Katı kil üzerinde kum ve kumlu zemin	<20	1.25
	>20	Bakınız Şekil 3.8a
Katı kil üzerinde yumuşak kil veya silt	8<...<20	0.40
	<20	0.70
Katı kil üzerinde başka tabaka yok	8<...<20	0.40
	<20	Bakınız Şekil 3.8b

Normal konsolide killerde çevre taşıma gücü hesabında β yöntemine benzer şekilde zemin cinsine göre ϕ' açısı alınmasını ve granüler zeminlerdekine benzer bir yaklaşımla tahminde bulunulması önerilmektedir (Tablo 3.6).

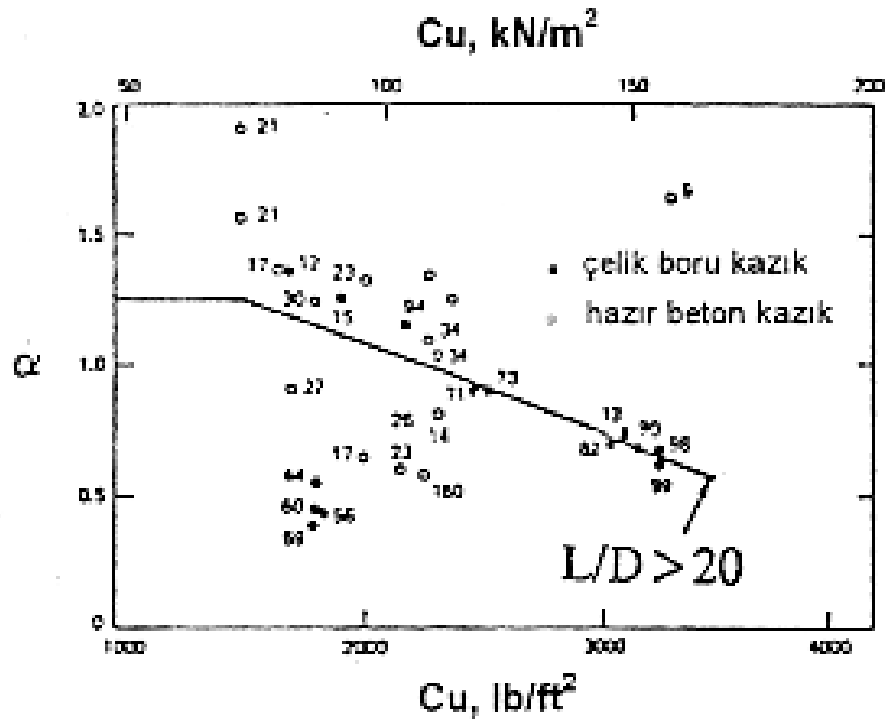


Şekil 3.7 Adhezyon faktörü [24]

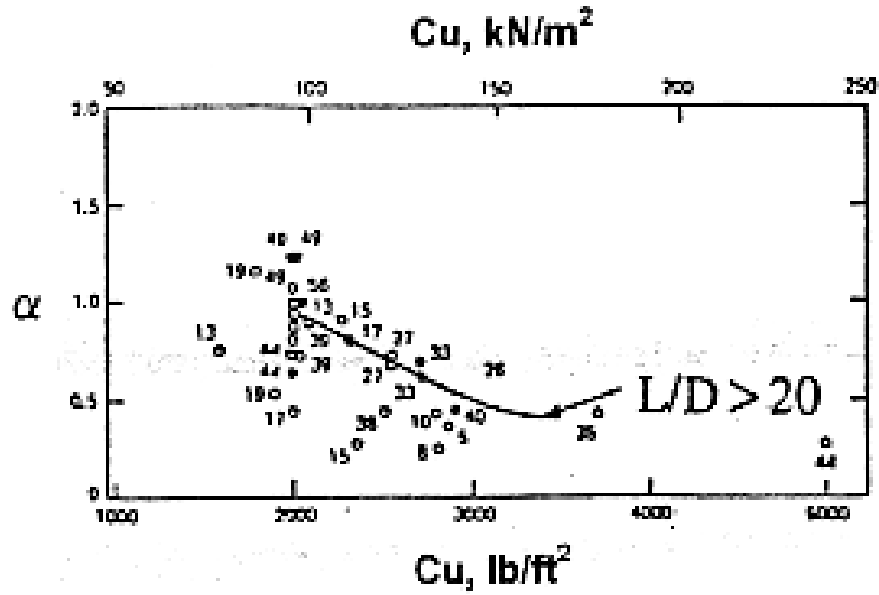
α yöntemi kullanılmak üzere şimdiye dek verilen yukarıdaki değerler çakma kazıklar için olup fore kazıklarda Tablo 3.7'deki verilen değerlerin kullanılması önerilir.

Tablo 3.6 ϕ' değerleri [24]

Zemin Tipi	Kıvam	ϕ' (°)
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	-	25-58

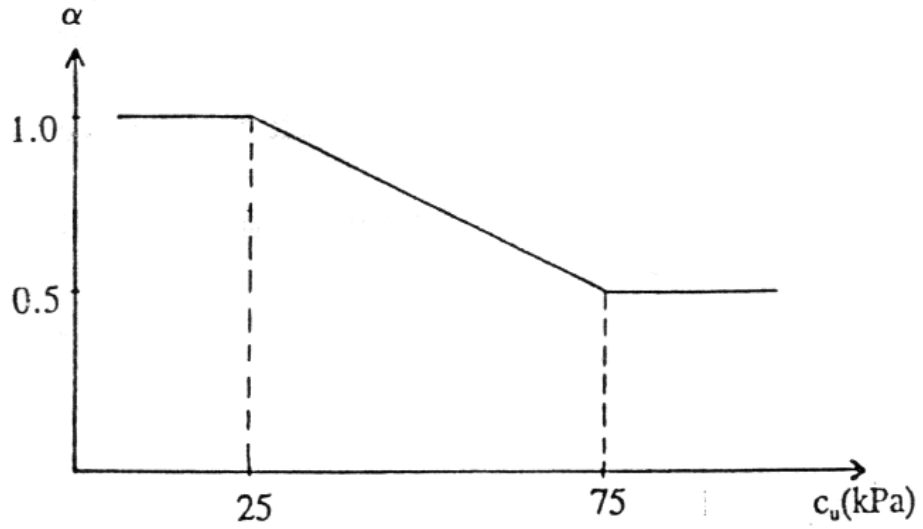


(a)



(b)

Şekil 3.8 Tabakalı zeminlerde α değerleri [24]



Şekil 3.9 α için ASCE önerisi [24]

Tablo 3.7 Killi zeminlerdeki Fore Kazıklar için α değerleri [24]

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 bentonite yer değiştirerek yapım	0.6	200	
b) Bazı yerlerde bentonit hapsedilme olasılığında	0.3	50	
B) Genişletilmiş uçlu kazıklar zemin koşulları a'daki gibi			
c) Kuruda veya bentonite yer değiştirerek yapım	0.3	50	(A (b) deki gibi)
d) Bazı yerlerde bentonit hapsedilme olasılığında	0.15	50	
Düz veya genişletilmiş uçlu kazıklar, çevreye göre çok rijit tabakaya oturuyorsa	0	0	

3.1.5.2 Ayrık Daneli Zeminlerde Çevre Taşıma Gücü

Kumlu zeminlerde birim sürtünme için

$$f_s = K \cdot \sigma'_V \cdot \delta \quad (3.20)$$

K: Yanal itki katsayısı,

σ'_V : Herhangi bir derinlikte efektif gerilme,

δ : Kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı,

yazılabilir (14).

Gerçekte K derinlikle değişmekte olup kazık başında K_b , kazık ucunda K_o 'dan küçük değerler alabilir ve çoğunlukla kazığın yerleştirilirken zeminde neden olduğu yer değiştirmelerle ilgilidir. Tablo 3.8' de K değerleri, Tablo 3.9'da K_o ' a bağlı bir başka K değerleri, Tablo 3.10' da rölatif sıkılık-sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_o ilişkisi görülmektedir. NAVFAC ise K için Tablo 3.11' deki değerleri önermektedir.

Tablo 3.8 K değerleri (Meyerhof,1976) [24]

Kazık Tipi	K
Fore kazıklar ve su jeti ile yerleştirilen kazıklar için	0.5
Zeminde az yer değiştirmeye neden olan kazıklar	1.0-1.5
Zeminde çok yer değiştirmeye neden olan kazıklar	1.0-2.0

Tablo 3.9 Yanal itki katsayısı (K) değerleri [23]

Kazık Tipi	K/K_o
Fore kazıklar	0.7-1.0
Zeminde az yer değiştirmeye neden olan kazıklar	0.75-1.25
Zeminde çok yer değiştirmeye neden olan kazıklar	1.0-2.0
Su jeti ile yerleştirilen hazır kazıklarda	0.5-0.7

Tablo 3.10 Rölatif sıklık- K_o ilişkisi [23]

RÖLATİF SIKILIK	K_o
Gevşek	0.5
Orta Sıkı	0.45
Sıkı	0.35

Tablo 3.11 K değerleri - NAVFAC, 1988 [24]

KAZIK TİPİ	K
H kesitli çelik kazıklar	0.5-1.0
Hazır çakma kazıklar	1.0-1.5
Konik çakma kazıklar	1.5-2.0
Su jeti ile yerleştirilen kazıklar	0.4-0.9
Fore kazıklarda	0.7

Eşitliklerde σ_v' düşey efektif gerilmesinin ayırık daneli zeminlerde kritik bir derinlikten sonra artmadığı bilinmektedir. Gevşek kumlarda 10 D, siltlerde 20 D derinliğe kadar artıp sonra sabit kaldığı deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Bu kritik derinliğin, zemin içsel sürtünme açısı ϕ ve rölatif sıklığı D_r ile zeminin sıkışabilirliğine bağlı olduğu biliniyorsa da pratik maksatlar için 15 D' ye eşit alınabilir.

δ kazık-zemin sürtünme açısı için zemin dane dağılımı ve kazığın cinsine bağlı olarak birçok değer önerilmektedir. Tablo 3.12' de bu değerler verilmektedir. Bu konuda Poulos ve Davis, $K_{tan}\delta$ değerinin ϕ 'ye bağlı olarak alınmasını, çakma kazıklar için Şekil 3.10b' yi, fore kazıklar için Şekil 3.10c' yi kullanmayı önermektedir. Zeminin kazık yerleştirilmeden önceki sürtünme açısı ϕ_1 , çakma kazıklarda $\phi=0.75 \phi_1+10^\circ$ alınacaktır.

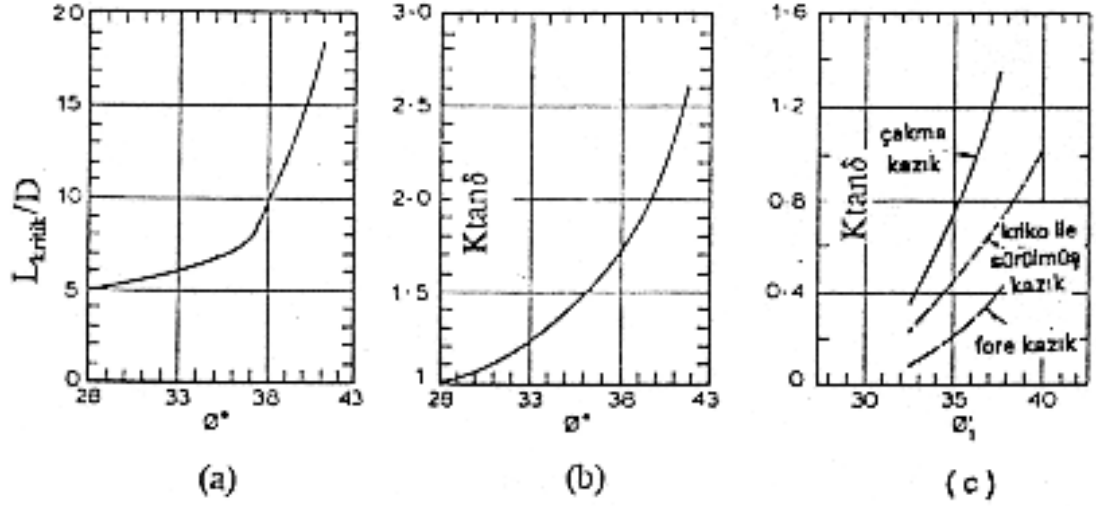
Tablo 3.12 Kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı δ - ϕ ilişkisi [24]

KAZIK CİNSİ	NAVFAC (1988)	ASCE (1993)
Çelik	20°	$(0.67-0.83) \phi$
Beton	$3 / 4 \phi$	$(0.9-1.0) \phi$
Ahşap	$3 / 4 \phi$	$(0.8-1.0) \phi$

Kazık-zemin ara yüzey durumu için alınabilecek kazık-zemin sürtünme açısı, δ değerlerini Tablo 3.13’ te görmekteyiz.

Tablo 3.13 Çeşitli ara yüzey durumları için, δ değerleri [23]

KAZIK-ZEMİN ARAYÜZEY DURUMU	δ
Düz (kaplanmış) çelik/kum (kaplanmış)	(0.5-0.7) ϕ'
Pürüzlü (oluklu) çelik/kum (ondüle)	(0.7-0.9) ϕ'
Önceden hazırlanmış beton/kum (hazır)	(0.8-1.0) ϕ'
Yerinde dökme beton/kum (fore)	1.0 ϕ'
Ahşap/kum	(0.8-0.9) ϕ'



Şekil 3.10 $Ktan\delta$ için Poulos-Davis önerisi [24]

Ayrık daneli zeminlerde imal edilecek fore kazıklar için yanal taşıma gücü aşağıdaki amprik denklem yardımı ile bulunabilmektedir [25]:

$$Q_s = \pi D \sum_{i=1}^n \gamma_i z_i \beta_i \Delta z_i \quad (3.20.a)$$

$$\beta_i = 1.5 - 0.135\sqrt{z_i} \quad 0.25 < \beta_i < 1.2 \quad (3.20.b)$$

D : Kazık çapı (m)

β_i : Zemin tabakasının yük iletme faktörü

γ_i : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (ton/m^3)

z_i : Zemin tabakası orta noktasının derinliği (m)

Δz_i : Kazığın zemin içerisindeki boyu veya tabaka kalınlığı (m)

3.1.6 Yerinde Yapılan Arazi Deney Bilgilerinin Kullanıldığı Yöntemler

3.1.6.1 Statik Koni Penetrasyon Deneyi

Statik koni penetrasyon deneyinden faydalanılarak, kazık kapasitesinin tayini için iki yaklaşım benimsenmiştir:

Koni dayanım değerleriyle nihai kuyu sürtünmesi ve taban kapasitesi arasındaki korelasyonlar (De Ruyter ve Beringen, 1979; Bustamante ve Gianselli, 1982; Poulos, 1989) [18].

Gömlek sürtünmesi ve nihai kuyu sürtünmesi arasındaki korelasyonlar (Schmertmann, 1975, 1978). Bu yaklaşımın gömlek sürtünmesinin belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle yukarıdaki metoda göre daha az güvenilir olduğu kabul edilir [18].

Bustamante ve Gianselli tarafından (1982) benimsenen metod Frank ve Magnan tarafından özetlenmiştir; nihai kuyu sürtünmesi f_s , taban kapasitesi f_b , aşağıda verilmiştir [18]:

$$f_s = (q_c/b) \leq f_{sl} \quad (3.21)$$

$$f_b = k_c \cdot q_c \quad (3.22)$$

q_c : Ölçülen koni uç direnci,

b : Kuyu faktörü,

f_{sl} : Çevre sürtünmesinin nihai limit değeri,

k_c : Taban katsayısı.

Tablo 3.14’de, zemin ve kazık tipine bağlı olan b ve f_{sl} ’nin tavsiye edilen değerleri verilmiştir. Tablo 3.15’ de k_c ’nin değerleri verilmiştir. Burada denklem kullanılan q_c ’nin kazık tabanının 1.5 kazık çapı katı kadar altında ve üstündeki mesafedeki ortalama değer olması gerekir. Aşırı düşük ve aşırı yüksek değerler ortalamaya dahil edilmez.

Tablo 3.14 CPT için nihai çevre sürtünmesi korelasyonu (Melt, 1993) [19]

Kazık Tipi	Kil ve Silt			Kum ve Çakıl			Kireçtaşı	
	Yumuşak	Katı	Sert	Gevşek	Orta	Sıkı	Yumuşak	Ayrışmış
Delme Kazık B f _{sl} , kPa	- - 15 40	75 ^a 80 ^a	- - 40 80 ^a	200 -	200 -	200 120	125 40	80 120
Kılıflı Delme B f _{sl} , kPa	- 100 15 40	100 ^b 60 ^b	- 100 ^b 40 80 ^b	250 -	250 40	300 120	125 40	100 80
Ucu Kapalı Çelik Çakma Kazık B f _{sl} , kPa	- 120 15 40		150 80	300 -	300 -	300 120	c	
Beton Çakma Kazık B f _{sl} , kPa	- 75 15 80		- 80	150 -	150 -	150 120	c	

a) Yivli ve kesilip düzeltilmiş,

b) Kuru kazı, dönmesiz kılıf,

c) Bazı kazık tipleri için f_s çok küçük değer alır bu durumlarda özel çalışmaya ihtiyaç duyulur.

3.1.6.2 Standart Penetrasyon Deneyi

Meyerhof 'un 1956 yılında yayınladığı en büyük kuyu direnci f_s, en büyük temel direnci ve SPT verileri arasındaki korelasyon günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha ileri korelasyon çalışmaları yine Meyerhof tarafından 1976'da ve Poulos tarafından 1989'da yapılmıştır. Daha kapsamlı korelasyon çalışmaları ise Decourt tarafından 1982-1995 arasında yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Yapılan son çalışmalarla aşağıdaki denklemler elde edilmiştir:

$$f_s = \alpha(2.8.N_{60} + 10) \text{ kN m}^{-2} \quad (3.23)$$

$$f_b = K_b \left(\bar{N}_{60} \right)_b \text{ kN m}^{-2} \quad (3.24)$$

N₆₀ : Kuyu boyunca elde edilen SPT değerleri

(%60 enerji verimliliği ile düzeltilmiş)

$\alpha = 1.0$ (Killi zeminde yer değiştirme yapan kazıklar için)

$\alpha = 0.5 \sim 0.6$ (Ayrık daneli zeminde yer değiştirme yapmayan kazıklar için)

$(N_{60})_b$: Kazık ucu ve çevresindeki ortalama SPT okuması

K_b : Taban katsayısı Tablo 3.16'dan

SPT verilerinin kullanımına ilişkin alternatif çalışmalar da yapılmıştır Robert (1997). Bu çalışmalardan elde edilen korelasyonlar daha çok çakma kazıklar için kullanılmaktadır, delme kazıklar için ise daha az kullanılır. Robert'ın çalışmaları ahşap kazıkların, üniform kesitli çakma kazıklara göre gittikçe azalan yanıl sürtünme kuvvetine sahip olduklarını bulmuştur. Genel olarak kum ve kil için 1.8 katsayısı alınır.

Tablo 3.15 CPT için taşıma kapasitesi - Melt, 1993 [19]

			k_c	
	Zemin Tipi	q_c (Mpa)	Yerdeğiştirmeye neden olmayan kazıklar	Yerdeğiştirmeye neden olan kazıklar
Kil, silt	A Yumuşak	<3		
	B Katı	3-6	0.40	0.55
	C Sert	>6		
Kum, çakıl	A Gevşek	<5		
	B Orta	8-15	0.15	0.50
	C Sıkı	>20		
Tebeşir, Kireçtaşı	A Yumuşak	<5	0.20	0.30
	B Ayrışmış	>5	0.30	0.45

Tablo 3.16 Temel taşıma katsayısı, K_b - Decourt, 1995 [19]

Zemin Tipi	Yerdeğiştirmeye neden olmayan kazıklar	Yerdeğiştirmeye neden olan kazıklar
Kum	325	165
Kumlu silt	205	115
Killi silt	165	100
Kil	100	80

3.1.7 Kayaca Soketlenmiş Kazıklarda Taşıma Gücü

Kayaca soketlenmiş kazık kapasitesi hem uç hem de çevre sürtünmesinden kaynaklanacaktır. Çevre direncinin beton ve kaya mukavemetinin bir fonksiyonu olması beklenir ve yükün paylaşımı soket geometrisi L/D' ye bağlıdır.

Yapılan araştırmalar soket sürtünmesinin uniform olmayıp üstte maksimum değerden hızla azaldığını göstermektedir. Bu dağılım kazık ve kaya elastisite modüllerinin oranının bir fonksiyonudur. Bu oranın tam değerinin bilinmesi gereksiz olup elastik çözümlerde 10-50 arası bir değer alınması yeterlidir.

Son yıllarda soket çevresindeki kaya mukavemetine göre tayin etme eğilimi yaygınlaşmıştır. Kaya kalitesi (karot yüzdesi), SPT, serbest basınç mukavemeti q_u ve dolaylı çekme q_t değerlerine göre sürtünme tahmin etmek için çalışmalar vardır. Bunlar uygulama alanı bulmuş bazıları aşağıdaki gibidir [14]. 3.25 ve 3.26 [25] denklemleri ton/food^2 türünde ifade edilen denklemlerdir. 3.25a ve 3.26a ise MPa türünde ifade edilen denklemlerdir [18].

$$\text{Temiz soket için} \quad f_s = 1.842 \cdot q_u^{0.367} \quad (3.25)$$

$$\text{Pürüzlü soket için} \quad f_s = 1.45 \sqrt{q_u} \quad (3.26)$$

$$\text{Temiz soket için (R1, R2, R3 pürüzlülükte)} \quad f_s = 0.45 \sqrt{q_u} \quad (3.25a)$$

$$\text{Pürüzlü soket için (R4 pürüzlülükte)} \quad f_s = 0.6 \sqrt{q_u} \quad (3.26a)$$

R1, R2, R3, R4 pürüzlülük katsayıları -Pells ve diğerleri, 1980

Tablo 3.17 $f_s - N$ ilişkisi [24]

N	10	15	20	25	30	>30
f_s	0.36	0.77	1.1	1.8	2.6	2.6

Birimlerin kg/cm² değeri için eşitliklerin geçerli olduğuna dikkat etmelidir.

Soket düşey düzlemdeki kayma gerilmesinin değeri kayaç kohezyonundan %10'da daha az çoğunlukla % 5 fark etmektedir. Bu analizden hareketle,

$$f_s = \frac{1}{2} \sqrt{q_u} \sqrt{q_t} \quad (3.27)$$

eşitliği türetilmiştir. Burada q_t dolaylı çekme mukavemetidir.

İyi-çok iyi kalitede kayada soket yükü beton mukavemetiyle ilgilidir. Genelde (0.03-0.5) f_s alınması tavsiye edilmektedir.

Kayaya oturan kazıklarda uç direnci ;

$$q_p = q_u \cdot (N_\phi + 1) \quad N_\phi = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.28)$$

olarak hesaplanması önerilmektedir. q_u 'nın laboratuvarda saptanmasında karot çapının büyük etkisi olabileceği düşünülüp ölçülen değerin 1/5'ini almak ayrıca güvenlik için FS=3 uygulamak gerekebilir.

Uç direnci için aşağıdaki ilişki verilebilir.

$$Q_{TR} = N_{ms} \cdot C_o \cdot A_t \quad (3.29)$$

Burada, C_o kayacın ölçülen basınç direnci (2D alta kadar bölgede), N_{ms} kayaç kitle kalitesi (RMR, NGR, RQD) değerleri ile kayaç sınıfına bağlı olarak tablodan alınacak bir faktör, A_t kazık uç alanıdır.

Zayıf ve kuvvetli kayaçların art arda yer aldığı hallerde zayıf kayaç özellikleri göz önüne alınmalıdır. Yumuşak ve ayrılmış kayaçları geçip daha sağlam kayaçlara giren soketlerde üst kesim direnci ihmal edilebilir. Kuvvetli kabul edilenin %20' sinden daha az olanlar "zayıf", RQD<%20 olanlar bozmuş kabul edilmelidir. İnce, rijit kayaç tabakalarında zımbalama tehlikesine karşı yeteri derinliğe indirildiğinden emin olunmalıdır ve minimum 2D girişle tabakalar arası kayma olasılığına karşı önlem alınmalıdır.

3.1.8 Kazıklarda Taşıma Gücünün Pratik Olarak Hesabı

Genişletilmiş tabanı olamayan kazıklarda en büyük kaldırma kapasitesi, Q_{ut} [19]:

$$Q_{ut} = \left(\bar{f}_{st} A_s \right) + W \quad (3.31)$$

denklemleri ile tahmin edilebilir. Denklemlerde

f_{st} : Ortalama çevre sürtünmesi direnci,

A_s : Yanal yüzey alanı,

W : Kazık ağırlığını

ifade eder.

Kohezyonlu zeminlerde, f_{st} aşağı doğru yüklemedeki gibi alınabilir. Kumlarda De Nicol ve Randolph (1993) çekme kuyu direnci f_{st} ile basınç kuyu direnci oranının kazığın rölatif sıkışabilirliği ile bağlantılı olduğunu göstermişlerdir:

$$\frac{f_{st}}{f_s} = [1 - 0.2 \log_{10}(100/L/d)] (1 - 8\eta + 25\mu^2) \quad (3.32a)$$

$$\eta = \nu_p \left(\frac{L}{d} \right) \cdot \left(\frac{G_{av}}{E_p} \right) \tan \delta \quad (3.32b)$$

L : Kazık Uzunluğu,

d : Kazık çapı,

η : Kazık sıkışabilirliği faktörü (boyutsuz),

ν_p : Kazık malzemesi için Poisson Oranı,

δ : Kazık-zemin yüzeyi sürtünme açısı,

G_{av} : Zemin kayma gerilmesinin shaft boyunca ortalaması,

E_p : Kazık malzemesinin Young modülünü temsil etmektedir.

Genişletilmiş tabana sahip kazıklarda, Q_{ut} ,

1. Kazık ağırlığı ve tüm taban alanındaki en büyük kaldırma direncinin toplamı (ankraj sökme gibi),
2. Kazık ağırlığı, kazık çevresi boyunca sürtünme kuvveti ve net taban alanındaki en büyük kaldırma direncinin toplamından daha az olabilir.

Doymuş kil ve siltlerde, 5 uzun dönem kaldırma kapasitesi, kısa dönem kaldırma kapasitesinden fark edilir biçimde az olabilir (% negatif boşluk suyu basıncının sönümü nedeniyle) (Meyerhof ve Adams, 1968). Tabanın en büyük plaklar için geliştirildikleri çözüm kullanılabilir [18].

3.1.9 Düşey Yük Altında Tek Kazığın Oturması

Zemine yerleştirmenin neden olduğu örselenme ile kazıktan zemine aktarılan gerilmenin dağılışı ve yerinin belirsizliği konuyu karmaşık kılmaktadır. Çalışma yükü altında bir kazığın oturması kazık malzemesinin elastik kısılması ile uçtaki ve çevredeki aktarılan yüklerin neden olduğu oturmaların toplamı olarak alınabilir [8,25] .

$$S=S_1+S_2+S_3 \quad (3.33)$$

Kazık malzemesinin elastik kısılması

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \zeta \cdot Q_{ws})}{A_p E_p} L \quad (3.34)$$

olarak tahmin edilebilir.

Q_{wp} : Çalışma yükü altında kazık ucunda taşınan yük,

Q_{ws} : Çalışma yükü altında kazık çevresinde taşınan yük,

A_p : Kazık kesit alanı,

E_p : Kazık malzemesinin elastisite modülü.

ζ birim çevre direncinin kazık boyunca dağılımına bağlı olup üniform ve parabolik dağılım için 0.5, üçgen dağılım için 0.67 değerindedir. Bazı araştırmacılar, üniform ya da üçgen dağılışa göre tahmin edilen oturmaların ζ değerine fazla duyarlı olmadığı ve pratik maksatlar için ζ 'nin her iki değerinin de kullanılabileceğini

belirtmektedirler. ζ için uzun çakma kazıklarda daha küçük değerler gözlenmiş olup sıkı kuma çakılan kazıklarda 0.1 mertebesinde olabilmektedir.

Kazık ucuna yük nedeni ile oturma, yüzeysel temellerin oturma tahminlerine benzer formda,

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{WP} \quad (3.35)$$

ile bulunabilir. Burada q_{wp} kazık ucuna aktarılan gerilme, I_{WP} etki faktörü ve μ_s zeminin poisson oranıdır.

S_2 için yarı amprik olarak,

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \quad (3.36)$$

eşitliği önerilmektedir. Burada, q_p kazık ucunda maksimum birim alanda taşınan gerilmedir. c_p değerleri ise Tablo 3.18’de verilmiştir.

Tablo 3.18 c_p değerleri [8, 25]

Zemin Türü	Çakma Kazık	Fore 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

Bu değerler kazık ucundaki taşıyıcı olarak adlandırılacak tabakanın en az 10 D kadar daha devam ettiği ve kazık ucundaki zemine göre en az onun kadar sıkı olduğu hallerde uzun süredeki oturmalar içindir. 10 D' den daha yakında kaya varsa c_p daha az olup kaya 5 D derinlikte ise oturmanın % 88'i, 1 D derinlikte ise % 51'i alınır. Kazık ucu altında fazla sıkışabilir bir tabaka var olmadıkça genelde konsolidasyon oturması toplam oturmanın %15'ini geçmez, aksi halde konsolidasyon oturması hesaplanıp oturma değerine eklenmelidir.

Çevreye aktarılan yük nedeniyle olacak oturma,

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{p.L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (3.37)$$

eşitliği ile bulunabilir. Burada p kazık çevresi, I_{ws} etki faktörüdür.

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (3.38)$$

amprik eşitliği ile bulunabilir. Vesic bu oturma bileşeninin,

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L.q_p} \quad \text{burada} \quad C_s = \left(0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) C_p \quad (3.39)$$

ile bulunabileceğini belirtmektedir. Burada da killer için bulunan oturmanın ani oturmaya karşılık geldiği hatırlatılmalıdır.

3.1.10 Oturma Tahmini Analiz Yöntemleri

Kazık zemin etkileşiminin modellenmesi için dört ana yol vardır [18]:

1. Yük transfer (t-z) eğrileri ile: Bu eğriler yerel kayma gerilmelerini kazık boyunca yerel deplasmanlarla ilişkilendirirler. Bunlar (yerel kayma gerilmesi ve deplasmanlar) kazığın belirli bir yerindeki kazık-zemin davranışını ifade eden non-lineer bağımsız yay mesneti özellikleridir (Coyley ve Reese,1996; Kraft ve diğerleri,1981; Randolph,1994a,b)
2. Elastik teori ile; bu teori zemini elastik sürekli olarak idealize eder ve kazığın farklı kesimlerinin zemin ile etkileşimini göz önüne alır (Butterfield ve Banerjee;1971, Banerjee ve Davies,1997; Poulos ve Davis,1980).
3. Basitleştirilmiş analiz yöntemleri ile; bu yöntemler kazık çevresinde yerel kaymaları göz önüne alır ve uygun kapalı-form çözümlerine götürür (Randolph ve Wroth, 1978; Fleming,1992).
4. Zemin davranışının gelişmiş birleşik modellerinden yararlanan nümerik analizler ile (Jardie ve diğerleri, 1986; Trochanis ve diğerleri,1991)

Yük transferi veya t-z metodunun pratikte geniş bir uygulama alanı vardır. Non-lineer zemin-kazık davranışının göz önüne alınması gereken veya zeminin tabakalı olduğu durumlarda özellikle deniz üstü yapılarındaki kazık tasarımında, tek bir kazığın yük-oturma davranışının belirlenmesi için kullanılır. Bu metot kazığın, shaft boyunca ve kazık tabanındaki direnci temsil eden ayırık yaylarla mesnetlenmiş yapı elemanı olarak modellenmesini içerir. Yerel yük transferi, t ve yerel deplasman, z arasındaki bağlantılar genel olarak t-z eğrileri olarak adlandırılır. Bu eğriler amprik olarak elde ediliyordu, ancak günümüzde kazığı çevreleyen zeminin rijitliği teorik bağlantılar yardımıyla daha tatmin edici olarak elde edilebilir (Kraft ve diğerleri, 1981; Randolph, 1994b). Bu eğriler göreceli olarak karmaşık olabilir ve non-linearite, şekil değiştirme (yumuşama) ve çevrimsel yükleme etkileri gibi faktörleri birleştirir [18].

Bir kere zemin ve kazık belirlendikten sonra uygulanan yük ve kazık başının oturması arasındaki bağlantı artık sıradan bir yapısal analiz ile elde edilebilir.

Genelde elastisite teorisini kullanan farklı yöntemler kazık oturmaları için benzer çözümler verir. Örneğin, modülü derinlikle lineer olarak artan bir zemindeki tipik bir

kazık için, dört bağımsız lineer analiz, oturma için pratik amaçlar için uygun olarak, % ± 7 farklı sonuçlar vermektedir.

Jardine ve diğerleri (1986), homojen kil tabakada bulunan bir kazığın analizi için yukarıdaki (d) yöntemini kullanarak bir sonlu eleman yöntemi geliştirmişlerdir. Bu problem Poulos (1989) tarafından yukarıdaki (1) ve (2) kategorilerindeki çeşitli alternatif yöntemlerle analiz edilmiştir ve gerçek kazık rijitliği için, sonuç yük-oturma eğrilerinin Jardin ve diğerleri (1986)'nin sonlu eleman çözümleri ile uyumlu olduğunu bulmuştur. Bu yüzden, kıyaslamalar kuvvetli olarak göstermektedirler ki, metodun, sağlam zemin olması şartıyla, tek kazık oturmasının tahmininde analiz yöntemi kritik bir faktör değildir.

3.1.11 Tasarım Grafikleri ve Tek Kazıklar İçin Denklemler

Rutin tasarım uygulamaları için, modülü derinlikle doğrusal olarak artan elastik zemindeki bir kazık için elde edilmiş parametrik çözümleri kullanmak uygundur. Şekil 3.11, problemin parametrelerini ve geometriyi ifade etmektedir. Kazık başı oturması,

$$S = \frac{P}{E_{SL}d} I_p \quad (3.40)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

P: Uygulanan yük,

d: Kazık çapı,

E_{SL} : Kazık ucu seviyesindeki Young modülü,

I_p : Oturma etki katsayısıdır.

I_p 'nin değerleri Poulos (1979a) ve Poulos ve Davis (1980) tarafından verilmiştir. Bu değerlerin L/d , $K_b = E_p R_A / E_{SL}$ (kazık rijitlik katsayısı), E_{SO} / E_{SL} ve E_b / E_{SL} gibi boyutsuz parametrelere bağlı olduğu gösterilmiştir. Burada,

E_p : Kazığın young modülü,

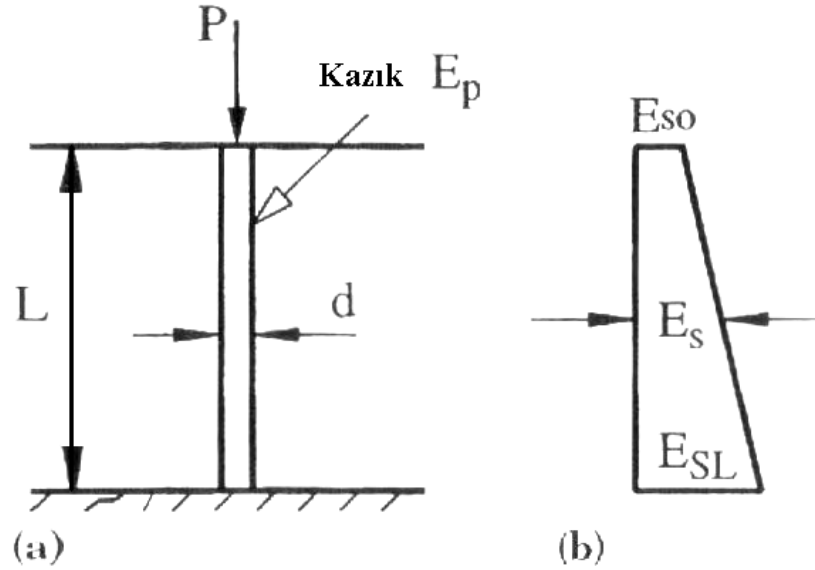
R_A : Alan oranı (kazık kesit alanının kazık brüt kesit alanına oranı),

E_{SO} : Zeminin yüzeydeki Young modülü,

E_b : Kazık ucunun bulunduğu mesnet tabakasının Young modülünü ifade etmektedir.

Randolph tarafından elde edilen kapalı formülü çözümlerden, Fleming ve diğerleri (1992), I_p için aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir [19]:

$$I_p = 4(1 + \nu_s) \left[1 + \frac{1}{\pi \lambda} \frac{8}{(1 - \nu_s)} \frac{\eta_1}{\xi} \frac{\tanh(\mu L)}{\mu L} \frac{L}{d} \right] \left/ \left[\frac{4}{1 - \nu_s} \frac{\eta}{\xi} + \frac{4\pi\phi}{\zeta} \frac{\tanh(\mu L)}{\mu L} \frac{L}{d} \right] \right. \quad (3.41)$$



Şekil 3.11 Tek kazık geometrisinin tanımı [19]

(a) Mesnet tabakası Young modülü, E_b

(b) Zemin Young modülünün dağılımı, $\eta = E_{so}/E_{sl}$, E_s : Zemin Young modülü

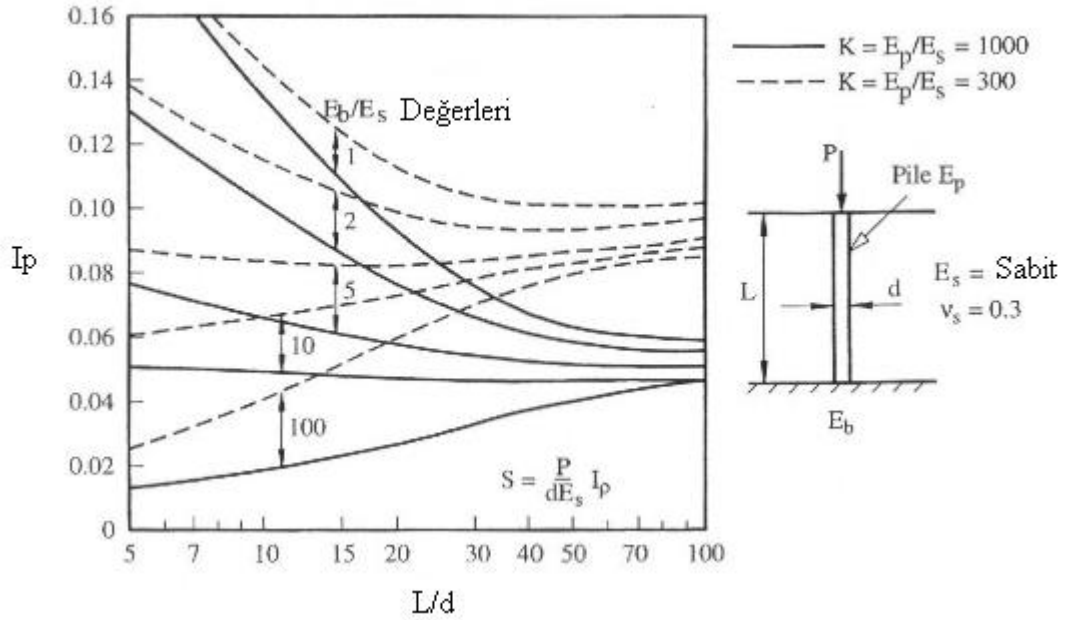
Kazığın oturması, S_z herhangi bir z derinliği için aşağıdaki gibi belirlenir [19]:

$$S_z = S_L \cdot \cosh [\mu(L-z)] \quad (3.42)$$

S_L : Kazık ucundaki oturmayı göstermektedir.

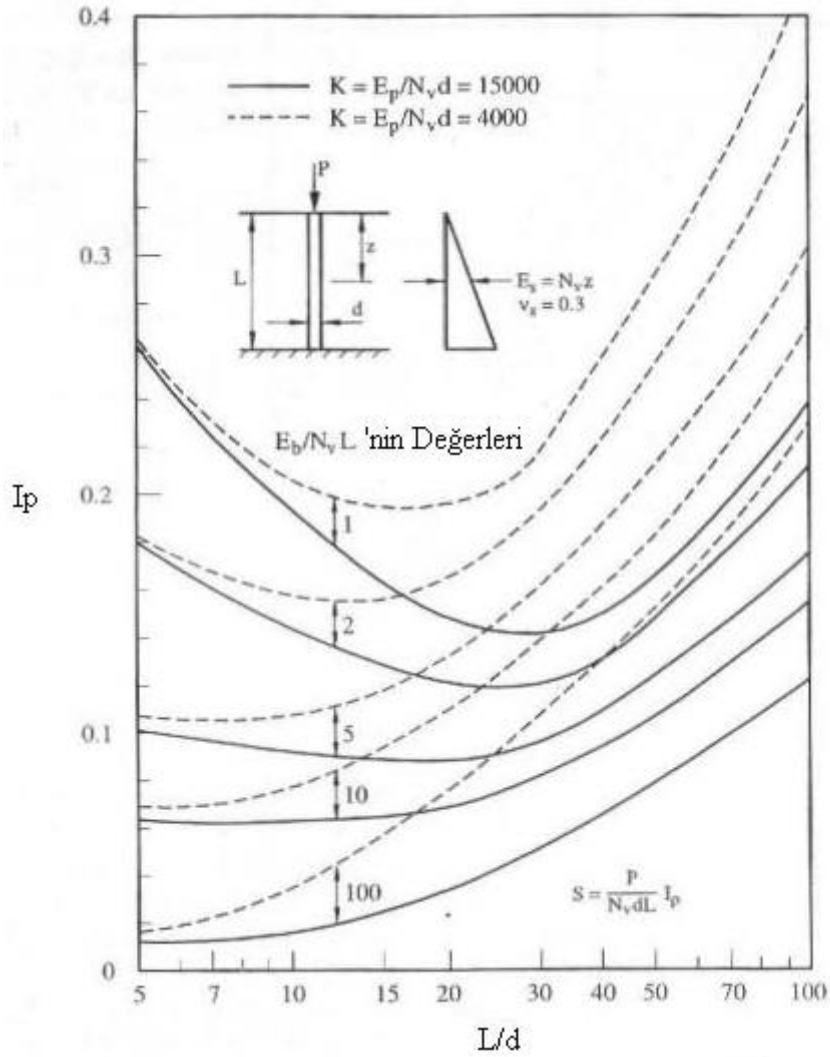
Böylece, tepe ve uç oturmalarının oranı $\cosh(\mu.L)$ 'dir. Yukarıdaki elastik çözümlerin uygulanmasında, anlık veya drenajsız oturma (kildeki kazıklar için) E_{so} ve E_{sl} drenajsız Young modülü değerleri $\eta = E_{so} / E_{sl} \cdot E_s$ eşitliğinde yerine koyulduğunda hesaplanabilir ve I_p değeri ν_s 'nin drene edilmiş değeri için etki faktörüdür ki doymuş killer için 0.5 değerini alır.

Kazık rijitlik katsayısı, K_b 'nin tipik değerlerine karşılık gelen I_p değerleri homojen killeri için Şekil 3.12' de verilmiştir ve Şekil 3.13'de ise modülü derinlikle lineer olarak artan zeminler için I_p değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.12 Homojen kildeki tek kazığın oturması [19]

Tabakalı zemin profilleri için, kazık şaftındaki tabakalı zemini eşdeğer homojen zeminle değiştirmek ve kazık tabanının üstüne oturduğu zeminin modülünü taban bölgesindeki zemin rijitliğini temsil edecek şekilde seçmek bir çok pratik amaç için uygundur. Poulos (1994a) bu modülün belirlenmesi için basit yollar geliştirmiştir.

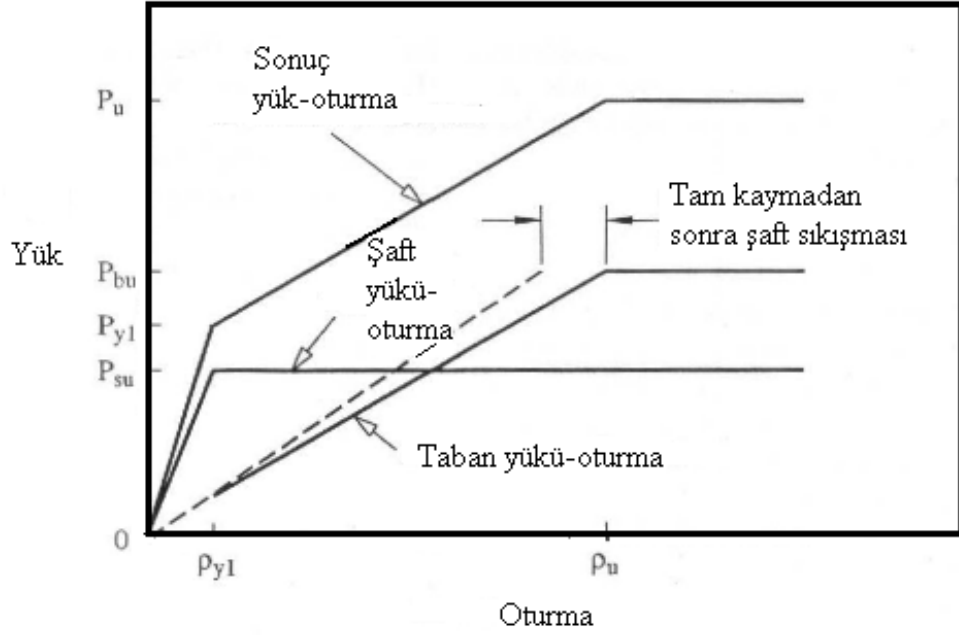


Şekil 3.13 Doğrusal artan modüle sahip zemindeki tek kazığın oturması [19]

3.1.11.1 Non-Linear Analiz

Yukarıdaki çözümler lineer elastik teoriden elde edilmiş ve genel olarak kildeki kazıklar ve dirençlerinin büyük bir kısmını shaft sürtünmesinden karşılayan kazıklar için uygundur. Ancak büyük çaplı kazıklar veya dirençlerinin büyük bir kısmını tabandan alan kazıklar için yük-oturma davranışı normal yükler altında bariz bir şekilde non-linear olabilir. Bu gibi durumlarda kullanılmak üzere Poulos ve Davis (1980) tarafından basit bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem Şekil 3.14'de gösterildiği gibi üç parçalı doğrusal (tri-linear) yük oturma eğrisi oluşturmayı içerir.

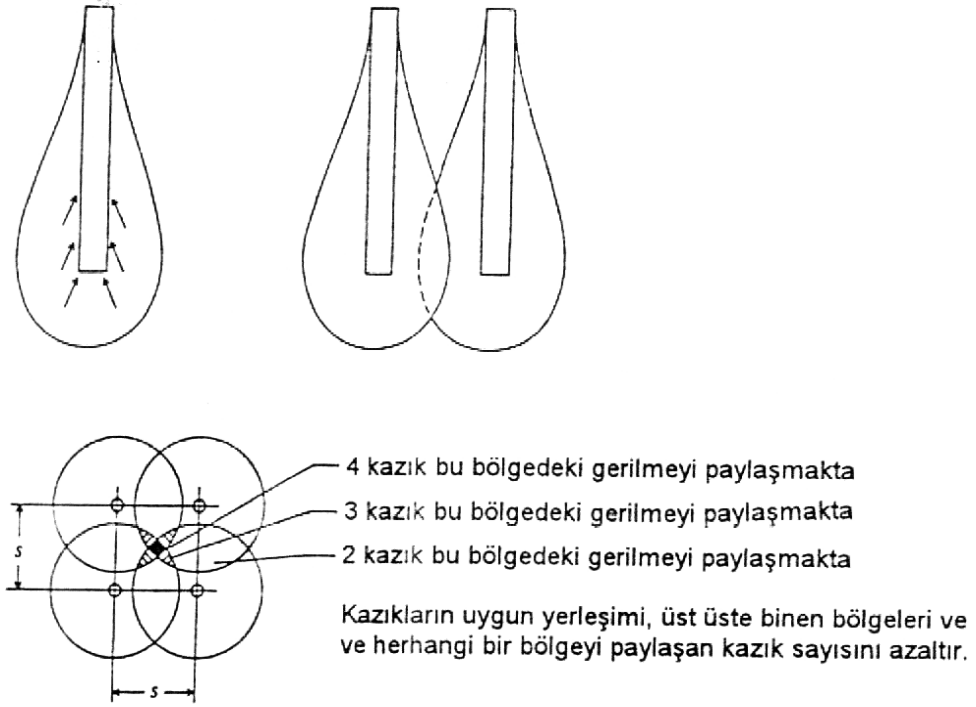
Oturma etki katsayısına ek olarak, en büyük şaft ve taban direnci ile taban tarafından taşınan yük oranı, β_b 'nin de belirlenmesi gerekir. β_b için Poulos ve Davis (1980) tarafından çözümler verilmiştir. Ayrıca Randolph, Fleming ve diğerleri (1992)'nin çözümlerinden de türetilabilir [18].



Şekil 3.14 Yük-Oturma eğrisinin oluşturulması - Poulos ve Davis, 1980 [19]

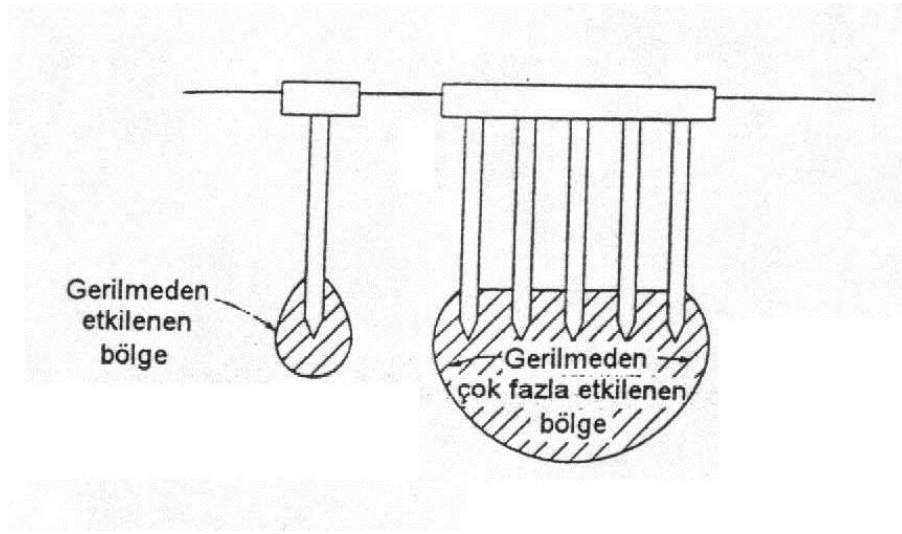
3.2 Düşey Yük Altında Grup Kazıkların Davranışı

Düşey yük altında kazık grubunun taşıma kapasitesi, gruptaki kazıkların tek tek taşıma kapasitelerinin toplamından düşük olmaktadır. Grubun taşıma kapasitesinin daha düşük olmasının nedeni grup etkileşimidir. Şekil 3.15’ de, grup etkileşimini temsil eden çizimler verilmiştir. Oturmalar açısından bakıldığında da kazık gruplarında meydana gelen oturmanın tek kazıklardan fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ise kazık grubu altındaki zemin ya da kaya tabakasında oluşan gerilme etki bölgesinin tek kazıklara göre daha geniş ve derin olmasıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15 Sürtünme kazığını çevreleyen gerilmeler ve kazık grubunda bunların toplam etkisi [3]

Kazıklı radye temellerin optimum olarak tasarlanabilmesi için kazıkların uygun aralıklarla yerleştirilmesi ve radyenin de optimum kalınlıkta imal edilmesi gerekir. Kazık ara mesafesinin radye kalınlığının ekonomik olarak dizayn edileceği kadar yakın ve etki alanlarının çakışmayacağı kadar uzak olacak şekilde tahkik etmek gerekir. Killi zeminlerde bununla birlikte kazık grubunun blok göçmeye karşı tahkik



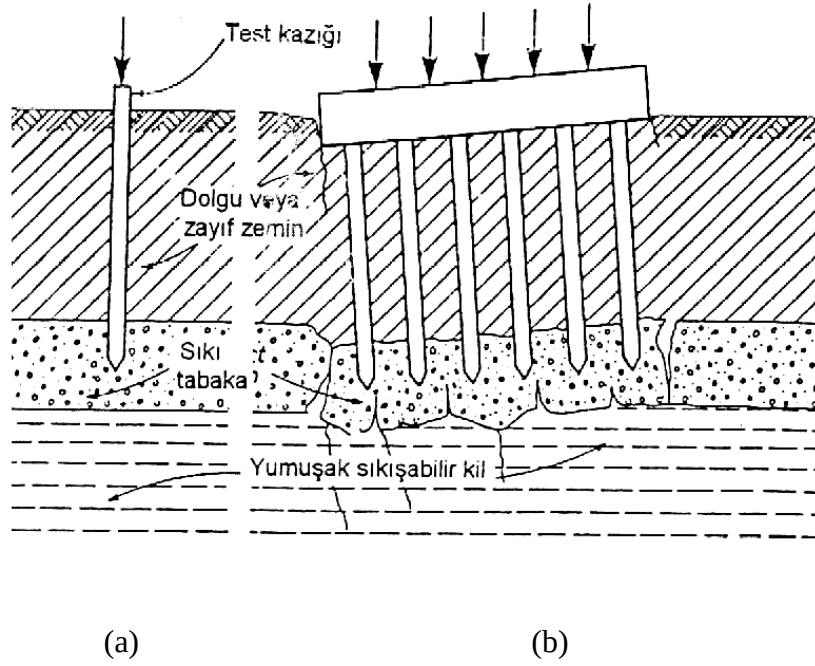
(a) Tek Kazık

(b) Kazık Grubu

Şekil 3.16 Tek kazık ve kazık grubu altında gerilmeden etkilenen bölgelerin karşılaştırılması [23]

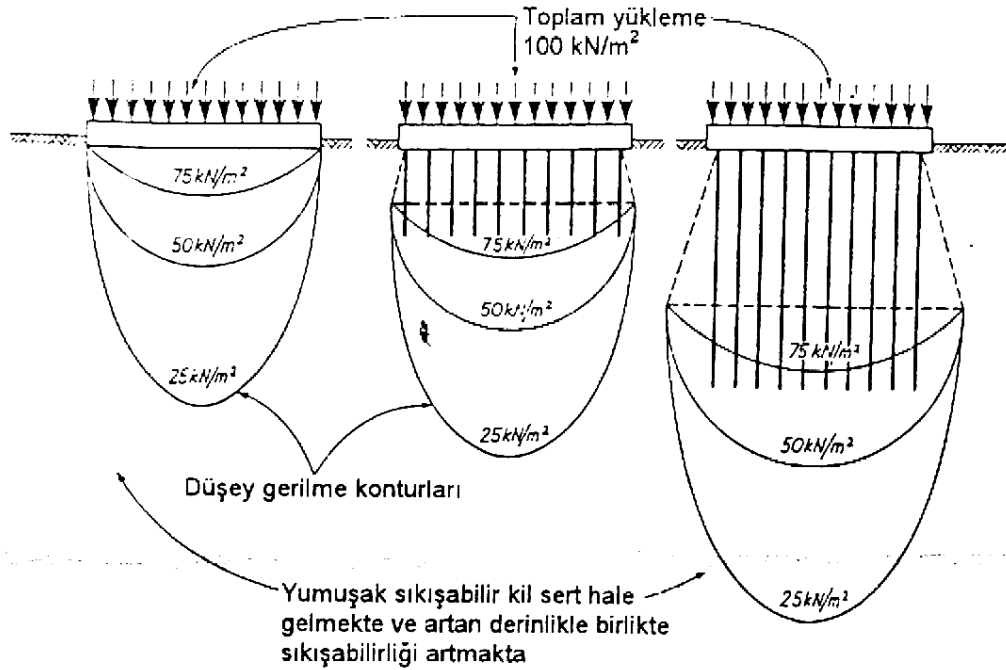
edilmesi gerekir. Şekil 3.17 b' de dolgu zemin üzerine oturan ve alttaki sıkı tabakaya grup kazıklar ile yük aktarımı yapan kazıklı temelin, sıkı tabaka altındaki yumuşak zeminden kaynaklanan blok göçmesi görülmektedir. Şekil 3.17a' da ise tek kazığın davranışı verilmiştir. Grup kazıklara düşey yükleme yapıldığında yatay tabakalarda oluşan gerilmeler alttaki yumuşak kil tabakasına iletilmekte ve blok göçme meydana gelmektedir, tek kazıkta ise alttaki yumuşak kil tabakası yatay tabakalarda oluşan gerilmelerden etkilenmemekte ve tek kazıkta grup kazıklardaki gibi göçme görülmemektedir.

Kazıklı temellerdeki gerilme dağılışı yüzeysel temellerden daha farklıdır. Yüzeysel temel altındaki zemin örselenmediği için, aynı yük etkisindeki kazıklı temele göre daha az oturabilir. Bu duruma ait temsili şekiller Şekil 3.18' de verilmiştir.



Şekil 3.17 Kazık grubunun kayma göçmesi [23]

- Test yükü tekil kazığa uygulandığı zaman yumuşak kil gerilmelerden pek etkilenmiyor.
- Kazık grubuna üst yapıdan gelen yükler etkidiği zaman yumuşak kil gerilmelerden çok fazla etkileniyor. Blok göçmesi meydana geliyor.



Şekil 3.18 Yüzeysel temel ve kazık gruplarının altındaki gerilme dağılımının karşılaştırılması[23]

- Yüzeysel Temel
- Mini Sürtünme Kazıklı Temel
- Uzun Sürtünme Kazıkları

3.2.1 Hesap Esasları

a) Kazıklı temellerin dizayn aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Kazık grubunu oluşturan her kazığa gelen yük bulunur,
- 2) Maksimum kazık yükünün, kazığın servis yüküne uygun olduğu tahkik edilir,
- 3) Kazık başlığı boyutlandırılır,
- 4) Kazık grubunun stabilite tahkiki yapılır,
- 5) Meydana gelecek oturmaların izin verilen değerlerde olup olmadığı tahkik edilir.

b) Kazık yüklerinin belirlenmesinde şu hususlar etkilidir [11]:

- 1) Zemin özellikleri,
- 2) Kazık Tipi,
- 3) Yükün çevre sürtünmesi veya uç direnci ile iletilmesi.

Kazık grubuna etkiyen yatay yük, düşey yükün %3' ünden az ve en fazla %5' ini geçmiyorsa, bu yatay yük düşey kazıklar tarafından alınabilir. Bu durumda eğik kazığa gerek yoktur (Alman Şartnamesi) ancak düşey kazığın taşıyabileceği yatay yük hesapla gösterilmelidir.

c) Kazıklarda taşıma gücünü etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır [11]:

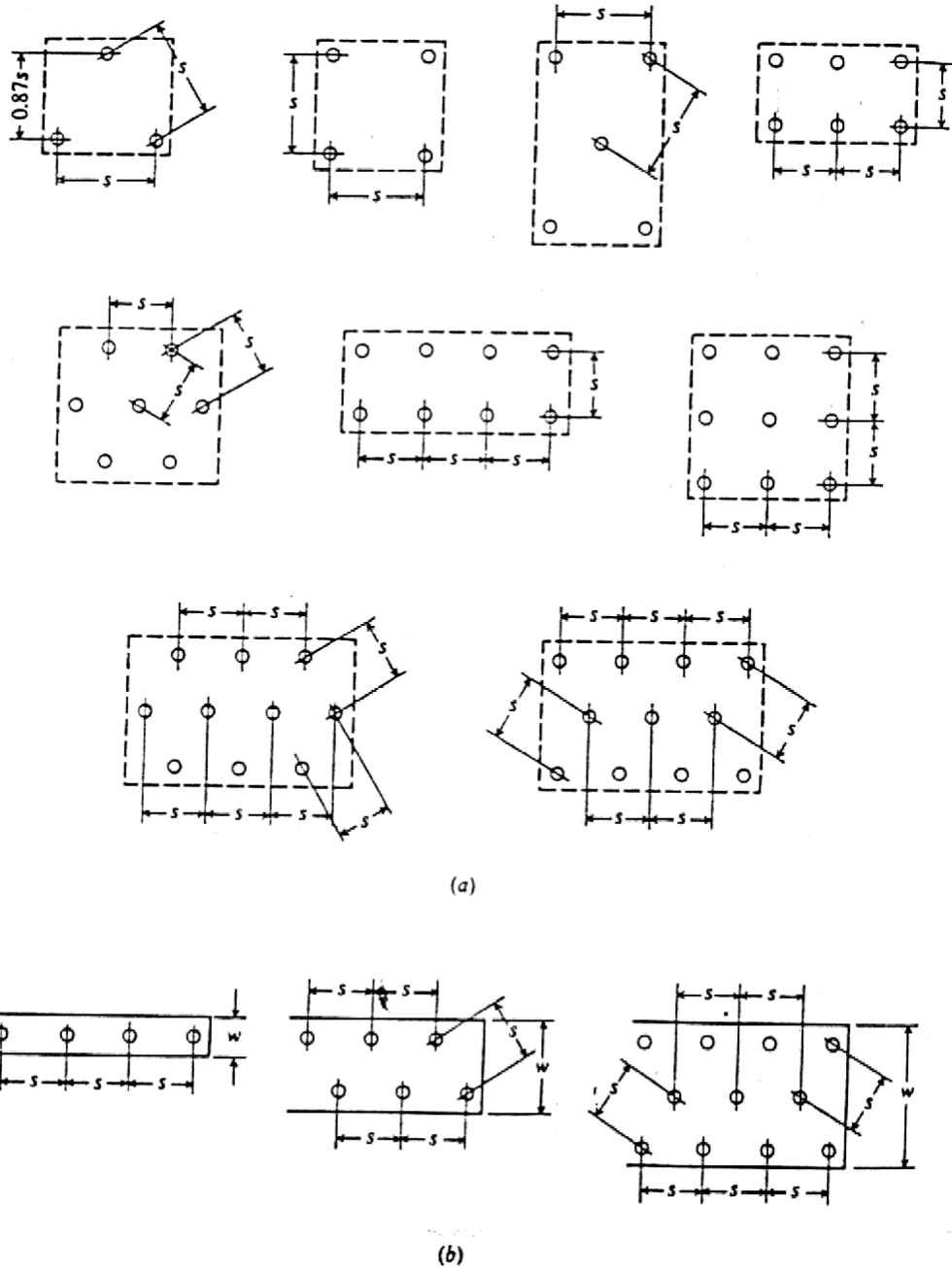
- 1) Taşıma gücü büyük ölçüde çevre sürtünmesinden oluşuyorsa, bu tür çakma kazıkların taşıyabilecekleri yük, ince kum, silt ve killi zeminlerde çakma işleminden sonra uzun bir süre artabilir.
- 2) Kazıklar üstteki zemin tabakalarının oturması halinde, ilaveten negatif çevre sürtünmesiyle yüklenir (kazıkların uygun şekilde yerleştirilmesi ve daha büyük kazık aralığı seçilerek bu etki azaltılabilir.)
- 3) Kazıklı temel çevresinde yüzeysel yayılı yük bulunması halinde yumuşak zeminlerde yatay hareketler olabilir ve kazıklarda ilave eğilme zorlamaları ortaya çıkabilir.
- 4) Büyük sallantı ve titreşimler gibi dinamik zorlamaların tesiri, kazık gücünün azalmasına neden olabilir [11].

d) Kazıkların Yerleştirilme Esasları

Kazıkların yerleştirilmesiyle ilgili esaslar aşağıda sıralanmıştır [11]:

- 1) Grup halinde teşkilde, plandaki küçük alan boşluk maliyetini azaltır ve büyük yük halinde gerekli kazık miktarının yerleştirilebilmesine olanak sağlar.
- 2) Zemin açısından mesafenin küçülmesi zararlıdır.
- 3) İmalat esnasında kazıkların plandaki yerlerinden sapabilir. Bu duruma izin verilebilir.
- 4) Bir veya iki kazıklı gruplarda eksantrisite önemli boyuta ulaşabilir, grubun en az üç kazıktan oluşması tercih edilmelidir. Şekil 3.20’ de tipik kazık grupları yerleşimleri ve örnekleri görülmektedir.
- 5) Normal yükleme halinde, grupta bir kenarda basınç, diğer kenarda çekme kazığı olmasından sakınılmalıdır.
- 6) Oturma yönünden, uç kazıklarda farklı yükler önemli değil, yumuşak zeminlerdeki sürtünme kazıklarda kazık yükleri arasındaki eşitsizlik minimumda tutulmalıdır [11].

Grup içerisindeki kazıkların ara mesafeleri Tablo 3.19’ da çeşitli şartnamelerle verilmektedir.



Şekil 3.19 Tipik Kazık Grubu Örnekleri [3]
a) Tekil Temeller İçin
b) Temel Duvarlar İçin

Tablo 3.19 Kazık ara mesafeleri [11]

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

Japon Şartnamesine göre,

Çakma Kazıklarda: $S=2,5 D$ ve minimum $S \geq 60 \text{ cm}$

Foraj Kazıklarda: $S=2,5 D$ ve minimum $S \geq 90 \text{ cm}$

olmaktadır. Konuyla ilgili bağıntılar ise aşağıdadır [11]:

$$s=(2,5 P/100)^{1/2}$$

P: Düşey yük (ton),

s: Kazık merkezleri arasındaki uzaklık (cm),

$$s=1,08 (LD)^{1/2} ,$$

$$s=L/10 ,$$

L: Kazık boyu,

$$s=(\text{Kazık yük} / \text{kayan emniyet gerilmesi})^{1/2}.$$

İsveç kazık şartnamesine göre kazıkların merkezlerinden-merkezlerine mesafeleri Tablo 3.20’ de verilmektedir.

Tablo 3.20 Kazık ara mesafeleri [23]

Tahmin edilen kazık boyu	Uç ve sürtünme kazıkları		Kohezyon kazıkları	
	Dairesel	Kare	Dairesel	Kare
< 10 m	3D	3,4 B	4 D	4,5 B
10-25 m	4D	4,5 B	5 D	4,5 B
>25 m	5D	5,6 B	6 D	6,8 B

Not: B= Kare Temellerin Kenar Uzunluğu
Bütün durumlarda Min. s= 80 cm

3.2.2 Kazık Grubu Taşıma Kapasitesi

Bir grup içerisindeki tek bir kazığın davranışının komşu kazıkların davranışı ve grubun geometrisinden etkilendiğini Şekil 3.15’de verilmişti. Bu etkileşime grup etkisi adı verilmektedir. Kazık-zemin-kazık etkileşiminin genelde iki bileşeni olduğu düşünülebilir; yerleştirme etkisi ve mekanik yükleme etkisi.

Grup etkinliği, E_g hakkında karma düşünceler bulunmaktadır. E_g aşağıdaki gibi tanımlanır [3]

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

Gevşek kumlarda yapılan model deneyler bir çakma kazık grubun taşıma gücünün, tek kazıklar taşıma kapasiteleri toplamına oranı olarak tarif edilen grup etkinliğinin değeri,

Minimum değeri için: $E_g > 1$

Maksimum değeri için: s/D ’nin 2 olduğu durumlarda elde edilir.

Gruptaki kazık sayısı arttıkça grup etkinliğinin arttığı da gözlenmiştir. Sıkı kumlarda ise genel eğilim $E_g > 1$ olmakla birlikte genleşme nedeniyle $E_g < 1$ durumu gözlenebilir. Aynı sonuç fore kazıklar veya su jeti ile yerleştirilen kazıklar için de söz konusudur. Günümüzde kullanılan geleneksel yaklaşım ise kumda çakma kazıklarda güvenli bir varsayımla üst sınır için $E_g = 1$ ve fore kazıklarda $E_g = 0,67$ kabul etmek yönündedir.

Killi zeminlerde yapılan model deneyler ise grup etkinliğinin < 1 olduğunu ve kare gruplarda $s/D < 2$ olduğu sürece blok göçme eğilimi gözlenmektedir. Günümüzde blok göçmesi olmadıkça ve çakma sonucu doğan boşluk basıncının sönmelenmesi

için yük uygulanmasından 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 yanı sıra $s/D = 2$ için $E_g=0.7$ alıp $s/D=8$ için $E_g=1$ ’ e arttırılmalıdır.

Değişik grup etkinlik eşitliklerinde etkinlik, kazıklar arası uzaklığa bağlanmakta kazık-zemin durumunu gözetmeksizin daima $E_g < 1$ vermektedir. Bu eşitliklerden bazıları aşağıda verilmiştir [23]:

a) Converse- Labarre Formülü

$$E_g = 1 - \frac{\xi}{90} \cdot \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right] \quad (3.43)$$

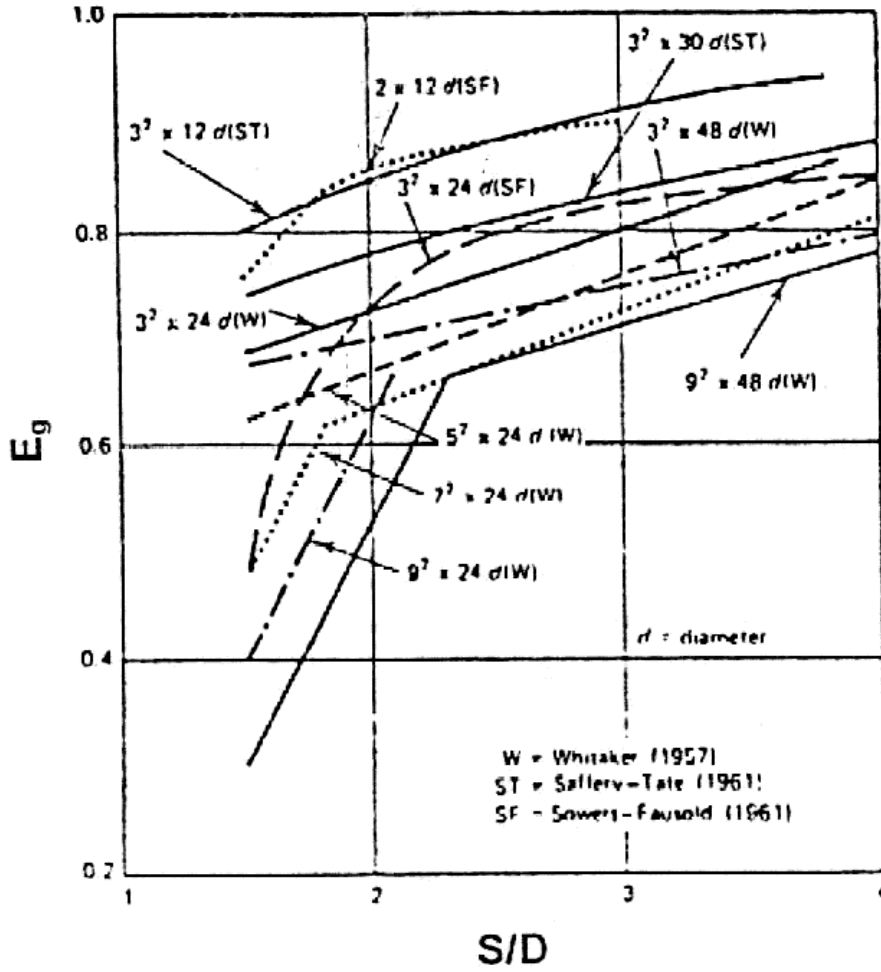
m: Kazık sıra sayısı

n: Bir sıradaki kazık sayısı

ξ : $\text{Arctan } D/s$

b) Field, kazık sayısına göre E_g için 0.72 – 0.94 arasında değer alınmasını önermektedir.

c) Whiteaker, deneysel model sonuçlarına göre 3x3 ve 9x9 kazık grupları için s/D ’ nin değişik değerlerine göre etkinlik sayısını vermektedir. NAVFAC, bu eğrilerin killer için uygulanmasını önermektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Killer için Grup Etkinliği Katsayısı [24]

d) Poulos ve Davis

$$\frac{1}{E_g} = 1 + \frac{(mn)^2 Q_0^2}{Q_B^2} \quad (3.44)$$

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

Çeşitli eşitlikler karşılaştırıldığında elde edilen grup etkinliği değerleri arasında önemli farklar olduğu gözlenmektedir. Grup etkinliğinin hesaplanması için matematik bir model olmayışı ve sadece kazık grubunun geometrisine göre yaklaşımların yapılması, zemin ve zaman faktörlerinin, kazık başlığı-zemin ilişkisinin ve kazık yerleştirme sırasının grup etkinliğine olan etkileri ihmal ediliyor

olması bu sonucu doğurmaktadır. Yukarıda ihmal edilen faktörleri kısmen hesaba alan bir yaklaşım verilmektedir:

Grup etkisinin yalnızca kazık çevresinde taşınan yükte göz önüne alınması gerektiğinden hareketle,

$$Q_g = \sum Q_p + E_s \sum Q_s \quad (3.45)$$

$$Q_0 = Q_p + Q_s \quad (3.46)$$

Q_g : Grubun taşıyacağı toplam yük,

Q_0 : Tek kazığın taşıyabileceği yük,

Q_p ve Q_s = Çevredeki tek kazık yükü

$$E_s = E'_s \cdot K \quad (3.47)$$

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

$$E_g = \frac{Q_g}{\sum Q_0} = 1 - \left(1 - E'_s \cdot K\right) \frac{\sum Q_s}{\sum Q_0} \quad (3.48)$$

Denklemdaki $\sum Q_s / \sum Q_0 = Q_s / Q_0$ alınır ve bu oran ρ sürtünme faktörü olarak tarif edilirse,

$$E_g = 1 - (1 - E'_s K) \cdot \rho \quad (3.49)$$

olarak elde edilir. Uç kazıkları için $\rho=0$ olup $E_g=1$ vermektedir ki pratikte karşılaşılan durumlarla uyum içerisindedir. Eşitlikte kazık başlığının etkisinin göz önüne alınmadığı açıkça görülmektedir. Geometrik etkinlik, E'_s aşağıdaki gibi bulunur:

$$E'_s = \frac{P_g}{\sum P_p}$$

$$E'_s = 2 \frac{[(n-1)s + D] + [(m-1)s + D]}{\pi \cdot m \cdot n \cdot D} \quad (3.50)$$

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 artış veya azalışları bu sayı ile modellenebilir. Sıkı aralıklı daneli veya sert zeminlerde yüksek, gevşek ve yumuşak zeminlerde düşük değerler beklenecektir. Orta sıkı kumlarda 2-3 gibi değerler önerilmektedir. Tasarımda kullanılabilcek K değerleri aşığıda verilmiştir (Tablo 3.21).

Tablo 3.21 Tasarımda kullanılacak K değerleri [24]

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 Sıkı Kil	0.6-0.7	2	1.5-1.7
		4	0.75-0.80
		6	0.50

K için alt sınır değerler az sayıda kazıklı grup, üst sınır çoklu kazık grupları için uygundur. Değerlerin çakma ya da itme yoluyla yerleştirilen kazıklar için uygun olduğu, fore kazıklarda önemli farklılıklar doğabileceği özellikle vurgulanmalıdır. Hem kilde hem kumda çakılmış gruplar için alınan ölçüm sonuçlarıyla yaptıkları karşılaştırmalarda yöntemin büyük uyum sağladığını belirtmektedir.

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 göz önüne alınabileceğini belirtmektedirler.

Eğer kazık grubu tamamen yumuşak bir kil içinde son bulacaksa (bu pek istenilen bir uygulama değildir), grubun toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı hesaplanmalıdır. Grubun çevrelediği blok zeminin (Şekil 3.21) nihai kapasitesi (3.51) denklemi ile hesaplanabilir.

$$Q = 2D(B + L) \bar{c} + 1,3c_b s N_c BL \quad (3.51)$$

D: Kazıkların yüzeyden itibaren derinliği,

B: Toplam Genişlik,

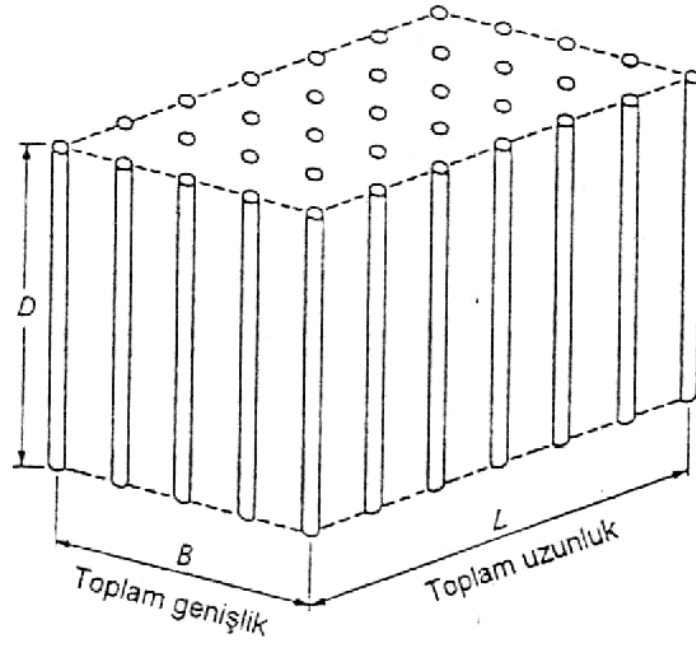
L: Toplam Uzunluk,

$\bar{c}$: Kazık Boyunca Bulunan Kilin Ortalama Kohezyon Değeri,

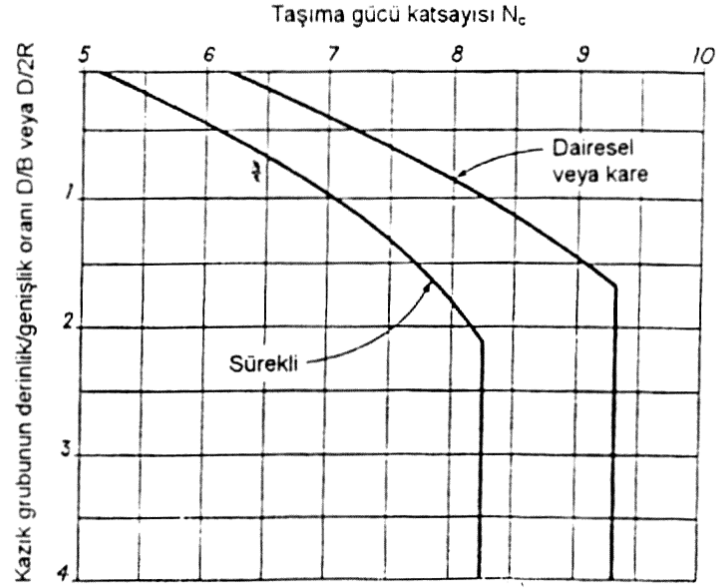
s: Şekil Faktörü,

N_c : Taşıma Gücü Katsayısı.

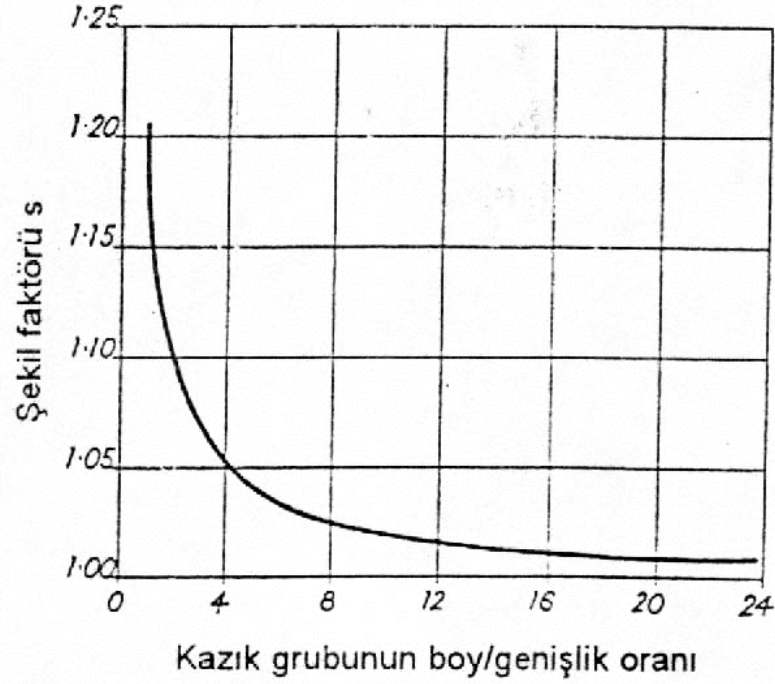
N_c değerleri Şekil 3.22' deki diyagramdan ve s değerleri de Şekil 3.23' deki diyagramdan elde edilir.



Şekil 3.21 Kazık grubunun blok temel gibi davranması [23]



Şekil 3.22 Taşıma gücü katsayısı, N_c [23]



Şekil 3.23 Dikdörtgen kazık grupları için şekil faktörü [23]

3.2.3 Kazık Grubu Verimi

En büyük kapasite için bir kazık grup verimi (Y) tanımlamak uygundur:

$$Y = \text{Kazık Grubunun Maks. Kapasitesi} / \text{Kazıkların Maks. Kapasitelerinin Toplamı}$$

Kazık grubu veriminin belirlenmesiyle ilgili ilk yöntemler sadece geometriye dayalı olan yöntemlerdir. Örneğin “Converse Labarre” formülü ve Feld kuralı (Poulos ve Davis, 1980). Daha sonraki çalışmalar, zemin ve kazık özelliklerinin göz önüne almadığı bu yöntemlerin yetersiz olduğu fark edilmiştir. Tablo 3.22’ de , çeşitli koşullar altında Y’nin belirlenmesi için öneriler özetlenmiştir. Bu yöntemlerin yaklaşık olduğunun belirtilmesi gerekir [19].

Tablo 3.22 Kazık grubu verimliliğinin belirlenmesine ilişkin öneriler [19]

Durum	Grup Verimliliği	Notlar
Gevşek-orta sıkı kumlar için çakma kazıklar	1.0	Y, 1'den büyük olabilir. Tasarımda Y=1 kullanılır.
Kaya, sıkı kum veya çakıl için uç kazıklar	1.0	Taban direnci, küçük aralıklarda bile, grup hareketinden fazla etkilenmez.
Kumda delme sürtünme kazıklar	0.67	“Klasik alışılmış bölmeler” için, yani $3\mu 1$ çap
Kilde sürtünme kazıkları; başlık yüzeyin üstünde	$P_b/\sum P_u$ ’ dan küçük veya 1.0	Taban altındaki tüm yumuşak tabakalar izin verir.
	$(1/(1+(\sum P_u/P_B)^2))^{0.5}$	Taban altındaki tüm yumuşak tabakalar izin verir.

P_B : Kazık veriminden oluşan blok için maksimum yük kapasitesi.

$\sum P_u$: Kazıkların ayrı ayrı maksimum kapasiteleri toplamı.

3.2.4 Kazık Grup Oturması

3.2.4.1 Analiz Yöntemleri

Grup kazıklarda oturmanın hesaplanması için en az yedi geniş analiz yöntemi kullanılmaktadır [19]:

- 1) Grubu eşdeğer radyeye indirgeyen basitleştirilmiş yöntemler (Terzaghi ve Peck, 1967; Tomlinson, 1986).
- 2) Grubu eşdeğer bir kazığa indirgeyen basitleştirilmiş yöntemler (Poulos ve Davis, 1980; Poulos, 1993; Van Impe, 1991).
- 3) Oturma oranı yöntemi; genellikle yukarıda belirtilen yöntemlerden türetilir. Ortalama yük etkisi altındaki tek bir kazığın oturmasının, oturma oranı çarpımını içerir (Poulos, 1979b; Fleming ve diğerleri, 1985).
- 4) Tek kazığın davranışını elastik teori ile hesaplayan ve kazık-zemin-kazık etkileşimini yine elastik teorisinin bir şekliyle hesaplanan etkileşim katsayıları ile

göz önüne alan yöntemler (Poulos , 1968; Randolph ve Wroth, 1979; Hirayama, 1991; Polo ve Clement, 1988).

- 5) Tek kazık davranışını yük-transfer analizi ile hesaplayan ve elastik teori kullanıldığı için kazık-zemin-kazık etkileşimine izin verilen melez yöntemler.
- 6) Her bir kazığın ayrık elemanlara bölündüğü ve bu elemanlar arasındaki kazık-zemin-kazık etkileşiminin elastik teorisinin kullanımı ile göz önüne alınan tam sınır eleman yöntemleri (Butterfield ve Douglas, 1981; Poulos ve Hewitt, 1986).
- 7) Grubu genellikle eşdeğer düzlem şekil değiştirme veya eksenel simetrik sisteme basitleştiren sonlu eleman yöntemleri (Ottavini 1975; Pressley ve Poulos, 1986).

Çeşitli yöntemleri kıyaslayan bir çok yayın yapılmıştır ve elastik teoriye dayanan çeşitli yöntemlerle benzer oturmalar bulunmuştur ; örneğin Poulos ve Randolph (1983), Chow (1986) ve Lee (1993). Poulos (1993), sondan mesnetli (end-bearing) gruplar için eşdeğer radye yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem 16 veya daha çok kazıklı gruplar için uygun oturma değerleri vermesine rağmen az kazıklı gruplar için olması gerektiğinden fazla oturma değerleri vermektedir. Bu yöntemin sürtünme kazıklarından oluşturulan gruplar için uygun olduğu ve 4 kazıktan oluşan gruplar kadar küçük gruplar için uygun sonuçlar verdiği bulunmuştur [19].

O'Neill ve Ha (1982), zemin parametre girdilerinin uygun seçilmesi durumunda melez (hybrid) ve elastik yöntemlerin benzer sonuçlar verdiğini bulurken, Pressley ve Poulos (1986) lineer sonlu eleman analizi kullanarak elde edilen yük-oturma davranışının, etkileşim katsayısı analizi ile elde edilenle benzer olduğunu göstermişlerdir [19].

Poulos (1994a), bir grubun yük-oturma davranışını etkileyebilecek çeşitli katsayıların bağıl önemlerini incelemiştir. Bu katsayılar arasında en önemlileri kazıkların çevresinde ve arkasındaki zemin modülleridir. Özellikle kumdaki kazıklarda, kazıkların yerleştirilmesinin kazık grubu içinde kalan zemin özelliklerine etkisi çok önemlidir. Bir kazık grubunun kum içine çakılmasının grupta içte kalan kazıkların çevresindeki zemini yoğunlaştırdığı, rijitleştirdiği ve güçlendirdiği artık çok kolay bilinmektedir. Böylece, bir grup içindeki kazığın yük-oturma davranışı tek bir yalıtılmış kazığın davranışından farklı olabilir ve grup oturma oranı bazı durumlarda birden az olabilir. O'Neill (1983) grup oturma oranının, ortalama grup genişliği azaldıkça, azaldığını ve gevşek kumlara çakılan sık aralıklı kazıklarda 0.2 gibi az

olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle açıktır ki bazı anahtar faktörler varlığının net olarak anlaşılmadan yapılan teorik analizlerin uygulamaları, özellikle kumlarda, grup oturmalarının büyük hatalarla elde edilmesine neden olabilir (Poulos,1968; Leonards,1972). Ancak, bu hatalar güvenli tarafta kalmaktadır, yani tahmin edilen oturmalar gerçek oturmalardan daha büyük çıkmaktadır. Güvenli kalınan tarafın gerçek değere olan uzaklığı imalatın ekonomikliğini önemli ölçüde etkilemektedir [19].

3.2.4.2 Grup Oturmalarının Pratik Olarak Belirlenmesi

Grup oturmalarının, bilgisayara gerek kalmadan, hızlı ve pratik olarak belirlenmesi için uygulanabilecek en az üç uygun yöntem vardır [19]:

- 1) Oturma Oranı Yöntemi,
- 2) Eşdeğer Radye Yöntemi,
- 3) Eşdeğer Ayak Yöntemi.

Oturma oranı yönteminde, grup oturması, S_G , tek kazığın oturması ile ilişkilendirilir:

$$S_G = R_S \cdot S_{iav} \quad (3.52)$$

Burada;

S_{iav} : Gruptaki tek bir kazığın ortalama yük altındaki oturmasını,

R_S : Oturma oranını

göstermektedir.

S_{iav} , hesapla ($S = \frac{P}{E_{SL} d} I_P$ denklemi ile, P:Uygulanan yük, E_{SL} : Young Modülü,

I_P : Oturma Etki Faktörü) veya prototip bir kazık üzerinde yapılan kazık yükleme deneyi sonuçlarından faydalanılarak bulunabilir.

Homojen ve homojen olmayan zemin profillerindeki çeşitli kazık grupları için teorik R_S değerleri Poulos (1977, 1979b) ve Butterfield ve Douglas (1981) tarafından sunulmuştur. Randolph , Fleming ve diğerleri (1992) oturma oranı için yararlı bir kabul yapmışlardır [19]:

$$R_S \cong n^W \quad (3.53)$$

Burada,

n: Gruptaki kazık sayısını

W: Kazık aralığı, kazık oranları, bağıl kazık rijitliği ve zemin modülünün derinlikle değişimine bağlı bir üs değeridir.

Poulos (1989), tipik kazık oranları ve aralıkları için bazı başparmak kuralları (rules thumb) önermiştir; kildeki kazıklar için $w \cong 0.5$ ve kumdaki kazıklar için $w \cong 0.33$ [19].

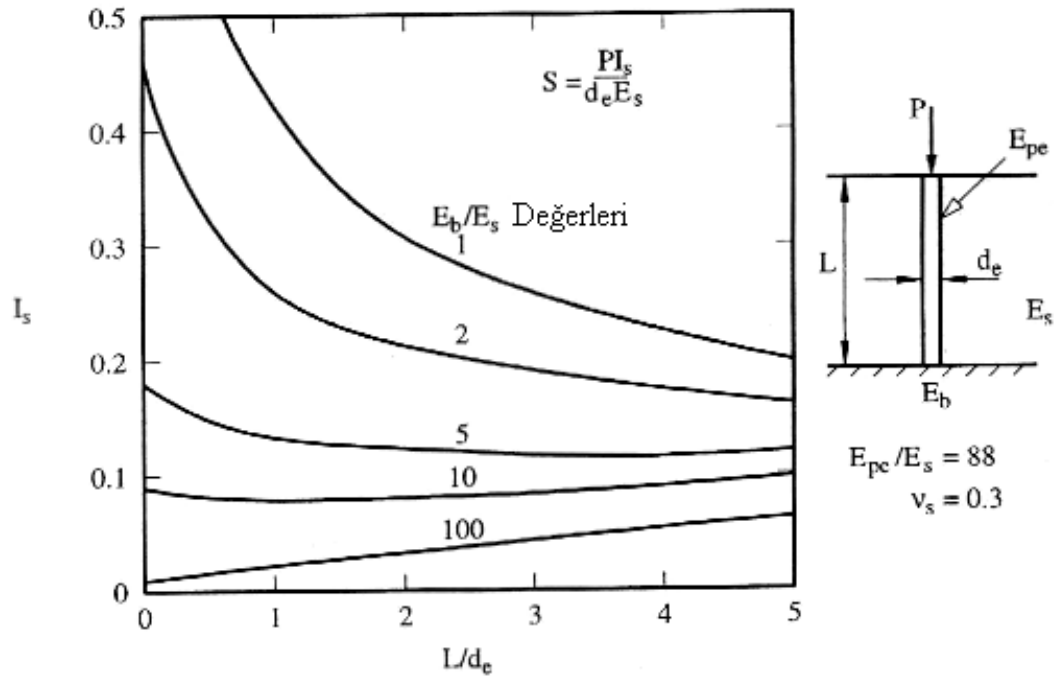
Tomlinson (1986) tarafından önerilen eşdeğer radye yöntemi kazık grubunun, yüzeyin altında uygun bir derinlikteki radye ile gösterilmesini içerir. Poulos (1993) bu yöntemin genellikle tatmin edici sonuçlar verdiğini bulmuştur. Eşdeğer ayak yönteminde Poulos ve Davis (1980) kazık grubu, kazıklar ve aralarındaki zemini temsil eden eşdeğer ayak ile değiştirmişlerdir. Çakma kazık gruplarının oturmalarının belirlenmesinde, eşdeğer ayak yönteminin aşağıda sıralanmış avantajları vardır [19]:

- a) Yerleştirme etkilerinden etkilenmiş olabilen, grup içindeki tek bir kazığın davranışının detaylı olarak göz önüne alınmasını gerektirmez.
- b) Kazık-zemin-kazık etkileşimi etkileri nedeniyle kazık uçları tarafından taşınan yükün artan oranını gösterir.
- c) Non-lineer yük-oturma davranışının da göz önüne alınabilmesi için genişletilebilir.
- d) Kildeki kazık gruplarının oturma mesafelerinin belirlenmesine olanak verir.

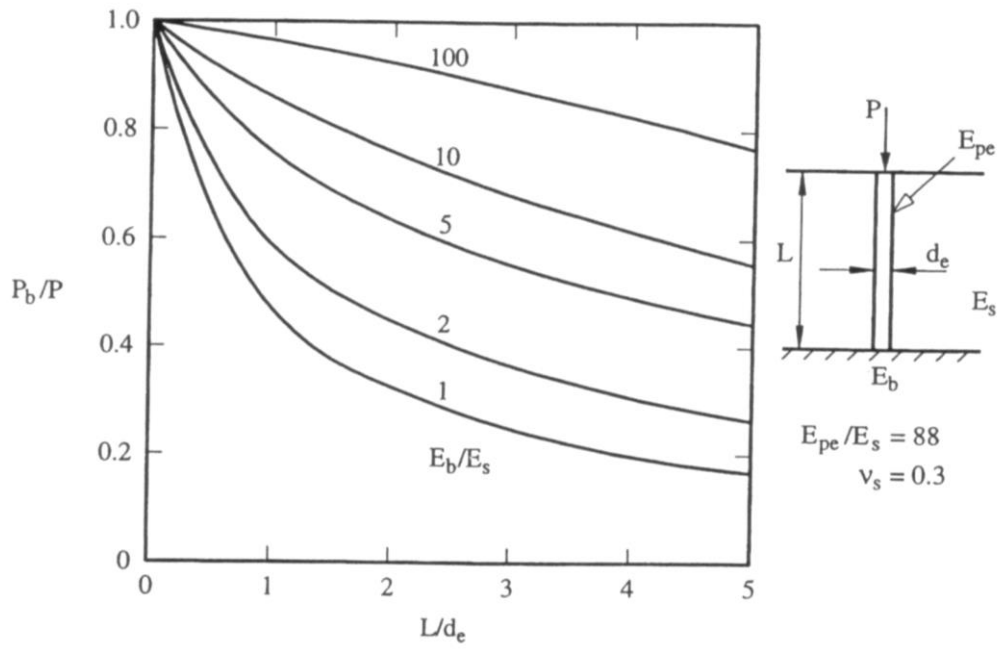
Şekil 3.24 'de, eşit veya daha fazla rijitliğe sahip bir tabak üzerine oturan homojen bir zemindeki bir ayak için boyutsuz çözümleri gösterir. Ayağın sıkışabilirliği, kazıklar arası mesafenin yaklaşık üç kazık çapına eşit olduğu bir kazık-zemin bloğunun ortalama değeri olarak seçilmiştir. Kısa ayaklar için bağıl sıkışabilirlik, ayak çok sıkışabilir olmadığı veya çok rijit bir tabak üzerine oturmadığı zaman önemsizdir. Şekil 3.26, kazık kuyusu boyunca ortalama bir zemin modülü kullanılarak, homojen olmayan bir zemindeki bir ayak için yeterli doğruluk/hassalık ile kullanılabilir. Taban yükünün oranı için çözümler Şekil 3.25'de verilmiştir ve eğer Şekil 3.14'deki yaklaşık yöntem, göçme için yük-oturma eğrisi belirlenmesinde kullanıldıysa yararlıdır.

Eşdeğer ayak yönteminin uygulaması için aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir [19]:

- a) Eşdeğer ayağın çapı d_e , toplam yüzey alanı (çevre alanı ve taban) kazık ve zemin bloğundakine eşit olacak şekilde seçilmelidir. $B \times B$ 'lik bir kare planlı blok alanı için d_e , bloğun uzunluğuna bağlı olarak 1.13 B ile 1.27 B arasındadır.
- b) Ayağın Young modülü kazık-zemin bloğununkinin alan ağırlıklı ortalaması olarak alınır.
- c) Mesnet tabakasının Young modülü, E_b 'nin seçiminde yerleştirme etkileri göz önüne alınmalıdır. Poulos (1994a) tarafından tartışıldığı gibi ortalama bir değer (ayağın tabanının altındaki derinliğe bağlı olarak ağırlıklı ortalama) kullanılmalıdır.
- d) Non-lineer analiz için, grubun en büyük çevre ve uç direnci (ki bunların eşdeğer ayakla aynı olması gerekmez) hesaplanır. Eğer bilgisayar ile analiz yapılacaksa, eşdeğer ortalama en büyük çevre sürtünmesi ve uç kazığı değerleri, sırasıyla hesaplanmış shaft ve taban dirençlerinin yağın shaft ve taban alanlarına bölünmesiyle elde edilebilir.



Şekil 3.24 Zemin tabakasındaki eşdeğer ayağın oturması [19]



Şekil 3.25 Eşdeğer ayak için taban yükü oranı [19]

3.2.4.3 Parametrelerin Belirlenmesi

Kazık oturmasının belirlenmesinde anahtar geoteknik parametre zemin rijitliğidir. Eğer elastik süreklilik teorisine dayalı bir analiz kullanılıyorsa, zemin rijitliği, Young modülü E_s veya kayma modülü G_s cinsinden ifade edilebilir. Bu modüllerin hem büyüklüğü hem de yayılımı önemlidir. E_s veya G_s 'nin sabit olmadıkları, çok kuvvetli olarak, iddia edilemez, ancak zemin cinsi, başlangıç gerilme hali, gerilme geçmişi, kazığın yerleştirilme yöntemi, kazık veya kazık grubu tarafından belirlenen stres sistemi ve düzeyi ve kısa veya uzun dönem şartlarının göz önüne alınması gibi bir çok faktöre bağlıdır. Zemin modülünün belirlenmesi için en uygun yöntem prototip kazıklar üzerinde kazık yükleme deneyleri yapmak ve gerçek oturmaların tahmini için kullanılan teori yardımıyla gözlenen yük-oturma davranışından faydalanmaktır. Bu her zaman mümkün olmadığı için, özellikle tasarımın başlangıç

aşamalarında, zemin modülünün, SPT (Standart Penetrasyon Testi) ve CPT (Koni Penetrasyon Testi) testleri gibi yerinde yapılan basit test sonuçları veya sahada ya da laboratuvarında yapılan dayanım deneylerinin sonuçları ile yapılan korelasyonlar genellikle kullanılan uygulamalardır. Kazık oturma analizi için dört Young Modülü seçilebilir:

- 1) Kazık shaftının çevresindeki zemin için E_s değeri, tek bir kazığın ve kazık grubunun oturmasını kuvvetli bir şekilde etkiler.
- 2) Kazık ucunun hemen altındaki E_{sb} değeri, bu da tek bir kazık ve kazık grubunun oturmasını etkiler.
- 3) Kazıkların arasındaki zemin için başlangıç teğet değeri E_i değeri, bu bölgedeki küçük şekil değiştirmeleri gösterir ve kazıklar arasındaki oturma etkileşimini etkiler.
- 4) Kazık uçlarının çok altındaki zemin için E_{sl} değeri. Bu değer, grup boyutu arttıkça artan grup oturmalarını etkiler.

E_s ve E_b yerleştirme işleminden etkilenir. Delme kazık için ve çakma kazık için farklı olmaları beklenir. Diğer taraftan, E_{si} ve E_{sl} yerleştirme işleminden etkilenmez, ancak zeminin başlangıç gerilme durumu ve gerilme geçmişinden etkilenir. Yerleştirme yönteminin, büyük oranda E_{sl} ve E_{si} değerlerine bağlı olan kazık grubu

oturmasından çok, E_s ve E_{sb} değerlerine bağı olan tek bir kazığın oturması üzerinde etkili olması ilginç bir sonuçtur.

Tablo 3.23 E_s , E_{si} ve E_{sl} için tahmin edilen korelasyonları vermektedir. Tüm bu durumlarda, korelasyonlar drenajlı Young modülüne ve dolayısıyla sonuç oturmalarının hesaplanmasıyla ilişkilidir. Çakma kazığın ucunun altındaki E_{sb} modülü ile ilgili küçük bilgi ortaya çıkar. Killerde, E_s için kullanılan korelasyonun, E_{sb} için de kullanılması, ancak kumlarda E_{sb} 'nin E_s için verilen korelasyonun 3-5 katı olması önerilmektedir.

Eğer Şekil 3.12'de ve Şekil 3.25'deki gibi basit teorik çözümler kullanılmıyorsa, kazık boyunca ve kazık ucu altındaki Young modülünün ortalama değerlerinin belirlenmesi gerekir. Eğer kazıklar çok ince (narin) veya sıkışabilir değilse kazık (veya eşdeğer ayak) shaftı boyunca ortalama modül seçilmesi genellikle uygundur [19].

Tablo 3.23 Kazık oturma analizi için drenajlı Young Modülü için bazı korelasyonların özeti [19]

	Yakın-Çevre Modülü E_s (MPa)	Küçük Şekil Değiştirme Modülü E_s (MPa)	Kazık Ucunun Çok Altındaki Modül E_s (Mpa)
Killer	$(2.5 \pm 0.5) N$ (Decourt ve diğerleri, 1989)	$14 N$ (Hiyarama,1991)	$(0.5 \pm 0.2) N$ (Stroudi, 1974)
Çakma Kazıklar	$(15 \pm 5) S_U$ (Poulos,1989) $(500 \pm 5) q_C$ (Callanan & Kulhawy,1985)	$49.4 q_C^{0.695} \cdot e_0^{-1.13}$ (Mayne&Rix,1993) $1500 S_U$ (Hirayama,1991)	$(7.5 \pm 2.5) q_C$
Delme Kazıklar	$(150 \pm 400) S_U$ (Poulos & Davis,1980) $(10) q_C$ (Christoulos&Frank,1991)		$(150 \pm 50) S_U$ $(0.5 - 0.7) N$
Silikalı Kumlar	$(2.5 \pm 0.5) N$ (Decourt ve diğerleri, 1989)	$16.9 N^{0.9}$ (Ohsaki & Kawasaki,1973)	$7N^{0.5}$ (Denver,1982)
Çakma Kazıklar	$(7.5 \pm 2.5) q_C$ (Poulos,1989)	$53 q_C^{0.61}$ (Imai&Tonouchi,1982)	$(7 \pm 4) q_C$ (Jamiolkowski ve diğerleri,1988)
Delme Kazıklar	$(3 \pm 0.5) q_C$ (Poulos,1993)		

- (a) Kumlar için E_s ve E_{si} değerleri tek yalıtılmış kazıklar içindir. Grupta kazık aralığı ve başlangıç yoğunluğuna bağlı olarak değerler artabilir.
- (b) Kazık ucunun altında, killer için ve kumlardaki delme kazıklar için E_{sb} ve E_s 'ye eşit alınabilir ve kumlardaki delme kazıklar için E_s 'nin 3-5 katı alınabilir.
- (c) Yukarıdaki E_{sb} ve E_s değerleri elastik analizde kullanılmak üzere verilmiştir. Non-lineer analiz için daha yüksek değerler uygundur (örneğin hiperbolik bir modelin başlangıç teğet değerleri tabloda verilenin 1.4-1.6 katı kadar olmalıdır.).
- (d) N, SPT değeridir (300 mm'de bir darbe, Mpa) ve %60'lık çubuk enerjisine düzeltilmelidir.
- (e) q_C = koni penetrometre direnci (MPa); S_U =Drenajsız kayma dayanımı (MPa); e_0 =başlangıç boşluk oranı; M=zorlanma modülü.

4. KAZIKLI RADYE TASARIMI

4.1 Kazıklı Radyeler İçin Uygun ve Uygun Olmayan Koşullar

Poulos (1991) idealize edilmiş çok sayıda zemin üzerinde inceleme yapmış ve uygun olabilecek durumları aşağıdaki gibi sıralamıştır [16]:

- a) Nispeten katı kilden oluşan zemin profilleri.
- b) Nispeten sıkı kumlardan oluşan zemin profilleri.

Her iki durumda da, mesnet görevinden ziyade temel performansını arttıracak şekilde hareket eden kazıklardan oluşan radye gerekli yük kapasitesi ve rijitliğini önemli oranda sağlar.

Diğer taraftan uygun olmayan bazı durumlarında mevcut olduğunu ileri sürmüştür:

- a) Yüzeye yakın yerlerde yumuşak killer içeren zemin profilleri.
- b) Yüzeye yakın derinliklerde yumuşak sıkıştırılabilir tabakalar içeren zemin profilleri.
- c) Konsolidasyon oturmalarına maruz kalma ihtimali yüksek olan zeminler.
- d) Dış etkilerden ileri gelen şişme hareketleri yapabilecek zemin profilleri.

İlk iki durumda radye önemli miktarda yük kapasitesi ve rijitliği sağlayabilirken üçüncü durumda alttaki sıkışabilen katmanların uzun süreli oturmaları radyenin, kazıklı radye sistemin ileri rijitliğine olan katkısını azaltabilir. Son iki durumda tedbirli davranmak gerekir. Konsolidasyon oturmaları radye ile zemin arasındaki etkileşimin kaybolması ile ve bu nedenle de kazıklara gelen yük ile temelin oturmasının artmasıyla sonuçlanır. Şişebilen zeminlerde kazıklarda önemli miktarda ilave çekme kuvvetleri oluşabilir. Bununla ilgili teorik çalışmalar Poulos ve Sinha (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir.

4.2 Tasarım Aşaması

Kazıklı radyelerin tasarım işlemi üç ana aşamadan oluşur:

- a) Kazıklı radye kullanımının fizibilitesinin ve gerekli kazık sayısının belirlenmesi için yapılan ön çalışma.
- b) Kazıkların nerelerde gerekli olduğu ve bunların özelliklerinin belirlendiği ikinci aşama.
- c) Optimum kazık sayısının, yerinin, radyedeki oturma, eğilme momenti, kesme dağılımının ve kazık yüklerinin belirlenmesi için yapılan detaylı çalışma.

Birinci ve ikinci aşamalar karmaşık bir bilgisayar kullanılmaksızın yapılabilen nispeten basit hesaplar içerir.

Son aşama zemin, radye ve kazıklar arasındaki ilişkiyi dikkate alan uygun bilgisayar programı kullanmayı gerektirir. Ayrıca üst yapının etkilerinin de göze alındığı durumlar oluşabilir.

4.2.1 Ön Tasarım Aşaması

Bu aşamada ilk olarak kazıksız radye temelin performansının belirlenmesi gerekir. Düşey ve yatay taşıma kapasitesi ile oturma ve farklı oturmaların hesabı geleneksel tekniklerin kullanımıyla yapılabilir. Eğer radye tek başına gerekli olan yük kapasitesinin yalnızca küçük bir kısmını sağlıyorsa radyenin kazık gereksinimini azaltacak şekilde yeniden tasarlanması gerekir. Şayet radye tek başına yeterli bir yük kapasitesine sahip fakat farklı oturmalar ve oturma için gerekli kriterleri sağlayamıyorsa kazıkların oturmaya azaltmak amacıyla kullanımının uygunluğu incelenmelidir.

- a) Düşey yük kapasitesini belirlemek için yük kapasitesi genel olarak aşağıdaki iki değerden daha az olarak alınabilir.
- b) Radye ve kazık kapasitelerinin toplamı.
- c) Kazık ve radyeden oluşan bloğun kapasitesi ile kazıkların dışındaki radye kısmının kapasitesinin toplamı yük-deformasyon davranışının hesabı için Poulos ve Davis (1980) tarafından tanımlanan yaklaşıma benzer bir metotla benimsenebilir.

Ancak bu yaklaşım kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımının hesabı için Randolph (1994) tarafından ana hatları çizilen bir metot kullanılarak genişletilebilir. Şekil 4.1’de Randolph ’ un kazık problemini tanımlaması gösterilmiştir. Bu yaklaşım kullanılarak kazıklı radye temelin rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir [16]:

$$K_{pr} = \frac{K_p + K_r \cdot (1 - \alpha_{ep})}{1 - \alpha_{ep}^2 \cdot K_r \cdot K_p} \quad (4.1)$$

K_{pr} : Kazıklı radyenin rijitliği,

K_p : Kazık grubunun rijitliği,

K_r : Radyenin rijitliği ,

α_{ep} : Kazık-radye etkileşim katsayısı.

Radye rijitliği K_r elastik teori yöntemiyle hesaplanabilir. Radye rijitliği K_r , Fraser ve Wardle (1976) veya Mayne ile Poulos tarafından sunulan çözümler gibi elastik yöntemler ile de hesaplanabilir. Kazık grubu rijitliğini de K_p Poulos ve Davis (1980) veya Fleming (1992) tarafından tanımlanan yaklaşımlara benzer şekilde elastik teoriden faydalanılarak hesaplamak mümkündür. Tek bir kazık rijitliği elastik yöntem ile hesaplanır bu değer yine elastik çözümlerle yaklaşık olarak hesaplanan grup rijitliği etkinlik katsayısı ile çarpılır .

Radye tarafından taşınan toplam yükün oranı

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r \cdot (1 - \alpha_{ep})}{K_p + K_r \cdot (1 - \alpha_{ep})} = X \quad (4.2)$$

P_r : Radye tarafından taşınan yükür,

P_t . Uygulanan toplam yük

Radye-kazık etkileşim katsayısı α_{ep} aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\alpha_{ep} = 1 - \frac{\ln(r_c/r_o)}{\xi} \quad (4.3)$$

r_c : ortalama kazık başlık yarıçapı,

r_o : Kazığın yarıçapı,

$$\xi = \ln (r_m/r_o) \quad (4.4)$$

$$r_m = \{0.25 + \xi[2.5\rho(1-\nu) - 0.25] \times L\} \quad (4.5)$$

$$\xi = E_{s1}/E_{sb}$$

$$\rho = E_{sav}/E_{s1}$$

ν =Zeminin poisson oranı,

L = Kazık uzunluğu,

E_{s1} = Kazık başlık seviyesindeki Young's modülü,

E_{sav} = Kazık (kuyu) boyunca zeminin ortalama Young's modülü,

E_{sb} = Kazık başlığı altındaki taşıyıcı tabakanın Young's modülü,

Şekil 4.2'de görülen yük-oturma eğrisini oluşturmak için 4.1 nolu denklem kullanılarak kazıklı radyenin rijitliği hesaplanır, kazık kapasitesi tam olarak mobilize edilene kadar (belirlenene) bu rijitlik geçerli olacaktır. Kazık yükü mobilizasyonunun aynı zamanda olduğu varsayılarak bir basitleştirme yapılırsa aşağıdaki formül kazık kapasitesine ulaşıldığı andaki uygulanan toplam yükü P_1 'i verir.

$$P_{up} = \frac{P_u}{1 - x} \quad (4.6)$$

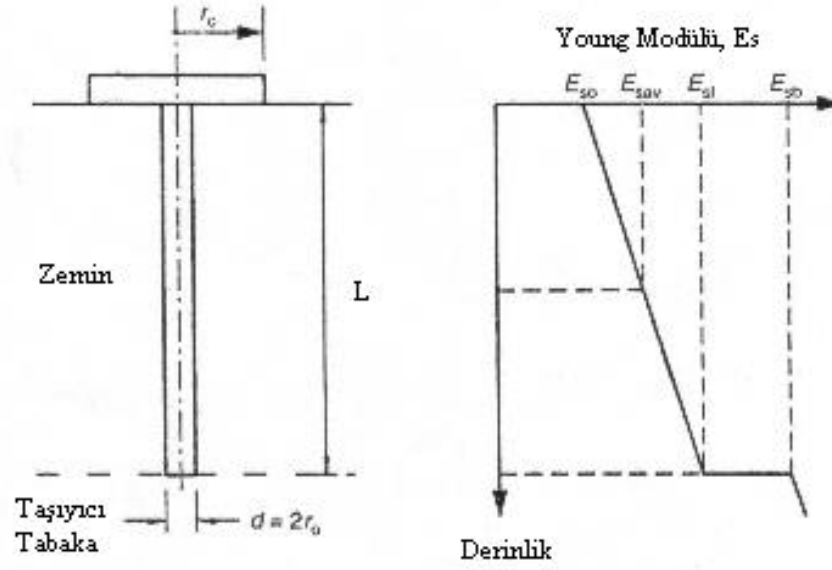
P_{up} : Gruptaki kazıkların yük kapasitesidir.

x : Kazıklar tarafından taşınan yük oranı (denklem 4.2)

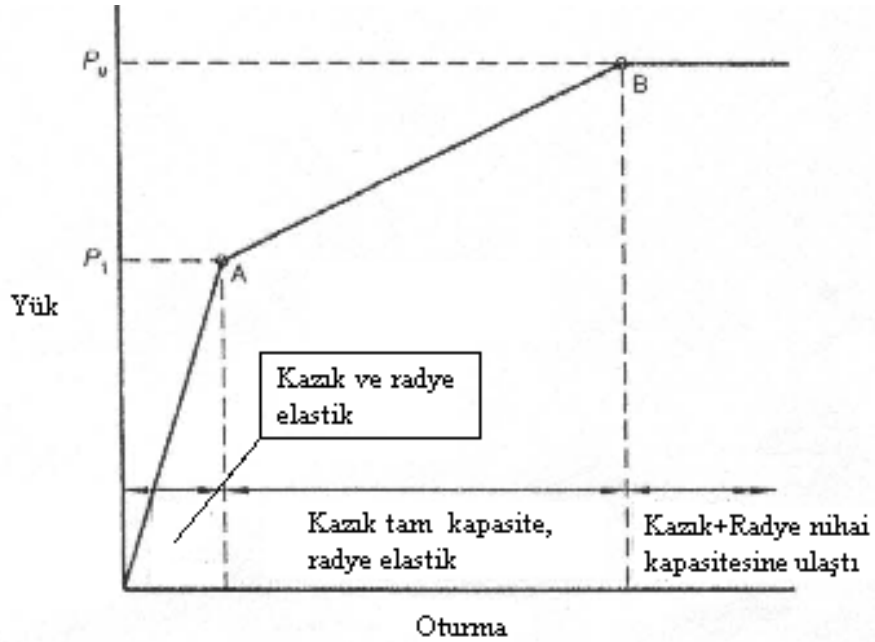
Şekil 4.2'deki A noktasının ilerisinde temel sisteminin rijitliği sadece radyenin rijitliği K_r 'dir. Bu durum B noktasında kazıklı radye temel sisteminin son yük kapasitesine ulaşmasına kadar devam eder. Bu aşamada yük-oturma arasındaki ilişki yatay olur.

Çeşitli sayılarda kazık içeren bir radyenin yük-deformasyon eğrileri MATHCAD gibi bir matematiksel program yardımı ile hesaplanabilir. Bu şekilde kazık sayısı, temelın oturması arasındaki ilişkinin hesaplanması kolay olur. Şekil 4.3 kazık

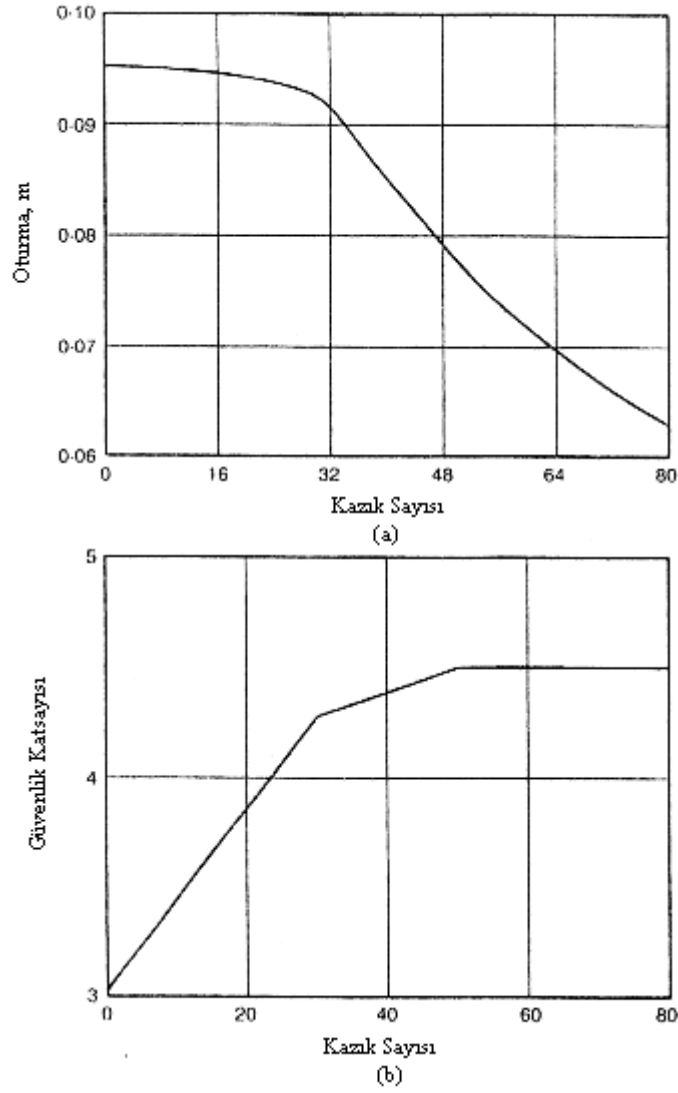
sayısının fonksiyonu olarak düşey taşıma kapasitesine bağlı olarak oturma ve emniyet katsayısı hesaplarına ait sonuçları içermektedir.



Şekil 4.1 Basitleştirilmiş Kazık-Radye Temsili - Randolph, 1994 [16]



Şekil 4.2 Ön analiz için basitleştirilmiş Yük-Oturma eğrileri [16]



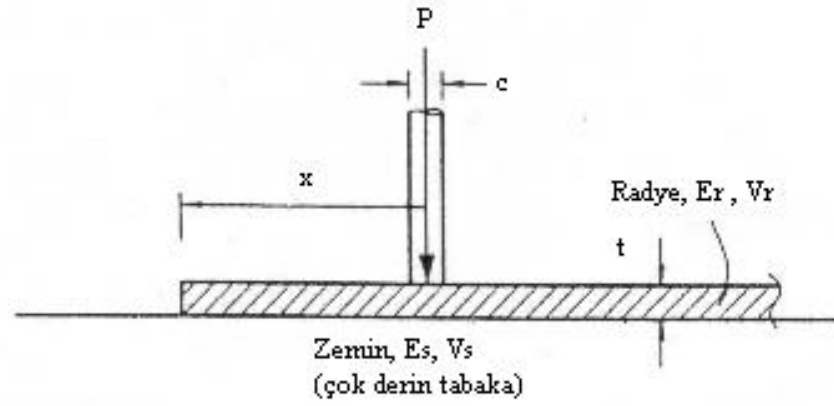
Şekil 4.3 Mathcad ile yapılan analizin tipik sonuçları [16]

4.2.1.1 Kazık İhtiyacının Belirlenmesi

Literatürdeki mevcut çalışmaların çoğunda temele uygulanan yükün biçimi ile ilgili olarak detaylı bir bilgiye yer verilmez. Ancak radye alanı üzerinde üniform olarak dağıldığı varsayılır. Bu varsayım yukarıda bahsedilen ön çalışma aşamasında yeterli olurken, kolon yükleri geldiğinde kazıkların yerleştirilmesi gereken yerlerin tespitinde yeterli olmaz. Burada kolonun altındaki kazıksız radye tarafından alınabilecek maksimum kolon yüklerinin belirlenmesine imkan veren bir yaklaşım sunulmuştur [16].

Şekil 4.4’ de radye üzerindeki tipik bir kolon görülmektedir. Kolonun altında bir kazığa ihtiyaç duyulabilecek en azından dört durum vardır:

- a) Kolonun altındaki radyede oluşan maksimum moment değeri aşılması,
- b) Kolonun altındaki radyede oluşan maksimum kesme kuvvetinin emniyetli değeri aşması durumu,
- c) Radyenin taban basıncının müsaade edilen sınır değeri aşması durumu,
- d) Kolonun altındaki lokal oturma değerinin sınır değeri aşması durumu..



Şekil 4.4. Her bir kolon yükü için problemin tanımı [16]

Radyenin üzerindeki kolon yükünden ileri gelen maksimum moment, kesme kuvveti, taban basıncı ve yerel oturmayı hesaplamak için Selvaduraz (1979) tarafından özetlenen elastik çözümler kullanılabilir. Bu çözümler çok derinde homojen elastik tabaka ile desteklenen yarı-sonsuz elastik radye üzerinde tek bir yere toplanmış yük için idealdir .

Fraser ve Wardle (1976) tarafından ileri sürülen yaklaşımı kullanarak gerçeğe uygun bir şekilde tabakalanmış bir zemini eşdeğer homojen bir zemine dönüştürmek mümkündür. Şekil 4.4’de sözü edilen problemi ve kazık sayısının belirlendiği tipik bir kolon görülmektedir [16].

4.2.1.2 Maksimum Moment Kriteri

Yarı-sonsuz bir radye üzerindeki c yarıçaplı bir kolonun altındaki M_x ve M_y momentleri aşağıdaki yaklaşımlarla verilmiştir.

- $M_x = A_x \cdot P$
- $M_y = B_y \cdot P$
- $A_x = A - 0.0928 \cdot \ln(c/a)$
- $B_y = B - 0.0928 \cdot \ln(c/a)$

A ve B,

$\frac{\delta}{a}$ 'ya bağlı katsayılarıdır,

$\frac{\delta}{a}$: radye kenarından kolonun merkezine olan mesafe,

a: kolonun karakteristik uzunluğudur,

t: radye kalınlığı,

E_r : Radyenin Young's modülü,

ν_r : Radyenin Poisson oranıdır,

E_s : Zeminin Young's modülü,

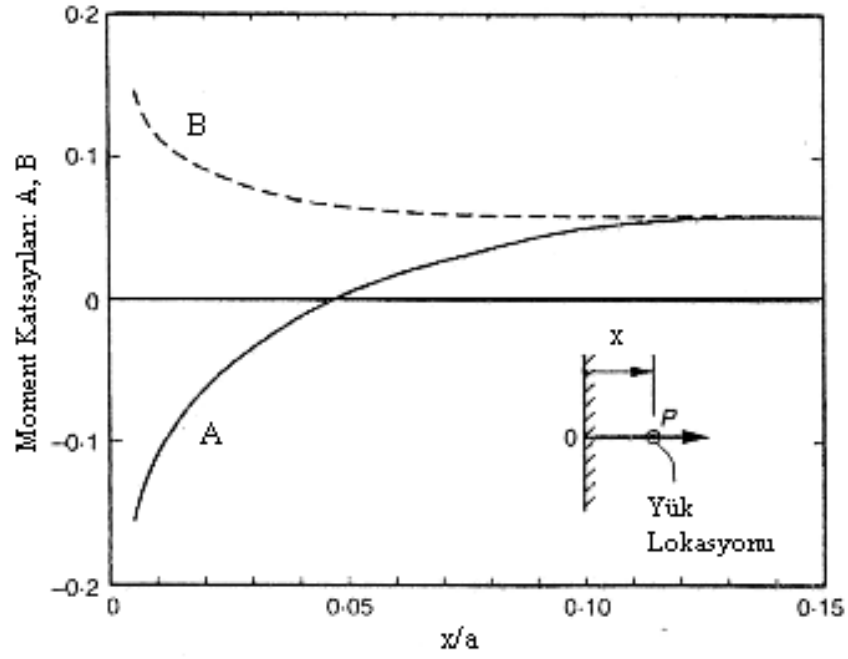
ν_s : Zeminin Poisson oranıdır.

A ve B katsayıları, $\frac{x}{a}$ rölatif mesafesinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Maksimum kolon yükü P_{ci} müsaade edilen moment değerini aşmadan radye tarafından taşınabilir.

$$P_{ci} = \frac{M_d}{A_x \text{ veya } B_y \text{ 'nin büyük olanı}} \quad (4.7)$$

M_d = Radyenin tasarım moment kapasitesi tesiridir.



Şekil 4.5. Dairesel kolon için moment katsayıları: A,B [16]

4.2.1.3 Maksimum Kesme Kuvveti (Kayma Kriteri)

Kolonun altındaki maksimum kesme kuvveti $V_{\max}$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir [16]:

$$V_{\max} = \frac{c_q \cdot (P - q\pi a^2)}{2\pi a} \quad (4.8)$$

q : Radyenin altındaki taban basıncı,

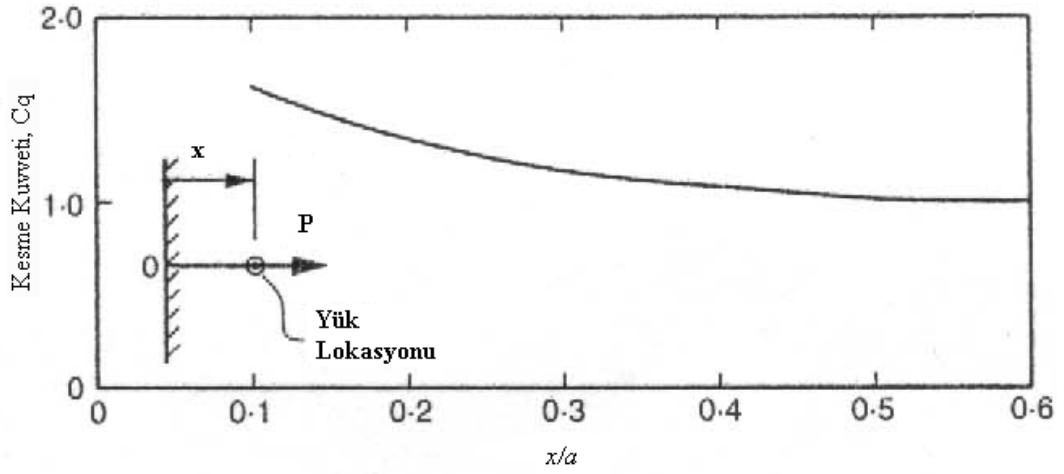
c : Kolon yarıçapı,

c_q : Şekil 4.6'da gösterilen kesme faktörü.

Buna göre radyenin kesme kapasitesi V_d ise, maksimum kolon yükü P_{c2} şöyledir.

$$P_{c2} = \frac{V_d 2\pi a}{c_q} + q_d \pi a^2 \quad (4.9)$$

q_d : Radyenin altındaki emniyetli taşıma basıncıdır.



Şekil 4.6. Dairesel kolon için kesme katsayısı: c_q [16]

4.2.1.4 Maksimum Taban Basıncı Kriteri

Radyenin üzerindeki maksimum taban basıncı, $q_{\max}$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$q_{\max} = \frac{\bar{q}P}{a^2} \quad (4.10)$$

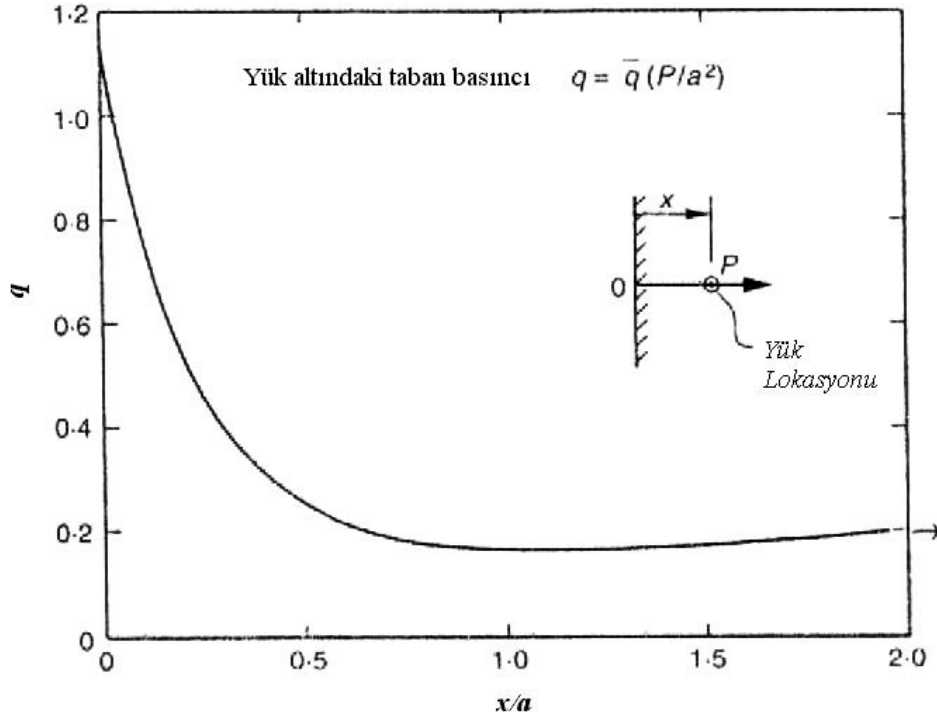
$\bar{q}$: Şekil 4.8’de çizilen faktör (katsayısı),

a : Tanımlanan karakteristik uzunluk,

P_{c3} : Taban basıncını aşmadan uygulanabilen kolon yüküdür,

q_u : Radyenin altındaki zeminin taşıma kapasitesi,

F_s : Taban basıncı için emniyet katsayısı.



Şekil 4.7. Taban basıncı katsayısı: q [16]

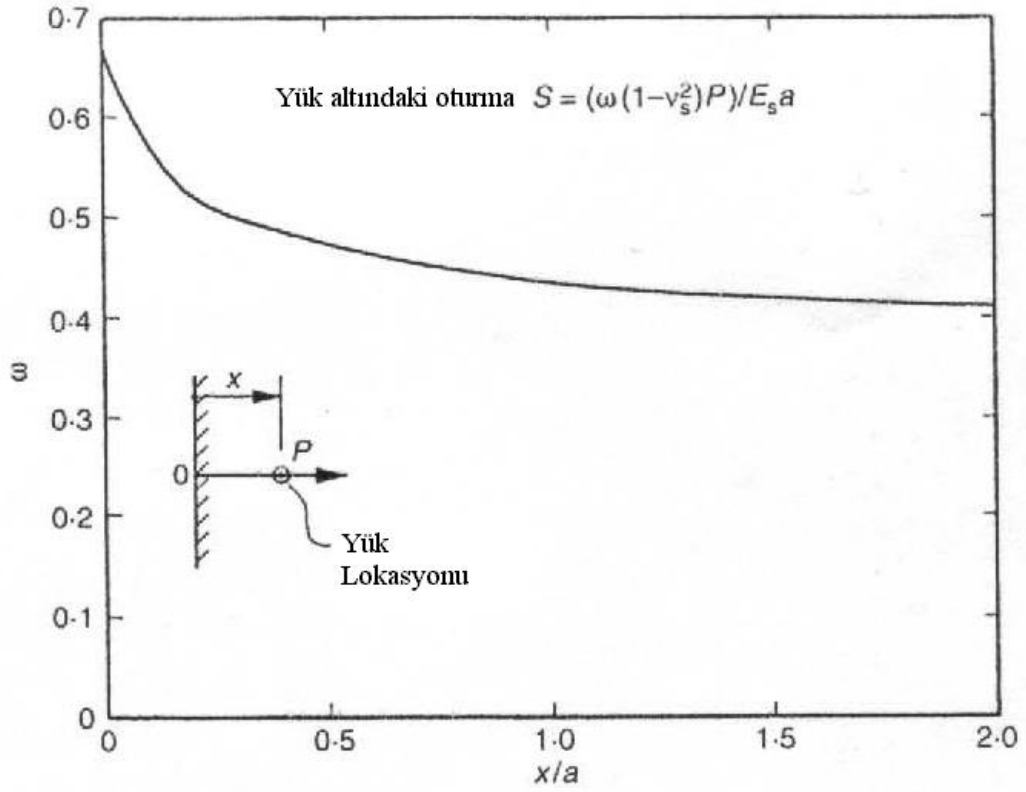
4.2.1.5 Yerel Oturma Kriteri

Toplanmış bir yük gibi alınan kolonun altındaki oturma aşağıdaki formülle hesaplanır [16]:

$$S = \frac{\omega(1 - \nu_s^2)P}{E_s a} \quad (4.11)$$

ω : Şekil 4.8’de çizilen oturma faktör (katsayısı)

Bu ifade kolonun oturması üzerindeki bitişik kolonların etkisini dikkate almaya imkan vermez. (Çok daha geniş bir oturma üzerindeki yerel oturma)



Şekil 4.8 Oturma Katsayısı, w [16]
(Çok derinde ve homojen olduğu varsayılan zemin)

4.2.2 Kolon Bölgesinde Kazık Gereksiniminin Belirlenmesi

Belirli bir bölgedeki gerçek kolon tasarım yükü P_c ise ve P_c yukarıdaki dört kriterde söz edilen değerlerin en azını aşıyorsa, kazık kullanımı gerekli olabilir. Yani $P_c > P_{crit}$ ise, $P_{crit} = P_{c1}, P_{c2}, P_{c3}$ veya P_{c4} arasından en küçük olanı eğer kritik koşul maksimum moment, kesme kuvveti veya taban basıncı ise ($P_{crit} = P_{c1}, P_{c2}, P_{c3}, P_{c4}$), kazığın yük kapasitesindeki eksikliği gidermek için tasarlanması gereklidir. Burland (1995) kazıklı radye sistemin altında mobilize yaparken kazık yük kapasitesinin sadece %90'ının dikkate alınmasını önermiştir. Buna dayanarak kolon bölgesindeki kazık yük kapasitesinin nihai değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır [16]:

$$P_{ud} = 1.11F_p(P_c - P_{crit}) \quad (4.12)$$

F_p : Kazıklarda emniyet katsayısı,

Kazıklar oturmayı azaltma amaçlı tasarlandığından F_p birim olarak alınabilir.

Eğer kritik durum yerel oturma ise kazık ilave rijitliği sağlamak amacıyla tasarlanmalıdır.

S_a : Maksimum yerel oturma,

K_{cd} : Kolonun altındaki temelin hedeflenen rijitliği.

$$K_{cd} = \frac{P_c}{S_a} \quad (4.13)$$

İlk olarak hedeflenen bu rijitliğin elde edilebilmesi için gerekli olan kazık rijitliği aşağıdaki ikinci dereceden denklem kullanılarak hesaplanır.

$$K^2 + K_p[K_r(1 - 2\alpha_{cp}) - K_{cd}] + \alpha_{cp}^2 K_r K_{cd} = 0 \quad (4.14)$$

α_{cp} : Kazık-radye etkileşim katsayısı

K_r : Kolonun çevresindeki radye rijitliği

α_{cp} üçüncü derece denklemi kullanılarak hesaplanabilirken, radye rijitliği K_r ’ de yarıçapı karakteristik uzunluk a' ya eşit olan dairesel temelin rijitliği olarak hesaplanabilir. Ancak bu uygulama sonucu oluşan toplam radye alanı gerçek radye alanını aşmamalıdır [16].

4.2.3 Kritik Kolon Yükleri Örneği

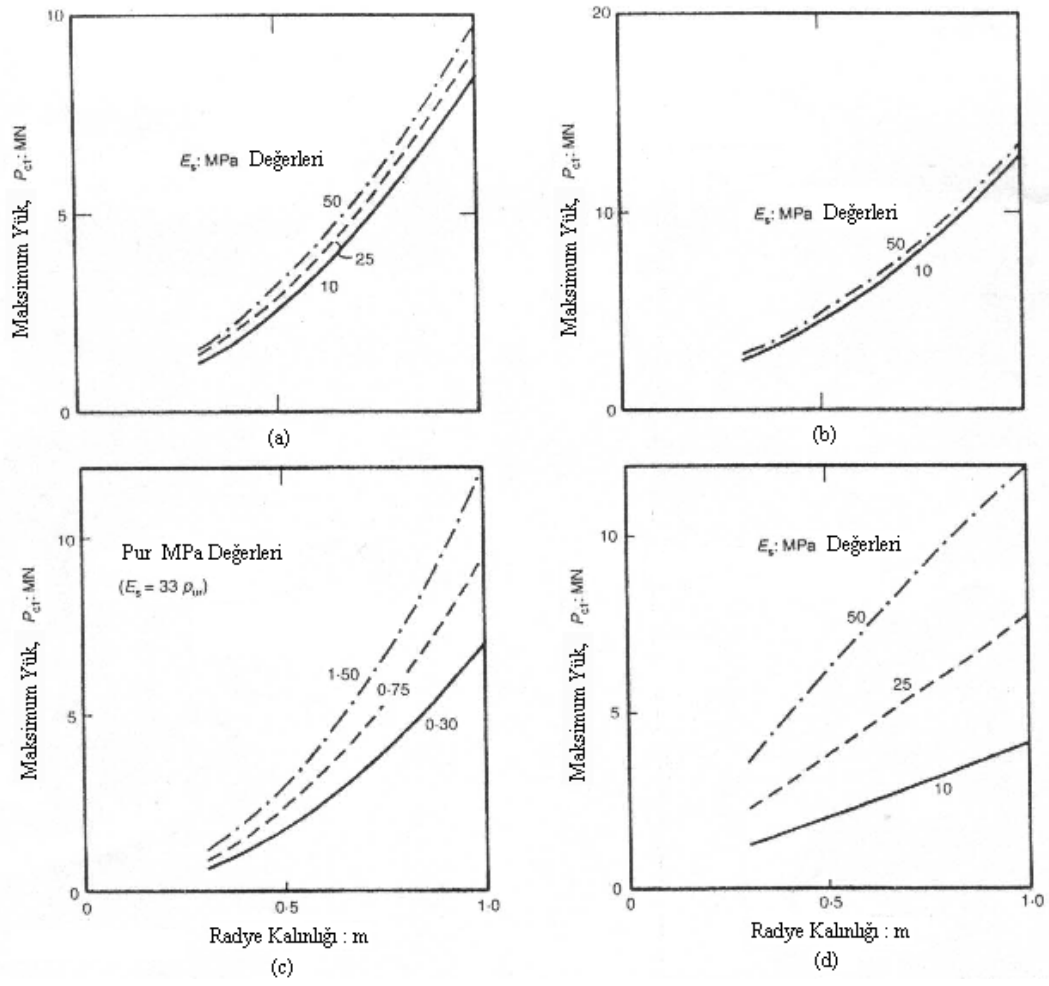
Yukarıda anlatılan yaklaşımda hesaplanan maksimum kolon yüklerini göstermek için Young’s modülü E_s olan derin bir kil tabakası üzerine yerleşmiş t kalınlıklı radyeyi içeren bir örnek dikkate alınmıştır. Maksimum moment ve kesme değerleri Şekil 4.9’ da gösterilmiştir. Maksimum taban basıncı için tasarım kriterinde emniyet katsayısı $F_s = 1.2$ olarak alınmış ve yerel oturma 20 mm ile sınırlanmıştır. Kolonun radyenin kenarından uzakta içerde olduğu varsayılmıştır.

Şekil 4.9’ da Young’s modülünün ve radye kalınlığının bir fonksiyonu olarak dört kritere ait hesaplanan maksimum yükler görülmektedir:

Tüm tasarım kriterlerinde sadece radye tarafından karşılanan kolon yükü, radyenin kalınlığı arttıkça belirgin olarak artar.

Taban basıncı ve yerel oturmaya ait maksimum kolon yükleri zeminin young’s modülüne önemli ölçüde bağlıyken, eğilme momenti ve kesmeye ait maksimum kolon yükleri zeminin young’s modülüne bağlı değildir.

Maksimum moment ve yerel oturma kritik durum oluşturma ihtimali yüksek olan kriterlerdir. Şekil 4.9’ daki sonuçlar varsayılan bir örneğe ait olmasına rağmen , yine de bu sonuçlar radyenin taşıyabileceği maksimum kolon yüklerinin büyüklük sıralaması ve kolonun altına yerleştirilecek kazık gereksinimi hakkında faydalı bir göstergedir. Örneğin 0.5 m kalınlıklı bir radye 25 Mpa’lık Young’s modülü olan bir zeminin üzerine yerleştirilecekse en düşük kolon yükü değeri 2.8 MN olarak bulunur. (Bu maksimum moment kriterine aittir.) Eğer kolon yükü 4 MN ise 14 nolu denklemden kazığın gerekli son kapasitesi $1.11 \times (4.0 - 2.8) = 1.33$ MN olarak bulunur [16].



Şekil 4.9. Farklı Kriterler İçin Maksimum Kolon Yüklerine Örnek [16]

- (a) Maksimum moment kriteri
 - (b) Maksimum kesme kriteri
 - (c) Maksimum taban basıncı kriteri (FS=1.2)
 - (d) Maksimum lokal oturma kriteri (20mm)
- Beton $f_c=32$ Mpa ve $E_r=25000$ Mpa,
 Çelik için: $f_y=400$ Mpa ve %1 donatı

4.2.4 Detaylı Tasarım Aşaması

Ön çalışma aşaması kazıklı bir radyenin uygun olduğunu göstermişse, bu durumda kazıkların sayısının, yerleşim bölgelerinin optimum olarak tespit edilmesi ve oturma dağılımının tam olarak belirlenmesi için daha detaylı bir çalışmanın gerçekleştirilmesi gerekir. Ayrıca radyenin eğilme momentlerini ve kesme kuvvetleri ile kazık yüklerinin de elde edilmesi gereklidir.

Kazıklı radyelerin analizinde çok sayıda metod geliştirilmiş ve Poulos tarafından 1997’de bunların bir kısmı özetlenmiştir. Daha az basitleştirilmiş nümerik analizler için Poulos tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır [16]:

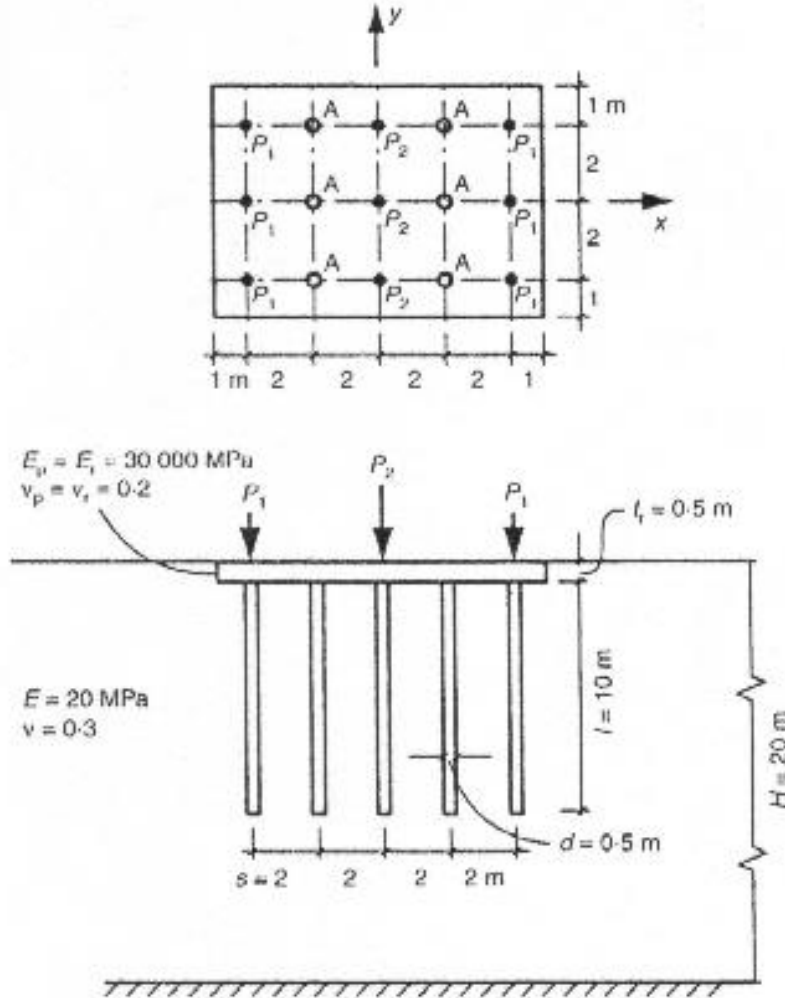
- a) Yaylar üzerindeki şerit yaklaşımını uygulayan metotlar. Bu yaklaşımda kazıklar uygun rijitlikteki yaylarla, radyede çok sayıdaki şerit temellerle temsil edilirler (Poulos,1991),
- b) Yaylar üzerindeki levha yaklaşımını benimseyen metotlar. Buna göre radye levha ile, kazıklarda yaylarla temsil edilirler (Clancy ve Randolph,1993; Poulos,1994; Russo ve Viggiani,1998; Yamashita ve diğerleri, 1998; Anagnostopoulos ve Georgiadis, 1998),
- c) Sınırlı eleman metotları ve elastik teori ile (Butterfield ve Banerjee, 1971; Kuwabara, 1998; Sinha,1997),
- d) Kazıklar için kullanılan sınırlı eleman metodu, radye için kullanılan sonlu elemanlar metodunun birleştirilmesi (Hain ve Lee,1978; Ta ve Small, 1996; Franke ve diğerleri, 1994),
- e) Temel sistemi düzlem birim deformasyon problemi olarak basitleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi (Desai, 1974) veya aksisimetrik problem (Hooper, 1974),
- f) Üç boyutlu sonlu elmanlar analizi (Zhuang ve diğerleri, 1991; Lee, 1993; Wang, 1995; Katzabach ve diğerleri, 1998),

Poulos ve diğerleri (1997) bu metotların bazılarını Şekil 4.10’ da gösterilen varsayımsal, idealize edilmiş probleme uygulayarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda altı metot kullanılmıştır [16]:

- a) Poulos ve Davis (1996)
- b) Randolph (1994)

- c) GASP (Poulos, 1991) programı ile yaylar üzerindeki şerit metodunun uygulaması.
- d) GARP (Poulos, 1994a) programı ile yaylar üzerinde levha yaklaşımının uygulanması.
- e) Sınırlı eleman ve sonlu elemanlar metodunun uygulanması (Ta ve Small, 1996)
- f) Sınır eleman ve sonlu elemanlar metodunun uygulanması (Sinha,1996)

Radyenin taşıma kapasitesi=0.3 MPa
Herbir kazığın yük kapasitesi=0.873 MN (basınçta)
=0.786 MN (çekmede)

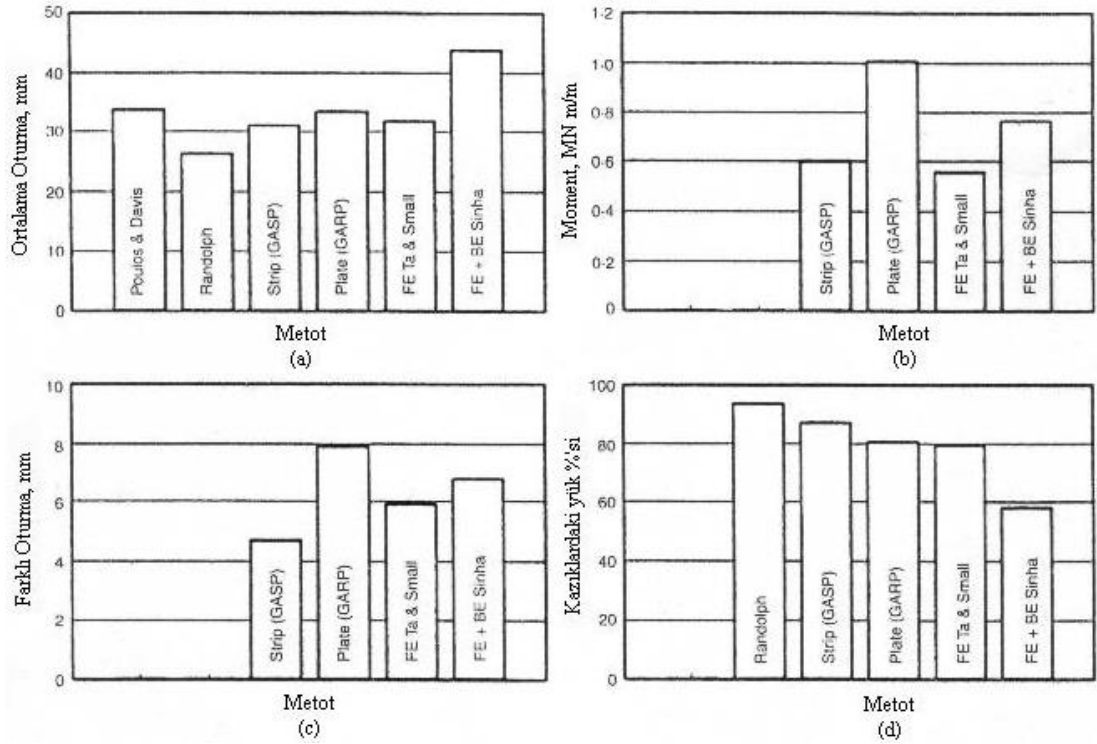


Şekil 4.10 Farklı kazıklı radye analiz metotlarının karşılaştırılması için kullanılan kurgusal örnek [16]

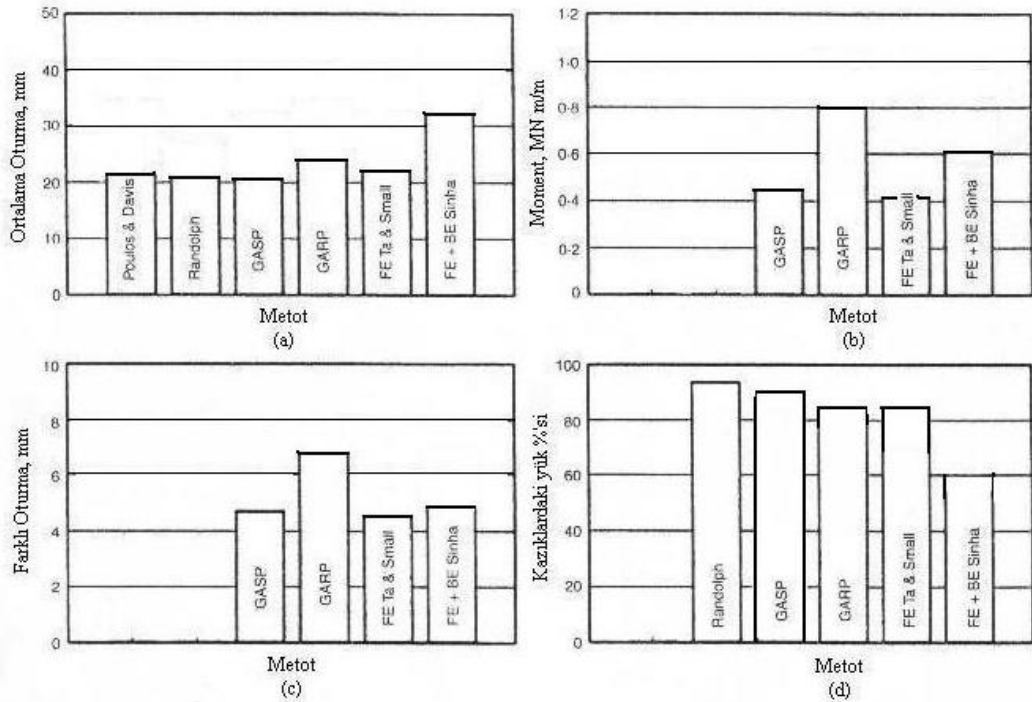
- (e) Ortalama oturma
- (f) Maksimum eğilme momenti
- (g) Farklı oturma (merkezi ve kenar)
- (h) Kazıklar tarafından taşınan yük oranı.

Şekil 4.11' de biri kolonun altında olan 9 kazık tarafından desteklenmiş radyenin karakteristik özellikleri emniyet katsayısı 2,15 alınarak karşılaştırılmıştır. Uygulanan yük kazıkların kapasitesini aştığından, burada non-lineer davranış söz konusudur. Çeşitli metotlar arasında farklar olmasına rağmen bunların çoğu oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Ancak radyenin hesaplanan eğilme momentleri değerleri arasında

önemli farklar vardır. Kazıkların emniyetli yük kapasitesi dikkate alınarak hesap yapılması şartıyla aynı parametre değerleri girildiğinde aynı sonuçlar beklenir.



Şekil 4.11a. 9 Kazıklı ve toplam yükü 12 MN olan kurgusal örnek için karşılaştırmalı sonuçlar [16]



Şekil 4.11b. 15 Kazıklı ve toplam yükü 12 MN olan kurgusal örnek için karşılaştırmalı sonuçlar [16]

Poulos tarafından aynı model üzerinde farklı analiz metotları ile yaptığı çalışmalar neticesinde Şekil 4.11a ve 4.11b’de verilen sonuçları elde etmiştir (Poulos bu çalışmasında 9 ve 15 kazıklı radye temele $P=12$ MN ve $P=15$ MN’ luk yüklemeler yapmıştır. Şekil 4.11a ve 4.11b’de 9 ve 15 kazıklı ve $P=12$ MN’luk yük için olan karşılaştırmalar verilmiştir):

Şekil 4.11a ve Şekil 4.11b’deki karşılaştırmalardan incelediğinde,

15 kazıklı kuramsal model ile 9 kazıklı kuramsal model için yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, ortalama oturma değerlerinin 15 kazık için daha düşük olduğu, farklı oturmalarda çok fazla bir değişimin olmadığı, moment değerleri için de 9 kazıklı model için elde edilen sonuçların daha büyük olduğu ve kazıkların taşıdığı yük yüzdesi açısından da genel olarak 9 kazıklı model için elde edilen sonuçların daha düşük olduğu gözlenmiştir.

4.2.4.1 Bazı Davranış Özellikleri

Kazıklı radyenin davranışına ait bazı özelliklerin incelenmesi için, kuramsal çalışmanın sonuçları Şekil 4.11a ve 4.11b’ de yer almaktadır. Bu çalışmada Şekil 4.11a ve 4.11b’de gösterilen standart parametreler benimsenmiştir. Ancak temel davranışı üzerinde aşağıdaki parametrelerdeki değişim etkisine de dikkat edilmelidir.

- a) Kazık sayısı
- b) Yüklemenin biçimi (toplanmış üniform yük)
- c) Radye kalınlığı
- d) Uygulanan yük seviyesi

Analiz GARP programı (Poulos,1994) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program aşağıdaki faktörleri dikkate alabilme özelliğine sahiptir [16]:

- a) Homojen olmayan tabakalı zemin profili
- b) Radyenin altındaki basınçlardaki sıkışma ve suyun kaldırma kuvvetindeki sınır değerleri.
- c) Non-lineer kazık yükü-oturma davranışı (çekme ve basınçta kazık kapasitesinin sınır değerini içeren)
- d) Temel sistemindeki farklı rijitlik ve yük kapasiteli kazıklar.

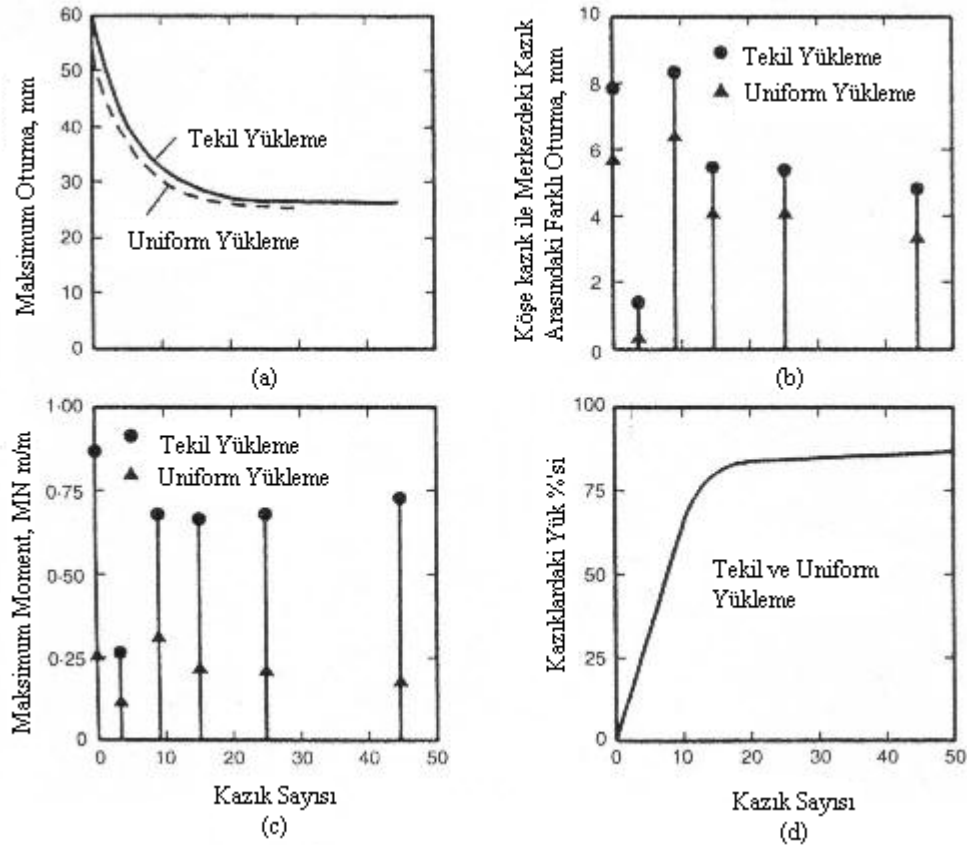
- e) Kazıkların yeri ve sayısının kolay değişimi.
- f) Toplanmış yükler, momentler ve uniform yük alanlarından oluşan yükler.
- g) Zemin büzülmesi ve konsolidasyondan ileri gelen düşey zemin hareketleri.

Analiz edilen durum için radye 273 elemana ayrılmıştır. Basitleştirmek için kazıkların elasto-plastik yük-oturma davranışı gösterdiği varsayılmıştır. Kazıkların rijitliği ve etkileşim özellikleri DEFPIG (Poulos,1990) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu örnekte kazıkların çapı ve uzunluğu sabit tutulmuştur.

4.2.4.2 Kazık Sayısının ve Yükleme Tipinin Etkisi

Şekil 4.12, kazık sayısının kazıklar tarafından taşınan yük oranına, maksimum eğilme momentine, maksimum oturma ve farklı oturmaya etkisini gösterir. Burada radye kalınlığı 0.5 m' dir. Hem toplanmış tekil yükler hem de üniform dağılımlı yükler analiz edilmiş ve aşağıdaki özellikler gözlemlenmiştir [16]:

- a) Maksimum oturma artan kazık sayısı ile azalır fakat 20 veya daha fazla kazık için hemen hemen sabit kalır.
- b) Az sayıda kazık olması durumunda maksimum oturma, tekil yükleme için üniform yüklemedekinden daha büyüktür. 10 ve daha fazla kazık olduğunda aradaki fark küçük olur.
- c) Merkez ve köşe kazıklar arasındaki farklı oturma kazık sayısı ile düzgün bir biçimde değişmez. İncelenen örnek için en küçük oturma radyenin merkezi altında yalnız üç kazık bulunması durumunda gerçekleşirken en büyük farklı oturma da kazık sayısı 9 iken olmuştur.
- d) Tekil yüklemeden ileri gelen eğilme momentleri üniform yüklemeninkinden çok daha büyüktür. Yine en küçük moment sadece 3 kazığın merkezin altında bulunması durumunda oluşur.
- e) Kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesi kazık sayısı arttıkça artar fakat yaklaşık 15 kazık ve fazlası için artış oranı küçüktür. Yüklemenin tipi kazıklar arasındaki yük dağılımını etkilemesine rağmen kazıklar tarafından taşınan toplam yükü etkilemez.



Şekil 4.12. Toplam yükü 12 MN olan hipotetik örnek için kazıklı radye davranışına kazık sayısının etkisi [16]

Şekil 4.12' de verilen grafikler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

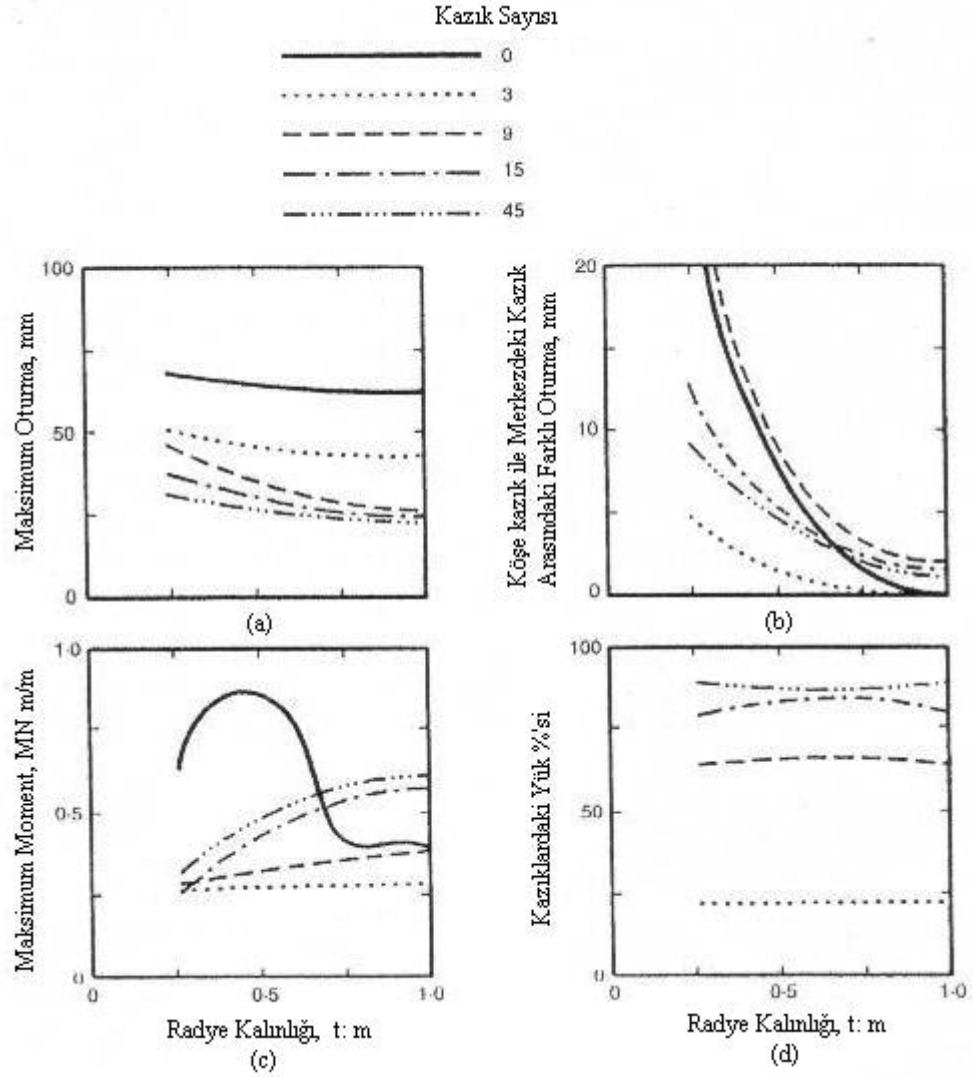
- Maksimum oturmalar açısından tekil ve uniform yükleme için kazık sayısının artışı ile birlikte toplam oturmalarda hızlı bir azalma meydana gelmekte ancak 20 kazıktan sonraki artışlarda toplam oturmadaki azalmanın yataya yakın olduğu görülmüştür. Bu durumda toplam oturmalar açısından kazık sayısında bir üst sınırın olduğu ve bu sınırdan itibaren kazık sayısındaki artışların çok az oranda etkili olduğu görülmüştür. Yüklemenin uniform ya da tekil olması arasında çok büyük farklar görülmemektedir.
- Yapılan çalışmada ele alınan model için, köşe kazık ile merkezdeki kazık arasındaki farklı oturmanın ilk 3-5 kazık için minimum değerine ulaştığı, 10 kazık için ilk değerinden daha büyük değerlere ulaştığı ve bu değerden sonra azalmanın olduğu görülmektedir. Buradan görülmektedir ki farklı oturmalar için kritik kazık sayısı sınırı vardır. Bu sınırdaki kazık sayısından sonra farklı oturmaların azalma eğilimine geçtiği görülmektedir.

- c) Maksimum momentler için tekil yüklemekten ileri gelen moment değerlerinin daha yüksek olduğu ve yaklaşık Radye altında kazık yokken tekil ve uniform yükler için oluşan maksimum moment değerlerinin uniform yükleme için 10 kazıklı durumda ilk değerinden daha fazla olduğu daha sonraki değerlerin ilk değerden daha az olduğu görülmektedir. 3-5 kazık için her iki yükleme durumunda da önemli bir azalmanın olduğu ancak artan kazık sayısı ile birlikte maksimum moment değerinde de artışın olduğu görülmektedir.
- d) Son olarak kazıklar tarafından taşınan yük oranındaki değişimin 20-25 adet kazığa kadar hızla arttığı ancak daha çok sayıda kazık için yataya yakın bir eğri görülmektedir. 50 kazık için kazıkların yük yüzdesi yaklaşık 80 kadar olduğu görülmektedir. Yaklaşık %20' lik yükün de radye ve kazıklar arasındaki zemin tarafından aldığı düşünülebilir.

Bir diğer sonuçta yükleme tipinin kazıkların taşıdığı yük yüzdesi ve toplam oturmalar açısından her iki yükleme tipi için aynı özelliği gösterdiği ancak maksimum moment ve farklı oturmaların mertebeleri açısından uniform yüklemenin, tekil yüklemeye göre daha küçük olduğudur.

4.2.4.3 Radye Kalınlığının Etkisi

Şekil 4.13 tekil yüklemeler için radye kalınlığının radye davranışı üzerindeki etkisini gösterir. Maksimum oturma ve kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi radye kalınlığına çok bağlı değildir. Ancak radye kalınlığının artması farklı oturmayı azaltır ve maksimum eğilme momentini arttırır. Kazıksız radyede, radye davranışı küçük radye kalınlıkları için non-lineerdir ve radyenin altındaki bölgede plastikleşme gelişimi farklı oturmayı azaltma eğilimindedir. Yine 3 kazıklı radyenin performansı oldukça iyidir ve bu durum gerekli yerde kazık yerleştirmenin önemini açıkça göstermektedir.



Şekil 4.13 Toplam yükü 12 MN olan hipotetik örnek için kazıklı radye davranışına radye kalınlığının etkisi [16]

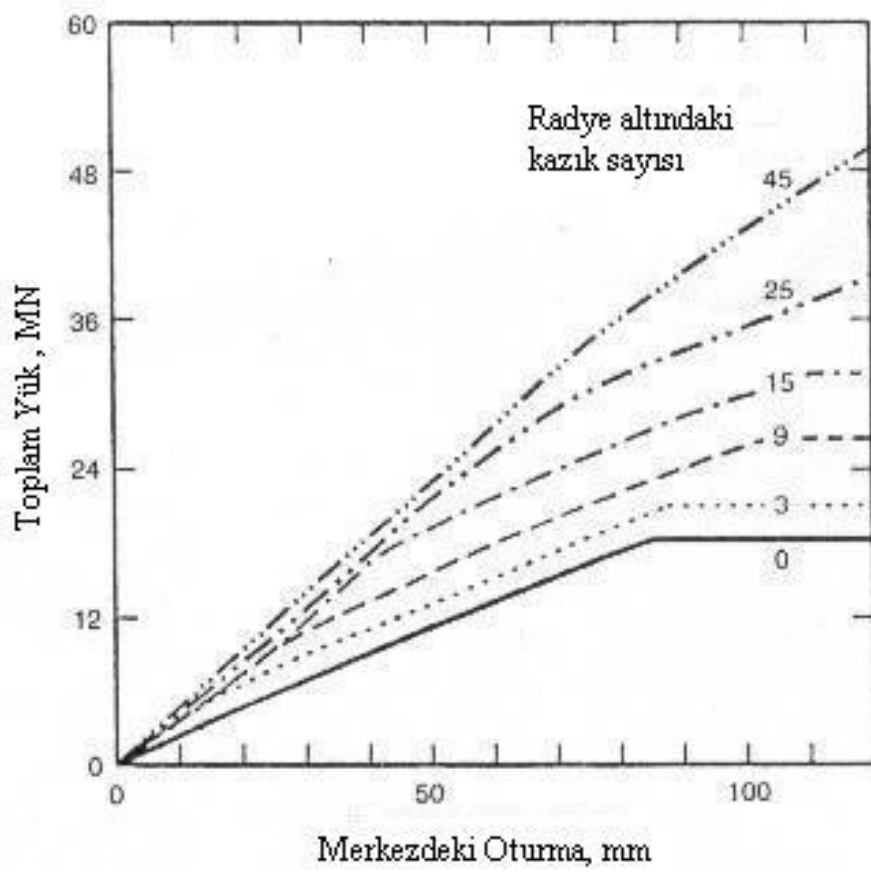
Şekil 4.13' de verilen eğriler için aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

- Toplam oturmalar , radye kalınlığındaki artış ile kazıklı ya da kazısız durumlar için benzer olarak azalma eğilimindedir. Radye kalınlığının 1.0 m olduğu durumda kazık sayısının 9, 15, 45 değerleri için toplam oturma değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Yine 9, 15, 45 kazık için gösterilen eğrilerin yaklaşık olarak aynı eğimde olduğu gözlenmektedir.
- Farklı oturmalar açısından tek başına radyenin olduğu durumda radye kalınlığı 1.0 m olduğunda farklı oturmaların sifra yaklaştığı görülmektedir. Bu durum radyenin farklı oturmaların değişimi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. 9 kazık için elde edilen eğride farklı oturmaların yalnız radyenin bulunduğu durumdan daha büyük değerler aldığı dikkat çekicidir.

- c) Maksimum moment değerleri açısından, 3 ve 9 adet kazığın olduğu radyelerde radye kalınlığındaki artışın maksimum moment değerinin değişimi üzerinde pek etkili olmadığı ancak daha fazla sayıda kazık için birbirine yakın eğriler göstermektedir.
- d) Kazıkların taşıdığı yük yüzdesi açısından radye kalınlığındaki artışın etkisiz olduğu daha çok kazık sayısının etkin olduğu gözlenmektedir.

4.2.4.4 Yük Seviyesinin Oturma zerindeki Etkisi

Ŗekil 4.14 eŖitli sayıda kazık içeren radyenin yük oturma eğrisini göstermektedir. Açık bir Ŗekilde gözüküyor ki artan yük seviyesiyle oturmada artar ve kazık ilavesi gereksinimi ortaya çıkar. Yeterki emniyet payının sağlanması Ŗartıyla çok az sayıda kazık ilavesi bile temelin maksimum oturmasında önemli miktarda azalmaya neden olabilir.



Ŗekil 4.14. Farklı kazıklı radye sistemleri için Yük-Oturma eğrileri [16]

4.3 Bölümün Değerlendirmesi

Yukarıda özetlenen kuramsal çalışma sonunda pratikteki tasarım için aşağıdaki önemli noktalar ortaya koyulmuştur [16]:

- a) Kazıkların sayısını arttırmak her zaman en iyi temel performansını sağlamaz.
- b) Kazık sayısı için bir üst sınır mevcuttur ki bunun ötesindeki kazık miktarının ilave olarak çok küçük bir faydası olur.
- c) Radye kalınlığı farklı oturma ve eğilme momentlerini etkiler fakat yük paylaşımı ve maksimum oturma üzerindeki etkisi çok küçüktür.
- d) Farklı oturmayı kontrol etmek için optimum performans radye kalınlığını arttırarak ve çok sayıda kazık kullanımı yerine, az sayıda ve gerekli miktarda ki kazığın radye altında doğru lokasyonlara yerleştirilmesi ile sağlanır.
- e) Uygulanan yükün biçimi farklı oturma ve eğilme momenti açısından çok önemli olup, maksimum oturma ve radye-kazık arasındaki yük paylaşımı açısından fazla önem taşımaz.

5. KAZIKLI RADYE TEMELLERDE OPTİMUM TASARIM

Kazıklı radye temellerin çoğu radye kısmının kazıklı radye temelin tüm performansı üzerinde önemli katkısı olmasına rağmen kazıklı radye temel ve kazık başlığının katkısı dikkate alınmadan tasarlanır. Geleneksel tasarım yöntemlerinde gereğinden fazla kazık ile imal edilen radye temellerde çok küçük oturmalar olmaktadır. Ancak ekonomik açıdan yaklaşıldığında, radyenin yük taşıma kapasitesi hesaba katıldığında tasarımın ortalama ve farklı oturmaların kabul edilebilir seviyede sınırlandırılarak yapılması tercih edilir. Bu bölümde, kazıklı radye temel sisteminde farklı oturmaları minimize etmek amacıyla elastik radyenin merkezinin altına kazıklar yerleştirmeyi öngören ve geniş parametrik çalışma ile desteklenmiş yeni bir tasarım yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmada analizler Clancy tarafından ortaya koyulan Hybrit Yaklaşım kullanılarak yapılmıştır [9].

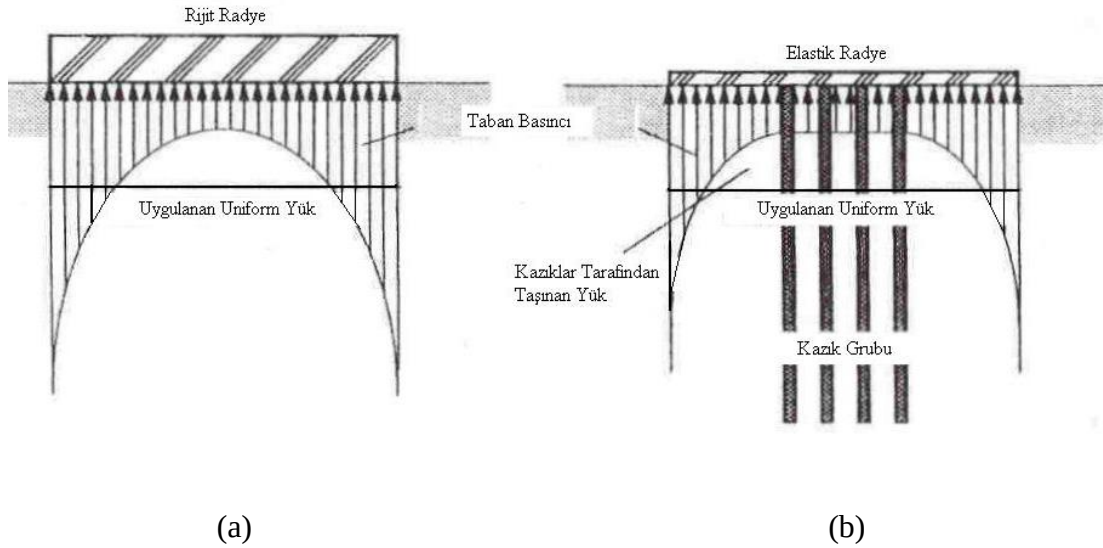
Bu çalışmalar ile radye alanının % 16 - 25'i kadar toplam kesit alanına sahip, dayanımı radyenin dayanımına eşit olan kazık grubu imal edilerek farklı oturmaları karşılayabilen kazıklı radye temellerin tasarlanabileceği ortaya konulmuştur. Zeminin poisson oranı ve kazık grup oranına bağlı olarak toplam kazık kapasitesi uygulanan tüm yükün % 40-70'i kadar olmalıdır. Bu metodun geçerliliği santrafuj model deneyleri sonuçları kullanılarak saptanmıştır [9].

5.1 Giriş

Çoğu kazıklı radye temel tasarlanırken radye altındaki yük taşıyabilen zemin tabakaları yok sayılarak ve gelen yükün tamamını kazık grubu alıyormuş kabulü yapılarak kazık sayısı belirlenir. Kazık-radye-zemin etkileşimi hakkında sınırlı bilgiye sahip olunuşu ve üç boyutlu kompleks çözümleri yapabileceğimiz metotların azlığı nedeniyle bu yaklaşım ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak yaklaşım, gereğinden fazla sayıda kazık imal edilerek yapının karşılayabileceği oturmalarından az oturma yapan ve ekonomik olmayan çözümler oluşturur. Ekonomik açıdan bakıldığında temeldeki oturmaların daha küçük değerlerin elde edilmesinden çok kabul edilebilir seviyelerde tutulmasında fayda vardır.

Radyenin, kazıklı temel sisteminin performansına olan önemli katkısının kabulü uzun zaman almıştır (Whitaker,1961 ve Cooke, 1986). Burland (1977) kazıkların düktil davranış gösterdiğini varsayımı ile kazıkların oturmayı azalttığını ortaya koymuştur. Pardfield ve Sharrock (1983)'un yaklaşımı ise merkezi kazık grubu kullanımını farklı oturmaları azalttığı yönünde olmuştur [9].

Yakın zamanda Fleming (1992) tarafından elastik radyenin sadece merkezine yakın olan alana yerleştirilecek kazık grubunun kullanımı yaklaşımı ortaya konulmuştur. 1994' de gelindiğinde Randolph tarafından, optimum dizayn gerçekleştirildiği takdirde elastik radyenin rölatif olarak minimum farklı oturmalar yapacağı ortaya konulmuştur. Bu dizayna ait yaklaşım şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1a'da verilen elastik zemin üzerindeki rijit radye altında temel taban basıncı dağılımı verilmiştir. Temel taban basıncı özellikle uniform yayılı yüklenmiş elastik radye temel altında oluşturulursa, radyede meydana gelecek farklı oturmaların önemli ölçüde azaldığı görülür. Bu durum radyenin merkezine yerleştirilecek kazık grubu ile sağlanabilir (Şekil 5.1b). Bu işlemin etkinliği Randolph ve Horikoshi tarafından 1996 yılında yapılan bir dizi santrafuj testi ile tespit edilmiştir [9].



Şekil 5.1 Oturmayı azaltan kazıkların prensipleri [9]

(a) Rijit radye

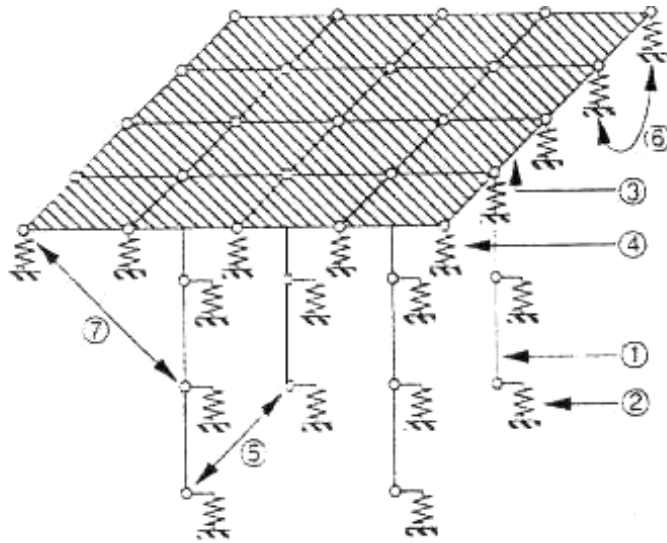
(b) Merkezine küçük kazık grubu yerleştirilmiş elastik radye

Son zamanlarda nümerik yaklaşımlarda meydana gelen gelişmeler, geniş kazıklı radye temellerin rölatif olarak yapımını mümkün kılmıştır (Hain ve Lee, 1978; Chow ve Teh, 1991; Clancy, 1993). Gelişmiş teknikler sayesinde elemanlar arasındaki

etkileşimin tamamı açıklanabilmektedir. Randolph ve Clancy (1993) yine Clancy' ye ait Hybrid yaklaşımı kullanarak gerçekleştirdikleri parametrik çalışmalara ait sonuçların sentezi ile optimum dizayn için bir akış diyagramı oluşturmuşlardır [9].

5.2 Analiz Metodu

Clancy'nin 1993 yılında ortaya koyduğu kazıklı radye temellerin analizi metodu olan Hybrid (HyPR) yaklaşımın temeli, Chow'un 1986 yılında yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Bu yöntem ile homojen ve sonlu derinlikteki zemin üzerine elastik kazıklı radye modellenenmektedir. Kazık grubunun davranışı ve kazıklar ile radye arasındaki etkileşim Mindis'in ortaya koyduğu çözümlerle açıklanabilmektedir. Fakat Randolph ve Wroth' un 1978'de ortaya koyduğu Yük Transferi Modeli sadece tek bir kazık için kullanılmıştır. Elastik radye plaktaki eğilmeler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu yöntem ile, en kompleks kazıklı radye temellerin tüm parçaları arasındaki etkileşimi dikkate alınarak çözüm yapılabilir. Bu yaklaşıma ait şematik gösterim Şekil 5.2'de verilmiştir (Randolph ve Clancy, 1993).



Şekil 5.2. Kazıklı radye için analitik model - Clancy, 1993 [9]

1. Tek boyutlu kazık elmanı
2. Her bir kazık düğümüne gelen topaklanmış zemin tepkisi
3. Sonlu eleman radye parçasının iki boyutlu plak eğilmesi
4. Kazık düğümüne gelen topaklanmış zemin tepkisi (Giroud Çözümü)
5. Düğüm çiftleri arasında hesaplanan Kazık-Zemin-Kazık etkileşim etkileri (Mindlin Eşitliği)
6. Radye-Zemin-Radye etkileşimi
7. Kazık-Radye-Zemin etkileşimi

HyPR yöntemi homojen zeminler ile sınırlandırıldığı için homojen olmayan zeminlerde temsili zemin modeli varsaymak gerekecektir. Bu yöntemi kullanarak tasarlanan kazıklı radye temellerde ortalama oturmalar büyük çıkabilir. Bu nedenle kazıkların davranışının non-lineer analiz ile incelenmesi önemlidir ki bu yöntem non-lineer analizi de kapsar. Basit cut-off, yük transfer yayları ile temsil edilmiştir. Bu yaylar kazık-zemin kaymasının hesaplanabildiği yerlere yerleştirmiştir. Yerleştirilen bu yaylar ile artımsal elastik analiz kullanılabilir. Bu mekanizmalar aynı zamanda kazığın oturduğu alt uçlarda da kullanılır [9].

5.3 Parametrik Çalışma İçin Boyutsuz Parametreler

Optimum tasarım taslağı hazırlanırken boyutsuz parametreler kullanmak çok önemlidir. Aşağıda belirtilen radye-zemin rijitlik oranı dikdörtgen radyelerin rölatif esnekliğini açıklamak için tanımlanmıştır.

$$P_u = \int f_s \cdot c \cdot dz + f_b \cdot A_b - W_p \quad (5.1)$$

E_r ve E_s zemin ve radyenin young modülleri, ν_r ve ν_s radye ve zemin poisson oranı, t_r radye kalınlığı, L ve B sırasıyla radyenin uzunluk ve genişliğidir. Dikdörtgen radyelerin analizinde Horikoshi (1995), α katsayısını 1 olarak almasına rağmen yapılan son çalışmalar göstermiştir ki $\alpha=0,5$ alındığında da (B/K) oranından bağımsız olarak (ortalama oturma tarafından normalleştirilen) aynı farklı oturma elde edilebilir. Bu sebeple bu çalışmada $\alpha=0,5$ değeri benimsenmiştir. Clancy tarafından (1993) önerilen dairesel radyelere ait radye-zemin rijitlik oranı 5.1 nolu denkleme uyar [9].

$$K_{rc} = \frac{E_r \times (1 - \nu_s^2)}{E_s \times (1 - \nu_r^2)} \times \left(\frac{t_r}{a} \right)^3 \quad (5.2)$$

a , dairesel radyenin yarıçapıdır. Eğer radyenin alanı ve kalınlığı dairesel ve kare radyelerinki ile aynı ve K_{rs} ve K_{rc} rijitlik oranları da benzer şekilde aynı olur.

Kazıklı radyelerin dizaynında eşdeğer kuyu temeli olarak adlandırılan metodun kullanımı çok faydalı bulunmuştur. Kazık grubu yerine tek bir eşdeğer kuyu temelin alındığı bu yöntem Poulos tarafından 1980’de ileri sürülmüştür. Randolph 1995’de

kazıkların yerine aynı uzunluktaki eşdeğer kuyu temelini alınması durumunda tek bir kazığın yaklaşık çözümünü eşdeğer kuyu temelini rijitliğini hesaplamak için kullanılabileceğini ortaya koymuştur [9].

Eşdeğer kuyu temelini modülü E_{eq} ve eşdeğer kuyu temel çapı d_{eq} aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$E_{eq} = E_s + (E_p - E_s) \times \frac{A_{tp}}{A_g} \quad (5.3)$$

$$d_{eq} = 2\sqrt{A_g/\pi} \quad (5.4)$$

E_p : Kazıkların Young's Modülü,

E_s : Zemin tabakasının modülü,

A_{tp} : Kazıkların toplam en kesit alanı,

A_g : Kazık grubunun brüt en kesit alanı.

Kabul edilen eşdeğer temelini uygunluğu Randolph ve Clancy tarafından ortaya koyulan (1993) R katsayısı ile sınıflandırılabilir [9].

$$R = \sqrt{\frac{ns}{L_p}} \quad (5.5)$$

n :Gruptaki kazık sayısı,

s : Kazıkların arasındaki mesafe,

L_p : Kazık boyu.

Eşdeğer kuyu temeli yaklaşımının $R < 4$ olan kazık grupları için uygun olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanısıra aşağıdaki boyutsuz parametrelerde çok önemli bulunmuştur.

Rölatif kazık uzunluğu ,

L_p/a

Dikdörtgen radyeler için rölatif kazık uzunluğu ,

L_p/a_{eq}

Kazık grubu kesit alanı-radye alanı oranı,

$$a_{gr} = A_g / A_r$$

Eşdeğer kuyu temelinin zeminin rijitlik oranı ile oranı,

$$E_{eq}/E_s$$

Kazık grubu – Radye rijitlik oranı,

$$K_{pr} = K_p / K_r$$

Eşdeğer dairesel radye yarıçapı,

$$a_{eq} = \sqrt{\frac{BL}{\pi}}$$

K_p ve K_r sırasıyla kazık grubunun (veya eşdeğer kuyu temelinin) ve kazıksız radyenin rijitlikleridir. Kazık grubu radye rijitlik oranı üzerine kazıkların yerleştirildiği merkezi alanın oranını tanımlar.

Homojen zeminlerde eşdeğer kuyu temel in sıkışabilirlik ölçüsü Randolph (1978) ve Wroth (1994) tarafından açıklanmıştır:

$$\mu.L_p = \sqrt{\frac{2G_s}{\xi E_{eq}}} \frac{2L_p}{d_{eq}} \quad (5.6)$$

$$\xi = \ln \left[5 + 5(1 - \nu_s) L_p / d_{eq} \right] \quad (5.7)$$

ξ burada kuyu etki yarıçapı ölçüsüdür. $\mu.L_p$ ne kadar büyük olursa kuyu temel in sıkışabilirliği o kadar fazla olur.

Boyutsuz parametreler arasında en çok kazık grubu radye rijitlik oranı k_{pr} diferansiyel oturmayı etkiler. Burada kazık grubunun rijitliği k_p ' yi hesaplamak için eşdeğer kuyu temeli göz önüne alınmıştır. Radyenin rijitliğinin hesabında da HyPr Analizi kullanılır. (k_r radye tam rijit veya tam esnek varsayılarak da hesaplanır.)

Randolph (1983) kazıklı radyenin toplam rijitliği k_{pr} ' nin kazık ve radye arasındaki etkileşim katsayısı ile hesaplanabileceğini ileri sürmüştür [9].

$$\alpha_{rp} = 1 - \frac{\ln(r_r/r_p)}{\ln(r_m/r_p)} \quad (5.8)$$

$$k_{pr} = \frac{k_p + k_r(1 - 2\alpha_{rp})}{1 - (k_r/k_p)\alpha_{rp}^2} \quad (5.9)$$

r_r : radye yarıçapı,

r_m : tek bir kazığın maksimum etki yarıçapı,

r_p : kazık yarıçapı.

Hesaplanan tüm rijitliğin doğruluğu HyPR sonuçları ile kontrol edilmiştir.

Kazık mesnetlenmesi bakımından dizayn işlemindeki kritik kararlar [9]:

- a) Kazık geometrisi (radye geometrisine bağlı olarak kazık geometresi ve kazık uzunluğu tayini)
- b) Radyeye gelen yerel ve toplam yüklere göre belirlenecek kazık kapasitesi.

Dikkate alınması gereken dört ayrı yük oranı vardır.

- 1) Kazık alan yükünün, kazık parametresine oranı:

$$P_g^* = pA_g / (nq_p) = a_{gr} P_t^* = m a_{gr} / p_{gt} \quad (5.10)$$

- 2) Toplam radye yükünün kazık kapasitesine oranı:

$$P_t^* = P_t / (nq_p) = P_g^* / a_{gr} = m / p_{gt} \quad (5.11)$$

- 3) Kazıklar tarafından taşınan yük oranı:

$$P_{gt} = P_g / P_t = m / P_t^* = m a_{gr} / P_g^* \quad (5.12)$$

- 4) Kazık kapasitesinin mobilize derecesi:

$$m = P_g / (nq_p) = p_{gt} P_g^* / a_{gr} = p_{gt} P_t^* \quad (5.13)$$

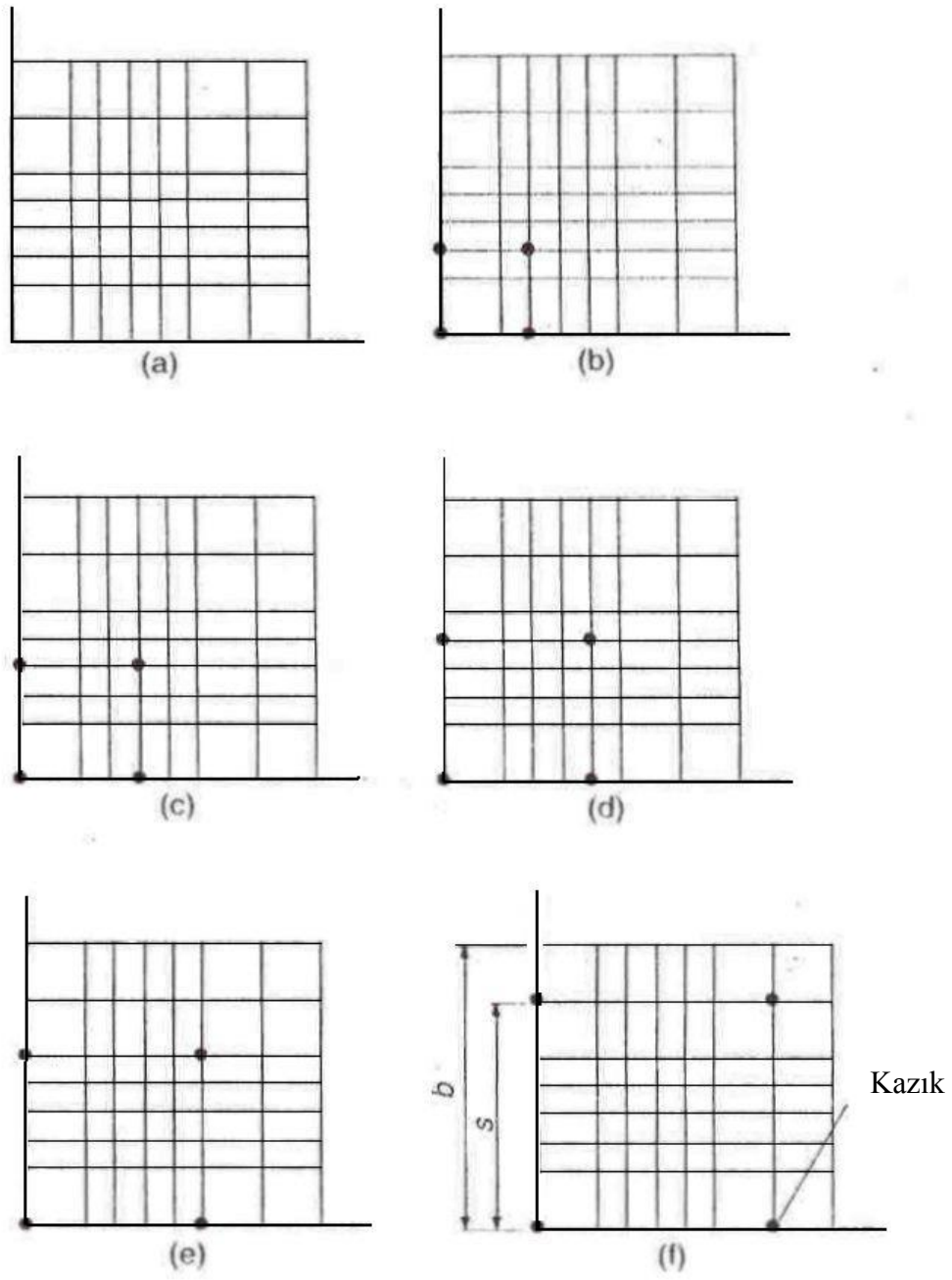
İlk iki oran dizayn kararlarında göz önüne alınabilir, son iki oran ise analizden sonra da hesaplanabilir.

Kare radyeler için Horikoshi ve Randolph (1997) tarafından farklı oturma merkezi ve kenar oturmaları arasındaki fark olarak tanımlanan Diferansiyel Oturma aynı radye zemin rijitlik oranına sahip radyenin ortalama oturması ile normalize edilir. Normalize edilen farklı oturma ΔW^* olarak şekillerde gösterilmiştir [9].

5.4 Kazıklı Kare Radyeler İçin Parametrik Çalışma

Kazıklı radyeler için geniş bir parametrik çalışma Horikoshi (1995) tarafından yapılmıştır. Burada kazıklı kare radyeler için bazı sonuçlar verilmiştir. Çalışmada $K_{rs} = 0.01-1.0$ olan radyenin altında dokuz kazıktan oluşan bir grup modellenmiştir. Pratikteki uygulamalarda genelde daha fazla sayıda kazık gerekli olur. Bu durumda kazık grubunun yerine eşdeğer “kuyu temeli” olan “eşdeğer kuyu temeli” yöntemini kullanmak faydalı olabilir [9].

Analiz için kullanılan radye elemanları Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Radye 49 eğilme plağından oluşup her bir kazık 15 çubuk elemanına ayrılmıştır. Analizde kazık davranışı non-linear olarak göze alındığında öncelikle birkaç adım hesaba ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 5.3 Kare kazıklı radyelerin analizinde kullanılan radye parçaları [9]

- a) Yalnız Radye
- b) $s/b=0.3, a_{gr}=0.9$
- c) $s/b=0.4, a_{gr}=0.16$
- d) $s/b=0.5, a_{gr}=0.25$
- e) $s/b=0.6, a_{gr}=0.36$
- f) $s/b=0.8, a_{gr}=0.64$

5.4.1 Kazık Ara Mesafesinin Etkisi

Parametrik çalışmanın ilk adımı olarak optimum koşulları bulmak için bir dizi analiz uygulanmıştır. Analizde kullanılan parametreler Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de özetlenmiştir. Radye zemin rijitliği K_{rs} , kazık uzunluğu L_p ve kazık aralığı “s” için değişik değerler seçilmiştir.

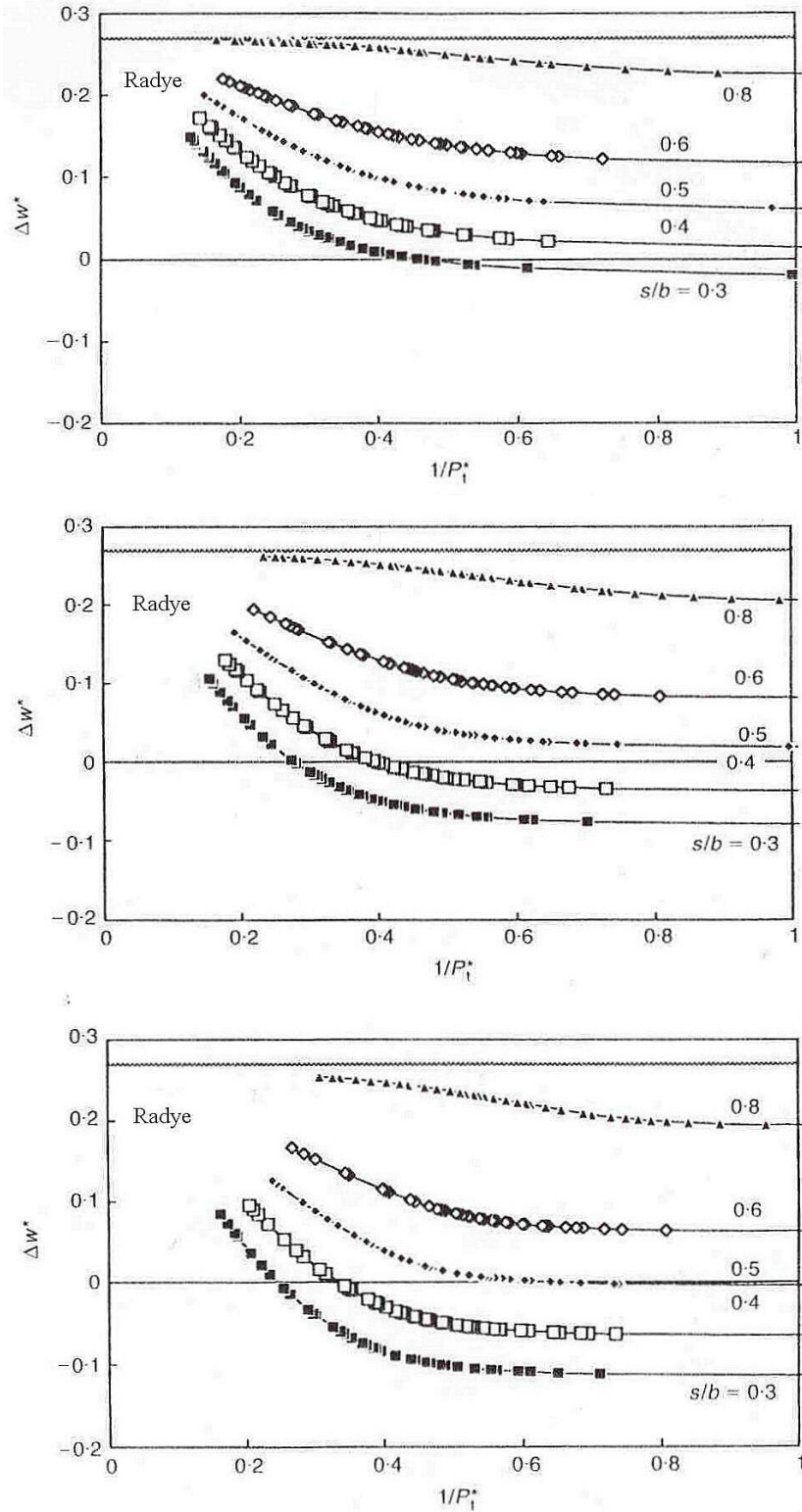
Radyenin poisson oranı beton için de kullanılan 0.16 olarak alınmıştır. Analizde non-lineer kazık davranışı dikkate alındığından kuyu sürtünmesi τ_s ve her bir kazığın uç direnci q_p kayma modülü ile ilgilidir (bağılantılıdır) $\sigma_s = 500\tau_s$ ve $q_b = q \cdot \tau_s$ kuyu sürtünmesi kazık uzunluğu boyunca uniform varsayılmıştır.

$K_{rs}=0.01$ alınarak yapılan çalışmalarda radyenin farklı oturmasının merkez ve kenar arasındaki orta noktada maksimum olduğu görülmüştür. Bu eğilim kazık grubu alanının veya radye kalınlığının artırılmasıyla giderilebilir. Orta büyüklükteki radye boyutlarında, en etkili ve ekonomik çözüm için $K_{rs}=0.1$ benimsenmiştir. Çok büyük radyelerde ise kazık grubu alanının artırılmasının daha faydalı olduğu kanıtlanmıştır.

$K_{rs}=0.1$, $L_p/a_{eq} = 2, 3$ ve 4 alınarak oluşturulan farklı oturma ve yük eğrilerinin değişik durumlarına ait örnekler Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Uygulanan yük $1/P_t^*$ olarak sembolize edilmiştir. $1/P_t^*$, toplam kazık kapasitesinin nq_p uygulanan toplam yüke P_t oranıdır (denklem 14). $1/P_t^*$ başlangıçta çok büyüktür, elastik koşullarda 0.8-1.0 dolaylarında olup eğri $1/P_t^*$ eksenine paraleldir. $1/P_t^*$ sıfıra yaklaşırken kazık non-lineer olarak davranır.

Her iki eksen normalize edildiği için bu diyagramlar σ_s/τ_s ’den bağımsızdır. Her iki diyagramda kazıksız radyelerin farklı oturması da mevcuttur (Radye zemin davranışı tam olarak elastik sayıldığından bu profil $1/P_t^*$ ’den bağımsızdır). Diyagramlar farklı kazık açıklıkları için farklı oturmalarındaki değişimi açık bir şekilde gösterir. Sonuçlara burada yer verilmemesine rağmen K_{rs} ve L_p/a_{eq} başta verilen değerlere sahipken ortalama oturmanın kazık aralığından bağımsız olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulanan toplam yük artarken ($1/P_t^*$ azalırken) farklı oturma kazıksız radyeninkine yaklaşır. Normalize edilmiş farklı oturma elastik durumun başlangıcındayken yani $1/P_t^* = 0.8$ ’den daha az iken sabittir. Daha sonra kazık kapasiteleri arttıkça farklı oturma da yükselir. Bu nedenle non-lineer kazık davranışının beklendiği kazıklı

radyelerde farklı oturma sıfır olacak şekilde tasarlanırken tam elastik koşullar altında farklı oturma “0” dan biraz daha az seçilmelidir [9].



Şekil 5.4 Kazık Aralığının Diferansiyel Oturmaya Etkisi, $K_{rs}=0.1$, [9]

P_t^* : Toplam uygulanan yükün, birleşik kazık kapasitesine oranı

a) $L_p / a_{eq} = 2$ b) $L_p / a_{eq} = 3$ c) $L_p / a_{eq} = 4$

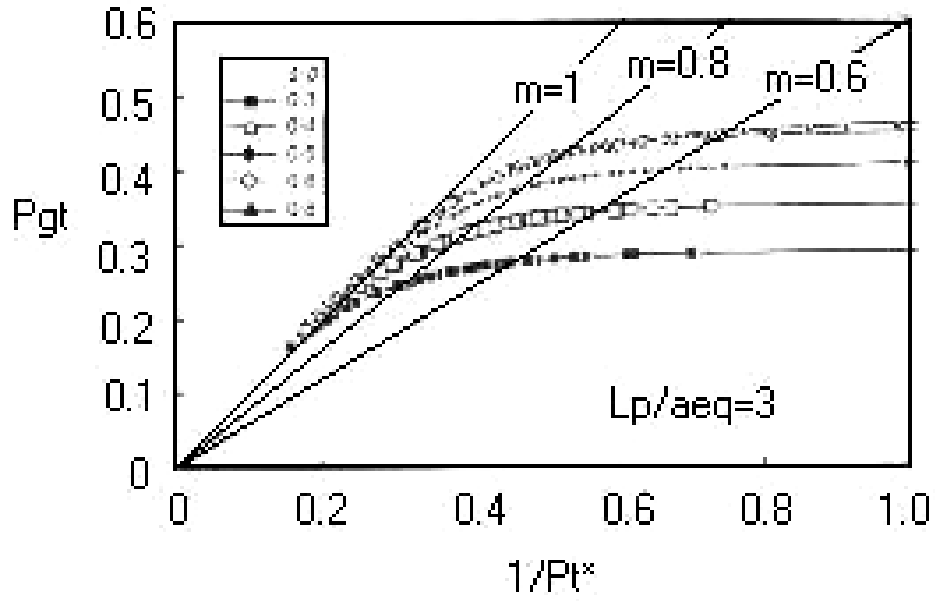
Tablo 5.1 Kare kazıklı radyelerin, temel parametrik çalışması için kullanılan parametreler [9]

Kazık		Kare radye		Zemin	
Kazık sayısı, n	9	Uzunluk, L	13.3 m	Derinlik, h	Derin
Çap, d_p	0.3	Young Mod., E_r	35 Gpa	Young Mod., E_s	35 Gpa
Young Modülü, E_p	35 Gpa	Poisson oranı, V_r	0.16	Poisson oranı, V_s	0.5

Tablo 5.2 Kare kazıklı radyelerin, boyutsuz parametrik çalışması için kullanılan parametreler [9]

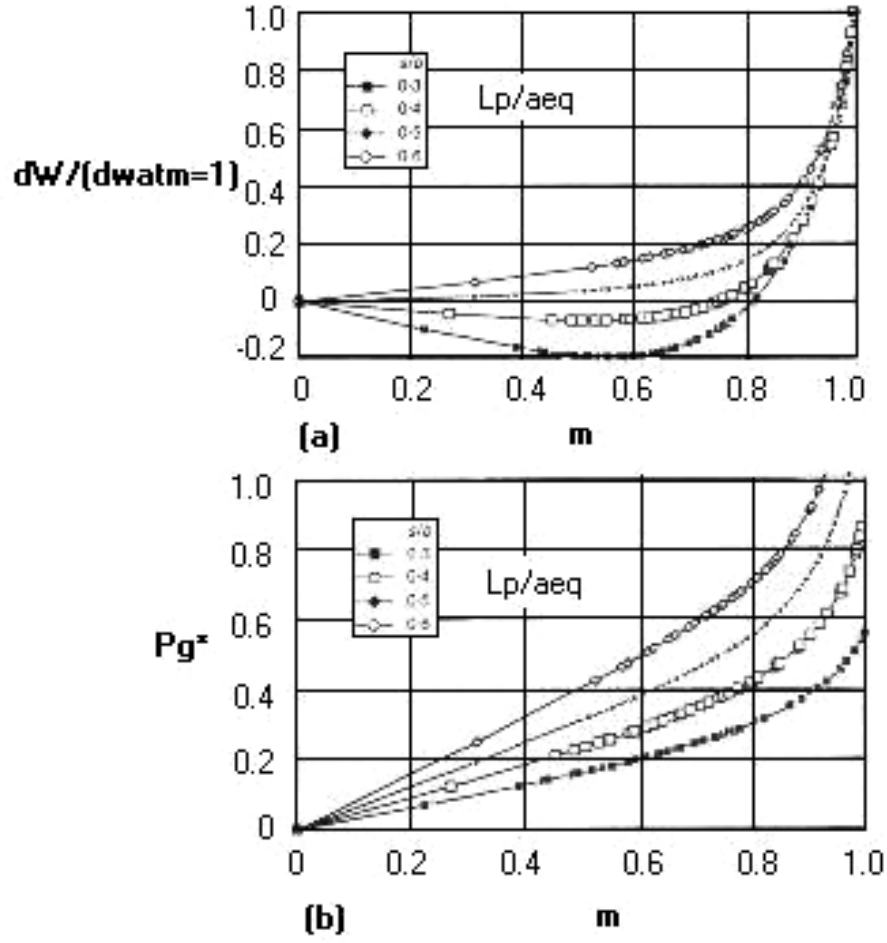
E_p, E_s	1000
K_{rs}	0.01, 0.1, 1.0
G_s, τ_s	500
L_p/a_{eq}	1, 2, 3, 4
s/b	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 ($b=L/2$)

Kazıklara aktarılan yük oranı P_{qt} , $L_p/a_{eq}=3$ ve $K_{rs} = 0.1$ durumları için Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Toplam uygulanan yük artarken, 9 kazık tarafından taşınan yük oranı yavaşça azalır. Bunun nedeni non-lineer davranışın zemine bağlı olarak kazık grubunun rijitliğini azaltmasıdır. Toplam kazık yükü toplam kazık kapasitesine yaklaşıırken hesaplanan eğriler $m=1$ çizgisine yaklaşır.



Şekil 5.5 Kazık Aralığının, Kazık Yüküne Etkisi [9]
 $K_{rs} = 0.1$
 P_{gt} : Kazık tarafından taşınan yük miktarı

$L_p/a_{eq} = 3$ ve $K_{rs} = 0.1$ durumu için Şekil 5.4a 'da farklı oturmadaki artış özetlenmiştir. Farklı oturmalar $m=1$ 'deki farklı oturmaya göre normalize edilmiştir. Şekil m'nin 0.8'den büyük olması halinde farklı oturmaların önemli miktarda arttığını gösterir. Bu nedenle kazık kapasitesinin mobilizasyon derecesi m , 0.8'den daha az tasarlanmalıdır. m ile P_g^* 'nin değişimi Şekil 5.4b'de gösterilmiştir. Kazık kapasitesinin mobilizasyonundan sonra çok küçük farklı oturma ile sonuçlanan Şekil 6.4b'deki $L_p/a_{eq} = 3$, $s/b = 0.4$, $a_{gr} = 0.16$ ve $K_{rs} = 0.1$ koşulları dikkate alındığında $m = 0.8$ için de optimum koşulları sağlamak için $P_g^* \sim 0.4$ ve $P_t^* \sim 2.5$ (denklem 5.11) olur. $P_g^* = 0.4$ ve $P_t^* = 2.5$ olduğunda P_{gt} (kazıklar tarafından karşılanan toplam yük oranı) denklem 5.12 kullanılarak 0.32 olarak hesaplanmıştır.

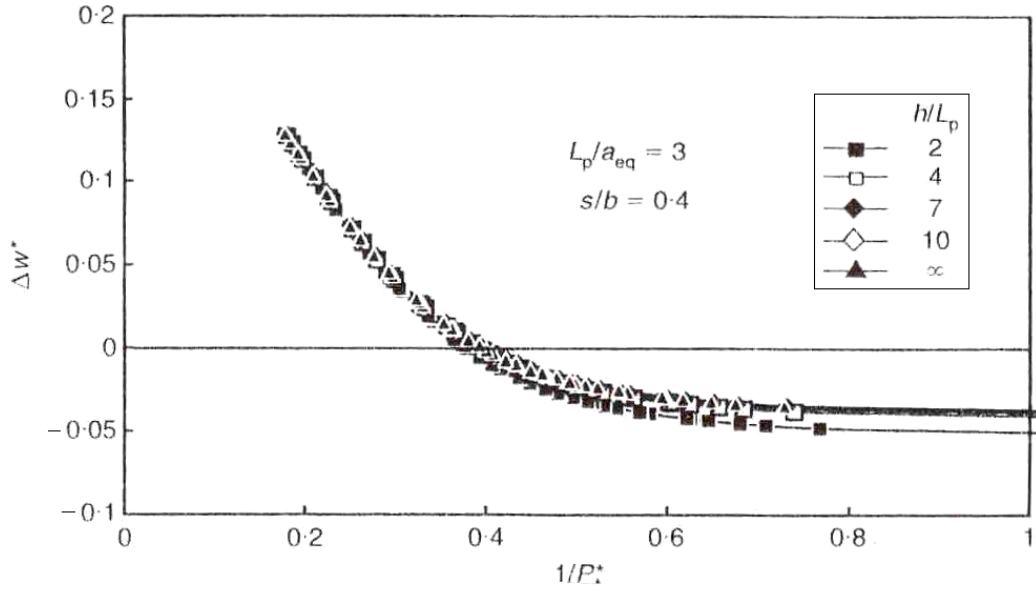


Şekil 5.6 Farklı oturma (dW veya ΔW) ve kazık kapasitesi oranının (P_g^*), kazık kapasitesinin mobilize olma derecesi (m) ile değişimi, [9]
a) m ve farklı oturma
b) m ile P_g^* arasındaki ilişki

Yukarıdaki sonuçlara dayalı olarak $K_{rs}=0.1$, $s/b=0.4$ ve $L_p/a_{eq}=3$ değerleri temel olarak seçilmiştir. Bu koşullarda radye-kuyu temel rijitlik oranı $K_{pr}=1.02$ olarak hesaplanmıştır ki bu kazık grubu ve kazıksız radyenin aynı rijitliğe sahip olduğu anlamına gelir.

5.4.2 Zemin Derinliğinin Etkisi

Zemin derinliğinin farklı oturma üzerine etkisi derinlik sonsuz alınarak ve $h/L_p=2,4,7,10$ değerleri kullanılarak çeşitli durumları için incelenmiştir. Burada h zemin tabakasının kalınlığıdır. Sonuçlar Şekil 5.7’de karşılaştırılmıştır. Horikoshi (1995) ayrıca HyPR metodunu kullanarak aşağıda tanımlanan santrafuj modeli için basit bir elastik analiz gerçekleştirmiştir. Santrafuj modelde zemin derinliği 7 m lik radye yarıçapı ile karşılaştırılan bir prototip boyutta 25 m alınmıştır. Basit elastik analiz sonuçları 25 m’lik kalınlığa sahip zemin tabakasının üzerindeki kazıklı radyenin farklı oturmasının sonsuz derinlikleri zemin tabakasındaki ile aynı olduğunu göstermiştir [9].



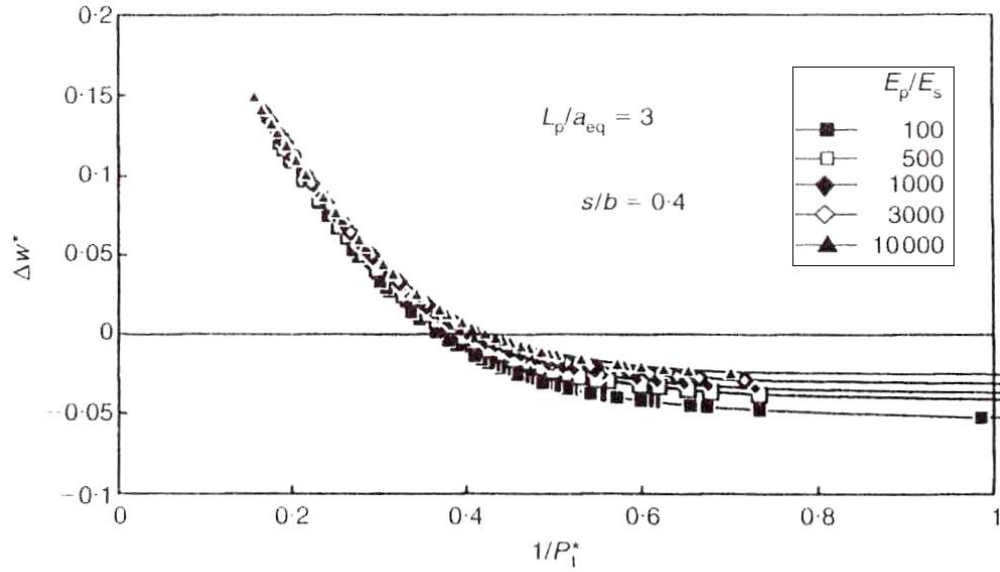
Şekil 5.7: Zemin Derinliğinin Farklı Oturmaya Etkisi (K_{rs}) [9]

5.4.3 Kazık Sıkışabilirliğinin Etkisi

Kazık rijitlik oranı E_p/E_s 100 ile 10000 arasında değişmiştir. Analizlerde kazık mesnedinin optimizasyonu kazık yarıçapına 0.05 m ile 0.48 m arasında değer verilerek ve eşdeğer kuyu temeli rijitlik oranı K_{pr} aynı tutularak gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus eşdeğer kuyu temeli modülü E_{eq} ile eşdeğer kuyu temeli çapı d_{eq} 'nin kazık boyu ve sayısı ($n=q$, L_p/a_{eq}) gibi sabit kalmasıdır.

Kazık yarıçapı değiştiği için toplam kazık kapasiteleri aynı değildir. Tüm durumlarda G_s/τ_s sabit (=500) olarak kalır.

E_p/E_s kazık-zemin rijitlik oranının farklı oturma üzerine etkisi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Şekilde hesaplanan davranışın E_p/E_s ’nin farklı değerlerinden bağımsız olduğu görülmüştür. Tüm durumlarda $1/P_t^*=0.3\sim 0.4$ iken çok küçük farklı oturmaların meydana geldiği görülmüştür [9].



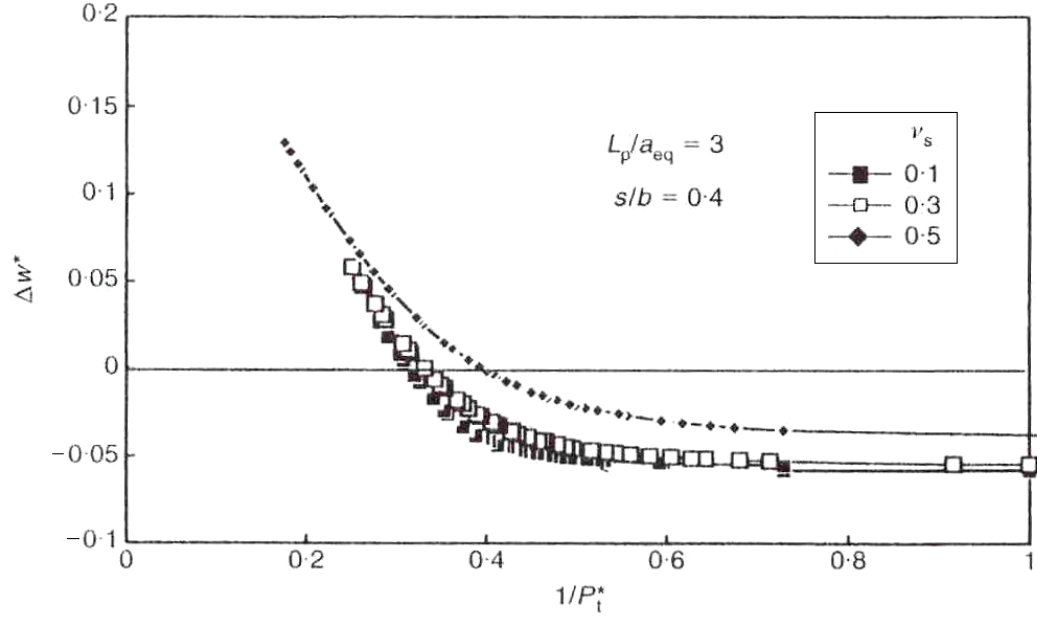
Şekil 5.8 Kazık-Zemin Rijitliğinin Farklı Oturma Üzerindeki Etkileri ($K_{rs}=0.1$) [9]

5.4.4 Zeminin Poisson Oranının Etkisi

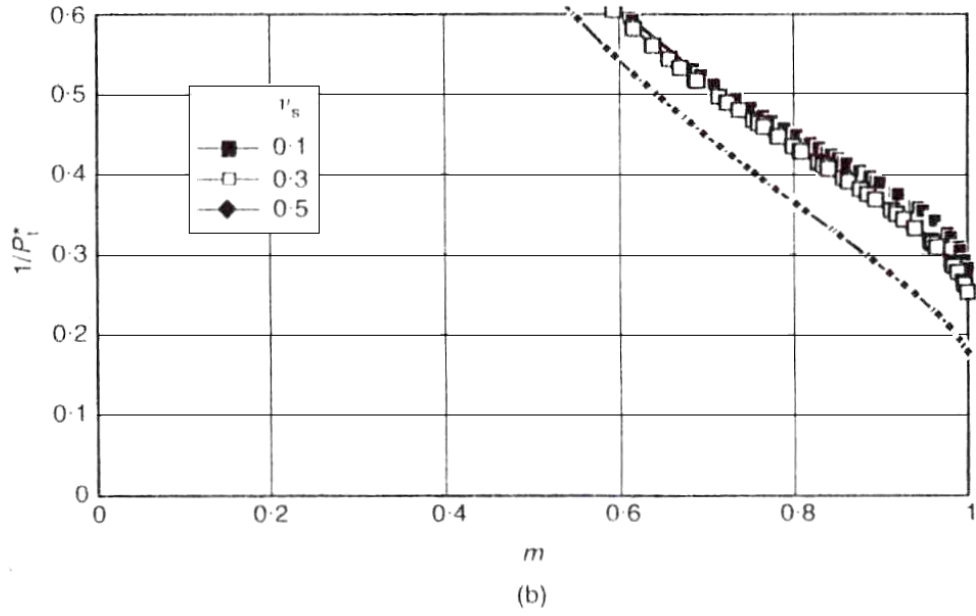
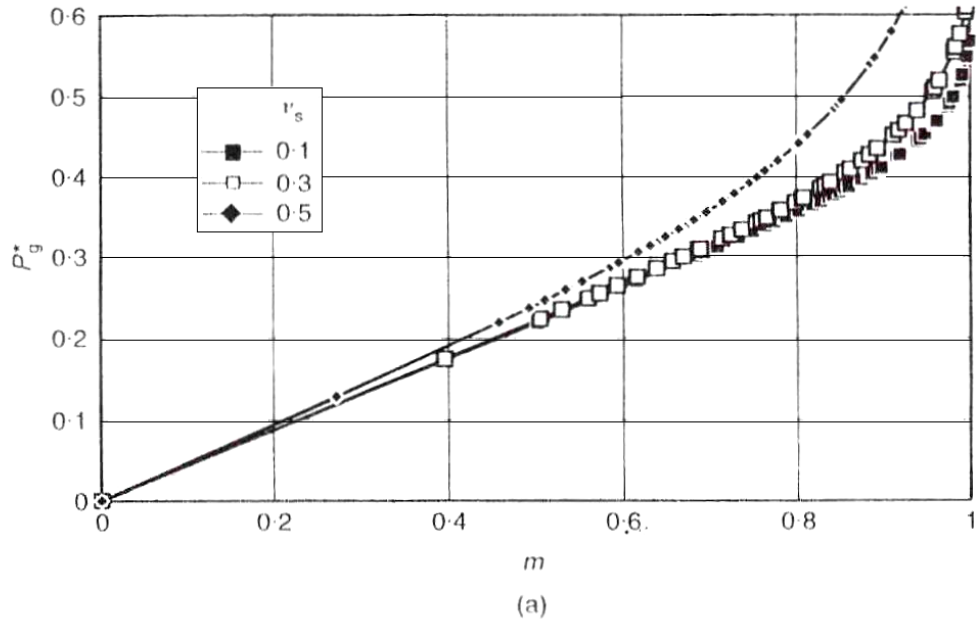
Zeminin poisson oranının etkisi eşdeğer kuyu temel rijitlik oranı $K_{pr}=1.02$ olarak alınarak ve kazık yarıçapı 0.07 m ve 0.15 m arasında değiştirilerek incelenmiştir. Radye kalınlığına da radye-zemin rijitlik oranı $K_{rs}=0.1$ değerinde tutularak 0.31 m ile 0.38 m arasında değişen değerler verilmiştir. Kazık boyu değiştirilmemiş ve rijitlik indeksi G_s/τ_s 500 değerinde sabit tutulmuştur.

Hesaplanan sonuçlar Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Şekilde farklı oturmaların poisson oranı azaldıkça artma eğiliminde olmasına rağmen genel olarak aynı olduğu görülmektedir. P_g^* ve $1/P_t^*$ boyutsuz parametreleri Şekil 5.10’da karşılaştırılmıştır.

Zeminin poisson oranı küçük olduğu zaman $m=0.8$ için ilgili P_g^* değeri $\nu_s=0.5$ 'dekinden biraz daha küçüktür [9].



Şekil 5.9 Poisson oranının farklı oturma üzerindeki etkileri ($K_{rs}=0.1$)
($1/P_t^*$ =Toplam kazık kapasitesinin, kazık kapasitesine oranı) [9]



Şekil 5.10 Boyutsuz parametrelerin m ile değişimi [9]

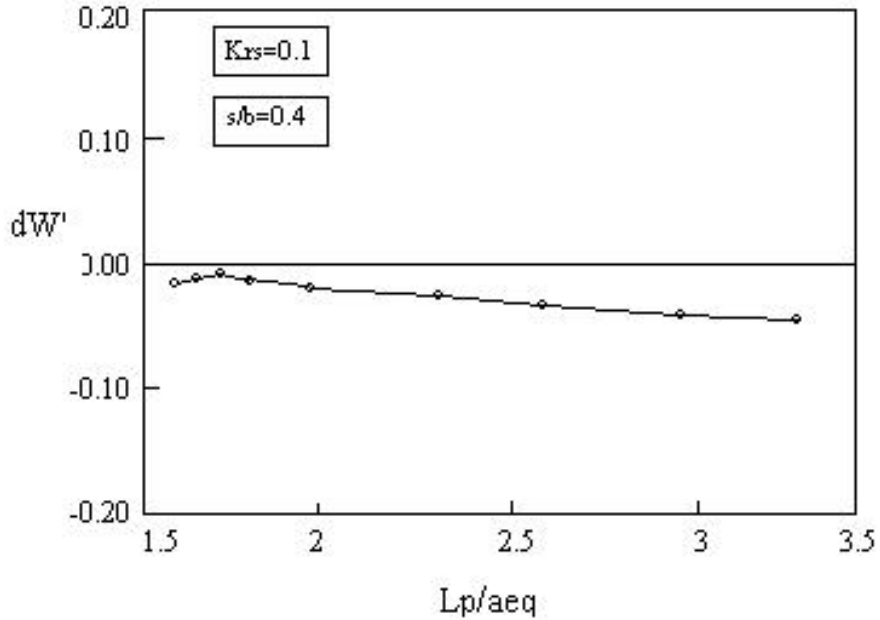
- a) m ile P_g^* (P_g^* =Kazık alanındaki yükün, kazık kapasitesine oranı) arasındaki ilişkiler
- b) m ile $1/P_t^*$ ($1/P_t^*$ =Toplam radye yükünün, kazık kapasitesine oranı) arasındaki ilişkiler

5.4.5 Kazık Uzunluğunun Etkisi

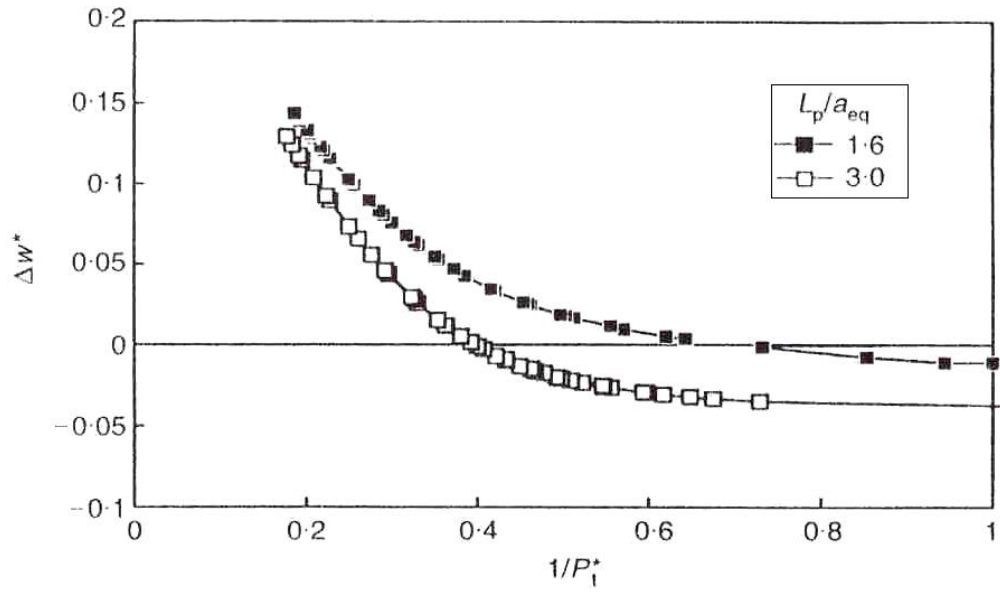
İlk olarak $K_p=1.02$ değeri sabit tutularak kazık yarıçapına da 0.15m ile 0.50 arasında değer verilerek kazık boyu değiştirilerek tam elastik analiz gerçekleştirilmiştir. Tüm durumlar da kazık aralığı ve kazık sayıları $s/b=0.4$ ve $n=9$ olarak alınmıştır.

Sonuçlar Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Buna göre kazık boyu önemli miktarda değişse de farklı oturma esas olarak aynı kalmıştır.

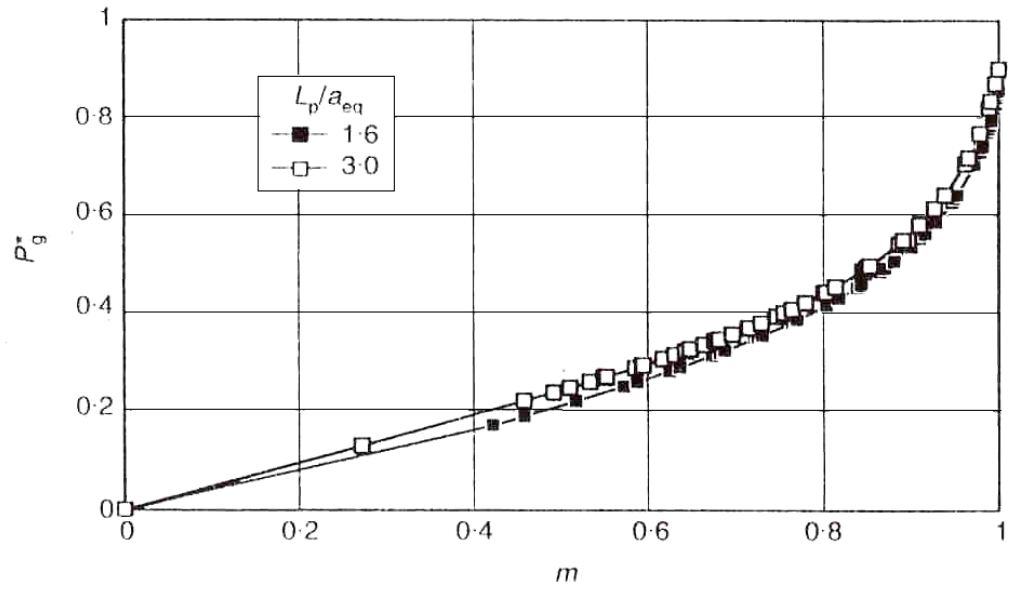
$L_p/a_{eq}= 3$ temel değer durumuna ilaveten $L_p/a_{eq}=1.6$ için non-lineer analiz gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan farklı oturmalar Şekil 5.12’de karşılaştırılmıştır. Optimum koşullarda (“0” farklı oturma olmasına rağmen) P_t^* nin biraz daha yüksek olmasından başka önemli bir fark olmadığı görülmüştür. P_g^* nin m ile değişimi Şekil 5.13’ de gösterilmiştir. Kazık boyu değişmesine rağmen eğilimler değişmemiştir [9].



Şekil 5.11 Kazık uzunluğunun farklı oturmaya etkileri
(Tam Elastik Çözüm) [9]



Şekil 5.12 Kazık boyunun toplam oturma üzerindeki etkileri [9]

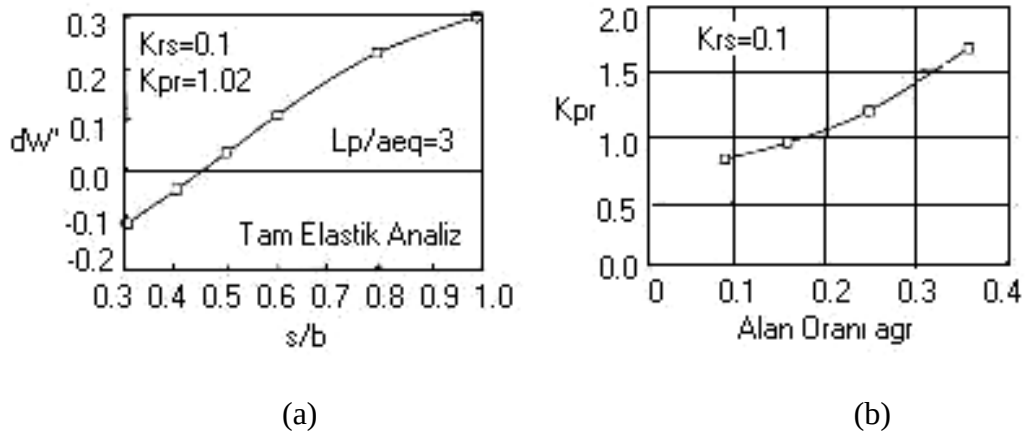


Şekil 5.13 Kazık boyunun P_g^* değerine etkisi [9]

5.4.6 Kazık Aralığının Etkisi (Optimum K_{pr})

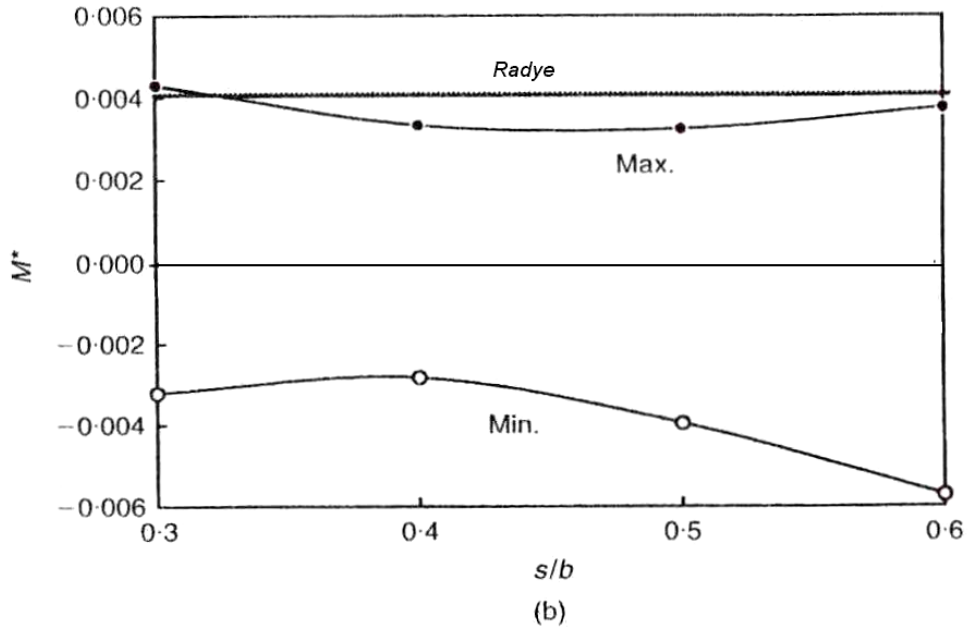
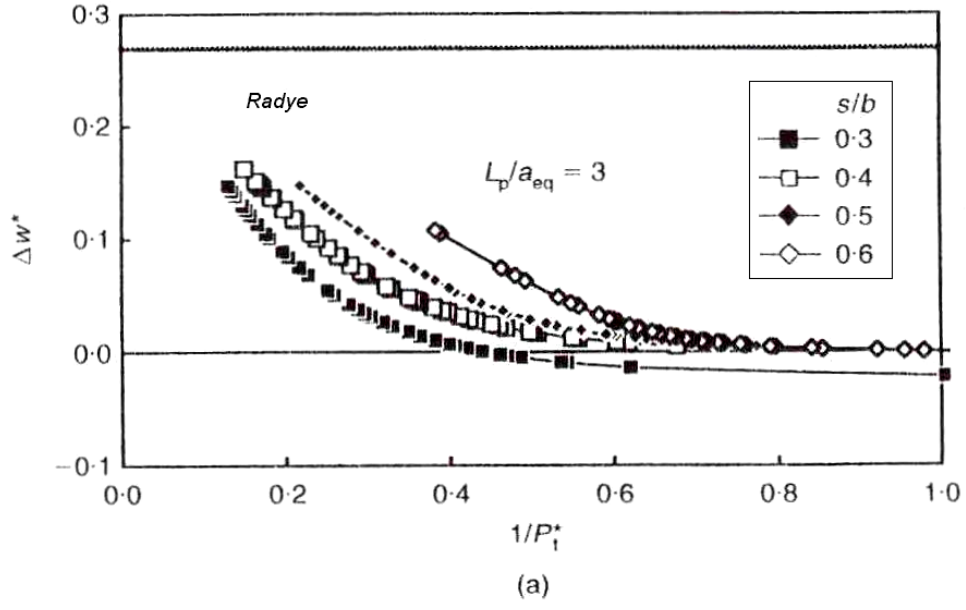
Bu bölümde başka bir tam elastik parametrik çalışma ile optimum K_{pr} 'nin alan oranı a_{gr} 'ye bağlılığı incelenmiştir. $K_{pr}=1.02$ olarak sabit değerde alınmıştır. Kazık aralığı $s/b = 0.3$ ile 1.0 arasında değiştirilmiştir. Kazık yarıçapı da 0.10 m ile 0.19 m arasında değiştirilerek ve kazık boyu sabit tutularak incelenmiştir. Hesaplanan sonuçlar Şekil 5.14a' da karşılaştırılmıştır. Şekilden farklı oturmanın önemli ölçüde kazık aralığına olan oranı a_{gr} 'ye bağlı olduğu anlaşılmaktadır. $K_{pr}=1.02$ kazık aralığı $0.4\sim 0.5$ durumu en küçük farklı oturmayı ortaya çıkartır. Sıfır farklı oturmayı vermek için gerekli K_{pr} değerleri elastik olarak a_{gr} oranına bağlı biçimde hesaplanmış ve Şekil 5.14b'de gösterilmiştir. Bu şekil alan oranı a_{gr} artarken farklı oturmayı küçültmek için gerekli K_{pr} rijitlik oranının da arttığını açık bir şekilde gösterilmiştir.

Non-linear analiz sonuçları Şekil 5.15a'da gösterilmiştir. Bu analizlerde K_{pr} değerleri Şekil 5.14b'deki tam elastik analizden alınmıştır. Şekil 5.15a başlangıç farklı oturmalarının sıfırın altından çok sıfır olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni K_{pr} değerlerinin tam elastik analizden alınmış olmasıdır. Şekil 5.14b'dekinden daha büyük K_{pr} değerleri (yaklaşık %5) kazık kapasitesinin mobilizasyonundan sonra minimum farklı oturmayı verecektir. Şekil 5.15b maksimum pozitif ve negatif eğilme momentlerini verir. Hesaplar kazık aralığı $s/b= 0.4\sim 0.5$ iken radyede minimum eğilme momentleri oluştuğunu göstermiştir. M^* toplam uygulanan yüklerle normalize edilmiş herbir uzunluk birimindeki eğilme momentini ifade eder.



Şekil 5.14 Kazık aralığının farklı oturmalar üzerindeki etkisi ($K_{rs}=0.1$) [9]

- a) Normalize edilmiş farklı oturma
- b) Tam elastik çözümden elde edilen optimum K_{pr}

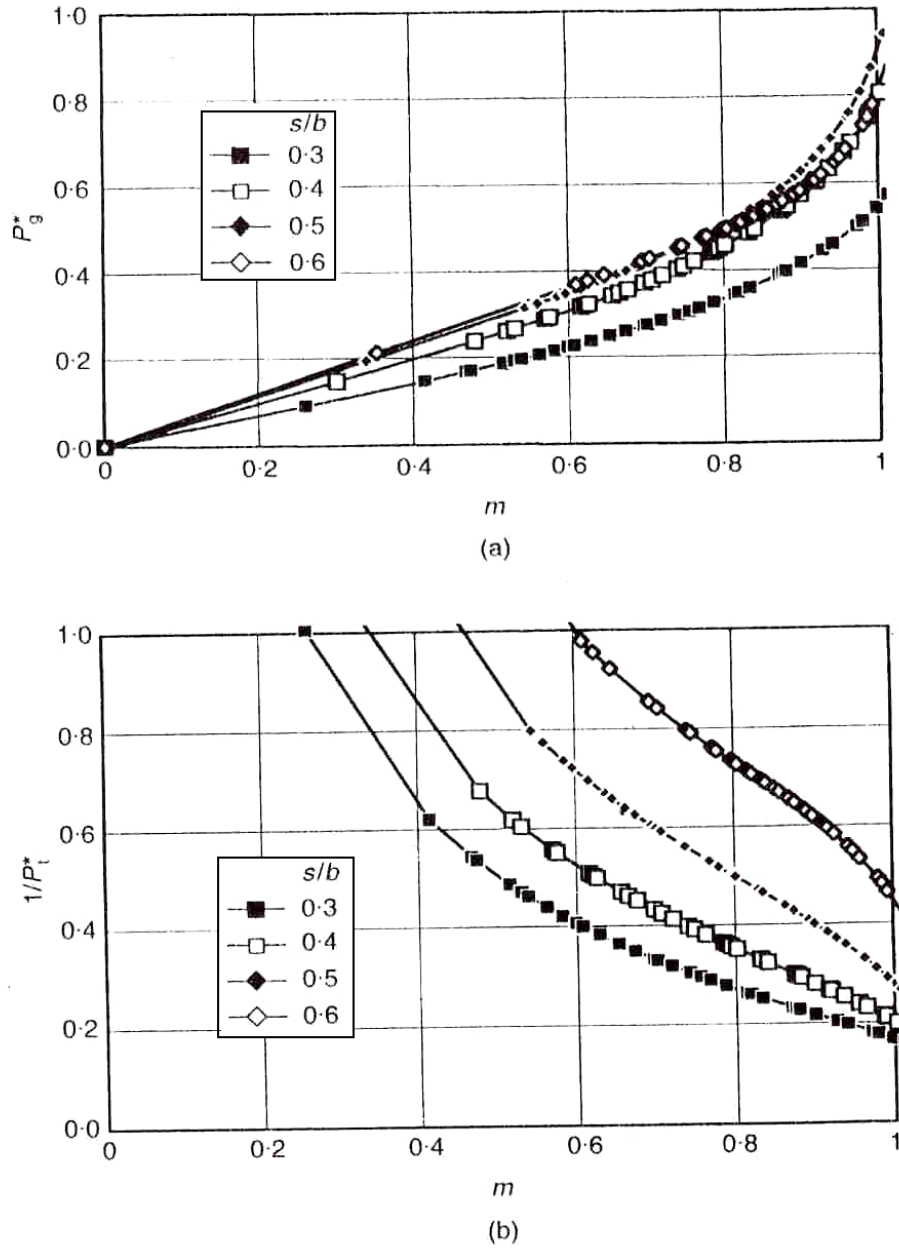


Şekil 5.15 Kazık aralığının kazıklı temele olan etkileri ($K_{rs}=0.1$)
 (K_{pr} Şekil 14b'den alınmıştır.) [9]
 a) Normalize edilmiş farklı oturmalar
 b) Radyenin maksimum eğilme momenti

Boyutsuz parametreler P_g^* , P_t^* ve m arasındaki ilişkiler Şekil 5.16'da gösterilmiştir. P_g^* 'nin m ile değişiminin ($1/P_t^*$ ile karşılaştırılarak) kazık aralığından bağımsız olduğu ortaya çıkmıştır. $m=0.8$ kabul edildiğinde $s/b=0.4\sim 0.6$ için ilgili P_g^* 'nin 0.4 olduğu varsayılırsa a_{gr} 'nin 0.16~0.25 arasındaki değişik değerler için P_t^* , 1.5 ile 2.5

arasında bir değer alır (Denklem 6.14). Bu değerler kazıklı radyelerin optimum dizaynında kullanılır. Toplam radye yükünün %40~60'ı olan toplam kazık kapasitesini ifade eder. Kazık grubu radye alanının %16~25'ine yerleştirilirse toplam kapasite uygulanan yükün 2.5 katına çıkar.

Yapılan parametrik çalışmada radye alanı artarken ve radye zemin rijitlik oranı azalırken (K_{rs} , Denklem 5.2) . Kazık mesnetlenme alanındaki aşırı oturmadan sakınmak için alan oranını arttırmak gerekir.



Şekil 5.16 Boyutsuz Parametrelerin m ile Değişimi [9]
 m ile P_g^* arasındaki ilişkiler
 m ile $1/P_t^*$ arasındaki ilişkiler

5.4.7 Bölümün Değerlendirmesi

Yukarıda incelenen çalışma neticesinde genel olmamakla birlikte kazıklı radyelerin farklı oturmalar açısından optimum tasarımı için yapılacak çalışmalara ışık tutacak ve kıyaslamalar yapılabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

- a) Kazıkların radye alanının %16~25'ini kaplayacak şekilde merkeze yerleştirilmesi gerekir.
- b) Kazık grubu (veya eşdeğer kuyu temel) rijitliği yaklaşık olarak radye rijitliğine eşit alınmalı ($K_{pr} \sim 1$).
- c) Kazık grup alan oranına ve zeminin poisson oranına bağlı olarak dizayn yükünün %40~70'i için toplam kazık kapasitesi tasarlanmalıdır.

6. KAZIK-RADYE YÜK PAYLAŞIMININ İNCELENMESİ

Bu bölümde, 4 ve 5. bölümlerde verilen Clancy, P. ve Randolph, M.F.' nin yaklaşımları ve Poulos' un ortaya koyduğu optimum dizayn konusuna ilave olarak kazıklı radye temellerde, kazıklar ve radye arasındaki etkileşimin incelendiği diğer çalışmalara yer verilmiştir.

Kazıklı radye tasarımının yapılabilmesi için gereken temel konular daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Ancak tasarımın optimum olarak yapılabilmesi için kazıklı radyelerde ne tek başına kazıklar ile ilgili özelliklerin incelenmesi ve tahkik edilmesi ne de radye ile ilgili özelliklerin incelenmesi ve tahkik edilmesi yeterli değildir. Optimum dizaynın yapılabilmesi için kazıklı radyenin bir bütün olarak incelenmesi, özellikle de kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımının tahkik edilmesi gereklidir. Bu bölümde konuyla ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelenmiştir.

6.1 Birleşik Kazıklı Radye Temeller (Combined Piled Raft Foundation-CPRF)

Leipzig Üniversitesi' nden bir grup araştırmacının (Carsten , A.; Soukhov, D.; König, G,1998) Darmstad Üniversitesi ile birlikte gerçekleştirdiği bu çalışmada, karşılıklı etkileşim halinde olan farklı bileşenleri içeren karmaşık bir yapı olan bileşik kazıklı radye temeller (CPRF) üzerine yaptıkları çalışmanın sonuçları incelenmiştir. Çalışmacılar problemin zorluğundan dolayı basit bir modele dayanarak araştırma yapmışlardır. Model olarak tek kazıklı radye temel kullanmışlardır. Yazarlar, tek kazıklı radye temelin, bileşik radye temele (CPRF) ait bazı durumları içermese de , bileşik radye temelin ana öğelerini içerdiği kabulünü yapmışlardır [4].

Tek kazıklı modelin üzerinde ve içinde yer aldığı zemin parametreleri için esas olarak üzerinde yeteri kadar incelemenin yapıldığı Frankfurt Kili seçilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen hesaplar Tablo 6.1'de verilmiştir. Bileşik radye temele ait parametreler Şekil 6.1' de ve Tablo 6.2' de sunulmuştur.

Yazarlar çalışmayı Darmstad Üniversitesi Geoteknik Kürsüsü ile birlikte gerçekleştirmiştir. Çalışmada Drucker-Prager Modeli esas alınarak yeni bir geoteknik model geliştirilmiştir. Drucker-Prager modeli Mohr-Coulomb modeli ile yaklaşık olarak benzer sonuçlar veren bir modeldir. Modelin fonksiyonu hidrostatik gerilmelerin etkisini kapsamaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde Frankfurt’ daki CPRF’ nin deformasyonları ve oturmalarını hesaplayan bir sonlu elemanlar bilgisayar programı yazılmıştır.

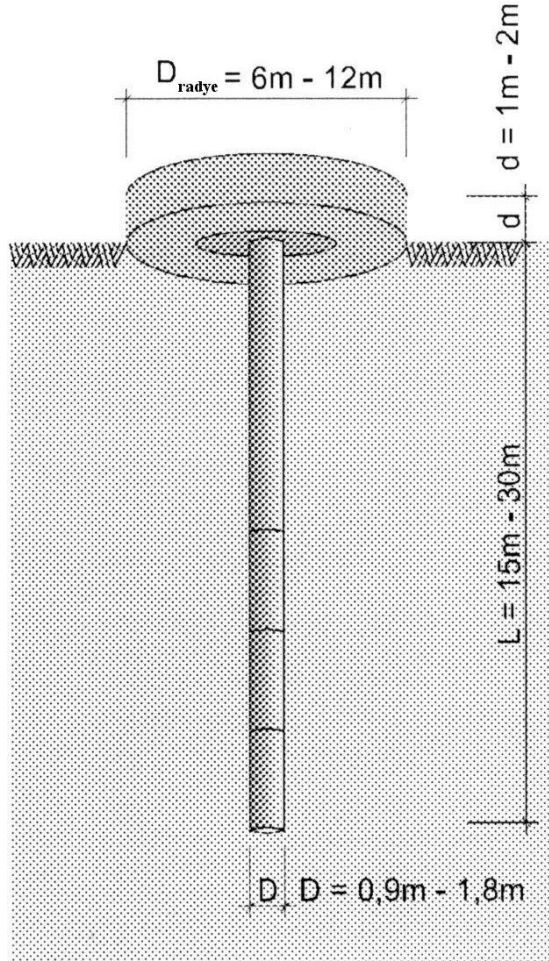
Bu hesaplar kazıklar ve yüzeysel temel için idealize edilmiş bir davranışa dayanmaz. Bilgisayardaki simülasyondan, gerçek davranışın elde edilmesi yolu izlenmiştir.

Tablo 6.1. Frankfurt Kiline Ait Zemin Parametreleri [4]

Zemin Parametreleri	Sembol	Değer	Birim
Sürtünme Açısı	ϕ'	20	°
Kohezyon	c'	20	kN/m ²
Elastisite Modülü	E	50	MN/m ²
Poisson Oranı	μ	0.25	
Sükunetteki Toprak Basıncı	K_0	0.6	
Koni Başlık Katsayısı	α	0	
Koni Açısı	β	30.64	
Birim Ağırlık	γ / γ'	19 / 9	kN/m ³

Tablo 6.2. Araştırılan Geometrik Değişkenler [4]

Yapısal Eleman	Birim	Değişken			
		1	2	3	4
Kazık Uzunluğu	m	15	20	25	30
Kazık Çapı	m	0.9	1.2	1.5	1.8
Radye Çapı	m	6	12	-	-
Radye Kalınlığı	m	1	2	-	-

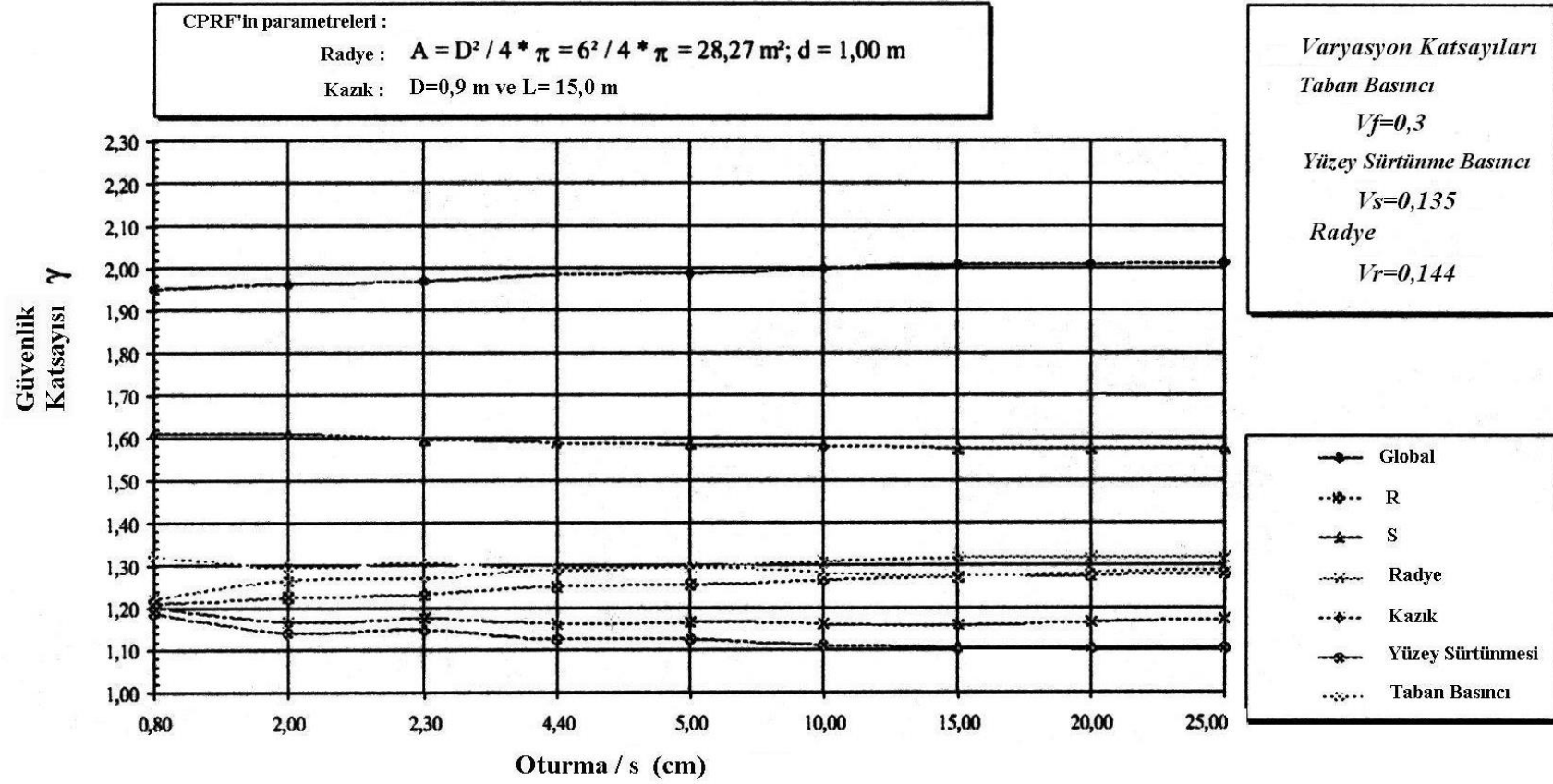


Şekil 6.1. CPRF için ele alınan model [4]

CPRF' nin değişik kısımlarına ait ortalama değerler Tablo 6.3'de gösterilmiştir. Yüklemenin başlangıcında  evre sürtünme kuvveti temel yüküne göre daha büyüktür. Oturmaların artmasıyla temel basıncı artar,  evre sürtünmesi de azalır.  alışmalar sırasında çeşitli kısmi emniyet katsayıları hesaplanmıştır. şekil 6.2' de verilen grafikte emniyet katsayılarının oturmaların artmasıyla değişmediği gösterilmiştir. Bu nedenle ilgili limit durum için oturmanın değerinin tam olarak seçimi olasılık hesaplarında çok önemli değildir. 1,9 ile 2,0 arasındaki tüm incelenen varsayımlar için global emniyet katsayısı daha düşük bir β değeriyle azalır. Emniyet indeksi β için birkaç kazıklı CPRF modellerinin ileri düzeyde incelenmesi ile sabit bir değer belirlenebilir [4].

Tablo 6.3: Hesap sonuçları [4]

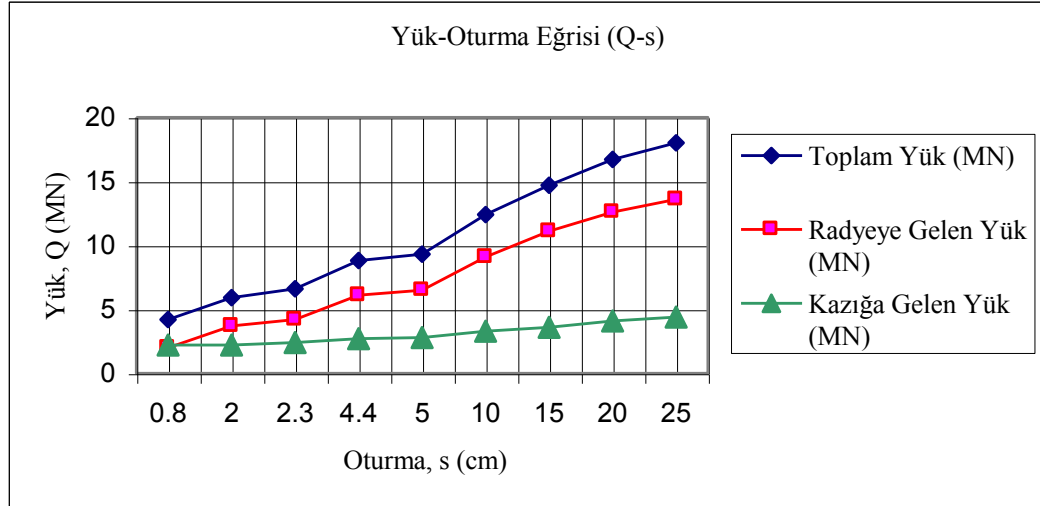
Kazık Uzunluğu: L= 15.00 m, Kazık Çapı: D=0.90 m Radye Alanı: A=28.54 m ²									
Oturma	Yükler	Radye	Kazık	Yüzey Sürtünmesi	Taban Basıncı	CPRF'in Bileşenlerinin Yükleri			
						CPRF Yükleri		Kazık Yükleri	
						Radye	Kazık	Yüzey Sürtünmesi	Taban Basıncı
s	Q _{CPRF}	Q _{Radye}	Q _{Kazık}	Q _{sürtünme}	Q _{ayak}	Q _{radye} /Q _{CPRF}	Q _{Kazık} / Q _{CPRF}	Q _{çevre} / Q _{Kazık}	Q _{temel} /Q _{kazık}
Cm	MN	MN	MN	MN	MN	%	%	%	%
0.8	4.2	2.0	2.2	1.7	0.2	48	52	77	9
2	5.9	3.7	2.2	1.8	0.4	63	37	82	18
2.3	6.6	4.2	2.4	1.9	0.5	64	36	79	21
4.4	8.8	6.1	2.7	2.0	0.7	69	31	74	26
5	9.3	6.5	2.8	2.0	0.8	70	30	71	29
10	12.4	9.1	3.3	2.2	1.1	73	27	67	33
15	14.7	11.1	3.6	2.3	1.3	76	24	64	36
20	16.7	12.6	4.1	2.5	1.6	75	25	61	39
25	18.0	13.6	4.4	2.6	1.8	76	24	59	41



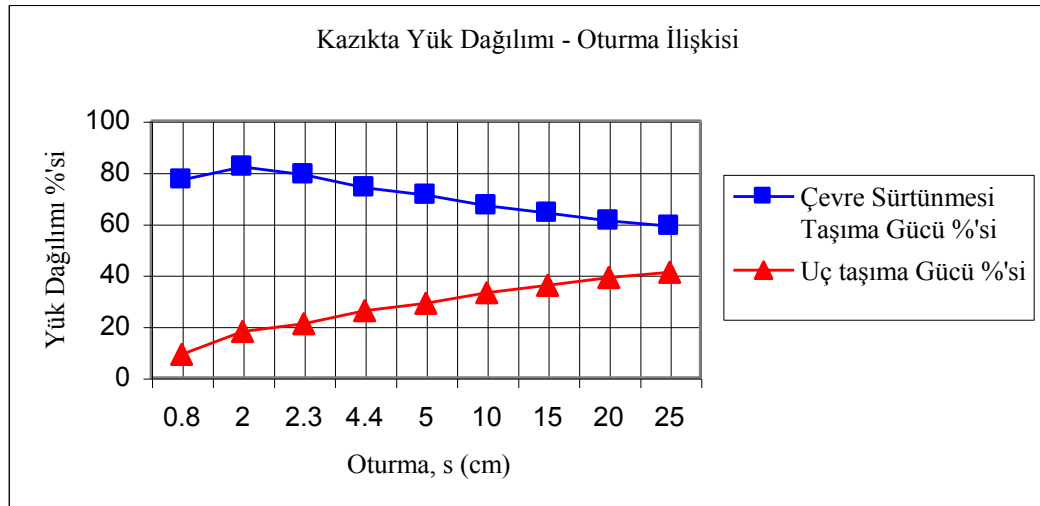
Şekil 6.2 CPRF ve bileşenleri için kısmi güvenlik katsayısı [4]

6.1.1 Sonuç

Yukarıda Tablo 6.3’ de verilen $L=15$ m, $D=0.90$ m ve $A=28.54$ m² değerlerine sahip kazıklı radyeye ait oturma-kazıkların aldığı yük %’si-radyenin yük %’si ilişkisi aşağıdaki grafikte verilmiştir (Şekil 6.3). Kazık tarafından taşınan yükün çevre sürtünmesi ve uç direncine dağılımı ile oturmaların değişimini veren grafik Şekil 6.4’ de verilmiştir.



Şekil 6.3 Oturma-Yüklemeye ilişkisi ($L=15$ m, $D=0.90$ m ve $A=28.54$ m²)



Şekil 6.4 Kazıkta yük dağılımı %'si- Oturma ilişkisi
($L=15$ m, $D=0.90$ m ve $A=28.54$ m²)

Şekil 6.3 ve 6.4’de verilen grafikler incelendiğinde bileşik kazıklı radyeye gelen yük arttığında oturmaların doğal olarak arttığı görülmektedir. Ancak artan yük ile bileşik kazıklı radyede , radyenin taşıdığı yük miktarındaki artışa ait eğrinin eğiminin kazığa gelen yük yüzdesine ait eğrinin eğiminden büyük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kazığın taşıdığı yükün bileşenlerinden çevre sürtünmesinden gelen katkının düşerken uç taşımadan gelen katkının arttığı gözlenmektedir.

Bu durumda kazıklı radyelerde yük paylaşımında zemine ait parametrelerin ne kadar baskın olduğu görülmektedir. Kazığın zemin içindeki davranışı, radyenin zemin ile olan ilişkisini etkilemektedir.

Yazarlar bu çalışmalarını ileri düzey bir çalışma için temel saymışlardır. Bu çalışmanın genel olarak kazıklı radyeler için kesin sonuçlar vermediği ancak çok sayıda kazık içeren temellerin incelenmesinde önemli katkılar sağlayabileceği öngörülmektedir.

6.2 Kazıklı Temellerde Kazıklar İle Radye Arasındaki Yük Paylaşımı (Öztoprak S., Özkan M.T. – İ.T.Ü 1998)

İkinci olarak ele alınan çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi’nden Öztoprak.S ve Özkan M. T. (1998) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışma da kazıklı radye temeller için önemli literatür taraması yapılmış ve Lusas Sonlu Elemanlar Programı ile hazırlanan model üzerinde analizler yapılmış ve kazıklı radye temellerde, kazık ile radye arasındaki yük paylaşımına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir [12].

Çalışma şu şekilde özetlenebilir:

Sağlam kil zemin üzerine oturan 1x4 ve 1x5 yerleşiminde kazık içeren modeller oluşturulmuş ve modeller üzerinde kazık aralığı – çap (s/D) oranı için 2.50-6.25 arasında değişen değerler alınarak, kazıklı temellerin analizi yapılmıştır. Aynı çalışma kapsamında kayaya soketlenmiş kazıkların durumu da incelenmiştir.

Yazarlar yaptıkları çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

Geleneksel kazıklı temellerde kazıklar s/D oranı dahilinde belirli aralıklarda ve çaplarda yerleştirilmekte ve ayrıca temel sisteminin oturması sınırlı tutulmaktadır. Bu nedenle de kazıklı radyede, radyenin taşıyacağı yük oldukça az olmaktadır. Ancak yazarların yaptığı inceleme neticesinde kazıklı radye temellerde hem sınırlı

sayıda kazık kullanıldığında (kazıklar kendi taşıma kapasitelerine ulaşabilmekte), hem de radye nispeten sağlam zemine oturduğu için taşıdığı yük miktarı artmaktadır (radye temas basınçları artmaktadır) [12].

Kayaya soketlenmiş kazıklı temellerde ise yükün kazıklar aracılığı ile kayaya aktarıldığı ve radye altında önemli gerilmelerin oluşmadığı bulgusu elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda radyenin taşıdığı yük toplam yük cinsinden % 4 mertebelerinde olmuştur. Radyenin daha fazla yük taşıyabilmesinin, kazıklı temel sisteminin deplasman yapmasına bağlı olduğu sonucu elde edilmiştir .

Öztoprak, S. ve Özkan, M.T radyenin temas gerilmelerini arttırmak için kazıklı temellerin oldukça sağlam zeminde tanımlamışlardır. Bu kabule rağmen radyenin taşıdığı yükün ancak %10 mertebelerine ulaşacağı sonucuna varılmıştır. s/D oranı ve radyenin taşıdığı yük yüzdesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir [12].

s/D = 2.5 iken Radyenin Taşıdığı Yük Yüzdesi = %3.2

s/D = 6.25 iken Radyenin Taşıdığı Yük Yüzdesi = %8.2

Zemine ait elastisite modülünün değeri düşürüldüğünde radyenin taşıdığı yük yüzdesinde düşmenin olduğu görülmüştür.

Temel altındaki düşey gerilmelerin durumu incelendiğinde ise s/D oranı arttırıldığında , radyenin, kazıkların arasındaki zemine uyguladığı temas basıncının arttığı gözlenmiştir. Kazık ara mesafesi için daha büyük değerler alındığında radyenin taşıyacağı yükün artacağı sonucuna varılmıştır [12].

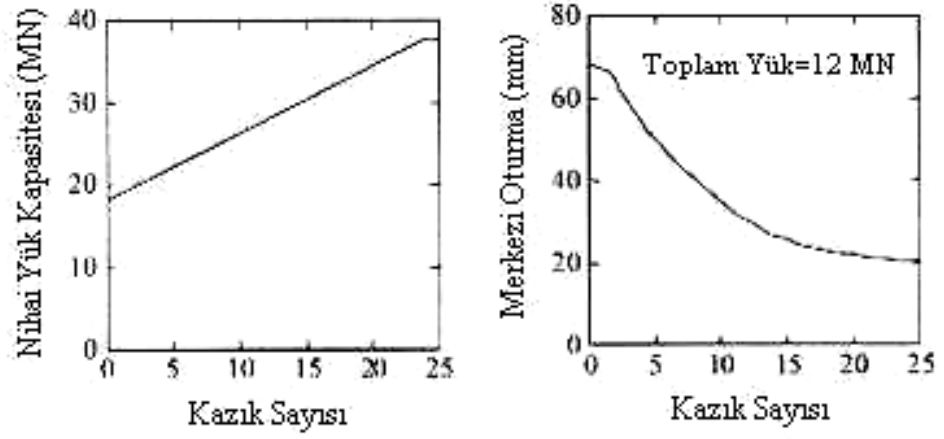
6.3 Zhang ve Small' un Yaklaşımı

Zhang ve Small (2000), derin uniform zemine yerleştirilmiş kazıklı kare radye temele ait bir parametrik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Radye ve zeminin poisson oranı sırasıyla 0,15 ve 0,35 seçilmiştir. Radyenin kalınlığı ve kazıkların çapları 0,5 m alınmıştır. Bir kazığın tepesindeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler kullanılarak Şekil 6.9, 6.11 ve 6.14 elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında düşey yüklü kazıklar incelenmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın düşey yüklemeler altında yapılan kısımları incelenecektir

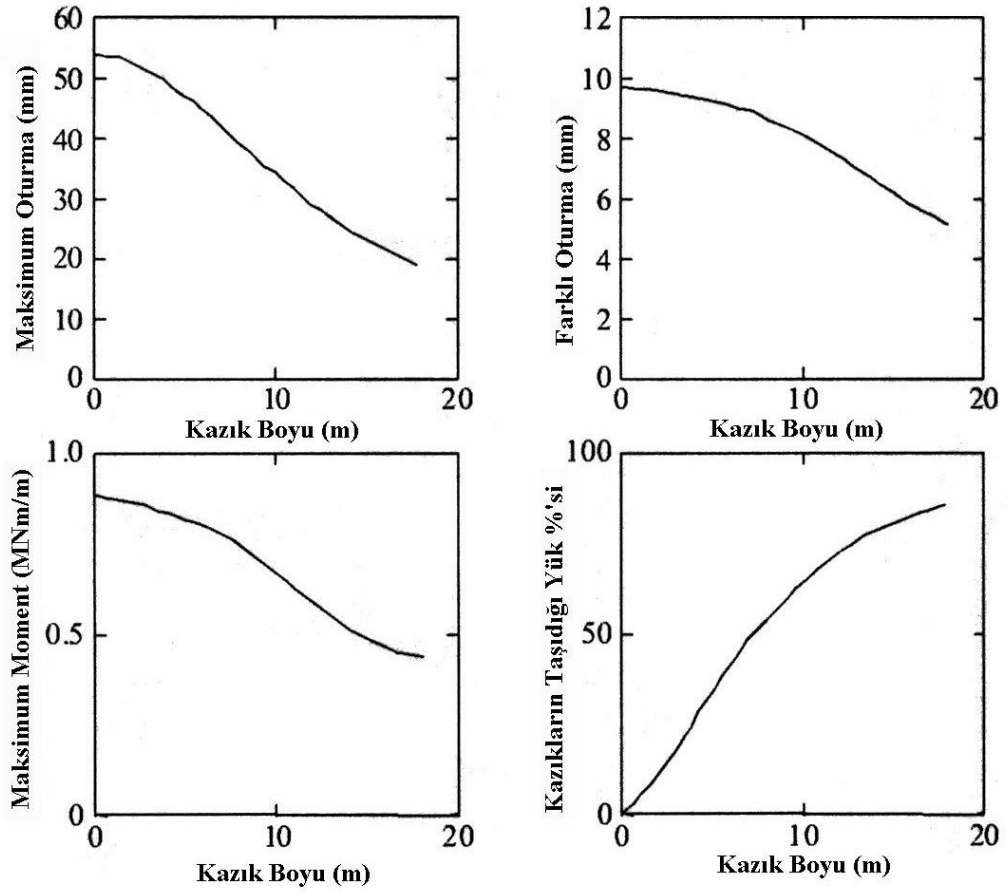
Yatay ve düşey yükleme durumları için normalize edilmiş yatay ve düşey yerdeğiştirmeler I_{uxx} ve I_{uzz} aşağıdaki gibi hesaplanabilir [27]:

$$I_{uxx} = \frac{E_s \cdot D}{q_x \cdot B_r \cdot L_r} u_x \quad \text{ve} \quad I_{uzz} = \frac{E_s \cdot D}{q_z \cdot B_r \cdot L_r} u_z \quad (7.1)$$

u_x ve u_z sırasıyla gerçek yatay ve düşey yerdeğiştirmeler, E_s zemin modülü, D kazık çapı, q_x ve q_z uniform yatay ve düşey yükler, B_r ve L_r planda radyenin genişlik ve uzunluğudur.



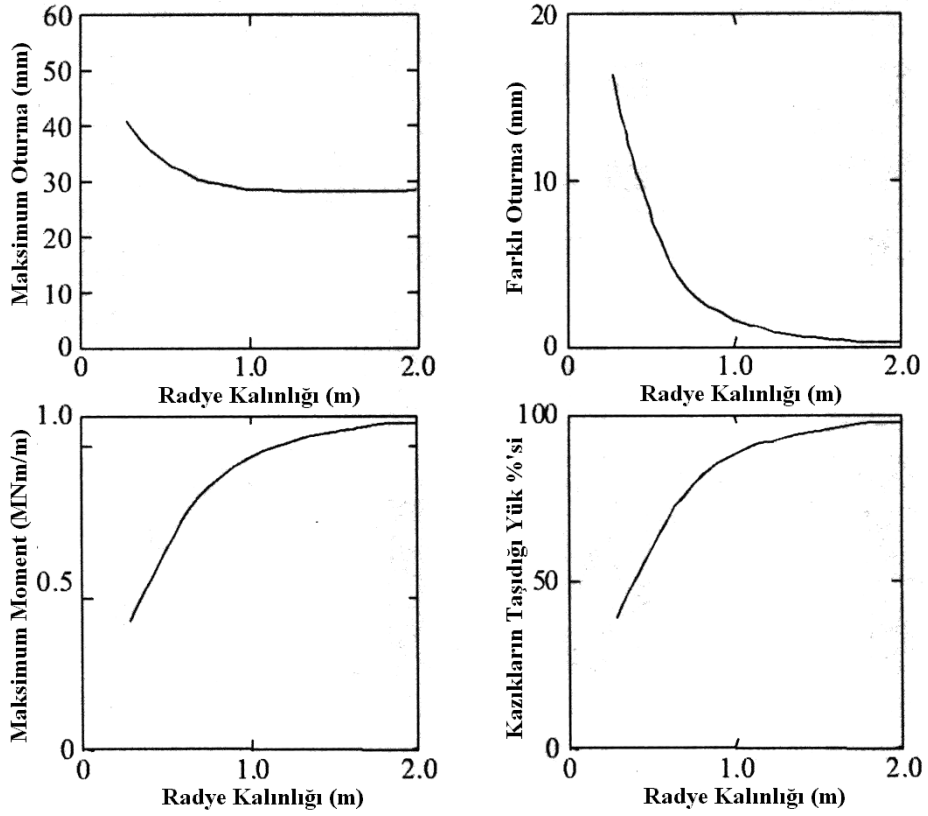
Şekil 6.5 Kazık Sayısının Nihai Taşıma Kapasitesine ve Oturmaya Olan Etkisi [27]



Şekil 6.6 Kazık Boyunun Temel Performansına Etkileri [27]

Radye Kalınlığı ($d=0,5$ m), Kazık Sayısı ($n=9$)

Yük $P=12$ MN



Şekil 6.7 Radye kalınlığının temel performansına etkileri [27]
Kazık boyu (L=10 m), kazık Sayısı (n=9), Yük P=12 MN

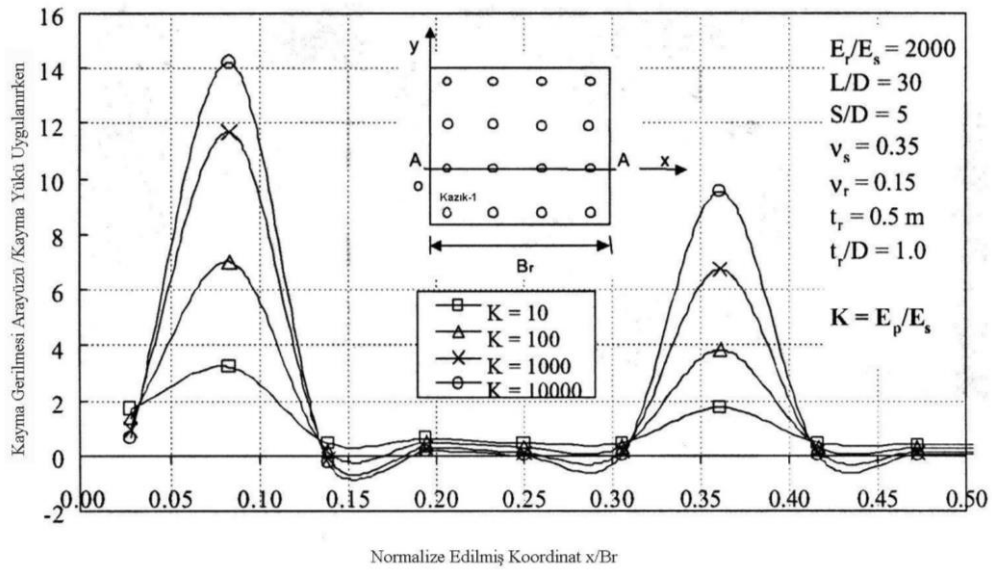
6.3.1 Kazık-Zemin Rijitlik Oranının Yerdeğiştirme ve Yük Dağılımı Üzerinde Etkisi

İlk örnekte kazık ara mesafesi oranı $S/D=5$ olarak seçilmiştir. Zemin modülü 10 Mpa, radye modülünün zemin modülüne oranı $E_r/E_s=2000$ olarak alınmıştır. Kazık narinlik oranı $L/D=30$ seçilmiştir. Zemin derinliğinin sınırsız olduğu varsayılmıştır. X yönünde radyeye uygulanan τ kayma gerilmesi için farklı kazık-zemin rijitlik oranlarına dair analiz sonuçları Şekil 6.7 ve 6.9’ de gösterilmiştir.

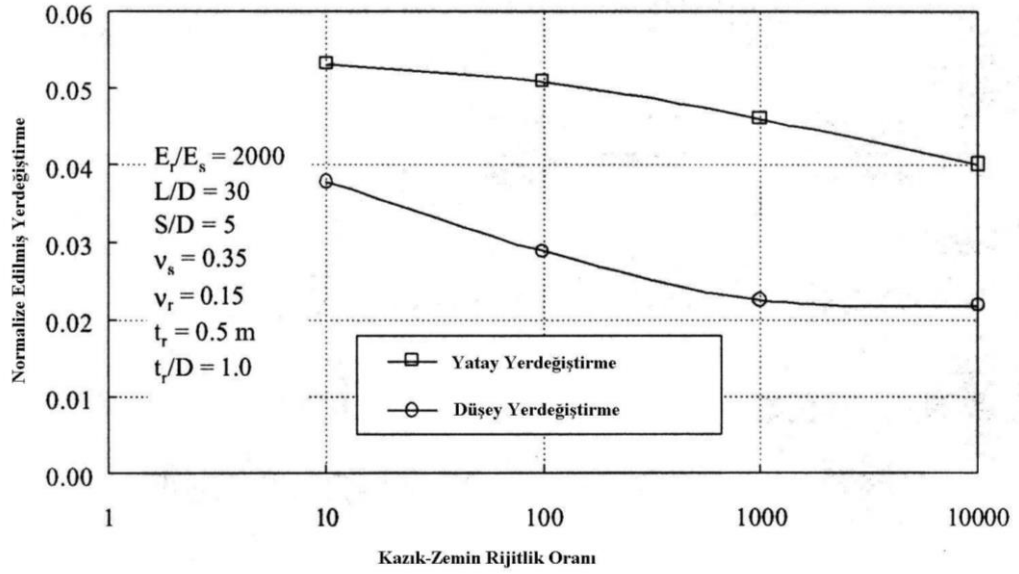
Şekil 6.8 A-A kesiti boyunca ara yüz üzerinde kesme basıncı değişimi gösterir. Kayma (kesme) gerilmesinin en yüksek değerleri kazıkların bu pozisyonunda görülür. Bunun yanı sıra kazık-zemin rijitlik oranındaki artış kazık boşluklarında önemli miktarda kesme basıncı artışına neden olurken, zemin yüzündeki kesme basıncında az miktarda azalmaya neden olur.

Şekil 6.9 kazık-zemin rijitlik oranındaki artışın yatay yükler altında kazıklı radyenin yatay yerdeğiştirmesinde azalmaya neden olduğunu gösterir. Kazık-zemin rijitlik oranındaki artış kazıklı radye için düşey yükler altında düşey yerdeğiştirmesinde azalmasına neden olur.

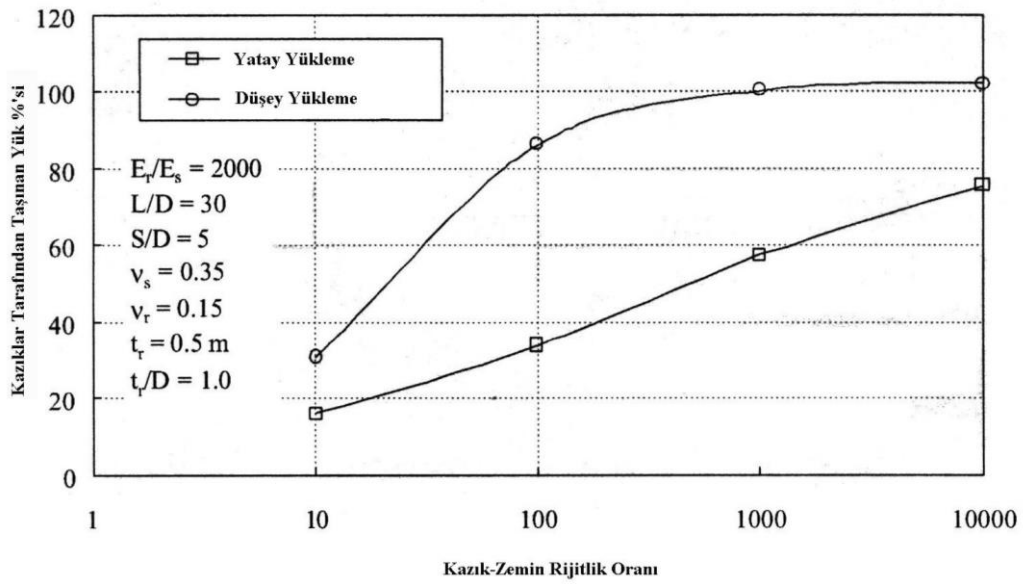
Şekil 6.9 gibi kazık-zemin rijitlik oranındaki artışın yatay yükler altında kazıklı radyenin yatay yerdeğiştirmesinde azalmaya neden olduğunu gösterir. Kazıklı radye için düşey yükler altında düşey yerdeğiştirme de de azalma olur. Ancak kazık-zemin rijitlik oranı daha düşük olduğu zaman düşey yerdeğiştirme kazık-zemin rijitlik oranına bağlı olarak daha hızlı azalır. Fakat kazık-zemin rijitlik oranı 1000' den fazla olduğuunda kazıklı radyenin düşey sehimini kazık-zemin rijitlik oranına karşı hassas değildir. Burada geçen örneklerde yükün büyük birleşimini kazıkların yoksa radyenin mi taşıdığı üzerinde durulması gereken konudur. Şekil 6.10' de sunulan analiz sonuçları kazık-zemin rijitlik oranı artarken kazıklar tarafından taşınan yatay yük yüzdesinin de arttığını, ancak kazık-zemin rijitlik oranı 1000'i aştığında kazıklar tarafından taşınan düşey yük artımının da durduğunu gösterir.



Şekil 6.8 A-A kesiti boyunca ara yüzdeki kayma gerilmesinin varyasyonu [27]



Şekil 6.9 Kazık-zemin rijitlik oranının kazıklı radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki etkisi [27]



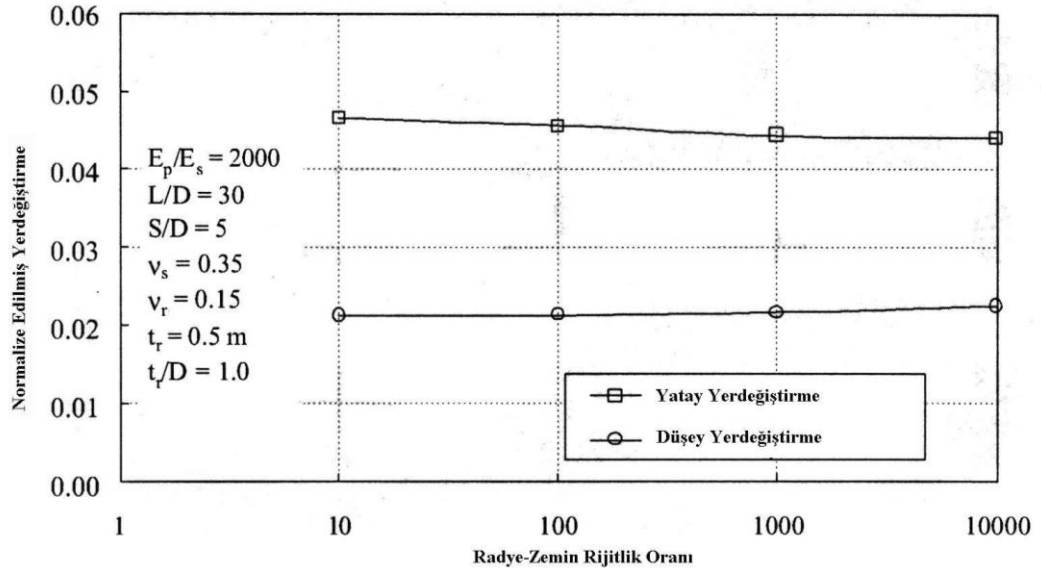
Şekil 6.10 Kazık-zemin rijitlik oranının kazıkların yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi [27]

6.3.2 Radye-Zemin Rijitlik Oranının Yük Dağılımı ve Yerdeğiştirme Üzerindeki Etkisi

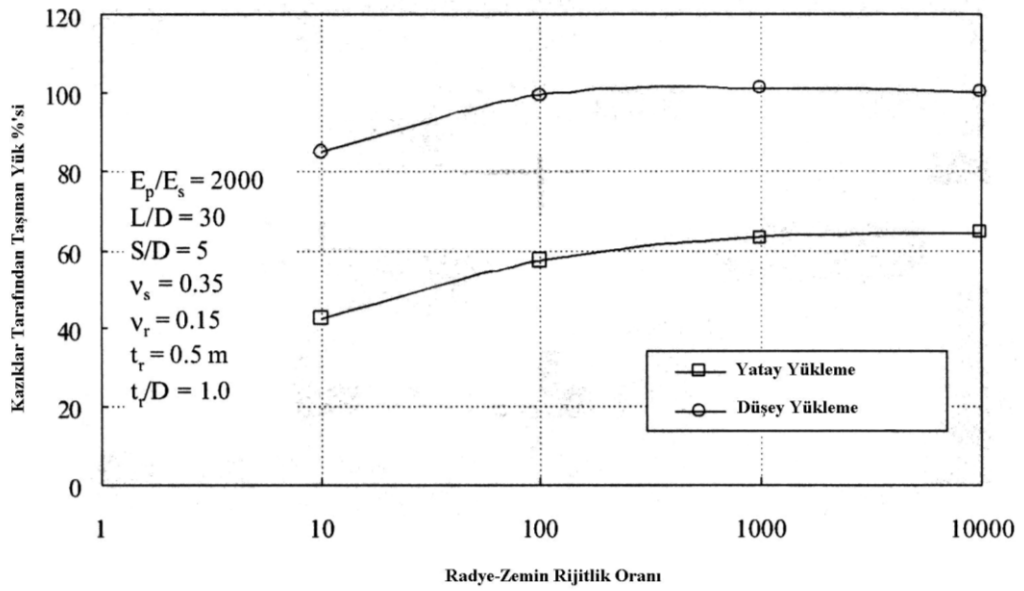
Radye-zemin rijitlik oranı E_r/E_s 'nin etkisini incelemek için kazık ara mesafesi oranı S/D , kazık narinlik oranı L/D ve zemin modülü E_s sabit alınmıştır. Kazık modülünün zemin modülüne oranı $E_p/E_s = 2000$ seçilirken, radyenin rijitliği gibi radye kalınlığına bağlı olduğu için Şekil 6.11 ve 6.12 gösterildiği gibi radye kalınlığını bilmek gerekir. Çeşitli radye-zemin rijitlik oranına karşılık gelen kazıklı radyenin normalize edilmiş yerdeğiştirmesi ve kazıklar tarafından taşınan yük Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Oturmalar üzerinde büyük etkiye sahip olan kazık zemin rijitlik etkisinden farklı olarak, Şekil 6.11, yatay veya düşey yüke maruz kalmasına bakılmaksızın radye-zemin rijitlik oranının kazıklı radyenin oturması üzerinde sınırlı miktarda etkisi olduğunu gösterir.

Ancak Şekil 6.12'da görüldüğü gibi düşük bir radye rijitlik oranı için (100'den daha küçük) radye-zemin rijitlik oranındaki artış kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesinde önemli bir artışa neden olur. Daha büyük radye-zemin rijitlik oranları için (100'den daha büyük) radye-zemin rijitlik oranındaki değişimin yük dağılımında çok küçük bir etkisi vardır [27].



Şekil 6.11 Radye-zemin rijitlik oranının kazıklı radyenin yerdeğiştirmesi üzerindeki etkisi [27]

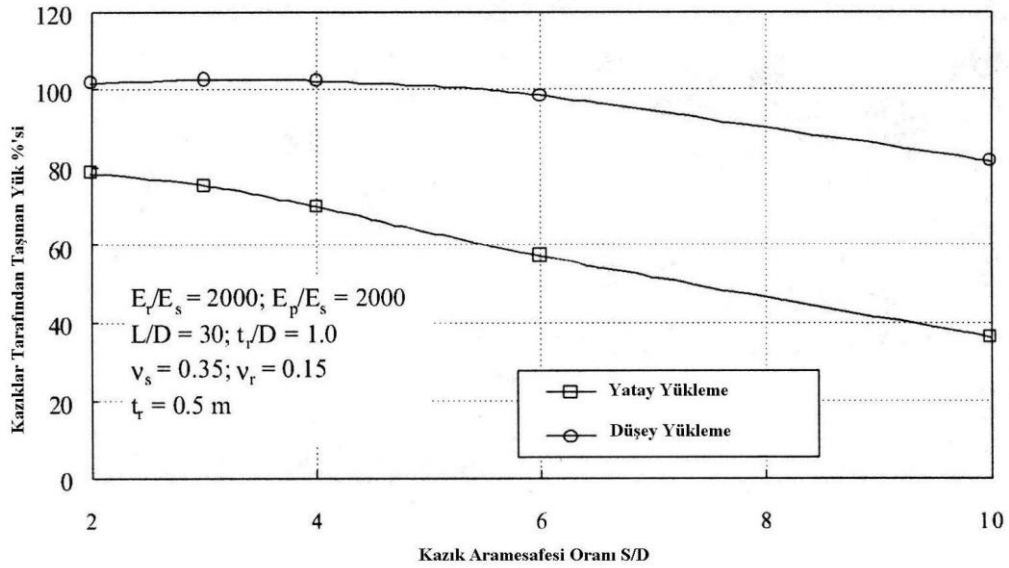


Şekil 6.12 Radye-zemin rijitlik oranının kazıkların yük taşıma yüzdesi üzerindeki etkisi [27]

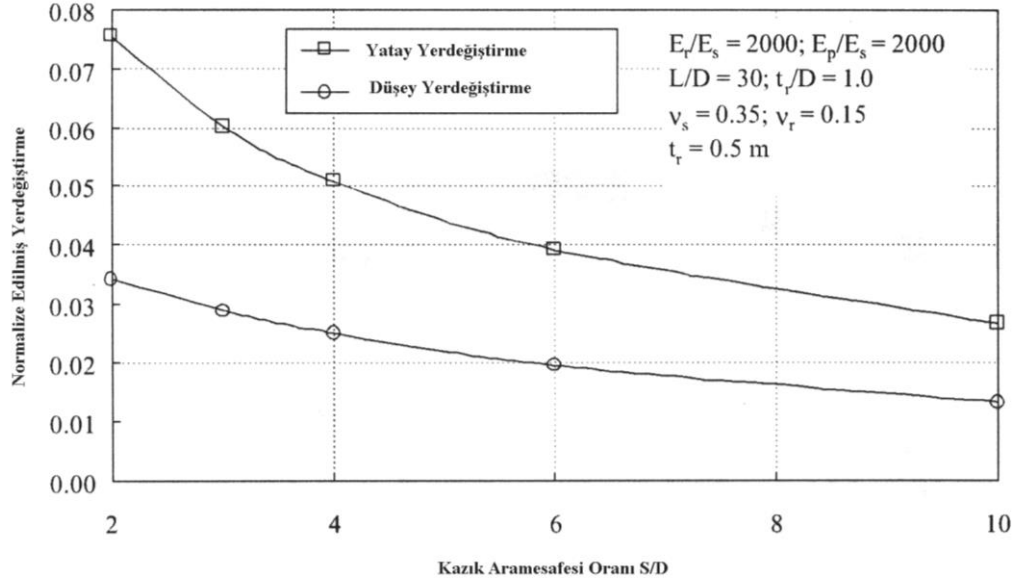
6.3.3 Kazıklar Arası Mesafenin Yük Dağılımı ve Yerdeğiştirme Üzerindeki Etkisi

Kazık ara mesafesi dolayısıyla kazık çapı radye büyürken, uygulanan toplam yükte artar (yük uniform dağılıyorsa). Kazık narinlik oranı $L/D=30$ tutulurken, zemin modülü $E_s=10$ Mpa ve E_p/E_s ile E_r/E_s 2000'e eşit alınıp, hesaplanan sonuçlar Şekil 6.13 ve 6.14'de gösterilmiştir.

Şekil 6.13'da görüldüğü gibi özellikle küçük kazık ara mesafesi oranları için yatay ve düşey yüke maruz kalması önemli olmaksızın kazık ara mesafesi oranının kazıklı radyenin oturması üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Kazık ara mesafesi oranındaki artış Şekil 6.14'de görüldüğü gibi kazıklar tarafından yatay yükte önemli bir azalmaya neden olabilir. Ancak bu koşullarda ($E_p/E_s=E_r/E_s=2000$) kazık ara mesafesi oranının kazıklar tarafından taşınan düşey yük üzerinde küçük bir etkisi vardır (Şekil 6.14).



Şekil 6.13 Kazık ara mesafesinin kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi [27]



Şekil 6.14 Kazık ara mesafesinin kazıklı radyenin normalize edilmiş yerdeğiştirmesi üzerindeki etkisi [27]

7. TEK KAZIKLI RADYENİN MODELLEMESİ VE ANALİZİ ÇALIŞMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde daha önceki bölümlerde yapılan literatür çalışması kapsamında elde edilen bilgiler ışığı altında kişisel olarak yapılan çalışma üzerinde durulacaktır.

Kazıklı radye temellerin incelenmesi kazık-radye-zemin arasındaki ilişkileri kapsayan karmaşık bir konudur. Bu karmaşıklığa zeminin kendi içerisindeki özellikler eklendiğinde konu oldukça kompleks bir çalışma halini almaktadır. Bu durum dikkate alındığında yapılacak çalışmada hesap hatalarını azaltmak ve daha kontrollü sonuçlar elde edebilmek için bilgisayar programlarını kullanmak kaçınılmaz olmaktadır. Bu doğrultuda sonlu elemanlar yöntemini kullanan programların daha hassas sonuçlar vereceği için bu tür bir programın kullanımına karar verilmiştir. Bu tür programlardan hem erişilebilirlik hem de yapacağımız inceleme için kullanabileceğimiz program seçilmiş; bina tasarımında kullanılan ETABS programını kullanmak mümkün olabilmıştır.

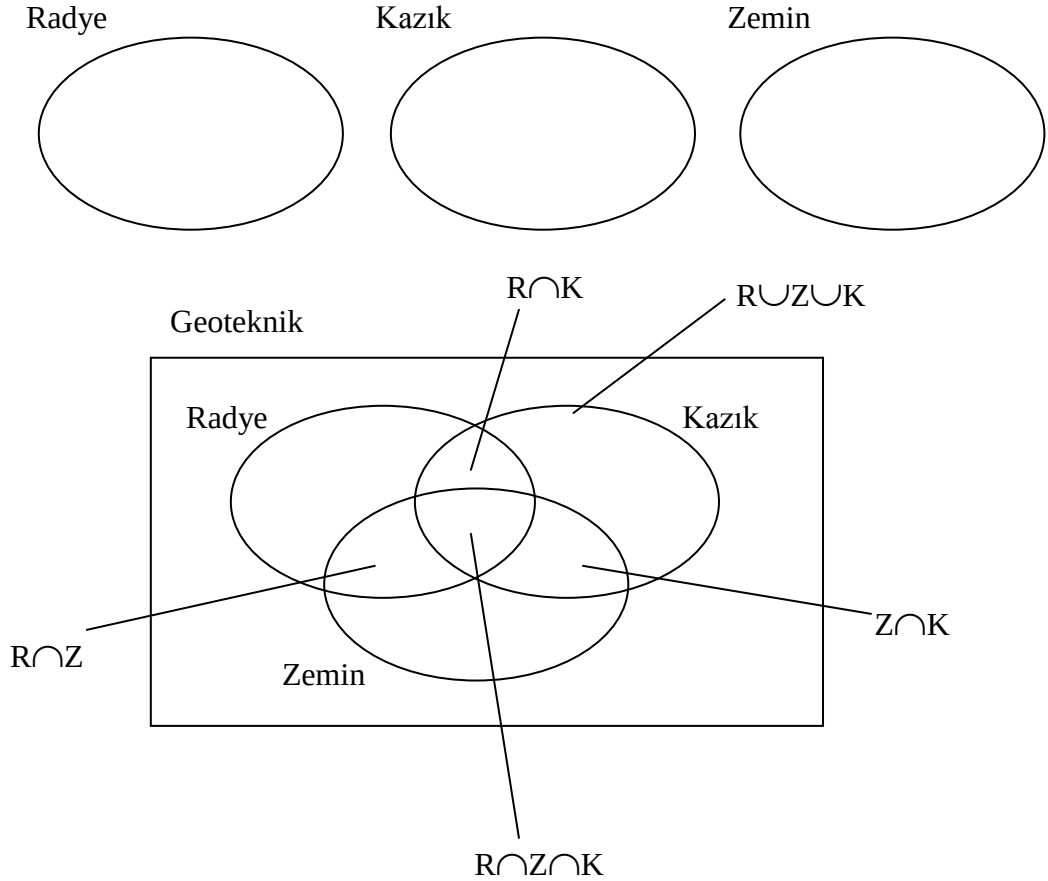
Kazıklı radyelerin optimum olarak tasarlanabilmesi için incelenmesi gereken birçok kriter mevcuttur. Bu bölümde yapılacak çalışma ile tek kazıklı bir başlık modellenmiş ve kazık-zemin-radye etkileşimi incelenmeye çalışılmıştır.

7.1 Kazık-Radye-Zemin Etkileşimi

Kazık-radye-zemin etkileşimi hem kazık ve radye gibi yapısal elemanlara ait malzeme özellikleri ve geometrik özelliklere ait parametrelere hem de zemine ait parametrelere bağlı çok boyutlu bir konudur.

Düşey yüklü tek bir sürtünme kazığının kum zemin içerisindeki davranışı incelendiğinde kazığın zemine uç kısmı ile ve yanıl alanında meydana gelen sürtünme direnci ile yük aktardığı görülmüştür. Her iki mekanizmanın da benzer ve farklı parametreleri vardır. Kazık uç direnci hesaplanırken zemine ait düşey efektif gerilme, içsel sürtünme açısı, poisson oranı, elastisite modülü gibi parametrelerin

etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kazığa ait kesit alanı geometrik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Kazığın yanal yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme direncinin hesabı yapılırken de, zemine ait düşey efektif gerilme, içsel sürtünme açısı, poisson oranı, elastisite modülü, kazık-zemin arasındaki sürtünme açısı, kazık tipi, kazık yüzeyinin pürüzlülüğü v.b. parametreler etkili olmaktadır. Yine bu sürtünme direncinin hesabında kazığa ait kazık çapı ve boyu ile bu parametrelere bağlı olarak da kazık yanal alanı parametresi kullanılmaktadır. Her iki yapısal eleman ile zemin arasında yukarıda belirtilen parametrelere bağlı etkileşimler olurken, zemin özelliklerinde değişiklikler meydana getiren etkileşimler olmaktadır. Bu karşılıklı etkileşimleri matematikteki kümeler şeklinde ifade edebiliriz. Küme benzetmesine ait şekiller Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Kazık-radye-zemin etkileşiminin kümeler ile ifadesi

Tez çalışması süresince yapılan incelemeler kazıklı radyenin bir sistem olarak düşünülüp tasarım yapılmasının daha gerçekçi çözümler vereceğini göstermiştir. Bu

sistemi oluşturan her bir elemanın, düşey yüklemeler altında kendilerine özgü mekanizmaları vardır. Ancak bu üçlü bir araya gelip bir sistem oluşturduğunda tek başına gösterdikleri mekanizmadan farklı bir mekanizma oluşturmaktadırlar. Şekil 7.1’de verilen örnek uzayda kazık, radye ve zemine ait kümeleri ve bunların birbiri ile olan ilişkisi ifade edilmeye çalışılmıştır. Burada ifade edilen K, R ve Z kümeleri sırası ile kazık, radye ve zemine ait olan parametrelerin kümesini ifade etmektedir. Bu üç elemanın birbiri ile olan ilişkisi, kümelerdeki kesişim ($\cap$) ve birleşim ($\cup$) işlemleri ile ifade edilmiştir.

Herhangi bir zeminde bir kazıklı radye tasarlanırken kazık ve radyeye ait parametreleri belirlemek mümkündür. Şöyle ki; bir radyenin veya kazığın geometrisinde veya malzeme içeriğinde meydana getirilecek değişimler ile (radyenin kalınlığını artırarak, boyutlarını değiştirerek veya kullanacağımız malzemeye göre elastisite modülünü değiştirebiliriz.) radyeden veya kazıktan beklediğimiz performansı sağlayabiliriz. Doğrusal olmayan bir davranış mekanizması olan betona ait elastisite modülünü belirlemek de zor bir iştir ve betonun elastisite modülü gerilme-deplasman değişimi ile değişebilmekte gerilmeler altında bir süre sonra yarıya hatta üçte birine kadar düşebilmektedir. Ancak betonarmeyi oluşturan betonun ve çeliğin genleşme katsayılarının aynı oluşu rastlantısı, bu sistem için oluşturulacak mekanik modelde bir çok kolaylıklar getirmiştir. Buna karşın zemin hiç de betonarme gibi değildir ve zemine ait parametreleri belirlemek zor olduğu gibi bu parametrelerin değişmeden kalabilme garantisi de yoktur. Bu durum bizleri zemini ve zemin içerisindeki yapıları modellerken bir dizi kabullerin yapılması sonucuna götürmektedir. Bu kabullerden en önemlisi zemini homojen ve izotrop bir ortam olarak kabul etmektir. Bununla birlikte zemin içerisinde gerek çakma kazıklar gerekse de sondaj kazıkları imal edilirlerken bir çok değişim meydana gelmekte bu değişimler zemine ait parametrelerde değişikliklere neden olmaktadır. Örneğin zemin içerisinde yatayda ve düşeyde meydana gelen deplasmanların farklı düzeylerde oluşu ve zeminin Poisson Oranının değişmesi beklenen bir sonuçtur. Ayrıca zemin içinde oluşan gerilme ile meydana gelen oturmalar arasındaki etkileşime bağlı olarak zeminin elastisite modülünde değişimler olabilmektedir. Mekanik modelimizde kullandığımız kumlu zemin için yeraltısuyu seviyesine ve dinamik etkilere göre taşıma gücünde önemli değişimlerin olabileceği bilinmektedir. Tüm bu zorluklar dikkate alınarak aşağıda belirtilen kabuller ile mekanik bir model hazırlanmış ve bu

modelde sabit düşey yükleme altında, tek kazıklı basit bir model oluşturulmuştur. Bu modelin kumlu zemin içerisindeki toplam oturma (S), kazığın elastik kısalması (S1), kazık ucuna aktarılan yük nedeni ile meydana gelen oturma (S2) , kazığın çevre sürtünmesi ile aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma (S3), kazık ucu ile taşınan, radyenin altında kalan zemin tarafından taşınan ve kazığın çevresindeki sürtünme ile taşınan yük değerleri arasındaki ilişkiler kullanılarak kazık-radye-zemin arasındaki etkileşim incelenmeye çalışılmıştır.

Hazırlanan mekanik modelde, kazık-radye-zemin etkileşimi eldeki imkanların elverdiği ölçüde bir arada incelenmeye çalışılmıştır. Kazık ve radyenin zemin ile etkileşimi ile meydana gelen dirençler belirlenirken şu yol takip edilmiştir: Radyenin altındaki zemini temsilen zemin yatak katsayısına bağlı olarak yaylar konulmuştur. Yine kazık ucundaki direnci temsilen de zemin yatak katsayısına bağlı olarak yay konulmuştur. Kazık çevre sürtünmesini temsilen de aynı zemindeki tek bir kazığın çevre taşıma direnci hesaplanmış ve bu değer kazık boyuna ve güvenlik sayısına bölünmesi ile elde edilen yaylı yük kullanılmıştır.

Bu model ETABS programı ile bilgisayarda sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmüş ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Radyenin altındaki yaylarda meydana gelen oturma değerleri ve gerilmeler,
- Kazık ucundaki yayda meydana gelen oturma ve gerilme değeri,
- Kazık başında meydana gelen oturma değeri,
- Radyede oluşan gerilme dağılışı ve moment değerleri,
- Sistemin toplam oturması.

Bu değerlerden kazık malzemesindeki elastik kısalmaya bağlı (S1) değeri kazık başındaki ve kazık ucundaki oturma değerleri arasındaki farktan bulunmuştur. Yine kazık ucu ile aktarılan yük nedeniyle oluşan S₂ oturması, 7.2 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam oturma S ile bulunan S1 ve S2 oturma değerleri 7.3 denkleminde yerine konularak çevre sürtünmesi ile yük aktarımına bağlı S3 oturması değeri bulunmuştur. Bu S3 değerine bağlı olarak kazığın ne kadarının mobilize olduğu amprik olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bu değerler ile kazık ile radye arasındaki yük dağılımı yeniden incelenmiş; çevre sürtünmesinin mobilize olan kazık boyunca etkili olduğu dikkate

alınarak kazığın ve radyenin taşıyacağı yük yüzdeleri amprik denklemler yardımı ile bulunmuştur. Son olarak analiz sonucu bulunan yük dağılım yüzdeleri ile amprik denklemlerden bulunan yük yüzdeleri karşılaştırılmıştır.

7.2 Modeldeki Radye ve Kazığa Ait Özellikler

7.2.1 Geometrik Özellikler

Modeldeki radye, yarıçapı $R=1,5$ m ve kalınlığı $d=0,40$ m olan daire şeklinde plak olarak modellenmiştir. Kazık ise programdaki mevcut dairesel kesitli kolon olarak modellenmiş ve çalışma kapsamında $D=30, 40$ ve 50 cm alınmıştır. Yapılan çalışmada kazık boyu L 'ye 5 m ile 12 m arasında değerler verilmiştir. Oluşturulan model Şekil 7.1'de gösterilmiştir.

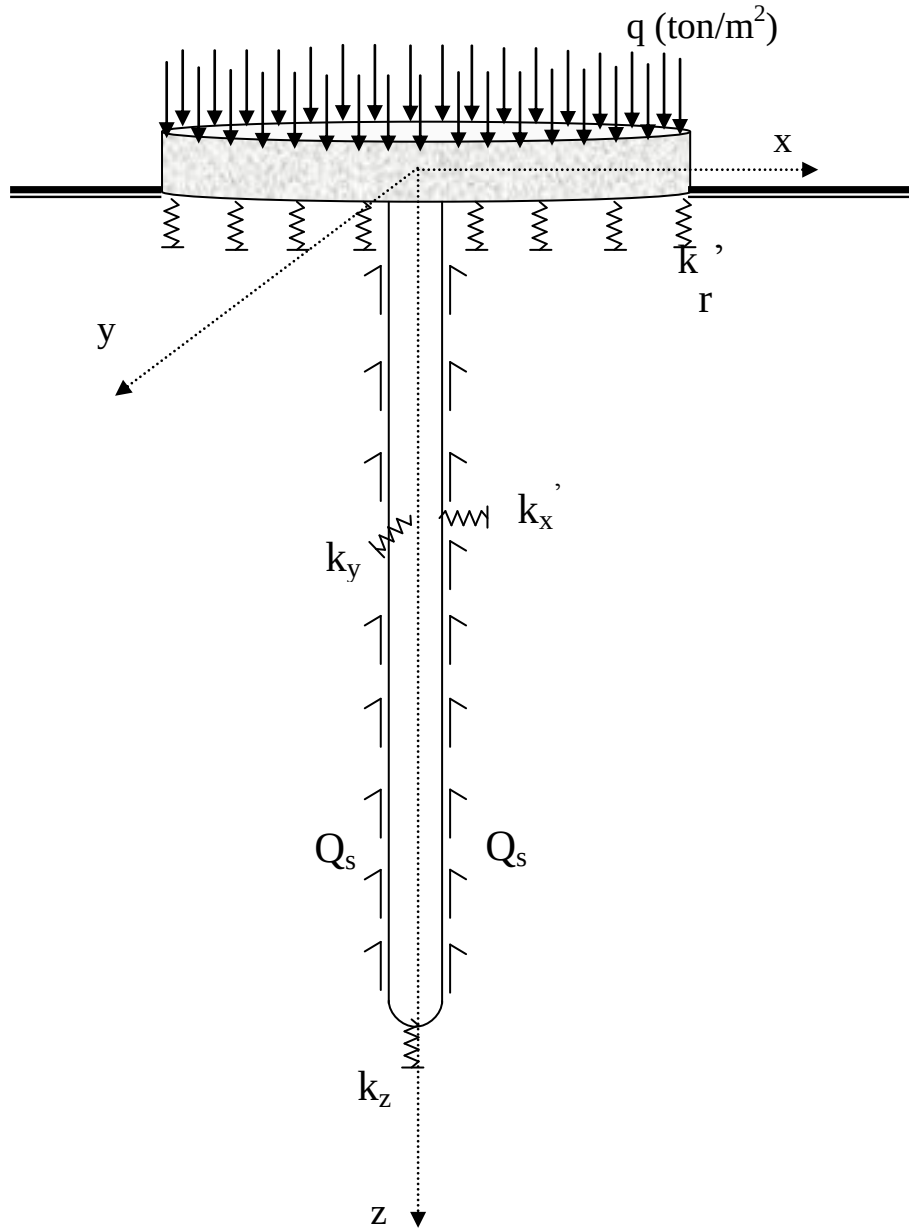
7.2.2 Malzeme Özellikleri

Kazıklı radyedeki kazık ve radyede kullanılan beton için elastisite modülü $E=300000$ ton/m² , poisson oranı $\nu=0.20$ alınmıştır. Betonarmenin diğer bileşeni çelik için StIII inşaat çeliği kullanılmıştır.

7.2.3 Zemin Profili

Modelde kullanılan zemin, kazık-zemin ve başlık-zemin ilişkisini yansıtan yaylar ile temsil edilmeye çalışılmıştır. Oldukça karmaşık ve değişken bir çok parametre ile ifade edilebilen zeminin, elastisite modülü, içsel sürtünme açısı, zemin ile kazık yanal alanı arasındaki sürtünme açısı ve sonuç olarak yatak katsayısına bağlı yaylar ile ifade edilmesi beraberinde bir çok güçlükler getirmektedir. Ancak mekanik modelin hazırlanabilmesi için bu tür basite indirgemelerin yapılması kaçınılmaz olmaktadır.

Kazık-zemin-radye ilişkisinin anlaşılabilmesi açısından kazığın yüzen kazık olmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür. Sert zemin tabakasına ya da kayaya oturan uç kazıklarında, kazık kaldırma kapasitesinde kazık uç direncinin daha çok etkili olduğu ve radye-zemin etkileşiminin daha az etkili olduğu tez kapsamında incelenen diğer çalışmalarda görülmüştür. Kumlu zemindeki yüzen kazıklı basit mekanik modelde radye-kazık-zemin etkileşimi incelenmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.2 Kullanılan Modelin Üç Boyutlu Şekli

7.2.3.1 Zemine Ait Parametrelerin Belirlenmesi

Yapılan modelleme çalışmasında basite indirgenmesi açısından homojen olarak kumlu zemin seçilmiştir. Kumlu zemine ait zemin özellikleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Ayırık daneli (kumlu) zemine ait zemin özellikleri

Parametre	Değeri
Elastisite Modülü, E	1300 ton/m ²
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ	31°
Zemine Ait Poisson Oranı, ν	0,3
Zeminin Kuru Birim Hacim Ağırlığı, γ_{kuru}	1,70 ton/m ³
Zeminin Kuru Birim Hacim Ağırlığı, $\gamma_{yaş}$	2,00 ton/m ³

7.3 Tek Kazığın Taşıma Kapasitesinin Hesabı

Tablo 7.2’de kumlu zemine ait derinlik ile değişen efektif zemin gerilmesi değerleri verilmiştir. Bu değerler aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanmıştır. Kazık çapı D ile temsil edilmek üzere ayırık daneli zeminlerde $10.D$ kritik derinliğinden sonra efektif gerilmenin değişmediği kabulüne göre hesaplama yapılmıştır [6, 25].

$$\sigma_v = \gamma \cdot h \quad 7.1$$

h : Derinlik (m)

σ_v : Düşey zemin gerilmesi (ton/m²)

γ : Zemine ait birim hacim ağırlığı (ton/m³)

Tablo 7.2 Kumlu zeminde düşey zemin gerilmesi

		σ_v (ton/m ²)		
Derinlik-h (m)	σ_{vi}	D=30 cm	D=40 cm	D=50 cm
1,0 ^m	σ_{v1}	1,7	1,7	1,7
2,0 ^m	σ_{v2}	3,4	3,4	3,4
3,0 ^m	σ_{v3}	5,1	5,1	5,1
4,0 ^m	σ_{v4}	5,1	6,8	6,8
5,0 ^m	σ_{v5}	5,1	6,8	8,5
6,0 ^m	σ_{v6}	5,1	6,8	8,5
7,0 ^m	σ_{v7}	5,1	6,8	8,5
8,0 ^m	σ_{v8}	5,1	6,8	8,5
9,0 ^m	σ_{v9}	5,1	6,8	8,5
10,0 ^m	σ_{v10}	5,1	6,8	8,5
11,0 ^m	σ_{v11}	5,1	6,8	8,5
12,0 ^m	σ_{v12}	5,1	6,8	8,5

7.3.1 Kazığın Uç Direncinin Hesabı

Kazık direncinin hesabı için Kulhawy ve diğerleri tarafından 1983'te ortaya konulan aşağıdaki denklemler kullanılmıştır [6, sayfa 501-504]:

$$q_t' = D \cdot \gamma \cdot N_\gamma^* + \sigma_{zD}' \cdot N_q^* \quad (7.2)$$

$$Q_t^* = q_t' \cdot A_t \quad (7.3)$$

q_t' : Birim uç taşıma direnci,

D : Kazık çapı,

N_γ^*, N_q^* : Taşıma gücü katsayıları,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

σ_{zD}' : Kazık ucu çevresindeki düşey efektif gerilme

Q_t^* : Kazık uç direnci,

A_t : Kazık enkesit alanı

N_γ^*, N_q^* (taşıma gücü katsayıları)' ın bulunması için Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de verilen diyagramlar kullanılacaktır. Bu diyagramlarda I_r olarak gösterilen zeminin rijitlik indeksi değeri kullanılmaktadır (Vesic 1977). I_r aşağıda verilen denklem yardımı ile hesaplanabilmektedir. [6, sayfa 501-504]

$$I_r = \frac{E}{2(1+\nu) \cdot \sigma_{zD}' \cdot \tan \Phi'} \quad (7.4)$$

I_r : Zeminin rijitlik indeksi,

E : Kazık ucu çevresindeki zemine ait elastisite modülü,

ν : Zeminin Poisson Oranı,

σ_{zD}' : Düşey efektif gerilme,

Φ' : Kazık ucu çevresindeki zeminin sürtünme açısı.

Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de verilen diyagramlar ve 7.3, 7.4 denklemleri kullanılarak kazığın uç direnci hesaplanabilmektedir.

$$N_\gamma^* = 0.6 \cdot (N_q^* - 1) \tan \Phi' \quad (7.5)$$

N_q^* (taşıma gücü katsayısı)' ın bulunması Şekil 7.3 diyagramından I_r ve ϕ' yardımı ile elde edilir. N_γ^* ise hem Şekil 7.3'den elde edileceği gibi 7.4 denklemi yardımı ile de bulunabilir.

Taşıma Gücü Katsayısı, N_q^*

Sürtünme Açısı, ϕ'

Şekil 7.3 N_γ^* (Taşıma gücü faktörü)'nın ϕ' (İçsel sürtünme açısı) ve I_r (Zemine ait rijitlik katsayısı)'ye bağlı olarak tespiti için diyagram (Kulhawy ve diğerlerinden uyarlanmıştır) [6]

Şekil 7.4 N_q^* (Taşıma gücü faktörü)'nın ϕ' (İçsel sürtünme açısı) ve I_r (Zemine ait rijitlik katsayısı)'ye bağlı olarak tespiti için diyagram (Kulhawy ve diğerlerinden uyarlanmıştır) [6]

Denklem 7.3, 7.4 ve 7.5 ve diyagramdan elde edilen N_γ^* ve N_q^* taşıma gücü katsayıları kullanılarak kazık uç direnci hesaplanmış ve Tablo 7.3'de gösterilmiştir.

Tablo 7.3 Kazık uç direncinin hesap tablosu

Kazık Çapı D (m)	Zeminin Elastisite Modülü E (ton/m ²)	Poisson Oranı	İçsel Sürtünme Açısı($^\circ$)	I_r	N_γ^*	N_q^*	q_t' (ton/m ²)	Kazık Kesit Alanı A_t (m ²)	Q_t' (ton)
0,3	1300	0,3	31	163,17	12,26	35,0	264,01	0,0707	18,660
0,4	1300	0,3	31	122,40	17,67	50,0	352,02	0,1257	44,240
0,5	1300	0,3	31	97,90	15,86	45,0	395,90	0,1964	77,750

Yapılan tüm hesaplamalarda güvenlik sayısı üç olarak alınmış ve tüm kazık taşıma gücü değerleri bu güvenlik sayısına bölünerek azaltılmıştır. Kazık ucu ile güvenli olarak aktarılabilir yükler aşağıda verilmiştir:

$$D=0,30 \text{ m için } (Q_t^*)_{all}=18,66/3= 6,22 \text{ ton}$$

$$D=0,40 \text{ m için } (Q_t^*)_{all}=44,24/3= 14,75 \text{ ton}$$

$$D=0,50 \text{ m için } (Q_t^*)_{all}=77,75/3= 25,92 \text{ ton}$$

7.3.2 Kazık Çevre Sürtünmesi Direncinin Hesabı

Kumlu zeminler için AASHTO'da verilen yanal taşıma gücü denklemi yardımı ile tek bir kazık için yanal taşıma gücünün tespit edilmesi aşağıda verilmiştir [25]:

$$Q_s = \pi D \sum_{i=1}^n \gamma_i' z_i \beta_i \Delta z_i \quad (7.6)$$

$$\beta_i = 1.5 - 0.135\sqrt{z_i} \quad 0.25 < \beta_i < 1.2 \quad (7.7)$$

D : Kazık çapı (m),

β_i : Zemin tabakasının yük iletme faktörü,

γ_i' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı (ton/m³),

z_i : Zemin tabakası orta noktasının derinliği (m),

Δz_i : Kazığın zemin içerisindeki boyu veya tabaka kalınlığı (m).

AASHTO, birim alandaki çevre taşıma gücü değerinin 19 ton/m² ile sınırlandırılmasını önermektedir.

Tablo 7.4 D=30 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu

Kazık Boyu L veya Δz_i (m)	Kazık Çapı D (m)	Zemin Tabakası Orta Nokta Derinliği z_i (m)	Yük İletme Faktörü β_i 7.7 Denklemi	Çevre Sürtünmesi Q_s (ton) 7.6 Denklemi	Güvenlik Sayısı	Çevre Sürtünmesinin Güvenle Taşıyabileceği Yük $(Q_s)_{all}$ (ton)
5	0,3	2,50	1,199	23,83	3	7,94
6	0,3	3,00	1,199	34,32	3	11,44
7	0,3	3,50	1,199	46,71	3	15,57
8	0,3	4,00	1,199	61,01	3	20,34
9	0,3	4,50	1,199	77,22	3	25,74
10	0,3	5,00	1,198	95,98	3	31,99
11	0,3	5,50	1,183	114,71	3	38,24
12	0,3	6,00	1,169	134,89	3	44,96

Tablo 7.5 D=40 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu

Kazık Boyu L veya Δz_i (m)	Kazık Çapı D (m)	Zemin Tabakası Orta Nokta Derinliği z_i (m)	Yük İletme Faktörü β_i 7.7 Denklemi	Çevre Sürtünmesi Q_s (ton) 7.6 Denklemi	Güvenlik Sayısı	Çevre Sürtünmesinin Güvenle Taşıyabileceği Yük $(Q_s)_{all}$ (ton)
5	0,4	2,50	1,199	31,78	3	10,59
6	0,4	3,00	1,199	45,76	3	15,25
7	0,4	3,50	1,199	62,28	3	20,76
8	0,4	4,00	1,199	81,35	3	27,12
9	0,4	4,50	1,199	102,96	3	34,32
10	0,4	5,00	1,198	127,98	3	42,66
11	0,4	5,50	1,183	152,95	3	50,98
12	0,4	6,00	1,169	179,86	3	59,95

Tablo 7.6 D=50 cm kazık için çevre sürtünmesi direncinin hesap tablosu

Kazık Boyu L veya Δz_i (m)	Kazık Çapı D (m)	Zemin Tabakası Orta Nokta Derinliği z_i (m)	Yük İletme Faktörü β_i 7.7 Denklemi	Çevre Sürtünmesi Q_s (ton) 7.6 Denklemi	Güvenlik Sayısı	Çevre Sürtünmesinin Güvenle Taşıyabileceği Yük $(Q_s)_{all}$ (ton)
5	0,5	2,50	1,199	39,72	3	13,24
6	0,5	3,00	1,199	57,20	3	19,07
7	0,5	3,50	1,199	77,85	3	25,95
8	0,5	4,00	1,199	101,69	3	33,90
9	0,5	4,50	1,199	128,70	3	42,90
10	0,5	5,00	1,198	159,97	3	53,32
11	0,5	5,50	1,183	191,19	3	63,73
12	0,5	6,00	1,169	224,82	3	74,94

7.3.3 Zemine Ait Yatak Katsayısının Belirlenmesi

Kumlu zemine ait yatak katsayısı literatürde verilen tablo ve hesap yöntemleri ile elde edilen değerlerin güvenlik sayısı ile azaltılması ile elde edilmiştir. Bu doğrultuda kumlu zemine ait yatak katsayısı şöyledir [8, sayfa 240-242]:

- Yatak Katsayısı, $k=1200 \text{ ton/m}^3$ (Gevşek – Orta Sıkı Kum Zemin)
- Radye Altındaki Yatak Katsayısı, $k'=600 \text{ ton/m}^3$ (Yüzeyde %50 Azaltılmış Katsayısı)
- Güvenlik Sayısı, $FS=3$
- Bu değerler dikkate alınarak modelde kullanılacak parametreler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:
- $k_z=400 \text{ ton/m}^3$ (Düşeyde z yönünde kazık ucuna etki eden güvenli yatak katsayısı)

- $k_x=135 \text{ ton/m}^3$ (Yatayda x yönünde kazığa etkiyen güvenli yatak katsayısı)
- $k_y=135 \text{ ton/m}^3$ (Yatayda y yönünde kazığa etkiyen güvenli yatak katsayısı)
- $k_{\text{radye}}=200 \text{ ton/m}^3$ (Düşeyde z yönünde radyeye etkiyen güvenli yatak katsayısı)
- Kazık ucuna konulan yay için yay katsayısı: $k_z'=400.\pi.(D/2)^2$
- Radye altına konulan yaylara ait yay katsayısı: k_r'
- X ve Y eksenini doğrultusunda kazık yüzeyine konulan yay katsayısı: $k_x'=k_y'=135.r.\Delta h$ (Δh : Birim kazık boyu=1 metre alınmıştır.)
- $(Q_s)_{\text{all}}$: Tablo 7.4, 7.5 ve 7.6'dan alınan değerler kullanılmıştır.
- $q_{\text{uniform}}=15 \text{ ton/m}^2$ (Model üzerindeki yayılı yük)
- Kazık Boyu $L= 5,6,7,...12 \text{ m}$ olarak alınmıştır.
- Kazık Çapı $D = 30,40 \text{ ve } 50 \text{ cm}$ olarak alınmıştır.
- Radye kalınlığı $d=40 \text{ cm}$ (sabit)

7.4 ETABS 7.2 İle Yapılan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kullanılan program bina çözümlerinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemine göre lineer, non lineer ve dinamik çözüm yapmaya imkan veren ve Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA tarafından yazılmış bir programdır.

Yapılan mekanik modelde $D=30, 40 \text{ ve } 50 \text{ cm}$ alınarak ve kazık boyuna $L=0,5,6,7,...12 \text{ m}$ değerleri verilerek 24 farklı model hazırlanmıştır. Bu farklı modeller için kazıklı radye sistemindeki deplasmanlar ve uygulanan yükün kazık ve radye arasındaki paylaşımının ne şekilde değiştiği incelenmeye çalışılmıştır.

7.4.1 Yük Dağılımının Kazık Boyu İle Değişiminin İncelenmesi

Hazırlanan modelin ETABS programı ile analizi yapılmış ve bu analiz sonuçlarına göre elde edilen yük dağılımının kazık boyu ile değişimi aşağıdaki tablolarda ifade edilmiştir:

Tablo 7.7.a D=30 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Kazığın Çevre Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın Çevre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,3	112,08	2,08	7,94	102,05	1,86	1,95	91,05
6	0,3	112,25	2,03	11,44	98,78	1,81	3,70	88,00
7	0,3	112,43	1,98	15,57	94,88	1,76	6,41	84,39
8	0,3	112,61	1,92	20,34	90,35	1,71	10,40	80,23
9	0,3	112,78	1,87	25,74	85,18	1,66	16,05	75,52
10	0,3	112,96	1,82	31,99	79,15	1,61	23,97	70,07
11	0,3	113,14	1,77	38,24	73,13	1,57	33,80	64,64
12	0,3	113,31	1,76	44,96	66,59	1,55	39,68	58,77

Tablo 7.7.b D=40 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Kazığın Çevre Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın Çevre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,4	112,76	3,58	10,59	98,59	3,17	9,39	87,43
6	0,4	113,08	3,46	15,25	94,36	3,06	13,49	83,45
7	0,4	113,39	3,33	20,76	89,30	2,94	18,31	78,75
8	0,4	113,71	3,21	27,12	83,38	2,82	23,85	73,33
9	0,4	114,02	3,09	34,32	76,61	2,71	30,10	67,19
10	0,4	114,34	2,97	42,66	68,70	2,60	37,31	60,09
11	0,4	114,65	2,87	50,98	60,80	2,50	44,47	53,03
12	0,4	114,96	2,79	59,95	52,22	2,42	52,15	45,43

Tablo 7.7.c D=50 cm kazık için yük dağılımının kazık boyu ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Kazığın Çevre Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın Çevre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,5	113,65	5,39	13,24	95,01	4,75	11,65	83,60
6	0,5	114,14	5,17	19,07	89,90	4,53	16,70	78,76
7	0,5	114,63	4,90	25,95	83,78	4,27	22,64	73,09
8	0,5	115,12	4,71	33,90	76,52	4,09	29,44	66,47
9	0,5	115,61	4,47	42,90	68,24	3,86	37,11	59,03
10	0,5	116,10	4,26	53,32	58,52	3,67	45,93	50,40
11	0,5	116,59	4,03	63,73	48,83	3,46	54,66	41,88
12	0,5	117,08	3,91	74,94	38,23	3,34	64,01	32,65

Yukarıdaki tablolarda verilen sonuçların grafikler ile ifade edilmiş şekli sırası ile Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3 olarak Ek-A'da verilmiştir.

7.4.2 Yük Dağılımının Toplam Oturma İle Değişiminin İncelenmesi

Hazırlanan modelin ETABS programı ile analizi yapılmış ve bu analiz sonuçlarına göre elde edilen yük dağılımının azalan oturma değerlerine göre değişimi aşağıdaki tablolarda ifade edilmiştir:

Tablo 7.8.a D=30 cm kazık için yük dağılımının-toplam oturma ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (mm)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın evre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,3	73,600	1,86	1,95	96,19
6	0,3	71,789	1,81	3,70	94,49
7	0,3	69,867	1,76	6,41	91,84
8	0,3	67,919	1,71	10,40	87,89
9	0,3	66,015	1,66	16,05	82,29
10	0,3	64,232	1,61	23,97	74,42
11	0,3	62,646	1,57	33,80	64,63
12	0,3	62,171	1,55	39,68	58,77

Tablo 7.8.b D=40 cm kazık için yük dağılımının-toplam oturma ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (mm)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın evre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,4	71,173	3,17	9,39	87,43
6	0,4	68,85	3,06	13,49	83,45
7	0,4	66,383	2,94	18,31	78,75
8	0,4	63,881	2,82	23,85	73,33
9	0,4	61,432	2,71	30,10	67,19
10	0,4	59,147	2,60	37,31	60,09
11	0,4	57,113	2,50	44,47	53,03
12	0,4	55,443	2,42	52,15	45,43

Tablo 7.8.c D=50 cm kazık için yük dağılımının-toplam oturma ile değişimi

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (mm)	Kazık Uç Direnci (%)	Kazığın evre Direnci (%)	Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,5	68,662	4,75	11,65	83,60
6	0,5	65,877	4,53	16,70	78,76
7	0,5	62,921	4,27	22,64	73,09
8	0,5	59,916	4,09	29,44	66,47
9	0,5	56,982	3,86	37,11	59,03
10	0,5	54,242	3,67	45,93	50,40
11	0,5	51,825	3,46	54,66	41,88
12	0,5	49,838	3,34	64,01	32,65

Yukarıdaki tablolarda verilen sonuçların grafikler ile ifadesi sırası ile şekil A.4, şekil A.5 ve şekil A.6 olarak EK-A'da verilmiştir.

7.5 Amprik Denklemler İle Oturma Bileşenlerinin İncelenmesi

Bu bölümde, kazıklı radye sisteminde meydana gelen toplam oturmanın üç farklı bileşeni olduğu yaklaşımı dikkate alınarak ikinci bir değerlendirme yapılmıştır. Aşağıda verilen denklemler yardımı ile analiz sonunda elde edilen oturmaların hangi oranda nereden kaynaklandığı bulunmak suretiyle amprik olarak mobilize olan kazık boyu hesaplanmıştır[8]:

$$S=S_1+S_2+S_3 \quad (7.8)$$

- S_1 : Kazıkta meydana gelen boy kısalmasına bağlı oturma,
 S_2 : Kazık ucu ile aktarılan yük nedeni ile meydana gelen oturma,
 S_3 : Kazık çevresindeki sürtünme direnci ile aktarılan yük nedeni ile meydana gelen oturma.

7.5.1 S_1 Oturmasının İncelenmesi

Düşey yüklü bir kazıkta toplam oturmayı meydana getiren bileşenlerden biri kazık boyunda elastik olarak meydana gelen kısalmadır. Mertebe olarak çok küçük bir değer olması ile birlikte toplam oturma için etkili olmaktadır. Bu değer hesabını aşağıdaki denklemler yardımı ile yapabiliriz [8]:

$$S_1 = \frac{(Q_p + \xi \cdot Q_s) L}{A_p \cdot E_p} \quad (7.9)$$

Q_p : Yükleme altında kazık uç direnci,

Q_s : Yükleme altında kazık çevre sürtünmesi direnci,

L : Kazık boyu,

A_p : Kazık kesit alanı,

E_p : Kazığın elastisite modülü.

Yukarıdaki denklemler kullanılmadan ETABS ile yapılan analizler sonucu kazıkta meydana gelen boy kısalması doğrudan analiz sonuçlarından alınmıştır. Bu değer yapılan analizlerden elde edilen kazık ucu ve kazık başı oturmaları arasındaki fark olarak hesaplanmış aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 7.9.a D=30 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri

<i>L (m)</i>	<i>Oturmalar (mm)</i>		<i>Üst-Alt</i>	<i>Oturma (m)</i>
	<i>Üst</i>	<i>Alt</i>		<i>Üst-Alt</i>
5	73,600	73,470	0,130	0,00013
6	71,789	71,598	0,191	0,000191
7	69,867	69,600	0,267	0,000267
8	67,919	67,564	0,355	0,000355
9	66,015	65,560	0,455	0,000455
10	64,232	63,970	0,262	0,000262
11	62,646	61,970	0,676	0,000676
12	62,171	61,416	0,755	0,000755

Tablo 7.9.b D=40 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri

<i>L (m)</i>	<i>Oturmalar (mm)</i>		<i>Üst-Alt</i>	<i>Oturma (m)</i>
	<i>Üst</i>	<i>Alt</i>		<i>Üst-Alt</i>
5	71,173	71,068	0,105	0,000105
6	68,85	68,699	0,151	0,000151
7	66,383	66,176	0,207	0,000207
8	63,881	63,608	0,273	0,000273
9	61,432	61,085	0,347	0,000347
10	59,147	58,721	0,426	0,000426
11	57,113	56,605	0,508	0,000508
12	55,443	54,853	0,59	0,00059

Tablo 7.9.c D=50 cm kazık için kazık boyu kısalmasına bağlı oturma değerleri

<i>L (m)</i>	<i>Oturmalar (mm)</i>		<i>Üst-Alt</i>	<i>Oturma (m)</i>
	<i>Üst</i>	<i>Alt</i>		<i>Üst-Alt</i>
5	68,662	68,572	0,090	0,000090
6	65,877	65,75	0,127	0,000127
7	62,921	62,75	0,171	0,000171
8	59,916	59,693	0,223	0,000223
9	56,982	56,702	0,280	0,000280
10	54,242	53,9	0,342	0,000342
11	51,825	51,419	0,406	0,000406
12	49,838	49,369	0,469	0,000469

7.5.2 S₂ Oturmasının İncelenmesi

Kazığın uç direnci ile aktardığı yük nedeni ile meydana gelen oturma aşağıdaki denklemler yardımı ile amprik olarak bulunabilir: [8]

$$S_2 = \frac{q_t \cdot D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{wp} \quad (7.10)$$

$$S_2 = \frac{Q_p C_p}{D \cdot (q_t)_{ult}} \quad (7.11)$$

D: Kazık çapı,

q_t : Kazık ucuna gelen birim taşıma kapasitesi,

E_s : Kazık ucunun altındaki zeminin elastisite modülü,

ν : Zeminin Poisson Oranı,

I_{wp} : Dağıtma katsayısı.

C_p : Amprik katsayı (Tablo 7.10'dan bulunabilir.)

Tablo 7.10 C_p 'nin zemin türüne göre ve kazık tipine bağlı değerleri [8]

Zemin Tipi	Çakma Kazık	Sondaj Kazığı
Kum (sıkıdan-gevşeye)	0,02-0,04	0,09-0,18
Kil (katıdan-yumuşaya)	0,02-0,03	0,03-0,06
Silt (Sıkıdan-yumuşaya)	0,03-0,05	0,09-0,12

Tablo 7.11.a D=30 cm için kazık ucu direncinin hesaplanması

L (m)	Toplam Oturma (m)	Kazık Ucu Yay Katsayısı (ton/m)	Kazık Ucu Direnci (ton)
5	0,0736002	28,3	2,08
6	0,0717891	28,3	2,03
7	0,069867	28,3	1,98
8	0,0679185	28,3	1,92
9	0,0660151	28,3	1,87
10	0,0642323	28,3	1,82
11	0,0626457	28,3	1,77
12	0,0621408	28,3	1,76

Tablo 7.11.b D=30 cm için S2 oturmasının hesaplanması

L (m)	D (m)	Zeminin Poisson Oranı	Kazığın Uç Direnci (ton)	I_{wp} Dağıtma Sayısı	Zeminin Elastisite Mod. E_s (ton/m²)	S2 Oturması (m)
5	0,3	0,3	2,08	0,85	1300	0,0003718
6	0,3	0,3	2,03	0,85	1300	0,0003626
7	0,3	0,3	1,98	0,85	1300	0,0003529
8	0,3	0,3	1,92	0,85	1300	0,0003431
9	0,3	0,3	1,87	0,85	1300	0,0003335
10	0,3	0,3	1,82	0,85	1300	0,0003245
11	0,3	0,3	1,77	0,85	1300	0,0003165
12	0,3	0,3	1,76	0,85	1300	0,0003139

Tablo 7.12.a D=40 cm için kazık ucu direncinin hesaplanması

L (m)	Toplam Oturma (m)	Kazık Ucu Yay Katsayısı (ton/m)	Kazık Ucu Direnci (ton)
5	0,071173	50,27	3,58
6	0,06885	50,27	3,46
7	0,066333	50,27	3,33
8	0,063881	50,27	3,21
9	0,061432	50,27	3,09
10	0,059147	50,27	2,97
11	0,057113	50,27	2,87
12	0,055443	50,27	2,79

Tablo 7.12.b D=40 cm için S2 oturmasının hesaplanması

L (m)	D (m)	Zeminin Poisson Oranı	Kazığın Uç Direnci (ton)	İwp Dağıtma Sayısı	Zeminin Elastisite Mod. E _s (ton/m ²)	S2 Oturması (m)
5	0,4	0,3	3,58	0,85	1300	0,0008515
6	0,4	0,3	3,46	0,85	1300	0,0008237
7	0,4	0,3	3,33	0,85	1300	0,0007936
8	0,4	0,3	3,21	0,85	1300	0,0007643
9	0,4	0,3	3,09	0,85	1300	0,000735
10	0,4	0,3	2,97	0,85	1300	0,0007077
11	0,4	0,3	2,87	0,85	1300	0,0006833
12	0,4	0,3	2,79	0,85	1300	0,0006633

Tablo 7.13.a D=50 cm için kazık ucu direncinin hesaplanması

L (m)	Toplam Oturma (m)	Kazık Ucu Yay Katsayısı (ton/m)	Kazık Ucu Direnci (ton)
5	0,0686618	78,54	5,39269777
6	0,0658773	78,54	5,17400314
7	0,062385	78,54	4,8997179
8	0,0599156	78,54	4,70577122
9	0,056892	78,54	4,46829768
10	0,0542421	78,54	4,26017453
11	0,0513251	78,54	4,03107335
12	0,0498384	78,54	3,91430794

Tablo 7.13.b D=50 cm için S2 oturmasının hesaplanması

L (m)	D (m)	Zeminin Poisson Oranı	Kazığın Uç Direnci (ton)	İwp Dağıtma Sayısı	Zeminin Elastisite Mod. E _s (ton/m2)	S2 Oturması (m)
5	0,5	0,3	5,3927	0,85	1300	0,00160433
6	0,5	0,3	5,1740	0,85	1300	0,00153927
7	0,5	0,3	4,8997	0,85	1300	0,00145767
8	0,5	0,3	4,7058	0,85	1300	0,00139997
9	0,5	0,3	4,4683	0,85	1300	0,00132932
10	0,5	0,3	4,2602	0,85	1300	0,0012674
11	0,5	0,3	4,0311	0,85	1300	0,00119924
12	0,5	0,3	3,9143	0,85	1300	0,00116451

7.5.3. S₃ Oturması ve Yük Dağılımının İncelenmesi

Kazığın çevre sürtünmesi ile aktardığı yük nedeni ile meydana gelen oturma aşağıdaki denklemler yardımı ile parametrik olarak hesaplanabilmektedir.[8]

$$S_3 = \left(\frac{Q_s}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{ws} \quad (7.12)$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (7.13)$$

$$S_3 = \frac{Q_s C_s}{L(q_p)_{ult}} \quad (7.14)$$

$$C_s = (0.93 + 0.16 \sqrt{L/D}) C_p \quad (7.15)$$

7.12, 7.13, 7.14, 7.15 ve 7.8 denklemleri ve analiz sonuçları kullanılarak S₃ değerleri ile buna bağlı mobilize olan kazık boyu hesaplanmış ve sonuçlar her bir kazık çapı için aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 7.14.a D=30 cm için S₃ oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (m)	S1 Oturması (m)	S2 Oturması (m)	S3 Oturması (m)	Kazığın Çevre Direnci Q _{ws} (ton)	C _s Katsayısı	Kazığın Uç Direnci (ton)	Hesaplanan Kazık Boyu (m)	Mobilize Olma Yüzdesi %
5	0,3	0,0592176	0,00013	0,000372	0,0587158	7,94	0,1899837	18,66	1,38	27,55
6	0,3	0,056094	0,000191	0,000363	0,0555404	11,44	0,197465	18,66	2,18	36,33
7	0,3	0,0532877	0,000267	0,000353	0,0526678	15,57	0,2043448	18,66	3,24	46,25
8	0,3	0,0505619	0,000355	0,000343	0,0498638	20,34	0,2107484	18,66	4,61	57,58
9	0,3	0,0480275	0,000455	0,000333	0,047239	25,74	0,2167627	18,66	6,33	70,33
10	0,3	0,0456613	0,000262	0,000324	0,0450748	31,99	0,2224513	18,66	8,46	84,62
11	0,3	0,0434355	0,000676	0,000316	0,042443	38,24	0,2278618	18,66	11,00	100,00
12	0,3	0,0413499	0,000755	0,000314	0,040281	44,96	0,2330315	18,66	12,00	100,00

Tablo 7.14.b D=40 cm için S₃ oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (m)	S1 Oturması (m)	S2 Oturması (m)	S3 Oturması (m)	Kazığın Çevre Direnci Q _{ws} (ton)	C _s Katsayısı	Kazığın Uç Direnci (ton)	Hesaplanan Kazık Boyu (m)	Mobilize Olma Yüzdesi %
5	0,4	0,0522777	0,000105	0,0008515	0,0513212	10,59	0,179482	44,240	0,84	16,75
6	0,4	0,048159	0,000151	0,0008237	0,0471843	15,25	0,185961	44,240	1,36	22,65
7	0,4	0,0446197	0,000207	0,0007936	0,0436191	20,76	0,191919	44,240	2,06	29,50
8	0,4	0,0410672	0,000273	0,0007643	0,0400299	27,12	0,197465	44,240	3,02	37,80
9	0,4	0,0378529	0,000347	0,0007350	0,0367709	34,32	0,202674	44,240	4,28	47,51
10	0,4	0,0348597	0,000426	0,0007077	0,033726	42,66	0,207600	44,240	5,94	59,36
11	0,4	0,031915	0,000508	0,0006833	0,0307237	50,98	0,212286	44,240	7,96	72,39
12	0,4	0,0292052	0,00059	0,0006633	0,0279519	59,95	0,216763	44,240	10,51	87,58

Tablo 7.14.c D=50 cm için S₃ oturmasının ve mobilize olan kazık boyunun hesaplanması

L (m)	D (m)	Toplam Oturma (m)	S1 Oturması (m)	S2 Oturması (m)	S3 Oturması (m)	Kazığın Çevre Direnci Q _{ws} (ton)	C _s Katsayısı	Kazığın Uç Direnci (ton)	Hesaplanan Kazık Boyu (m)	Mobilize Olma Yüzdesi %
5	0,5	0,0454837	0,000090	0,001604328	0,04378937	13,24	0,1723157	77,75	0,67	13,40
6	0,5	0,0404881	0,000127	0,001539266	0,03882183	19,07	0,1781108	77,75	1,13	18,75
7	0,5	0,0362235	0,000171	0,001457666	0,03459483	25,95	0,1834398	77,75	1,77	25,28
8	0,5	0,0319324	0,000223	0,001399967	0,03030943	33,90	0,1884000	77,75	2,71	33,87
9	0,5	0,0280408	0,000280	0,001329319	0,02643148	42,90	0,1930587	77,75	4,03	44,78
10	0,5	0,0244377	0,000342	0,001267402	0,0228283	53,32	0,1974650	77,75	5,93	59,33
11	0,5	0,020942	0,000406	0,001199244	0,01933676	63,73	0,2016560	77,75	8,55	77,71
12	0,5	0,017667	0,000469	0,001164507	0,01603349	74,94	0,2056604	77,75	12,00	100,00

Tablo 7.14.a, 7.14.b ve 7.14.c’de elde edilen mobilize olmuş kazık boyu değerlerini kullanarak kazık yüzey sürtünmesinin ne kadarının devreye girdiğini ve yeni yük dağılımı için aşağıdaki tablolarda hesaplamalar yapılmış ve sonuçları verilmiştir:

Tablo 7.15.a D=30 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı

L (m)	D (m)	Yüklemesi (ton)	Zati Ağırlık (ton)	Toplam Yük (ton)	Kazık Yüzeyi Sürtünme Direnci (ton)	Mobilize Olan Kazık Boyu (m)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)
5	0,3	104,17	7,907	112,08	7,94	1,26	2,00	2,08	108,00
6	0,3	104,17	8,083	112,25	11,44	2,04	3,89	2,03	106,34
7	0,3	104,17	8,26	112,43	15,57	3,10	6,89	1,98	103,56
8	0,3	104,17	8,437	112,61	20,34	4,54	11,53	1,92	99,16
9	0,3	104,17	8,613	112,78	25,74	6,41	18,34	1,87	92,57
10	0,3	104,17	8,79	112,96	31,99	8,90	28,49	1,82	82,66
11	0,3	104,17	8,967	113,14	38,24	11,00	38,24	1,77	73,13
12	0,3	104,17	9,144	113,31	44,96	12,00	44,96	1,76	66,59

Tablo 7.15.b D=30 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılım yüzdesi

L (m)	Toplam Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi %	Kazık Uç Direnci %	Radye Tarafından Alınan Yük %
5	112,077	2,00	2,08	108,00	1,78	1,86	96,36
6	112,253	3,89	2,03	106,34	3,46	1,81	94,73
7	112,43	6,89	1,98	103,56	6,13	1,76	92,11
8	112,607	11,53	1,92	99,16	10,24	1,71	88,05
9	112,783	18,34	1,87	92,57	16,26	1,66	82,08
10	112,96	28,49	1,82	82,66	25,22	1,61	73,17
11	113,137	38,24	1,77	73,13	33,80	1,57	64,64
12	113,314	44,96	1,76	66,59	39,68	1,55	58,77

Tablo 7.16.a D=40 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı

L (m)	D (m)	Yüklemesi (ton)	Zati Ağırlık (ton)	Toplam Yük (ton)	Kazık Yüzeyi Sürtünme Direnci (ton)	Mobilize Olan Kazık Boyu (m)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)
5	0,4	104,17	8,594	112,76	10,59	0,84	1,77	3,58	107,41
6	0,4	104,17	8,908	113,08	15,25	1,36	3,45	3,46	106,16
7	0,4	104,17	9,222	113,39	20,76	2,06	6,12	3,33	103,93
8	0,4	104,17	9,536	113,71	27,12	3,02	10,25	3,21	100,25
9	0,4	104,17	9,85	114,02	34,32	4,28	16,30	3,09	94,63
10	0,4	104,17	10,165	114,34	42,66	5,94	25,32	2,97	86,04
11	0,4	104,17	10,479	114,65	50,98	7,96	36,91	2,87	74,87
12	0,4	104,17	10,793	114,96	59,95	10,51	52,50	2,79	59,67

Tablo 7.16.b D=40 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılım yüzdesi

L (m)	Toplam Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi %	Kazık Uç Direnci %	Radye Tarafından Alınan Yük %
5	112,764	1,77	3,578	107,41	1,57	3,17	95,25
6	113,078	3,45	3,461	106,16	3,05	3,06	93,88
7	113,392	6,12	3,335	103,93	5,40	2,94	91,66
8	113,706	10,25	3,211	100,25	9,01	2,82	88,16
9	114,02	16,30	3,088	94,63	14,30	2,71	82,99
10	114,335	25,32	2,973	86,04	22,15	2,60	75,25
11	114,649	36,91	2,871	74,87	32,19	2,50	65,31
12	114,963	52,50	2,787	59,67	45,67	2,42	51,91

Tablo 7.17.a D=50 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılımı

L (m)	D (m)	Yüklemesi (ton)	Zati Ağırlık (ton)	Toplam Yük (ton)	Kazık Yüzeyi Sürtünme Direnci (ton)	Mobilize Olan Kazık Boyu (m)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)
5	0,5	104,17	9,477	113,65	13,24	0,67	1,77	5,39	106,48
6	0,5	104,17	9,968	114,14	19,07	1,13	3,58	5,17	105,39
7	0,5	104,17	10,459	114,63	25,95	1,77	6,56	4,90	103,17
8	0,5	104,17	10,95	115,12	33,90	2,71	11,48	4,71	98,93
9	0,5	104,17	11,441	115,61	42,90	4,03	19,21	4,47	91,93
10	0,5	104,17	11,932	116,10	53,32	5,93	31,63	4,26	80,21
11	0,5	104,17	12,423	116,59	63,73	8,55	49,52	4,03	63,04
12	0,5	104,17	12,913	117,08	74,94	12,00	74,94	3,91	38,23

Tablo 7.16.b D=40 cm kazıklı radye için mobilize olan kazık sürtünme kuvvetine göre yük dağılım yüzdesi

L (m)	Toplam Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi (ton)	Kazık Uç Direnci (ton)	Radye Tarafından Alınan Yük (ton)	Yüzey Sürtünmesi %	Kazık Uç Direnci %	Radye Tarafından Alınan Yük %
5	113,65	1,77	5,39	106,48	1,56	4,75	93,69
6	114,14	3,58	5,17	105,39	3,13	4,53	92,33
7	114,63	6,56	4,90	103,17	5,72	4,27	90,00
8	115,12	11,48	4,71	98,93	9,97	4,09	85,94
9	115,61	19,21	4,47	91,93	16,62	3,86	79,52
10	116,10	31,63	4,26	80,21	27,25	3,67	69,08
11	116,59	49,52	4,03	63,04	42,47	3,46	54,07
12	117,08	74,94	3,91	38,23	64,01	3,34	32,65

Yukarıdaki tablolar verilen sonuçların grafikler ile ifade edilmiş şekil sırası ile Şekil A.7, Şekil A.8 ve Şekil A.9 olarak Ek-A'da verilmiştir.

7.6 Analiz Sonuçları İle Amprik Denklemlerle Bulunan Sonuçların Karşılaştırılması

7.4 ve 7.5 başlıkları ile verilen sonuçların birbirleri ile karşılaştırması yapılmış ve her iki yol ile bulunan sonuçların arasındaki korelasyon tespit edilmiştir. Aşağıdaki tablolarda bu karşılaştırma ve korelasyonlara ilişkin sonuçlar verilmiştir:

Tablo 7.18.a D=30 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması

L (m)	D (m)	ANALİZ SONUÇLARI-YÜK DAĞILIMI			AMPİRİK DENKLEM-YÜK DAĞILIMI		
		I Kazık Uç Direnci (%)	II Kazığın Çevre Direnci (%)	III Radye Tarafından Alınan Yük (%)	I A Kazık Uç Direnci (%)	II A Kazığın Çevre Direnci (%)	III A Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,3	1,86	7,09	102,05	1,86	1,78	96,36
6	0,3	1,81	10,19	98,78	1,81	3,46	94,73
7	0,3	1,76	13,85	94,88	1,76	6,13	92,11
8	0,3	1,71	18,06	90,35	1,71	10,24	88,05
9	0,3	1,66	22,82	85,18	1,66	16,26	82,08
10	0,3	1,61	28,32	79,15	1,61	25,22	73,17
11	0,3	1,57	33,80	73,13	1,57	33,80	64,64
12	0,3	1,55	39,68	66,59	1,55	39,68	58,77
I-IIA KORELASYONU		1,00000					
II-IIA KORELASYONU			0,99196				
III-IIIA KORELASYONU				0,99247			

Tablo 7.18.b D=40 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması

L (m)	D (m)	ANALİZ SONUÇLARI-YÜK DAĞILIMI			AMPİRİK DENKLEM-YÜK DAĞILIMI		
		I Kazık Uç Direnci (%)	II Kazığın Çevre Direnci (%)	III Radye Tarafından Alınan Yük (%)	I A Kazık Uç Direnci (%)	II A Kazığın Çevre Direnci (%)	III A Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,4	3,17	9,39	87,43	3,17	1,57	95,25
6	0,4	3,06	13,49	83,45	3,06	3,05	93,88
7	0,4	2,94	18,31	78,75	2,94	5,40	91,66
8	0,4	2,82	23,85	73,33	2,82	9,01	88,16
9	0,4	2,71	30,10	67,19	2,71	14,30	82,99
10	0,4	2,60	37,31	60,09	2,60	22,15	75,25
11	0,4	2,50	44,47	53,03	2,50	32,19	65,31
12	0,4	2,42	52,15	45,43	2,42	45,67	51,91
I-IIA KORELASYONU		1,00000					
II-IIA KORELASYONU			0,97531				
III-IIIA KORELASYONU				0,97450			

Tablo 7.18.c D=50 cm kazık için sonuçların karşılaştırılması

L (m)	D (m)	ANALİZ SONUÇLARI-YÜK DAĞILIMI			AMPİRİK DENKLEM-YÜK DAĞILIMI		
		I Kazık Uç Direnci (%)	II Kazığın Çevre Direnci (%)	III Radye Tarafından Alınan Yük (%)	I A Kazık Uç Direnci (%)	II A Kazığın Çevre Direnci (%)	III A Radye Tarafından Alınan Yük (%)
5	0,5	4,75	11,65	83,60	4,75	1,56	93,69
6	0,5	4,53	16,70	78,76	4,53	3,13	92,33
7	0,5	4,27	22,64	73,09	4,27	5,72	90,00
8	0,5	4,09	29,44	66,47	4,09	9,97	85,94
9	0,5	3,86	37,11	59,03	3,86	16,62	79,52
10	0,5	3,67	45,93	50,40	3,67	27,25	69,08
11	0,5	3,46	54,66	41,88	3,46	42,47	54,07
12	0,5	3,34	64,01	32,65	3,34	64,01	32,65
I-IIA KORELASYONU		1,00000					
II-IIA KORELASYONU			0,95999				
III-IIIA KORELASYONU				0,95841			

Yukarıdaki tablolarda verilen sonuçlarının grafik ile gösterimi sırası ile Şekil A.10, Şekil A.11 ve Şekil A.12 olarak Ek-A'da verilmiştir.

7.7 Bölümün Değerlendirmesi

ETABS sonlu elemanlar programı ile yapılan analiz ve yapılan hesaplar sonucu kumlu zeminlerdeki tek kazıklı radye için aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

Kumlu zeminde imal edilen kazıklar uç direncinden çok kazık çevresinde oluşan sürtünme kuvveti ile yük aktarımı yapmaktadırlar.

Kazık çapı, radye kalınlığı ve radye çapı sabit tutulurken kazık boyunda meydana gelen artış ile toplam oturmada azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kazık ile radye arasındaki yük paylaşımının, artan kazık boyu ile (kazık çevre sürtünmesinin katkısı) kazık lehine arttığı tespit edilmiştir.

Kumlu zeminlere oturan kazıklı radyelerde sağlam zemin ya da kayaya soketli kazıklardan farklı olarak yüzey sürtünmesinin daha fazla etkili olduğu tespit edilmiştir. Kazık yüzeyindeki sürtünme direnci, kazığın mobilize olma düzeyine bağlı olarak gelişen aktif bir mekanizmaya sahiptir. Şöyle ki, yapılan modelde kazık yüzeyindeki sürtünme direncinin tamamının mobilize olduğu kabul edilerek analiz yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen oturma değerleri kullanılarak literatürdeki ampirik denklemler yardımı ile mobilize olan kazık boyu hesaplanmış ve hesaplanan

kazık boyunun genel olarak gerçek kazık boyundan küçük olduğu belirlenmiştir. Buradan da kazık yüzey sürtünmesi direncinin kazık oturma yaptıkça artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

Kazık ve radye birbirine rijit olarak bağlı elemanlar olduğu için ve yüzey sürtünmesi de kazıklı radyenin yaptığı oturmanın belirli bir düzeye erişmesi ile birlikte devreye girdiği için doğal olarak radye ile zemin arasındaki gerilmelerde de değişimler olmaktadır. Modelimizde radyenin altına yerleştirilen yaylar ve bu yaylarda oluşan reaksiyonlardaki değişim bu sonucu göstermiştir.

Kazıklı radye sisteminde artan kazık boyu ile birlikte toplam oturma değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Azalan toplam oturma değerine karşılık kazıklı radyede kazığın taşıdığı yük yüzdesinde artış gözlenmiştir.

Kazık ile radye arasındaki yük paylaşımı için analiz sonucu ile elde edilen yüzdeler ile amprik denklemlerden elde edilen yüzdeler karşılaştırıldığında ve aralarındaki korelasyon katsayısı hesaplandığında 0.958 ile 1.000 arasında değişen değerler elde edilmiştir. Bu da bize yapılan modelin belirli bir düzeye kadar doğru sonuçlar verdiğini göstermektedir.

8 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz için çok yeni bir konu olan kazıklı radye temellerin optimum olarak tasarlanabilmesi için nelere dikkat edilmeli sorusuna cevap aramak üzere hazırlanan bu tez çalışması ile daha sonra yapılacak daha detaylı çalışmalar için altyapı oluşturulmuştur. Kazıklı radye temeller dünya içinde, birçok ülkede uygulanan ve üzerinde akademik çalışmaların devam ettiği güncel bir konudur. Bu konuda incelenen literatür ağırlıklı olarak makaleler olmuştur. Bunun dışında klasik kazık hesap yöntemlerini içeren yeni baskı kitaplar da incelenmiştir.

Tüm incelenen kaynaklar ve yapılan basit modelleme çalışması neticesinde şu sonuçlara varılmıştır:

- a) Hangi zeminde imal edilecek olursa olsun üzerine radyelerin oturtulduğu kazıkların en az yapının ömrü kadar sürede tasarımı yapılırken hesaplanan taşıma kapasitesi ve toplam oturma sınırında hizmet vermesi gerekir. Tasarım yapılırken mekanik modelin oluşturulması ve analizin yapılmasında bir çok bilgisayar programı kullanabiliriz. Ancak zemin özelliklerinin tespitinde gelişen teknolojiye rağmen insan faktörü hala etkinliğini sürdürmektedir. Bu nedenle tasarlanan ne olursa olsun zemine ait parametrelerin belirlenmesi tasarımın optimum olmasını sağlayacak en önemli kriterdir.
- b) Zemin parametreleri belirlenip zemin modellendikten sonra, önümüze çıkan zemin özelliklerine, üst yapımızın yapısal özelliklerine ve yapımızın bulunduğu alanın durumu (şehiriçi, şehirdışı, komşu yapıların durumu v.b) dikkate alınarak amaca uygun kazık tipinin seçimi de önemli kriterlerden biridir.
- c) Kazıklı radyenin tasarımına başlarken önümüzde çok geniş bir seçim alanı mevcuttur. Bu alan zemin parametrelerinin belirlenmesi ve yapımızın bulunduğu alana, komşu yapıların özelliklerine ve üst yapımızın özelliklerine göre daralır ve daha az seçenek arasından optimum olanını seçimi aşamasına geçilir. Bu noktada,

analiz yöntemleri, kullanılacak bilgisayar programının performansı ve en önemlisi tasarımı yapacak geoteknik mühendisinin deneyimi devreye girmektedir.

Bundan sonraki aşamalar için çeşitli zemin grupları için farklı sonuçlardan bahsetmek gerekir:

- d) Kumlu zeminlerde imal edilecek kazıklı radyelerde kazık ve radye benzer zemin koşullarında hareket eden birleşik bir sistemdir ve değişen kazık-zemin arasındaki yüzey sürtünmesi değerlerine göre değişen yük paylaşımı söz konusudur. Bununla birlikte kumlu zeminin değişen yeraltı suyu seviyesi ve ani gelen dinamik etkilere göre göstereceği mekanizma dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Kumlu zeminlerde kazık çevresinde oluşan sürtünme direnci yukarıda belirtilen etkilerle farklı bir mekanizmaya geçerek daha düşük değerler verebilir. Bu durumda taşıma gücü farklı ve toplam oturma değeri artan başka bir kazık gibi davranır.
- e) Sağlam zemine ya da kayaya oturan uç kazıklarında yine kazık ve radye birleşik bir sistemdir. Bu tür kazıklı radyelerde, kazık bir kolon gibi davranarak üzerine gelen yükü sağlam kayaya ya da zemine aktaracaktır. Böyle bir kazık ve radye modellenirken kazığın ve radyenin rijitliği önem kazanmaktadır. Kazıklı radyenin yapacağı oturmada kazıkta meydana gelen boy kısalması ve uç direnci ile oluşan oturma etkili olacaktır. Genel olarak kazık sağlam kayada oturma yapmayacağı için yüzey sürtünmesi ihmal edilecek boyutlardadır. Bu tür kazıklar sürtünme kazıklarına göre daha güvenilirdir, çünkü çevre sürtünmesi gibi çeşitli koşullara göre değişen bir parametresi yoktur. Ancak böyle bir kazığın tasarlanmasındaki handikap, sağlam kaya tabakasının durumudur. Sağlam kaya tabakamız derinlere inildikçe devam eden bir tabaka ise sorun olmayacaktır ancak sağlam tabaka ince bir tabaka ve daha derinlerde kil veya kumlu zemin varsa tasarlanan kazıktan beklediğimiz performansı alamayabiliriz. Ayrıca kaya tabakası mostra veren bir derinlik kayası olabilir ve arazinin her noktasında aynı derinlikte olmayabilir. Bu durum soket boyunun belirlenmesi üzerinde etkili olacaktır. Bu gibi durumlarla karşılaşmamak için zemin etüdü sırasında sondaj derinliğini ve sondajlar arası uzaklığı çok iyi belirlemeliyiz.
- f) Killi zeminlerde imal edilecek kazıklar da, killi zeminin yapacağı ani oturma, konsolidasyon oturması ve şişme olayı kazık-radye-zemin etkileşimini etkileyen

önemli faktörler olmaktadır. Bu durumda da kil zeminin yeraltısuyunun değişen seviyelerine göre ve zaman içerisinde ne tür bir davranış göstereceğinin çok iyi tahlil edilmesi gerekir.

Tez kapsamında incelenen literatürde verilen görüşler dikkate alındığında bir kazıklı radye sistemin optimum olarak tasarlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken genel koşullar şöyle sıralabilir:

- g) Kazıklı radyeler tasarlanırken birbirinden bağımsız radye ve kazık hesabı yapıp kombinasyonunu düşünmek yerine kazıklı radyeyi bir bütün olarak kabul edip komple bir model yapmak daha doğru olacaktır. Böylelikle bu sistemin elemanlarının zemin ile ilişkisi ile oluşan koşullara göre diğer üyenin göstereceği davranış kontrol altında tutulmuş olacaktır.
- h) Bazı araştırmacıların yaptığı çalışmalar, kazıklı radyelerin tasarımında kazık sayısının artırılmasının her zaman en iyi performansı sağlamadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu araştırmacılar, radye temel altına konulacak kazık sayısı için bir üst sınırın olduğunu ve bu üst sınırdan sonra konulacak ilave kazıkların farklı oturmalar ve toplam oturmalar açısından çok az etkisi olacağını ileri sürmektedirler. Bu durum optimum tasarım açısından ele alındığında kazık sayısı için yakalanacak optimum sayı, kazıklı radyenin daha ekonomik olarak imal edilmesini sağlayacaktır.
- i) Bazı durumlarda, farklı oturmaların kontrol altına alınabilmesi için çok sayıda kazığın imalatı yerine, radye kalınlığında yapılacak artış ile birlikte kazıkların radye temel altına en doğru şekilde yerleştirilmesinin daha ekonomik sonuçlar vereceği ileri sürülmektedir. Farklı oturmaların makul sınırlarda tutulabilmesi için, kazıkların radye alanının %16-25'ini kaplayacak şekilde merkeze yakın yerleştirilmesinin olumlu sonuçlar vereceği parametrik çalışmalar ile ortaya konulmuştur.
- j) Kazıklı radye tasarımında kullanılacak güvenlik sayısının belirlenmesi de optimum tasarım açısından oldukça önemlidir. Güvenlik sayısının büyük alınarak, farklı oturmalar, toplam oturmalar ve maksimum eğilme momentleri açısından çok fazla güvenli tarafta kalmak, maliyet açısından oldukça olumsuz sonuçlar doğurabilir. Son dönemde yapılan bazı araştırmalar da güvenlik sayısının çevre

sürtünmesi ve uç direnci için farklı değerler alınabileceği sonucunu ortaya koymuştur.

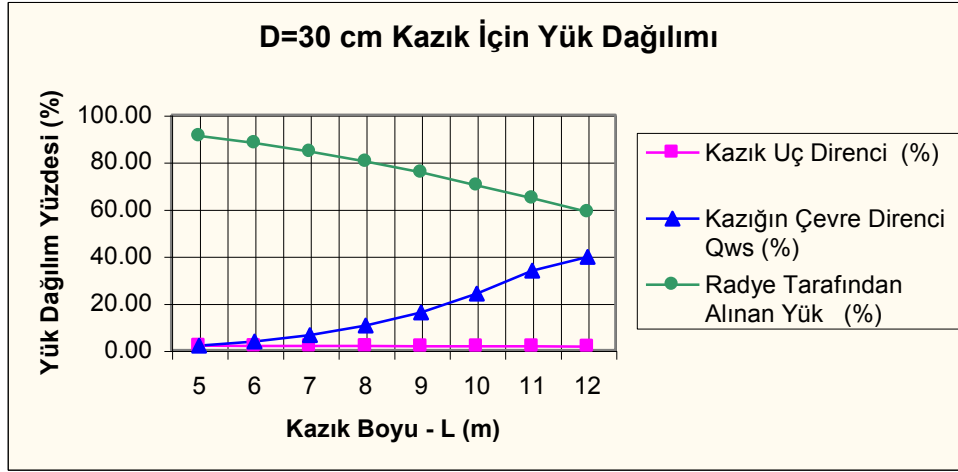
- k) Kazıklı radye tasarımında tercih edilen kazık türü de çok önemli bir parametredir. Şayet kazığın imalatı sırasında çevrede meydana getireceği olumsuz etkilerin (titreşim, gürültü v.b.) önemsiz olduğu, çevresi boş bir alanda imalat yapılacak ise kazık türü seçimi, kazıklı radyenin tasarımında ekonomiklik açısından çok önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Yerleşim birimlerinde imal edilecek kazıklı radye temellerde ise kazık imalatının çevreye olan etkileri üzerine hassas bir inceleme yapmak gerekmektedir. Bu inceleme çevre binaların yapısal durumları, hizmet sınıfları (metro, hastane, iş merkezi, okul konut, alt yapı, doğal gaz boru hattı v.b) ve zemine ait özellikleri kapsamalıdır.
- l) Kazıklı radyeler ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğu hesaplarda kolaylık ve sadelik sağlanabilmesi için homojen zemin üzerinde yapılmaktadır. Ancak gerçekte bu tür zeminler üzerinde inşaat yapmak her zaman mümkün olmamaktadır. Kazıklı radyelerin optimum olarak tasarlanabilmesi için de zemin profilinin gerçeğe yakın alınması oldukça etkili olacaktır. Çünkü optimum tasarım , inşa edilecek radyenin mühendislik açısından güvenli ve mühendislik disiplininin önemli bir uğraş alanı olan ekonomi açısından da ekonomik olmasını gerektirir.
- m)Kazıklı radye tasarımında kazık yükleme deneyleri de çok önemlidir. Tasarım aşamasında, yapının inşa edileceği alanda yapılacak kazık yükleme deneylerinden elde edilecek gerçek oturma ve kazık kapasitesi değerlerinin, doğru denklemler de yerine konularak zemine ait parametrelerin gerçeğe en yakın şekilde bulunması da optimum tasarım açısından oldukça önemlidir. Bu durum tasarımcının geoteknik mühendisliğinin laboratuvar ve arazi deneyleri konusuna hakim olması gereğini bir kez daha ortaya koymaktadır.
- n) Kazıklı radyelerin optimum olarak tasarlanabilmesi ülkenin inşaat teknolojisindeki gelişmişliği ve imalatçının elindeki makine parkındaki ekipman türü ile de çok ilgilidir. Seçilen kazık tipinin ülke koşullarında imal edilebilmesi veya dışarıdan getirilecek yeni ekipman maliyetinin karşılanabilir sınırlarda olması gerekir. Son olarak, yerel koşulların genel olarak zemin yapılarının

optimum olarak tasarlanabilmesi üzerindeki etkinliğinden bahsedilebilir: Ülkemizde yapılan çeşitli zemin yapılarında kullanılan kazık tipi ve kazık boyutları dikkate alındığında; kazık çapında ve kazık tipinde çok geniş bir seçim alanı olmadığı görülmektedir. Bu durum, tasarımcı mühendisi daha da sınırlı bir alanda çalışmaya zorlamakta ve projelerin optimum olarak hazırlanmasını zorlaştırmaktadır. İlgili resmi ve özel kuruluşların katkısı ile geoteknik mühendisleri, jeoloji ve jeofizik mühendisleri ve makine mühendisleri ile ilgili diğer disiplinlerin yapacağı ortak bir çalışma, ülkemizdeki hakim zemin koşullarına uygun kazık imalat ekipmanlarının en doğru şekilde belirlenmesini sağlayabilir. Yapılacak yasal düzenlemeler ile bu tür yapıların imalatçıların, belirlenen son teknoloji ekipmanları edinmeleri cazip hale getirilecek olursa uzun vade de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlanabilir.

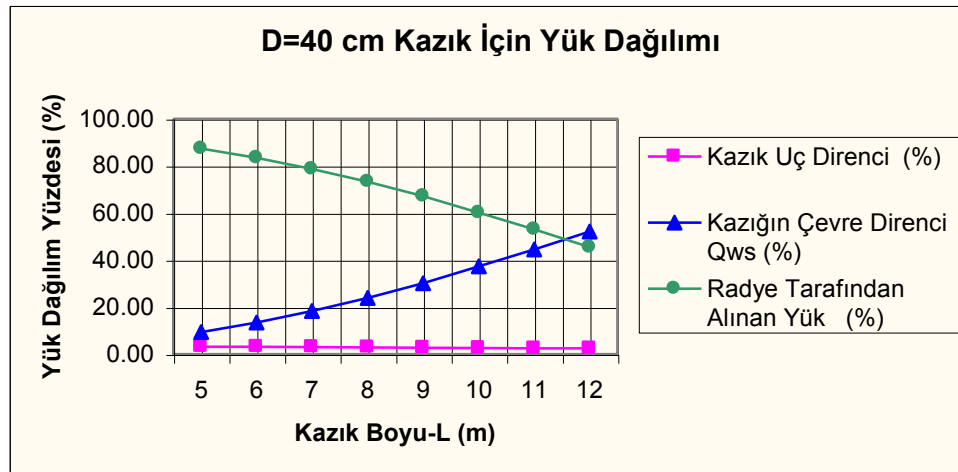
KAYNAKLAR

- [1] **Banerjee, P.K.** ,1969. A contribution to the study of axially loaded pile foundations, PhD thesis, University of Southampton.
- [2] **Birand, A. Atalay**, 2001. Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, Ankara.
- [3] **Bowles, J.E.**, 1988. Foundation Analysis and Design, Mc Graw Hill, International Edition.
- [4] **Carsten, A.**, Souhow, D., Konig, G., 1988. Reliability aspects of design of combined piled raft foundations (CPRF), 2 nd International Symposium in Civil Engineering, Budapest.
- [5] **Clancy, P., Randolph, M.F.**, 1993. An approximate analysis procedure for piled raft foundations, International J. Num.&Analyse Methods in Geomechanic (U.K.), Vol.17, No:2, 848-870.
- [6] **Coduto, D.P.**, 2001. Foundation Design Principles and Practice.
- [7] **Curtin, W.G., Shaw, G., Parkinson, G.L., Golding, J.M.**, 1994. Structural Foundation Designer's Manual, Blackwel Science, Curtins Consulting Engineers.
- [8] **Das, Braja, M.**, Principles of Foundation Engineering, Southern Illinois University at Carbondan.
- [9] **Horikoshi, K., Randolph, M.F.**, A contribution to optimum design of piled rafts, Geotechnique, 48, No:3, 301-317.
- [10] **Okay, Gökdal**, 1995. İngilizce-Türkçe İnşaat Mühendisliği Terimleri Sözlüğü, Saypa Yayın Dağıtım ve Kitabevi, Ankara.
- [11] **Özkan, M.T., Sağlamer, A.**, 1995. Kazıklı Temeller, Dünya İnşaat, 131/7, 34-40.
- [12] **Öztoprak, S., Özkan, M.T.**, 1998. Kazıklı temellerde radye ile kazıklar arasındaki yük paylaşımının incelenmesi, ZMTM 7. Ulusal Kongresi, Y.T.Ü, İstanbul.
- [13] **Peck, R.B., Hanson, W.E.**, Thornburn, T.H., Foundation Engineering, Wiley Intenational Edition.
- [15] **Poulos, H.G., Davis, E.H.**,1980. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, NewYork
- [16] **Poulos, H.G.**, 2001, Piled Raft Foundation: design and applications, Geotechnique, Volume 51, No. 2, 95-113.

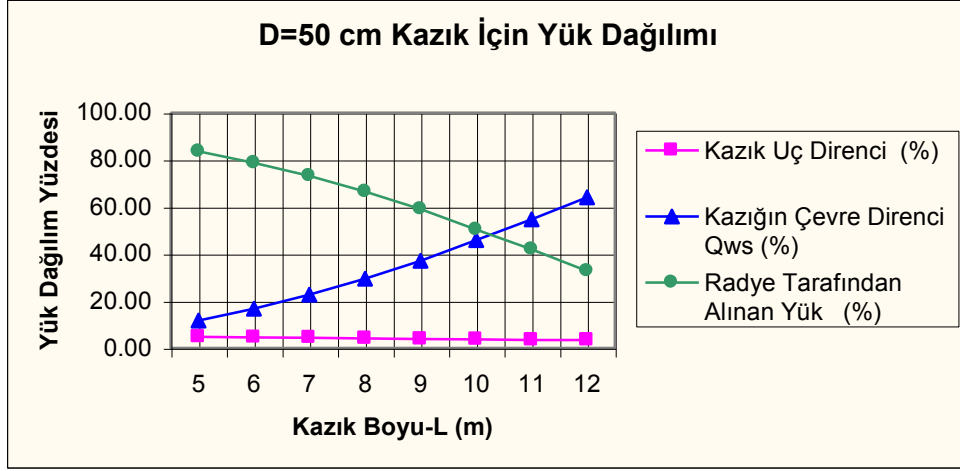
- [17] **Poulos, H.G.**,1993a. Settlement prediction strip foundations on bored and auger piles. Ghent. A.A. Balkema, Rotterdam,1, 191-193.
- [18] **Randolph, M.G.**, 1983. Design of Piled Raft Foundations, CUED/D soils TR 143, Cambridge University.
- [19] **Rove, R. Kerry**, 2000. Geotechnical and Geoenviromental Engineering Handbook, Kluwer Academic Publishers Group, Netherlands.
- [20] **Saran Suvami**, 1996. Analysis and Design of Substructures Limit State Design, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- [21] **TA, L.D., Small, J.C.**, 1998. Analysis and performance of piled raft foundation on layered soils- case studies, soil and foundations, Vol. 38, No:4, 145-150.
- [22] **Toğrol, E.**, 1970. Kazıklı Temeller, Temel Araştırma A.Ş. Yayınları, No:1, İstanbul.
- [23] **Tomlinson, M.J.**, 1994. Pile Design and Construction Practice, Fourth Edition, E&Fn Spon.
- [24] **Yıldırım, S., Özaydın, K.**, 1994. Derin Temeller, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, 5. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, pp. 684-759.
- [25] **Yıldırım, S.**, 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı,Birsen Yayınevi, İstanbul
- [26] **Wong, K.S., TEH, C.I.**, 1995, Negative Skin Friction on Piles in Layered Soil Deposits, Journal of Geotechnical Eng., Vol.121, No.6, pp. 457-464.
- [27] **Zhang, Small, Poulos, H.G.**, 2001. Methods of Analysis Of Piled Raft Foundations, Coffey Geosciences Pty. Ltd &The University of Sydney, Australia



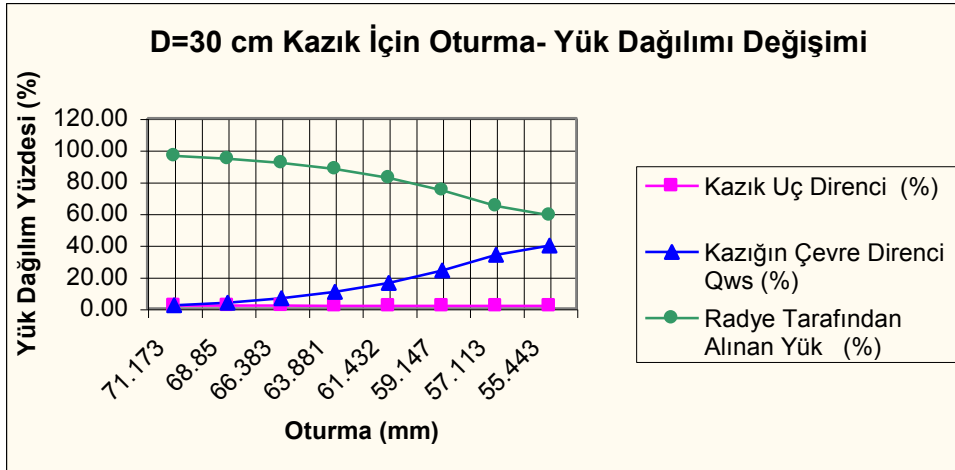
Şekil A.1 Analiz sonuçlarına göre D=30 cm kazık için yük dağılımı



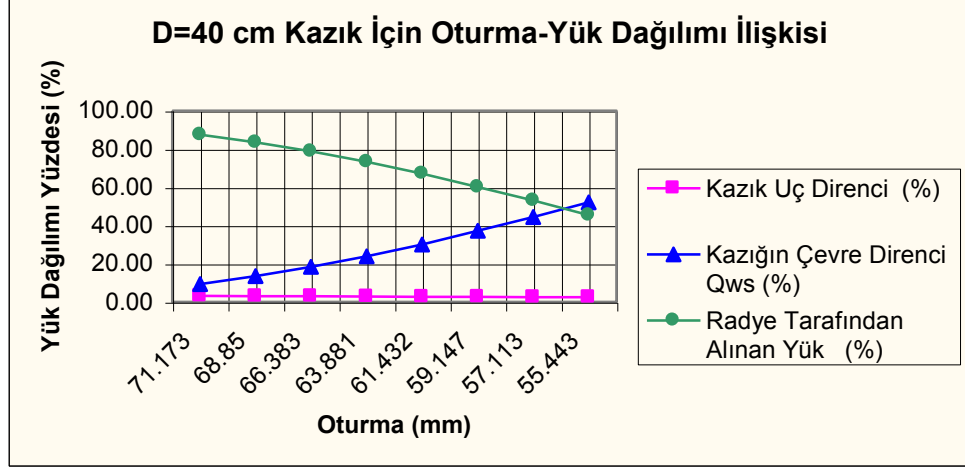
Şekil A.2 Analiz sonuçlarına göre D=40 cm kazık için yük dağılımı



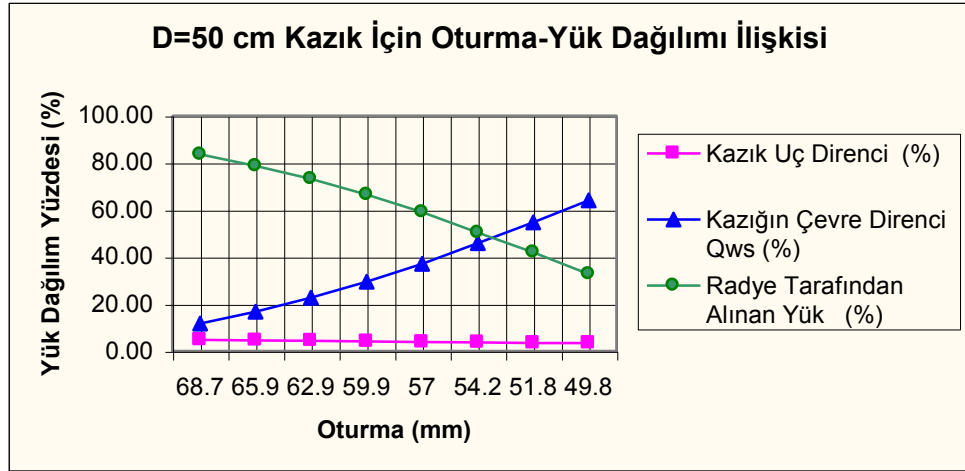
Şekil A.3 Analiz sonuçlarına göre D=50 cm kazık için yük dağılımı



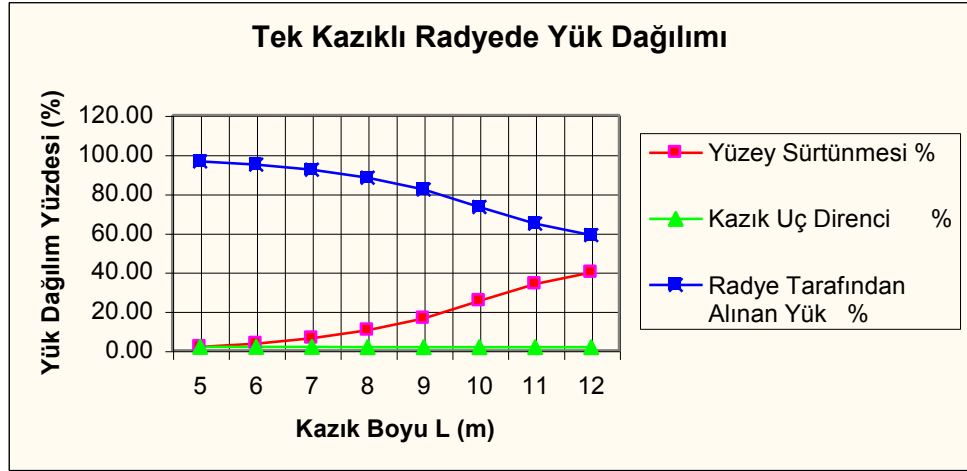
Şekil A.4 Analiz sonuçlarına göre D=30 cm kazık için oturma-yük dağılımı ilişkisi



Şekil A.5 Analiz sonuçlarına göre D=40 cm kazık için oturma-yük dağılımı ilişkisi

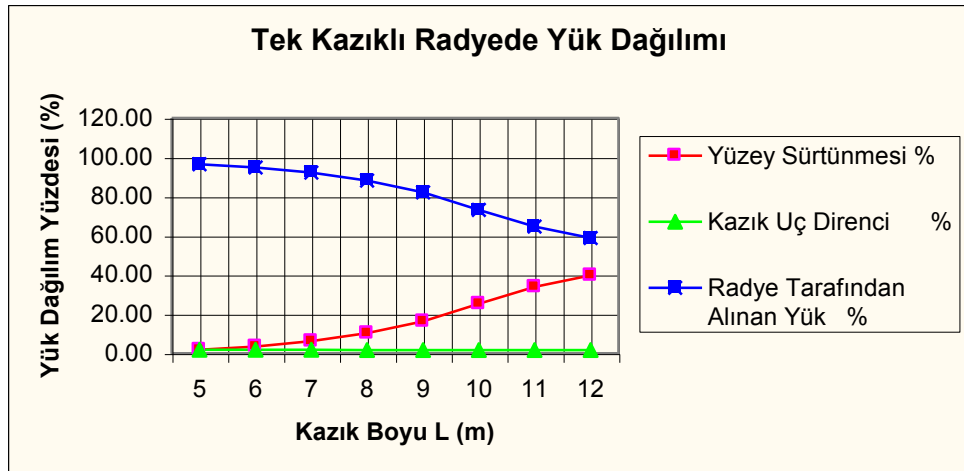


Şekil A.6 Analiz sonuçlarına göre D=50 cm kazık için oturma-yük dağılımı ilişkisi

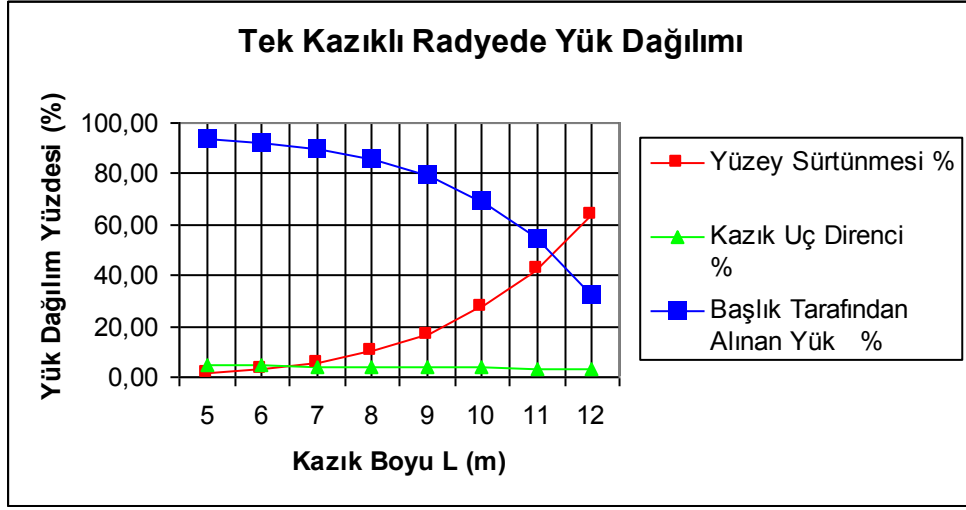


Şekil A.7 Amprik denklemlere göre D=30 cm kazık için kazık boyu-yük dağılımı değişimi

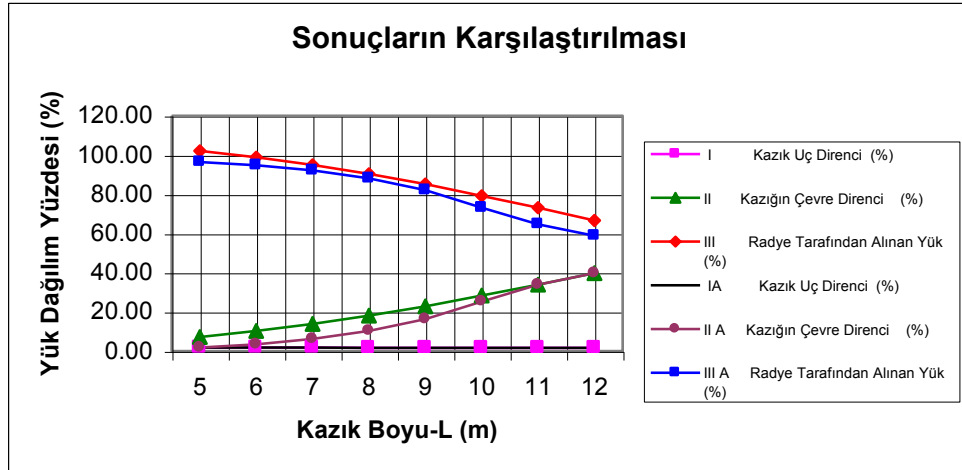
Şekil A.8 Amprik denklemlere göre D=40 cm kazık için kazık boyu-yük dağılımı



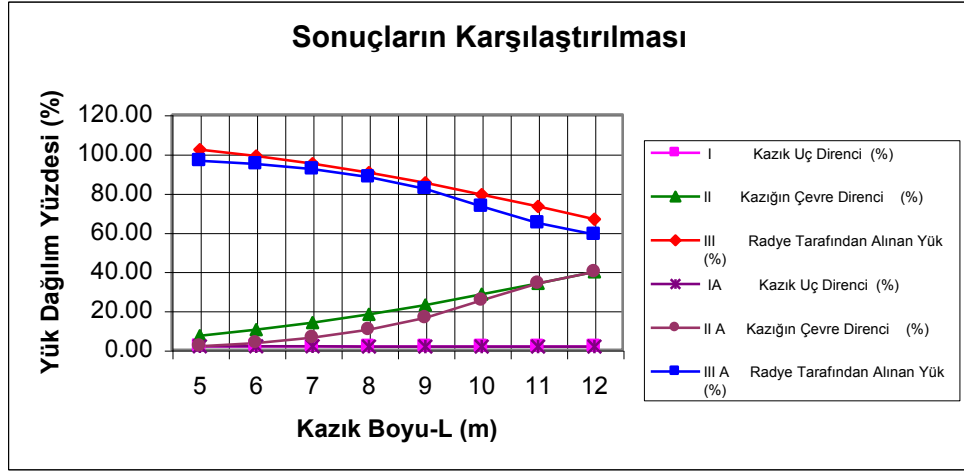
değişimi



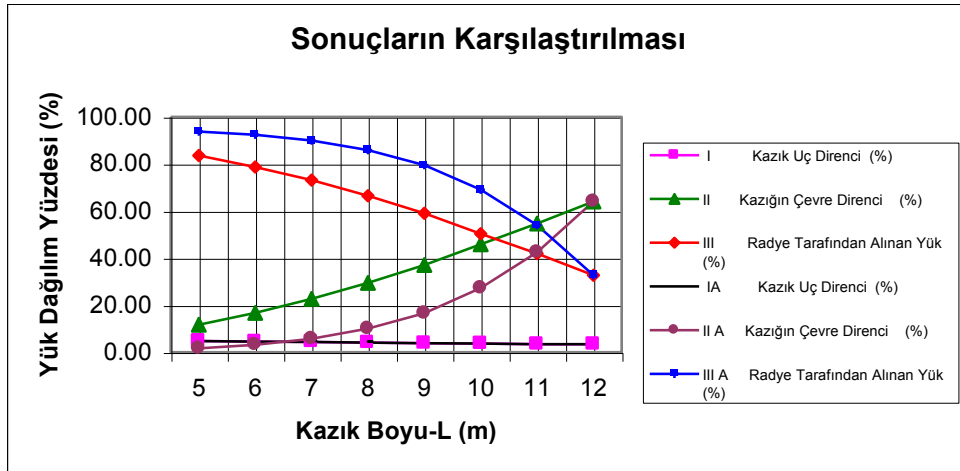
Şekil A.9 Amprik denklemlere göre $D=50$ cm kazık için kazık boyu-yük dağılımı değişimi



Şekil A.10 Analiz yoluyla ve amprik denklemler ile bulunan yük dağılımı sonuçlarının karşılaştırılması ($D=30$ cm)



Şekil A.11 Analiz yoluyla ve ampirik denklemler ile bulunan yük dağılımı sonuçlarının karşılaştırılması (D=40 cm)



Şekil A.12 Analiz yoluyla ve ampirik denklemler ile bulunan yük dağılımı sonuçlarının karşılaştırılması (D=50 cm)

ÖZGEÇMİŞ

Kadioğlu 17/08/74' de Adıyaman' da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman' da tamamladı. Adıyaman Lisesi' nden sonra 1992 yılında İ.T.Ü. Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. Bu bölümün ilk iki yılına karşılık önlisans diploması alarak ayrıldı. 1995 yılında Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başladı, buradan 1998 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Programı için Yabancı Dil Hazırlık Sınıfı'na başladı. 1999 yılında yüksek lisans derslerini almaya başladı ve hazırladığı bu tez çalışması ile yüksek lisans öğrenimini tamamlama aşamasına geldi.

Öğrenciliği süresince inşaat sektörünün çeşitli birimlerinde ve bankacılık sektöründe yarı zamanlı olarak çalıştı. Ekim 1999' da Owen Williams Consulting Engineers Firmasında inşaat mühendisi olarak profesyonel iş yaşamına başlayan Kadioğlu Mart 2000 tarihinde Orient Research Müşavir Mühendisler Firması'na transfer oldu. Halen bu firmada iş yaşamına devam etmektedir.