

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI RADYE TEMELLERDE TABAN BASINCI
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Osman Ulaş ÖZDEMİR**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ZEMİN MEKANİĞİ ve GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2006

**KAZIKLI RADYE TEMELLERDE TABAN BASINCI
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Osman Ulaş ÖZDEMİR
501011575

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Şubat 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. M. Tuğrul ÖZKAN
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Feyza ÇİNİCİOĞLU (İ.Ü.)

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca tüm bilgi, tecrübe ve hoşgörüsünü esirgemeyen ve sabırla bana yol gösteren hocam Sayın Doç.Dr. M. Tuğrul ÖZKAN'a, Araştırma Görevlisi Sayın Müge BALKAYA'ya ve hayatım boyunca büyük fedakarlıklarla desteklerini sürdüren Annem Asuman, Babam Yusuf ve kardeşim Cansın Çağlar ÖZDEMİR'e teşekkürü borç bilirim.

Aralık, 2005

Osman Ulaş ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAZIKLI TEMELLER	3
2.1. Kazıkların Sınıflandırılması	5
2.1.1 Yükleri Taşıma ve İletme Şekilleri Göre Sınıflandırma	5
2.1.2 İmal Edildikleri Malzemeye Göre Sınıflandırma	6
2.1.2.1 Ahşap Kazıklar	6
2.1.2.2 Betonarme Kazıklar	7
2.1.2.3 Çelik Kazıklar	7
2.1.2.4 Kompozit Kazıklar	8
2.2. Kazıkların Taşıma Gücü	9
2.2.1 Kazığın Uç Taşıma Yüğü (Qp)	9
2.2.1.1 Meyerhof Yöntemi.	10
2.2.1.2 Vesic Yöntemi	13
2.2.1.3 Janbu Yöntemi	14
2.2.1.4 Coyle ve Castello Metodu (Kum)	15
2.2.2 Çevre Sürtünmesi	15
3. RADYE TEMELLER	26
3.1 Radye Temellerin Çeşitleri	26
3.2 Radye Temellerin Taşıma Gücü	31
3.3 Radye Temellerde Farklı Oturmalar	36
3.4 Radye Temellerin Tasarım Metodları	37
3.4.1 Rijit Metod	37
3.4.2 Rijit Olmayan Metod	38
3.5 Elastik Temel Üzerinde Kiriş Analizi	39
3.5.1 Yatak Katsayısının Belirlenmesi	39

4. KAZIKLI RADYE TEMELLER	43
4.1 Tanımlar	43
4.2 Kazıklı Radye Temeller İçin Uygun Olan ve Olmayan Koşullar	43
4.3 Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı	45
4.4 Alternatif Tasarım Stratejileri	47
4.5 Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması	49
4.5.1 Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri	51
4.5.1.1 Poulos ve Davis (1980)	51
4.5.1.2 Randolph (1983, 1994)	51
4.5.1.3 Poulos-Davis-Randolph (PDR) Yöntemi	52
4.5.2 Yaklaşık Bilgisayar Tabanlı Yöntemler	55
4.5.2.1 Yaylar Üstünde Şerit Yaklaşımı	55
4.5.2.2 Yaylar Üstünde Plak Yaklaşımı	55
4.5.3 İleri Bilgisayar Tabanlı Yöntemler	56
4.5.3.1 Sınır Eleman Yöntemi	56
4.5.3.2 Sınır Eleman ve Sonlu Eleman Yöntemlerinin Birlikte Kullanıldığı Yöntemler	56
4.5.3.3 Basitleştirilmiş Sonlu Eleman Yöntemleri	57
4.5.3.4 İki Boyutlu Düzlem Gerilme Sonlu Eleman Yöntemi	57
4.5.3.5 Üç Boyutlu Sonlu Eleman Yöntemi	59
5. SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ ve PLAXIS SONLU ELEMENLAR YAZILIMI	61
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	61
5.2 PLAXIS Sonlu Elemanlar Yazılımı	62
6. KAZIKLI RADYE TEMELLERİN PLAXIS ile MODELLENMESİ	64
6.1 GİRİŞ	64
6.2 Analizlerde Kullanılan Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonları	64
6.2.1 5 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu	64
6.2.2 7 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu	66
6.2.3 9 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu	66
6.3 Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	66
6.4 Analizlerde Kullanılan Yükleme Durumlarının Özellikleri	66
6.4.1 Yük Durumu 1 (Q_1)	66
6.4.2 Yük Durumu 2 (Q_2)	66

6.5 Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması	70
6.5.1 Yük Durumu 1 (Q_1) İçin Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması	70
6.5.2 Yük Durumu 2 (Q_2) İçin Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması	71
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	74
KAYNAKLAR	79
EKLER	82
ÖZGEÇMİŞ	124

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
OCR	: Overconsolidation Ratio
SPT	: Standart Penetrasyon Testi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: İr değerleri.....	14
Tablo 2.2: Ortalama K değerleri.....	19
Tablo 3.1: Taşıma gücü katsayıları.....	32
Tablo 3.2: Önerilen şekil, derinlik ve eğim katsayıları.....	33
Tablo 3.3: SPT Değerlerinden izin verilen taşıma gücünün bulunabilmesi için verilen eşitlikler.....	35
Tablo 6.1: Analizlerde kullanılan malzemelerin özellikleri.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kazıklı temellerin kullanıldığı durumlar.....	4
Şekil 2.2 : (a) ve (b) Uç kazıkları; (c) Sürtünme kazıkları	6
Şekil 2.3 : Donatılı prefabrike kazıklar.....	7
Şekil 2.4 : Çelik kazıklar	8
Şekil 2.5 : Kazıkların nihai yük taşıma kapasitesi.....	9
Şekil 2.6 : Homojen kumda birim uç direncinin değişimi.....	11
Şekil 2.7 : (L_b/D)cr değerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi.....	11
Şekil 2.8 : Maksimum N_c^* ve N_q^* değerlerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi	12
Şekil 2.9 : Janbu taşıma kapasitesi faktörleri.....	16
Şekil 2.10 : N_q^* ' nun L/D ile değişimi	17
Şekil 2.11 : Çakma kazıklar çevresinde kumun sıkışması.....	18
Şekil 2.12 : Kum zemindeki kazıklar için birim çevre sürtünmesi.....	19
Şekil 2.13 : K' ' nın L/D ile değişimi.....	21
Şekil 2.14 : λ' ' nın gömülü kazık boyuyla değişimi.....	22
Şekil 2.15 : Tabakalı zeminde α metodunun uygulanması.....	23
Şekil 2.16 : α' ' nın kilin drenajsız kohezyonu ile değişimi.....	24
Şekil 3.1 : Radye temellerin çeşitleri (a) Düz plak.....	27
Şekil 3.1b : Kolonlar altında kalınlığı artırılmış düz plak.....	28
Şekil 3.1c : Kirişler ve döşeme.....	29
Şekil 3.1d : Taban duvarlı döşeme.....	30
Şekil 3.2 : $q_{all(net)} / c_u$ nun D_f / B ile değişimi ($FS = 3$)	34
Şekil 3.3 : Bir radye temelden dolayı zeminde oluşan net basıncın tanımlanması.....	35
Şekil 3.4 : Rijit ve rijit olmayan radye temeller altında oluşan taban basınçları.....	37
Şekil 3.5 : Bir radye temel altında oluşan taban basıncı dağılımı: (a) Kaya.... veya sert zemin; (b) Katı zemin; (c) Yumuşak zemin.....	38
Şekil 3.6 : Elastik zemin üzerinde kiriş analizi.....	40
Şekil 3.7 :Yüklenen alanın büyüklüğünün gerilme dağılımı üzerindeki etkisi.	40
Şekil 3.8 : Kare tekil ve sürekli temeller için gerilme soğanları.....	41
Şekil 3.9 : q - δ eğrisi.....	42
Şekil 4.1 : Kazıkların oturma azaltıcı elemanlar olarak kullanılması.....	48
Şekil 4.2 : Oturma azaltıcı kazıkların çalışma prensibi.....	48
Şekil 4.3 : Çeşitli tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radye temelin yük-oturma davranışı.....	50
Şekil 4.4 :Kazıklı radye temel elemanının basitleştirilmiş gösterimi.....	53
Şekil 4.5 :Kazıklı radye temelin üç doğrusal parçadan oluşan yük-oturma davranışı.....	54
Şekil 4.6 :Kazıklı radye temelin düzlem gerilme durumuna çevrilmesi.....	58

Şekil5.1	: Düğüm noktaları ve gerilme noktaları.....	63
Şekil6.1	: Kil zemindeki kazıklı radye temele ait sonlu elemanlar ağı.....	65
Şekil6.2	: Kum zemindeki kazıklı radye temele ait sonlu elemanlar ağı.....	65
Şekil6.3	: 5 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar.....	68
Şekil6.4	: Yük Durumu 1 (Q_1).....	70
Şekil6.5	: Yük Durumu 2 (Q_2).....	70
Şekil6.6	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=8.4m).....	72
Şekil6.7	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=8.4m).....	73
ŞekilA.1	: 7 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar.....	84
ŞekilA.2	: 9 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar.....	86
ŞekilA.3	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=10m).....	87
ŞekilA.4	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=12.6m).....	88
ŞekilA.5	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=8.4m).....	89
ŞekilA.6	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=10m).....	90
ŞekilA.7	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=12.6m).....	91
ŞekilA.8	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=8.4m).....	92
ŞekilA.9	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=10m).....	93
ŞekilA.10	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - Bg=12.6m).....	94
ŞekilA.11	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=10m).....	95
ŞekilA.12	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=12.6m).....	96
ŞekilA.13	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=8.4m).....	97
ŞekilA.14	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=10m).....	98
ŞekilA.15	: 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=12.6m).....	99
ŞekilA.16	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=8.4m).....	100
ŞekilA.17	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=10m).....	101
ŞekilA.18	: 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - Bg=12.6m).....	102
ŞekilA.19	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - Bg=8.4m).....	103
ŞekilA.20	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - Bg=10m).....	104
ŞekilA.21	: 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - Bg=12.6m).....	105

ŞekilA.22 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=8.4m).....	106
ŞekilA.23 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=10m).....	107
ŞekilA.24 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=12.6m).....	108
ŞekilA.25 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=8.4m).....	109
ŞekilA.26 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=10m).....	110
ŞekilA.27 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu1 - Bg=12.6m).....	111
ŞekilA.28 : 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=8.4m).....	112
ŞekilA.29 : 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=10m).....	113
ŞekilA.30 : 5 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=12.6m).....	114
ŞekilA.31 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=8.4m).....	115
ŞekilA.32 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=10m).....	116
ŞekilA.33 : 7 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=12.6m).....	117
ŞekilA.34 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=8.4m).....	118
ŞekilA.35 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=10m).....	119
ŞekilA.36 : 9 Kazıklı Radye Temelin (Pr/Pt) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yık Durumu2 - Bg=12.6m).....	120
ŞekilB.1 : Kayma hesabında kullanılan kazıklı radye temel konfigürasyonu..	122
ŞekilB.2 : A-A kesiti.....	123

SEMBOL LİSTESİ

Q_p	: Kazık uç direnci
Q_s	: Kazık çevre direnci
Q_u	: Nihai kazık yük taşıma gücü
D	: Kazık çapı
q_u	: Kazık uç direnci
q_l	: Limit kazık uç direnci
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kohezyon
N_c^*, N_q^*, N_γ^*	: Taşıma gücü katsayıları
A_p	: Kazığın uç alanı
L	: Kazık boyu
L_b	: Kazık gömülme boyu
N_{cor}	: Kazık ucu derinliğindeki ortalama düzeltilmiş SPT sayısı
σ_0'	: Kazık ucu seviyesindeki ortalama efektif gerilme
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
E_s	: Zeminin elastisite modülü
μ_s	: Zeminin Poisson oranı
G_s	: Zeminin kayma modülü
Δ	: Kazık ucu altındaki plastik bölgedeki ortalama hacimsel
Δ	şekil değiştirme
I_r	: Rijitlik indisi
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
p	: Kazığın çevresi
f	: Birim çevre sürtünmesi.
K	: Efektif toprak basıncı katsayısı
σ_v'	: Efektif düşey gerilme
δ	: Zemin-kazık sürtünme açısı
Dr	: Rölatif sıklık
N_{cor}	: Düzeltilmiş ortalama standart penetrasyon direnci değeri
α	: Ampirik adezyon çarpanı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
B	: Temelin genişliği
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$	: Şekil çarpanları
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$	: Derinlik çarpanları
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$	: Yük eğim çarpanları
D_f	: Temel derinliği
S_e	: Oturma
k_s	: Yatak katsayısı
P	: Yapı ağırlığı + uygulanan diğer düşey yükler

W_f	: Radye ağırlığı
A	: Radye – zemin temas alanı
dA	: Her bir yay için temas alanı
K_{pr}	: Kazıklı radye temelin rijitliği
k_r	: Radye temelin rijitliği
k_p	: Kazıkların rijitliği
P_r	: Radye tarafından taşınan yük
P_p	: Kazıklar tarafından taşınan yük
α_{cp}	: Radye-kazık etkileşim faktörü
P_t	: Toplam yük
ν	: Poisson oranı
r_c	: Kazık başlığının ortalama yarıçapı
t	: Radye kalınlığı
s	: Kazık aralığı
L_r	: Radye boyu
E_p	: Kazık elastisite modülü
X	: Kazıklar tarafından taşınan yük oranı
n_p	: Bir sıradaki kazık sayısı
A_s	: Birim derinlik için kazığın çevre alanı

KAZIKLI RADYE TEMELLERDE TABAN BASINCI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kazıklı radye temeller özellikle yüksek binaların temellerini oluşturan ve kazıklar, radye ve zemin gibi üç elemandan oluşan geoteknik kompozit yapılardır. Radye temellerin tasarım gereksinimlerini karşılayamadığı durumlarda radye temelin performansının, kazıkların eklenmesiyle artırılması mümkündür. Sınırlı sayıda kazık kullanımı, radye temelin nihai yük taşıma kapasitesini, oturma ve farklı oturma performansını artırabilir.

Bu çalışmada PLAXIS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak, oluşturulan parametrik modellerde kazık boyu, kazık aralığı, kazık çapı, yükleme çeşidi, kazık sayısı ve zemin cinsi gibi parametrelerin değişimiyle radye altında oluşan taban basıncı değişimi incelenmiştir. Bu parametrik çalışmanın sonuçları verilmiş ve düşey yüklemeye maruz kazıklı radye temellerin optimum tasarımı için öneriler sunulmuştur.

INVESTIGATION OF CONTACT PRESSURE DISTRIBUTION BENEATH PILED RAFT FOUNDATIONS

SUMMARY

Piled raft foundations are geotechnical composite constructions, consisting of three elements piles, raft, and soil which are applied for the foundation of tall buildings. In situations where raft foundations alone do not satisfy the design requirements, it may be possible to enhance the performance of the raft by the addition of piles. The use of a limited number of piles, may improve the ultimate load capacity and the settlement and differential settlement performance of the raft foundation.

In this study, by the use of finite element code for soil and rock analyses, PLAXIS, change of the contact pressure beneath raft foundation by changing parameters like pile length, pile spacing, pile diameter, type of loading, number of piles, and type of soil, has been investigated in the parametric models. The results of the parametric study were presented and recommendations for the optimized design of piled raft foundations subjected to vertical loading were given.

1. GİRİŞ

Düzlem radye temele uygulanan yapısal yüklerin, zeminin güvenlikle taşıyabileceği taşıma kapasitesini aştığı veya aşırı oturmalara sebep olduğu durumlarda, kazıklı radye temel kullanımı yaygın bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yolla, hem yapısal yüklerin büyük bir bölümü efektif bir şekilde sağlam zemine aktarılmakta hem de toplam ve farklı oturmalar azaltılmaktadır. Özellikle yüksek binalarda, kazıklı radye temeller, yapısal yüklemdeki eksantrisiteden veya temelin plan alanı boyunca zemindeki tahmin edilemeyen rijitlik değişimlerinden dolayı oluşacak dönme olasılığını azaltmaktadır.

Kazıklı radye temel probleminin üç boyutlu doğasından dolayı kazıklı radye temellerin detaylı analizi, düzlem radye analizinden çok daha zordur. Bu zorluk farklı varsayımlara ve sınırlamalara dayanan sayısal analizin değişik formlarının ortaya çıkmasına ve farklı seviyedeki yaklaşıklıklara neden olmaktadır. Çoğu durumda analiz, radye köşelerinin altında ve kazık yüzeyinde plastikleşme gibi bölgesel lineer olmayan etkileri içerecek şekilde elastik kabule dayanır. Zeminin düzlem radyeyi taşıdığı ve kazıkların sadece oturma azaltıcı elemanlar olarak kullanıldığı durumlarda bu lineer olmayan etkiler önem kazanmaktadır.

Kazıklı radye temellerin tasarımına en yararlı yaklaşımlardan birisi de temsili enkesitlerin iki boyutlu düzlem gerilme analizi veya karşı gelen eksenel simetri analizidir. Bu yaklaşım özellikle düzlem radyenin taşıma gücünün yeterli olduğu ve kazıkların da oturma azaltıcı eleman olarak kullanıldığı durumlarda yararlıdır. Bilgisayar programlarının çoğu, proje uygulamalarında değişik kazık ve tabaka konfigürasyonlarına izin veren sonlu elemanlar metoduna dayanmaktadır. Hem eşdeğer rijitliğe sahip ayrık kazık elemanları kullanılabilir, hem de kazık grubu eşdeğer izotropik malzeme özelliklerine sahip kazık donatılı blok olarak modellenebilir.

Bu tez çalışması kapsamında konu ile ilgili literatür taraması yapılmış ve geçmişte yapılan çalışmaları ve güncel gelişmeleri de kapsayan kaynaklar taranmıştır. Edinilen bilgiler doğrultusunda kazıklı radye temellerin iki boyutlu düzlem gerilme analizi yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Bölüm 2’de kazıklı radye temelleri oluşturan üç yapıdan biri olan kazıklar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te kazıklı radye temelleri oluşturan üç yapıdan biri olan radye temeller hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4’ te ise kazıklı radye temeller hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 5’te sonlu elemanlar metodu hakkında bilgiler verilmiş ve parametrik çalışma kapsamında kullanılan PLAXIS sonlu elemanlar yazılımı tanıtılmıştır.

Bölüm 6’da ise parametrik çalışmada PLAXIS sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulan modeller hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 7’de ise parametrik çalışmanın sonuçları ve değerlendirmeler sunulmuştur.

2. KAZIKLI TEMELLER

Yapı yüklerinin zemine aktarılması, zemin yüzeyinde yapı elemanlarının büyütülmesiyle oluşturulan temellerle mümkün olmaktadır. Bir temel projelendirilirken, zeminin taşıma gücü yanında temelin yapacağı maksimum oturma değerinin belirli sınır değerlerini aşmaması, daha da önemlisi temeller arasındaki farklı oturmaların üst yapıya ek zorlamalar getirmemesi gerekir (Özkan, 2002).

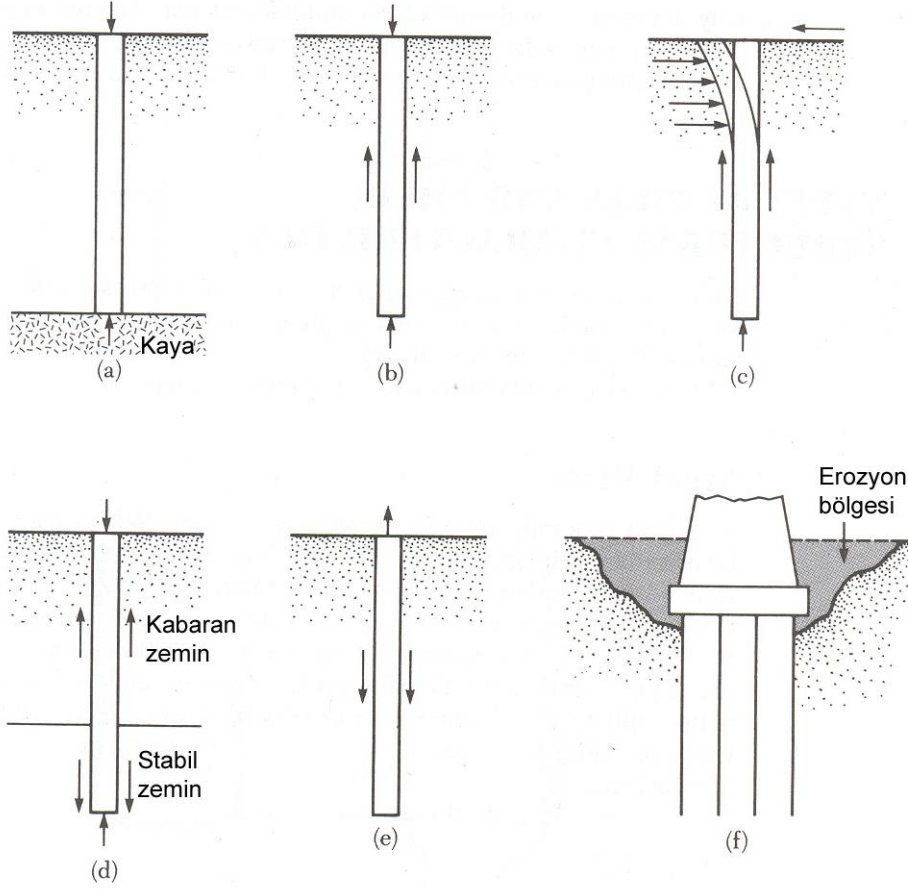
Temeller genelde zemin yüzeyinden belirli derinlikte inşa edilir. Böylece bölgesel don derinliğinin ve zeminde mevsimsel hacim değişikliklerinin olduğu bölgenin altına inilmiş olur (Özkan, 2002).

Temeller tabanlarının zemin içinde oturduğu derinliğe bağlı olarak yüzeysel ve derin temeller olarak iki gruba ayrılırlar. Zemin şartlarının uygun olduğu hallerde kullanılan yüzeysel temeller, münferit sömel, mütemadi sömel ve radye temel olarak adlandırılırlar. Derin temel deyimini ise genel olarak, derinliği plan görünümündeki genişliğinin 2,5 katından fazla olan bir temeli ifade etmek için kullanılır ve kazıklı temeller, kesonlar veya derin ayak temelleri kapsar (Birand, 2001).

Temel projelendirilmesinde önce yüzeysel temel yapmanın mümkün olup olmayacağı araştırılır. Bu araştırma sırasında zeminin zayıf olup taşıma gücünün aşıldığının saptandığı durumlarda yüzeysel temeller yeterli olmazlar. Diğer yandan bir temel taşıma gücü açısından yeterli olabilir ancak istenilenden fazla oturma yapabilir. Bu durumda yükleri daha derine aktarmak ve oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için derin temeller inşa edilir (Birand, 2001).

Kazıklar; çelik betonarme ve ahşap malzemelerden yapılan yapısal elemanlardır. Kazıklar yüzeysel temellerden daha derin ve daha maliyetli olan kazıklı temellerin inşası için kullanılır. Maliyetlerinin fazla olmasına rağmen, yapısal güvenliği sağlayabilmek için kazıkların kullanımı gerekebilir. Aşağıda kazıklı temellerin kullanımını gerektirecek durumlar sıralanmıştır (Das, 1999).

1. Üst zemin tabakalarının üstyapıdan gelecek yükleri iletebilmek için çok sıkışabilir ve zayıf olduğu durumda, kazıklar yükün kayaya ya da daha sağlam zemine aktarılması için kullanılırlar (Şekil 2.1.a). Yüzeyden uygun bir derinlikte



Şekil 2.1 Kazıklı temellerin kullanıldığı durumlar

kayaya ulaşılmayan durumda, kazıklar, yapısal yükleri zeminle kazık arasında oluşan çevre sürtünmesi yardımıyla zemine iletirler (Şekil 2.1.b).

2. Yanal yüklerin olduğu durumda (Şekil 2.1.c), kazıklar üstyapıdan gelen düşey yükleri taşıırken yatay yükleri de karşılarlar. Böyle bir durumla genellikle dayanma yapılarının ve çok büyük rüzgar ve deprem yüklerine maruz kalan yüksek binaların temellerinin tasarım ve yapımında karşılaşılır.
3. Bazı durumlarda yapılması düşünülen yapı sahasında şişebilen ve çökebilin zeminler bulunabilir. Bu zeminler yüzeyden büyük bir derinliğe kadar ulaşabilirler. Şişebilen zeminler, su muhtevası arttığında şişerler ve su muhtevası azaldığında çökerler ve bu zeminlerin kabarma basıncı tehlikeli olabilir. Böyle durumlarda eğer yüzeysel temeller kullanılırsa, üstyapı önemli zarar görebilir.

Bununla birlikte şişebilen ve çökebilien zeminlerin aşıldığı alanda kazıklı temeller kullanılabilir (Şekil 2.1.d).

Lös gibi zeminler çökebilien zeminlerdir. Bu zeminlerin su muhtevası arttığı zaman yapıları bozulabilir. Zeminin boşluk oranındaki ani bir düşüş, yüzeysel temelle desteklenen bir yapıda büyük oturmalar oluşturabilir. Bu gibi durumlarda muhtemel su muhtevası değişiminin olduğu alan geçilmek suretiyle kazıklı temeller kullanılabilir.

4. İletim kuleleri, deniz yapıları gibi yapıların temelleri ve yer altı su seviyesinin altında bulunan radye tabanlarına kaldırma kuvvetleri etki eder. Kazıklar, kaldırma kuvvetlerine karşı koyabilmek için bu temellerde kullanılabilirler (Şekil 2.1.e).
5. Köprü ayakları ve kuyu temeller, taşıma gücünün yüzeydeki erozyondan dolayı kayb olduğu durumlarda, kazıklı temeller üzerine inşa edilirler (Şekil 2.1.f).

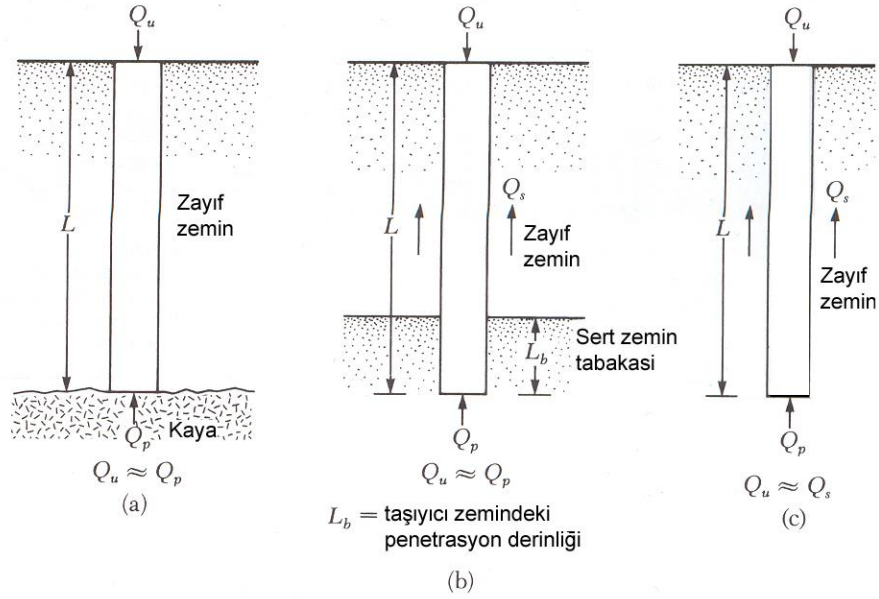
2.1 Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar aşağıdaki gruplar içinde sınıflandırılarak gözönüne alınmışlardır:

- a) Yükleri taşıma ve iletme şekilleri,
- b) İmal edildikleri malzemeler,
- c) İmalat ve zemin içine yerleştirme yöntemi,
- d) İşlevlerinin niteliği.

2.1.1 Yükleri Taşıma ve İletme Şekilleri Göre Sınıflandırma

Kazıkların uçları sağlam ve sıkışabilirliği çok az olan bir zemine oturuyorsa veya bu zemin içine gömülü ise bu tür kazıklara “ Uç Kazığı”, eğer kazık zeminin içinde bulunmakla beraber tabanı ayrıca sağlam bir zemine oturmuyorsa bu tür kazıklara da “Sürtünme Kazığı” denir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 (a) ve (b) Uç kazıkları; (c) Sürtünme kazıkları

2.1.2 İmal Edildikleri Malzemeye Göre Sınıflandırma

Kazıklar, yapımları için kullanılan malzemeler ve yapım yöntemleri gözönüne alınarak da sınıflandırılabilirler. Buna göre kazıklar; ahşap kazıklar, betonarme kazıklar, çelik kazıklar ve kompozit kazıklar gibi sınıflara ayrılırlar.

2.1.2.1 Ahşap Kazıklar

Özellikle killi zeminlerde kazıkla zemin arasında iyi bir adezyon sağlarlar. Su seviyesi altında ömürleri uzundur. Ancak su seviyesi üstünde mantar ve bazı böcekler tarafından tahrip edilirler. Bu nedenle üzerlerinde özel işlem yapılmadan su seviyesi üzerinde kullanılmamalıdır.

Ahşap kazıkları sert zeminlere, sıkı kum-çakıl tabakalarına çakmak zordur. Aşırı çakma halinde uçları veya gövdeleri çatlayabilir veya kırılabilir. Bu nedenle çakma sırasında kazığın davranışı gözlenmeli, giriş miktarı/darbe sayısı oranı dikkatle izlenmelidir (Birand, 2001).

Ahşap kazıkların minimum uç çapı 150mm ve taşıma kapasiteleri 220-270 KN ile sınırlandırılmıştır (Das, 1999).

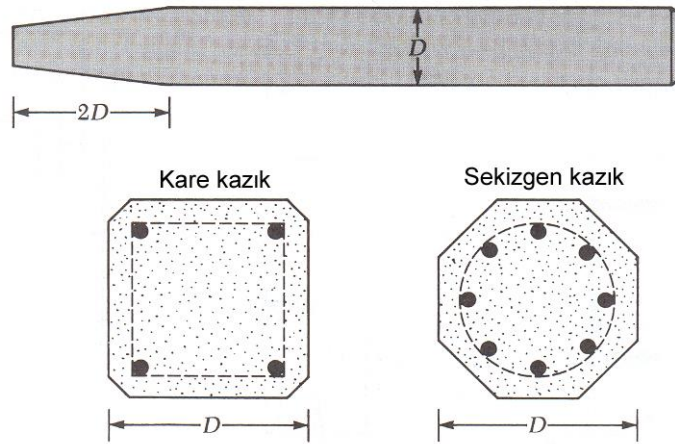
2.1.2.2 Betonarme Kazıklar

Betonarme kazıklar iki gruba ayrılabilirler:

a) Önceden dökme kazıklar

b) Yerinde dökülen kazıklar.

a) Önceden dökme kazıklar: Donatılı olarak hazırlanabilirler ve en kesitleri dairesel veya çokgen olabilir (Şekil 2.3). Donatı, kazığın kaldırılması ve taşınması sırasında kazığa; yanal yükten dolayı oluşacak eğilme momentlerini karşılayabilmek için kullanılır (Das, 1999).



Şekil 2.3 Donatılı prefabrike kazıklar

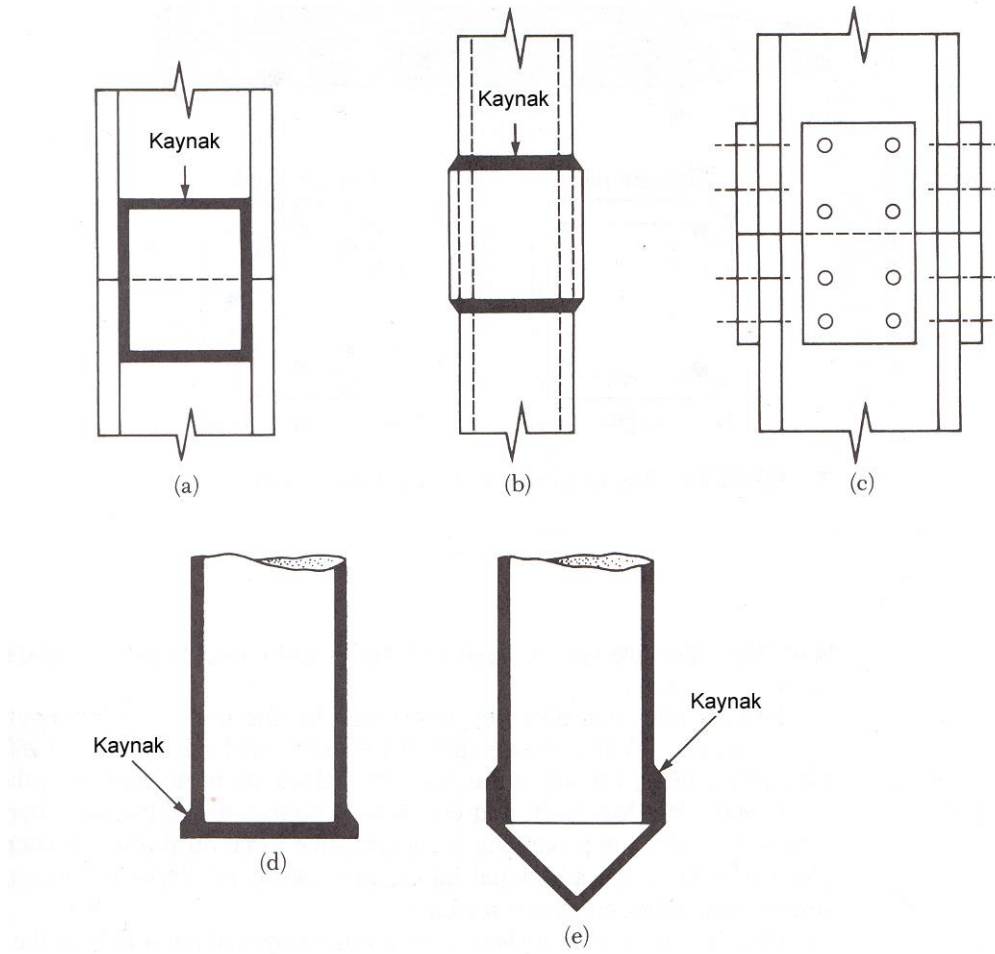
b) Yerinde dökme kazıklar: Fore kazık veya sondaj kazığı olarak da adlandırılan bu kazıklar, delme teknikleri kullanılarak veya boş bir boru çakmak suretiyle zeminde oluşturulan bir deliğin içine gerektiğinde donatı da yerleştirilerek betonla doldurulması yoluyla imal edilen kazıklardır. Fore kazıklar, çakma kazıkların aksine, zeminde yanal bir ötelenme ve buna bağlı olarak komşu zeminde sıkışma yaratmayan kazıklardır. Önce zeminde bir delik açılır, bu deliğe donatı yerleştirilir ve alttan başlamak suretiyle delik betonlanır (Birand, 2001).

2.1.2.3 Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar, H profili veya boru şeklinde olabilirler. Boru kazıklar zemine ucu açık veya kapalı olarak çakılabilirler. Geniş başlıklı ve I profil çelik kirişler aynı zamanda kazık olarak da kullanılabilirler. Gövde ve başlık kalınlıkları aynı olduğu

için H profil kazıklar daha çok tercih edilirler. Geniş başlıklı ve I profil kirişlerin gövde kalınlıkları başlık kalınlıklarından daha küçüktür. Boru kazıkların içleri genellikle çakıldıktan sonra betonla doldurulur.

Zor çakma koşullarında (sıkı çakıl, killi şist ve yumuşak kaya) çelik kazıklara uç yapılabilir (Şekil 2.4).



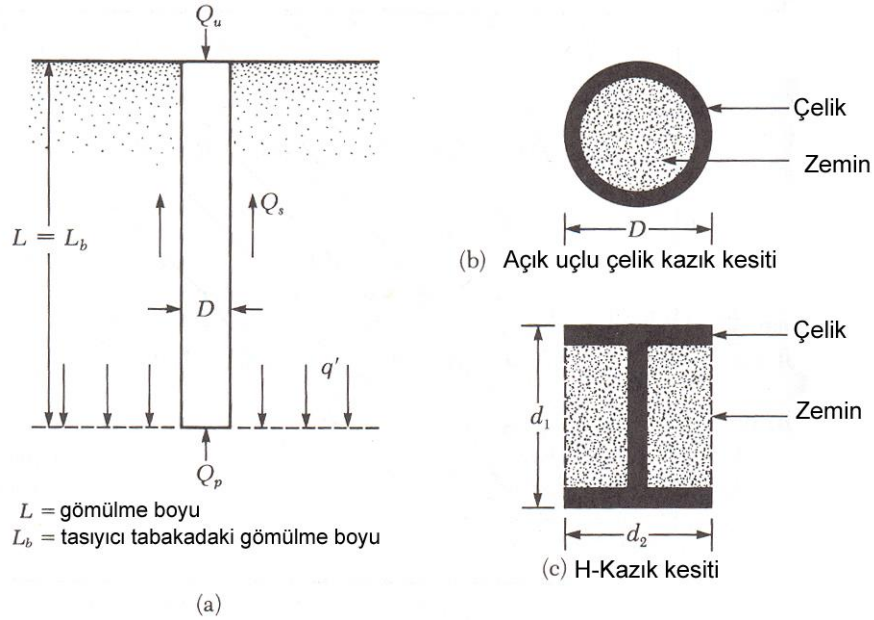
Şekil 2.4 Çelik kazıklar

2.1.2.4 Kompozit 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 etkilenilmeyecek derinliklere kadar çakılır. Sonra üst kısım beton olarak, şartlara göre gereğinde kaplama borusu yerinde bırakılarak yapılır (Birand, 2001).

2.2 Kazıkların Taşıma Gücü

Bir kazığın nihai yük taşıma gücü kazık ucunun taşıdığı yük ile zemin-kazık arayüzünde oluşan toplam çevre sürtünmesinin toplamı olan basit bir ifadeyle verilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Kazıkların nihai yük taşıma kapasitesi

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

Q_u = Nihai kazık yükü

Q_p = Kazığın uç yükü

Q_s = Kazığın çevre sürtünmesi

2.2.1 Kazığın Uç Taşıma Yüğü (Q_p)

Kazığın birim uç alanı için nihai uç direnci, q_u , aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_u = q_p = cN_c^* + qN_q^* + \gamma DN_\gamma^* \quad (2.2)$$

Kazık çapı D göreceli olarak küçüktür dolayısıyla γDN_γ^* terimi ihmal edilebilir ve denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_p = cN_c^* + q'N_q^* \quad (2.3)$$

Dolayısıyla kazıkların uç yükü için aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c N_c^* + q' N_q^*) \quad (2.4)$$

A_p = Kazığın uç alanı

c = kazık ucunun girdiği zeminin kohezyonu

q_p = birim uç direnci

q' = kazık ucu seviyesindeki efektif düşey gerilme

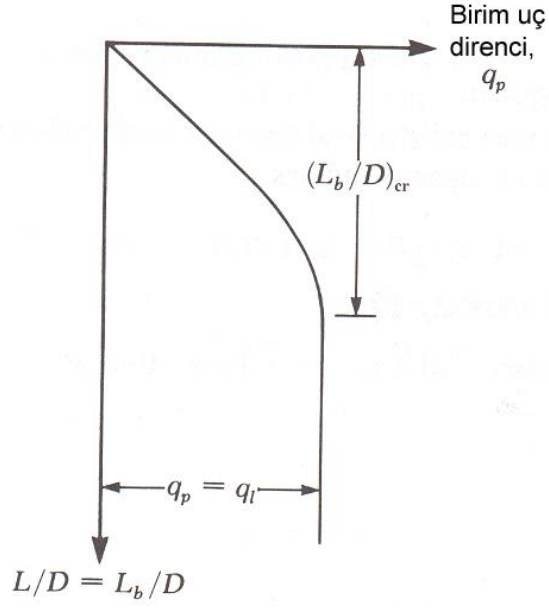
N_c^* , N_q^* = taşıma gücü katsayıları

Kazık uç direncinin (Q_p) tayini için 4 yöntem mevcuttur.

2.2.1.1 Meyerhof Yöntemi

a) Kumlarda Q_p 'nin tayini:

Kumlarda kazıkların uç taşıma gücü genellikle taşıyıcı tabakaya gömülme derinliği arttıkça artar ve gömülme oranının $L_b / D = (L_b / D)_{cr}$ olduğu durumda maksimum değerine ulaşır. Homojen zeminlerde L_b değeri kazığın gömülme boyuna eşittir (Şekil 2.5). Şekil 2.1.b'deki gibi bir kazığın taşıyıcı zemin tabakasına girdiği durumda ise $L_b < L$ olur. Kritik gömülme oranından, $(L_b / D)_{cr}$, daha büyük değerlerde q_p değeri sabit kalır ($q_p = q_l$). Bu durum homojen zemin durumu, $L_b = L$, için Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Kritik gömülme oranının, $(L_b / D)_{cr}$, içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekilde kesikli eğri N_c^* 'nin, sürekli eğri ise N_q^* 'nin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Meyerhof (1976)'ya göre, taşıma gücü faktörleri L_b / D oranı arttıkça artar ve $L_b / D \cong 0.5(L_b / D)_{cr}$ durumunda maksimum değerine ulaşır. Çoğu durumda kazıklar için L_b / D büyüklüğü $0.5(L_b / D)_{cr}$ oranından büyük olur bu yüzden N_c^* ve N_q^* 'nin maksimum değerleri bütün kazıklar için q_p değerinin bulunması için kullanılır. N_c^* ve N_q^* 'nin maksimum değerlerinin içsel sürtünme açısıyla, ϕ , değişimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

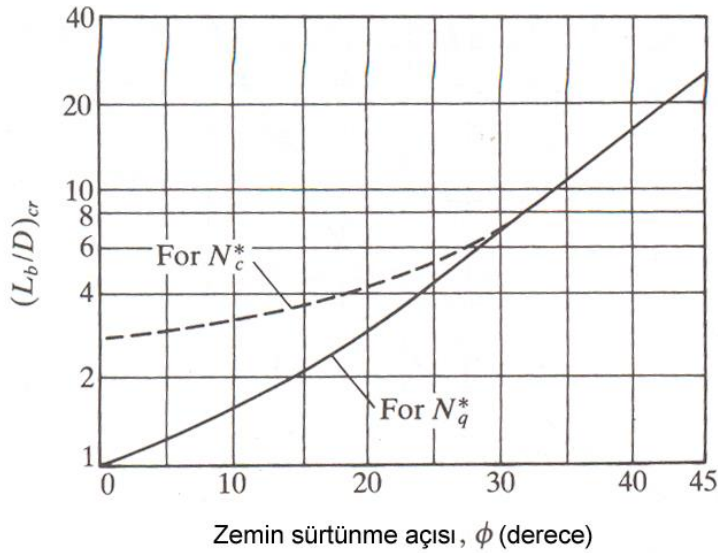


Şekil 2.6 Homojen kumda birim uç direncinin değişimi

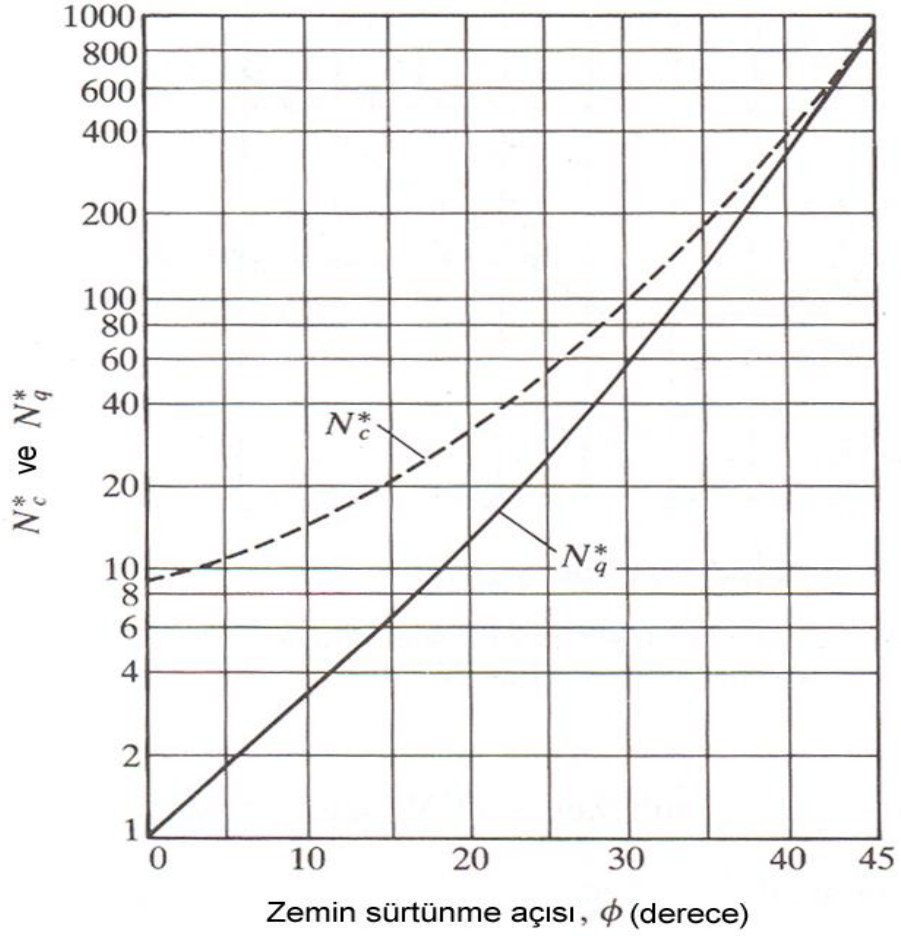
Kum zemindeki, $c=0$, kazıklar için (2.4) eşitliği,

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' N_q^* \quad (2.5)$$

eşitliğine dönüşür. Bununla birlikte, Q_p değeri sınır değeri, $A_p \cdot q_t$, geçemez dolayısıyla,



Şekil 2.7 $(L_b/D)_{cr}$ değerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi (Meyerhof, 1976)



Şekil 2.8 Maksimum N_c^* ve N_q^* değerlerinin zemin sürtünme açısı ile değişimi (Meyerhof, 1976)

$$Q_p = A_p \cdot q' N_q^* \leq A_p \cdot q_l \quad (2.6)$$

olur. Limit uç direnci ise,

$$q_l (\text{kN/m}^2) = 50 N_q^* \cdot \tan \phi \quad (2.7)$$

olur.

Meyerhof (1976), arazi gözlemlerine dayanarak homojen granüler zeminde ($L_b = L$) nihai uç direncinin, q_p , SPT sayılarından elde edilebileceğinin önermiştir.

$$q_p (\text{kN/m}^2) = 40 N_{cor} \cdot L/D \leq 400 N_{cor} \quad (2.8)$$

N_{cor} = kazık ucu derinliğindeki ortalama düzeltilmiş SPT sayısı

b) Killerde, ($\phi=0$), Q_p ' nin tayini:

Suya doymun killerde drenajsız durumda nihai kazık taşıma gücü

$$Q_p = N_c^* \cdot c_u \cdot A_p = 9c_u \cdot A_p \quad (2.9)$$

olur. c_u = kazık ucu seviyesinin altında zeminin drenajsız kohezyonu.

2.2.1.2 Vesiç Yöntemi

Vesiç (1977), boşlukların genleşmesi teorisine dayanarak kazığın uç taşıma gücünün hesabı için bir metod önermiştir. Bu teoriye göre, efektif gerilme parametreleri temel alınarak

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (cN_c^* + \sigma_0' \cdot N_\sigma^*) \quad (2.10)$$

yazılabilir.

σ_0' = kazık ucu seviyesindeki ortalama efektif gerilme

$$\sigma_0' = [(1+2K_0)/3] \cdot q' \quad (2.11)$$

$$K_0 = \text{Sükunetteki toprak basıncı katsayısı} = 1 - \sin\phi \quad (2.12)$$

N_c^* , N_σ^* = taşıma gücü katsayıları

(2.10) eşitliği, (2.4) eşitliğinin;

$$N_\sigma^* = 3N_q^* / (1+2K_0) \quad (2.13)$$

ile değiştirilmiş halidir. Dolayısıyla (2.10) eşitliği

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cdot \cot\phi \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir.

Vesiç'in teorisine göre,

$$N_\sigma^* = f(I_{rr}) \quad (2.15)$$

olur. I_{rr} = zemin için indirgenmiş rijitlik indisi

$$I_{rr} = I_r / (1 + I_r \cdot \Delta) \quad (2.16)$$

$$I_r = \text{rijitlik indisi} = E_s / [2(1 + \mu_s) \cdot (c + q' \cdot \tan \phi)] = G_s / (c + q' \cdot \tan \phi) \quad (2.17)$$

E_s = zeminin elastisite modülü

μ_s = zeminin Poisson oranı

G_s = zeminin kayma modülü

Δ = kazık ucu altındaki plastik bölgedeki ortalama hacimsel şekil değiştirme

Hacim değişiminin olmadığı durumda (sıkı kum veya suya doymun kil), $\Delta = 0$,

$$I_{rr} = I_r \quad (2.18)$$

I_r değeri doğru gerilme seviyelerine karşı gelen konsolidasyon ve üç eksenli deneylerden aşağıdaki gibi elde edilebilir.

Tablo 2.1 I_r değeri

Zemin tipi	I_r
Kum	70-150
Silt ve kil (drenajlı durum)	50-100
Kil (drenajsız durum)	100-200

2.2.1.3 Janbu Yöntemi

Janbu (1976), Q_p 'nin hesabı için

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot (c N_c^* + q' N_q^*) \quad (2.19)$$

eşitliğini önermiştir. Taşıma gücü çarpanları N_c^* , N_σ^* Şekil 2.9’da gösterilen zeminde kazık ucundaki göçme yüzeyi varsayımına göre hesaplanırlar.

$$N_q^* = (\tan\phi + \sqrt{1+\tan^2\phi})^2 \cdot (e^{2\eta'\tan\phi}) \quad (2.20)$$

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cdot \cot\phi \quad (2.21)$$

Şekil 2.8, N_c^* ve N_q^* nun ϕ ve η' ile değişimini göstermektedir.

Q_p ’nin tam değeri, kazık ucu kazık genişliğinin en az %10-25’i kadar zemine girene kadar tam olarak anlaşılamaz. Bu derinlik kum zeminde kritiktir.

2.2.1.4 Coyle ve Castello Metodu (Kum)

Coyle ve Castello (1981), kum zeminde 24 adet geniş ölçekli çakma kazık arazi yükleme deneyini incelemişlerdir. Bu sonuçlara dayanarak, kumlarda

$$Q_p = q' \cdot N_q^* \cdot A_p \quad (2.22)$$

eşitliğini önermişlerdir. q' = kazık ucunda düşey efektif gerilme

N_q^* = taşıma gücü çarpanı

Şekil 2.10, N_q^* ’nun L/D ve zemin sürtünme açısı, ϕ , ile değişimini göstermektedir.

2.2.2 Çevre Sürtünmesi

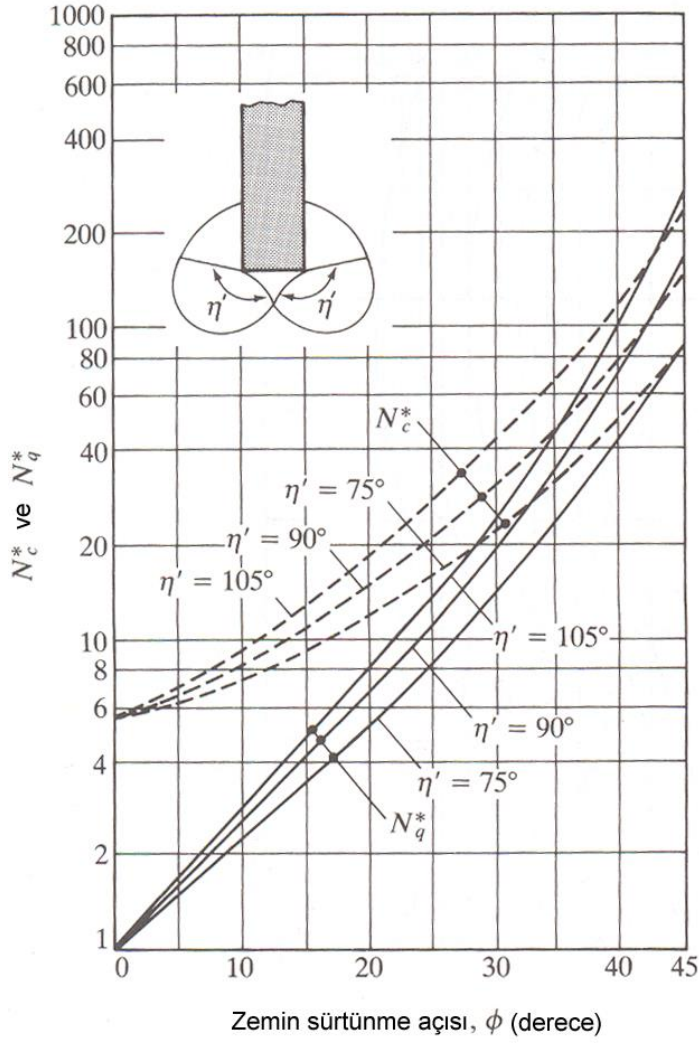
Bir kazığın çevre sürtünmesi aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f \quad (2.23)$$

p = kazığın çevresi

ΔL = p ve f nin sabit kaldığı artımsal kazık boyu

f = herhangi bir z derinliğindeki birim çevre sürtünmesi

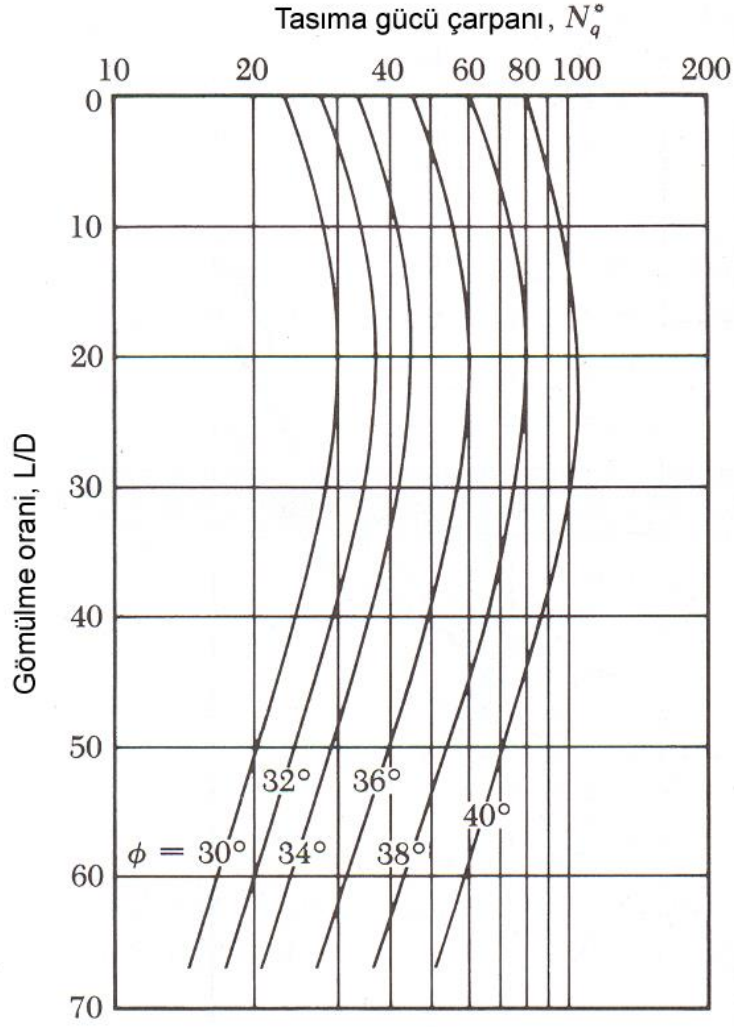


Şekil 2.9 Janbu taşıma kapasitesi faktörleri

a) Kumlarda çevre sürtünmesi, (Q_s)

Birim çevre sürtünmesinin, f , hesaplanması oldukça zordur. f hesaplanırken, aşağıda sıralanan önemli faktörler gözönünde bulundurulmalıdır.

- 1) Kazığın inşa şekli. Kum zeminde çakma kazıklar için, kazığın çakılması sırasında oluşan titreşim kazık çevresindeki zeminin yoğunlaşmasına neden olur. Şekil 2.11 (Meyerhof, 1961), bir çakma kazık etrafında zemin sürtünme açısının, ϕ , şekillerini göstermektedir. Şekildeki örnekte kumun gerçek sürtünme açısı 32° ve kumun yoğunlaşma alanı, kazık çevresinde, kazık çapının 2.5 katı kadardır.

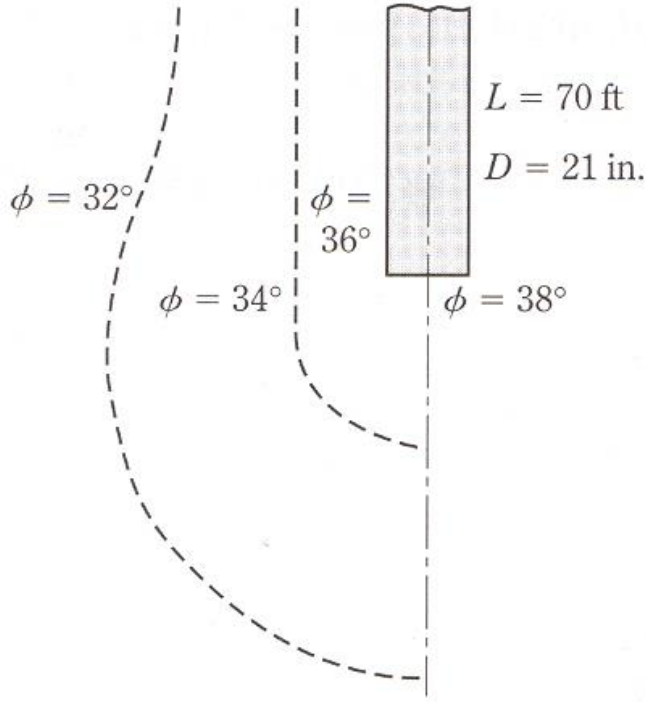


Şekil 2.10 N_q^* 'nün L/D ile değişimi (Coyle ve Castello, 1981)

2) Arazide f' 'nin değişimi Şekil.2.12' deki gibi gözlemlenmiştir. Birim çevre sürtünmesi L' derinliğine kadar derinlikle artmaktadır ve bu derinlikten sonra sabit kalmaktadır. Kritik derinliğin, L' , büyüklüğü kazık çapının 15-20 katı olabilir. Muhafazakar bir yaklaşımla;

$$L' \cong 15D \quad (2.23)$$

alınabilir.



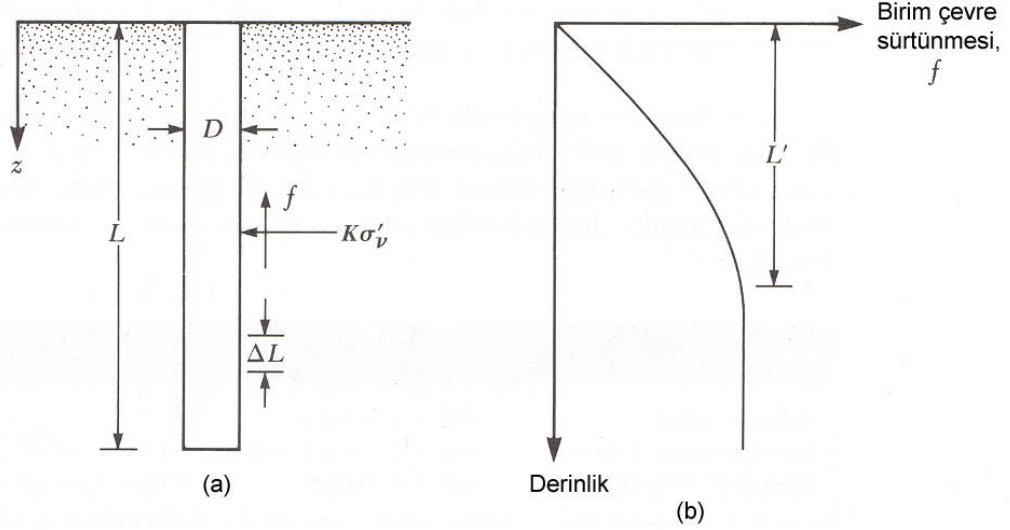
Şekil 2.11 Çakma kazıklar çevresinde kumun sıkışması (Meyerhof, 1961)

- 3) Aynı derinlikte, gevşek kumlarda büyük deplasman kazıklarının birim çevre sürtünmesi, f , küçük deplasman kazıklarının birim çevre sürtünmesinden daha büyüktür.
- 4) Aynı derinlikte, fore kazıkların birim çevre sürtünmesi, çakma kazıkların birim çevre sürtünmesinden daha küçüktür.

Yukarıdaki faktörler düşünülerek ,birim çevre sürtünmesi, f , için aşağıdaki gibi bir bağıntı yazılabilir:

$$z = 0 - L' \text{ için } f = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta \quad (2.24)$$

$$z = L' - L \text{ için } f = f_{z=L'} \quad (2.25)$$



Şekil 2.12 Kum zemindeki kazıklar için birim çevre sürtünmesi

K = efektif toprak basıncı katsayısı

σ'_v = efektif düşey gerilme

δ = zemin-kazık sürtünme açısı

K değeri derinlikle değişmektedir. K değeri kazık başında yaklaşık olarak pasif Rankine toprak basıncı katsayısına, K_p , daha büyük derinliklerde ise sükunetteki toprak basıncı katsayısından, K_0 , daha küçüktür. Mevcut sonuçlara dayanarak (2.24) ve (2.25) eşitlikleri için aşağıdaki ortalama K değerleri önerilmiştir:

Tablo 2.2. Ortalama K değerleri

Kazık tipi	K
Fore kazık	$K_0=1-\sin\phi$
Çakma küçük deplasman kazığı	$K_0=1-\sin\phi - 1.4K_0$
Çakma büyük deplasman kazığı	$K_0=1-\sin\phi - 1.8K_0$

Çeşitli araştırmalar δ değerlerinin 0.5ϕ ile 0.8ϕ arasında değiştiğini göstermiştir. Çakma büyük deplasman kazıkları için Bhusan (1982), aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$K \tan \delta = 0.18 + 0.0065 D_r \quad (2.26)$$

ve

$$K = 0.5 + 0.008 D_r \quad (2.27)$$

D_r = Rölatif sıkılık (%)

Meyerhof (1976), çakma büyük deplasman kazıkları için ortalama birim çevre sürtünmesinin, f_{av} , ortalama düzeltilmiş standart penetrasyon direnci değerlerinden elde edilebileceğini göstermiştir:

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2 \bar{N}_{cor} \quad (2.28)$$

N_{cor} = düzeltilmiş ortalama standart penetrasyon direnci değeri

Çakma küçük deplasman kazıkları için,

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{cor} \quad (2.29)$$

Böylece;

$$Q_s = p.L. f_{av} \quad (2.30)$$

Coyle ve Castello(1981), aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$Q_s = f_{av}.p.L = (K. \bar{\sigma}_v'. \tan \delta).p.L \quad (2.31)$$

$\bar{\sigma}_v'$ = ortalama efektif jeolojik yük

δ = zemin – kazık sürtünme açısı = 0.8ϕ

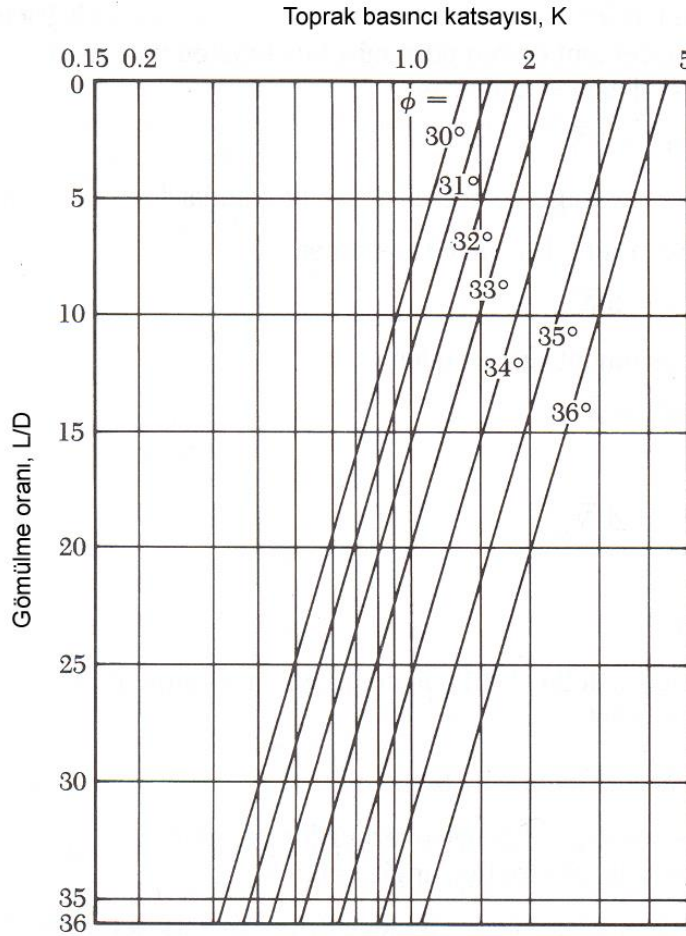
Arazi gözlemlerinden elde edilen yanal toprak basıncı katsayısı, K, Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Eğer Şekil 2.13 kullanılırsa;

$$Q_s = (K. \bar{\sigma}_v'. \tan 0.8\phi).p.L \quad (2.32)$$

olur.

b) Killerde çevre sürtünmesi (Q_s)

Kil zeminlerde kazıkların çevre sürtünmesinin belirlenmesi, ölçülemeyen çeşitli değişkenlerin varlığından dolayı kum zeminlere göre daha zordur. Literatürde kazıkların çevre sürtünmesinin elde edilmesi için birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden 3 tanesi aşağıda açıklanmıştır:



Şekil 2.13 K' nın L/D ile değişimi (Coyle ve Castello, 1981)

1) λ Metodu:

Bu metod Vijayvergiya ve Focht (1972) tarafından önerilmiştir. Metod, kazık çakılmasından dolayı oluşan yerdeğiştirmenin, pasif yanal toprak basıncı oluşturacağı varsayımına dayanmaktadır ve ortalama birim çevre sürtünmesi,

$$f_{av} = \lambda (\bar{\sigma}_v + 2c_u) \quad (2.33)$$

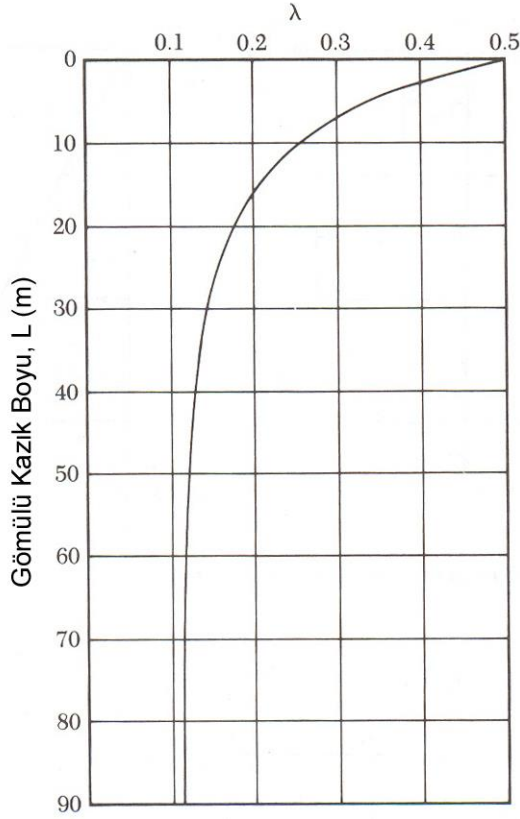
olur. Burada $\bar{\sigma}_v'$ = kazık boyunca ortalama efektif düşey gerilme

c_u = ortalama drenajsız kayma dayanımı ($\phi = 0$)

λ değeri kazık boyuyla değişir (Şekil 2.14). Böylece toplam çevre sürtünmesi

$$Q_s = p.L \cdot f_{av} \quad (2.34)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

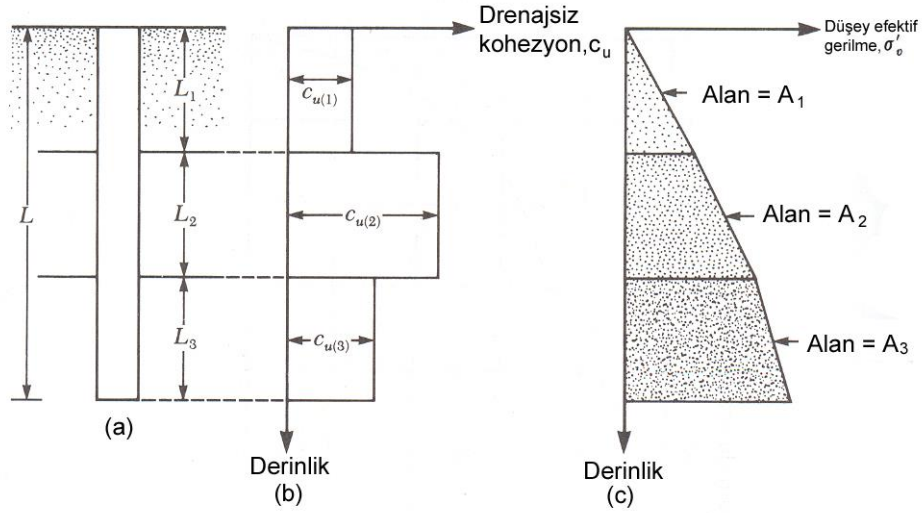


Şekil 2.14 λ 'nın gömülü kazık boyuyla değişimi (McClelland, 1974)

Tabakalı zeminlerde $\bar{\sigma}_v'$ ve c_u değerlerinin elde edilirken dikkatli olunması gerekir.(Şekil 2.15) bunun nedenini açıklamaktadır. Şekil 2.15.b'ye göre c_u 'nun ortalama değeri $(c_{u(1)}L_1 + c_{u(2)}L_2 + \dots)/L$ olur.Şekil 2.15.c efektif gerilmenin derinlikle değişimini göstermektedir. Ortalama efektif gerilme:

$$\bar{\sigma}_v' = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots)/L \quad (2.35)$$

$A_1, A_2, A_3, \dots$ = efektif gerilme diagramlarının alanları



Şekil 2.15 Tabakalı zeminde α metodunun uygulanması

2) α Metodu:

α metoduna göre killi zeminlerde birim çevre sürtünmesi değeri aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$f = \alpha c_u \quad (2.36)$$

α = ampirik adezyon çarpanı

α'nın yaklaşık olarak değişimi Şekil 2.16'da gösterilmiştir. $c_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$ olan normal konsolide killer α değeri 1'e eşittir Böylece;

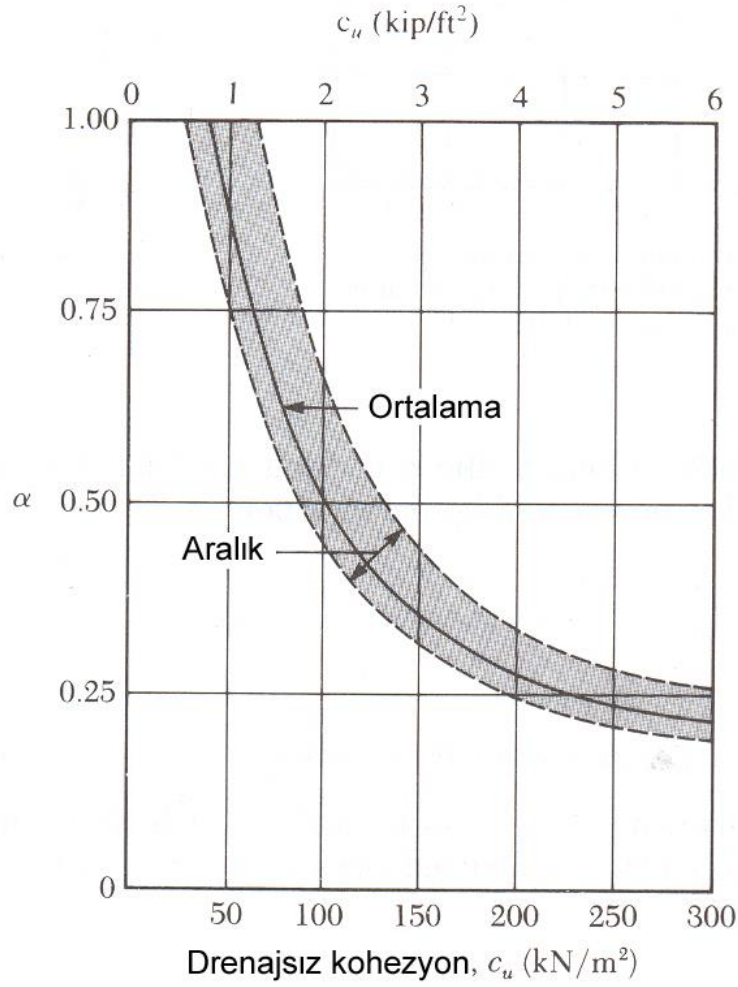
$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L = \sum \alpha c_u \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.37)$$

olur.

3) β Metodu:

Kazıklar suya doymun kil zeminlere çakıldıklarında kazık çevresindeki zeminde boşluk suyu basıncı artar. Bu boşluk suyu basıncı normal konsolide killerde c_u değerinin 4-6 katına kadar çıkabilir. Bu boşluk suyu basıncı zamanla sönümlenir.

Dolayısıyla kazığın birim çevre sürtünmesi, kilin yoğrulmuş haldeki ($c=0$) efektif gerilme parametreleri kullanılarak bulunabilir. Herhangi bir derinlikte;



Şekil 2.16 α 'nın kilin drenajsız kohezyonu ile değişimi

$$f = \beta \cdot \sigma_v' \quad (2.38)$$

olur. σ_v' = düşey efektif gerilme

$$\beta = K \tan \phi_R \quad (2.39)$$

ϕ_R = yoğrulmuş kilin drenajlı sürtünme açısı

K = toprak basıncı katsayısı

Daha muhafazakar olarak K değeri sükunetteki toprak basıncı katsayısıdır veya

$$K = 1 - \sin \phi_R \quad (\text{normal konsolide killer için}) \quad (2.40)$$

ve

$$K=(1-\sin\phi_R) \cdot \sqrt{OCR} \quad (\text{aşırı konsolide killeri için}) \quad (2.41)$$

(2.37), (2.38), (2.39) ve (2.40) eşitlikleri yeniden düzenlenerek

$$f = (1-\sin\phi_R) \cdot \tan\phi_R \cdot \sqrt{OCR} \cdot \sigma_v' \quad (\text{normal konsolide killeri için}) \quad (2.42)$$

ve

$$f = (1-\sin\phi_R) \cdot \tan\phi_R \cdot \sigma_v' \quad (\text{normal konsolide killeri için}) \quad (2.43)$$

yazılabilir. Belirlenen f değeri ile toplam çevre sürtünmesi

$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L$ formülü ile bulunabilir (Das, 1999).

3. RADYE TEMELLER

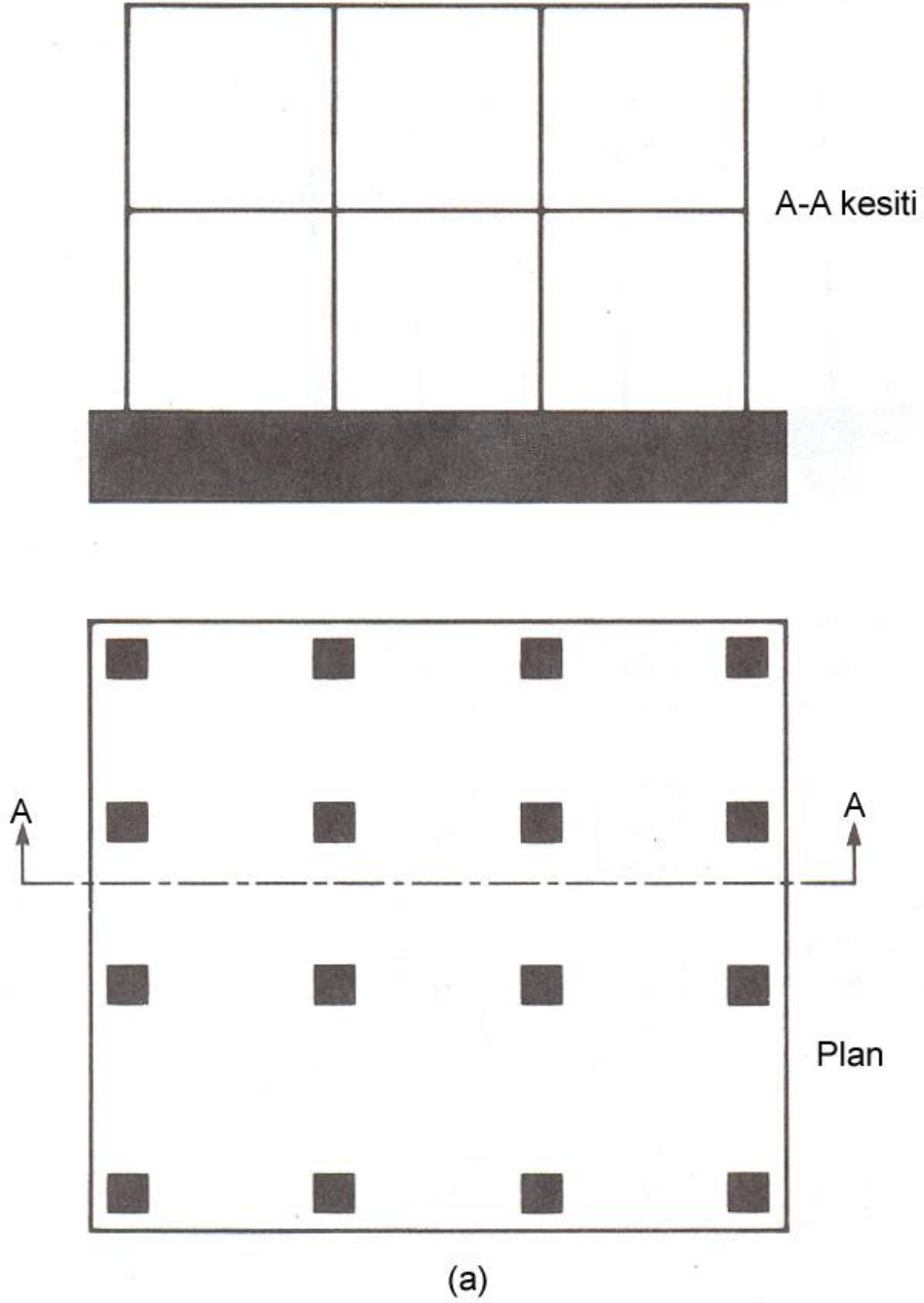
Radye temeller yapının tüm temel alanını kaplayan çok geniş, yüzeysel temel çeşididir. Aşağıdaki durumlarda radye temellerin tasarımı düşünülebilir (Coduto, 1994):

- 1) Üstyapı yükleri çok fazla olduğunda yada zemin koşulları çok kötü olduğunda radye temeller düşünülebilir. Genel olarak, eğer tekil temelin alanı, bina temel alanının %50' sinden fazlasını kaplıyorsa radye temel ya da derin temel daha ekonomik olacaktır.
- 2) Zemin profilinin değişken olduğu ve aşırı farklı oturma olasılığının olduğu durumlarda. Radyenin yapısal sürekliliği ve eğilme dayanımı bu düzensizlikleri ortadan kaldırabilir.
- 3) Üstyapı yüklerinin düzensiz olduğu ve buna bağlı olarak aşırı farklı oturma ihtimalinin fazla olduğu durumlarda.
- 4) Yanal yüklerin yapı boyunca üniform yayılmadığı durumlarda; yanal yükler tekil temellerde veya kazık başlıklarında farklı yatay yerdeğiştirmelere neden olabilir. Bu durumda da radye temelin sürekliliği bu tür yer değiştirmelere engel olabilir.
- 5) Kaldırma kuvvetleri tekil temelin karşılayabileceği değerden yüksek olabilir. Daha büyük ağırlık ve radyenin sürekliliği yeterli direnci sağlayabilir.
- 6) Binanın temeli yer altı su seviyesinin altında olabilir ve temelin su izolasyonu önem kazanabilir. Radyeler monolitik olduklarından, sudan izole edilmeleri daha kolaydır. Aynı zamanda radyenin ağırlığı da yer altı suyunun hidrostatik kaldırma kuvvetlerine karşı direnci artırabilir.

3.1 Radye Temellerin Çeşitleri

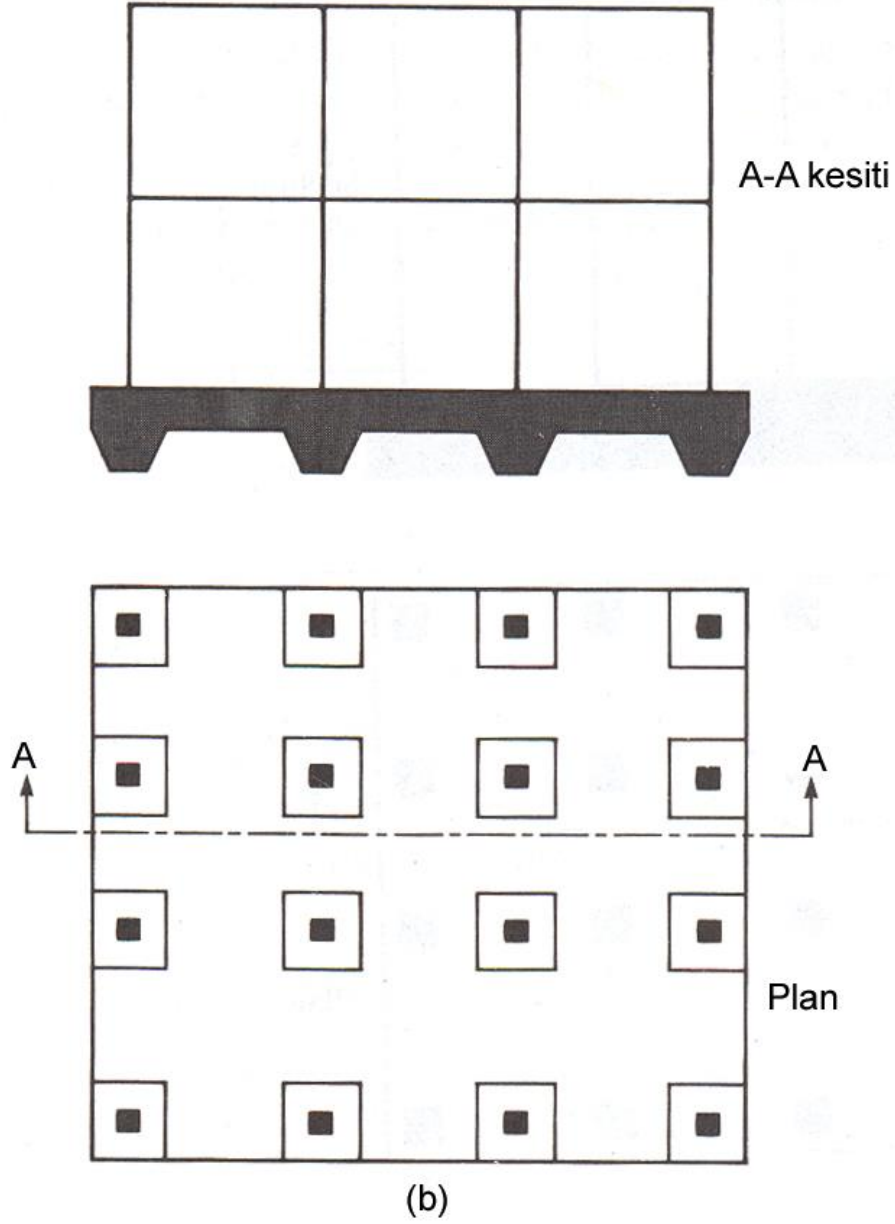
Radye temel çeşitleri Şekil 3.1’ de gösterilmiştir (Das, 1999).

a) Düz plak(Şekil 3.1.a). Radye üniform bir kalınlığa sahip



Şekil 3.1 Radye temellerin çeşitleri (a) Düz plak

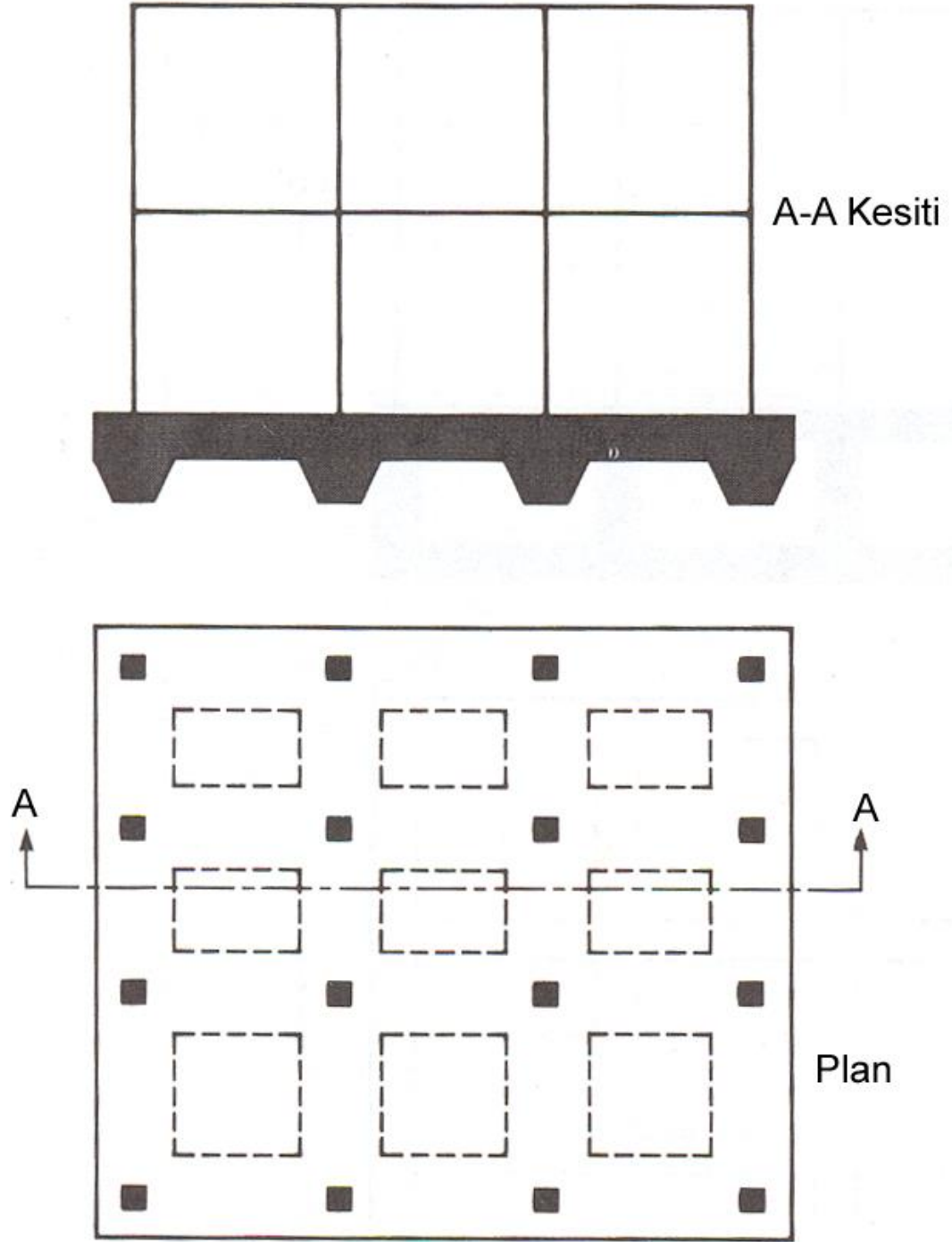
b) Kolonlar altında kalınlığı artırılmış düz plak(şekil 3.1.b)



şekil 3.1 (b) Kolonlar altında kalınlığı artırılmış düz plak

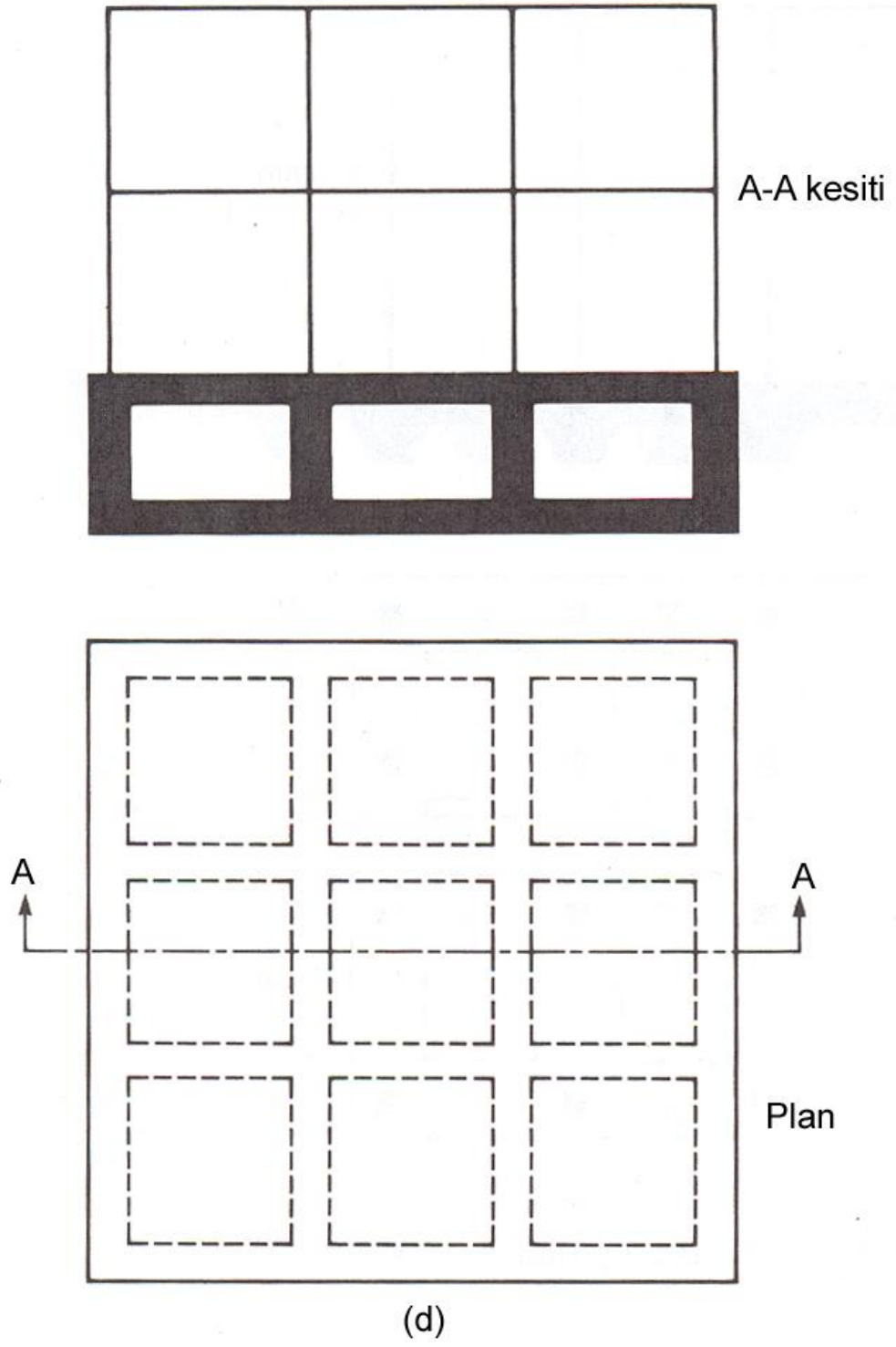
c) Kirişler ve döşeme (şekil 3.1.c). Kirişler her doğrultuda devam edebilir ve kolonlar, kirişlerin keşişim noktalarında yer alırlar.

d) Taban duvarlı döşeme (şekil 3.1.d). Duvar radyenin rijitliğini artırmak için kullanılıyor.



(c)

Şekil 3.1 (c) Kirişler ve döşeme



Şekil 3.1 (d) Taban duvarlı döşeme

3.2 Radye Temellerin Taşıma Gücü

Bir radye temelin nihai taşıma gücü yüzeysel temeller için kullanılan aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir (Das, 1999)

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 0.5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i} \quad (3.1)$$

c = kohezyon

q = temel alt seviyesindeki efektif gerilme

γ = zeminin birim hacim ağırlığı

B = temelin genişliği(dairesel temel için çap)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = şekil katsayıları

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = derinlik katsayıları

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = yük eğim katsayıları

N_c, N_q, N_γ = taşıma gücü katsayıları

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 taşıma gücü, derinlik, şekil ve yük eğim katsayılarının uygun değerlerini göstermektedir. Net nihai taşıma gücü;

$$q_{net(u)} = q_u - q \quad (3.2)$$

olup

$$q = \gamma \cdot D_f \quad (3.3)$$

biçiminde tanımlıdır. (3.3) eşitliğinde D_f , temel derinliğine karşı gelmektedir.

Tablo3.1 Taşıma gücü katsayıları

ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \phi$	ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

^a After Vesic (1973)

İzin verilebilir net taşıma gücünün hesabı için uygun bir güvenlik katsayısı kullanılmalıdır. Kıl zemindeki radye temellerde ölü yük ve maksimum hareketli yük altında güvenlik katsayısı 3 ten az seçilmemelidir. Kumlu zeminlerdeki radye temellerde genellikle güvenlik katsayısı 3 alınabilir.

Suya doygun killerde, $\phi = 0$ durumunda, düşey yük durumu için (3.1),

$$q_u = c_u \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} + q \quad (3.4)$$

eşitliğine dönüşür. c_u = drenajsız kohezyon

$\phi = 0$ için, Tablo 3.2' den

$$F_{cs} = 1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c) = 1 + (B/L) \cdot (1/5.14) = 1 + 0.195B/L \quad (3.5)$$

ve

$$F_{cd} = 1 + 0.4(D_f/B) \quad (3.6)$$

olur. Bu şekil ve derinlik katsayıları (3.4)'te yerine konursa

$$q_u = 5.14c_u(1 + 0.195B/L).(1 + 0.4D_f/B) + q \quad (3.7)$$

eşitliği elde edilir. Dolayısıyla net nihai taşıma gücü:

$$q_{net(u)} = q_u - q = 5.14c_u(1 + 0.195B/L).(1 + 0.4D_f/B) \quad (3.8)$$

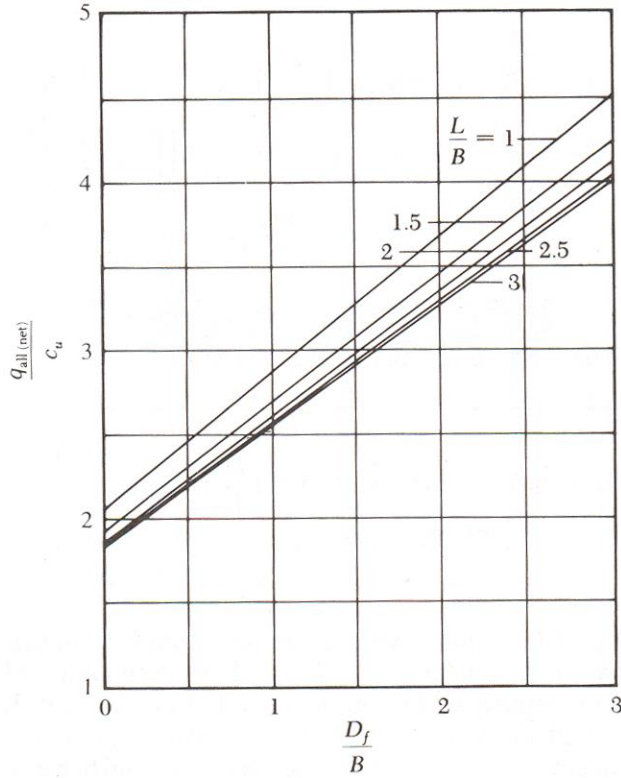
olur. Güvenlik katsayısının, (FS), 3 değeri için zeminin taşıma gücü;

$$q_{all(net)} = q_{u(net)}/FS = 1.713c_u(1 + 0.195B/L).(1 + 0.4D_f/B) \quad (3.9)$$

Tablo 3.2 Önerilen şekil, derinlik ve eğim katsayıları

Faktör	İlişki	Kaynak
Şekil ^a	$F_{cs} = 1 + (B \cdot N_q) / (L \cdot N_c)$	De Beer(1970)
	$F_{qs} = 1 + (B \cdot \tan \phi / L$	Hansen(1970)
	$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \cdot B / L$	
	L= temelin boyu, (L>B)	
Derinlik ^b	Durum(a) $D_f / B \leq 1$	Hansen(1970)
	$F_{cd} = 1 + (0.4 \cdot D_f / B)$	
	$F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot (D_f / B)$	
	$F_{\gamma d} = 1$	
	Durum(b) $D_f / B > 1$	
	$F_{cd} = 1 + [0.4 \cdot \tan^{-1}(D_f / B)]$	
	$F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1}(D_f / B)$	
	$F_{\gamma d} = 1$	
Eğim	$F_{ci} = F_{qi} = [1 - (\beta^0/90^0)^2]$	
Meyerhof(1963);Hanna ve		
	$F_{\gamma i} = [1 - (\beta/\phi)^2]$	Meyerhof(1981)
β = temele etkiyen yükün düşeyle yaptığı açı		
^a Bu derinlik faktörleri kapsamlı laboratuvar deneylerine dayanan ampirik eşitliklerdir.		
^b $\tan^{-1}(D_f / B)$ katsayısı radyan cinsindendir.		

Şekil 3.2, L/B ve D_f/B ’nin değişen değerleri için $q_{all(net)}/c_u$ ’nun (3.9) eşitliğine göre değişim grafiğini göstermektedir.



Şekil 3.2 $q_{all(net)}/c_u$ ’nun D_f/B ile değişimi ($FS = 3$)

Granüler zeminlerdeki radye temellerin net izin verilebilir taşıma gücü, standart penetrasyon sayılarından elde edilebilir:

$$q_{all(net)}(kN/m^2) = 11.98 N_{cor} [(3.28B+1)/3.28B]^2 \cdot F_d \cdot (S_e/25.4) \quad (3.10)$$

yazılabilir. N_{cor} = düzeltilmiş standart penetrasyon direnci

B = genişlik

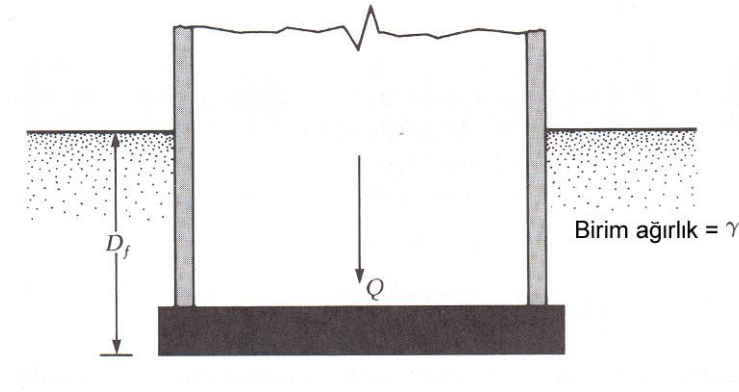
$$F_d = 1 + 0.33(D_f/B) \leq 1.33$$

S_e = Oturma(mm)

Genişlik, B , büyük olduğunda bir önceki eşitlik $3.28B+1 = 3.28B$ varsayımı yapılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_{all(net)}(kN/m^2) = 11.98 N_{cor} \cdot F_d \cdot (S_e/25.4) = 11.98 N_{cor} [1 + 0.33(D_f/B)] \cdot [S_e(mm)/25.4] \leq 15.93 N_{cor} \cdot [S_e(mm)/25.4] \quad (3.11)$$

Bir temel üzerindeki net basınç (Şekil 3.3) :



Şekil 3.3 Bir radye temelden dolayı zeminde oluşan net basıncın tanımlanması

$$q = Q/A - \gamma \cdot D_f \quad (3.12)$$

olarak yazılabilir. Q = yapının ölü yükü ve hareketli yük

A = radyenin alanı

Bütün durumlarda $q \leq q_{all(net)}$ olmalıdır (Das, 1999)

Standart penetrasyon test değerlerinden izin verilen taşıma gücünün, (q_a), bulunması için verilen eşitlikler Tablo 3.3’da gösterilmiştir (Cernica, 1995).

Tablo 3.3 SPT değerlerinden izin verilen taşıma gücünün bulunması için verilen eşitlikler

Meyerhof	Bowles	
$q_a = 12 N k_d$	$q_a = 20 N k_d$	$B \leq 1.22m$

$$k_d = 1 + 0.33 D_f/B \leq 1.33 \quad (3.13)$$

3.3 Radye Temellerde Farklı Oturmalar

Amerikan Beton Enstitüsü Komitesi 336 (1998) radye temellerin farklı oturmalarının hesabı için aşağıdaki metodu önermiştir. Bu metoda göre rijitlik çarpanı, K_r ;

$$K_r = E' \cdot I_b / E_s \cdot B^3 \quad (3.14)$$

bağıntısıyla bulunur. E' = yapıda kullanılan malzemenin elastisite modülü

E_s = zeminin elastisite modülü

B = temelin genişliği

I_b = yapının birim boy için atalet momenti

$E' \cdot I_b$ terimi;

$$E' \cdot I_b = E' \cdot (I_F + \sum I_b + \sum ah^3/12) \quad (3.15)$$

olarak yazılabilir. $E' \cdot I_b$ = üstyapı ve temelin birim boy için eğilme rijitliği

$\sum E' \cdot I_b$ = çerçeve elemanların eğilme rijitliği

$\sum E' \cdot ah^3/12$ = perde duvarların eğilme rijitliği

a = perde duvarın kalınlığı

b = perde duvarın yüksekliği

$E' \cdot I_F$ = temelin rijitliği

K_r değeri esas alınarak, farklı oturmanın toplam oturmaya oranı, δ , aşağıdaki şekilde bulunabilir:

1. Eğer $K_r > 0.5$ ise radye rijit kabul edilebilir ve $\delta = 0$ olur.
2. Eğer $K_r = 0.5$ ise $\delta \approx 1$ alınabilir.
3. Eğer $K_r = 0$ ise kare radyeler için, $(B/L=1)$, $\delta = 0.35$ ve uzun radyeler için, $(B/L \neq 0)$, $\delta = 0.5$ alınabilir.

Radye temellerde oturmalar, zemine gelen net basınçların azaltılması yoluyla küçültülebilir. Bu da temel derinliği, D_f , artırılarak sağlanabilir. Bu artış, özellikle büyük konsolidasyon oturmalarının meydana geldiği yumuşak zeminlerdeki radye temellerde önem kazanır (Das, 1999).

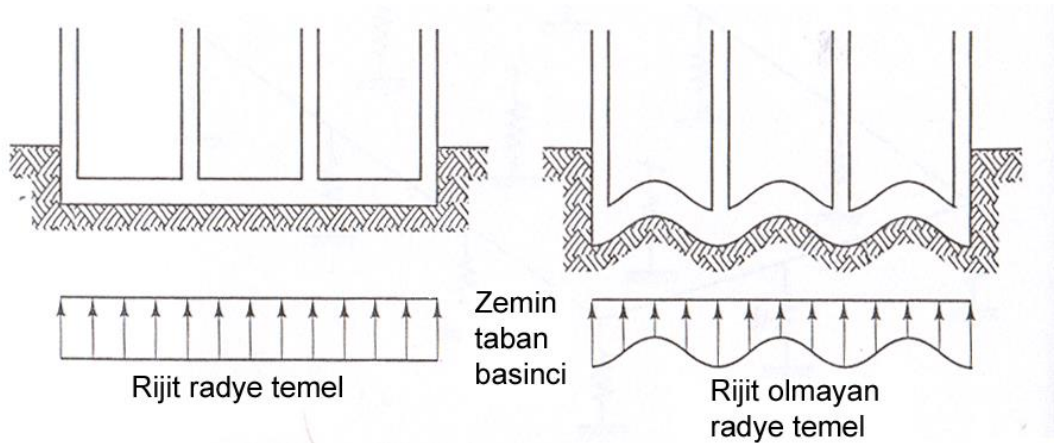
3.4 Radye Temellerin Tasarım Metodları

Radye temellerin tasarım ve analiz metodları, rijit ve rijit olmayan metodlar olmak üzere 2 kısma ayrılabilir. Her iki metod da farklı oturmaların ve eğilme gerilmelerinin bulunması için geliştirilmiştir.

3.4.1 Rijit Metod

Geleneksel metod olarak da bilinen bu metod en basit metottur (Teng, 1962). Metod, radyenin sonsuz rijit olduğunu kabul eder, eğilmeler ihmal edilebilir ve zemin lineer elastik varsayılmıştır. Aynı zamanda taban basıncı dağılımı, eğer eksenel tekil yük varsa üniform; eksenel olmayan yük veya moment varsa temel boyunca lineer olarak değişir.

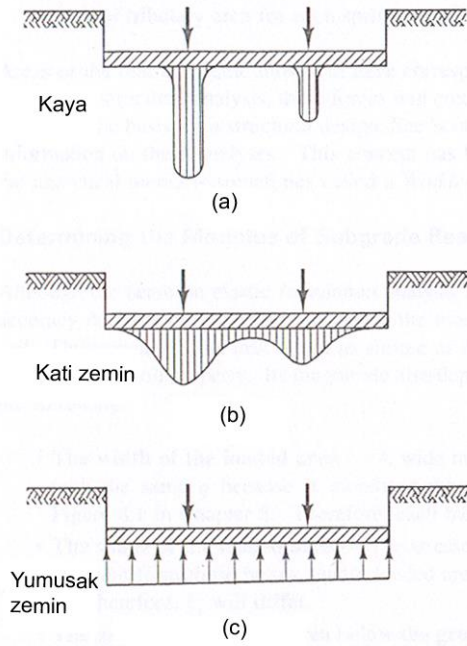
Radye gerçekte rijit değildir bu yüzden kolonların altındaki oturmalar, yüklenmemiş alanlardaki oturmalarından daha büyüktür (Şekil 3.4). Bu farklı oturmalar, zemin taban basıncında ve radye eğilme gerilmelerinde değişikliklere neden olmaktadır.



Şekil 3.4 Rijit ve rijit olmayan radye temeller altında oluşan taban basınçları

3.4.2 Rijit Olmayan Metod

Radyedeki eğilmeleri ve üniform olmayan zemin taban basınçlarını gözönüne alan bu metod, radyedeki eğilmelerin daha kesin hesaplanmasına olanak verir ve dolayısıyla daha ekonomik ve güvenilir bir tasarım yapılmasını sağlar. Şekil 3.5, zeminin daha rijit olduğu yerlerde, taban basıncının kolon altlarında daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu yüzden, rijit olmayan metod özellikle rijit zeminlerde önem kazanmaktadır.



Şekil 3.5 Bir radye temel altında oluşan taban basıncı dağılımı: (a) Kaya veya sert zemin; (b) Katı zemin; (c) Yumuşak zemin

Rijit olmayan metod 2 problemi de beraberinde getirmektedir.

- 1) Taban basıncı dağılımı basit bir şekle sahip olmadığı için daha karmaşık bir yapısal analize gereksinim vardır.
- 2) Oturma ve taban basıncı arasındaki ilişkinin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Birinci problem, modern yapısal analiz yazılımlarıyla kolayca çözümlenebilir. Bununla birlikte, ikinci problem çok daha zordur. Bu problemde genellikle elastik temel üzerinde kiriş analizi kullanılır.

3.5 Elastik Temel Üzerinde Kiriş Analizi

Elastik temel üzerinde kiriş analizi, taban basıncıyla oturma arasında yatak katsayısını, k_s , kullanarak bir ilişki tanımlar.

$$k_s = q / \delta \quad (3.13)$$

q = taban basıncı

δ = oturma

Dolayısıyla zemin, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi, herbiri k_s rijitliğine sahip yaylardan oluşan bir yatak olarak modellenebilir. Yay kuvvetlerinin toplamı, uygulanan yapı yüklerinin ve radyenin ağırlığının toplamına eşit olmalıdır:

$$P + W_f = \int q \cdot dA = \int \delta \cdot k_s \cdot dA \quad (3.14)$$

P = Yapı ağırlığı + uygulanan diğer düşey yükler

W_f = Radyenin ağırlığı

A = Radye – zemin temas alanı

dA = Her bir yay için temas alanı

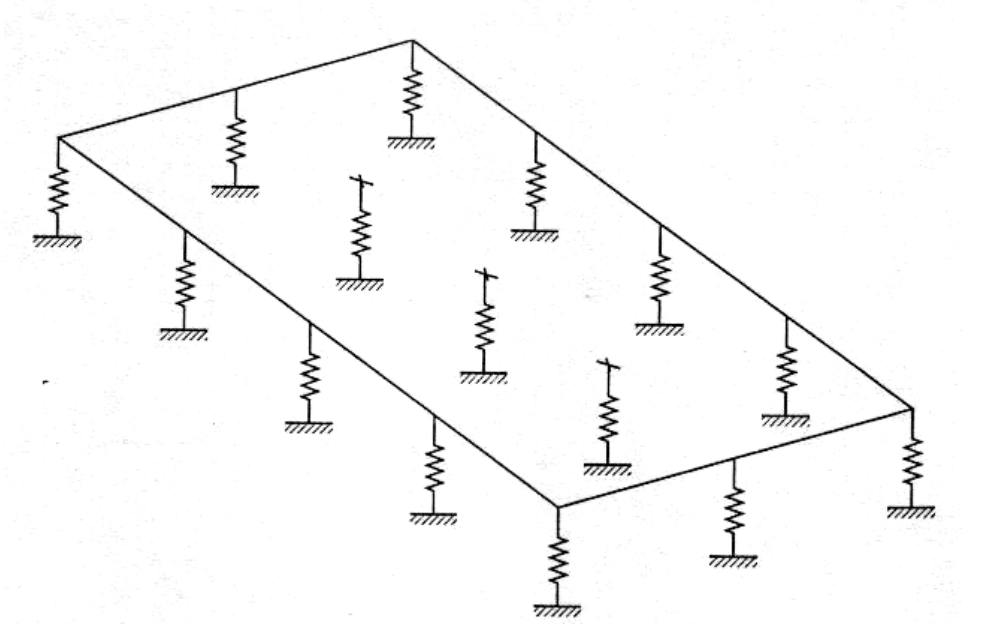
3.5.1 Yatak Katsayısının Belirlenmesi

Elastik zemin üzerinde kiriş analizi, rijit radye analizine göre daha üstün olmasına rağmen doğruluğu, zemin yatak katsayısının, k_s , doğru olarak tanımlanmasına bağlıdır. Yatak katsayısının büyüklüğü aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

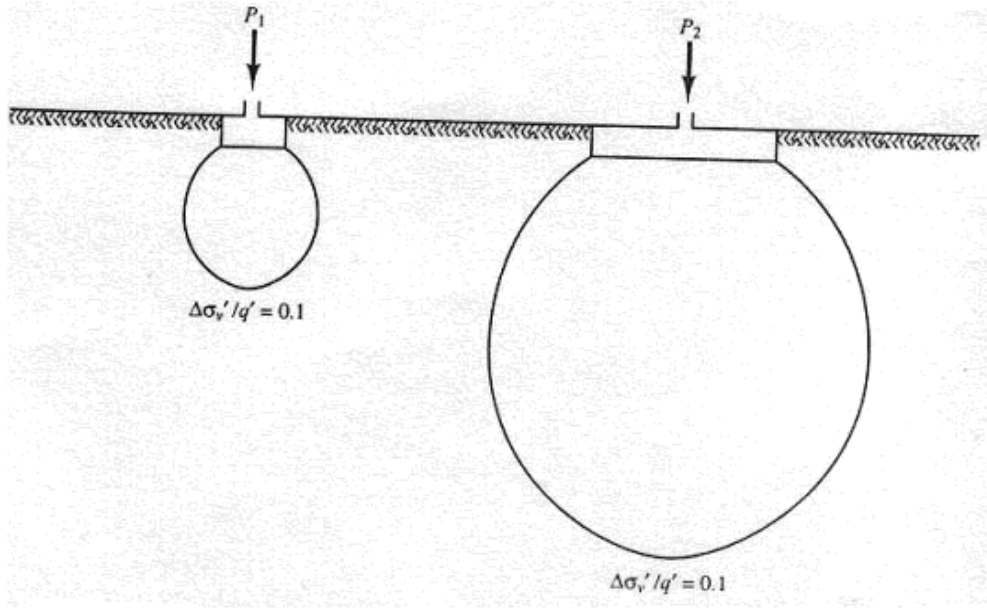
a) Yüklenen alanın genişliği: Geniş bir radye, aynı yüklemeye maruz dar bir radyeden daha fazla oturma yapar. Çünkü geniş bir radye zemini daha büyük derinlikte mobilize eder (Şekil 3.7). Dolayısıyla her bir radye farklı yatak katsayısına sahiptir.

b) Yüklenen alanın şekli: Dar ve uzun alanlar altındaki gerilmeler, karesel alanların altında oluşan gerilmelerden farklıdır (Şekil 3.8). Dolayısıyla yatak katsayıları da farklıdır.

- b) Yüklenen alanın zemin yüzeyinden derinliği: Daha büyük derinliklerde, zeminde q yükünden dolayı gerilme değişimi başlangıç gerilmesinin küçük bir yüzdesine eşittir, dolayısıyla oturma daha küçüktür ve yatak katsayısı daha büyüktür



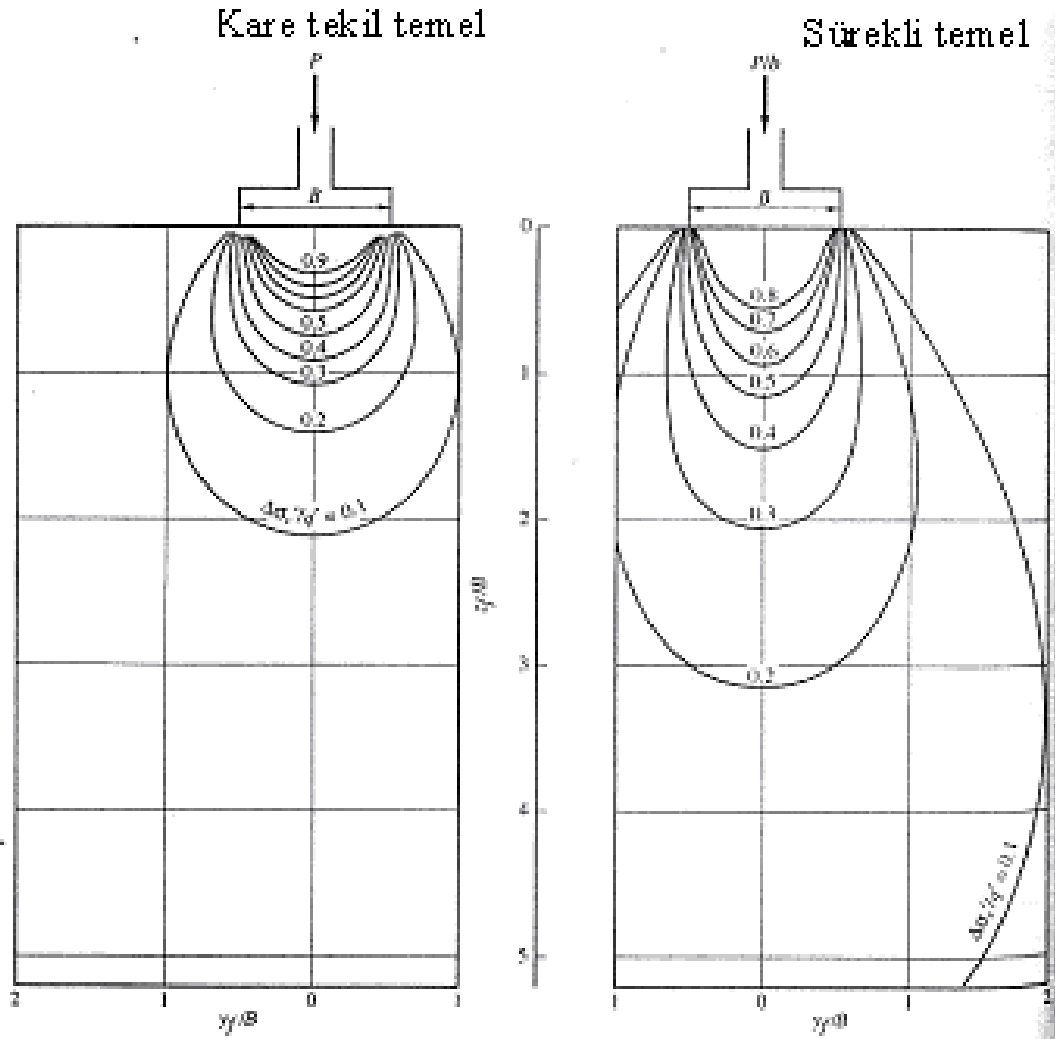
Şekil 3.6 Elastik zemin üzerinde kiriş analizi



Şekil 3.7 Yüklenen alanın büyüklüğünün gerilme dağılımı üzerindeki etkisi

- d) Radyenin yeri: Zemini doğru olarak modelleyebilmek için, yatak katsayısı, k_s , radye kenarlarında daha büyük, merkezde daha küçük olmalıdır.
- e) Zaman: Derin sıkışabilir zeminlerdeki radyelerin oturmalarının büyük bölümü konsolidasyondan kaynaklanır ve yıllar sonra ortaya çıkabilir. Dolayısıyla, uzun dönem ve kısa dönem durumlarının her ikisi de düşünülmelidir.

Yukarıdaki faktörler tanımlanabilse bile basit bir k_s değeri yoktur. Çünkü q - δ eğrisi doğrusal değildir (Şekil 3.9).



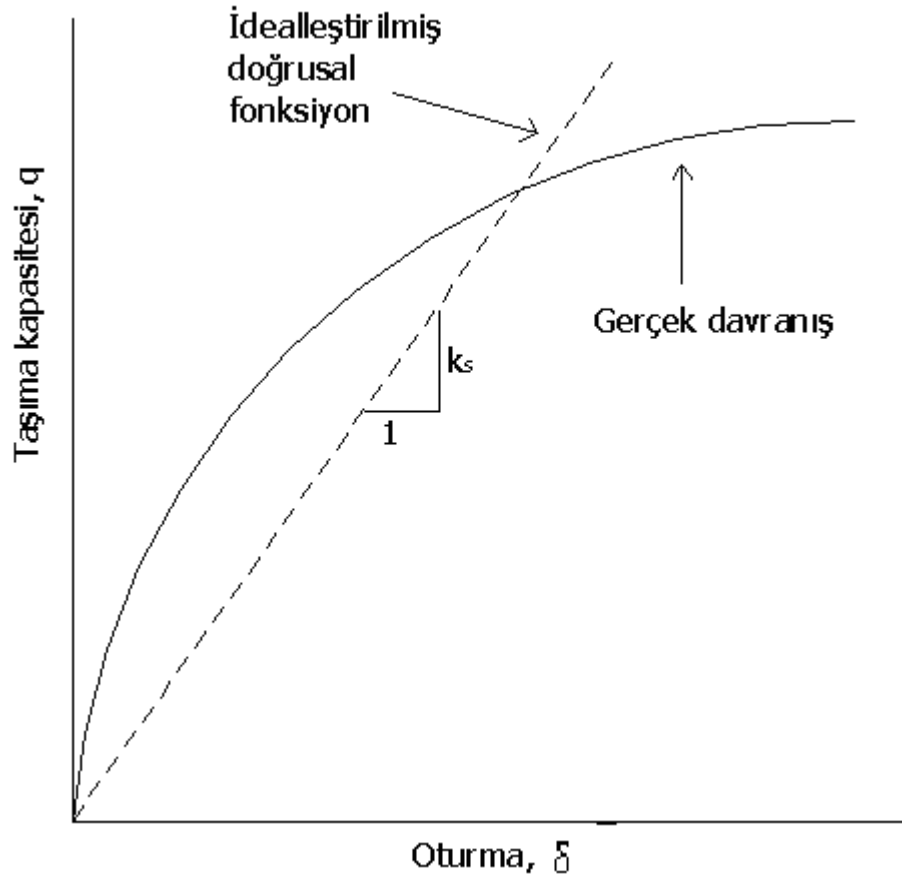
y_f = temelin merkezinden olan yatay uzaklık

z_f = temel tabanı altındaki derinlik

$\Delta\sigma_v$ = düşey efektif gerilmedeki değişim

q' = net taban basıncı

Şekil 3.8 Kare tekil ve sürekli temeller için gerilme soğanları



Şekil 3.9 q - δ eğrisi

4. KAZIKLI RADYE TEMELLER

4.1 Tanımlar

Yapı temellerinin tasarımında, yapıdan gelen yükleri taşımak için genel olarak öncelikle radye temel gibi yüzeysel temel sistemlerinin kullanılması düşünülür. Eğer yüzeysel temel sistemleri uygun değilse, tüm yüklerin kazıklar tarafından taşındığını varsayan kazıklı temel sistemi düşünülmelidir. Kazıkların, temelin performansını ve güvenliğini azaltmadan ekonomi sağlayacak şekilde, radyenin oturmalarını ve farklı oturmaları azaltıcı elemanlar olarak kullanılması, son yıllarda artan bir şekilde uygulama alanı bulmaktadır. Hem kazıkların hem de radyenin kullanıldığı bu temel sistemine kazık destekli radye temel ya da kazıklı radye temel adı verilmektedir (Poulos, 2001). Kazıklı radye temel kazık, zemin ve radye gibi 3 taşıyıcı elemandan oluşan kompozit bir yapıdır. Hem kazıkların hem de radyenin yük taşıdığı ve her iki durumda da güvenlik katsayılarının gözönüne alındığı kazıklı radye temel tasarımı, kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımı hesaba katılır ve kazıklar, karşılaştırılabilir tekil kazığın nihai taşıma kapasitesi ve hatta daha fazla yük altında kullanılabilir. Bundan dolayı, geleneksel kazıklı temellerle karşılaştırıldığında, kazıklı radye temel ekonomik bir şekilde oturmaların ve farklı oturmaların azaltılmasına imkan verir (Reul ve Randolph, 2003). Bu yapıda kazıklar genellikle genel stabiliteyi sağlamak için değil de oturma azaltıcı elemanlar olarak kullanılmaktadır (Burland v.d., 1977). Dolayısıyla, kazıklı radye sistemlerine gereksinim, çoğu kez temel zeminin taşıma gücünün üstyapı yüklerini sadece radye ile taşıyabildiği, ancak oturma miktarlarının öngörülen sınırların üzerinde gerçekleştiği durumlarda ortaya çıkar (Birand, 2001).

4.2 Kazıklı Radye Temeller İçin Uygun Olan ve Olmayan Koşullar

Kazıklı radye temellerin en etkin uygulaması, radyenin taşıma kapasitesinin yeterli olduğu, fakat toplam ve/veya farklı oturmaların izin verilen sınırları aştığı

durumlarda ortaya çıkmaktadır. Poulos (1991), idealleştirilmiş zemin profilleri üzerinde çalışmalar yapmış aşağıdaki durumların uygun olabileceğini belirtmiştir:

- a) Göreceli olarak katı kilden oluşan zemin profilleri
- b) Göreceli olarak sıkı kumdan oluşan zemin profilleri

Her iki durumda, mesnet görevinden çok, temel performansını artırıcı şekilde çalışan kazıklarla birlikte radye yeterli yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini sağlayabilir.

Bu durumların aksine, uygun olmayan durumlar ise şunlardır:

- a) Zemin yüzeyine yakın yerlerde yumuşak kil içeren zemin profilleri
- b) Zemin yüzeyine yakın yerlerde gevşek kum içeren zemin profilleri
- c) Göreceli yüzeysel derinliklerde yumuşak sıkışabilir tabakalar içeren zemin profilleri
- d) Konsolidasyon oturmalarına maruz kalma olasılığı yüksek zemin profilleri
- e) Dış etkilerden dolayı şişme hareketleri yapabilecek zemin profilleri

İlk iki durumda radye, yeterli yük taşıma kapasitesi ve rijitliği sağlayamazken, üçüncü durumda alttaki sıkışabilir tabakaların uzun dönemdeki oturmaları, radyenin temele uzun dönemdeki rijitlik katkısını azaltabilir. Son iki durum dikkatle ele alınmalıdır. Örnek olarak su çekilmesi veya aktif kil zeminin büzülmesi gibi sebeplerden kaynaklanan konsolidasyon oturmaları, radyeyle zemin arasındaki temasın ortadan kalkmasına ve böylece kazıklara gelen yükün ve temel oturmasının artmasına neden olabilir. Şişebilen zeminlerde ise, şişen zeminin radye üzerindeki etkisinden dolayı, kazıklarda önemli derecede çekme kuvvetleri oluşabilir.

Poulos (1993), şişme veya büzülme sebebiyle gerilmelerde meydana gelen değişikliklerin kazıklı radye temel sistemi üzerindeki etkisini sınır elemanlar yöntemiyle incelemiş ve şu sonuçları elde etmiştir:

- 1) Konsolidasyon sebebiyle oluşan negatif çevre sürtünmesi, kazıklarda basınç gerilmesi artışına neden olmuş ve radyenin ağırlığının da kazıklar tarafından taşınması gerekmiştir.

- 2) Şişebilen zeminlerde, zemin hareketi ve kazıklı radye temel altında oluşan gerilmeler kazıklarda çekme gerilmesi artışı meydana getirmiştir.

Kazıklı radye temellerin pozitif etkilerini ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- 1) Kazıdan dolayı oluşacak kabarmaların azaltılması
- 2) Oturmaların, farklı oturmların ve dönmelerin azaltılması
- 3) Büyük yük eksantrisitelerinin olması durumunda, etkilerin ve tepkilerin merkezileştirilmesi.
- 4) Radyenin eğilme momentlerinin azaltılması (Katzenbach v.d.,1998).

4.3 Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı

Poulos (1991), kazıklı radye temellerin davranışını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- a) Radyenin özellikleri (rijitlik, şekil, boyutlar)
- b) Kazık özellikleri (sayı, çap, boy, yerleşim, rijitlik)
- c) Yükleme özellikleri (tekil yükleme, düzgün yayılı yük durumu)
- d) Zemin özellikleri (zemin profili, rijitlik, taşıma gücü)

Poulos v.d.(1997)'ye göre kazıklı radye temellerin analizi için kullanılacak analiz yöntemleri aşağıdaki şartları içermelidir:

- 1) Radye-radye, kazık-kazık,radye-kazık ve kazık-radye arasındaki etkileşimi de içeren kazık-radye-zemin etkileşimlerini mantıklı bir biçimde değerlendirilmesi
- 2) Kazıkların sayısının, yerlerinin ve özelliklerinin değişimi
- 3) Gerçekçi zemin profillerinin kullanımı
- 4) Kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımının hesaplanması
- 5) Kazıklarda, basınç ve çekme durumunda son taşıma gücüne kadar yüklemeyi ve temelde doğrusal olmayan yük-deformasyon davranışı

- 6) Tüm temel sisteminde toplam ve farklı oturmaların hesaplanması
- 7) Radyenin yapısal tasarımı için eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin hesaplanması

Kazıklı radye temellerinin tasarımında gözönünde bulundurulması gereken özellikler aşağıdaki gibidir:

- 1) Düşey, yatay ve moment yüklemeleri için son taşıma güçleri
- 2) Maksimum oturma
- 3) Farklı oturma
- 4) Radyenin yapısal tasarımı için, radyede oluşan momentler ve kesme kuvvetleri
- 5) Kazıkların yapısal tasarımı için, kazıklarda oluşan momentler ve kesme kuvvetleri

Literatürdeki çalışmaların çoğu, kazıklı temellerin düşey yükler altında taşıma kapasitesi ve oturmasına yönelik olmasına rağmen, bazı durumlarda rüzgar yükünden dolayı oluşacak dönme momentleri kazık gereksinimini belirleyebilmektedir (Poulos, 2001).

Kazıklı radye temeller için gerçekçi bir tasarım aşağıdaki 3 ana adımı içermelidir:

- 1) Kazıklı radye temelin kullanılabilirliğinin belirlendiği, tasarım gereksinimlerinin karşılanması için gerekli kazık sayısının belirlendiği ilk aşama
- 2) Kazıklara nerelerde ihtiyaç duyulduğunu belirten ve kazıkların genel özelliklerinin belirlendiği ikinci aşama
- 3) Optimum kazık sayısının, kazıkların yerleşiminin belirlendiği, radyede oturmaların, eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin; kazıklarda ise yük ve moment dağılımlarını hesaplandığı detaylı üçüncü son aşama.

İlk iki aşama karmaşık bilgisayar programları olmadan yürütülebilecek basit hesaplamalar içerir. Son aşama ise zemin, radye ve kazıklar arasındaki etkileşimi

hesaba katan gerçekçi bir bilgisayar programına ihtiyaç duyar. Üstyapının etkisi de dikkate alınmalıdır (Poulos, 2001).

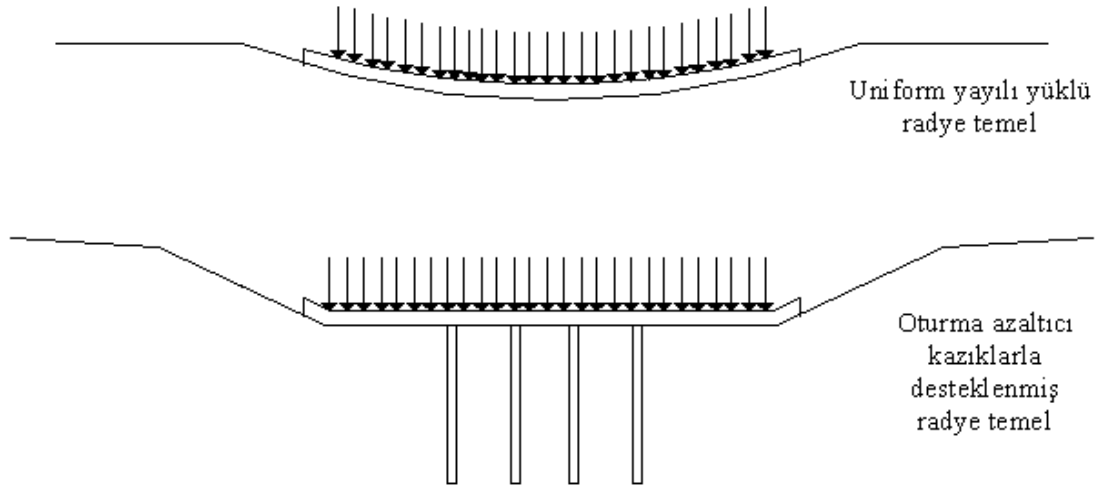
4.4 Alternatif Tasarım Stratejileri

Randolph (1994), kazıklı radye temellerin tasarımıyla ilgili 3 farklı tasarım yaklaşımı tanımlamıştır:

- 1) Radyenin yük taşımasına izin verilen, fakat kazıkların yükün büyük bir kısmını taşıyacak kazık grubu olarak tasarlandığı geleneksel yaklaşım
- 2) Kazıkların tipik olarak son taşıma güçlerinin %70-%80'ine karşı gelen, sünme davranışının etkin hale geldiği çalışma yükünde tutulduğu ve kazıkların radyeyle zemin arasındaki taban basıncını, zeminin ön konsolidasyon basıncından düşük tutabilecek sayıda tasarlandıkları “creep piling” yaklaşımı
- 3) Kazıkların ortalama oturmalarından çok farklı oturmaları azaltmak için stratejik olarak yerleştirildiği farklı oturma kontrolü yaklaşımı.

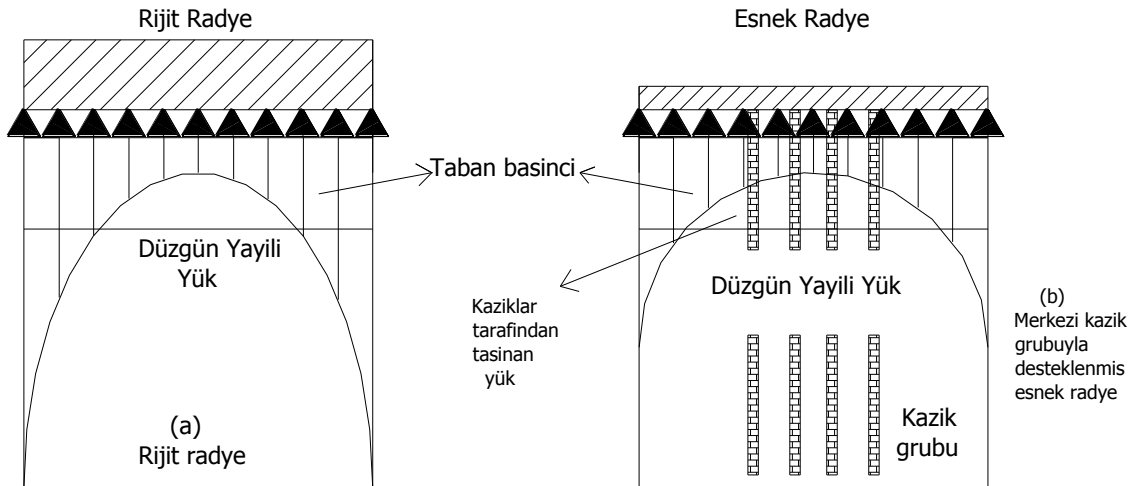
Cooke v.d. (1981) tarafından birinci yaklaşıma örnek olarak verilen vaka analizinde, standart bir kazık grubu olarak tasarlanan bir temelde, kazık aralığı/kazık çapı (s/d) oranı 3.6 olan 350 kazığa ihtiyaç duyulmaktadır. Sonradan yapılan hesaplamalar ve detaylı ölçümler, gerekli kazık sayısının 100'den daha az olduğunu göstermiştir (Padfield ve Sharrock, 1983; Randolph ve Clancy, 1993).

Kazıkların oturma azaltıcı elemanlar olarak kullanılması Randolph (1994) tarafından açıklanmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Buna göre üst yapı yükünün planda düzgün dağıldığı kabul edilirse, radyenin oturma eğilimi bir “tabak” şeklinde olacaktır. Temelin merkez bölgesine eklenecek son taşıma güçlerine yakın yüklenmiş birkaç kazık bu eğilimi azaltarak oturmaları minimuma indirecektir.



Şekil 4.1 Kazıkların oturma azaltıcı elemanlar olarak kullanılması (Randolph, 1994)

Elastik bir zemine oturan, düzgün yayılı yüklemeye maruz rijit bir radye altındaki taban basıncı dağılımı Şekil 4.2.a’da gösterilmiştir. Bu taban basıncı dağılımı düzgün yayılı yüklemeye maruz esnek bir radye altında da elde edilebilirse, farklı oturmalar önemli ölçüde azaltılabilir. Bu, yerleştirildiği alandaki taban basıncını azaltarak oturmaların azalmasına neden olan, radyenin merkez bölgesine yerleştirilecek küçük bir kazık grubuyla yapılabilir (Horikoshi ve Randolph, 1998).



Şekil 4.2 Oturma azaltıcı kazıkların çalışma prensibi (Randolph, 1994)

Kile (kaolin) oturan radye ve kazıklı radye temellerin oturma davranışlarını incelemek amacıyla yapılan santrifüj deneyleri sonucunda, merkezde geleneksel yöntemlere göre belirlenen kazık sayısının sadece %13'ü kadar kazık kullanmanın, farklı oturmaları önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir (Horikoshi ve Randolph, 1996).

Davis ve Poulos (1972) ve Poulos ve Davis (1980) tarafından elastik koşullarda drenajsız şartlar için üç doğrusal parçadan oluşan yük-oturma davranışı gösteriminden yola çıkarak çeşitli tasarım felsefeleri için kazıklı radye temel sisteminin yük-oturma davranışı Şekil 4.3'te gösterilmiştir (Poulos, 2001).

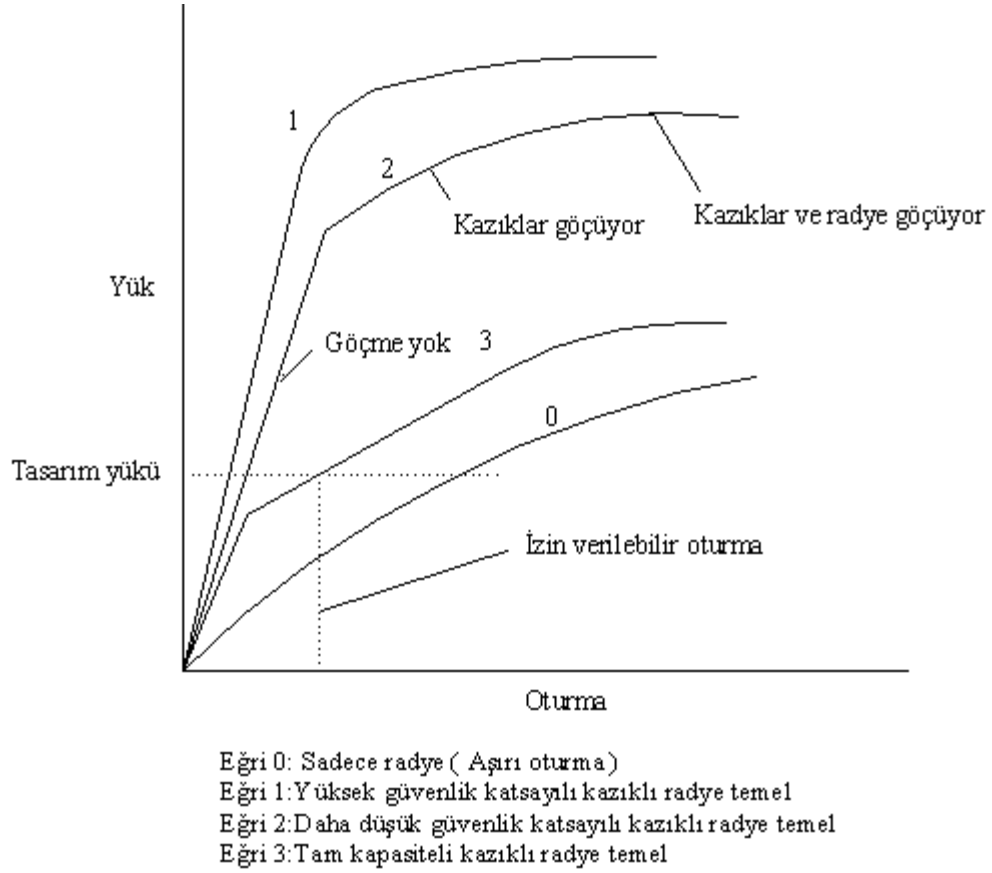
Eğrilerin birinci bölümünde kazıklar ve temel lineer elastik davranmakta, ikinci bölümde kazıklar son taşıma güçlerine ulaştıktan sonra radye yük taşımaya devam etmekte, son bölümde de temel sistemi göçmektedir. Şekil 4.3'te 0 eğrisi tasarım yükünde aşırı oturmaların gözlemlendiği radye temelin yalnız kullanıldığı durumu göstermektedir. 1 eğrisi, kazıklı radye temel sisteminin davranışının kazık grubu tarafından belirlendiği ve tasarım yükünde büyük ölçüde doğrusal davranışın gözlemlendiği geleneksel yaklaşımı temsil etmektedir. Bu durumda kazıklar yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. 2 eğrisi, daha az sayıda kazık kullanılan ve radye temelin 1 eğrisindekinden daha fazla yük taşıdığı, ancak taşıma gücü açısından güvenlik katsayısının daha düşük olduğu "creep piling" durumunu temsil etmektedir.

3 eğrisi ise, kazıkların oturma azaltıcı olarak kullanıldıkları ve tasarım yükünde kapasitelerinin tümünün kullanıldığı durumu göstermektedir. Buna göre tasarım yükünde yük-oturma davranışı doğrusal olmayabilir fakat tüm temel sistemi için güvenlik katsayısı sınır değerdedir. Ayrıca, oturma açısından da bir sorun ortaya çıkmaz. 3. eğriye göre yapılan tasarım 1 ve 2 eğrilerine göre yapılan tasarımlardan daha ekonomik olacaktır (Poulos, 2001).

4.5 Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kazıklı radye temellerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir, bunlardan bazıları Poulos v.d. (1997) tarafından özetlenmiştir. Analiz yöntemleri 3 sınıfta tanımlanmıştır:

- 1) Basitleştirilmiş hesap yöntemleri (Poulos ve Davis, 1980; Randolph, 1983, 1994; Van Impe ve Clerk, 1995; Burland, 1995):



Şekil 4.3 Çeşitli tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radye temelin yük-oturma davranışı

Bu yöntemler, zemin profilinin ve radye üzerindeki yük koşullarının modellenmesine yönelik basitleştirmeleri içerir.

2) Yaklaşık bilgisayar tabanlı yöntemler

- Radyenin şerit tekil temellerle ve kazıkların da uygun rijitliğe sahip yaylarla temsil edildiği yaylar üzerinde şerit yaklaşımı (Poulos, 1991).
- Radyenin plakla ve kazıkların yaylarla temsil edildiği yaylar üzerinde plak yaklaşımı (Clancy ve Randolph, 1993; Poulos, 1994; Viggiani, 1998; Anagnostopoulos ve Georgiadis, 1998).

3) Daha ileri bilgisayar tabanlı yöntemler

- Radyenin ve kazıkların ayrı ayrı parçalara bölünerek, elastik teoriye göre aralarındaki etkileşimin dikkate alındığı sınır eleman yöntemleri (Butterfield ve Banarjee, 1971; Brown ve Wiesner, 1975; Kuwabara, 1989; Sinha, 1997).

- b) Kazıkların sınır eleman yöntemiyle, radyenin sonlu eleman yöntemiyle incelendiği birleşik yöntemler (Hain ve Lee, 1978; Ta ve Small, 1996; Franke v.d. 1994; Russo ve Viggiani, 1998).
- c) Temel sistemini düzlem gerilme (Desai, 1974) veya eksenel simetrik problem (Hooper, 1974) olarak ve sonlu fark analiziyle (Hewitt ve Gue, 1994) analiz eden basitleştirilmiş sonlu eleman yöntemleri.
- d) 3 boyutlu sonlu eleman yöntemleri (Zhuang v.d. 1991; Lee, 1993; Wang, 1996; Katzenbach v.d., 1998).

4.5.1. Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri

4.5.1.1. Poulos ve Davis (1980)

Tüm sistemin yük-oturma eğrisinin basitleştirildiği elle hesap yöntemidir. Kazıklı radye temelin rijitliğinin, sadece radyenin rijitliğinin ve kazıkların ve radyenin son taşıma güçlerinin hesaplanmasında elastik çözümler kullanır. Radyenin esnekliği dikkate alınmaz ve sadece tam rijit veya tam esnek radyeler analiz edilebilir.

4.5.1.2. Randolph (1983, 1994)

Randolph (1983, 1994), Kazıklı radye temelin rijitliği ile radye ve kazıklar arasındaki yük paylaşımı için yaklaşık denklemler geliştirmiştir. Birçok durum için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

Kazıkların ve radyenin rijitliği:

$$k_{pr} = \frac{1 - 0.6 \cdot \left(\frac{k_r}{k_p}\right)}{1 - 0.64 \cdot \left(\frac{k_r}{k_p}\right)} \cdot k_p \quad (4.1)$$

k_{pr} = kazıklı radye temelin rijitliği

k_r = radye temelin rijitliği

k_p = kazıkların rijitliği

Kazıklar tarafından taşınan yükün oranı:

$$\frac{P_r}{P_p} = \frac{0.2}{1 - 0.8 \cdot \left(\frac{k_r}{k_p}\right)} \cdot \frac{k_r}{k_p} \quad (4.2)$$

P_r = Radye tarafından taşınan yük

P_p = Kazıklar tarafından taşınan yük

Randolph'un yöntemi doğrusal davranan kazıklı radye temel sistemleriyle sınırlıdır, bu yüzden radyenin yük taşımasına izin verildiği temel sisteminin, kazık grubu olarak tasarlandığı geleneksel tasarım yöntemi için uygundur.

Randolph'un yaklaşımına benzer bir yaklaşım Franke (1994) tarafından ortaya konmuştur. Bu yöntem radye ve kazık rijitliklerinin yanında, tarafsız eksen kavramı yardımıyla kazık-radye ve radye-kazık etkileşimlerini de gözönüne almaktadır.

4.5.1.3. Poulos-Davis-Randolph (PDR) Yöntemi:

Bir kazıklı radye temelin basit yaklaşımlarla düşey taşıma gücü, aşağıdaki iki değerden düşük olanıdır:

- 1) Radyenin ve tüm kazıkların son taşıma güçleri toplamı
- 2) Kazıkları ve radyeyi içine alan bloğun son taşıma gücüne, blok dışında kalan radyenin son taşıma gücünün eklenmesiye bulunan toplam değer

Yük-oturma davranışı değerlendirilirken, Poulos ve Davis (1980) tarafından tarif edilen yaklaşıma benzer bir yaklaşım kullanılabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşım, Randolph (1994)'un kazıklar ve radye tarafından paylaşılan yükleri hesaplayan basit yöntemi kullanılarak genişletilebilir.

Kazıklı radye temelin Randolph (1994) tarafından tanımlanmış gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu yaklaşım kullanılarak kazıklı radye temelin rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

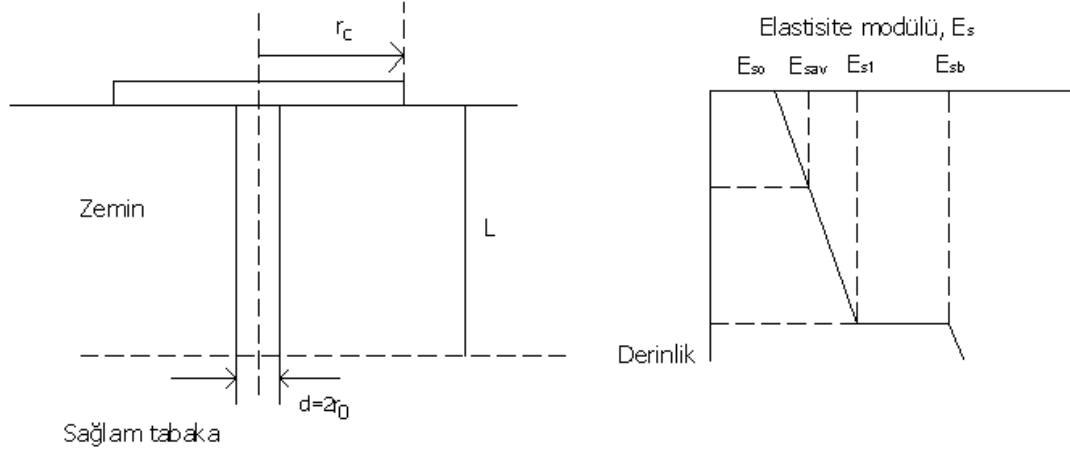
$$k_{pr} = \frac{k_p + k_r(1 - \alpha_{cp})}{1 - \alpha_{cp}^2 \cdot k_r \cdot k_p} \quad (4.3)$$

k_{pr} = kazıklı radye temelin rijitliği

k_p = kazık grubunun rijitliği

k_r = radyenin rijitliği

α_{cp} = radye-kazık etkileşim faktörü



Şekil 4.4 Kazıklı radye temel elemanının basitleştirilmiş gösterimi (Randolph, 1994)

Radyenin rijitliği, k_r , elastik teori yardımıyla Fraser ve Wardle (1976) ve Mayne ve Poulos (1999) tarafından verilen çözümler kullanılarak hesaplanabilir. Kazık grubunun rijitliği, k_p , elastik teori yardımıyla, Poulos ve Davis (1980), Fleming v.d. (1992) veya Poulos (1989) tarafından verilen yaklaşımlar kullanılarak hesaplanabilir. Son verilen yaklaşımlarda, tekil kazığın rijitliği elastik teori kullanılarak hesaplanmakta ve elastik çözümlerden yaklaşık olarak bulunan grup rijitliği etkinlik faktörüyle çarpılmaktadır.

Toplam yükün radye tarafından taşınan oranı:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{k_r(1 - \alpha_{cp})}{k_p + k_r(1 - \alpha_{cp})} = X \quad (4.4)$$

P_r = radye tarafından taşınan yük

P_t = toplam yük

Radye-kazık etkileşim faktörü, α_{cp} , aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\alpha_{cp} = 1 - \frac{\ln\left(\frac{r_c}{r_0}\right)}{\zeta} \quad (4.5)$$

r_c = kazık başlığının ortalama yarıçapı (radye alanının kazık sayısına bölünmesiyle elde edilen değer)

r_0 = kazık yarıçapı

$$\zeta = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right), r_m = \{0.25 + \xi[2.5\rho(1 - \nu) - 0.25]\}.L, \xi = \frac{E_{s1}}{E_{sb}}, \rho = \frac{E_{sav}}{E_{s1}}$$

ν = zeminin Poisson oranı

L = kazık boyu

E_{s1} = kazık uç seviyesinde zeminin elastisite modülü

E_{sb} = kazık ucu altında taşıyıcı tabakanın elastisite modülü

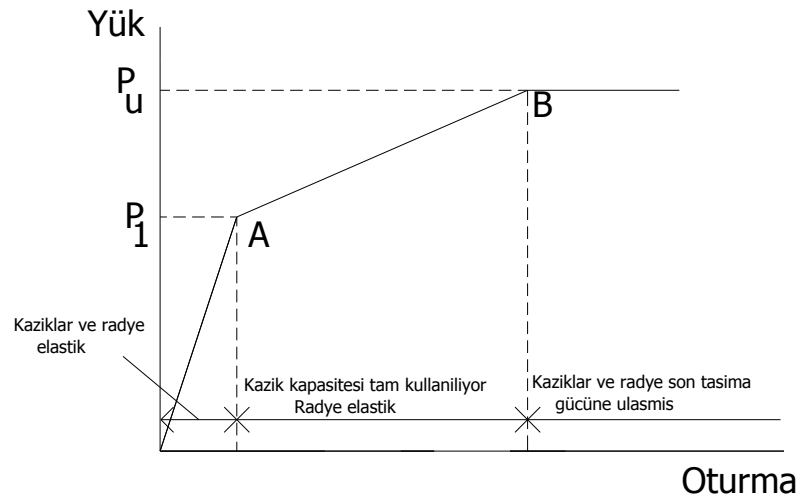
E_{sav} = kazık boyunca zeminin ortalama elastisite modülü

Yukarıda verilen denklemler kullanılarak Şekil 4.5'te verilen üç doğrusal parçalı yük-oturma eğrisi çizilebilir. Önce düşünülen kazık sayısı için (4.3) denkleminde kazıklı radye temelin rijitliği hesaplanır. Kazık kapasitesi tam mobilize olana kadar bu rijitlik kullanılır. Toplam yük, P_1 , uygulandığında, kazık kapasitesinin tam mobilize olduğu varsayımıyla, taşınan toplam yük:

$$P_1 = \frac{P_{up}}{1 - X} \quad (4.6)$$

olur. Bu denklemde, P_{up} gruptaki kazıkların son taşıma güçlerini, X ise kazıklar tarafından taşınan yük oranını göstermektedir.

Şekil 4.5'te A noktasından sonra, temel sisteminin rijitliği sadece radyenin rijitliğine eşittir ve bu durum kazıklı radye temel sistemi son taşıma gücüne (B noktası) ulaşınca kadar devam eder. Bu aşamadan sonra yük-oturma ilişkisi yatay olur (Poulos, 2001).



Şekil 4.5 Kazıklı radye temelin üç doğrusal parçadan oluşan yük-oturma davranışı (Randolph, 1994)

4.5.2. Yaklaşık Bilgisayar Tabanlı Yöntemler

4.5.2.1. Yaylar Üstünde Şerit Yaklaşımı:

Radye kesitinin şerit ve kazıkların yaylarla temsil edildiği bu yaklaşıma Poulos (1991) örnek verilebilir. Bu yöntemde dört etkileşim bileşeni (radye-radye, kazık-kazık, radye-kazık, kazık-radye) hesaba katılmakta, şerit dışında kalan kısmın etkisi de dikkate alınabilmektedir. Yöntem daha kapsamlı yöntemlerle uyumlu sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, radyede oluşacak burulma momentlerini gözönüne alamamaktadır.

Brown ve Wiesner (1975) ve Wiesner ve Brown (1976) bir kazıklı şerit için sonlu eleman analizi geliştirmişler ve bunun kazıklı radye temele uygulanabileceğini göstermişlerdir (Poulos v.d., 1997).

4.5.2.2 Yaylar Üstünde Plak Yaklaşımı:

Bu yaklaşımda, radye elastik bir plakla, kazıklar da bu plağı destekleyen yaylarla temsil edilmektedir.

Hongladaromp v.d. (1973) bazı etkileşimleri ihmal etmiş ve bu nedenle rijitlikler çok büyük çıkmıştır. Poulos (1994), plak için sonlu farklar yöntemini uygulamış, yaklaşık elastik çözümlerle çeşitli etkileşimleri tanımlamıştır. Bu yaklaşımda, son taşıma gücüne ulaşmış kazıkların, radye altındaki taşıma gücü göçmesinin ve düşey serbest zemin hareketlerinin temel sistemi üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.

Clancy ve Randolph (1993), kazıkların çubuk sonlu elemanlarla, radyenin iki boyutlu ince plak elemanlarla modellendiği, daha detaylı bir yaklaşım sunmuşlardır. Etkileşimin dört bileşeni (radye-radye, kazık-kazık, radye-kazık, kazık-radye) elastik analizler yardımıyla hesaba katılmıştır. Yöntem, temelin elastik davranışıyla sınırlıdır. Benzer bir yaklaşım Franke v.d. (1994) tarafından sunulmuştur. Doğrusal olmayan kazık davranışı, hiperbolik çevre ve taban davranışı özellikleri yardımıyla dikkate alınmıştır. Yamashita v.d. (1994), radyenin analizi için sonlu elemanların, kazıklar ve zeminin temsili için de uygun yayların kullanıldığı bir yaklaşım sunmuşlardır (Poulos v.d., 1997).

4.5.3. İleri Bilgisayar Tabanlı Yöntemler

4.5.3.1. Sınır Eleman Yöntemi

Bu yaklaşımda radye ve herbir kazık ayrı parçalara bölünür. Bu yaklaşıma göre yapılan ilk çalışmalardan biri Butterfield ve Banarjee (1971) tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada rijit kazık başlığı zemin yüzeyine oturan elastik zemindeki kazık grubu analiz edilmiştir. Kuwabara (1989), elastik bir zemin kütlesi içindeki bir kazıklı radye temelin analizini sunmuştur. Bu analizde radye rijit kabul edilmiş ve kazıkların sıkışabilirlikleri dikkate alınmıştır. Bu çalışma sonucunda, normal kazık aralıkları için elastik koşullarda radyenin küçük bir oranda yük taşıdığı bulunmuştur.

Poulos (1993), Kuwabara'nın analizini serbest zemin hareketlerine izin verecek ve radyeyle zemin arasındaki taban basınçlarını sınırlayacak şekilde genişletmiştir. Ayrıca kazıklarda, çekmede ve basınçta son yüklerinin kullanılmasına izin verilmiştir. Fakat bu sınıftaki diğer çalışmalarda olduğu gibi, rijit radye sınırlaması vardır.

4.5.3.2. Sınır Eleman ve Sonlu Eleman Yöntemlerinin Birlikte Kullanıldığı Yöntemler

Hain ve Lee (1978), radyenin ince plak sonlu elemanlarla temsil edildiği, kazık özelliklerinin ise sınır eleman yöntemiyle hesaplandığı bir kazıklı radye temel analizi sunmuştur. Yöntem esas olarak elastik analiz yapmakla birlikte, programda kazıkların taşıyabileceği yükler için bir sınırlama getirilmiştir. Analizdeki sınırlama ise zeminin homojen yarı sonsuz elastik bir kütle olarak temsil edilmesidir.

Franke v.d. (1994), kazıklar için sınır eleman analizini, radye için de sonlu eleman analizini kullanan karma bir analiz önermişlerdir. Doğrusal olmayan kazık davranışı ve kazıkların teşkilinden sonra zeminde oluşacak artık gerilmeler dikkate alınabilmektedir.

Sinha (1997), bütün kazıkların sonlu eleman analiziyle ayrı parçalara bölünüp incelendiği ve radyenin de ince plak sonlu elemanlarla temsil edildiği bir sınır eleman yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemde zemin için homojen elastik bir kütle varsayımı yapılmıştır. Fakat hem basınç hem çekme durumu için radye-zemin taban basınçlarına sınırlama getirilerek doğrusal olmayan davranış dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, kazık çevresi ile zemin arasındaki ve kazık ucundaki gerilmelere sınırlama

getirilmiştir. Zeminin şişmesi ve konsolidasyonu analiz edilerek serbest zemin hareketleri hesaba katılabilmektedir.

4.5.3.3. Basitleştirilmiş Sonlu Eleman Yöntemleri:

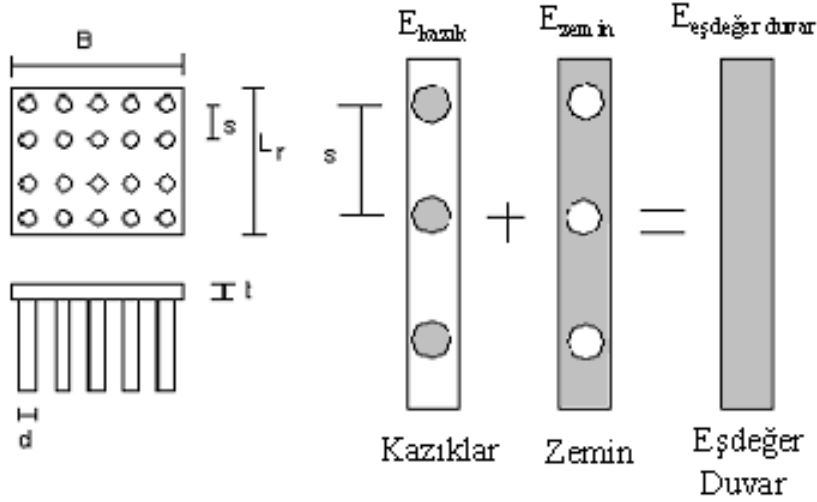
Basitleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi genellikle kazık grubunun veya kazıklı radye temelin düzlem gerilme problemi olarak (Desai, 1974) veya eksenel simetrik problem olarak (Hooper, 1973; Naylor ve Hooper, 1974) temsil edildiği yaklaşımları kapsar. Her iki durumda da zemin ve radye sonlu elemanlarla modellendiği için, zeminin ve radyenin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınabilmektedir. İki fazlı zemin yapısının davranışının modellenmesiyle, konsolidasyona nedeniyle zamana bağlı kazık yük dağılımlarında oluşan değişim ve oturmalar hesaba katılabilmektedir. Hooper (1979), Londra'daki bir bina için eksenel simetrik modellemenin, binada gözlemlenen davranışla uyumlu olduğunu göstermiştir. Böyle basitleştirilmiş bir yaklaşımın sınırlamaları ise sadece belli yükleme şekillerinin analiz edilebilmesi ve radyedeki burulma momentlerinin hesaplanamamasıdır.

Hewitt ve Gue (1994), karstik kireçtaşı içeren bir zemin profilinde sonlu farklar yöntemiyle kazıklı radye temel analizi yapmıştır. Temel düzlem gerilme problemi olarak modellenmiş, yaklaşık olmasına rağmen bu analiz, kireçtaşındaki boşluk etkisinin temelin oturması üzerindeki etkisini hesaba katmıştır (Poulos v.d., 1997).

4.5.3.4 İki Boyutlu Düzlem Gerilme Sonlu Eleman Yöntemi:

Üç boyutlu kazıklı radye temel problemi, sonlu elemanlar yöntemiyle Şekil 4.6'da gösterildiği gibi kazıkların aynı eksenel rijitliğe sahip eşdeğer düzlem gerilme kazığına dönüştürülmesi için yapılan kabullerle iki boyutlu düzlem gerilme problemi olarak çözülebilmektedir (Desai v.d. 1974; Hewitt ve Gue, 1994; Prakoso ve Kulhawy, 2001). Zeminin rijitliği kazıklara göre çok düşük olduğundan eşdeğer düzlem gerilme kazığının eksenel rijitliği hesaplanırken zeminin etkisi ihmal edilebilmektedir (Randolph, 1983).

Desai v.d. (1974), üç boyutlu problemleri, sonlu elemanlar yöntemiyle eşdeğer iki boyutlu düzlem gerilme problemi olarak çözülmesine yönelik bir çalışma ortaya



Şekil 4.6 Kazıklı radye temelin düzlem gerilme durumuna çevrilmesi

koymuştur. Kazık destekli istinat yapısı altında kullanılan kazıklar, aynı aksenal rijitliğe ve boya sahip birim genişlikteki eşdeğer kazıkla temsil edilmiştir. Eşdeğer kazık için elastisite modülü:

$$E_e = \frac{n_p \cdot A_p \cdot E_p}{A_e} \quad (4.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; E_e : eşdeğer kazığın elastisite modülü,

n_p : bir sıradaki kazık sayısı

A_p : kazık enkesit alanı

E_p : kazık elastisite modülü

A_e : eşdeğer kazığın enkesit alanı

$A_e = d \cdot L$

d : kazık çapı

L = temelin boyu

Yaklaşık sonlu eleman çözümüyle bulunan çözümlerin yapılan gözlemlerle uyumlu olduğu ve yöntemin uygulanmasıyla zaman tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir.

Prakoso ve Kulhawy (2001), iki boyutlu sonlu eleman yazılımı olan PLAXIS (Vermeer ve Brinkgreve, 1995) programını kullanarak drenajsız koşullarda yüzen kazıklı radye temelleri elastik ve elasto-plastik zemin özellikleriyle inceleyen bir çalışma sunmuşlardır. Model oluşturulurken kazıklar, Desai v.d. (1974) tarafından önerilen biçimde eşdeğer kazıklara dönüştürülmüştür. Eşdeğer düzlem gerilme kazıkları ile gerçekte kazıkların aynı uç ve çevre direncine sahip olması için de başka

bir basitleştirme yapılmalıdır. Bu çözümde uç alanı değiştirilemediği için uç direnci ile ilgili bir değişiklik yapılamamaktadır. Uzun kazıklarda uç direnci etkisinin daha az olduğu belirtilerek bu katkı ihmal edilmiştir. Modelde çevre direnci arayüz elemanları kullanılarak modellenmiştir. Her bir eşdeğer kazıkta iki yan yüzey olduğu için bir arayüz elemanının eşdeğer çevre direnci:

$$f_{s-eq} = \frac{n_p - row_i \cdot A_s \cdot f_s}{2L_r} \quad (4.8)$$

Burada; A_s : birim derinlik için kazığın çevre alanı

f_s = birim derinlik için bir kazığın çevre direnci

L_r = radye temel uzunluğudur.

İki boyutlu çözümde toplam oturmaların üç boyutlu çözümlere göre %5 - %25 arasında fazla çıktığı, ayrıca üç boyutlu çözümlerde elde edilen temel merkezi-köşe arasındaki farklı oturmaların düzlem gerilme çözümünde elde edilemediği belirtilmiştir.

4.5.3.5 Üç Boyutlu Sonlu Eleman Yöntemi

Zhuang v.d. (1991) ve Lee (1993) kazıklı radye temeldeki oturmaları ve yük dağılımını incelemek için yaptıkları parametrik çalışmada üç boyutlu doğrusal sonlu eleman analizini kullanmışlardır. Bu analizde değişen parametreler, göreceli radye rijitliği, göreceli kazık boyu ve kazık sayısıdır.

Ta ve Small (1996), radyenin modellenmesi için ince plak sonlu elemanları ve zemini modelleyebilmek için sonlu tabaka yöntemini kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem zeminin doğrusal davranışıyla sınırlı olmasına rağmen, tabakalı zemin sistemini çok verimli bir şekilde inceleyebilmekte ve radye altındaki herhangi bir yerdeki kazıkları analiz edebilmektedir.

Wang (1995), doğrusal olmayan üç boyutlu sonlu eleman analizini kullanarak, düşey yüklü kazıklı radye temellerin doğrusal olmayan analizini kullanmıştır.

Reul ve Randolph (2003), Westend 1, Messeturm ve Torhaus binalarına ait vaka analizlerini üç boyutlu elasto-plastik sonlu eleman yöntemiyle analiz etmişler ve hesaplanan sonuçlarla arazideki ölçümleri karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, sonlu eleman analiziyle ölçümlerin uyumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca kazıklı radye

temeldeki en büyük oturmaların sadece radyedeki oturmaların %51 - %63'ü oranında gerçekleşeceği belirtilmiştir.

Reul ve Randolph (2004), bir parametrik çalışmada üç boyutlu sonlu eleman analizi kullanarak, 259 farklı kazıklı radye temel konfigürasyonunu incelemişlerdir. Değişen parametreler, kazıkların yerleri, kazık sayısı, kazık boyu, radye-zemin rijitlik oranı ve radye üzerindeki yük dağılımıdır. Çalışma sonunda, parametrik çalışmanın sonuçları verilmiş, üniform ve üniform olmayan düşey yüklemeye maruz kazıklı radye temellerin optimum tasarımı için tasarım yöntemleri tartışılmıştır. Üniform yüklemeye maruz radyedeki farklı oturmaların en verimli olarak sadece radyenin merkezi bölgesine yerleştirilecek kazıklarla en aza indirgenebileceği belirtilmiştir. Ayrıca yüklenmiş bölgeler altında kullanılacak farklı boydaki kazıkların minimum toplam kazık boyunu vereceğini göstermişlerdir.

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS SONLU ELEMANLAR YAZILIMI

5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde birçok mühendislik dalında olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılan ileri bir sayısal analiz yöntemidir.

Geoteknik yapıların tasarımında, duraylılık (stabilite), yapıda oluşabilecek kesit tesirlerinin (moment, normal kuvvet ve kesme kuvveti) büyüklükleri, geoteknik yapı ve komşu zeminde meydana gelecek deformasyonlar ve komşu yapılarda oluşacak etkiler gözönünde bulundurulması gereken konulardır. Sonlu elemanlar yönteminde, gerçeğe uygun zemin özellikleri tanımlanabilmekte, karmaşık geometri, yükleme, sınır koşulları ve malzeme durumu dikkate alınabilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminde problemin geometrisi oluşturularak, sistem sonlu sayıda elemana ayrılır. Her elemanın şekli, bu elemanı oluşturan düğüm noktalarının koordinatları ile belirlenir. Yapıyı oluşturan tek bir elemanın davranışı tanımlanabilirse, yapının bütünü için de davranışın tanımlanması mümkün olacaktır. Çözüm için bir asıl değişken seçilerek tek bir elemanda bu değişkenin davranışı modellenir ve bu model tüm sisteme uygulanarak bilinmeyenler hesaplanır. Yer değiştirmelerin ana değişken olarak seçildiği sonlu eleman yöntemi çözümlerinde, problemin her bir düğüm noktasındaki yer değiştirmeler bilinmeyenlerdir. Yer değiştirmeler elde edildiğinde, gerilmeler yer değiştirmelere bağlı olarak bulunurlar. Sonlu elemanlar yönteminin analiz adımları sırasıyla:

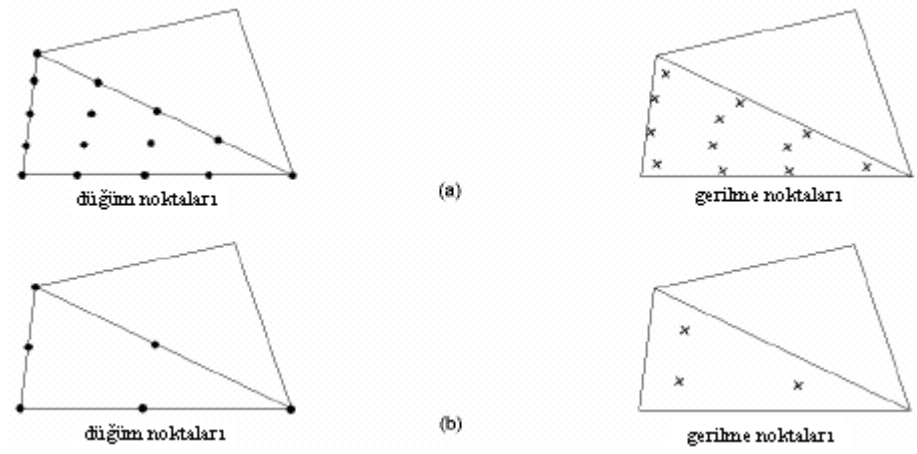
- 1) Eleman seçimi ve ortamı elemanlara ayırma
- 2) Yaklaşım modeli seçimi
- 3) Malzeme bünye davranışı
- 4) Eleman denklemlerinin elde edilmesi
- 5) Eleman denklemlerinin birleştirilerek sistem denklemlerinin elde edilmesi

- 6) Sistem denklemlerinin çözümlenerek birincil bilinmeyenlerin bulunması
- 7) Birincil bilinmeyenlerden ikincil bilinmeyenlerin hesaplanması
- 8) Sonuçların yorumu

5.2. PLAXIS Sonlu Elemanlar Yazılımı

PLAXIS, çeşitli geoteknik mühendisliği uygulamalarının deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş 2 boyutlu bir sonlu elemanlar bilgisayar yazılımıdır. Gerçek durumlar, düzlem gerilme (plain strain) ve eksenel simetrik (axisymmetric) modeller kullanılarak modellenenir. Program, model geometrisini ve sonlu elemanlar ağını oluşturabilmek için grafiksel kullanıcı arayüzünü kullanmaktadır. Kullanıcı arayüzü; INPUT (Veri Girişi), CALCULATIONS (Hesaplamalar), OUTPUT (Sonuçlar) ve CURVES (Eğriler) olmak üzere 4 alt programdan oluşmaktadır.

INPUT: Bu programda model geometrisi iki boyutlu olarak oluşturulmakta, malzeme özellikleri ve sınır şartları tanımlanmaktadır. Zemin tabakaları, yapılar ve yüklemeleri kapsayan modelin x-y eksenlerinde düğüm noktaları, çizgiler ve kapalı alanlardan oluşan kesiti çizilmekte başlangıç koşulları (initial conditions) ve 2 boyutlu sonlu eleman ağı oluşturulmaktadır. Sonlu eleman ağı üçgen elemanlardan oluşmaktadır. Bu üçgen elemanlar 6 düğüm noktalı ve 15 düğüm noktalı elemanlardan seçilebilmektedir. 15 düğüm noktalı elemanların kullanımı, gerilmelerin ve göçme yüklerinin hesaplanmasında daha kesin sonuçlar vermektedir. 15 düğüm noktalı bir eleman 15 düğüm noktasını içerirken 6 düğüm noktalı bir eleman 6 düğüm noktasıyla tanımlanır (Şekil 5.1). Bitişik elemanlar birbirlerine ortak düğüm noktalarıyla bağlanırlar. Sonlu eleman hesabında yer değiştirmeler (u_x ve u_y) düğüm noktalarında hesaplanmaktadır. Yer değiştirmelerin aksine gerilmeler ve şekil değiştirmeler düğüm noktaları yerine Gauss (gerilme) noktalarında hesaplanır. 15 düğüm noktalı bir üçgen eleman Şekil 5.1.a'da gösterildiği gibi 12 gerilme noktası içerirken 6 düğüm noktalı bir üçgen eleman 3 gerilme noktası içerir (Şekil 5.1.b).



Şekil.5.1 Düğüm noktaları ve gerilme noktaları

CALCULATIONS: Bu programda sonlu eleman modelinin oluşturulmasından sonra gerçek sonlu eleman hesaplamalarına geçilir. Calculations programı sonlu eleman hesaplamalarını tanımlamak ve başlatmak için gerekli modülleri içerir.

OUTPUT: Bir sonlu eleman hesabında esas değerler düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ve gerilme noktalarındaki gerilmelerdir. Output programı üretilmiş veri giriş bilgisinin ve sonlu eleman hesaplamalarının sonuçlarının listelenmesini ve görüntülenmesini sağlar.

CURVES: Bu program, model geometrisinde daha önceden seçilen noktaların, yük-yer değiştirme, zaman-yer değiştirme, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin ve gerilme veya şekil değiştirme izlerinin çizilmesi için kullanılır. Bu eğriler, çeşitli hesaplama adımlarında istenen değerlerin değişiminin görülmesine olanak verir ve yerel ve global zemin davranışı hakkında fikir sahibi olunmasını sağlar.

6. KAZIKLI RADYE TEMELLERİN PLAXIS İLE MODELLENMESİ

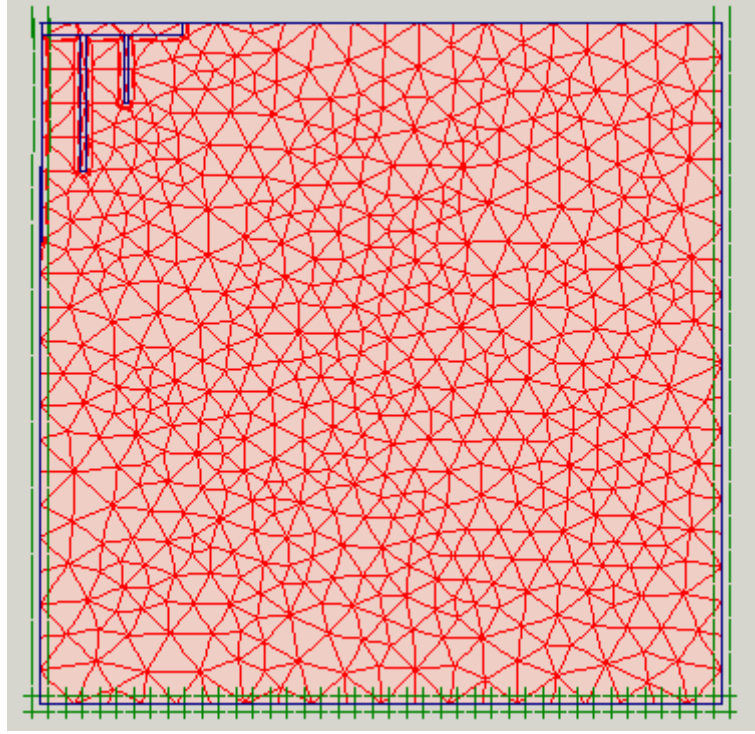
6.1 Giriş

Bu bölümde PLAXIS sonlu elemanlar yazılımıyla, kurulan parametrik modeller iki boyutlu düzlem gerilme yöntemiyle analiz edilmiştir. Kurulan modellerde radye kalınlığı, radye boyu ve genişliği sabit tutulmuş, kazık boyu, kazık aralığı, kazık genişliği, yükleme çeşidi, kazık sayısı ve zemin cinsi gibi parametrelerin değişimiyle radye altında oluşan taban basıncı değişimi incelenmiştir. 5 kazıklı, 7 kazıklı ve 9 kazıklı radye temel analizleri, değişen parametrelere göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. 5, 7, 9 kazıklı radye temel konfigürasyonları hem kil hem kum zemin için farklılık göstermemektedir. Parametrik çalışmadaki tüm analizlerde kazıklı radye sistemi simetriktir ve sistemin yarısı için analizler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modellerde boşluk suyu bulunmamaktadır. Dolayısıyla modellemeler drenajlı duruma göre analiz edilmiş ve zeminlerde boşluk suyu basıncı meydana gelmemiştir. Kil ve kum zemine ait PLAXIS'te oluşturulan sonlu elemanlar ağı Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

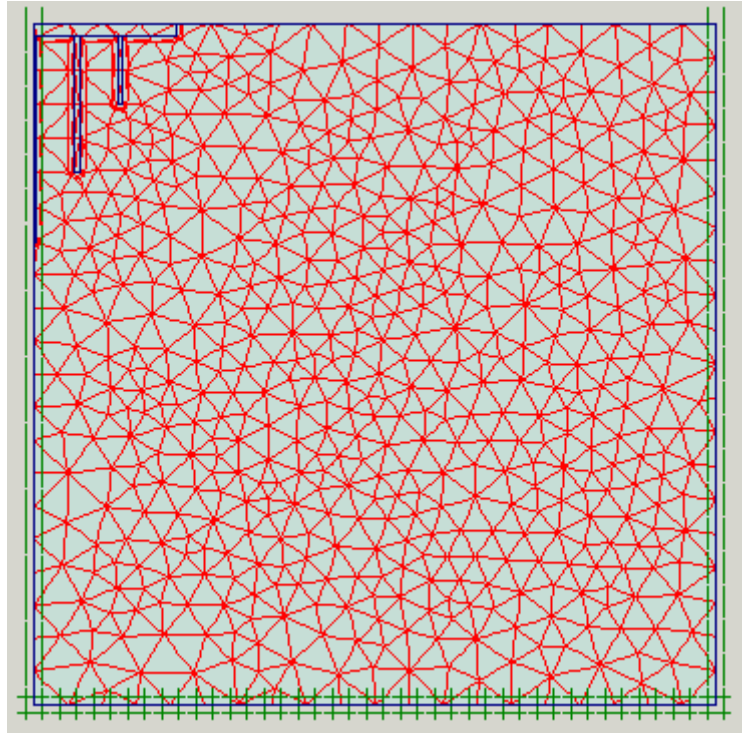
6.2. Analizlerde Kullanılan Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonları

6.2.1 5 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu

5 kazıklı radye temelde, birinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=50\text{m}$, $L_2=40\text{m}$, $L_3=30\text{m}$; ikinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=40\text{m}$, $L_2=30\text{m}$, $L_3=20\text{m}$; üçüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=30\text{m}$, $L_2=20\text{m}$, $L_3=10\text{m}$; dördüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=20\text{m}$, $L_2=15\text{m}$, $L_3=10\text{m}$; beşinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=15\text{m}$, $L_2=10\text{m}$, $L_3=5\text{m}$ ve altıncı konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=12\text{m}$, $L_2=8\text{m}$, $L_3=3\text{m}$ seçilmiştir (Şekil 6.3.a,b,c,d,e,f)



Şekil 6.1 Kil zemindeki kazıklı radye temele ait sonlu elemanlar ağı



Şekil 6.2 Kum zemindeki kazıklı radye temele ait sonlu elemanlar ağı

6.2.2 7 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu

7 kazıklı radye temelde, birinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=50\text{m}$, $L_2=40\text{m}$, $L_3=30\text{m}$, $L_4=20\text{m}$; ikinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=40\text{m}$, $L_2=30\text{m}$, $L_3=20\text{m}$, $L_4=10\text{m}$; üçüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=30\text{m}$, $L_2=25\text{m}$, $L_3=15\text{m}$, $L_4=10\text{m}$; dördüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=20\text{m}$, $L_2=15\text{m}$, $L_3=10\text{m}$, $L_4=5\text{m}$ ve beşinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=15\text{m}$, $L_2=10\text{m}$, $L_3=5\text{m}$, $L_4=3\text{m}$ seçilmiştir (Şekil Ek A.1.a,b,c,d,e).

6.2.3 9 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonu

9 kazıklı radye temelde, birinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=50\text{m}$, $L_2=40\text{m}$, $L_3=30\text{m}$, $L_4=20\text{m}$, $L_5=10\text{m}$; ikinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=40\text{m}$, $L_2=35\text{m}$, $L_3=25\text{m}$, $L_4=15\text{m}$, $L_5=10\text{m}$; üçüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=30\text{m}$, $L_2=25\text{m}$, $L_3=20\text{m}$, $L_4=15\text{m}$, $L_5=10\text{m}$; dördüncü konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=25\text{m}$, $L_2=20\text{m}$, $L_3=15\text{m}$, $L_4=10\text{m}$, $L_5=5\text{m}$ ve beşinci konfigürasyonda kazık boyları sırasıyla $L_1=20\text{m}$, $L_2=15\text{m}$, $L_3=10\text{m}$, $L_4=5\text{m}$, $L_5=3\text{m}$ seçilmiştir (Şekil Ek A.2.a,b,c,d,e).

6.3 Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Parametrik çalışmadaki analizler kil ve kum olmak üzere iki tür zemin profili için gerçekleştirilmiştir. Kazıkların ve radyenin modellenmesinde ise aynı malzeme özelliklerine sahip beton malzeme kullanılmıştır. Tablo 6.1’de kil zemine, kum zemine ve beton malzemeye ait özellikler verilmiştir.

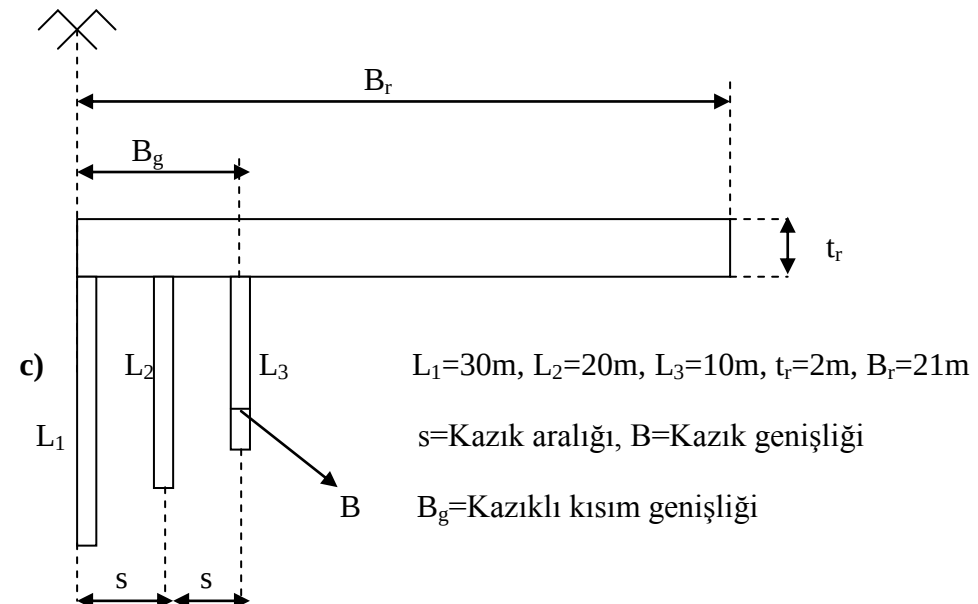
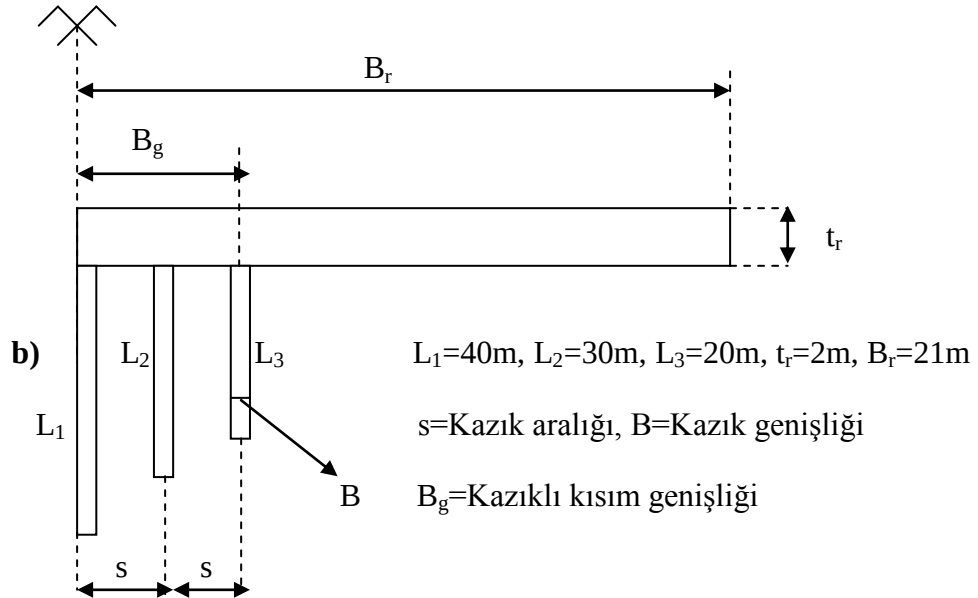
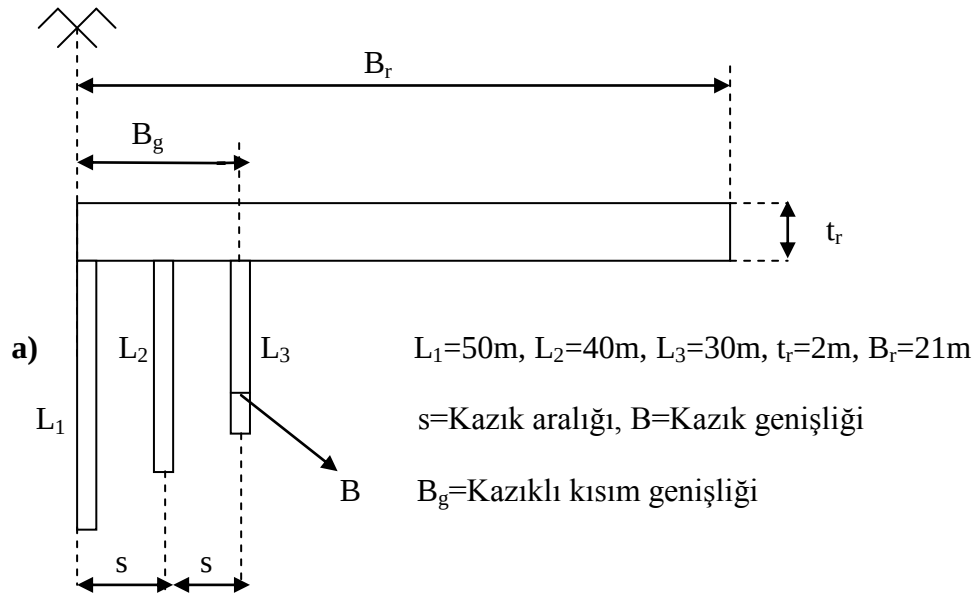
6.4 Analizlerde Kullanılan Yükleme Durumlarının Özellikleri

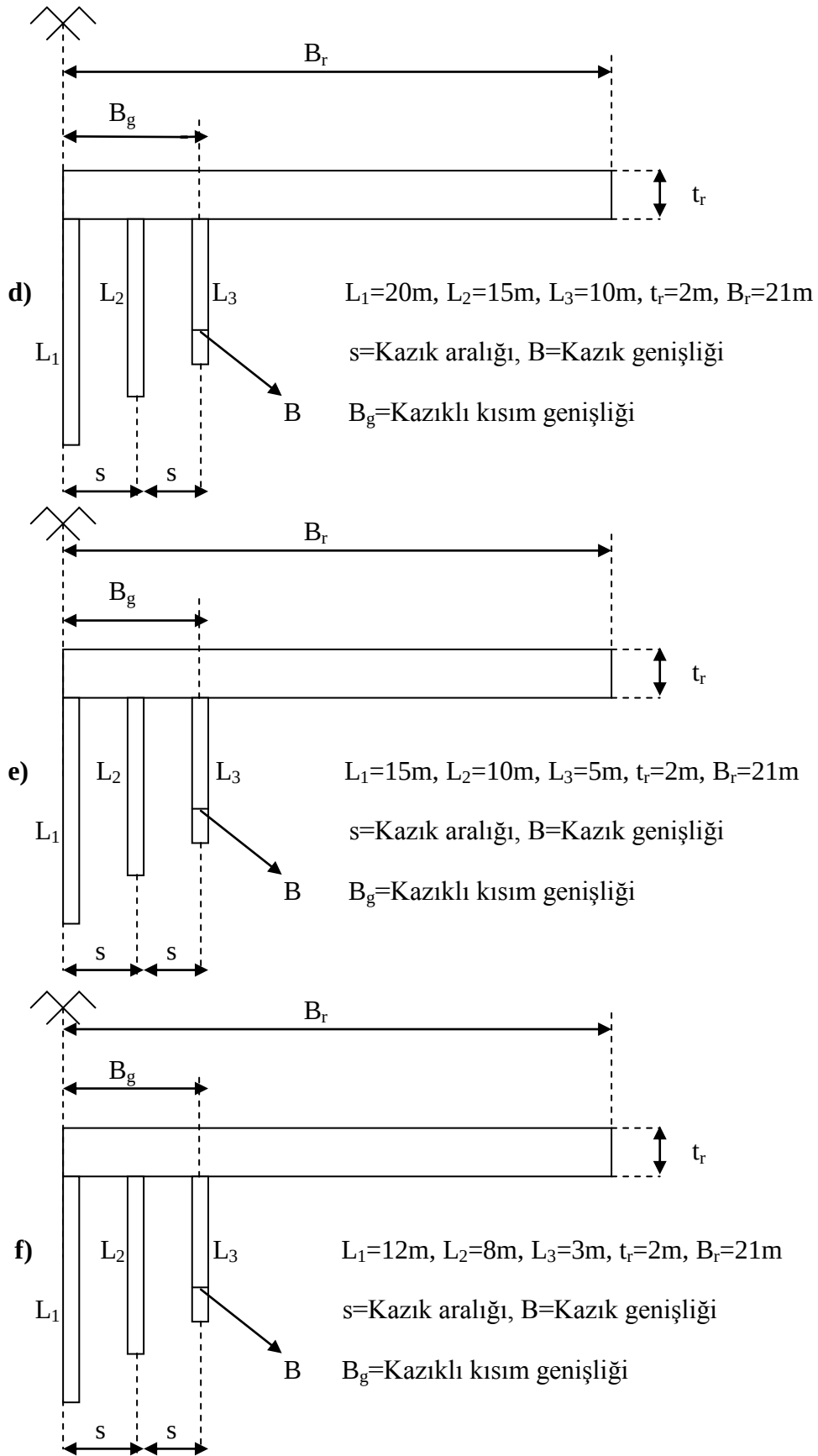
6.4.1 Yük Durumu 1 (Q_1)

Bu yük durumunda genişliği 42m olan radyenin tamamı 60kN/m^2 büyüklüğünde yayılı yüke maruzdur. Analizler bu yük durumuna göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.4)

6.4.1 Yük Durumu 1 (Q_2)

Bu yük durumunda genişliği 42m olan radyenin tamamı 60kN/m^2 büyüklüğünde yayılı yüke ek olarak radye simetri ekseninden sağa ve sola 10m olmak üzere 20m boyunca 140kN/m^2 büyüklüğünde yayılı yüke maruzdur. Analizler bu yük durumuna göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.5)





Şekil6.3 5 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar: a)1.Konfigürasyon b)2.Konfigürasyon c)3.Konfigürasyon d)4.Konfigürasyon e)5.Konfigürasyon f)6.Konfigürasyon

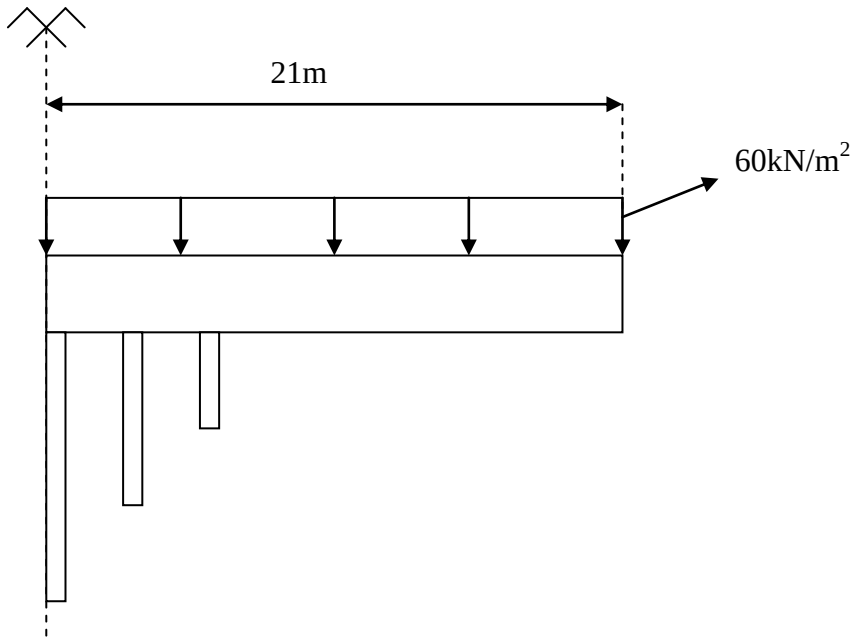
Tablo 6.1 Analizlerde kullanılan malzemelerin özellikleri

Malzeme	Kil	Kum	Kazık	Radye
Elastisite Modülü (E) kN/m ²	6.10 ⁴	6.10 ⁴	2,85.10 ⁷	2,85.10 ⁷
Poisson Oranı (v)	0,3	0,3	0,16	0,16
Kohezyon (c) kN/m ²	100	0	-	-
Kayma Mukavemeti Açısı (φ)	0	35	-	-
Birim Hacim Ağırlık kN/m ³	16	17	24	24
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Lineer Elastik	Lineer Elastik

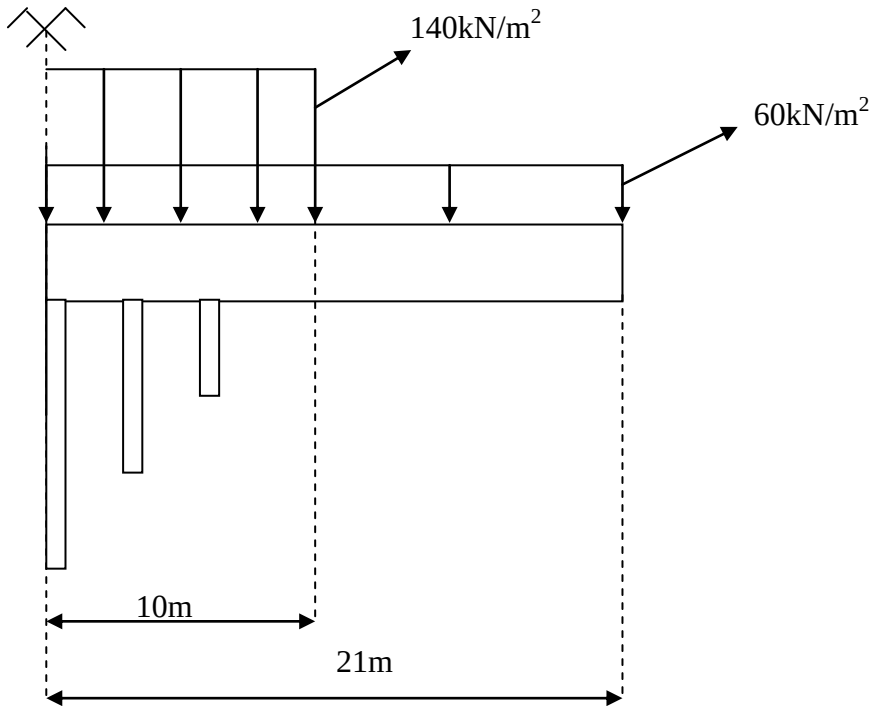
6.5 Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması

6.5.1 Yük Durumu 1 (Q₁) İçin Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması

Şekil 6.6’da kil zeminde Yük Durumu 1’e (Q₁) maruz 5 kazıklı radye temel örnek olarak anlatılmıştır. Grafikte y-ekseni radyenin taşıdığı yük oranını (P_r / P_t), x-ekseni ise mm cinsinden farklı oturmaları (Δs) temsil etmektedir. P_r , kazıklı radye temel sisteminde kazıklar tarafından taşınan toplam yükü, P_t ise kazıklı radye temele etkiyen toplam yükü göstermektedir. O, □, Δ sembolleri sırasıyla B=0.4m, B=0.6m ve B=0.8m kazık genişlikleri için elde edilen analiz sonuçları temsil etmektedir. Aynı renklerle gösterilmiş semboller, aynı kazık konfigürasyonunda, farklı kazık genişliklerine sahip kazıklı radye temel için yapılmış analiz sonuçlarını temsil etmektedir. Kırmızı ile gösterilen O, □, Δ sembolleri 1. konfigürasyona (K1), mavi ile



Şekil 6.4 Yük durumu 1 (Q_1)

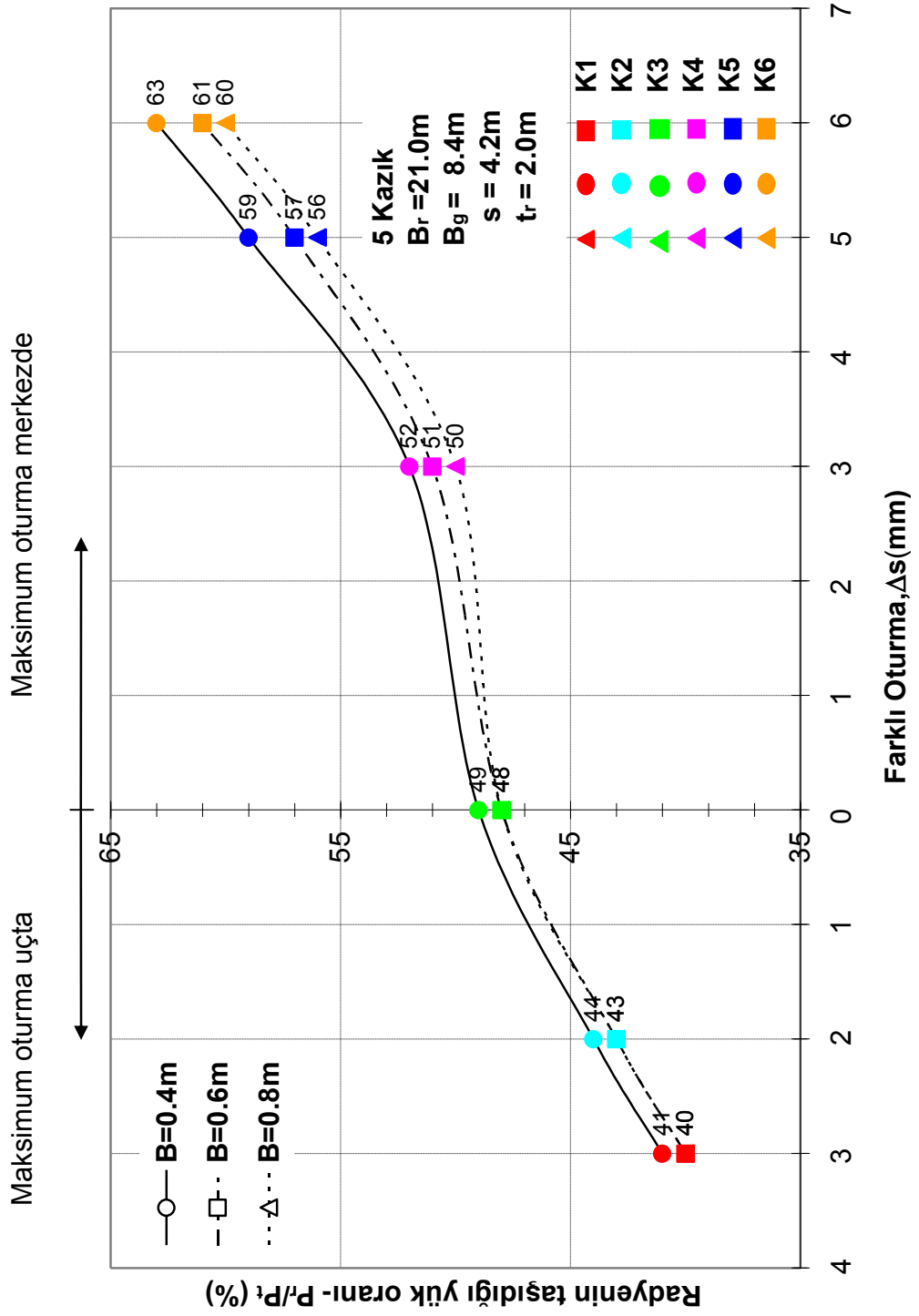


Şekil 6.5 Yük durumu 2 (Q_2)

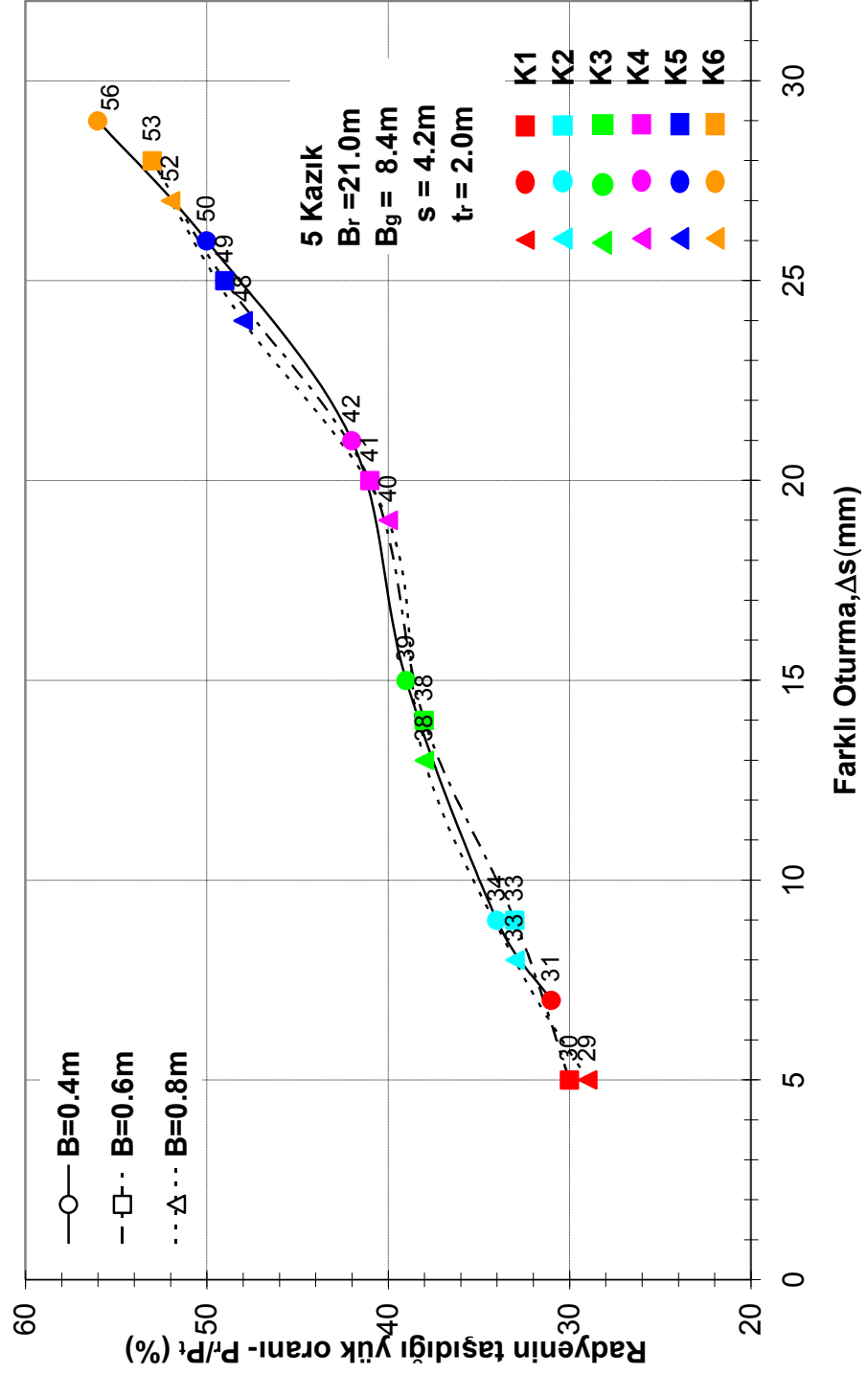
gösterilen O, □, Δ sembolleri 2. konfigürasyona (K2), yeşil renkle gösterilen O, □, Δ sembolleri 3. konfigürasyona (K3), mor ile gösterilen O, □, Δ sembolleri 4. konfigürasyona (K4), lacivert ile gösterilen O, □, Δ sembolleri 5. konfigürasyona (K5), kahverengi ile gösterilen O, □, Δ sembolleri ise 6. konfigürasyona (K6) sahip kazıklı radye temelin analiz sonuçlarını göstermektedir. 5 kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar Şekil 6.3'te, 7 kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar Şekil A.1'de ve 9 kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar Şekil A.2'de verilmiştir. Grafikte ayrıca kazıklı radye sistemdeki kazık sayısı, simetrik kazıklı radye temelin genişliği, B_r ; simetrik kazıklı radye temeldeki kazıklı kısmın genişliği, B_g ; kazık aralığı, s ; radye kalınlığı, t_r ve kazık genişliği, B ; ayrıntılı biçimde rakamlarla gösterilmiştir. Grafikte y-ekseninin sağında kalan kısım, maksimum oturmaların radye uçlarında, y-ekseninin solunda kalan kısım ise maksimum oturmaların radye merkezinde meydana geldiğini göstermektedir.

6.5.2 Yük Durumu 2 (Q_2) İçin Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Grafiklerin Açıklanması

Şekil 6.7'da kil zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz 5 kazıklı radye temel örnek olarak anlatılmıştır. Şekil 6.6'da yapılan açıklamalar Şekil 6.7 için de geçerlidir. Ancak Yük Durumu 1'den farklı olarak bu yükleme durumunda maksimum oturmaların tamamı radye merkezinde meydana gelmektedir. Analiz sonuçlarına ait diğer grafikler ekler bölümünde Şekil (A.3-A.36)'da verilmiştir.



Şekil 6.6 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiğı (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=8.4\text{m}$)



Şekil 6.7 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Kil zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz radye temelin farklı oturması 13mm'dir. 5 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 3. konfigürasyonda 0mm, en büyük farklı oturma ise 6. konfigürasyonda 6mm'dir. 1. ve 2. konfigürasyonlarda, radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında oluşmuş, 4., 5. ve 6. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en küçük olduğu 6. konfigürasyonda 6mm'ye ulaşmıştır. Grafiklerden, aynı konfigürasyonda farklı kazık genişlikleri için farklı oturmalar aynı olmasına rağmen, radyenin aldığı yük oranının kazık genişliğinin $B=0.4m$ olduğu durumda en büyük olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g = 8.4m$ iken 6. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %63 iken bu değer $B_g = 10m$ için %61'e $B_g = 12.6m$ için ise %57'ye düşmüştür. Bu düşüşün sebebi; radyenin kazıklar arasında kalan kısmının, kazıkların aldığı yükten dolayı, kazıksız kısımdaki radyenin aldığı yükten daha az yük alması olarak açıklanabilir. Kil zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz 7 kazıklı radye temelde ise en küçük farklı oturma 3. konfigürasyonda 0mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 5mm olarak gerçekleşmiştir. 1. ve 2. konfigürasyonlarda, radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında oluşmuş, 4. ve 5. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en küçük olduğu 5. konfigürasyonda 5mm'ye ulaşmıştır. 5 kazıklı radyede olduğu gibi aynı konfigürasyonda radyenin aldığı en büyük yük oranı kazık genişliğinin $B=0.4m$ olduğu durumda gerçekleşmiştir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g = 8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %59 iken bu değer $B_g = 10m$ için %56'ya $B_g = 12.6m$ için ise %51'e düşmüştür. Kil

zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz 9 kazıklı radye temelde ise en küçük farklı oturma 3. konfigürasyonda 0mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 4mm olarak gerçekleşmiştir. 1. ve 2. konfigürasyonlarda, radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında olumu, 4. ve 5. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en küçük olduğu 5. konfigürasyonda 4mm'ye ulaşmıştır. 5 kazıklı ve 7 kazıklı radyede olduğu gibi aynı konfigürasyonda radyenin aldığı en büyük yük oranı kazık genişliğinin $B=0.4m$ olduğu durumda gerçekleşmiştir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %56 iken bu değer $B_g=10m$ için %52'ye $B_g=12.6m$ için ise %46'ya dmtir.

Kil zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz radye temelin farklı oturması 41mm'dir. 5 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 5mm, en büyük farklı oturma ise 6. konfigürasyonda 29mm'dir. Grafiklerden, Yük Durumu 1'den (Q_1) farklı olarak, aynı konfigürasyonda farklı kazık genişlikleri, B , için hem farklı oturmalar hem de radyenin aldığı yk oranları farklılıklar göstermektedir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 6. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %56 iken bu değer $B_g=10m$ için %54'e $B_g=12.6m$ için ise %51'e dmtir. Kil zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz 7 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 4mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 26mm'dir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %51 iken bu değer $B_g=10m$ için %48'e $B_g=12.6m$ için ise %43'e dmtir. Kil zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz 9 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 4mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 21mm'dir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin,

$B_g=8.4\text{m}$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %46 iken bu değer $B_g=10\text{m}$ için %43'e $B_g=12.6\text{m}$ için ise %36'ya düşmüştür.

Kum zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz radye temel in farklı oturması 12mm'dir. 5 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 3. konfigürasyonda 0mm, en büyük farklı oturma ise 6. konfigürasyonda 5mm'dir. 1., 2. ve 3. konfigürasyonlarda, radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında oluşmuş 4., 5. ve 6. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en küçük olduğu 6. konfigürasyonda 5mm'ye ulaşmıştır. Grafiklerden, aynı konfigürasyonda farklı kazık genişlikleri için farklı oturmalar aynı olmasına rağmen, radyenin aldığı yük oranının kazık genişliğinin $B=0.4\text{m}$ olduğu durumda en büyük olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4\text{m}$ iken 6. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %62 iken bu değer $B_g=10\text{m}$ için %60'a $B_g=12.6\text{m}$ için ise %57'ye düşmüştür. Bu düşüşün sebebi; radyenin kazıklar arasında kalan kısmının, kazıkların aldığı yükten dolayı, kazıksız kısımdaki radyenin aldığı yükten daha az yük alması olarak açıklanabilir. Kum zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz 7 kazıklı radye temelde ise en küçük farklı oturma 3. konfigürasyonda 1mm, en büyük farklı oturma ise 1. konfigürasyonda 5mm olarak gerçekleşmiştir. 1., 2. ve 3. konfigürasyonlarda, radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında oluşmuş, 4. ve 5. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en büyük olduğu 5. konfigürasyonda 5mm'ye ulaşmıştır. 5 kazıklı radyede olduğu gibi aynı konfigürasyonda radyenin aldığı en büyük yük oranı kazık genişliğinin $B=0.4\text{m}$ olduğu durumda gerçekleşmiştir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4\text{m}$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %59 iken bu değer $B_g=10\text{m}$ için %56'ya $B_g=12.6\text{m}$ için ise %50'ye düşmüştür. Kum zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz 9 kazıklı radye temelde ise en küçük farklı oturma 4. konfigürasyonda 0mm, en büyük farklı oturma ise 1. konfigürasyonda 5mm olarak gerçekleşmiştir. 1., 2. ve 3. konfigürasyonlarda,

radyenin maksimum oturması kazıkların aldığı fazla yükten dolayı radye uçlarında oluşmuş 5. konfigürasyonlarda ise küçülen kazık boylarından dolayı kazıkların aldığı yük oranı azalmış, maksimum oturmalar radye merkezinde meydana gelmiş ve en büyük farklı oturma, kazık boylarının en büyük olduğu 1. konfigürasyonda 5mm'ye ulaşmıştır. 5 kazıklı ve 7 kazıklı radyede olduğu gibi aynı konfigürasyonda radyenin aldığı en büyük yük oranı kazık genişliğinin $B=0.4m$ olduğu durumda gerçekleşmiştir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %55 iken bu değer $B_g=10m$ için %51'e $B_g=12.6m$ için ise %44'e düşmüştür.

Kum zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz radye temelin farklı oturması 40mm'dir. 5 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 3mm, en büyük farklı oturma ise 6. konfigürasyonda 29mm'dir. Grafiklerden, Yük Durumu 1'den (Q_1) farklı olarak, aynı konfigürasyonda farklı kazık genişlikleri, B , için hem farklı oturmalar hem de radyenin aldığı yük oranları farklılıklar göstermektedir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 6. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %56 iken bu değer $B_g=10m$ için %55'e $B_g=12.6m$ için ise %52'ye düşmüştür. Kum zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz 7 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 2mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 26mm'dir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %51 iken bu değer $B_g=10m$ için %49'a $B_g=12.6m$ için ise %44'e düşmüştür. Kum zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz 9 kazıklı radye temelde, uygulanan kazık konfigürasyonlarında en küçük farklı oturma 1. konfigürasyonda 2mm, en büyük farklı oturma ise 5. konfigürasyonda 19mm'dir. Aynı konfigürasyonlar için, kazıklı kısmın genişliği, B_g , arttıkça radyenin aldığı yük oranı azalmaktadır. Örneğin, $B_g=8.4m$ iken 5. konfigürasyonda radyenin aldığı maksimum yük oranı %46 iken bu değer $B_g=10m$ için %43'e $B_g=12.6m$ için ise %37'ye düşmüştür.

Bu değerlendirmelerden sonra aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkündür:

- 1) Kil zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz radye temelin 13mm olan farklı oturması uygun kazık konfigürasyonu ile 0mm'ye düşürülebilmektedir. Başka bir deyişle radyenin uygun kazık konfigürasyonu ile üniform olarak oturması sağlanabilmektedir. Bu durumda radye tarafından taşınan maksimum yük oranı %49'dur. Ancak ekonomik bir tasarım göz önüne alınırsa farklı oturmanın 6mm ve radyenin aldığı yk oranının %63 olduğu, 5 kazıklı, kazık genişliği, $B=0.4m$, kazıklı kısım genişliği, $B_g=8.4m$ olan 6. konfigürasyona sahip radye temel optimum seçenektir.
- 2) Kil zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz radye temelin 41mm olan farklı oturması uygun kazık konfigürasyonu ile 5mm'ye düşürülebilmektedir. Bu durumda radye tarafından taşınan maksimum yük oranı %30'dur. Ancak ekonomik bir tasarım göz önüne alınırsa farklı oturmanın 21mm ve radyenin aldığı yk oranının %42 olduğu, 5 kazıklı, kazık genişliği, $B=0.4m$, kazıklı kısım genişliği, $B_g=8.4m$ olan 4. konfigürasyona sahip radye temel optimum seçenektir.
- 3) Kum zeminde Yük Durumu 1'e (Q_1) maruz radye temelin 12mm olan farklı oturması uygun kazık konfigürasyonu ile 0mm'ye düşürülebilmektedir. Başka bir deyişle radyenin uygun kazık konfigürasyonu ile üniform olarak oturması sağlanabilmektedir. Bu durumda radye tarafından taşınan maksimum yük oranı %37'dir. Ancak ekonomik bir tasarım göz önüne alınırsa farklı oturmanın 5mm ve radyenin aldığı yk oranının %62 olduğu, 5 kazıklı, kazık genişliği, $B=0.4m$, kazıklı kısım genişliği, $B_g=8.4m$ olan 6. konfigürasyona sahip radye temel optimum seçenektir.
- 4) Kum zeminde Yük Durumu 2'ye (Q_2) maruz radye temelin 40mm olan farklı oturması uygun kazık konfigürasyonu ile 3mm'ye düşürülebilmektedir. Bu durumda radye tarafından taşınan maksimum yük oranı %29'dur. Ancak ekonomik bir tasarım göz önüne alınırsa farklı oturmanın 19mm ve radyenin aldığı yk oranının %42 olduğu, 5 kazıklı, kazık genişliği, $B=0.4m$, kazıklı kısım genişliği, $B_g=8.4m$ olan 4. konfigürasyona sahip radye temel optimum seçenektir. İzin verilebilir farklı oturma miktarı 20mm kabul edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Birand, A.**, 2001. Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, Ankara
- Bowles, E. J.**, 1996. Foundation Analysis and Design, McGraw Hill Companies, Inc., Singapore
- Burland, J. B., Broms, B. B., and De Mello, V. F. B.**, 1977. Behaviour of Foundations and Structures, *Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol. 2, 495-546
- Cernica, J. N.**, 1995. Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, John Wiley&Sons, Inc, Canada
- Coduto, D. P.**, 1994. Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall, California
- Cooke, R. W., Bryden-Smith, D. W., Gooch, M. N., Sillett, D. F.**, 1981. Some Observations of the Foundation Loading and Settlement of a Multi-storey Building on a Piled Raft Foundation in London Clay, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Part1, Vol. 70, 433-460
- Das, Braja M.**, 1999. Principles of Foundation Engineering, PWS Publishing, California
- Desai, C. S., Johnson, L. D., Hargett, C. M.**, 1974. Analysis of Pile-Supported Gravity Lock, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol.100, No.9, 1009-1029
- Fleming, W. G. K., Weltman, A. J., Randolph, M. F., Elson, W. K.**, 1992. Piling Engineering, E&FN SPON, London
- Franke, E., Lutz, B., El-Mossallamy, Y.**, 1994. Measurements and Numerical Modelling of High-rise Building Foundations on Frankfurt Clay, *Geotech. Spec. Pub. 40*, ASCE, Vol.2, 1325-1336
- Hain, S. J., Lee, I. K.**, 1978. The Analysis of Flexible Raft-Pile Systems, *Geotechnique*, Vol. 28, No:1, pp. 65-83
- Horikoshi, K., Randolph, M. F.**, 1998. A Contribution to Optimum Design of Piled Rafts, *Geotechnique*, Vol. 48, No:3, pp. 301-317
- Horikoshi, K., Randolph, M. F.**, 1996. Centrifuge Modelling of Piled Raft Foundations on Clay, *Geotechnique*, Vol. 46, No:4, pp. 741-752

- Katzenbach, R., Arslan, U., Reul, O.,** 1998. Soil-Structure Interaction of a Piled Raft Foundation of a 121m High Office Building on Loose Sand in Berlin, *Deep Foundations on Bored Auger Piles*, Van Impe & Haegeman(eds), Balkema, Rotterdam, 215-221
- Kuwabara, F.,** 1989. An Elastic Analysis for Piled Raft Foundations in a Nonhomogeneous Soil, *Soils and Foundations*, Vol.29, No.1, 82-92
- Özkan, M.T.,** 2002. Yüzeysel ve Derin Temeller Ders Notları.
- Padfield, C. J., Sharrock, M. J.,** 1983. Settlement of Structures on Clay Soils, *Special Publ. 27, Construction Ind. Res. and Information Association*, London.
- Poulos, H. G.,** 2001. Piled Raft Foundations: Design and Applications, *Geotechnique*, Volume 51, No.2, 95-113
- Poulos, H. G.,** 1991. Analysis of Piled Strip Foundations, *Comp. Methods & Advances in Geomechanics*, Vol.1, 183-191
- Poulos, H. G.,** 1993. Piled Rafts in Swelling or Consolidating Soils, *Jnl. Geotechnical Eng. Div., ASCE*, Vol. 119, No.2, 374-380
- Poulos, H. G., Small, J. C., Ta, L. D., Sinha, J., Chen, L.,** 1997. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts, *Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng.*, Hamburg, Vol. 2, 1119-1124
- Prakoso, W. A., Kulhawy, F. H.,** 2001. Contribution to Piled Raft Foundation Design, *ASCE Journal of Geotech. Geoenv. Eng.*, Vol. 127, No:1, pp. 17-24
- Randolph M, F., Clancy, P.,** 1993. Efficient Design of Piled Rafts, *Proc. Deep Foundation on Bored and Auger Piles*, Ghent, pp. 119-130
- Randolph M, F.,** 1994. Design Methods for Piled Groups and Piled Rafts: State-of-the-Art Report, *Proc. 13th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng.*, New Delhi, Vol 5, pp. 61-82
- Reul, O., Randolph, M. F.,** 2003. Piled Rafts in Overconsolidated Clay: Comparison of In-situ Measurements and Numerical Analyses, *Geotechnique*, Vol. 53, No.3, 301-315
- Reul, O., Randolph, M. F.,** 2004. Design Strategies for Piled Rafts Subjected to Nonuniform Vertical Loading, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No.1, 1-12
- Sinha, J.,** 1997. Piled Raft Foundations Subjected to Swelling and Shrinking Soils, PhD. Thesis, Univ. of Sydney, Australia
- Ta, L. D., Small, J. C.,** 1996. Analysis of Piled Raft System in Layered Soils, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol. 20, pp. 57-72
- Teng, Wayne C.,** 1962. Foundation Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

- Vermeer, P. A., Brinkgreve, R. B. J.,** 1995. PLAXIS Version 7.2 User Manual, Balkema, Rotterdam, The Netherlands
- Wang, A.,** 1996. Three Dimensional Finite Element Analysis of Pile Groups and Piled Rafts, PhD. Dissertation, University of Manchester, UK

EKLER

Ek-A

7 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonları

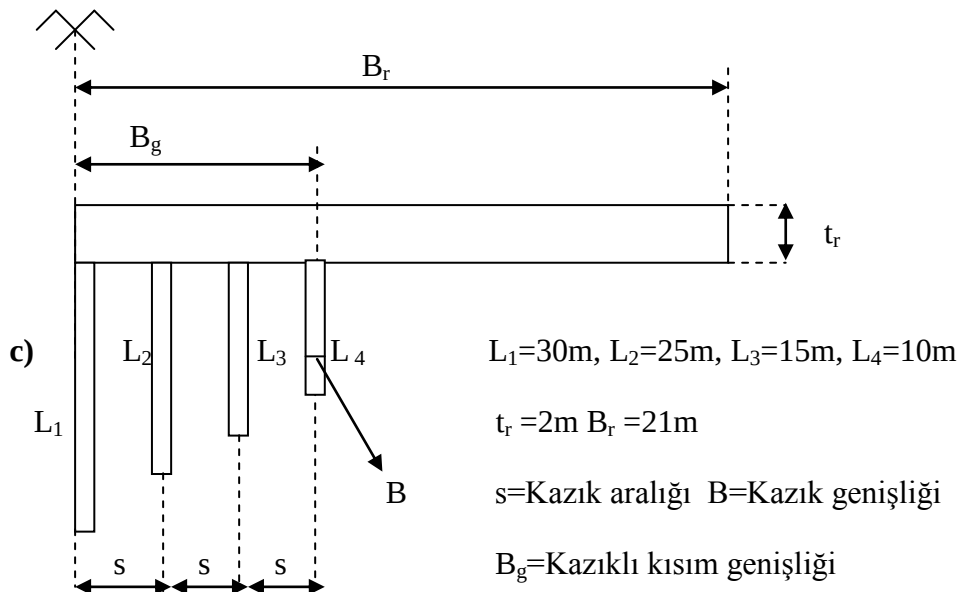
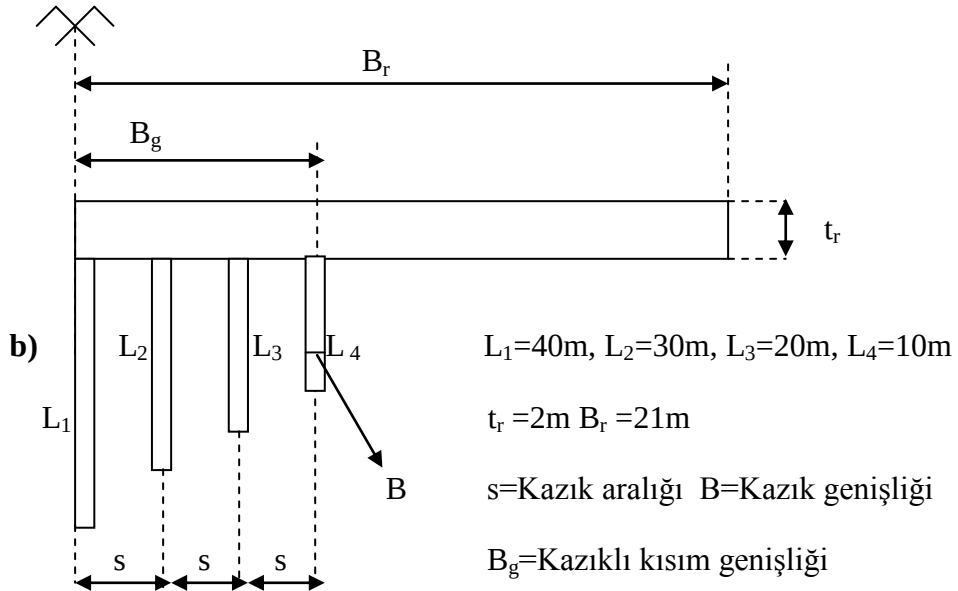
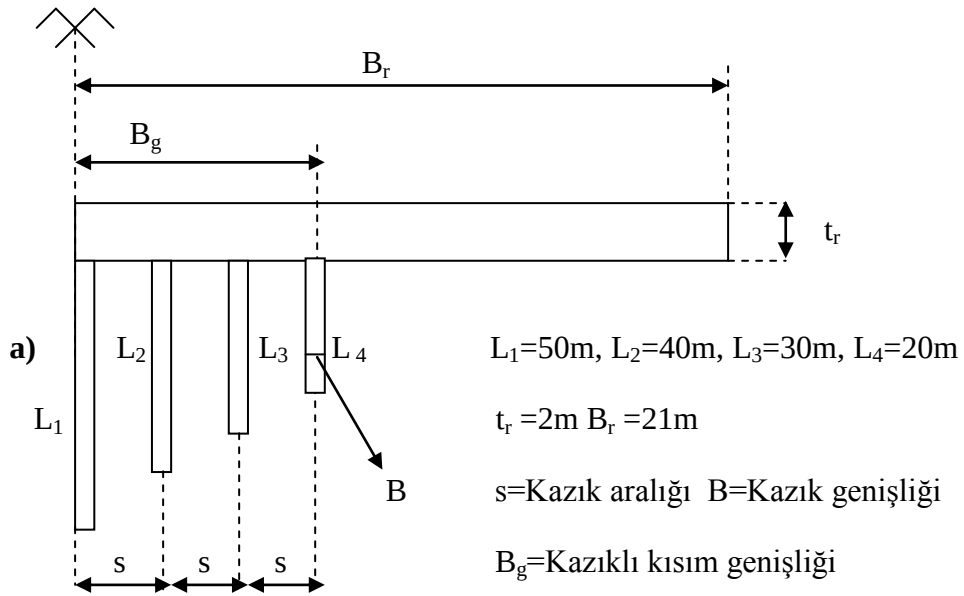
9 Kazıklı Radye Temel Konfigürasyonları

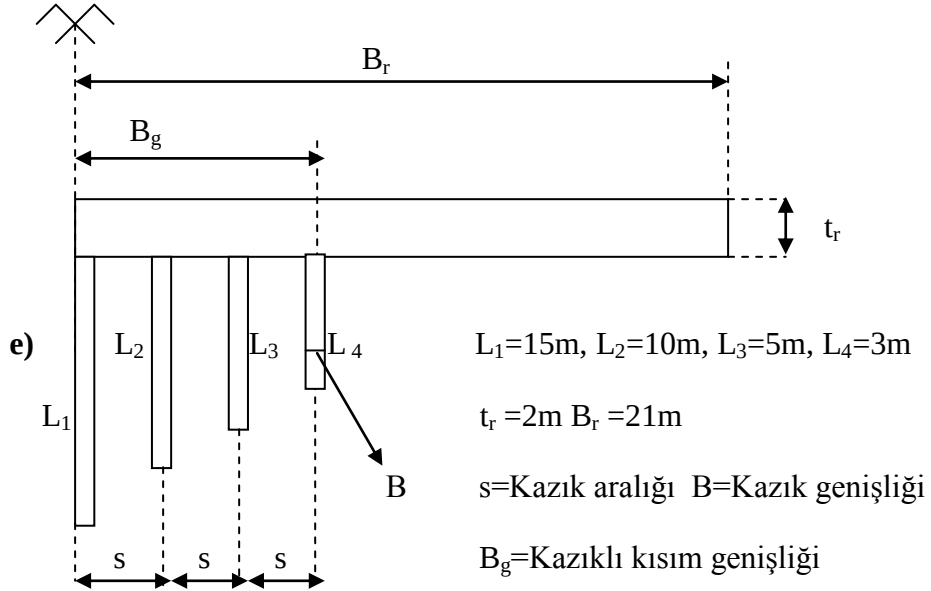
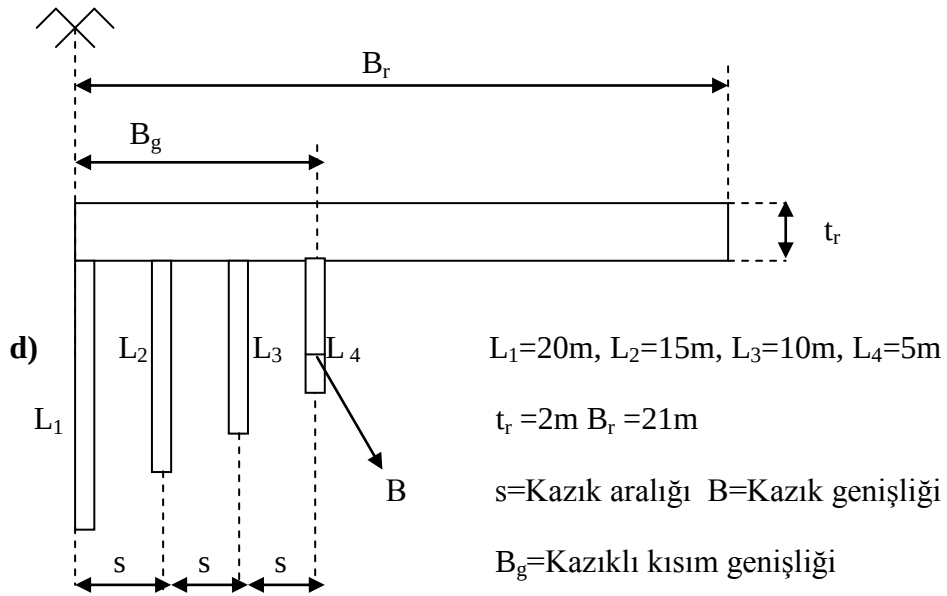
Kil Zeminde Kazıklı Radye Temel Analiz Sonuçlarının Grafikleri

Kum Zeminde Kazıklı Radye Temel Analiz Sonuçlarının Grafikleri

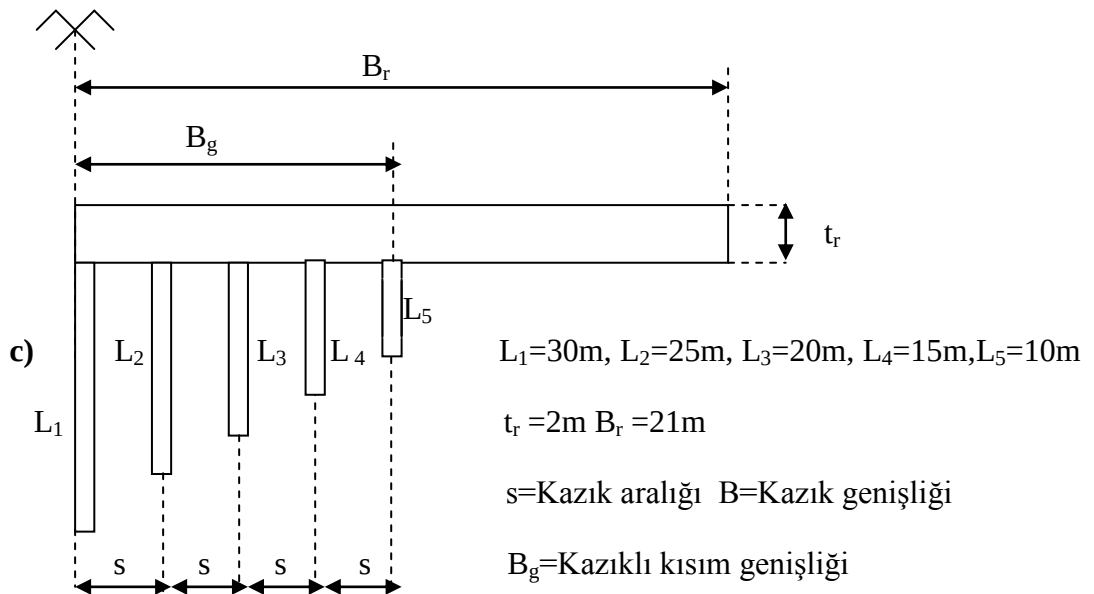
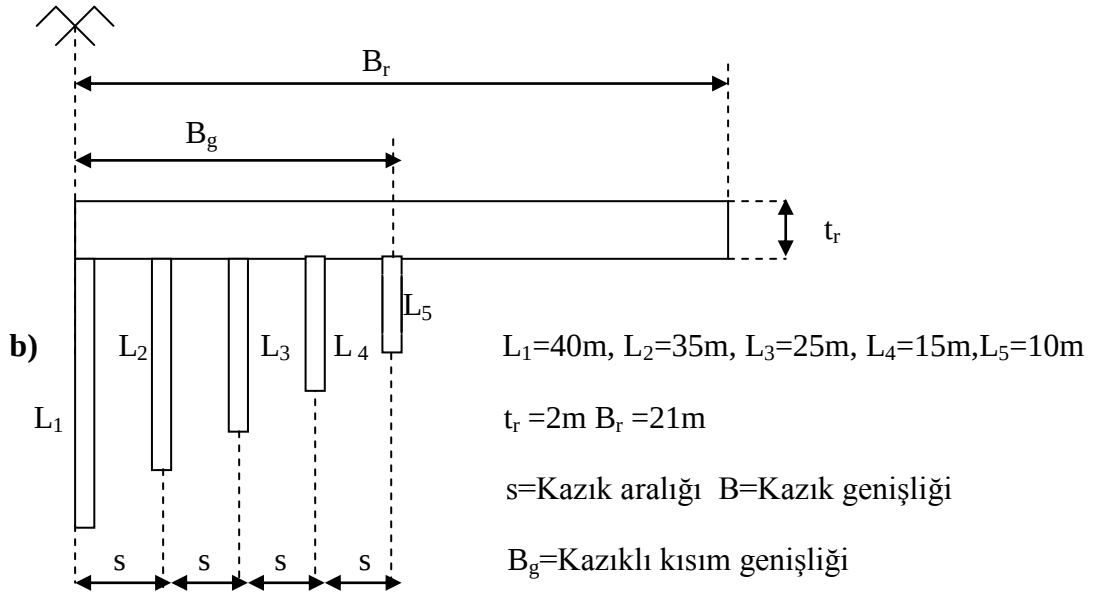
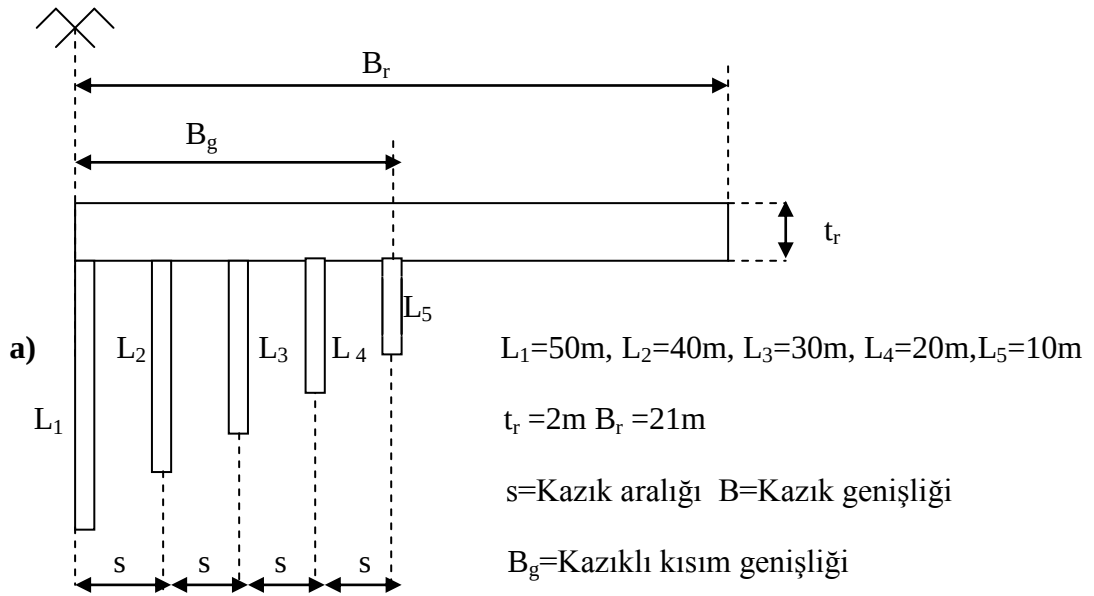
Ek-B

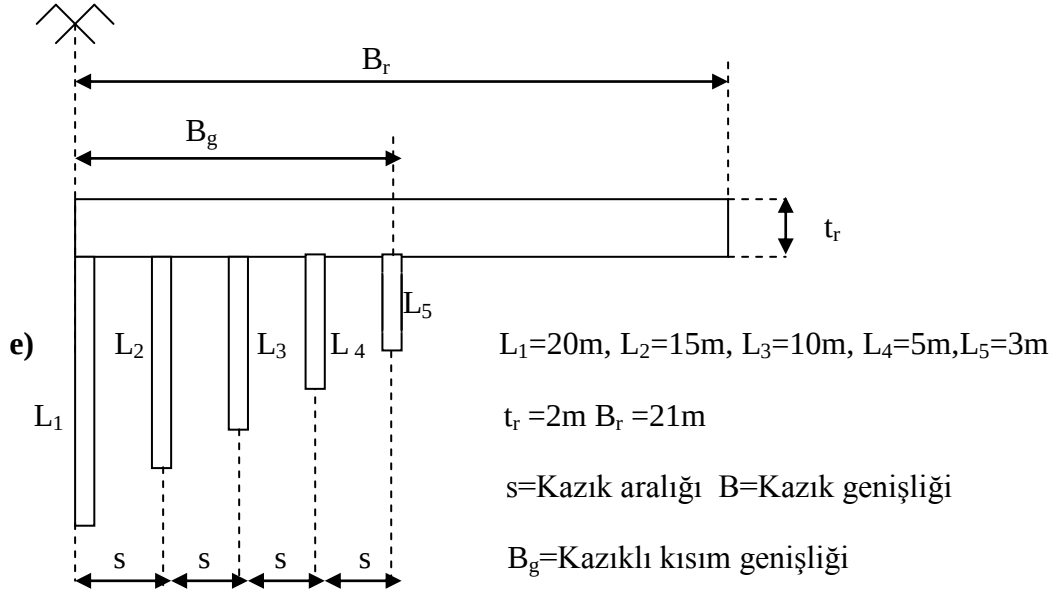
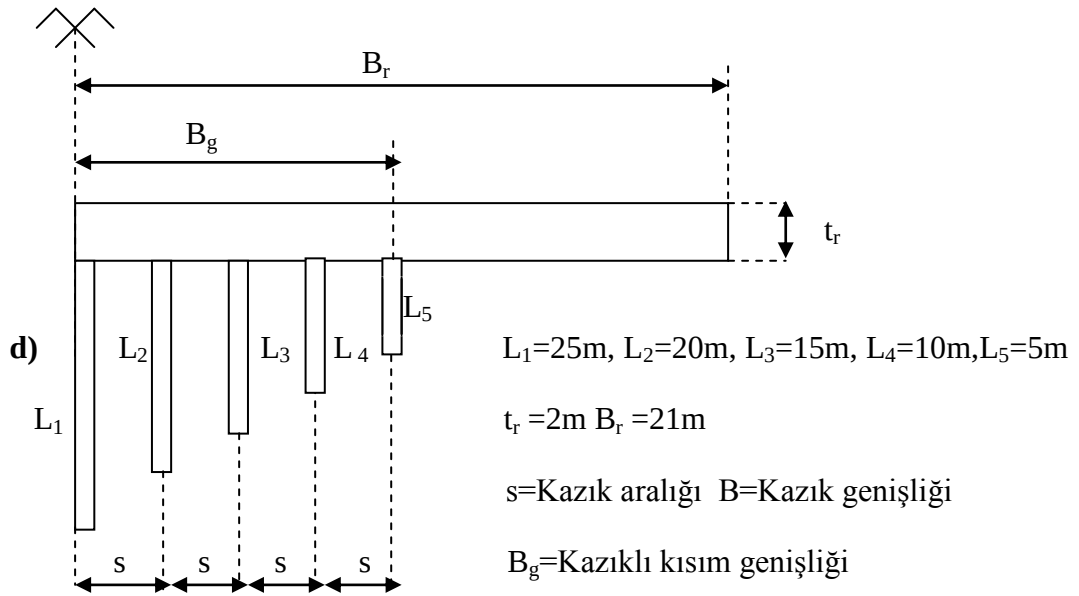
Kazıklı Radye Temelin Kayma Güvenliği Hesabı



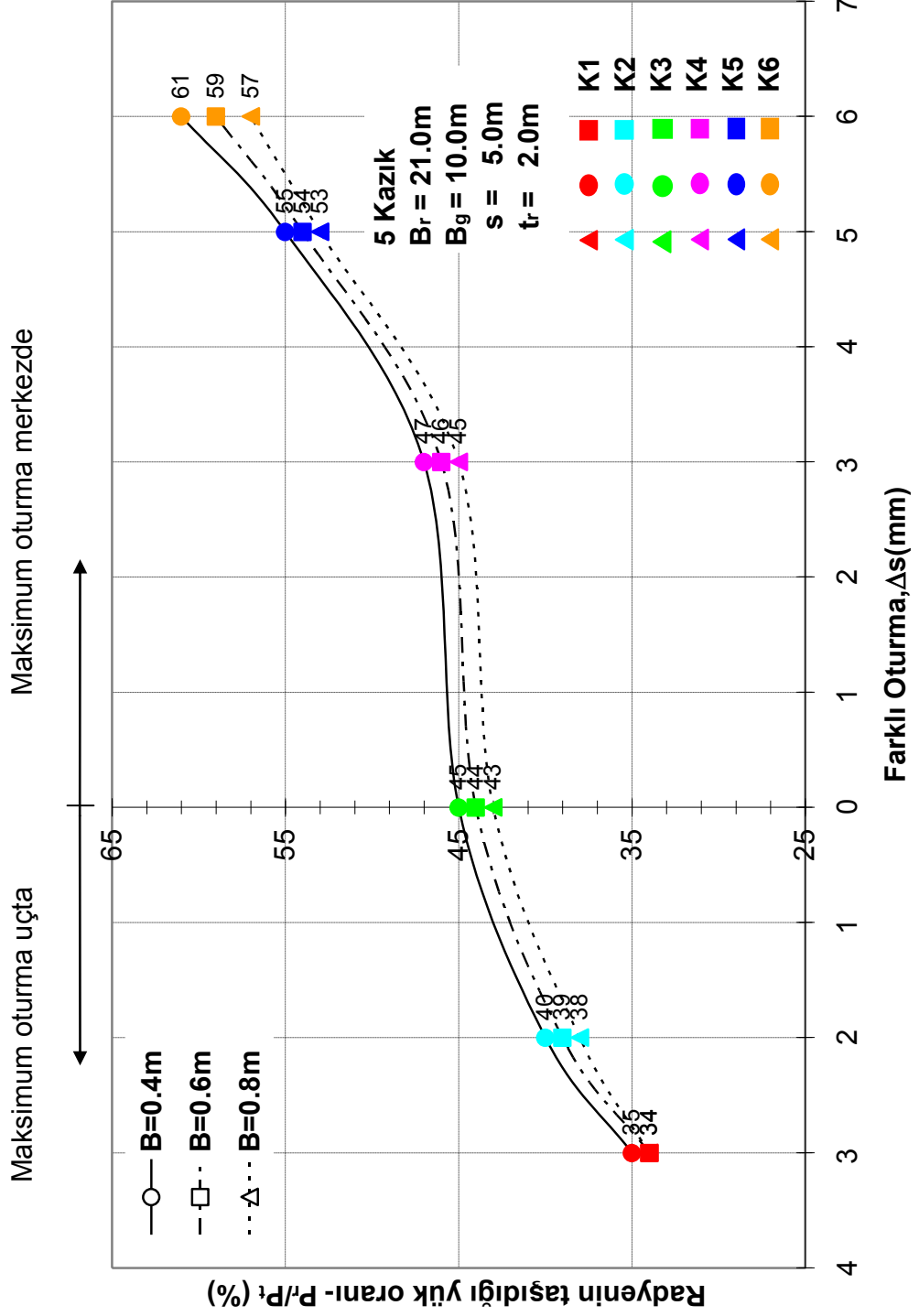


Şekil A.1 7 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar: a)1.Konfigürasyon
b)2.Konfigürasyon c)3.Konfigürasyon d)4.Konfigürasyon e)5.Konfigürasyon

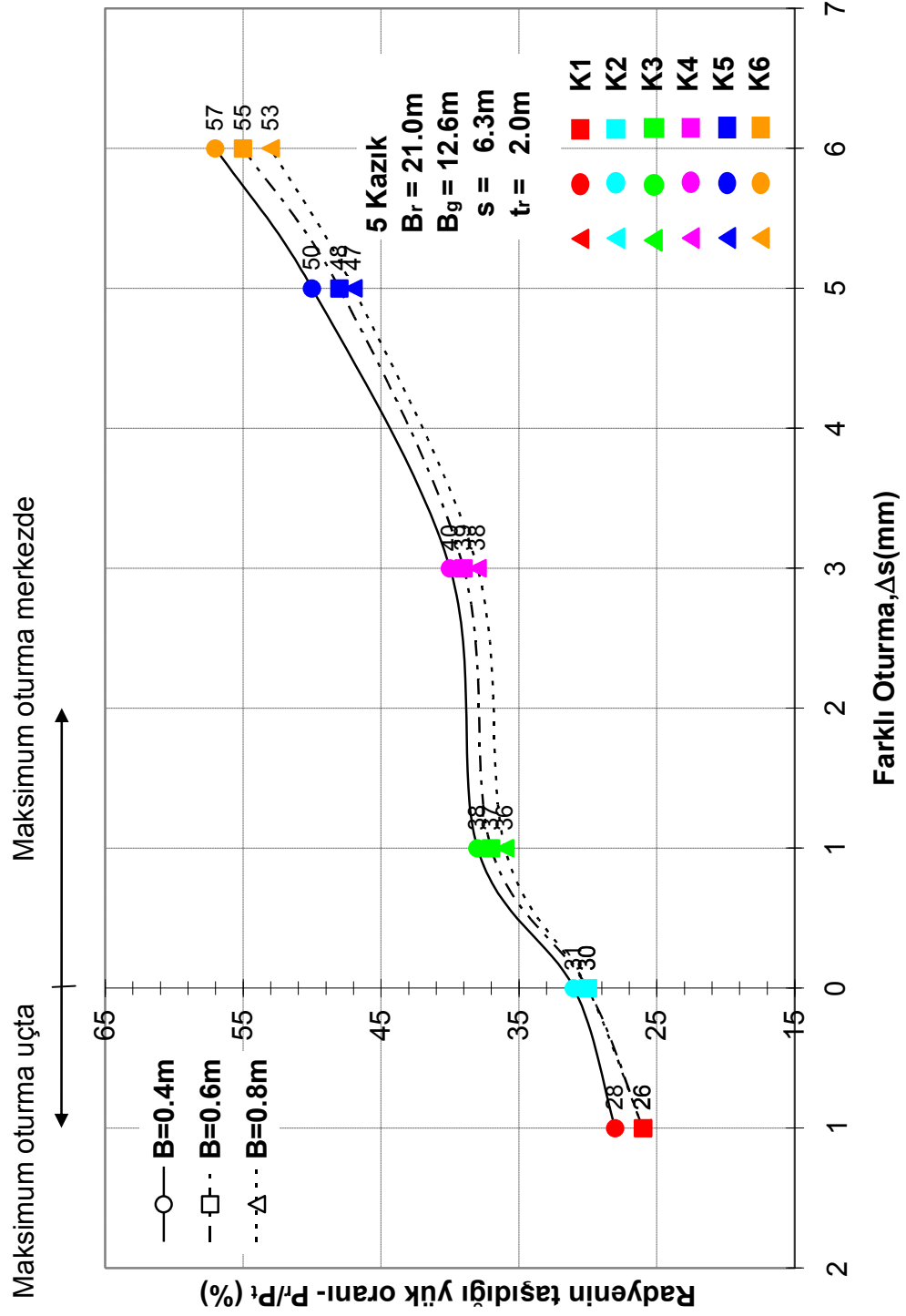




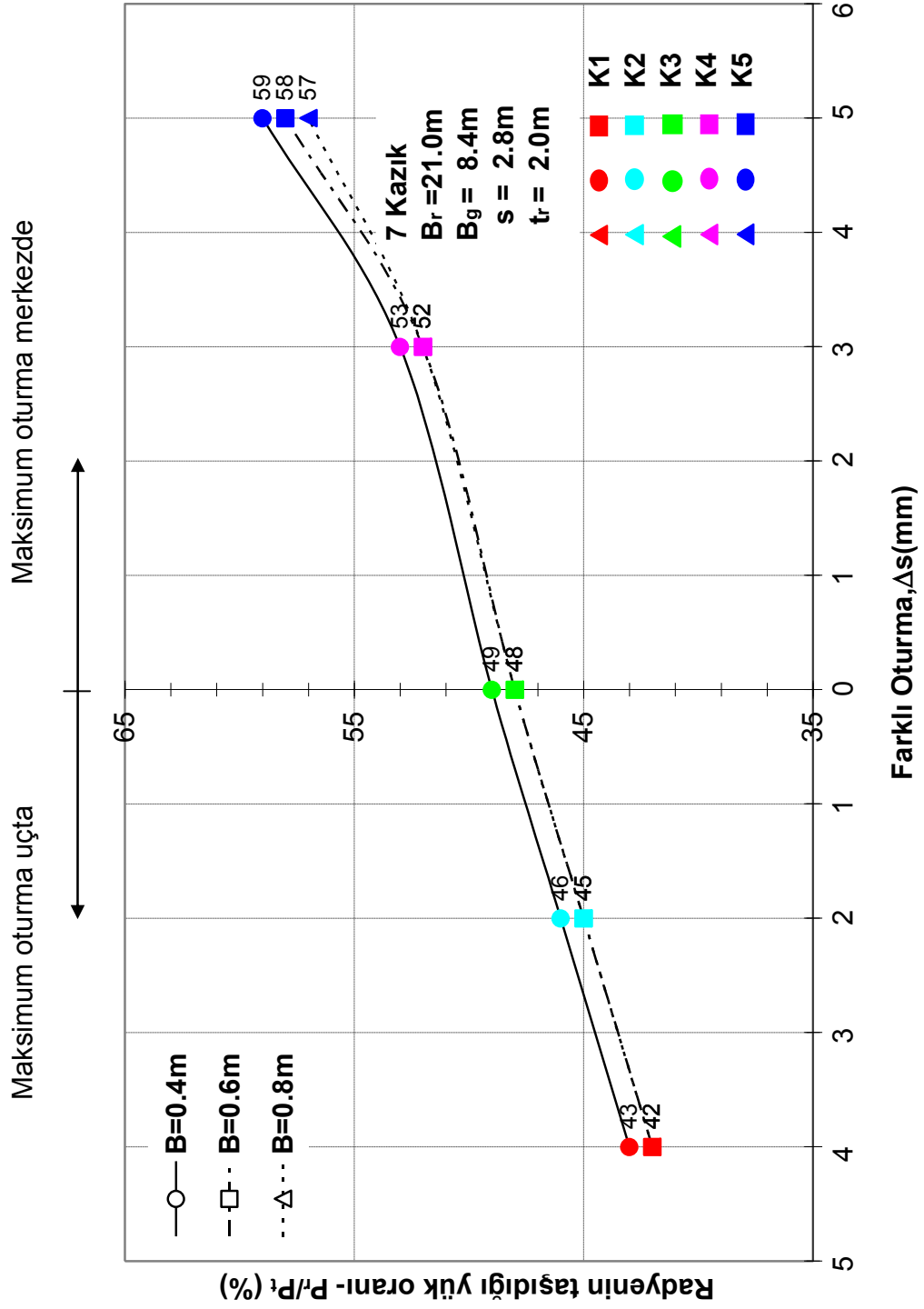
Şekil A.2 9 Kazıklı radye temele ait konfigürasyonlar: a)1.Konfigürasyon
b)2.Konfigürasyon c)3.Konfigürasyon d)4.Konfigürasyon e)5.Konfigürasyon



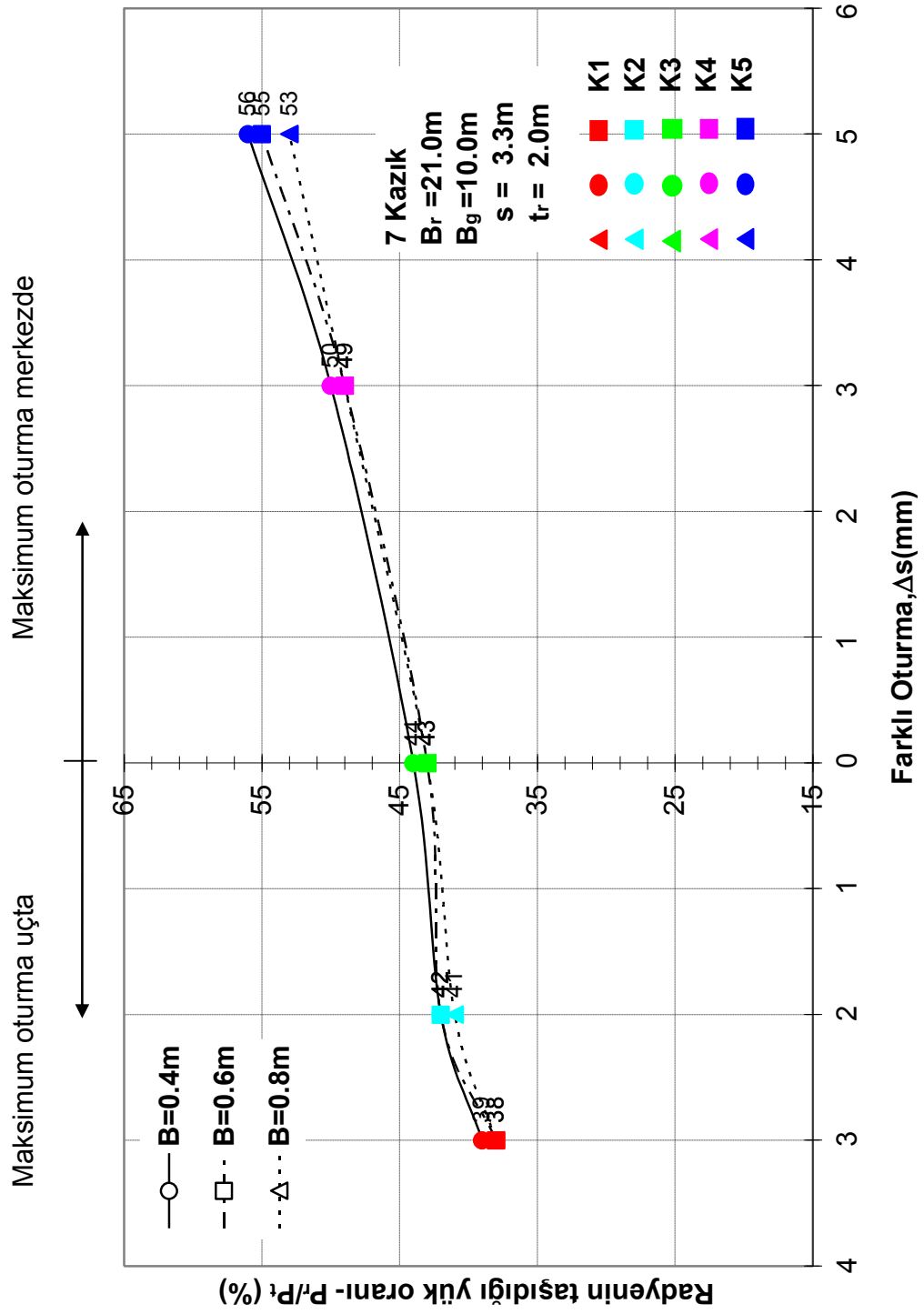
Şekil A.3 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=10\text{m}$)



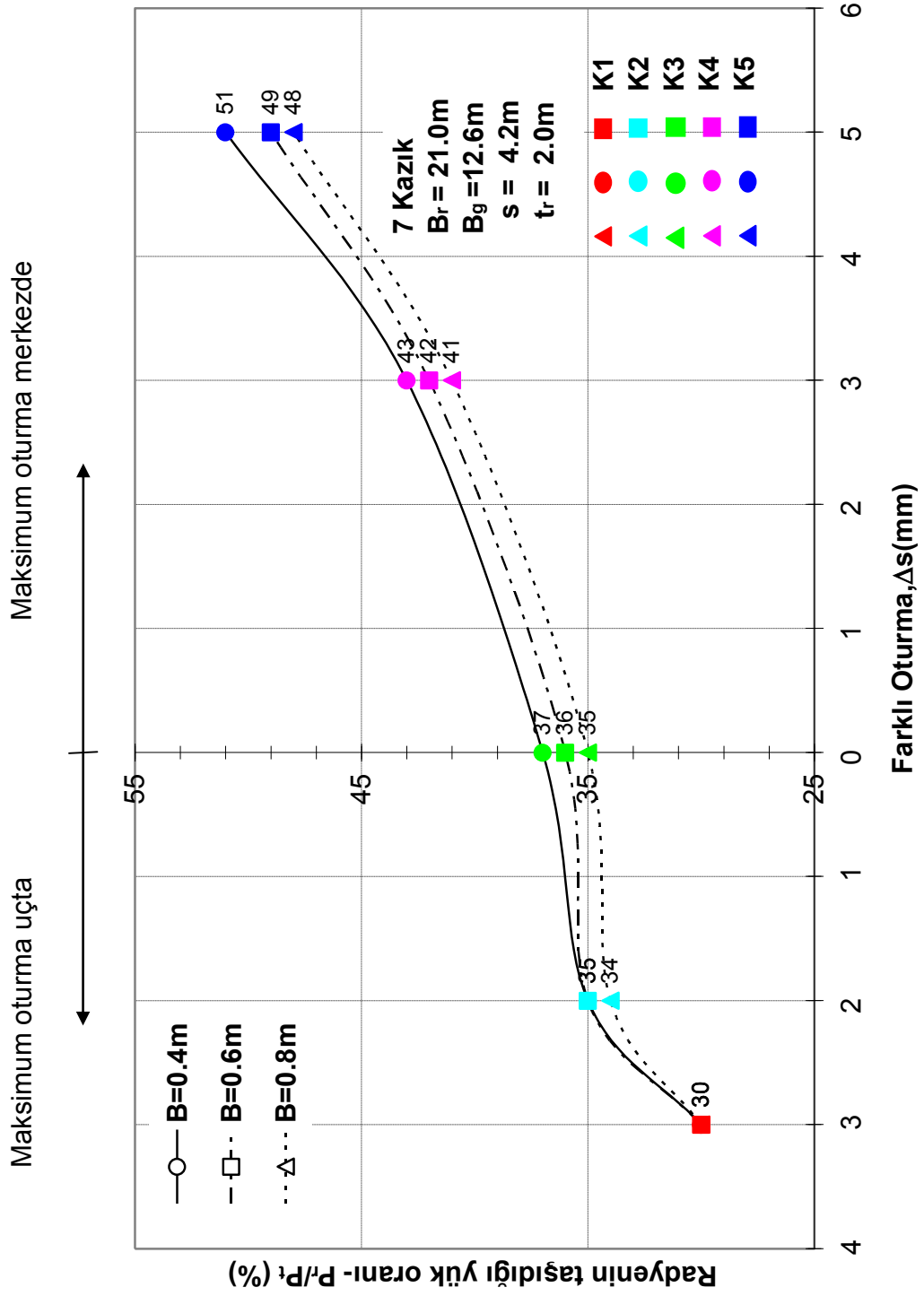
Şekil A.4 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=12.6\text{m}$)



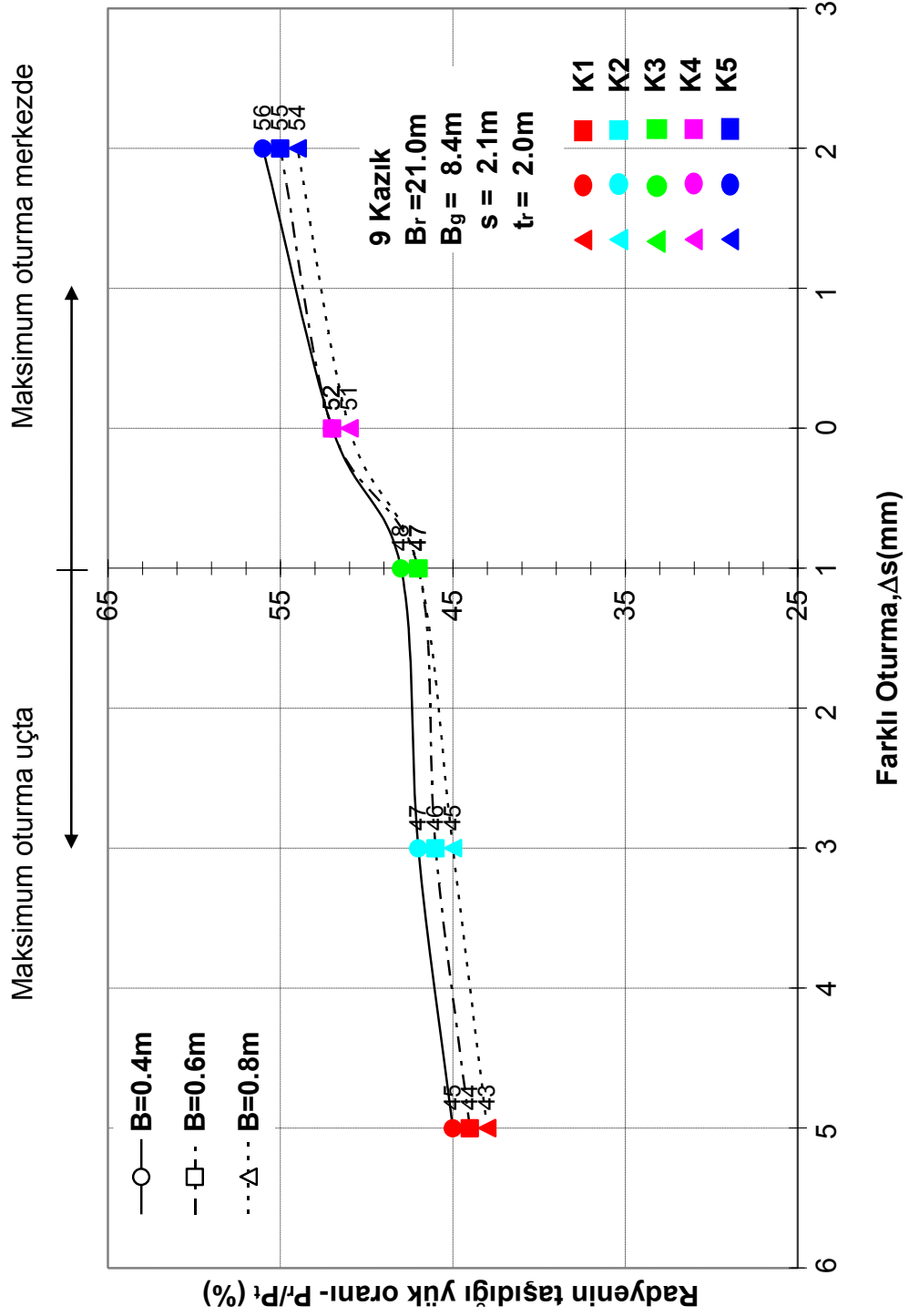
Şekil A.5 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu I - $B_g=8.4\text{m}$)



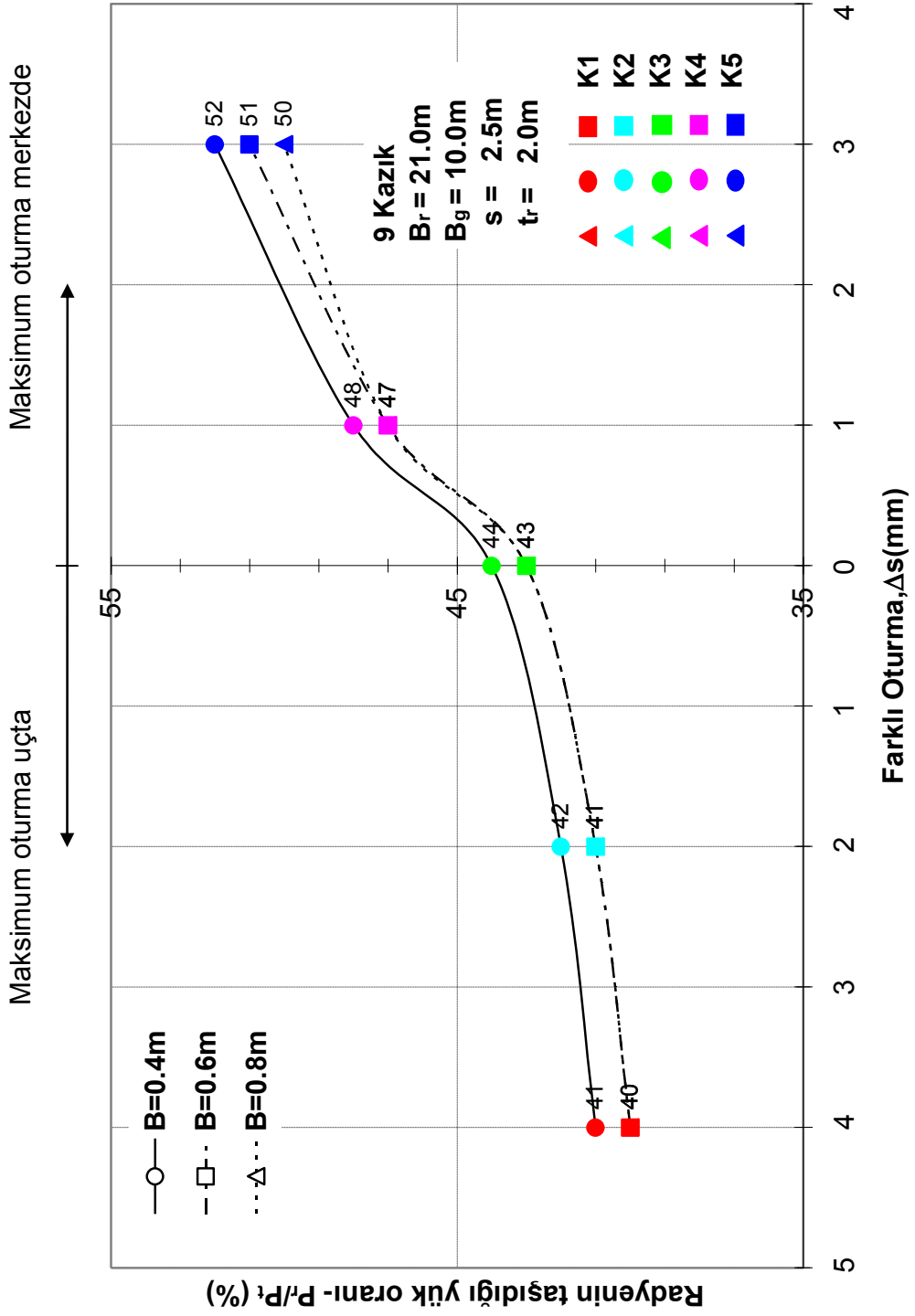
Şekil A.6 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=10\text{m}$)



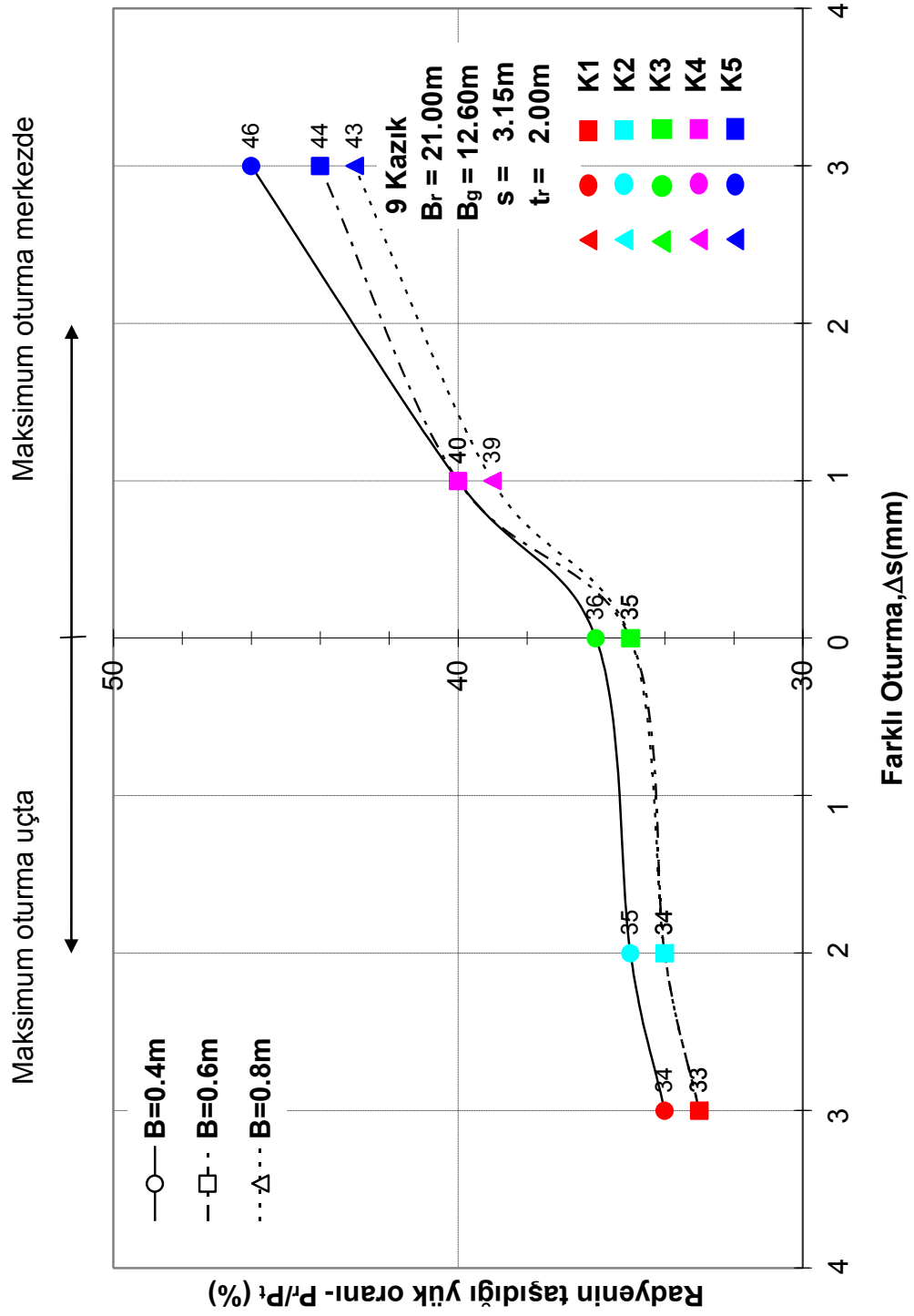
Şekil A.7 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=12.6\text{m}$)



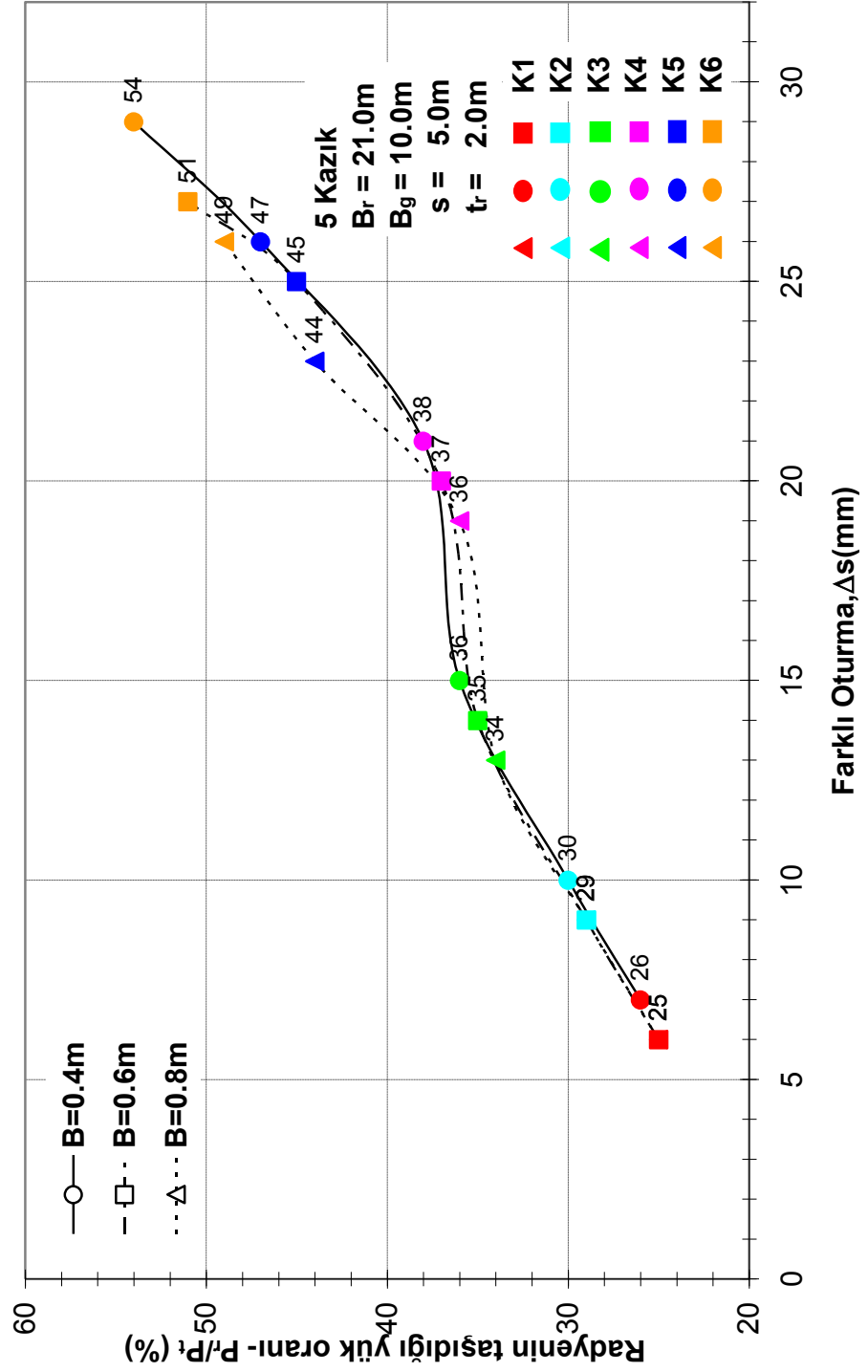
Şekil A.8 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=8.4\text{m}$)



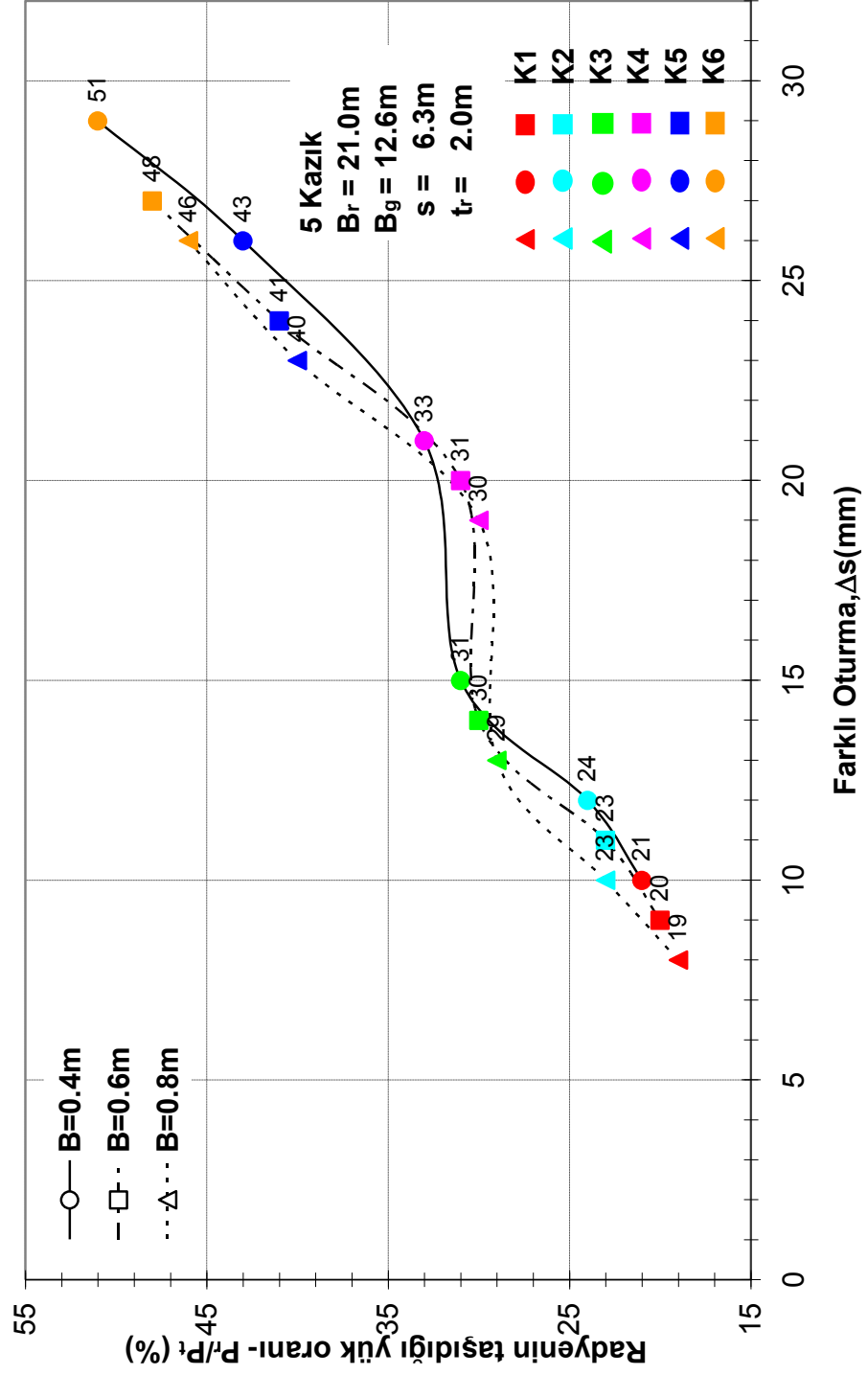
Şekil A.9 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu I - $B_g=10\text{m}$)



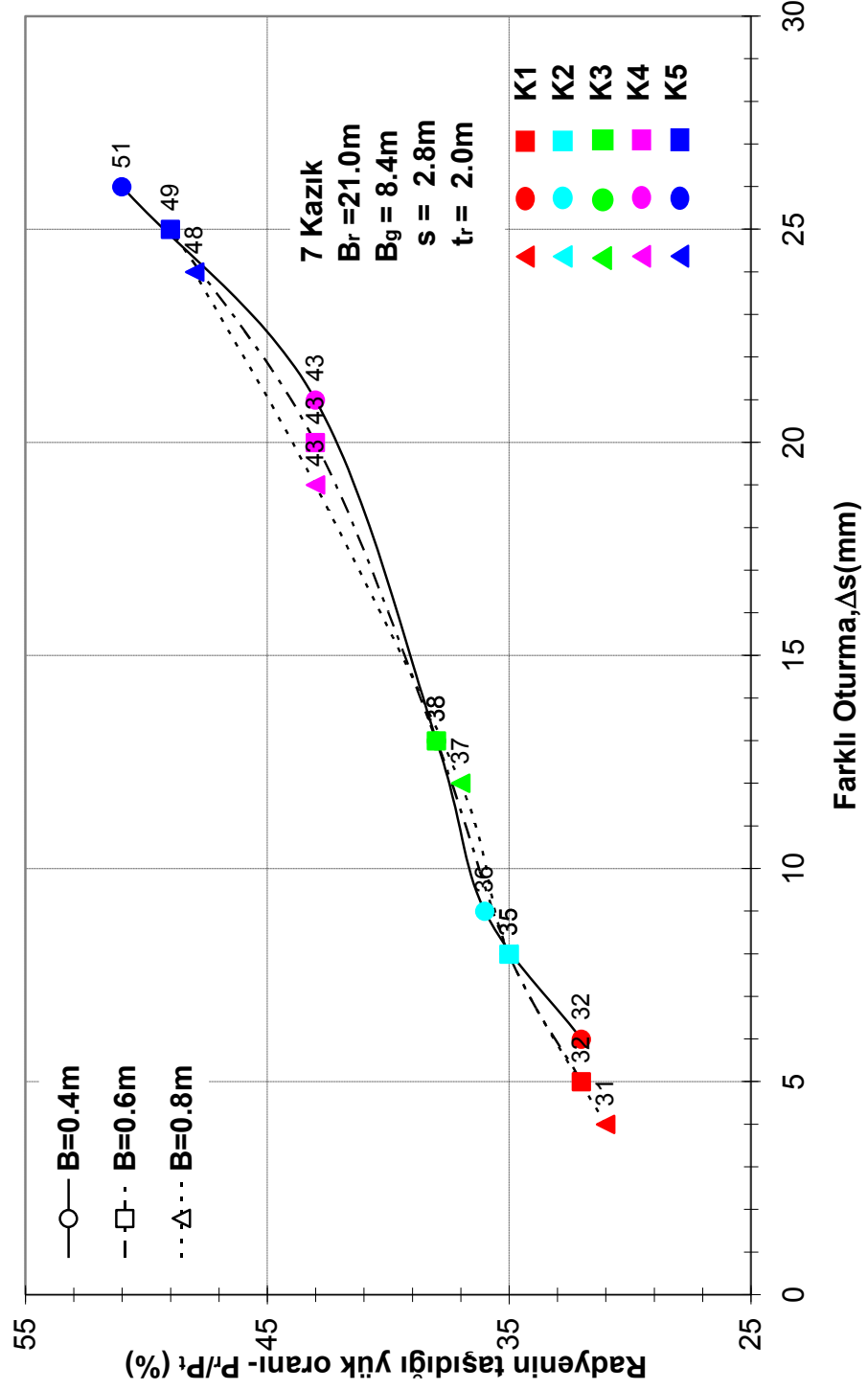
Şekil A.10 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu1 - $B_g=12.6\text{m}$)



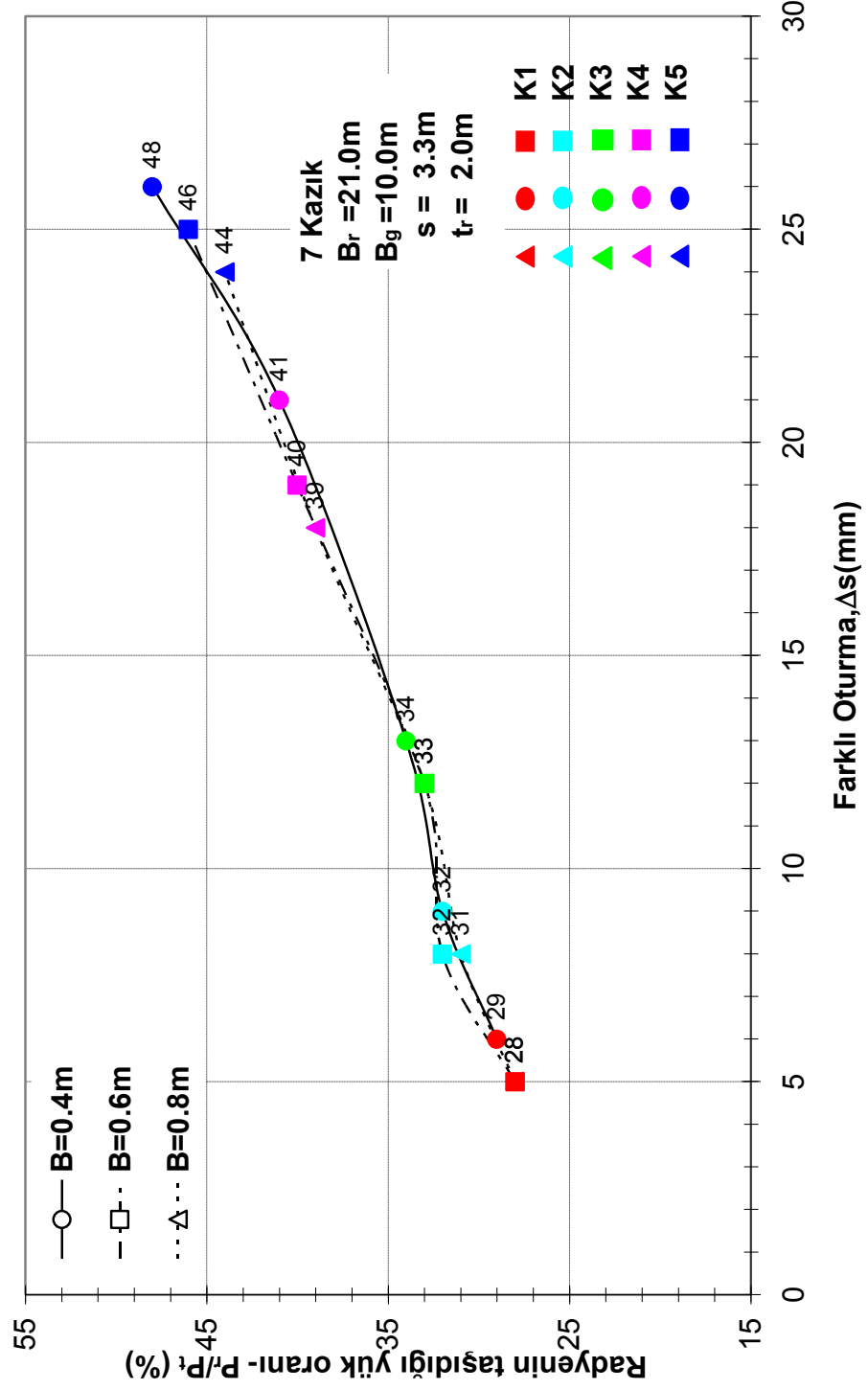
Şekil A.11 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



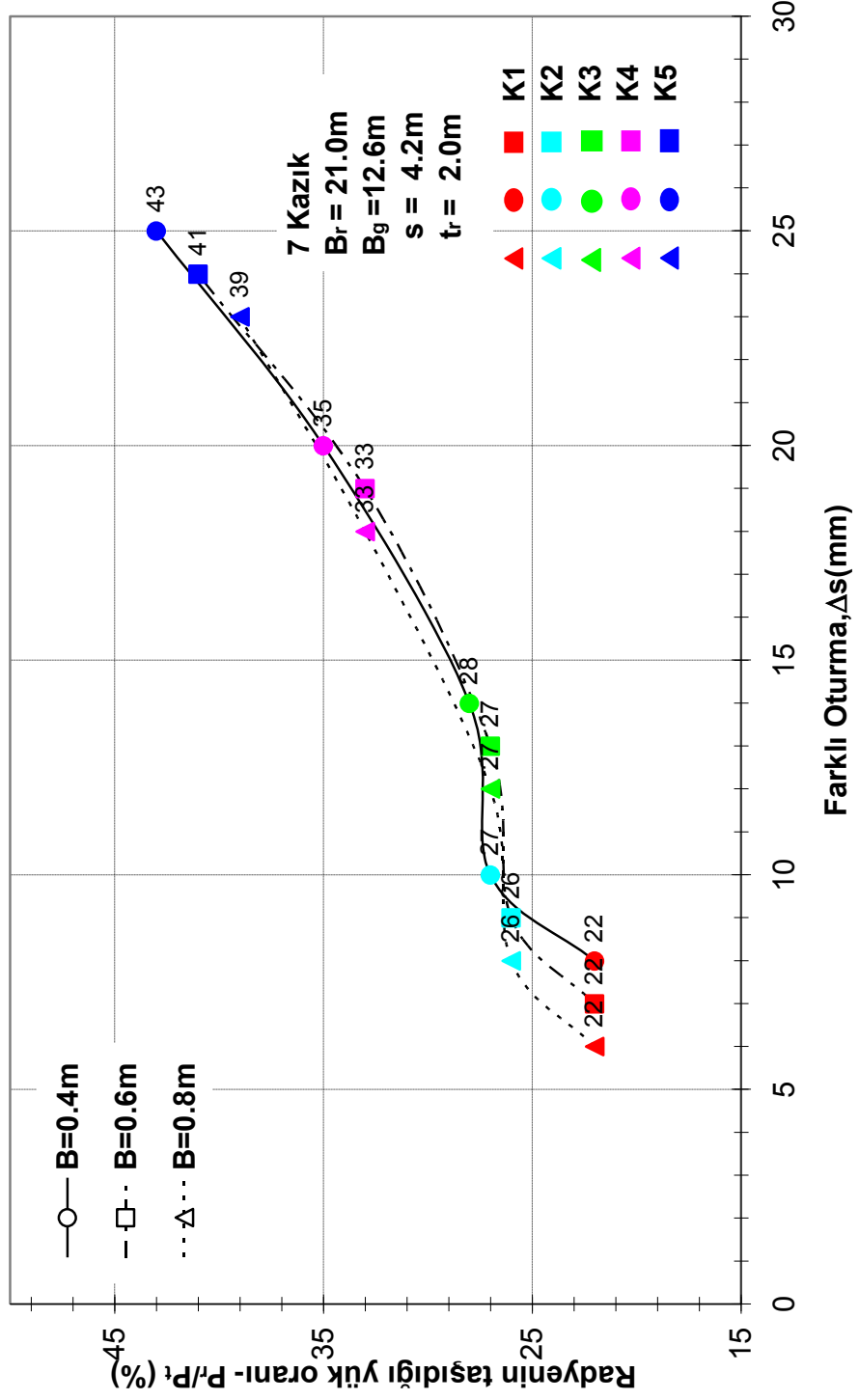
Şekil A.12 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)



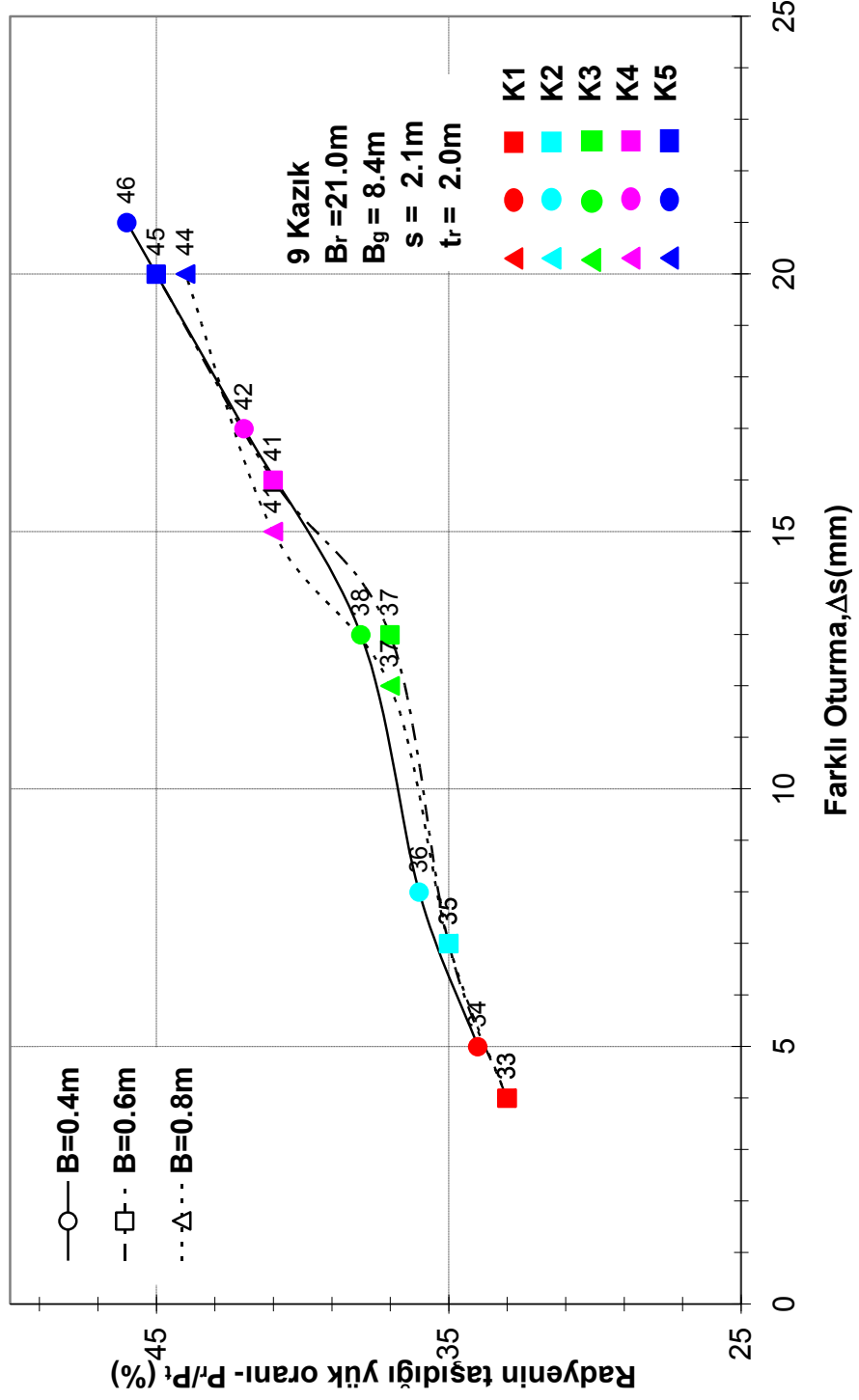
Şekil A.13 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)



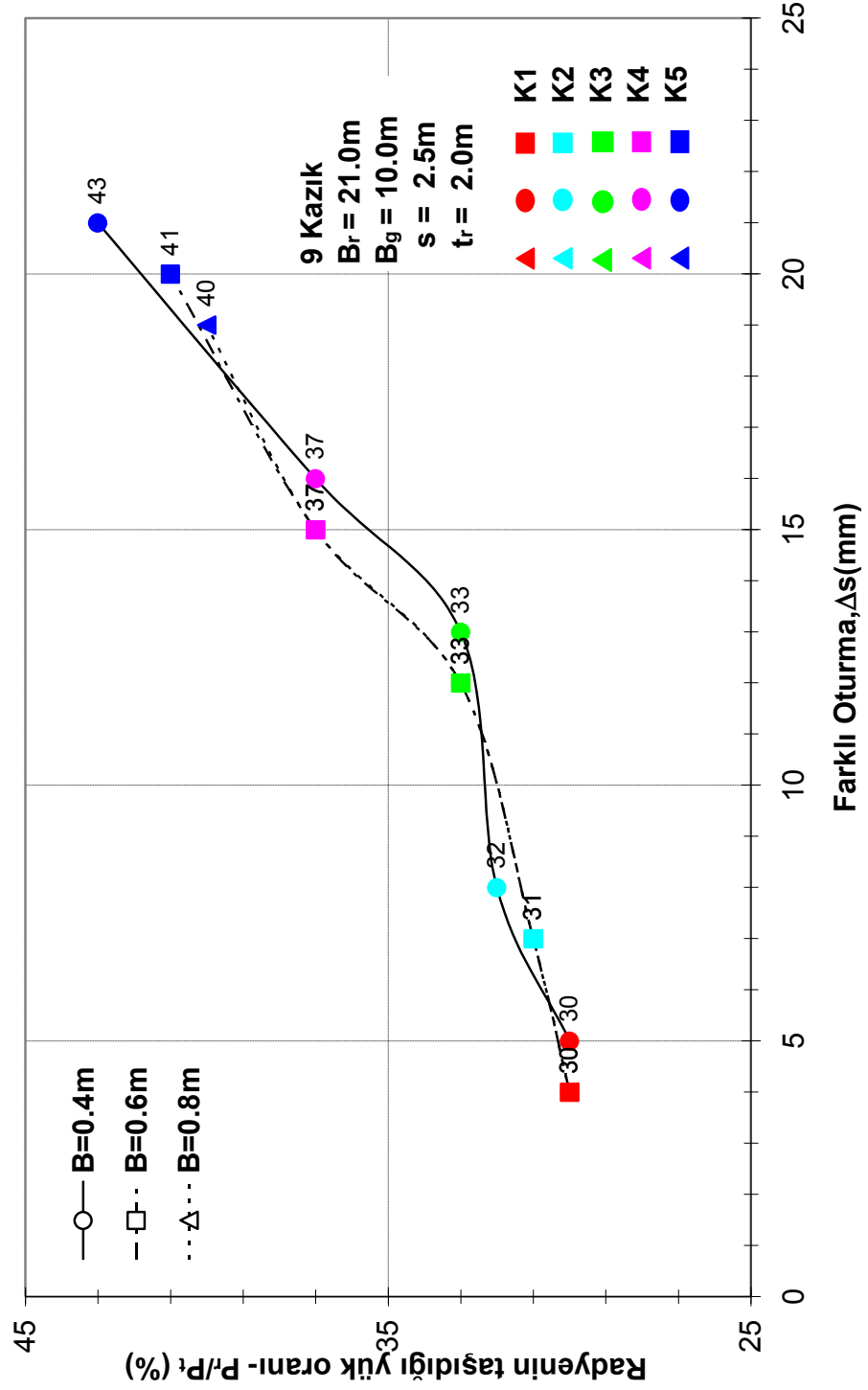
Şekil A.14 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



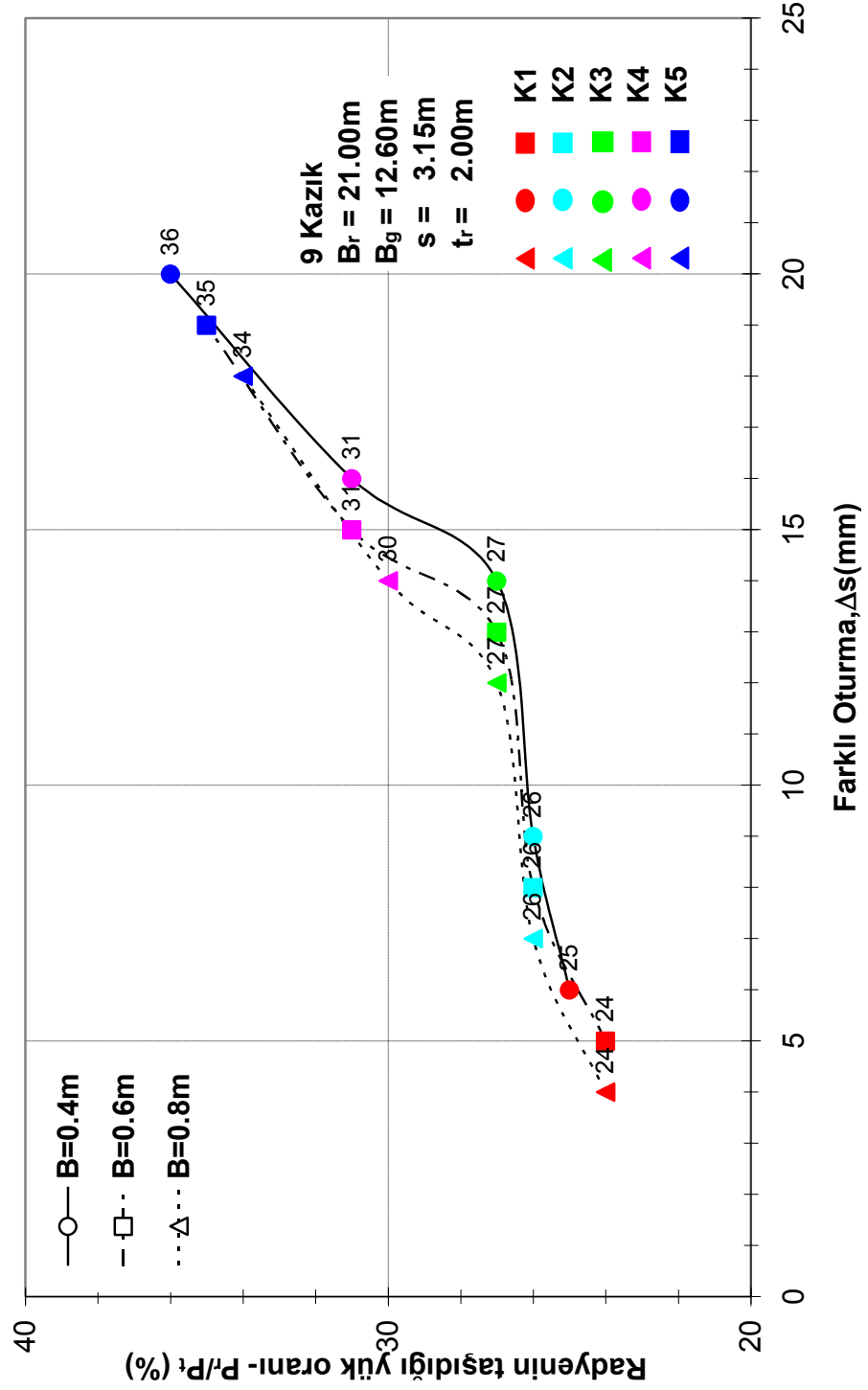
Şekil A.15 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)



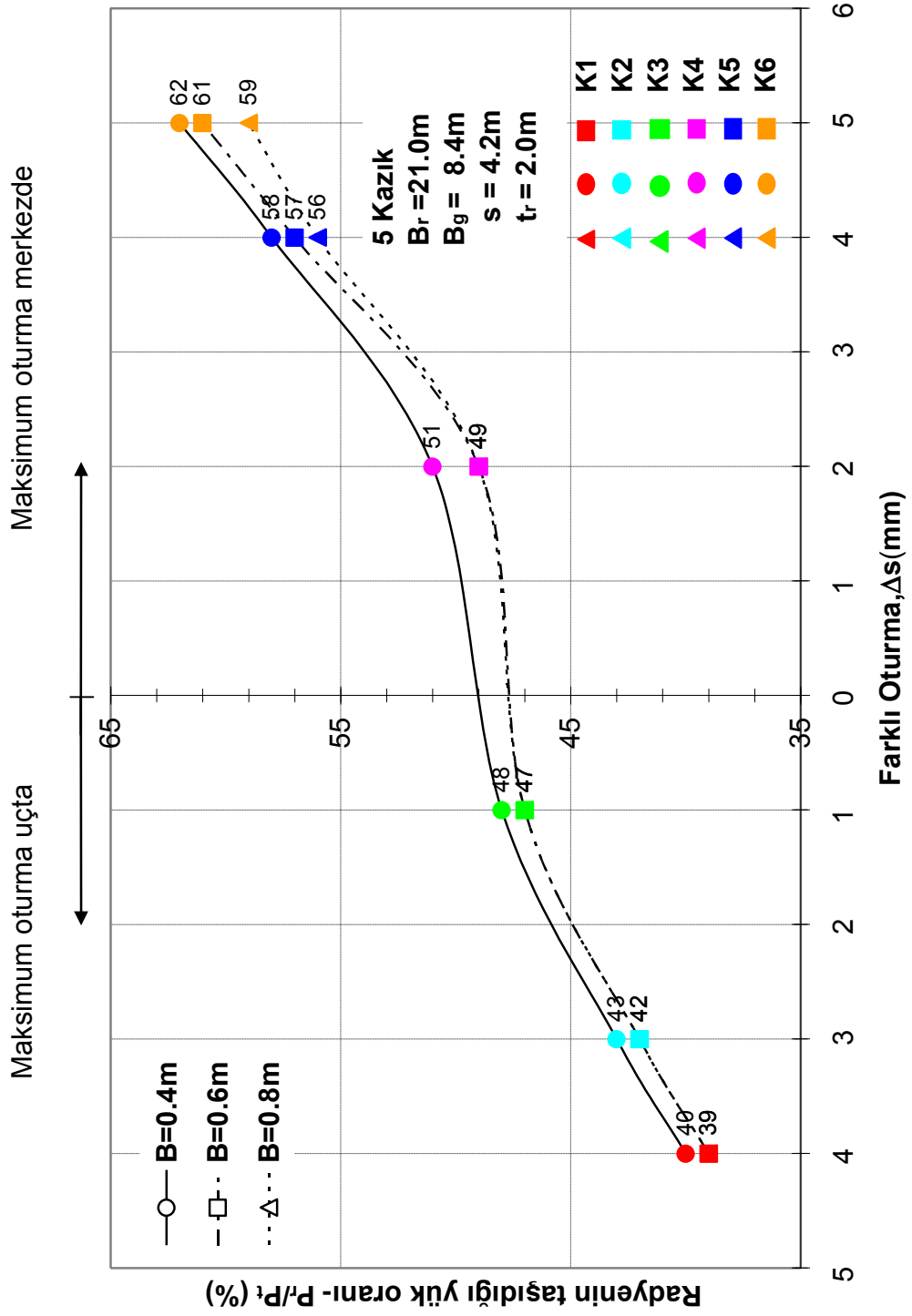
Şekil A.16 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)



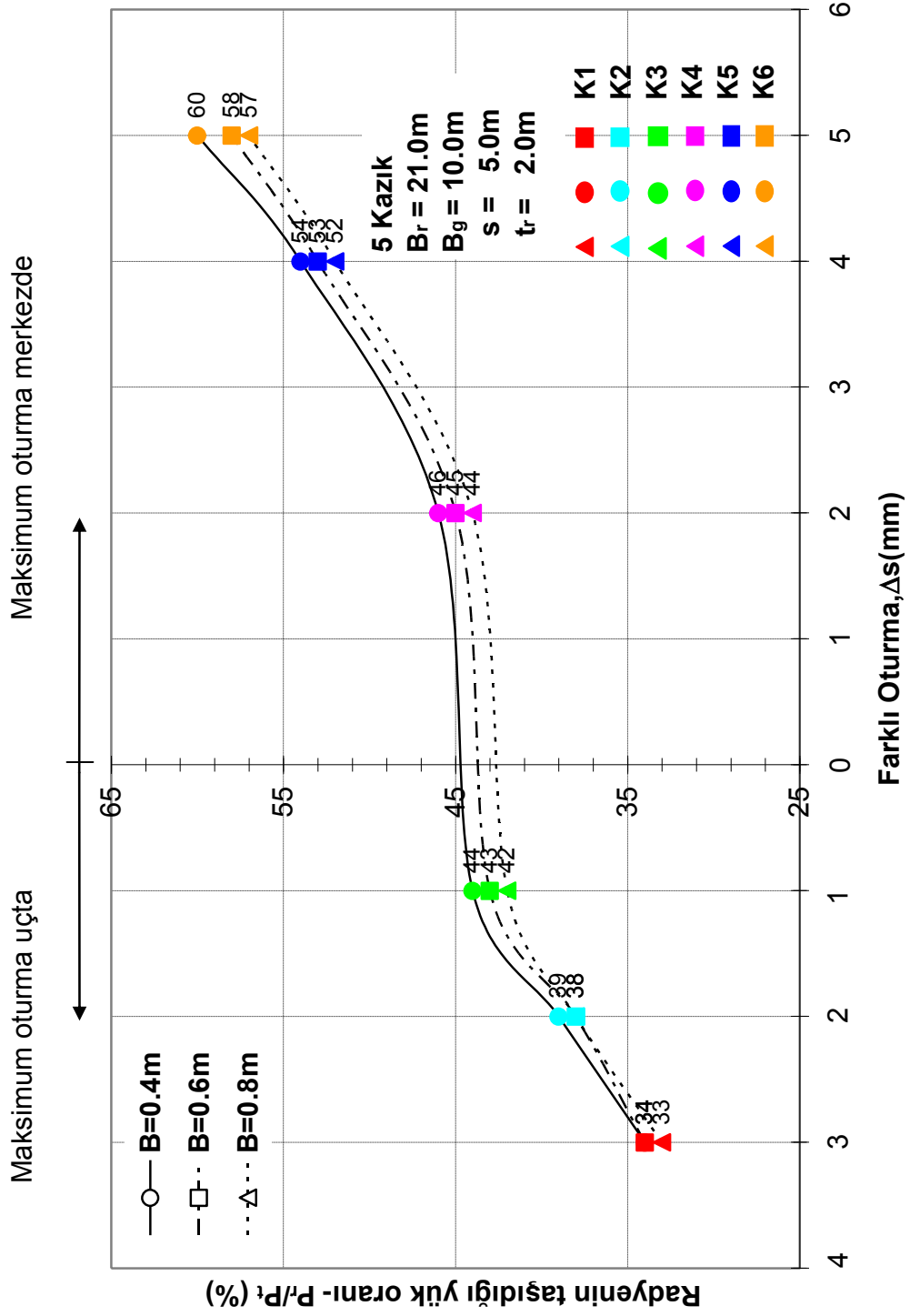
Şekil A.17 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



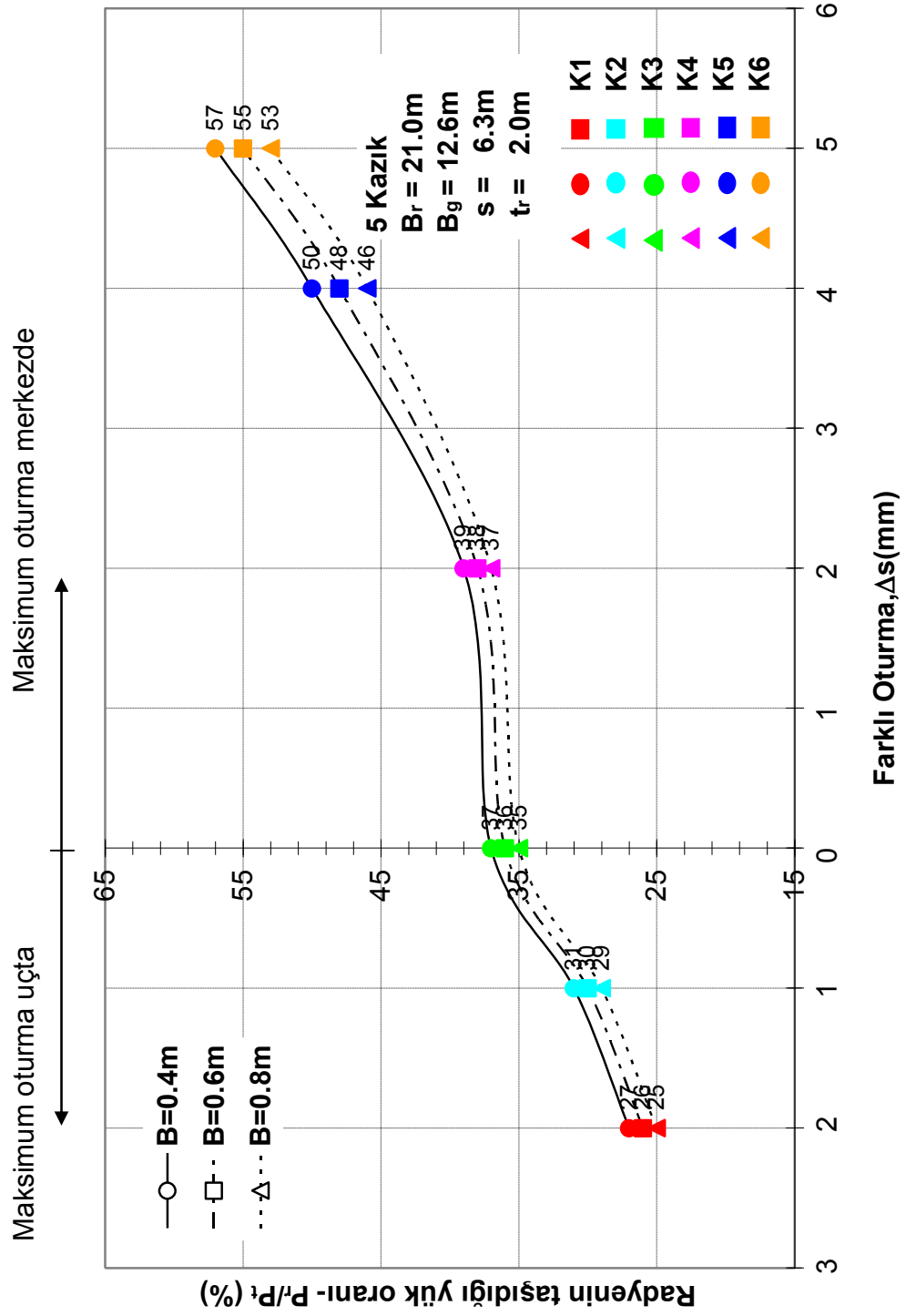
Şekil A.18 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KİL - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)



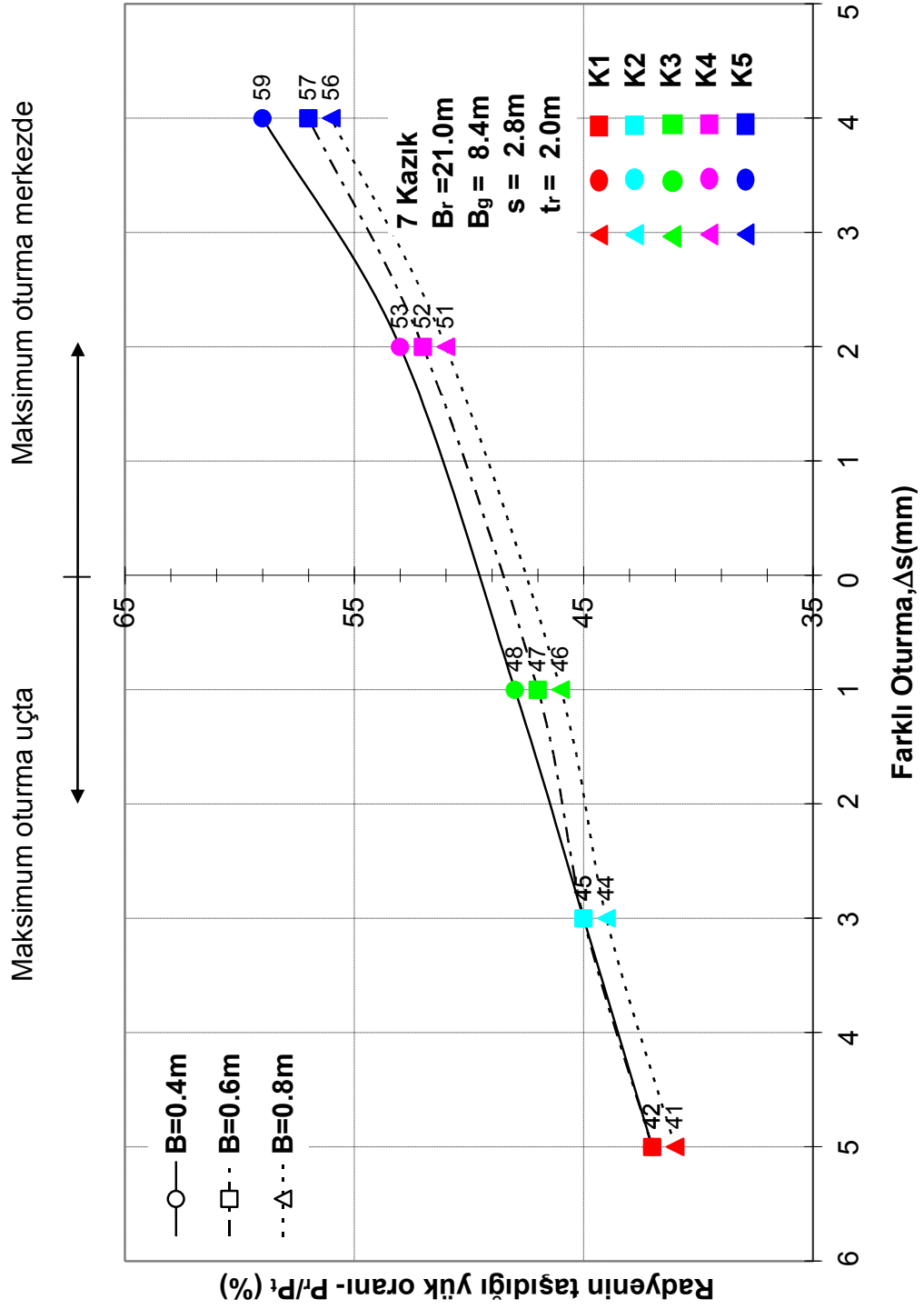
Şekil A.19 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=8.4\text{m}$)



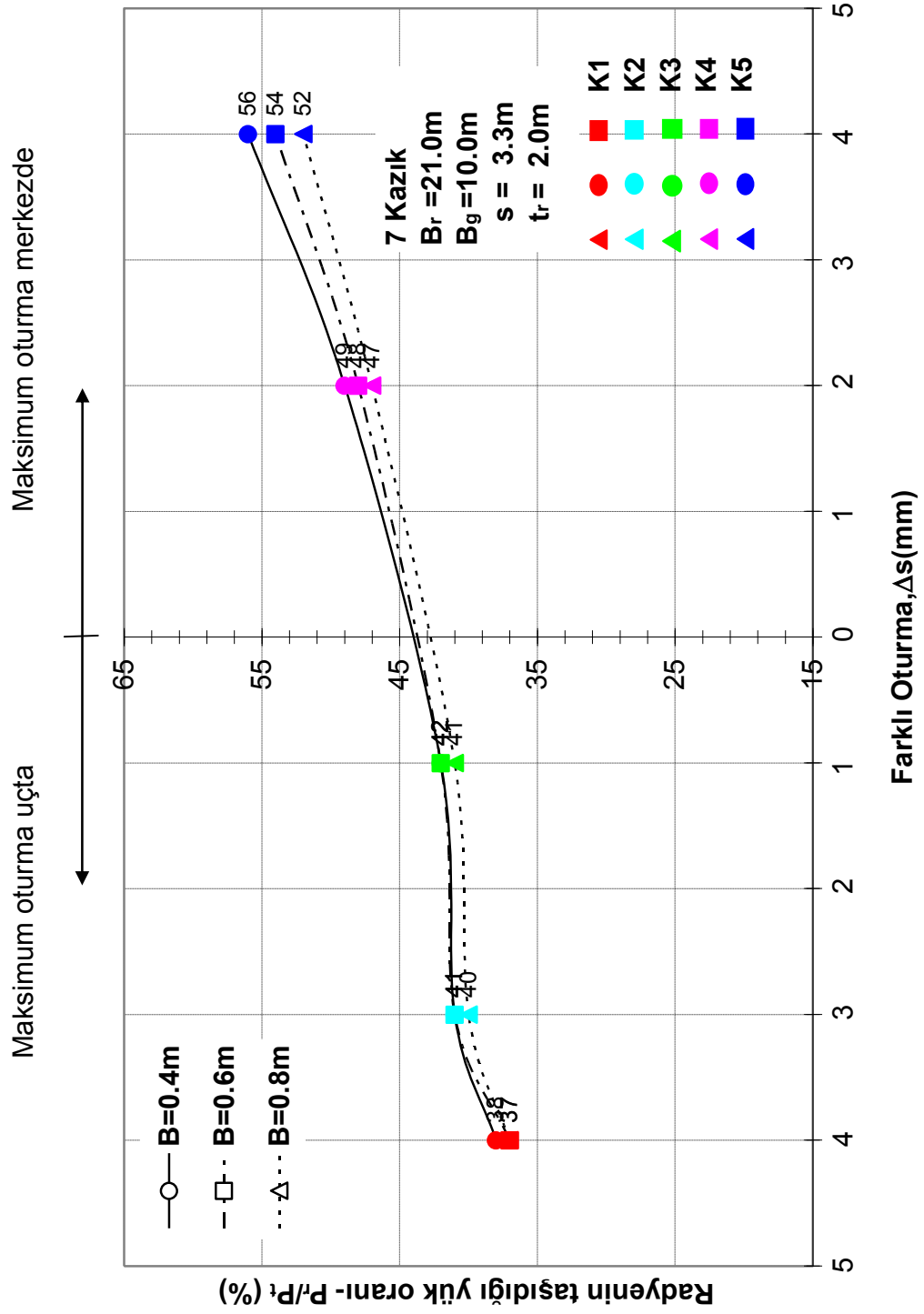
Şekil A.20 5 Kazıklı Radye Temelin (P/P_t) - Farklı Oturma Grafiğı (KUM - Yük Durumu I - $B_g=10\text{m}$)



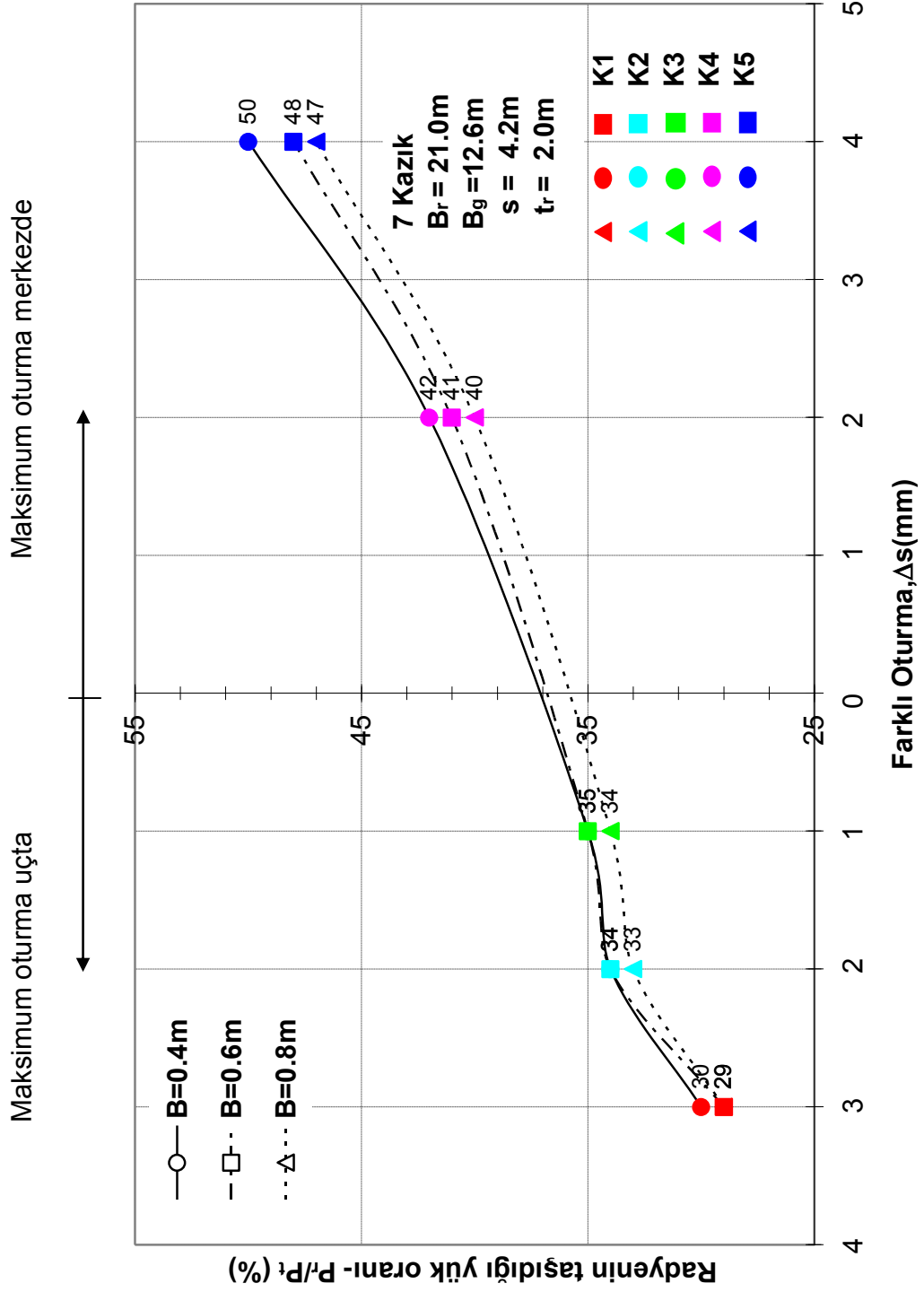
Şekil A.21 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiğı (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=12.6\text{m}$)



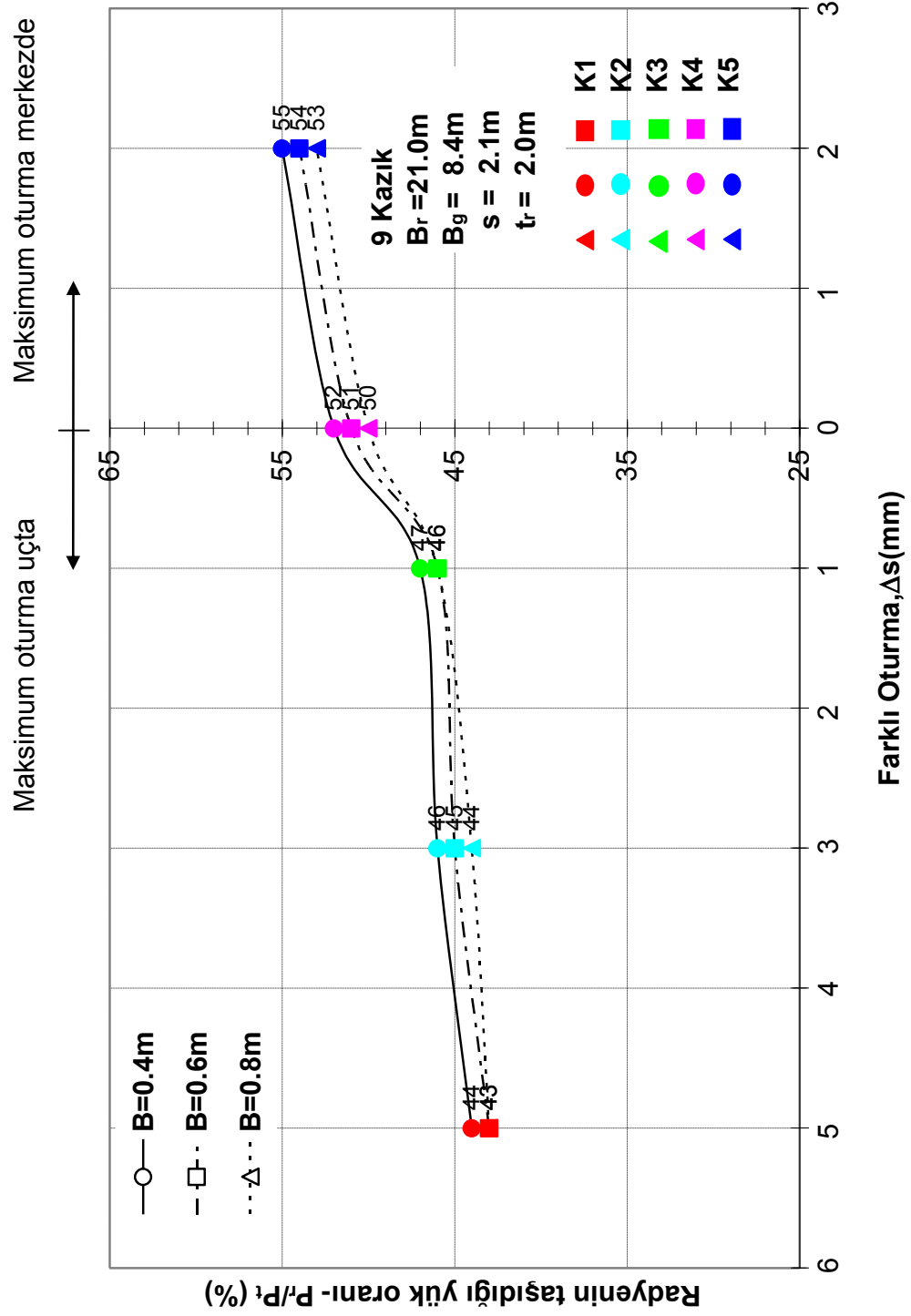
Şekil A.22 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=8.4\text{m}$)



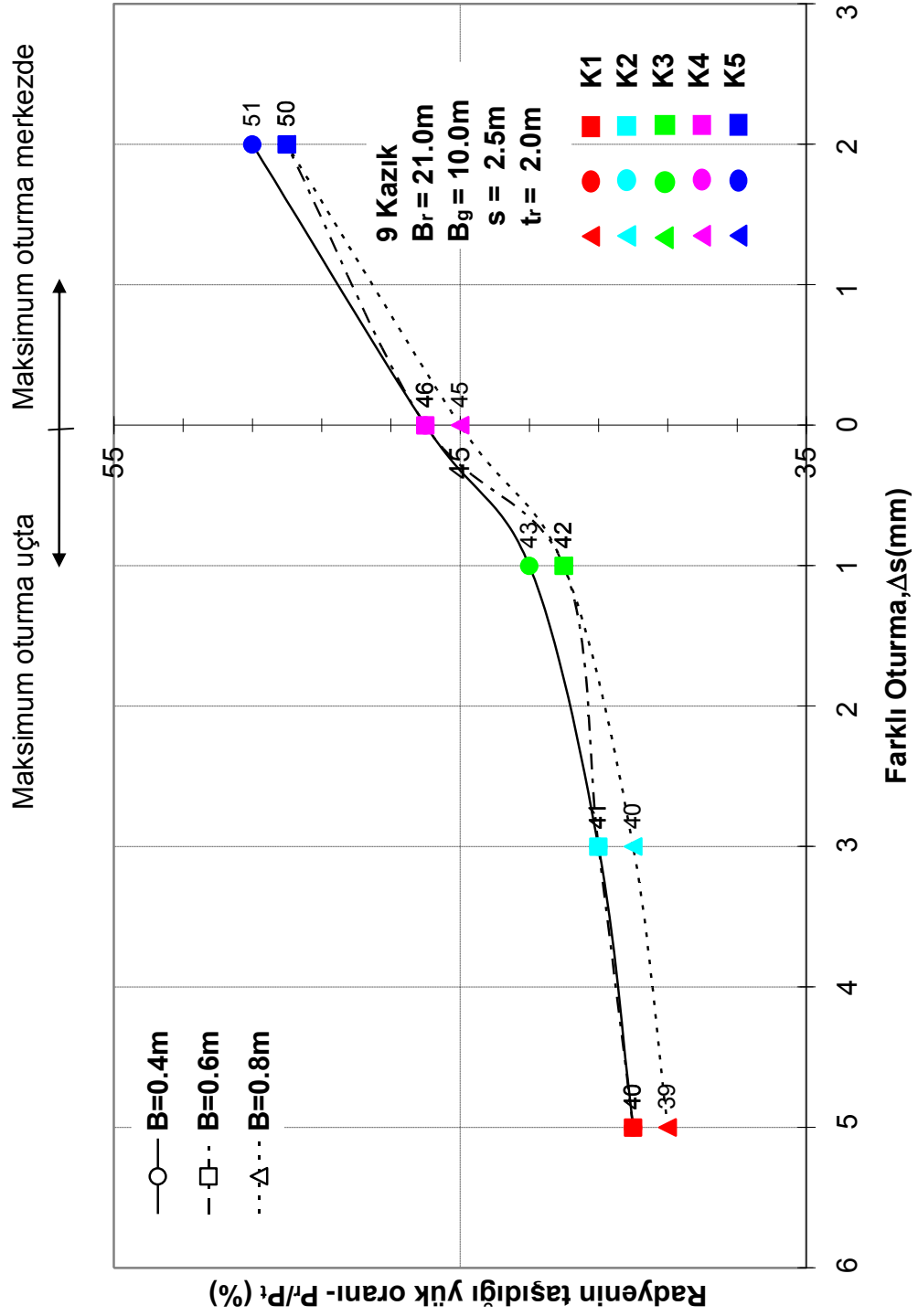
Şekil A.23 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=10\text{m}$)



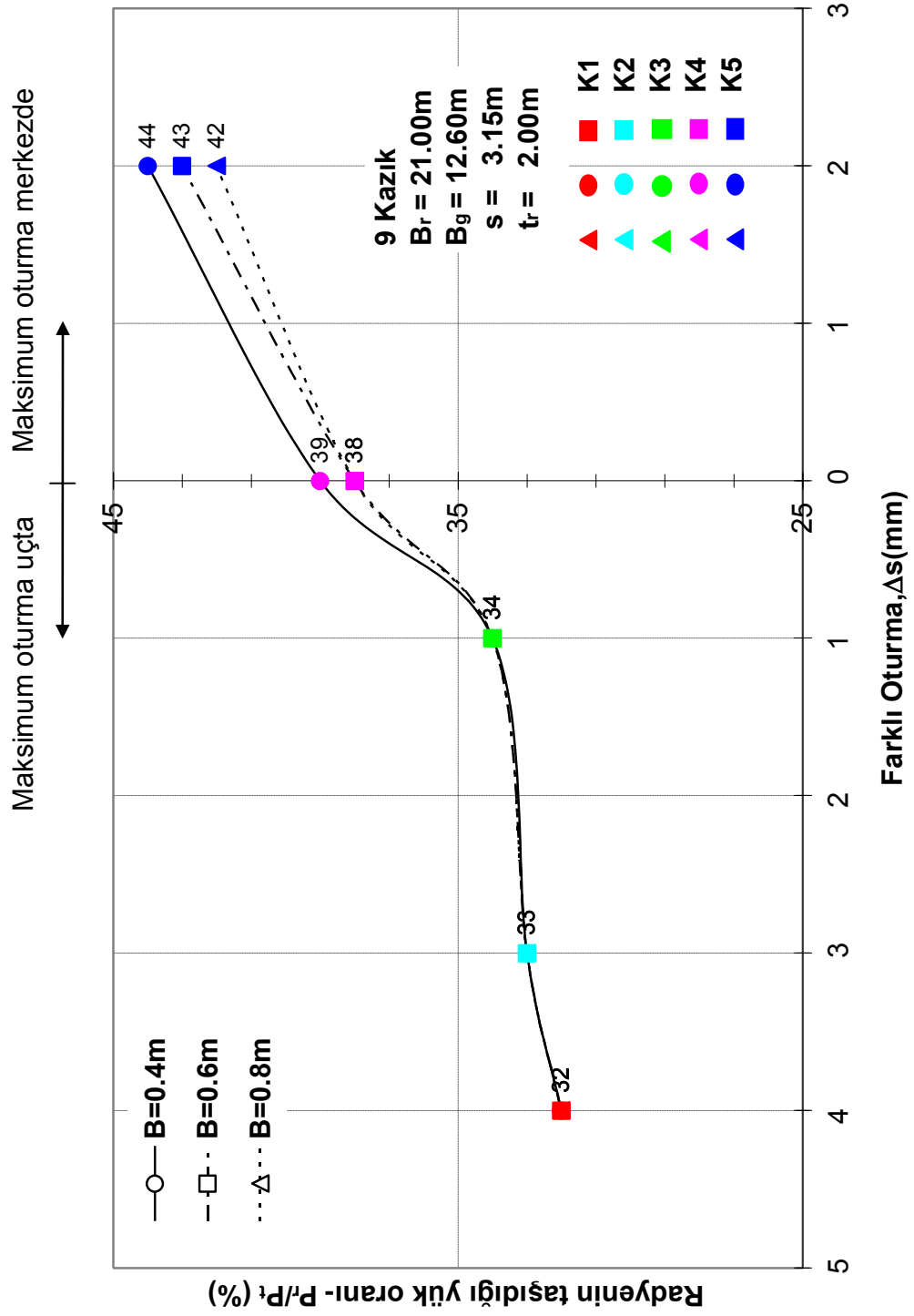
Şekil A.24 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu I - $B_g=12.6\text{m}$)



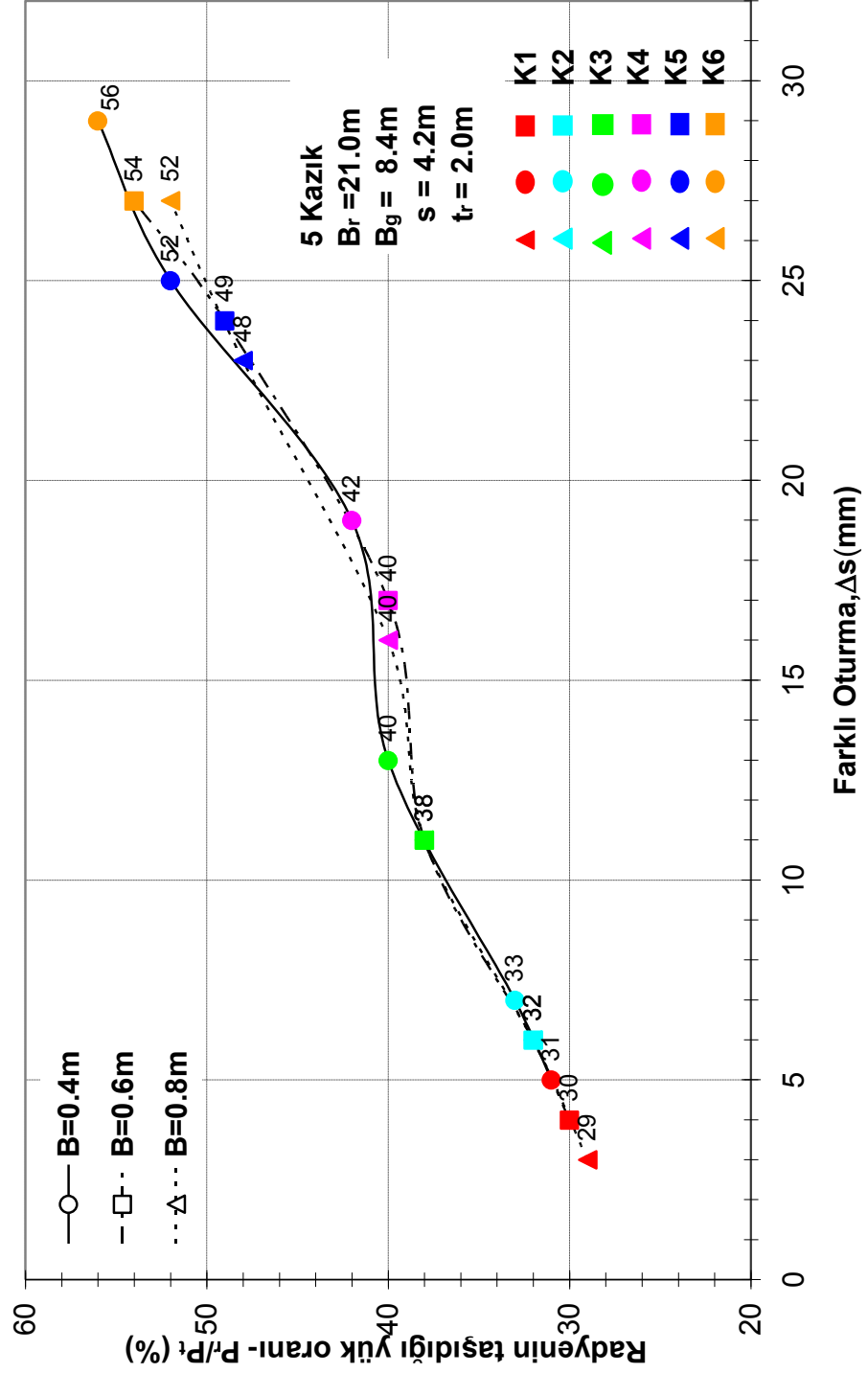
Şekil A.25 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=8.4\text{m}$)



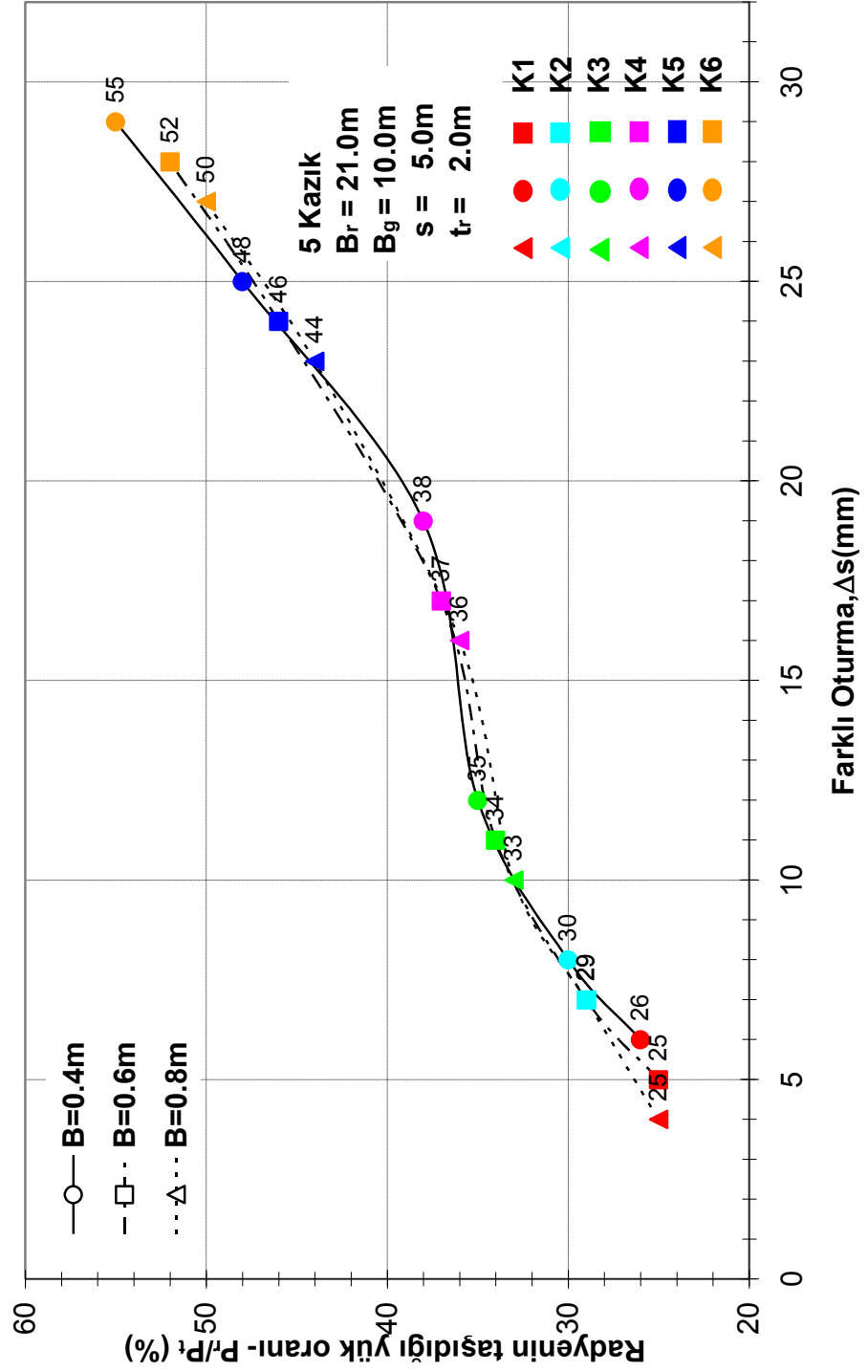
Şekil A.26 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=10\text{m}$)



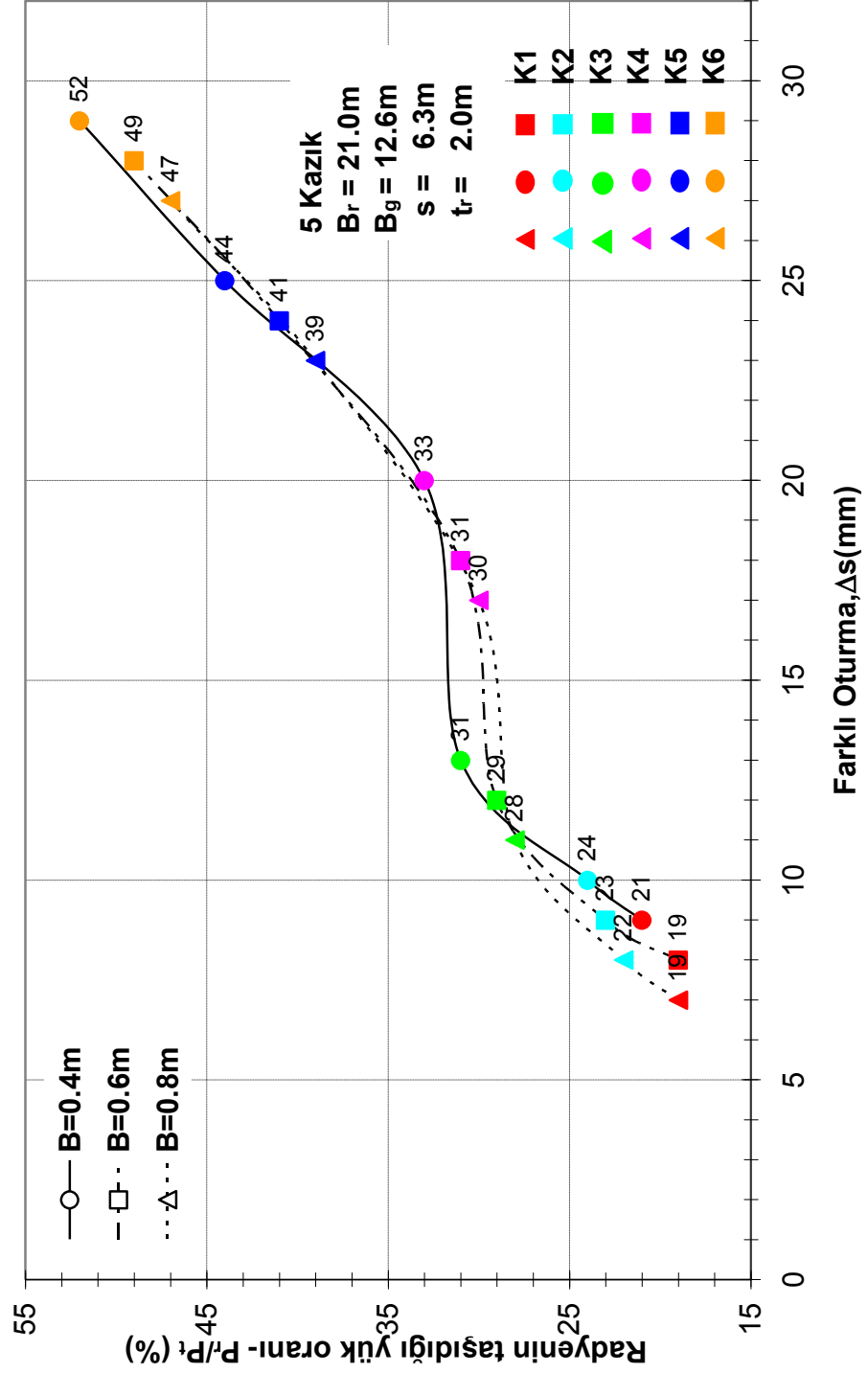
Şekil A.27 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiğı (KUM - Yük Durumu1 - $B_g=12.6\text{m}$)



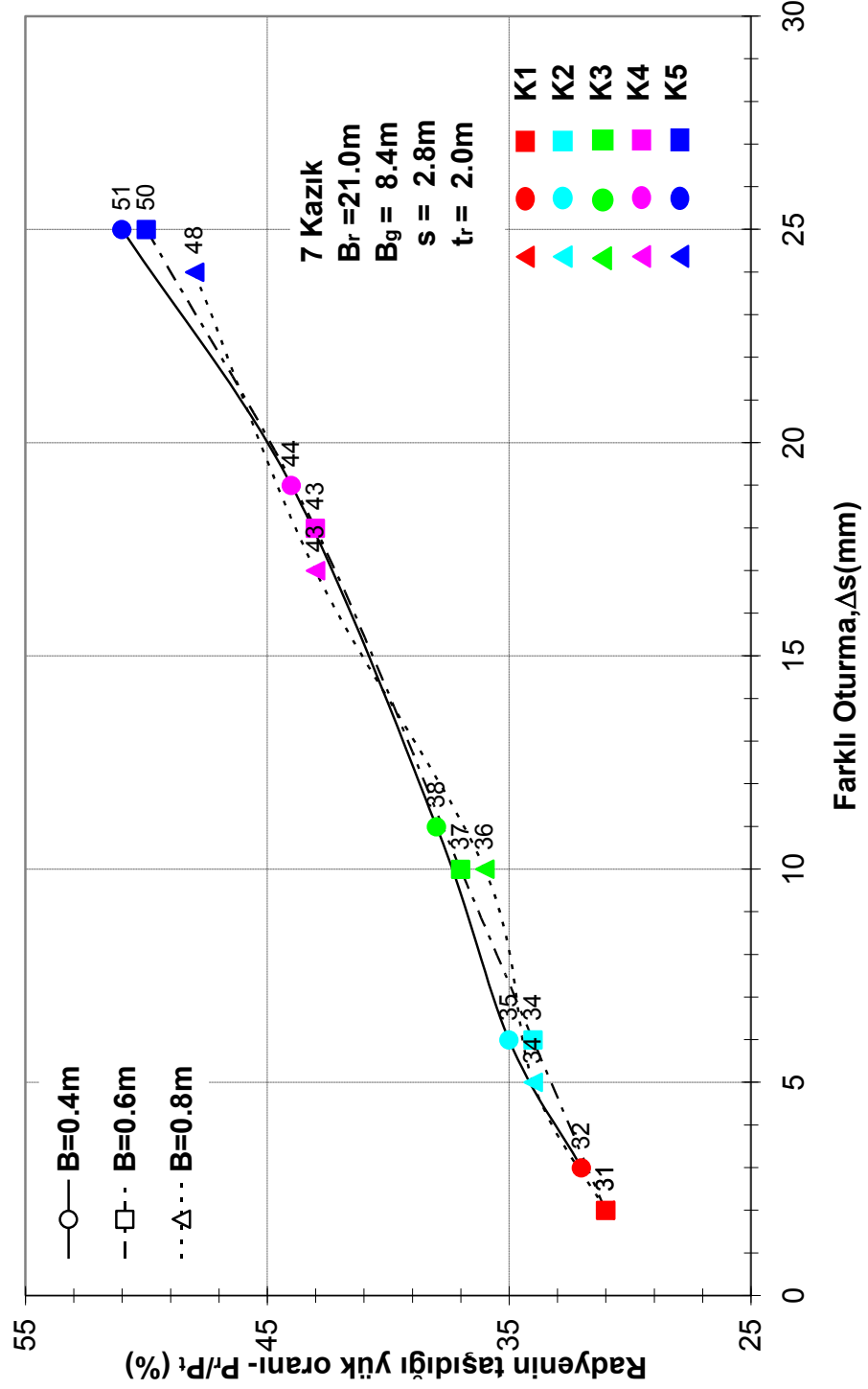
Şekil A.28 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)



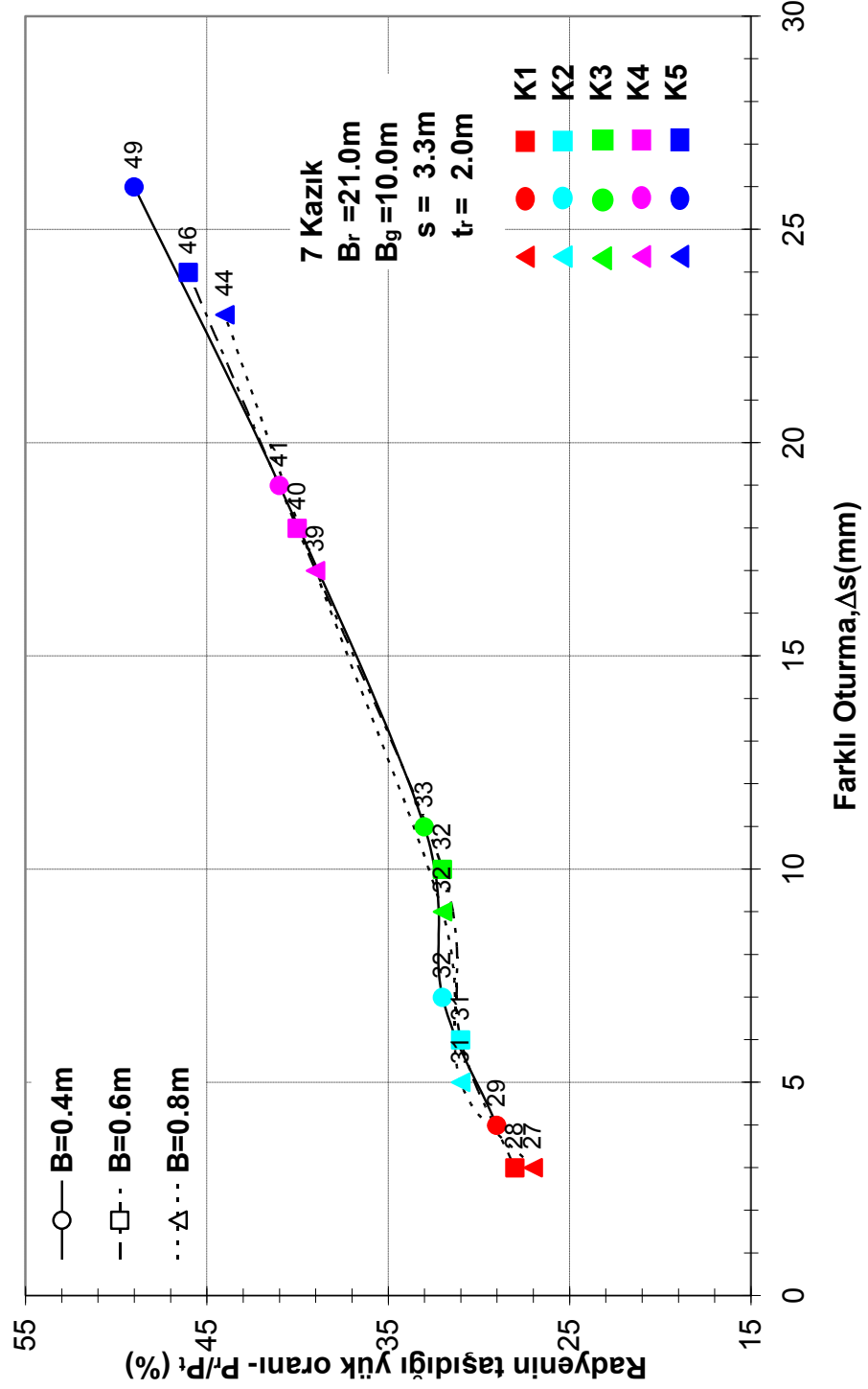
Şekil A.29 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



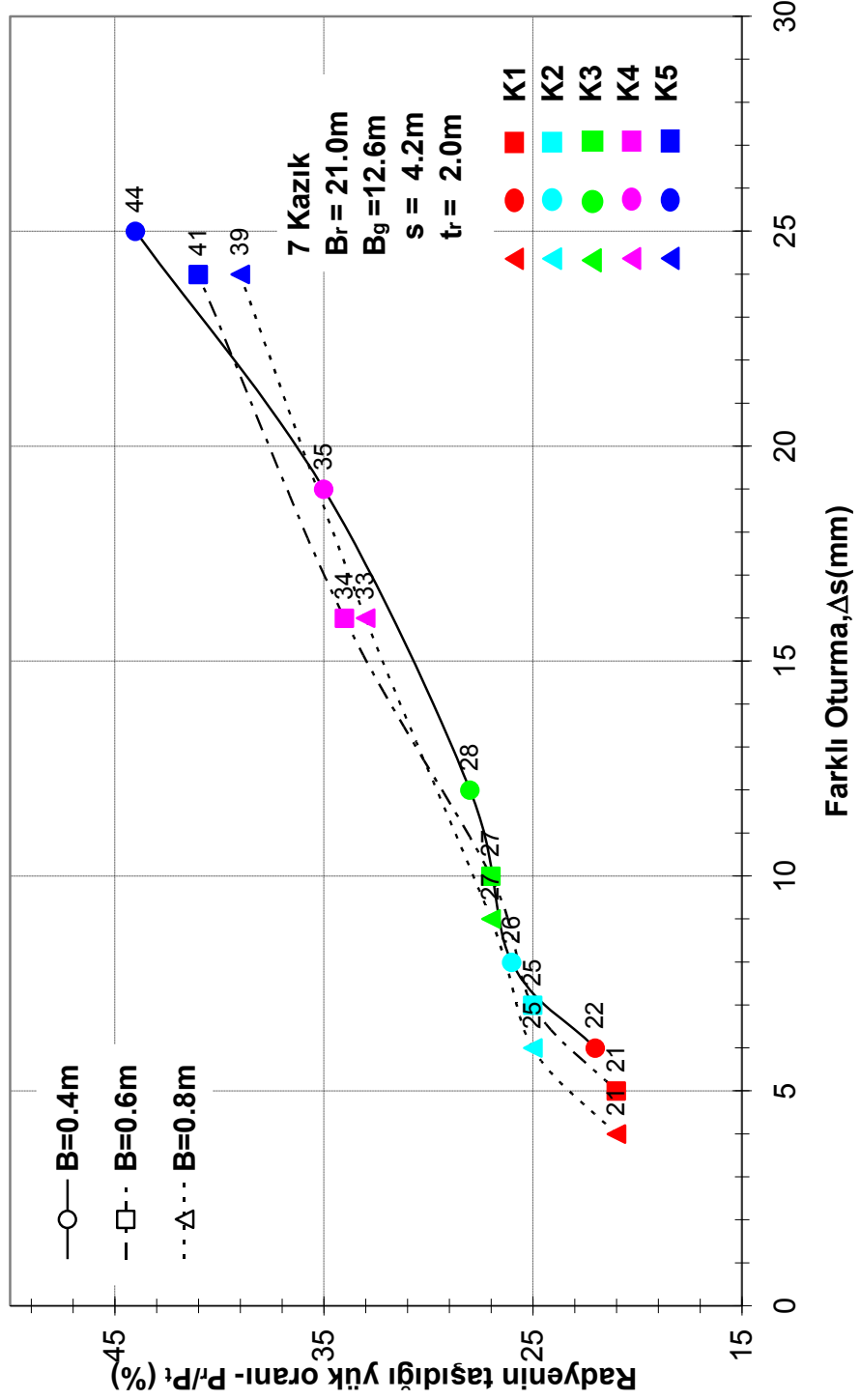
Şekil A.30 5 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)



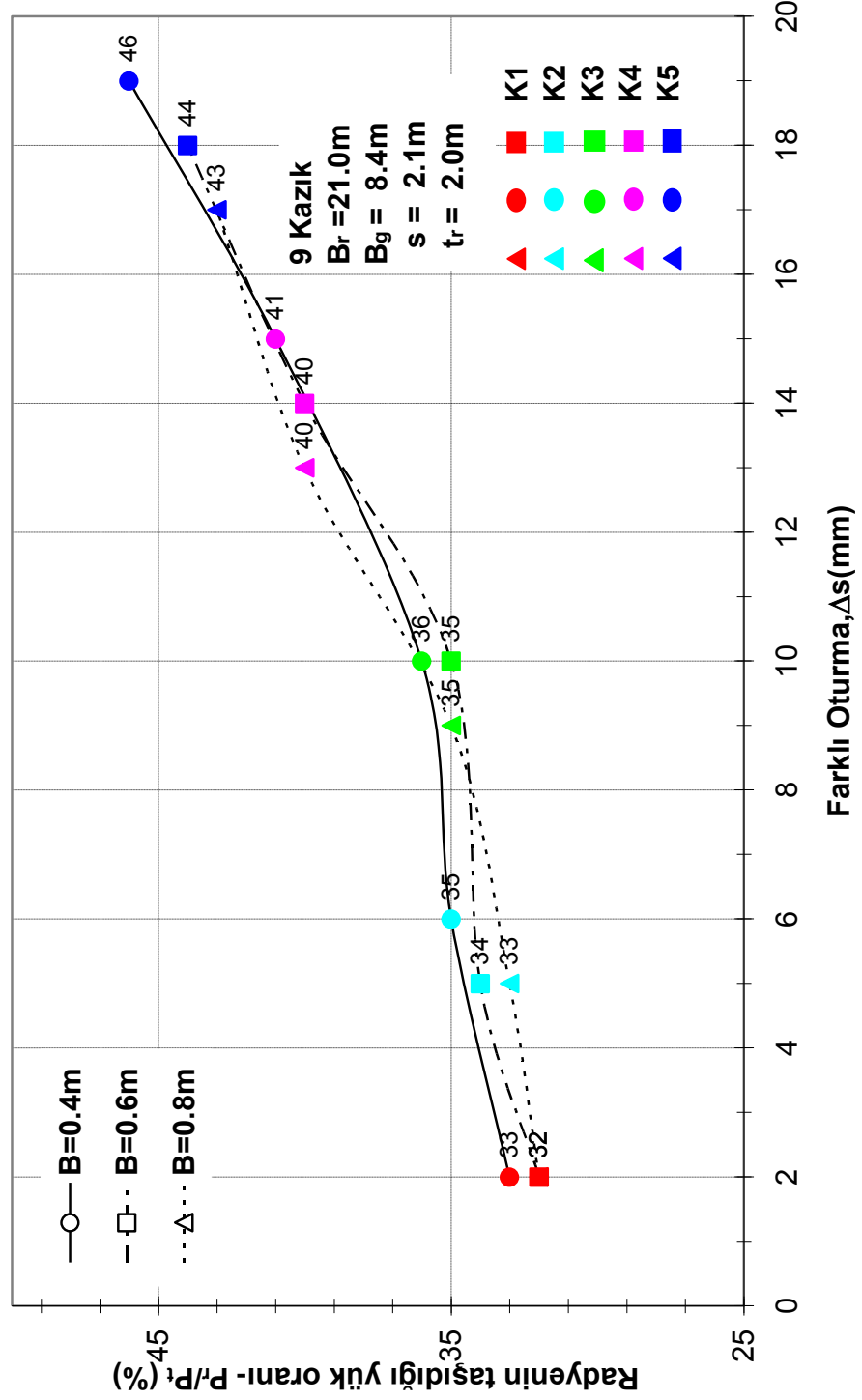
Şekil A.31 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)



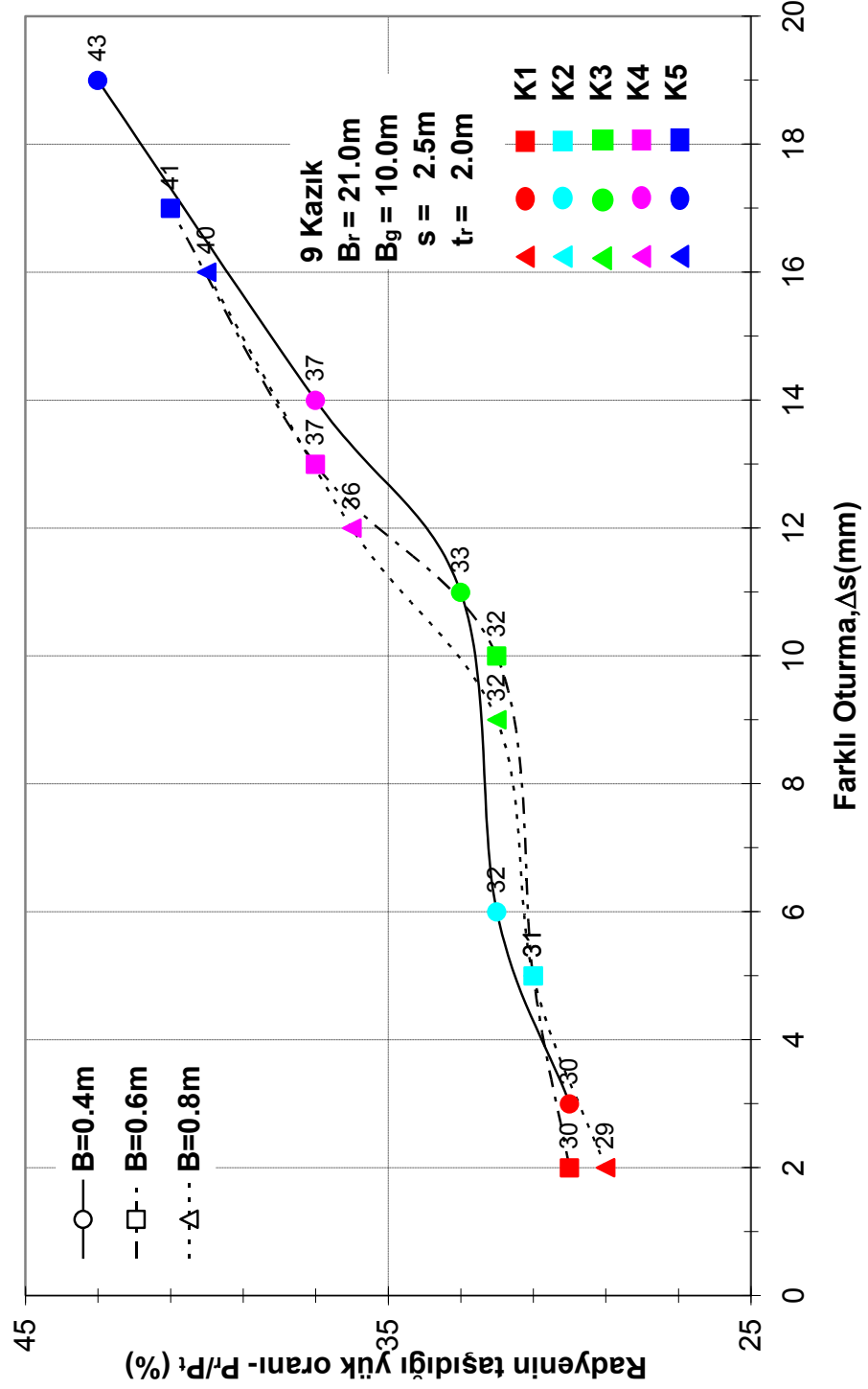
Şekil A.32 7 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



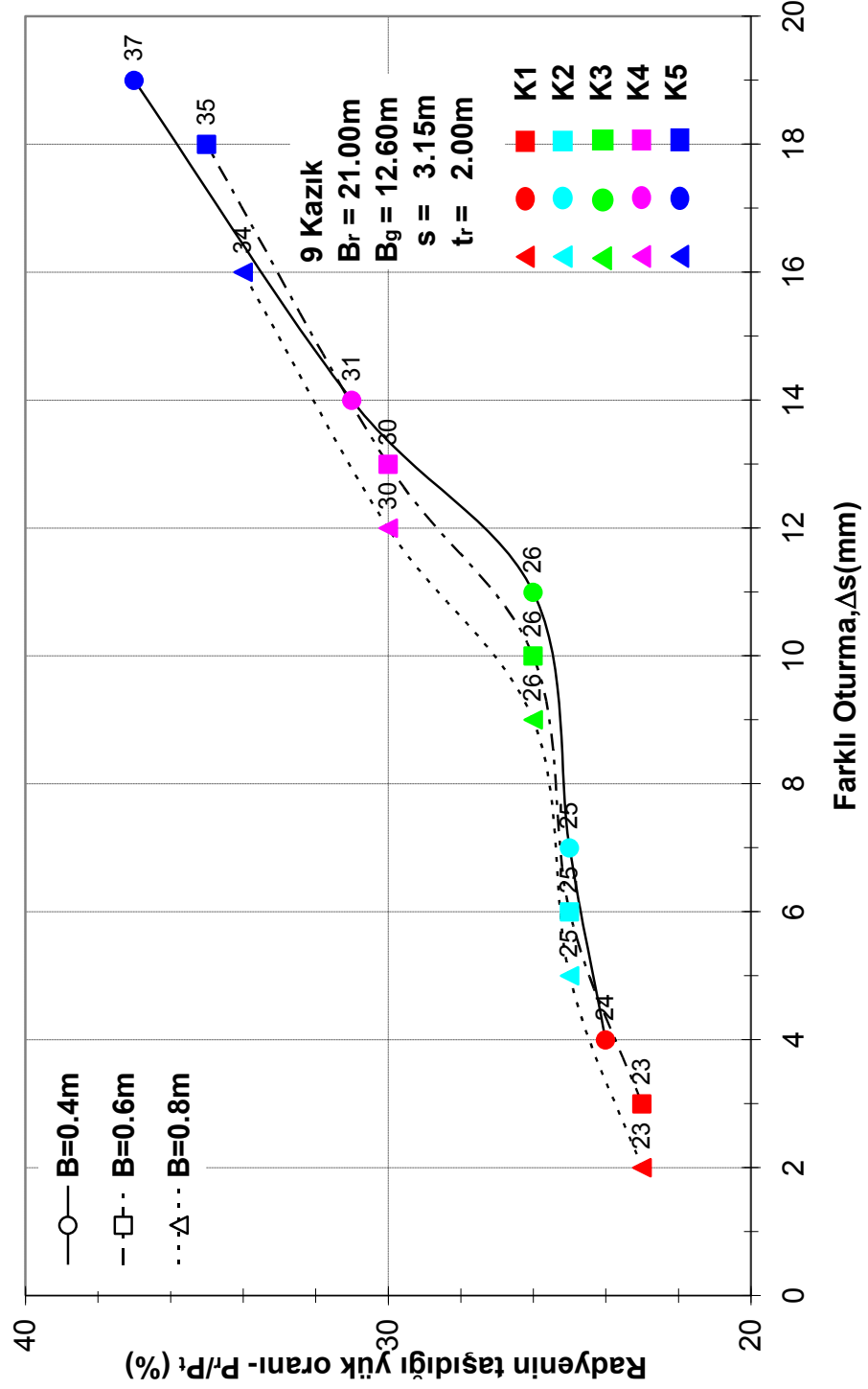
Şekil A.33 7 Kazıklı Radye Temelin (P_v/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)



Şekil A.34 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=8.4\text{m}$)



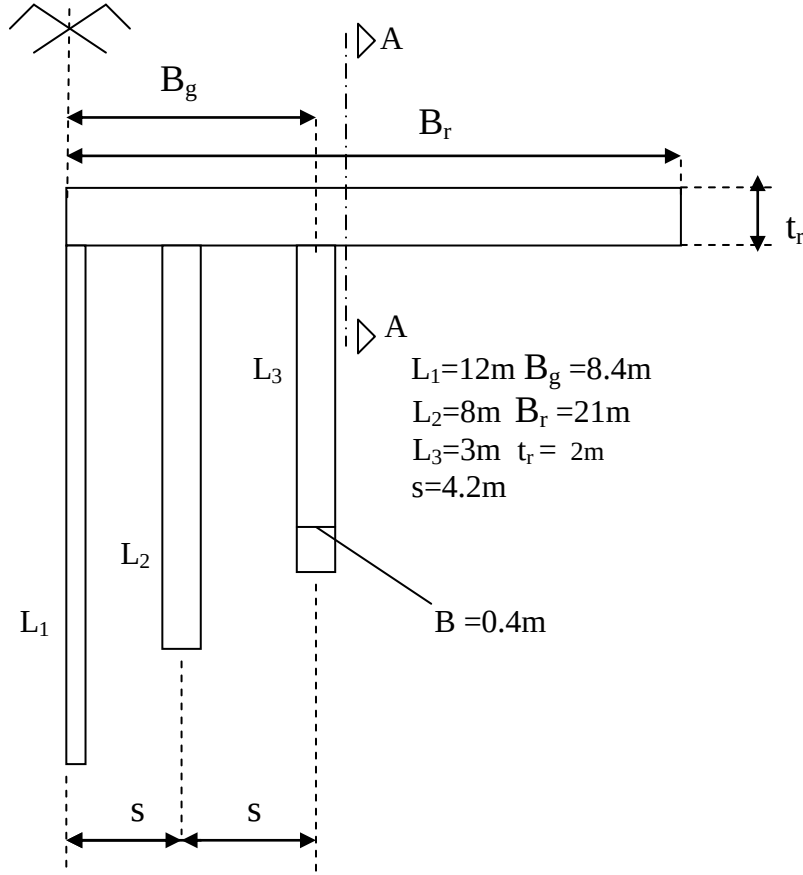
Şekil A.35 9 Kazıklı Radye Temelin (P_r/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=10\text{m}$)



Şekil A.36 9 Kazıklı Radye Temelin (P/P_t) - Farklı Oturma Grafiği (KUM - Yük Durumu2 - $B_g=12.6\text{m}$)

Ek- B

Kazıklı Radye Temelin Kayma Güvenliği Hesabı



Şekil B.1 Kayma hesabında kullanılan kazıklı radye temel konfigürasyonu

Yapılan kayma analizinde, kayma hesabı açısından en kritik kesit, kum zeminde, uniform olmayan yükleme durumunda (Q_2), Şekil B.1’deki konfigürasyona sahip kazıklı radye temelin A-A kesitidir. Bu durumda A-A kesitinde oluşan kesme kuvveti $V_d = 818\text{kN}$ olarak hesaplanmıştır. Bu kesme kuvvetine göre aşağıdaki kontroller yapılmıştır.

Ezilme Kontrolü:

$$V_{\max} = 0.22 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 0.22 \cdot (13\text{N/mm}^2) \cdot (1000\text{mm}) \cdot (2000\text{mm}) = 5720000\text{N} = 5720\text{kN}$$

$$V_{\max} \geq V_d \text{ (Ezilme güvenliği sağlanmaktadır.)}$$

Kritik Kesme Kuvveti Kontrolü:

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d = 0.65 \cdot (1\text{N/mm}^2) \cdot (1000\text{mm}) \cdot (2000\text{mm}) = 1300000\text{N} = 1300\text{kN}$$

A-A kesitinin güvenlikle taşıyabileceği kesme kuvveti :

$$V_{(cr)d} = 0.8 \cdot V_{cr} = 0.8 \cdot 1300 = 1040\text{kN} \geq V_d \text{ (Kritik kesme kuvveti güvenliği sağlanmaktadır)}$$

Denklemlerde;

$V_{\max}$: A-A kesitinin ezilmeden taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti

V_d : A-A kesitinde oluşan kesme kuvveti

V_{cr} : A-A kesitinin taşıyabileceği kritik kesme kuvveti

$V_{(cr)d}$: A-A kesitinin güvenliyle taşıyabileceği kesme kuvveti

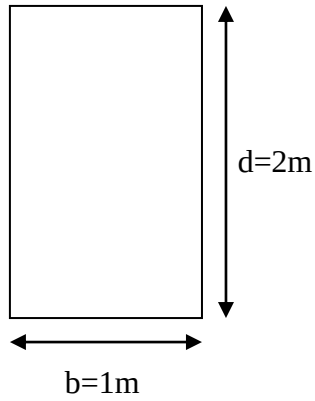
f_{cd} : Kullanılan beton malzemenin tasarım basınç dayanımı

f_{ctd} : Kullanılan beton malzemenin tasarım çekme dayanımı

b : A-A kesitinin genişliği

d : A-A kesitinin yüksekliği

A-A kesiti Şekil B.2’de gösterilmiştir.



Şekil B.2 A-A kesiti

ÖZGEÇMİŞ

Osman Ulaş ÖZDEMİR 25 Ağustos 1977’de Samsun’da doğmuştur. İlköğrenimini Trabzon, orta ve lise öğrenimini İzmit’te tamamlamıştır. 1996 – 2001 yılları arasında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimini tamamlamış ve aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Halen yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.