

98 3 94



**KAZIKLI RADYE TEMELLERDE
RADYE - KAZIK ETKİLEŞİMİ VE YÜK PAYLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Tolga KARAŞAHİN
(501960256011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Mayıs 1999

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Haziran 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ergün TOĞROL

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Erdoğan YÜZER

Doç. Dr. Oğuz TAN

MAYIS 1999

ÖNSÖZ

Bu tezde Kerem Ezer'le ortak çalıştık. Kerem Ezer "Kazıklı Radye Temellerde Etkili Kazık Uzunluğunun Yük Paylaşımına Etkisi"ni incelerken, ben de "Kazıklı Radye Temellerde Radye-Kazık Etkileşimi ve Yük Paylaşımı" konusunu inceledim. Tez çalışmamın bütün aşamalarında, çok değerli bilgi ve tavsiyelerinden yararlandığım, göstermiş olduğu anlayışla bana büyük destek sağlayan çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ergün Toğrol'a, her aşamada yardımını esirgemeyen Sayın Sebahat Gök'e, sevgili arkadaşlarım Kerem Ezer, Dilek Bora, Ozan Dadaşbilge, Aykut Tekin'e ve tüm aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 1999

Tolga KARAŞAHİN



2.4.4.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar hesabı	22
2.4.5. Yöntemlerin Karşılaştırılması	23
2.4.5.1. Kuramsal örnek	23
2.4.5.2. Westend 1 Kulesi	28
2.4.6. Karşılaştırmanın Sonuçları	31
2.5. Şişen ve Büzülen Zeminlerde Kazıklı Radye Temeller	32
2.6. Kazık Grubu - Kazık Başlığı Etkileşimi	34
2.6.1. Analiz Yöntemi	34
2.7. Kazıklı Temellerde Radye ile Kazıklar Arasındaki Yük Paylaşımı	44
2.8. Kazık Başlığının Oturma Davranışına Etkisi	45
3. ARAZİ DENEYLERİ	47
3.1. Kazık Yükleme Deneyi	47
3.1.1. Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (SM Deneyleri)	49
3.1.2. Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemi (QM)	49
3.1.3. Sabit Penetrasyon Hızlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (CRP Deneyleri)	50
3.1.4. İsveç Çevrimli (Tekrarlı) Yükleme Deneyi Yöntemi (SC)	50
3.2 Kazık Yükleme Deneyinden Kazık Göçme Yükünün Tahmin Edilmesi	51
3.3 Deney	53
3.3.1 Deney Alanının Özellikleri	53
3.1.2 Deneyin Sonuçları	55
4. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	58
EKLER	60
ÖZGEÇMİŞ	66

TABLO LİSTESİ

TABLO 2.1. Kazıklı Radye Dizaynı İçin Kullanılan Boyutsuz Parametreler	7
TABLO 2.2. Parametrik Çalışma İçin Gereken Temel Parametreler	8
TABLO 3.1. Deney alanında yapılan serbest basınç deneyi sonuçları	54
TABLO 3.2. Deney sonuçlarının özeti.	55
TABLO EK A1	61



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No ve Adı	Sayfa
Şekil 2.1. Oturmayı azaltıcı kazıklar kavramı	4
Şekil 2.2. Çeşitli oranlara bağlı olarak dikdörtgen radyeler için normalize edilmiş farklı oturma değerleri.	6
Şekil 2.3. K_{rs} 'ye bağlı olarak farklı oturmaların değişimi	6
Şekil 2.4. Parametrik çalışmada kazıklı radye modeli analizi	8
Şekil 2.5. Kazık aralığı ve boyunun farklı oturmalara etkisi	9
Şekil 2.6. Farklı oturmaların mobilizasyon derecesi ile olan değişimi	10
Şekil 2.7. E_p/E_s 'nin farklı oturmalara olan etkisi	10
Şekil 2.8. Zeminin poisson oranının farklı oturmalara olan etkisi	11
Şekil 2.9. m ile $1/P_t^*$ ilişkisi (s/b 'nin etkisi)	11
Şekil 2.10. Tam elastik analizden belirlenen optimum K_{pr}	12
Şekil 2.11. Non-linear analiz (Şekil 2.10.'dan elde edilen K_{pr} değerleri ile)	13
Şekil 2.12. m ile $1/P_t^*$ ve m ile $1/P_t^*$ ilişkisi.	13
Şekil 2.13 Kazıklı Radyelerin Tipik Yük-Oturma Eğrileri	17
Şekil 2.14 Çeşitli Yöntemlerce Analiz Edilen Kuramsal Örnek	22
Şekil 2.15 Durum A: 15 Kazıklı Radye ($P=12MN$) Yöntemlerin Karşılaştırılması	24
Şekil 2.16 Durum B: 15 Kazıklı Radye ($P=15MN$) Yöntemlerin Karşılaştırılması	25
Şekil 2.17 Durum C: 9 Kazıklı Radye ($P=12MN$) Yöntemlerin Karşılaştırılması	27
Şekil 2.18 Westend 1 Binasının Kesiti ve Temel Planı	29
Şekil 2.19 Westend Binası. Yöntemlerin Karşılaştırılması	30
Şekil 2.20 Genel Gösterim	35
Şekil 2.21(a) Başlıklı ve başlıklı tekil kazıkların yük-deplasman özellikleri	36
Şekil 2.21(b) $B \times B$ kare başlık ve tekil kazık arasındaki yük dağılımı	37
Şekil 2.22(a) Başlıklı, iki kazıktan oluşan grubun yük-deplasman özellikleri	38
Şekil 2.22(b) Başlıklı ve başlıksız dörtlü kazık gruplarının yük-deplasman özellikleri	39
Şekil 2.22(c) İkili ve dörtlü kazık gruplarında başlık ve tek kazık arasındaki yük dağılımı	39
Şekil 2.23(a) Kare başlıklı, beş kazıktan oluşan grupların yük-deplasman özellikleri	40
Şekil 2.23(b) Beşli bir grup içerisindeki tek bir kazıkla kazık başlığı arasındaki yük dağılımı	41
Şekil 2.24(a) Kare başlıklı, dokuzlu kazık grubunun yük-deplasman özellikleri	41
Şekil 2.24(b) Dokuzlu kazık grubu içerisindeki tek bir kazıkla kazık başlığı arasındaki yük dağılımı	42
Şekil 2.25 Başlıklı ve başlıksız kazık gruplarının oturma oranlarının karşılaştırılması	43
Şekil 3.1. Kazık Yükleme Deneyi	48
Şekil 3.2. Deney İçin Gerekli Zamanın Kıyaslanması	51

Şekil EK B1. Deney 101 yük-oturma eğrisi	62
Şekil EK B2. Deney 102 yük-oturma eğrisi	63
Şekil EK B3. Deney 201 yük-oturma eğrisi	64
Şekil EK B4. Deney 202 yük-oturma eğrisi	65



SEMBOL LİSTESİ:

Φ :	$\Delta C\phi_c$ ya da $\Delta S\phi_s$ olarak tanımlanan eşlenik yükleme
ϕ :	fiktif gerilme şiddetleri
λ :	kazık malzemesinin Young Modülünün zeminin kayma modülüne oranı
μ :	zeminin Poisson Oranı
$\Delta C, \Delta S$:	sırasıyla başlık-zemin ve kazık-zemin ara yüzeylerine ait fonksiyonlar
ϕ_c, ϕ_s :	sırasıyla başlık-zemin ve kazık-zemin ara yüzeylerine etkiyen fiktif gerilme şiddetleri
$\sigma_{zz}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$:	$z=0$ düzlemindeki gerilme bileşenleri
$[K]$:	$K(P, Q_c), K(P_c, Q_c)$ vs. matrisleri
$\{\Phi\}$:	Φ 'nin matris gösterimi
$\{W\}$:	$W(P_c)$ ve $W(P_s)$ 'nin matris gösterimi
B :	kare kazık başlığının genişliği
$d, D =$	kazık çapı
$E =$	Elastisite modülü
$f_1(P_s), f_2(P_s)$:	kazık çözümünün tanımladığı fonksiyonlar
G :	zemin ortamının kayma modülü
$H =$	tabaka kalınlığı
$K(P, Q_c)$:	Mindlin'in parantez içindeki koordinatlarla tanımlanan noktadaki çözümüne değerler alan fonksiyon
$k_p =$	kazıkların rijitliği
$k_{pr} =$	kazıklı radyenin rijitliği
$k_r, K_R =$	radyenin rijitliği
$l, L =$	kazık boyu
m, n :	sırasıyla başlık-zemin ve kazık-zemin ara yüzeylerini gösteren oranlar
N :	kazık sayısı
P :	sisteme etkiyen toplam yük
$P_1, P_2 =$	kolon yükleri
P_c :	kazık başlığı-zemin ara yüzeyi üzerindeki nokta
$p_p =$	kazıklar tarafından taşınan yük
$p_r =$	radye tarafından taşınan yük
P_s :	kazık-zemin ara yüzeyi üzerindeki nokta
Q_c :	kazık başlığı-zemin ara yüzeyi üzerindeki yük etki noktası
Q_s :	kazık-zemin ara yüzeyinin üzerindeki yük etki noktası
$s =$	kazık aralığı
$t_R =$	radye kalınlığı
$U(P_s)$:	kazık-zemin ara yüzeyinin radyal doğrultudaki deplasmanı
$W(P_c), W(P_s)$:	sırasıyla kazık başlığı-zemin ve kazık-zemin ara yüzeylerinin düşey deplasmanları
W :	başlığın düşey deplasmanı
$W_1(P), W_2(P)$:	bir P noktasının, sırasıyla başlık-zemin ve kazık-zemin ara yüzeylerine etkiyen fiktif gerilme şiddetlerine bağlı olarak, düşey deplasmanları
$\nu =$	Poisson oranı
$\nu_p =$	Kazığın Poisson oranı
$\nu_R =$	Radyenin Poisson oranı

KAZIKLI RADYE TEMELLERDE YÜKÜN KAZIKLAR VE RADYE ARASINDA PAYLAŞIMI

ÖZET

Bu tez çalışması, geleneksel kazıklı temellere alternatif olarak ortaya çıkan kazıklı radye temellerde üstyapıdan gelen yükün, kazıklar ve radye tarafından paylaşıldığını anlatıp bu paylaşımın hangi mertebede olduğunu belirlemeye yöneliktir. Kazıklı temel çözümlerinde radye plağın aldığı yük göz önüne alınmaz. Ancak gerçekte radye plak ile kazıklar yükü paylaşmaktadırlar. Tez çalışması, genel bir literatür taraması ile yapılan bir arazi deneyi ve bunlardan elde edilen sonuçlardan oluşmaktadır.

Literatür taramasında, kazıklı temellerin hesap yöntemlerinden örnekler, bu yöntemlerin karşılaştırılması, radye – kazık etkileşimi ve kazıklarla radye arasındaki yük paylaşımı incelenmiştir. Deney bölümünde kazık yükleme deneyi hakkında bilgiler verilmiş, yapılan arazi deneyi anlatılmıştır. Arazi deneyleri kazık ile radye arasındaki yük paylaşımını belirleyebilmek amacıyla hazırlanan, sadece kazığın zemine değdiği ve radye ile birlikte zemine girdiği jet-grout ve mini kazıklı dört değişik sistemden ibarettir. Deney sonucunda radye ile kazığın aldığı yük oranlarının bir çok parametreye bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Temel amaç olan ekonomik tasarım için radyenin yük alması gerekmektedir bu ise ancak oturmaların bir değere ulaşması ile mümkündür.

THE LOAD SHARING BETWEEN RAFT AND PILES IN PILED-RAFT FOUNDATION SYSTEMS

SUMMARY

The aim of this study is to emphasise that the raft also carries and shares with piles some of the load acting on the piled-raft foundation systems, an alternative to the conventional piled foundation systems. In the analysis of which load beared by the raft is neglected. As indicated in this study but, raft and piles share the load. This study consists of a general literature review, field tests and the results of them.

In the literature review; some examples of analysis methods for piled foundations, the comparison of them, the raft-pile interaction and the load sharing between piles and raft are examined. In the test part, some general information about pile-loading test is presented and the test method is explained. For these tests, different models of varrying type of piles and raft positions were used. As a conclusion it is observed that the ratio of load carried by raft and piles depends on several factors. To obtain economic design as an essential goal, the raft should carry some load, which can only be possible in case the settlements exceed a particular value.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Amaç

Üst yapı yüklerini zeminin taşıyacağı gerilmelere çeviren elemanlara temel denir. Genellikle betonarme, seyrek olarak da beton imal edilen temeller kolon, perde yada duvarlardan gelen yükleri geometrisinin değişmesiyle zeminlerin taşıyacağı gerilmeler haline çevirirler. Derinlik ve temel genişliğine bağlı olarak yüzeysel veya derin temel diye ikiye ayrılırlar.

Eski zamanlardan beri kazıklar ve kazıklı temeller düşük taşıma gücü olan sorunlu zeminlerde, pahalı olmasına rağmen sık başvurulan bir çözümdür. Kazıklı temeller deyince akla kazık grubu ve bunları birleştiren bir başlıktan oluşan temeller ile bir radye temel ve buna bağlı kazıklardan oluşan temeller gelmektedir. Kazıklı temeller üst yapı yüklerini zemine kazık-zemin veya radye-kazık-zemin etkileşimi sayesinde aktarırlar. Bunlardan radye-kazık-zemin arasındaki karmaşık etkileşim kazıklı temellerin dizaynında zorluklara neden olmaktadır.

Kazıklı radye temellerde yükün radye ve kazık arasında hangi oranda paylaşıldığına dair farklı görüşler bulunmaktadır. Bu oran temelin dizaynına bağlıdır. Radyenin taşıdığı yük temel sisteminin oturmasına bağlıdır. Radye altına az sayıda kazık yapılarak temelin oturmasına müsaade edilen sistemde radye fazla yük almakta, fakat radye altına çok sayıda kazıktan oluşan geleneksel kazıklı temellerde oturmalar oldukça azalmakta ve radye az yük taşımaktadır.

Kazıkların üstyapıdan gelen yüklerin tümünü karşıladığı düşünülen temellere daha ekonomik çözümler bulabilmek amacı ile yapılan araştırmalar radye ile kazığın yükü belirli oranlarda paylaştığını göstermiştir. Bu çalışma optimum temel sisteminin belirlenebilmesi için de gereken radyenin de kazıklarla birlikte çalıştığını göstermeye yöneliktir.

2. Bölüm’de kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve kazıklı radye temellerin optimum dizaynı için gerekli parametreler belirtilmeye çalışılmıştır. Bazı amprik formüller içeren araştırmalar ile çalışma pekiştirilmiştir.

3. Bölüm, yapılan arazi deneyinin anlatıldığı bölümdür. Prof. Dr. Ergün Toğrol tarafından yürütülmekte olan “Temel Zemininin İyileştirilmesi” konulu proje kapsamındaki deneylerin bir kısmına katılmış ve katılan deneyler değerlendirilmiştir. Önce deney hakkında biraz genel bilgi verilmiş, sonra da deney sistemi, yapılışı ve sonuçları anlatılmıştır.

Sonuç bölümünde ise tez çalışması toparlanmaya çalışılmış ve ulaşılan sonuç belirtilmeye çalışılmıştır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Giriş

Son yıllarda çok katlı yapıların artması, yeterince uygun olmayan zeminlerde inşaat yapma gereksinimi gibi nedenlerden dolayı kazıklı radye temeller önem kazanmıştır. Bunların boyutlandırılmasına yönelik pek çok araştırma yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir.

Bu bölümde kazık – radye sisteminin optimum dizaynına yönelik yöntemlere, bu yöntemler arasında bazı karşılaştırmalara, kazık ile radyenin yük paylaşımında etkin olan parametrelere ilişkin literatürde yer alan bazı bilgilere yer verilmiştir.

2.2. Kazıklı Temellerin Optimum Dizaynı

H. Horikoshi ve M. F. Randolph tarafından yapılan çalışmada farklı oturmaların minimize edilmesi amaçlanarak kazıklı radye dizaynı gösterilmiştir. Farklı oturmaların minimize edilmesi amaçlanarak kazıklı radye dizaynı gösterilmiştir. Yaklaşım derin parametrik çalışmalara dayanmaktadır. Kazıklı radyelerin oturma tepkilerini içeren boyutsuz anahtar parametreler anlatılmış ve etkileri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki merkezi kazık desteği kullanılırsa farklı oturmalar ihmal edilerek kazıklı radye dizaynı yapılabilir ve anahtar parametreler şunlardır:

- 1) Kazık grubu rijitliğinin, radye rijitliğine oranı,
- 2) Kazık grubu alanının, radye alanına oranı
- 3) Kazık grubu kapasitesinin, toplam yüke oranı.

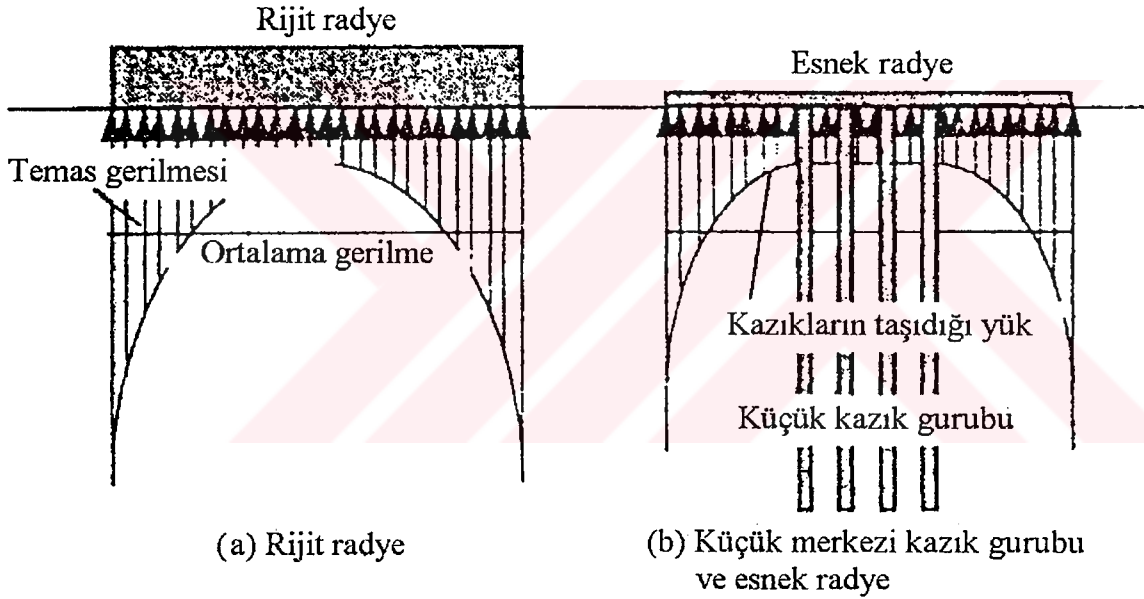
Ekonomik açıdan bakıldığında radye temel genellikle kazıklı temele oranla daha avantajlıdır. Ancak radyenin taşıma kapasitesi yeterli olsa da oturmaları kontrol etmek için kazık desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Kazıklı radyelerin dizaynında genellikle yükü sadece kazık grubunun taşıdığı kabul edilmiş, radyenin etkisi ihmal edilmiştir. Bu tutum gereğinden fazla kazık kullanılmasına sebep olmuştur. Optimum

bir temel dizaynında ortalama ve farklı oturmaları karşılayacak sayıda kazık bulunmalıdır ve radyenin taşıma kapasitesi hesaba katılmalıdır.

“Oturmaları azaltan kazıklar” kavramı, kazıkların yapıyı taşımaktan ziyade oturmayı kontrol etmesi kavramı 1972’de Burland, 1983’de Padfield ve 1983’de Sharrock tarafından önerilmiştir. Yamashita (1994), kazıklı temel davranışının tahmin edilen ve ölçülen verilerinin uyumlu olduğunu rapor etmiştir.

Randolph (1994), farklı oturmaları minimize etmek için bir mini kazık grubunun radyenin merkez bölgesine kurulmasını önermiştir. Bunun akabinde Horikoshi ve

Randolph (1996), bu kavramı santrifüj metodu ile doğruladılar. Şekil 2.1. bu kavramı göstermektedir.



Şekil 2.1. Oturmayı azaltıcı kazıklar kavramı

Burland (1977), şu noktaya parmak basmıştır: anahtar soru şudur: oturmaları müsaade edilen sınırlara çekmek için kaç adet kazık gereklidir, ayrıca radyenin hangi bölgesinde kazık sistemi kurulmalıdır ki farklı oturmalar minimize edilsin. Clancy ve Randolph bu sorulara cevap verebilmek için parametrik bir çalışma yapmışlardır.

2.2.1. Boyutsuz Parametreler

Radye – zemin rijitlik parametresi farklı oturmaları kontrol eden önemli bir parametredir. Dikdörtgen geometrilili radyeler için Horikoshi ve Randolph (1996) tarafından eşitlik 2.1. geliştirilmiştir.

$$B < L$$
$$K_{rs} = 5.57 \times \frac{E_r(1-\nu_s^2)}{E_s(1-\nu_r^2)} \times \left(\frac{B}{L}\right)^{0.5} \times \left(\frac{t_r}{L}\right)^3 \quad (2.1)$$

- K_{rs} : Radye-zemin rijitlik parametresi
 E_r : Radye için young modülü
 E_s : Zemin için young modülü
 ν_r : Radye için poisson oranı
 ν_s : Zemin için poisson oranı
 t_r : Radye kalınlığı.

Dairesel radye için bu rijitlik parametresi eşitlik 2.2 ile ifade edilir. (Clancy, 1993):

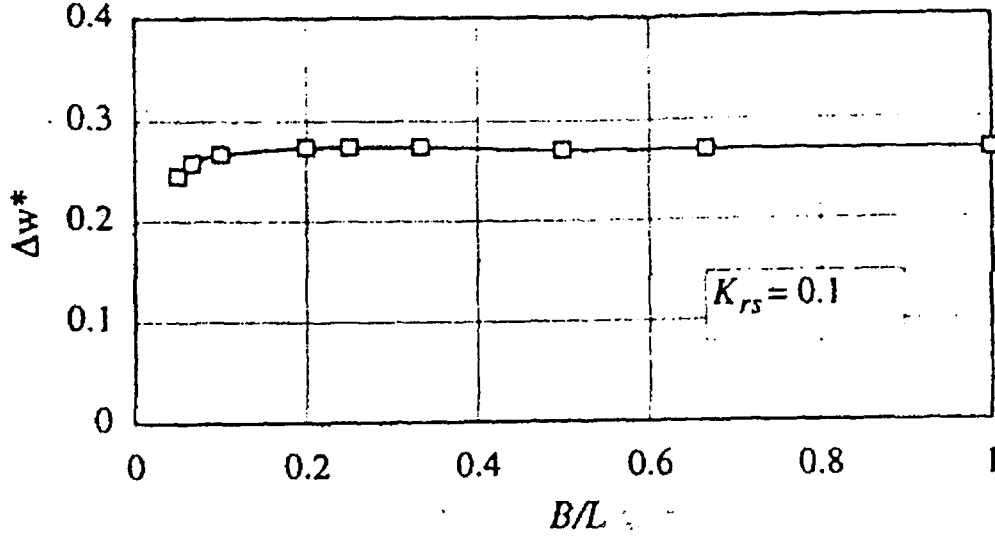
$$K_{rs} = \frac{E_r(1-\nu_s^2)}{E_s(1-\nu_r^2)} \times \left(\frac{t_r}{a}\right)^3 \quad (2.2)$$

- a : yarıçap.

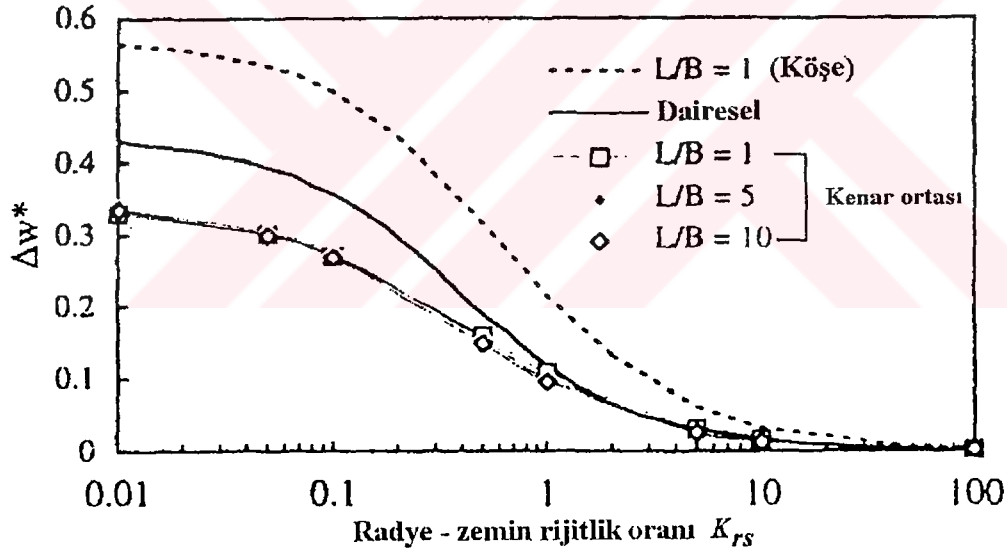
Bu çalışmalarda farklı oturmalar kavramının ele alınış şekli şöyledir: radyenin merkezindeki oturma değeri ile kenar ortalarındaki oturmalar değerleri arasındaki farklara farklı oturmalar denilmektedir.

Uçlardaki oturmalarla merkezdeki oturmalar arasındaki farkın daha büyük olmasına rağmen çoğu büyük yapılarda radye köşesi yapının köşe duvarları tarafından takviye edilmektedir. Bu da radyenin köşelerindeki oturmaların basitleştirilmiş analizlerden tahmin edilen oturmalarından daha büyük oturmalar yapmasına sebep olur. Yani yapının rijitlik etkisi göz önüne alınmaz. Bu yüzden köşe oturmaları dikkate alarak yapılacak dizayn çok konservatif bir dizayn olacaktır. Farklı oturmalar, ortalama

oturmalarla aynı K_{rs} kullanılarak normalize edilmişlerdir. Bu normalize edilmiş farklı oturmalar, Δw^* olarak Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Çeşitli oranlara bağlı olarak dikdörtgen radyeler için normalize edilmiş farklı oturma değerleri.



Şekil 2.3. K_{rs} 'ye bağlı olarak farklı oturmaların değişimi

Eşitlik 2.1'deki radye-zemin rijitlik oranı Şekil 2.2.'de gösterilen Δw^* , B/L grafiğindekiyle aynı büyüklüğü sağlamaktadır. Normalize edilmiş farklı oturmalar ile K_{rs} varyasyonları Şekil 2.3.'de dikdörtgen ve daire geometrili radyeler için gösterilmiş ayrıca kare radyelerde merkez oturmaları ve köşe oturmaları da kıyaslama amacıyla gösterilmiştir.

Kazıklı radyelerin davranışlarını yöneten boyutsuz parametreler Tablo 2.1.'de gösteriliyor.

TABLO 2.1. Kazıklı Radye Dizaynı İçin Kullanılan Boyutsuz Parametreler

Kazık alan yükünün kazık kapasitesine oranı	$P_g^* = p \cdot A_g / (n \cdot q_p)$
Uygulanan toplam yükün kazık kapasitesine oranı	$P_t^* = p \cdot A_r / (n \cdot q_p)$
Kazık grup-radye rijitlik oranı	$K_{pr} = k_p / k_r$
Kazıklar tarafından taşınan yükün oranı	$P_{gt} = P_g / (P \cdot A_r)$
Kazık yükünün kazık kapasitesine oranı	$m = P_g / (n \cdot q_p)$

P : Radyeye dağılmış üniform yük

A_g : Kazık grubunun Blok olarak alanı

n : kazık sayısı

q_p : Her kazığın maksimum taşıma gücü

A_r : Radye alanı

k_p ve k_r : Kazık grubunun ve radyenin baştan başa rijitliği.

P_g^* ve P_t^* eşitlik 2.3. ile kazıklı temelin varsayılan geometrisinden hesaplanabilirler.

$$P_g^* = a_{gr} \cdot P_t^* \quad (2.3)$$

k_p eşdeğer kazıktan yaklaşılabilen bir değerdir. (Poulos ve Davis, 1980). Bu kavram ayrıca Randolph tarafından da incelenmiştir. (1994).

k_r de tamamen rijit bir radyeden ya da tamamen elastik bir radyeden yaklaşılabilen bir değerdir. (Poulos ve Davis, 1974).

P_{gt} ve m birtakım analizler yapılmadan bilinmeyen değerlerdir.

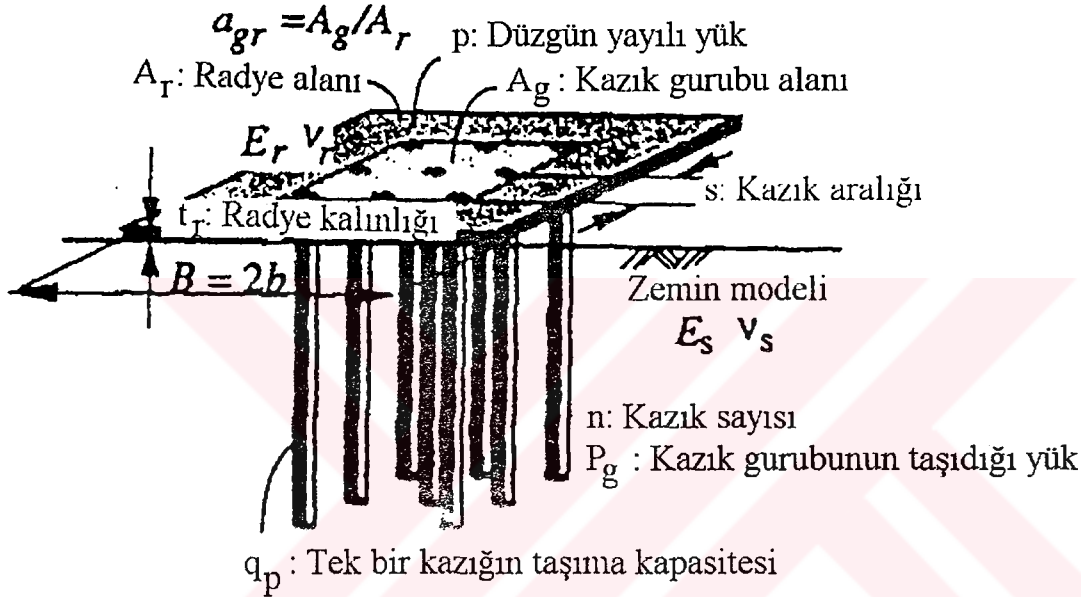
L_p kazık boyu ise eşitlik 2.4.'te eşdeğer bir dairesel radye ile normalize edilmiştir.

$$a_{eq} = \sqrt{(BL/\pi)} \quad (2.4)$$

2.2.2. Parametrik Çalışma

2.2.2.1. Analiz Metodu

Clancy ve Randolph (1993) bir kazıklı radye metodu geliştirdiler (Şekil 2.4). Bunu Chow'un hybrid yaklaşımına dayanacak şekilde geliştirdiler. Buna göre homojen zemindeki sonlu derinlikte bir kazıklı radyenin çeşitli temel bileşenleri ile etkileşimini analiz etmek mümkündür. Zemin ile kazık arasındaki etkileşimin analizi, çözümü kazığın tam yük taşıma kapasitesini hesaplamak açısından çok önemlidir.



Şekil 2.4. Parametrik çalışmada kazıklı radye modeli analizi

2.2.2.2. Kazık Grup Alanının Etkileri

Tablo 2.2.'de parametrik çalışmalar için parametreler belirtilmiştir.

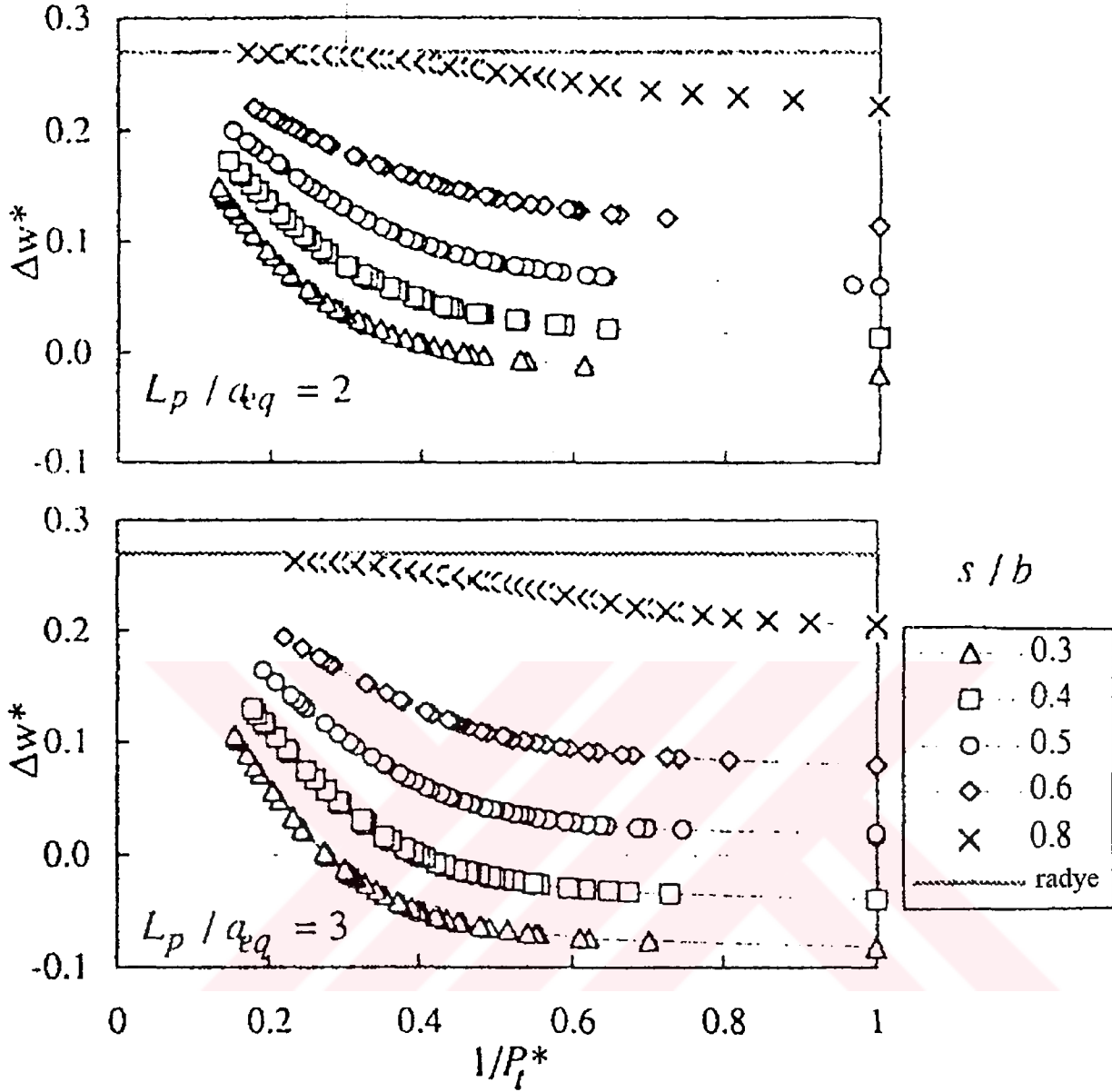
TABLO 2.2. Parametrik Çalışma İçin Gereken Temel Parametreler.

Kazık	Kare radye	Zemin
N = 9	L = B= 13.3 m	h = ∞
D _p = 0.3 m	E _r = 35 GPa	E _s = 35 GPa
E _p = 35 Gpa	v _r =0.16	v _s = 0.5

d_p ve E_p : çap ile kazığın young modülü

h : toprağın kalınlığı.

Sadece 9 kazık modellenmiştir. İlk önce kazık aralığının (s) ve kazık boyunun (L_p) etkileri incelenmiştir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Kazık aralığı ve boyunun farklı oturmalarla etkisi

S ile a_{gr} arasında eşitlik 2.5. vardır:

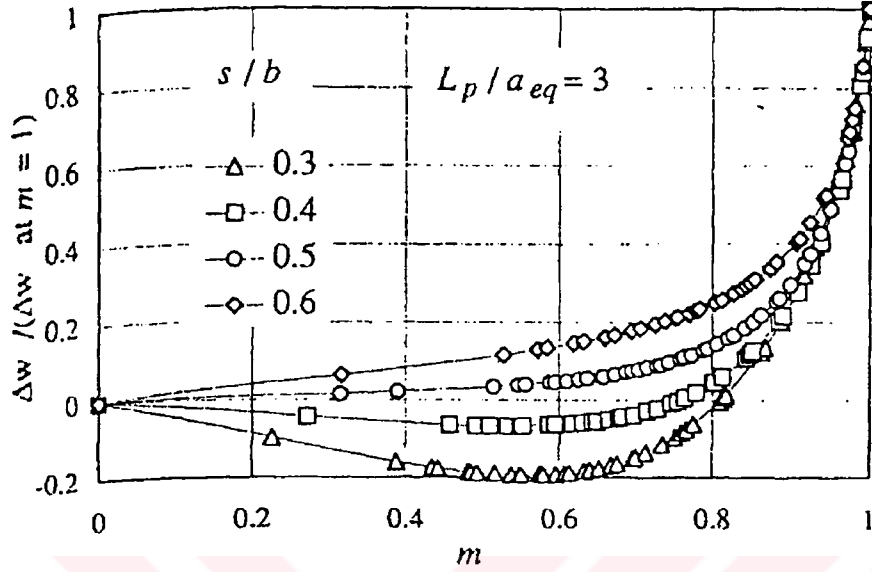
$$a_{gr} = (s/b)^2 \quad (2.5)$$

analizlerde kare temel 49 plaka ayırımına bölünmüştür ve her kazık 15 kısma ayrılmıştır. Her kazığın direnci $q_b = 9 \cdot s_u = 9 \cdot (G_s / 500)$ olarak varsayılmıştır. Nihai kayma direnci τ_s , s_u 'ya eş değer olarak alınmıştır.

s_u : Drenajsız kesme kuvveti

G_s : Zeminin kesme modülü

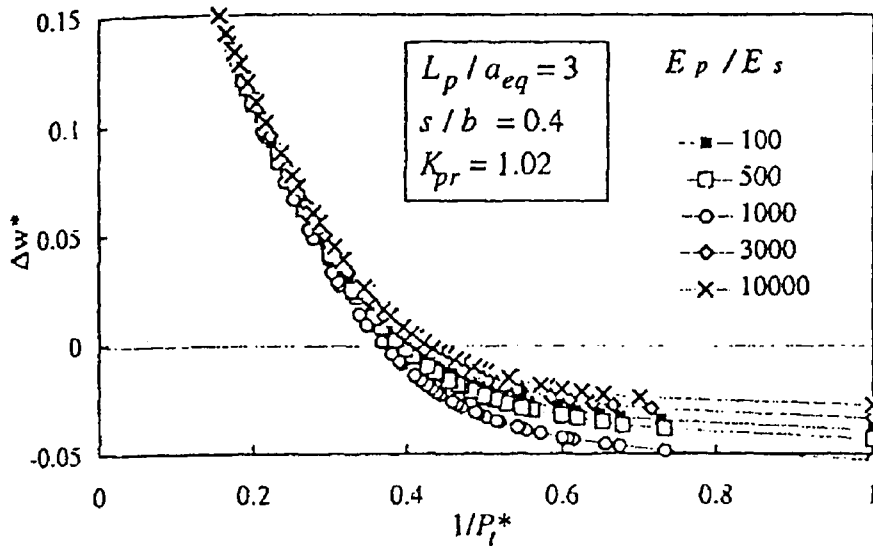
Tablo 2.1.'de gösterilen parametrelerin en kritik olanının K_{pr} olduğu bulunmuştur. Basit durumlarda 1.02 olarak alınabilir. Şekil 2.6. ise farklı oturmaların mobilizasyon derecesi ile olan değişimini göstermektedir.



Şekil 2.6. Farklı oturmaların mobilizasyon derecesi ile olan değişimi

2.2.2.3. Kazık Sıkışabilirliğinin Etkileri (E_p/E_s)

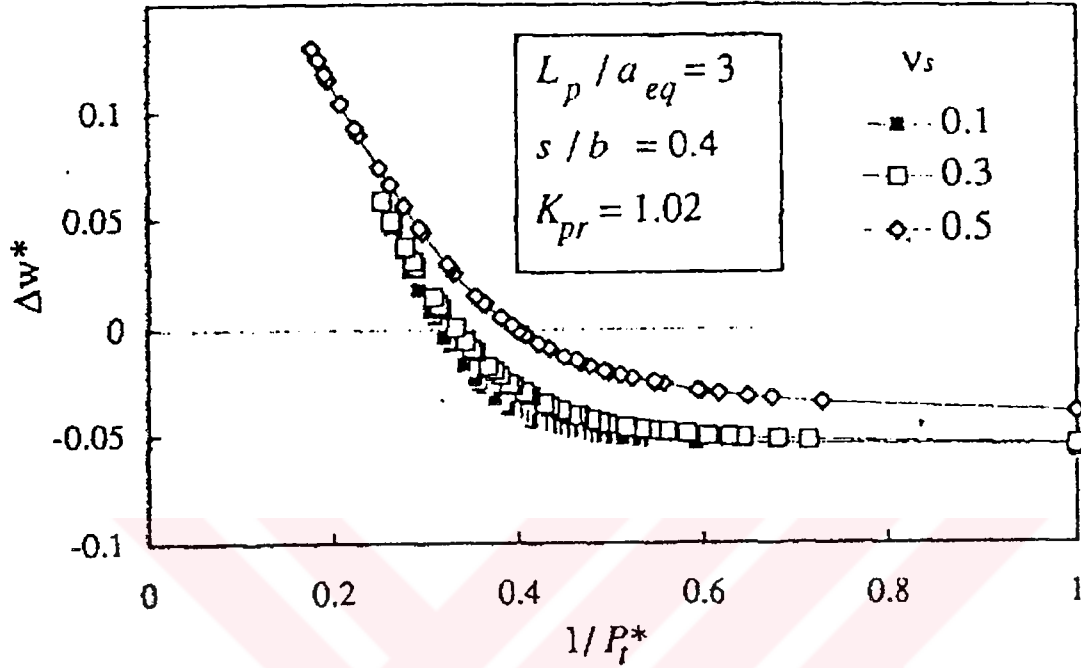
Kazık sıkışabilirliği, E_p/E_s , $K_{pr} = 1.02$ olarak sabit tutup kazık çapını değiştirerek değiştirilir. G_s/τ_s oranı basit durumlar için 500 tutulup, kazık kapasitesi çapı ayarlayarak değiştirilir.



Şekil 2.7. E_p/E_s 'nin farklı oturmalara olan etkisi

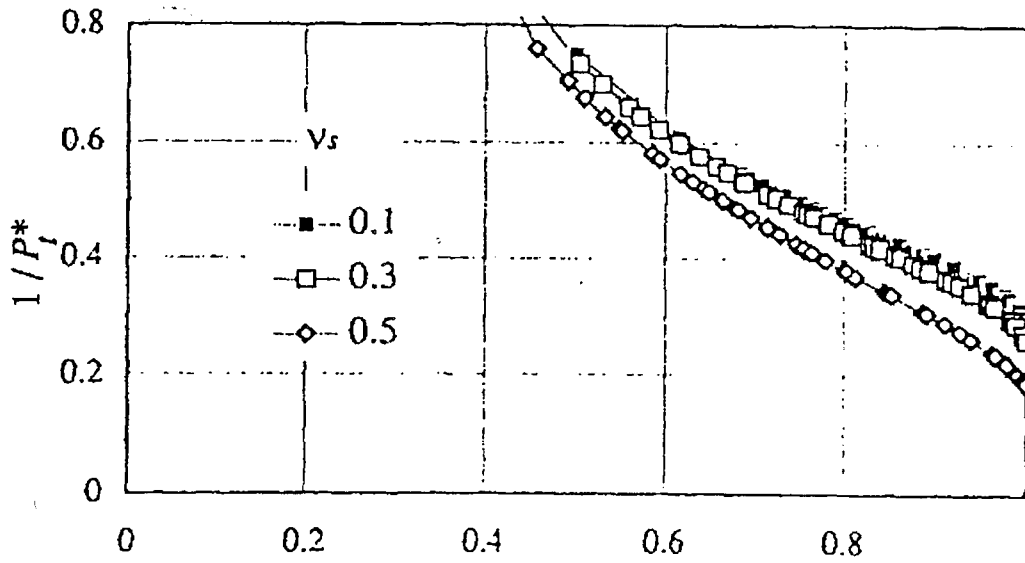
2.2.2.4. Zemin Poisson Oranının Etkileri

$K_{pr} = 1.02$ tutularak poisson oranı ayarlanır. $E_p/G_s = 3000$ de tutulur. Fakat kazık çapı ve E_p ayarlanır. Şekil 2.8. zeminin poisson oranının farklı oturmalara olan etkisini göstermektedir.



Şekil 2.8. Zeminin poisson oranının farklı oturmalara olan etkisi

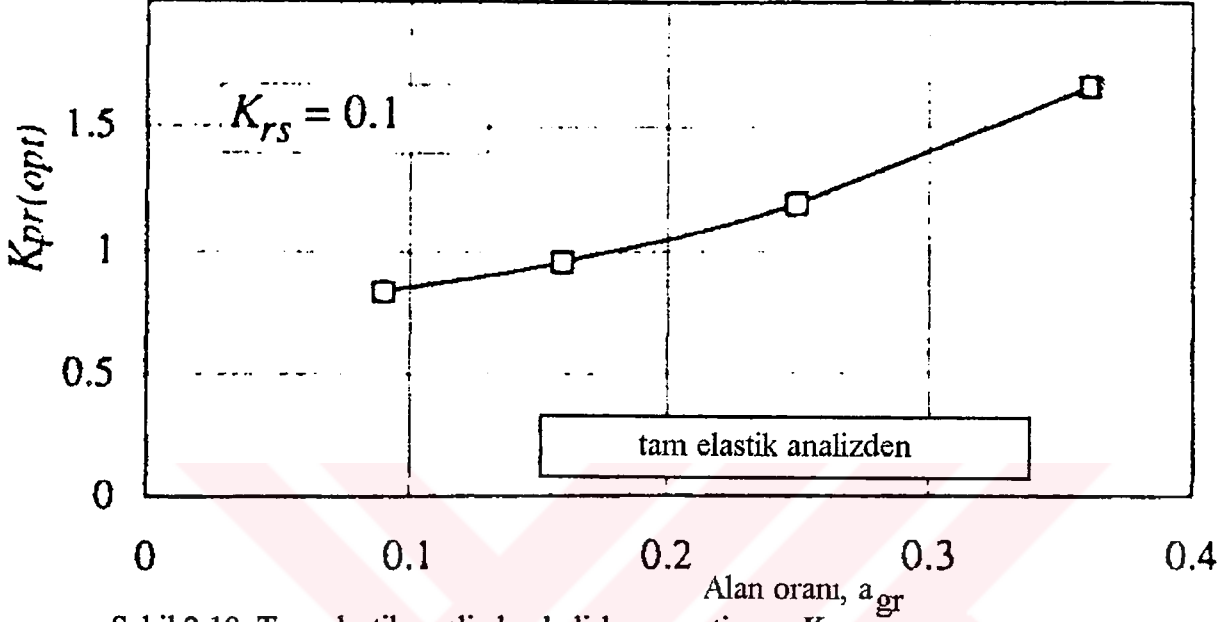
Toplam uygulanan yükün kazık kapasitesine oranı (P_t^*) ile kazık kapasitesinin mobilizasyon derecesini arasındaki ilişki Şekil 2.9. 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. m ile $1/P_t^*$ ilişkisi (s/b 'nin etkisi)

2.2.2.5. Optimum K_{pr} Değeri

Yukarıdaki sonuçlardan anlaşıyor ki kazığın çapı veya zemin kalınlığı değiştirilse de K_{pr} sabit tutulduğu durumda farklı oturma farklı oturma davranışlarında değişim gözlenmiyor.

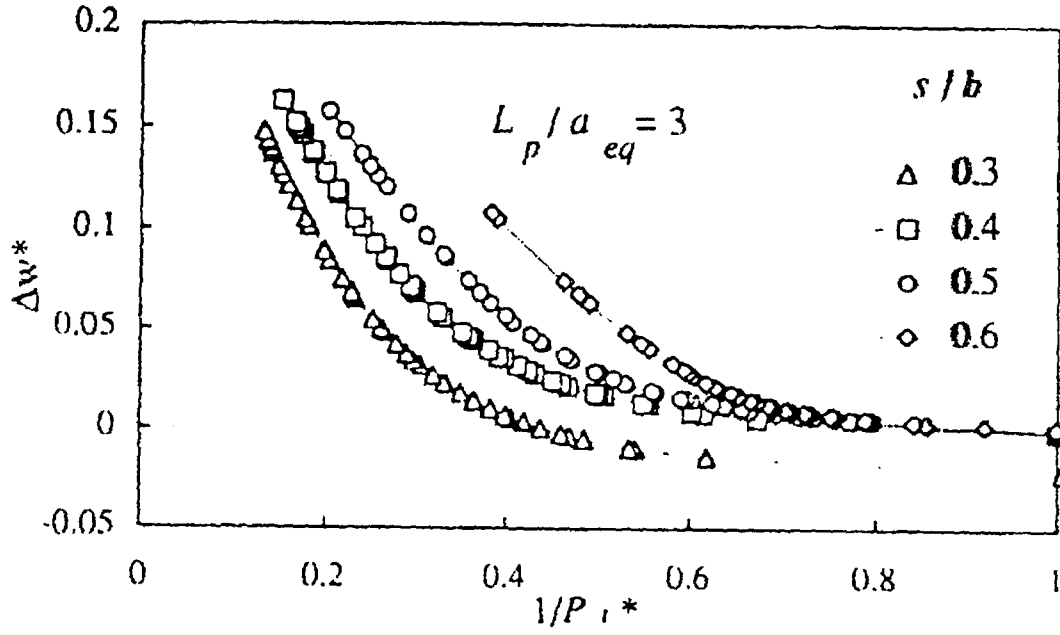


Şekil 2.10. Tam elastik analizden belirlenen optimum K_{pr}

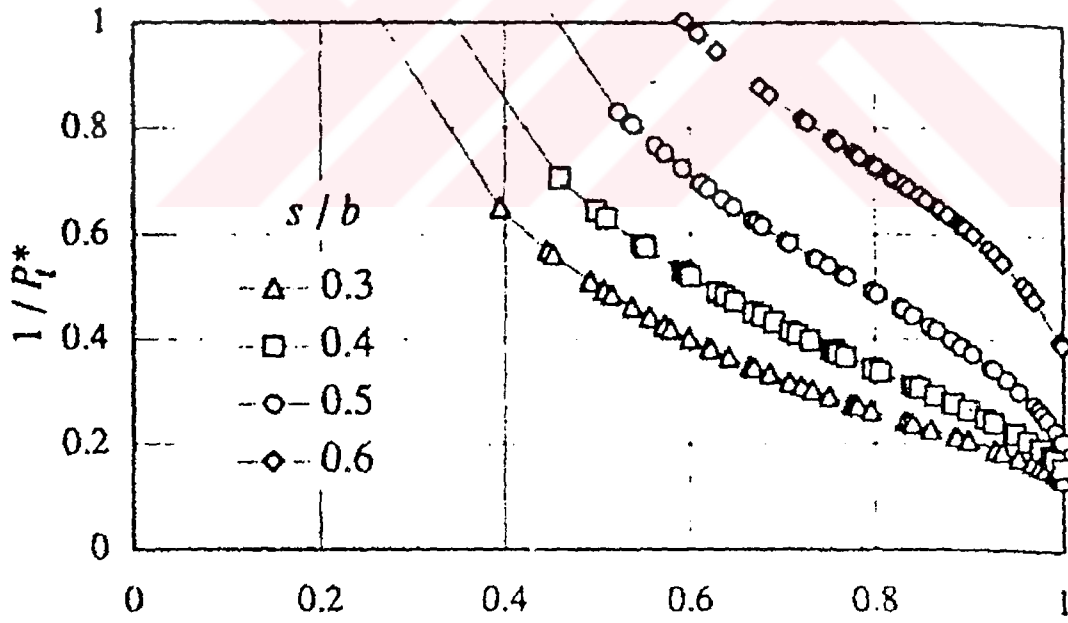
Şekil 2.10.'da sıfır farklı oturma veya elastik durum veren optimum K_{pr} değerleri gösteriliyor.

Şekil 2.10.'daki tam elastik analizden K_{pr} elde eden non lineer analizin sonuçları şekil 2.11.'de gösterilmiştir.

Horikoshi ve Randolph (1996) orta boyutlu radyelerde $K_{rs} = 0.1$ kullanılabileceğini radye boyutu arttıkça K_{rs} 'nin azalması gerektiğini aksi takdirde radyenin çok kalınlaşacağını ortaya çıkardılar. K_{rs} 0.01'den az bir değere indiği takdirde optimum kazık grubu değişir. Alan oranı artırılır ve rölatif kazık boyu azaltılır. Bu şekilde lokal maksimum oturmalar önlenmiş olur.



Şekil 2.11. Non-lineer analiz (Şekil 2.10.'dan elde edilen K_{pr} değerleri ile)
Şekil 2.12. ise $1/P_t^*$ 'nin m ile değişimini göstermektedir.



Şekil 2.12. m ile $1/P_t^*$ ilişkisi.

2.2.3. Sonuç

Optimum dizayn için :

- 1) Kazıklar radye alanının % 16-25'ine merkezi olarak dağıtılmalı

- 2) Kazık grubunun rijitliği, radyenin rijitliğine yaklaşık olarak eşit olmalı ($K_{pr}=1$)
- 3) Toplam kazık kapasitesi dizayn yükünün % 40-70 kadarını taşıyacak şekilde kazık grup alanı oranı ve zemin poisson oranına bağlı olarak dizayn edilmeli.

Kazık grubu – radye rijitlik oranı kazıklı radyelerin oturmalarını yöneten en kritik parametredir. Mobilizasyon derecesi (m) 0.8 ‘den küçük olmalıdır. Bu şekilde farklı oturmaların artması engellenebilir.

2.3. Kazıklı Radye Temellerin Dizaynı

P. Clancy ve M. F. Randolph kazıklı radye temellerin dizaynında kazıklarla radye arasındaki karmaşık etkileşimin rol oynadığını göstermiştir. Buna göre kazıkla radye arası etkileşimin açıklanması için sonlu elemanlar ve sınırlı elemanlar metodlarından yararlanılır, ancak radye ve minik kazık uygulamasında bu metodlar kullanılmaz. Daha geniş temel sistemlerinin tam analizlerinin yapılabileceği hybrid metod geliştirilmiştir. Farklı oturmaların kazıklı radye dizaynında oynadıkları belirleyici rol üzerine yeterince dikkat edilmemiştir.

Hybrid metodu kullanan parametrik çalışmalarla farklı oturmaları yaklaşık olarak belirleyebilecek metodlar oluşturulmasına çalışılmıştır. Yani iki çeşit çalışma yapılmıştır, bu metodların uygulanmasının açıklanması ve arazi ölçümleri ile sonuçların tam bir analizi.

2.3.1. Sonuç

Kazıklı radye temellerin analizi için iki alternatif yaklaşım metodu gösterilmiştir. Birinci methodda kazık grubunun ve radyenin özgün davranımları ele alınıp, birleştirilmiş, ikinci methodda eşdeğer kazıklı radye yaklaşımı ile kazık sayısında büyük miktarda azaltım analiz edilmiştir. Bu iki methodda da kazıklı radyenin rijitliği, kazık grubuyla radye arasındaki yük bölüşümü ve farklı oturmaların tahmini hesaplanabilmektedir. Tüm analiz ve yaklaşık methodla çözüm arasında kazık adedi 225’e varan sistemlerin analizinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Temelin toplam rijitliği, tüm yöntemler için mükemmel bir uyum içerisinde. Kazıkların taşıdığı yük ile radyenin taşıdığı yük arasındaki orantıda farklılıklar ölçülmüştür. Eşdeğer kazık yönteminden tahmin edilen yük dağılımı kazık grubunun fazla yük aldığını tahmin etmiştir.

Yaklaşık metodlar uygulama açısından basittirler, kısa zaman alırlar ve hassas ölçümlere gerek duymazlar ama mümkünse tam bir kazıklı radye analizi ile dizaynları kontrol edilmelidir.

Tokyo'nun banliyolarından Urawa şehrinde, kazıklı radye temellerin üzerine iki vaka analizi anlatılmaktadır. Temelin altında yer alan kazık gruplarının her biri az sayıda kazıktan oluşmaktadır. Böylece tam bir kazıklı radye temel analizi yapma şansı yakalanmıştır.

Kazıklı radye temellerin hesabındaki yaklaşımlar, boyutlandırma (projelendirme) konusunda faydalı sonuçlar doğurabilirler.

Randolph ve Clancy (1993) tarafından, radyelerin ve kazık gruplarının farklı oturmaları incelenmiştir. Genellikle, dikdörtgen radyelerde merkeze göre farklı oturmalar konusunda ilgilenilen iki nokta vardır. Bunlar köşe ve kenar noktalarıdır. Bu nedenle farklı oturmalar 0.0-1.0 (köşe-merkez) ve 0.5-1.0 (kenar-orta ile merkez) şeklinde gösterilebilir.

2.4. Kazıklı Radyeleri Hesaplayan Yöntemler ve Yöntemlerin Karşılaştırılması

H. G. Poulos ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, kazıklı radye temellerin incelenmesi ve boyutlandırılmasına ilişkin bazı yöntemler irdelenmektedir. Yöntemler üç sınıfta ele alınabilirler; basite indirgenmiş elle hesaplama yöntemleri, yaklaşık bilgisayar esaslı yöntemler ve daha kesin sayısal yöntemler. Bu yöntemler iki duruma uygulanarak karşılaştırılmaktadırlar. a) kuramsal durumlar b) yayımlanmış gerçek durumlar. Ele alınan yöntemlerde ön görülen kazıklı radye davranışlarında, özellikle bazı kazıkların kapasitelerinden tam olarak yararlanıldığı ve yük-oturma davranışının non-lineer olduğu durumlarda, ciddi farklılıklar olduğu gözlenmektedir.

Kazıklı radye temellerin boyutlandırılması için aşağıdaki özelliklere sahip olan analiz yöntemlerinin kullanılması istenmektedir.

- 1) Radye-radye, kazık-kazık, radye-kazık, kazık-radye etkileşimlerinin makul bir çerçevede ele alınması.
- 2) Kazıkların sayısı, yerleşimi ve özellikleri seçenekleri açısından yeterli çeşitliliğin bulunması.

- 3) Gerçekçi zemin profillerinin ele alınması
- 4) Kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımının hesaplanması.
- 5) Kazıklar üzerinde, basınç ve çekme halleri ile temelde non-lineer yük dağılımı davranışı hallerinde, nihai yüklerin oluşmasına imkan vermesi.
- 6) Tüm temelin oturmasının ve farklı oturmaların hesaplanması.
- 7) Radyenin yapısal tasarımı için eğilme momentleri ve kesme kuvvetlerinin hesaplanması.
- 8) Fazladan bir eğitim ve büyük bir çaba gerektirmeden uygulayıcı mühendislerce kullanılabilir olması.

Temelin toplam performansı açısından yaklaşıldığında uygulanan yöntemin, kazıklı radyenin tüm yük-oturma davranışını belirleyecek nitelikte olması istenir. Şekil 2.13'de de gösterildiği gibi yük-oturma eğrisi üç ana kısımdan oluşmaktadır.

- 1) Lineere yakın kısım. Hem kazıkların hem de radyenin lineer davranış gösterdiği kısım.
- 2) Daha eğrisel olan kısım. Bu kısımda kazıklar tam kapasitelerine erişebilir ancak radye, artan yükü taşımaya devam eder.
- 3) Son kısım. Temel sisteminin toptan göçmesini gösteren kısım.

Şekil 2.13'de dört tipik yük-oturma eğrisi gösterilmiştir. İlki, kazıksız radye için, ikincisi çok sayıda kazığın yer aldığı kazıklı radyeler için, son ikisi ise sınırlı sayıda kazığın yer aldığı kazıklı radyeler için hazırlanmıştır. Ekonomik boyutlandırmada ana amaç, oturma ve farklı oturma değerlerini belirli seviyelerde tutacak optimum radye kalınlığı, kazık boyutları ve aralıkları gerekli kazık sayısını bulmaktır.

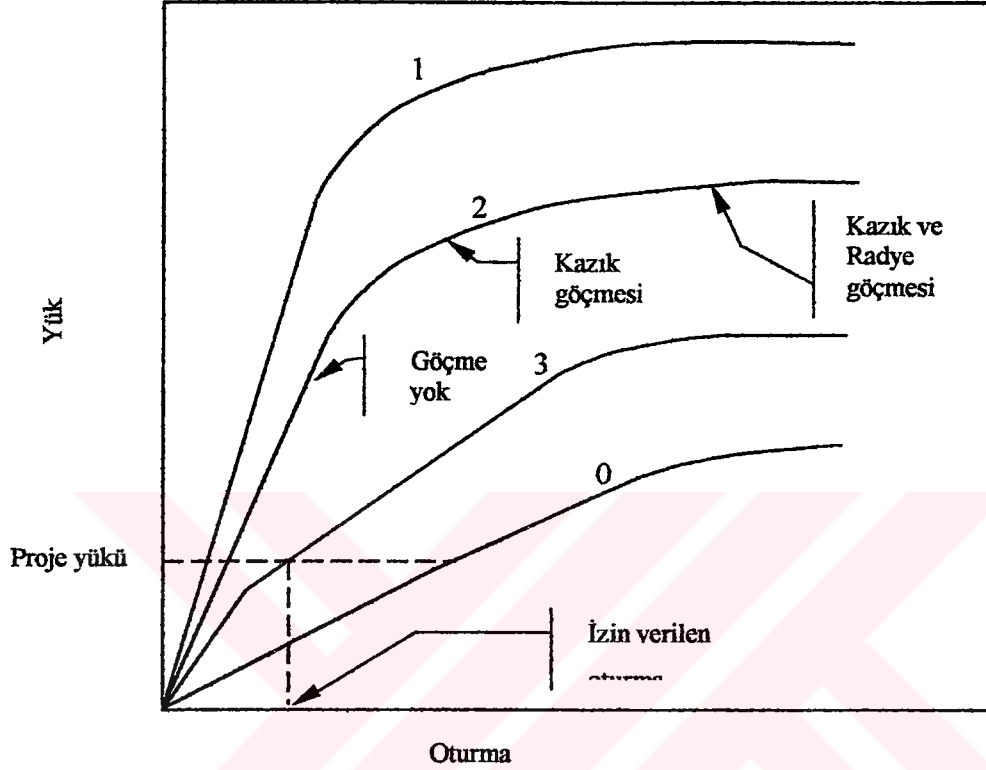
Poulos ve arkadaşlarınca yapılan araştırmada, bu amaç doğrultusunda geçerli olan bazı yöntemler sınıflandırılmış ve açıklanmıştır. Kuramsal ve gerçek durumlar için yöntemler uygulanarak kazıklı radye davranışı üzerine öngörülerde bulunulmuş ve elde edilen veriler kıyaslanmıştır. Gerçek durumlar için yapılan öngörüler, ölçülen davranışlarla karşılaştırılmıştır.

0 eğrisi - yalnız radye (aşırı oturma)

1 eğrisi - geleneksel güvenlik faktörü ile boyutlandırılmış kazıklı radye

2 eğrisi - daha küçük güvenlik faktörü ile boyutlandırılmış kazıklı radye

3 eğrisi - kazıkların tam kapasitesinden yararlanılan kazıklı radye



Şekil 2.13. Kazıklı Radyelerin Tipik Yük-Oturma Eğrileri

2.4.1. Hesap Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Analiz yöntemlerinin sınıflandırılmasında üç ana sınıf ele alınmaktadır:

- 1) Basite indirgenmiş hesap yöntemleri
- 2) Yaklaşık bilgisayar esaslı yöntemler
- 3) Daha kesin bilgisayar esaslı yöntemler

2.4.2. Basite İndirgenmiş Yöntemler

2.4.2.1. Poulos & Davis (1980)

Bu basite indirgenmiş elle hesap yöntemi, toplam yük-oturma eğrisini göçmeye kadar oluşturur. Kazıklı radyenin başlangıç rijitliği, yalnızca radyenin rijitliği ve kazıklar ile radyenin nihai taşıma kapasiteleri yerine elastik çözümler kullanılmaktadır. Sonuçta elde edilen yük-oturma ilişkisi, Şekil 13'deki üç ana kısmı

yansıtacak şekilde tri-lineerdir. Radyenin esnekliği dikkate alınmamaktadır. Yalnızca tamamen rijit ya da tamamen esnek radyeler çözülebilmektedir.

2.4.2.2. Randolph (1983, 1994)

Randolph (1983, 1994), kazıklı radye temelin rijitliğini ve kazıklarla radye arasındaki yük paylaşımını veren gayet uygun, yaklaşık denklemler vermiştir. Pek çok durum için aşağıdaki denklemler kullanılabilir.

$$k_{pr} = \frac{1 - 0.6 \times \left(\frac{k_r}{k_p} \right)}{1 - 0.64 \times \left(\frac{k_r}{k_p} \right)} \times k_p \quad (2.6)$$

$$\frac{p_r}{p_p} = \frac{0.2}{1 - 0.8 \times \left(\frac{k_r}{k_p} \right)} \times \frac{k_r}{k_p} \quad (2.7)$$

Bu denklemlerde,

k_{pr} = kazıklı radyenin rijitliği

k_r = radyenin rijitliği

k_p = kazıkların rijitliği

p_r = radye tarafından taşınan yük

p_p = kazıklar tarafından taşınan yükü temsil etmektedir.

Randolph'un yöntemi lineer davranış ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, temelin bir kazık grubu olarak radye tarafından taşınan yüke göre tasarlandığı alışılmış yöntemlere uygundur. Diğer yandan, Poulos ve Davis'in (1980) yaklaşımlarını uygulayarak trilineer yük-oturma eğrileri elde etmek yoluyla da uyarlanabilir.

Randolph'unkine benzer bir yaklaşım, Frank ve diğ. (1994) tarafından da ele alınmıştır. Bu çalışmada da radye ve kazık rijitlikleri birleştirilmiştir. Ancak kazık-radye ve radye-kazık etkileşimleri, tarafsız-düzlem yaklaşımıyla ele alınmıştır.

Bu sınıfa giren diğer yöntemler van Impe ve de Clerq (1995) tarafından verilen yöntemler ile eşlenik radye yöntemidir.

uygun yaylardan yararlanılmasını önermiştir. Özetle çeşitli etkileşimler hesaplarda detaylı olarak yer almamıştır.

2.4.4. Daha Kesin Sayısal Yöntemler

2.4.4.1. Sınır elemanları yöntemleri

Bu yaklaşım tarzında, radye ve her bir kazığın bağımsız çalıştığı varsayılmıştır. İlk örneklerinden biri Butterfield ve Banerjee (1971) tarafından verilmiştir. Bu örnekte kazık grubu, elastik zeminde yer almaktadır. Rijit kazık başlığı da zemin yüzeyine oturmuştur. Kuwabara (1989), homojen elastik zemindeki kazıklı radye temeller için bir yöntem tarif etmiştir. Buna göre radye, rijit kabul edilmiş ve kazıkların sıkışabilirlikleri hesaba katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, elastik koşullar altında, radye, normal kazık aralıkları olması halinde yükün çok küçük bir kısmını taşımaktadır. Poulos (1993b), Kuwabara'nın hesaplarını geliştirerek serbest alan zemin hareketlerinin etkilerine, radye ve zemin arasındaki sınırlandırıcı temas basınçlarını ve bunların yanı sıra kazıklarda nihai basınç ya da çekme gerilmelerinin oluşmasını hesaba dahil etmiştir. Ancak bu kategorideki pek çok yöntem gibi bunda da rijit radye kabulünden kaynaklanan sınırlandırmalar yerini almıştır.

2.4.4.2. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler

Hain ve Lee (1978) kazıklı radye hesaplarında çığır açan bir makale yayınlamışlardır. Burada, radye, ince levha sonlu elemanlardan oluşturulurken; kazıklar, sınır elemanları yöntemiyle hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında daha az çaba harcamak ve her kazığın her elemanını ayrı ayrı incelememek için etkileşim faktörü kuramından yararlanılmıştır. Buna rağmen, Hain ve Lee tarafından bulunan sonuçlar yaklaşıklıklar içermekle beraber pek çok araştırmacı tarafından referans sonuçlar olarak kullanılmıştır.

Hesap yöntemi öncelikle elastiktir. Ancak programda tanımlanan bir yük limitiyle kazıklarda nihai yüklerin oluşmasına meydan vermektedir. Bu hesabın getirdiği sınırlandırma, zeminin homojen yarı-sonsuz bir elastik kütle olarak tanımlanmasıdır. Öte yandan, bulunan sonuçlar, yüklemenin ilk aşamalarında kazıklı radyenin davranışında çeşitli faktörlerin öneminin görülmesini sağlamıştır.

Franke ve diğ. (1994), kazıklar için sınır elemanları, radye içinse sonlu elemanlar hesaplarının kullanıldığı karma bir tekniğin kullanımını anlatmıştır. Kazıkların non-

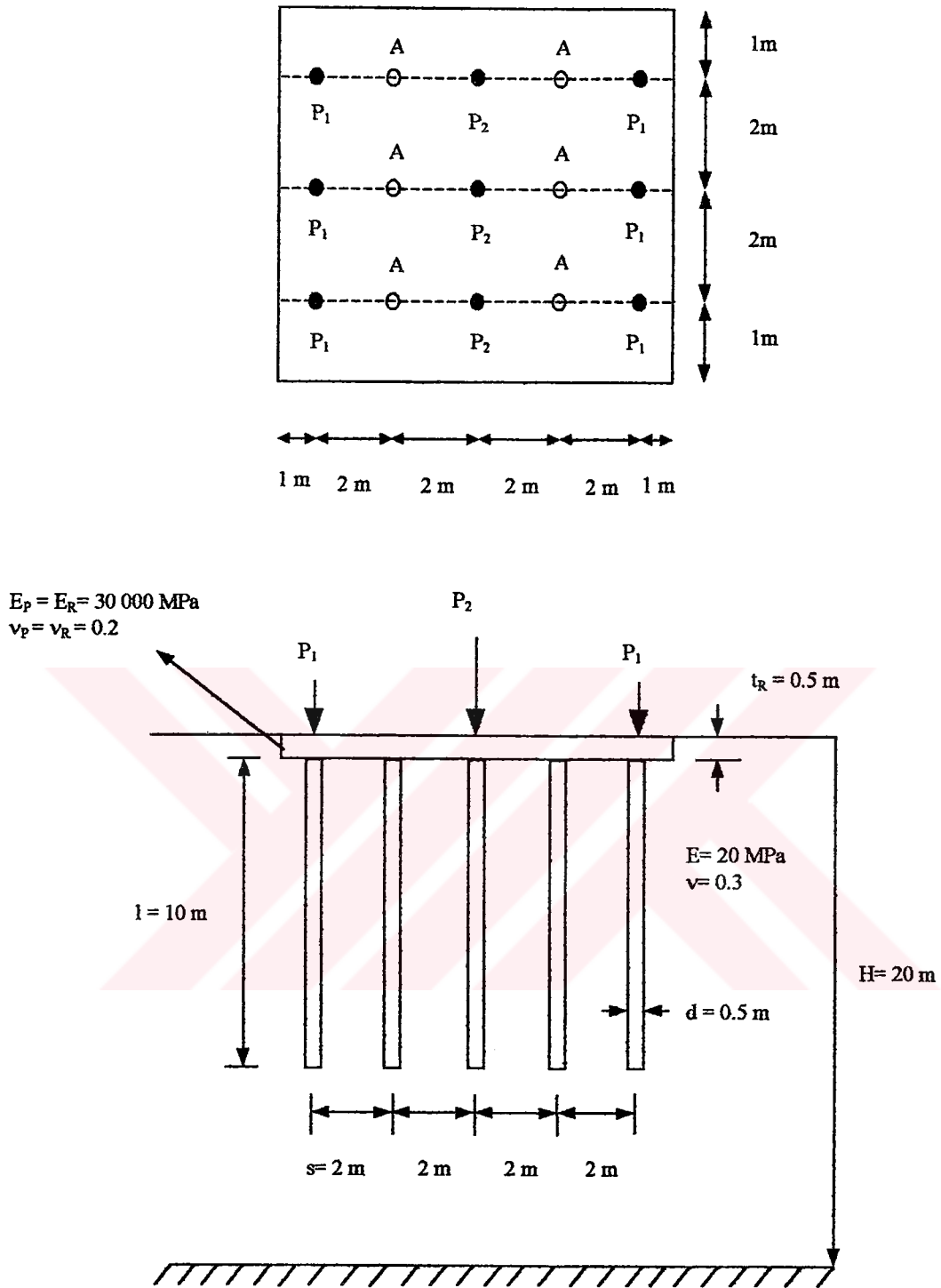
lineer davranışları tıpkı yapım sonrası rezidüel gerilmeler gibi hesaba dahil edilmektedir.

Sinha (1996), tamamen sınır elemanlara dayanan bir hesap yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde, tüm kazıklar bir bir, sınır elemanları yoluyla çözülmektedir. Radye ise ince-levha sonlu elemanlarla tanımlanmaktadır. Zeminin homojen elastik olduğu kabulü yapılmıştır. Sınırlı radye-zemin temas gerilmeleri (çekme ve basınç halleri için) ve kazık gövdesi ile zemin arasında ve kazık ucunun altındaki sınır gerilmelerini belirleyerek non-lineer davranış sağlanmaktadır. Serbest zemin yüzü hareketleri de hesaba katılabilmektedir. Böylelikle zeminin şişmesi veya konsolidasyonunun etkileri de incelenebilmektedir.

2.4.4.3. Basite indirgenmiş sonlu elemanlar yöntemleri

Basite indirgenmiş sonlu elemanlar yöntemleri, kazık grubu veya kazıklı radyeyi ya bir düzlemsel birim deformasyon problemi (ör. Desai 1974) ya da eksenel-simetrik problem (ör. Hooper 1973, Naylor ve Hooper 1974) olarak ortaya koymuşlardır. Her iki durumda da radye ve zemini bağımsız kılmak için sonlu elemanlar kullanılmaktadır ve bu nedenle non-lineer zemin ve radye davranışlarını hesaba katmak görece daha kolaydır. Zeminin iki-fazlı davranışı da tanımlanabilir. Böylece konsolidasyona bağlı oturma ve kazık yük dağılımının zamana bağlılığı özellikleri de hesaba katılmaktadır. Hooper (1979), Londra'daki bir binada eksenel-simetrik kabulün gözlemlerle örtüşen sonuçlar ortaya koyduğunu göstermiştir. Bu şekilde basite indirgenmiş bir yaklaşımın temel sorunu, ancak görece düzgün yüklemeleri inceleyebilmesidir. Ayrıca radyedeki burulma momentlerini elde etmek de mümkün değildir.

Tam bir sonlu elemanlar hesabı olmamakla birlikte, Hewitt ve Gue (1994), karstik kireçtaşı içeren bir zemin profilinde kazıklı radye temel hesabı yapmışlardır. Hesap, piyasada bulunan, kesin bir sonlu farklar kodu kullanan FLAC (Itasca 1991) adlı bir programla yapılmıştır. Temel, bir düzlemsel birim deformasyon problemi olarak modellenmiştir ve bu hesap, yaklaşık da olsa, kireçtaşındaki boşlukların temelin oturmasına olan etkilerinin değerlendirilmesini sağlamıştır.



Şekil 2.14. Çeşitli Yöntemlerce Analiz Edilen Kuramsal Örnek

2.4.4.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar hesabı

Gerçek bir problemi modelleme yeteneği bakımından, üç boyutlu sonlu elemanlar hesabı etkili bir silah olarak kabul edilebilir. Elbette uygun parametrelerin tayini sorunu bu kabulün dışındadır. Ottaviani (1975) böyle bir hesabı, kazıklı temellere

uygulayan ilk çalışmayı yapmıştır. Zhuang ve diğ. (1991) ve Lee (1993) kazıklı temellerdeki oturma ve yük dağılımına parametrik çözümler bulmak için lineer üç boyutlu hesap yöntemi kullanmışlardır. Parametrelerden de daha fazla değişim gösteren faktörler; rölatif radye rijitliği, rölatif kazık boyu ve kazık sayısıdır.

Ta ve Small (1996), radye için ince-levha sonlu elemanlar ve zemin için sonlu tabakalar yöntemlerini uygulayan bir hesap geliştirmişlerdir. Bu yöntem, lineer zemin davranışı ile sınırlandırılmıştır ancak tabakalı bir zemin durumunu çok etkin bir biçimde değerlendirebilir ve kazık yerleşimi konusunda serbestlik tanır.

Günümüze dek yapılan çalışmalardan en “kesin” hesap, Wang (1995) tarafından verilmiştir. Bu çalışma, non-lineer üç-boyutlu analiz yoluyla düşey yüklü kazık radyelerin non-lineer hesabını içermektedir.

2.4.5. Yöntemlerin Karşılaştırılması

2.4.5.1. Kuramsal örnek

Kazıklı radye temellerin davranışını belirlemeye çalışan yöntemlerin karşılaştırılabilmesi için Şekil 2.14’deki örnek incelenmiştir. Örnek basit bir formda oluşturulmuştur ancak gerçek durumlarda yaşanan, parametrelerin belirlenmesi esnasında karşılaşılan kaçınılmaz farklılıkların ihmal edilmesi bakımından bu gereklidir. Karşılaştırma, özellikleri verilen bir zemin, radye ve kazık kümesinin davranışının belirlenmesine odaklanmıştır.

Üç durum için hesap yapılmıştır.

A) 15 kazıklı, 12 MN yük taşıyan radye. Temel sistemi (kazıklar+radye) için güvenlik sayısı 2.6.

B) 15 kazıklı, 15 MN yük taşıyan radye, güvenlik sayısı 2.07.

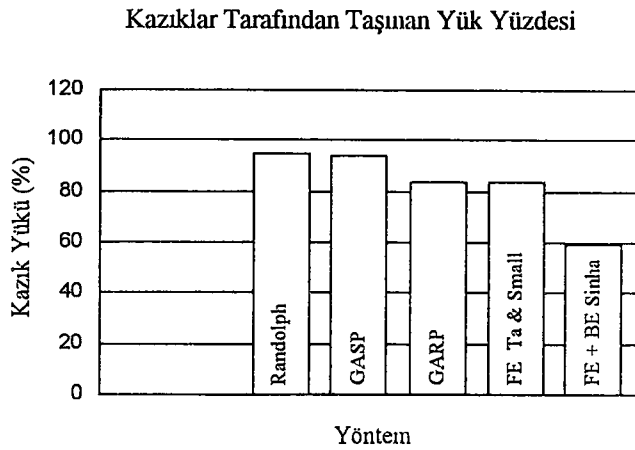
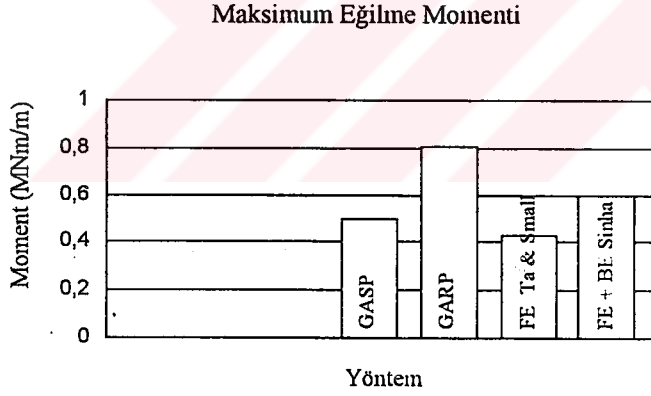
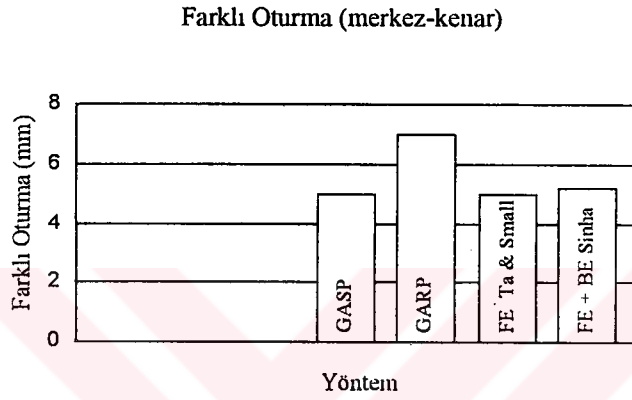
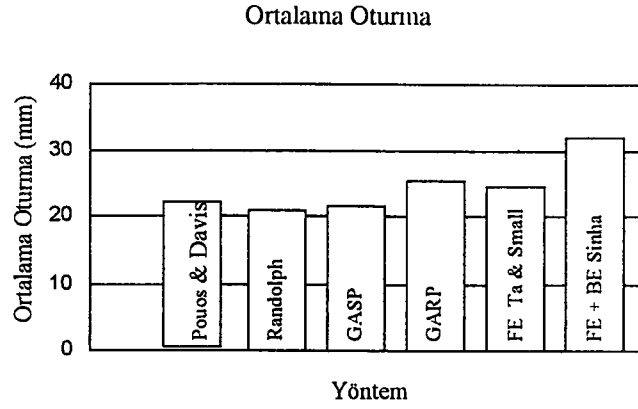
C) 9 kazıklı (her biri, yük taşıyan kolonların altında yer almaktadır), 12 MN yük taşıyan radye, güvenlik sayısı 2.15.

Her durum için 6 hesap yöntemi kullanılmıştır.

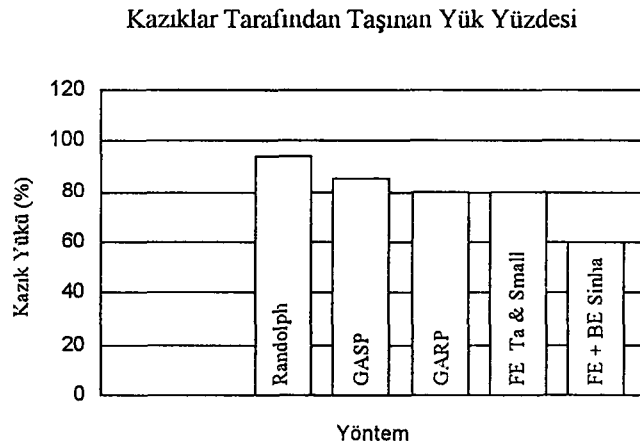
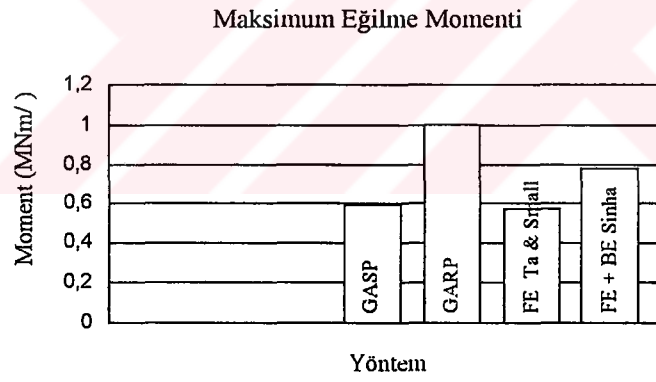
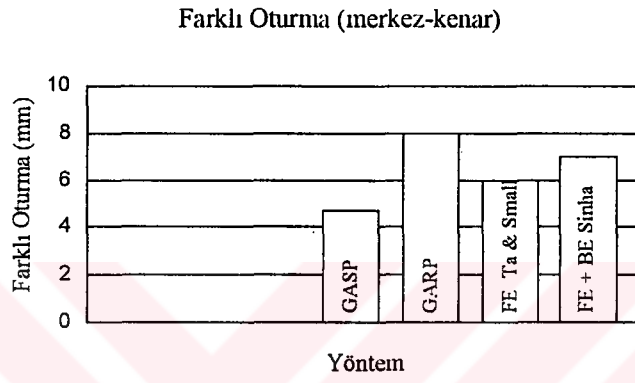
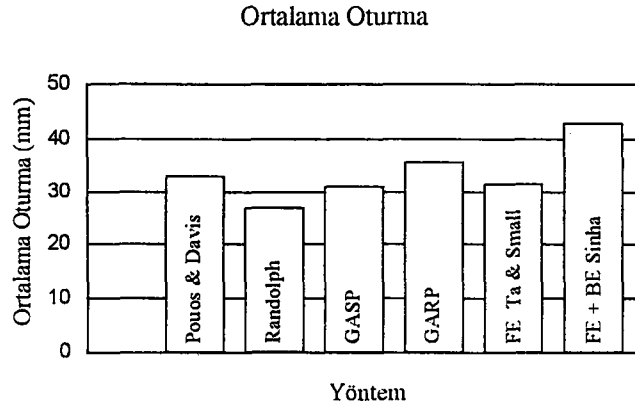
1) Poulos & Davis (1980)

2) Randolph (1983)

3) Yaylar üzerinde şerit yaklaşımı, GASP programı kullanılarak (Poulos 1991)



Şekil 2.15. Durum A: 15 Kazıklı Radye ($P = 12\text{MN}$) Yöntemlerin Karşılaştırılması



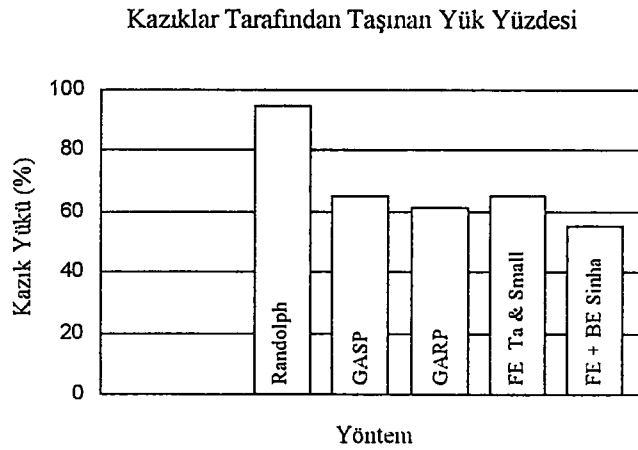
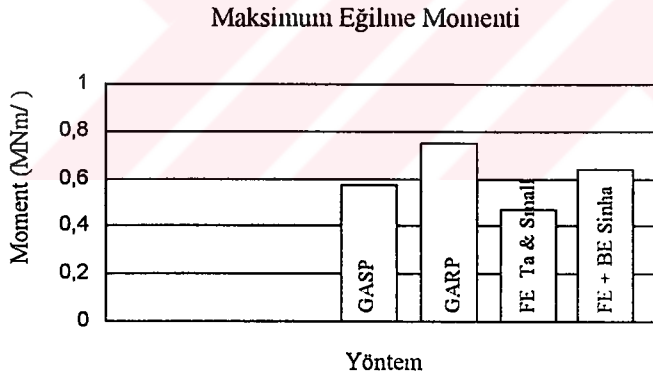
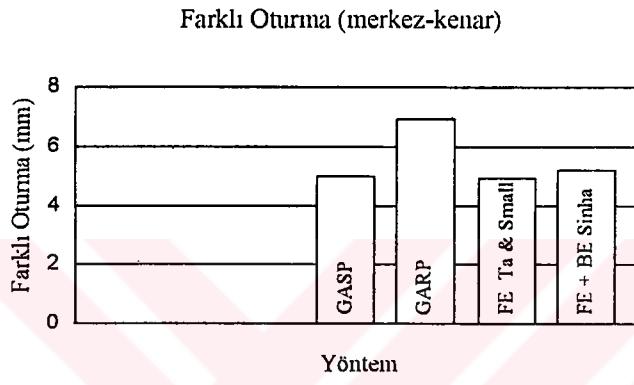
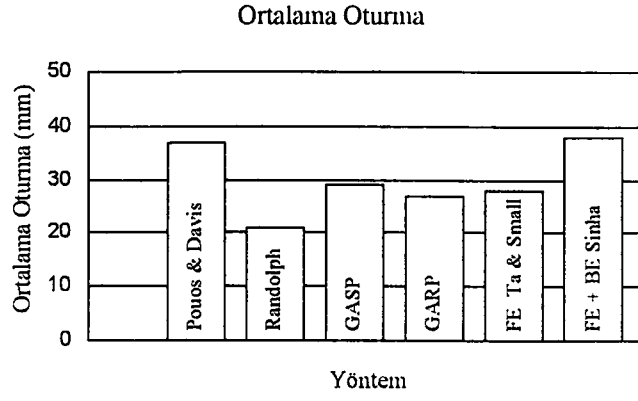
Şekil 2.16. Durum B: 15 kazıklı radye ($P = 15 \text{ MN}$). Yöntemlerin Karşılaştırılması.

- 4) Yaylar üzerinde levha yaklaşımı, GARP programı kullanılarak (Poulos 1994)
- 5) Ta & Small (1996)'ın sonlu elemanlar yöntemi
- 6) Sinha (1996) sonlu elemanlar ve sınır elemanları yöntemi. Bu yöntem, sonsuz derinlikte bir zemin tabakası kabulü yapmaktadır. Bu nedenle zemin profilinin tabakalı oluşturulması ve sonlu derinlikte zemin tanımlaması yapılabilmesini sağlamak için eşlenik zemin modülü değeri seçilmiştir.

Durum A için (15 kazıklı radye, 12 MN yük) ön görülen anahtar değerler; maksimum oturma, maksimum farklı oturma, maksimum eğilme momenti ve kazıklar tarafından taşınan yük oranı, Şekil 2.15'te özetlenmiştir. Bu durumda, uygulanan yük, kazıkların toplam kapasitelerinden düşüktür. Bu nedenle davranış da lineer olma eğilimindedir.

1. Tüm yöntemler, makul, benzer ortalama oturma değerleri vermektedir. Altıncı yöntem, tabakalı zemin profilinin uyarlanması için zemin modülünde bazı ayarlamalar yapılmasına rağmen, belirgin şekilde diğerlerinden büyük ortalama oturma değeri vermektedir.
2. Bu değeri hesaplayabilen yöntemler arasında yapılan karşılaştırmada, merkez ve kenar-merkez arasındaki farklı oturma miktarları benzerdir.
3. Maksimum eğilme momenti değerleri arasında hatırı sayılır farklılıklar olduğu söylenebilir. GARP programını kullanan, yaylar üzerinde levha yaklaşımı yöntemi en yüksek değeri verirken, Ta ve Small'un sonlu elemanlar yöntemi en düşük değeri vermektedir.
4. Bu değeri hesaplayan beş yöntem arasında, kazıklar tarafından taşınan yük oranı, nispeten tutarlı değerler almaktadır. Altıncı yöntem belirgin şekilde daha düşük yüzde vermektedir (Bu durum aynı yöntemin verdiği büyük oturmalar ile tutarlıdır).

Durum B için (15 kazıklı radye, 15 MN yük) öngörülen anahtar değerler Şekil 2.16'te gösterilmiştir. Durum C'ye karşılık gelen değerler (9 kazıklı radye 12 MN yük) Şekil 2.17'te gösterilmiştir. Her iki durumda da, uygulanan yük, kazıkların nihai kapasitesini aşmaktadır ve temel sisteminin bir kısım non-lineer davranışları belirlenebilmektedir. Aşağıdaki gözlemler, bu şekillerden yola çıkılarak oluşturulmuştur.



Şekil 2.17. Durum C: 9 Kazıklı Radye (P = 12 MN). Yöntemlerin Karşılaştırılması

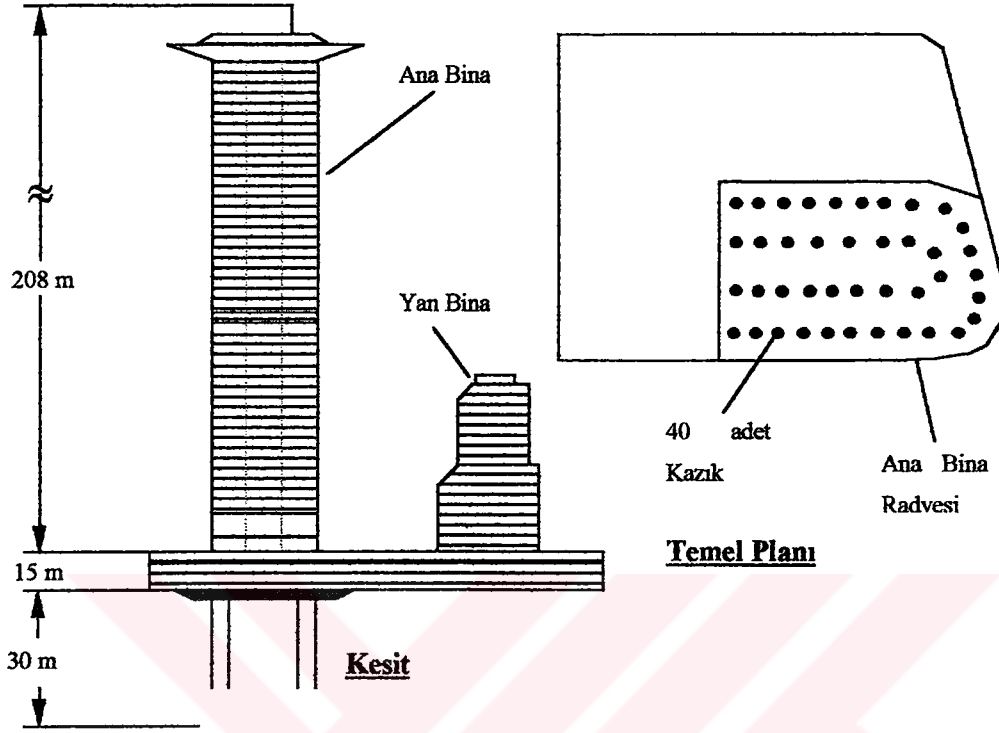
1. Randolph'un lineer davranış kabulü yapan yaklaşımı diğer yaklaşımlardan daha küçük bir ortalama oturma değeri vermektedir.
2. GARP analiziyle hesaplanan eğilme momenti diğer tüm yöntemlerden önemli miktarda fazladır.
3. Durum C'de kazıklar tarafından taşınan yük oranı, Randolph'un yaklaşımının kazıklar tarafından yükün büyük bir kısmının taşındığını ve buna bağlı olarak daha küçük ortalama oturma değerlerinin meydana geldiğini öngörmesine rağmen, A ve B durumlarından daha azdır.
4. Durum A ve C'nin karşılaştırılması şunu ortaya koymaktadır ki 6 tane kazığın temel sisteminden çıkarılması, ortalama ve farklı oturma değerlerinde fark edilir bir artış ve kazıkların taşıdığı yük oranında da düşüş meydana getirmekle beraber, radyedeki maksimum eğilme momentinde küçük bir değişikliğe neden olmaktadır.

Özetle, ele alınan 6 yöntemle yapılan hesapların sonuçları arasında önemli farklar vardır. Kazıklar elastik davranış gösterdiklerinde ortalama oturma değerleri birbirine yakinken, kazıklardaki yük arttıkça yöntemler arasındaki farklar daha belirginleşmektedir. Hesaplanan maksimum eğilme momentleri arasında da kayda değer farklar vardır. Bu nedenle, kullanılan hesap yöntemine bağlı olarak radyenin donatı gereksinimi de büyük ölçüde değişiklik göstermektedir.

Beşinci yöntemin değerlerine göre daha az varsayım ve tahminden yararlanmasıyla birlikte, yöntemlerden hangilerinin “doğru” olduğu konusunda sınıflandırma yapmak mümkün görülmemektedir.

2.4.5.2. Westend 1 Kulesi

Westend Sokağı 1 Kulesi, Frankfurt'ta bulunan, 51 katlı, 208 m yükseklikli bir yapıdır. Franke (1991) ve Franke et. al. (1994) tarafından da incelenen yapının kesiti ve temel planı, Şekil 2.18'da gösterilmiştir. Radyenin orta kısmındaki 4.5 m'lik kalınlığı, kenarlarda 3 m'ye düşmektedir. Kazıklar, 30 m boyunda, 1.3 m çapında fore kazıklardır. Arazideki zemin profili ile ilgili ayrıntılı bilgi, mevcut olmamakla birlikte kalın bir Frankfurt kili tabakasının var olduğu söylenebilir. Presiyometre deneylerine dayanarak Franke et. al. (1994) tarafından 62.4 MPa'lık ortalama tekrar-yükleme modülü verilmiştir. 120 m'lik kil kalınlığı kabulü yapılmıştır.



Şekil 2.18. Westend 1 Binasının Kesiti ve Temel Planı

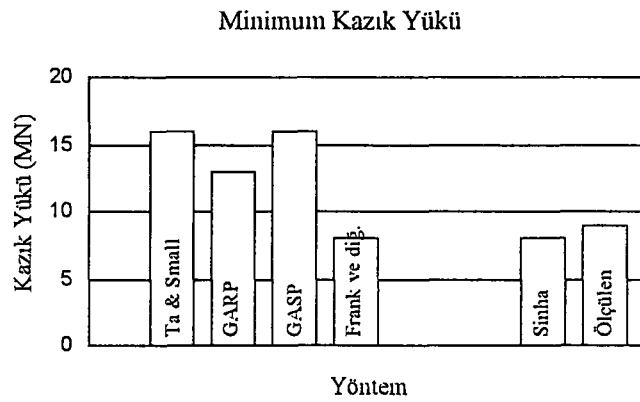
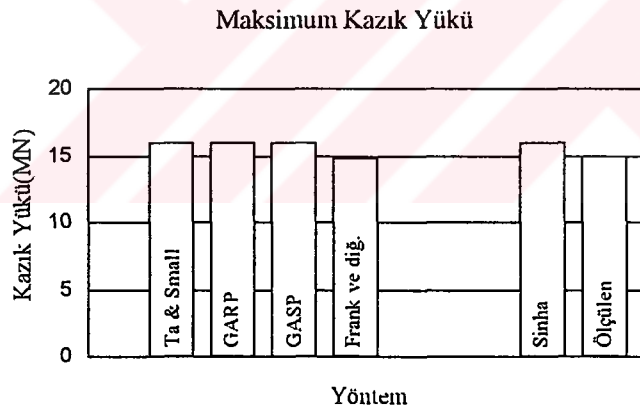
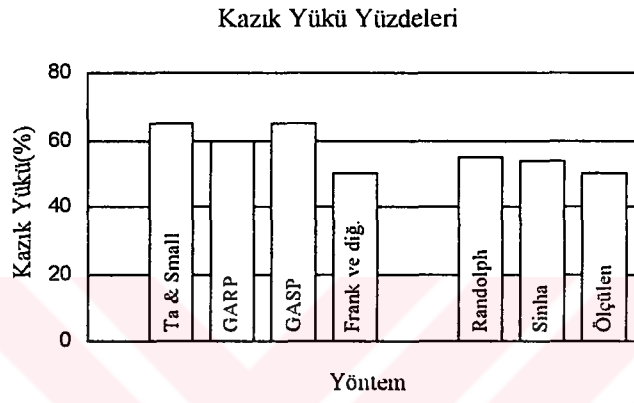
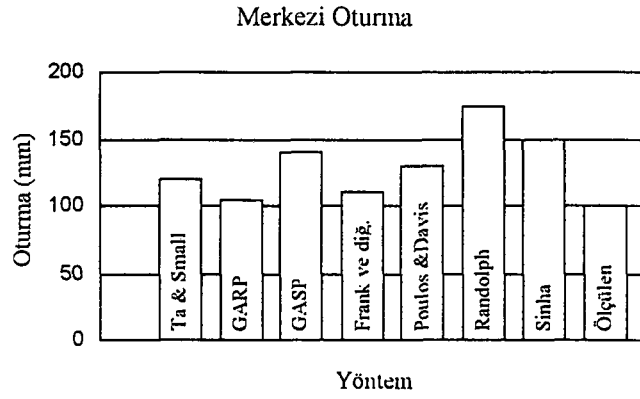
Elde edilen verilerden, her bir kazık için toplam basınç yük kapasitesi 16 MN olarak belirlenmiştir.

Kazıklı radyenin davranışının hesaplanması için aynı altı yöntem kullanılmıştır. Temele etkien toplam yükün 968 MN olduğu ön görülmüştür. Buna göre hesaplarda, uygulanan ortalama gerilme 323 kPa alınmıştır.

Altı yöntem ile Franke ve diğ. (1994) tarafından belirtilen performans tahminleri Şekil 2.19’da karşılaştırılmıştır. Buna göre;

1) Başta basitleştirilmiş elle hesap yöntemleri olmak üzere yöntemlerin çoğunda merkezi oturmayı olduğundan fazla bulma eğilimi gözlenmektedir. Öte yandan, ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında, çoğu yöntem kabul edilebilir yaklaşımlar sağlamaktadır.

2) Yöntemlerin çoğunda, yükün kazıklar tarafından taşınan kısmını olduğundan çok kabul etme eğilimi görülmektedir. Ancak boyutlandırma açısından bakıldığında bu fazlalığın boyutunun kabul edilebilir olduğu söylenebilir.



Şekil 2.19. Westend Binası. Yöntemlerin Karşılaştırılması

3) Tekil kazık yüklerini belirleme özelliğine sahip tüm yöntemler, en çok yüklenen kazığın yük kapasitesinin tümünden yararlanmaya çalışmaktadır. Bu durum yapılan ölçümlerle de örtüşmektedir.

4) Minimum kazık yükünün belirlenmesinde kayda değer bir çeşitlilik gözlenmektedir. Kazıklar tarafından taşınan yükü olduğundan fazla kabul eden yöntemler, gerçekte ölçülenden daha büyük minimum kazık yükü değerleri vermektedir.

Bu karşılaştırmaların sonuçları, kurgulanmış durum çalışmasından elde edilenleri şu açılardan doğrulamaktadır; kazık kapasitesinden tam yararlanılması halinde, kazıklı radye temelin öngörülen davranışında belirgin değişiklikler gözlenmektedir. Bununla beraber, daha düşük yük seviyelerinde, kazık davranışları hemen hemen elastik kabul edildiğinde daha basit yöntemler bile akla yakın oturma ve kazıklarla radye arasındaki yük paylaşımı değerleri vermektedir.

2.4.6. Karşılaştırmaların Sonuçları

Ele alınan, kazıklı radye temel davranışını inceleyen yöntemler, iki duruma uygulanmışlardır.

- 1) kurgulanmış bir problem
- 2) gerçek bir problem, Frankfurt'ta yüksek bir bina

Buna göre, kazıklar elastik davranış gösterirlerken, eksenel yüklemede taşıma kapasitesi değerlerine ulaşmamışken, farklı yöntemler tarafından elde edilen ortalama oturma değerleri, birbirine benzemektedir. Öte yandan belli sayıda kazığın taşıma kapasitelerine ulaşıldığında, yöntemler arasındaki farklar daha keskinleşmektedir. Poulos ve Davis (1980) gibi basit non-lineer elle hesap yöntemleri, daha hassas sayısal yöntemlere göre oturma değerlerini bu koşullar altında gerçek değerlerden daha büyük bulmaktadır.

Radyede hesaplanan maksimum eğilme momentlerinin değişkenliği dikkate değerdir. Kurgulanmış durum çalışmalarında bu değişim yaklaşık 2 gibi bir faktörle temsil edilmektedir. Bu da göstermektedir ki radyedeki donatı gereksinimi, kullanılacak hesap yöntemine bağlı olarak değişmektedir.

Sonuç olarak, her ne kadar, geçerli hesap yöntemleri, kazıklı radye temellerin toplu davranışları hakkında öngörülerde bulunulması konusunda önemli bir temel

oluşturuyorlarsa da; yöntemlerin güvenilirliğini arttırıcı, özellikle radyedeki eğilme momentlerinin dağılımını belirleyen, davranışı daha ayrıntılı incelemeye yönelik çalışmalar yapılması gereksinimi yine de göze çarpmaktadır.

2.5. Şişen ve Büzülen Zeminlerde Kazıklı Radye Temeller

J. Sinha ve H. G. Poulos tarafından yapılan, şişen ve rötreye yapan (büzülen) zeminlerde kazıklı radye temel sistemlerinin davranışını konu edinen çalışmada, radyenin altındaki zemin hareketleri analiz edilerek tüm temelin davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz sırasında radye, zemin ve kazıklar üzerinde yatan bir plak olarak düşünülmüştür. Gerekli analitik çözümlerin yapılması için PRAES (Piled Raft Analysis in Expansive Soils) isimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Gerilmelerin analizinde bir “non-lineer zemin-yapı etkileşimi” yaklaşımı uygulanmıştır. Temel altındaki zeminin şişme veya büzülmesi sonucu meydana gelen çeşitli zemin hareketleri için temel davranışlarının özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar “düzgün yer” haliyle karşılaştırılmıştır. Bu etkilerin toplam nihai temel performansına katkısı tartışılmıştır. Ayrıca diğer hallerde radye-kazık-zemin etkileşiminin daha iyi anlaşılması için yeni araştırmalar yapılması gereğinin altı çizilmiştir.

Son yıllarda kazıklı radye sistemlerinin büyük yapıları desteklemek amacıyla kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Kazıkları, radyenin altında oturmayı azaltıcı olarak kullanma fikri popülerlik kazanmıştır.

Uygulamaların genelinde, kazıklar üstyapıdan gelen yükün tümünü taşıyacak şekilde projelendirilmektedir. Radye tarafından taşınan yük tamamen ihmal edilmektedir. Ancak gerçek durumda yükün bir kısmı da radye tarafından taşınmaktadır. Bu yüzden bir kazıklı radye temel sisteminin boyutlandırılması radyenin yük taşıma özellikleri de hesaba dahil edilerek optimize edilebilir. Kazıklar ve radye arasındaki yük paylaşımı, büyük ölçüde, zeminin şişmesi ya da sıkışmasından kaynaklanan yer hareketlerinden etkilenebilir. Etkileşimin söz konusu olduğu bir zeminde, radyenin altında ve kazık gövdesi boyunca yer alan zemin seviyesi, su içeriğindeki mevsimsel değişimle farklılık gösterir. Böylece temeller, temel performansını olumsuz yönde etkileyecek farklı bir gerilme dağılımıyla karşı karşıya kalırlar.

Temel davranışı uygulanan yüke bağlı olmasına rağmen analiz amacıyla uygulanan yük miktarı 0.15 MPa olarak alınmıştır. Analiz, iki ayrı radye rijitliği için ($K_R = 1$ ve $K_R = 0.01$ ki bunlar rijit ve elastik radye koşullarına karşılık gelmektedir) yapılmıştır.

Sinha ve Poulos'un verdiği sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Rötre yapan zeminlerde:

- Zemin yüzeyindeki hareket, kazık yüzeyi boyunca ek yük meydana getirir.
- Zemin hareketi yeni bir gerilme dağılımına neden olur ve kazıklara gelen yükleri artırır.
- Değişik kazıklara gelen yüklerdeki artış, kazıkların radye altındaki yerleşimlerine olduğu kadar radyenin rijitliğine de bağlıdır.
- Zeminin rötre hareketi belli bir aşamaya kadar farklı oturmaları azaltır ancak bu sınır aşıldıktan sonra tersine artırıcı rol oynar.
- Zeminin rötre hareketi radyedeki maksimum pozitif momenti azaltırken maksimum negatif momenti artırır.

Şişen zeminlerde:

- Zemin yüzeyinin hareket etmesi kazık yüzeyi boyunca yukarı yönde yük meydana getirir.
- Zemin yüzeyinin hareketine bağlı olarak yeni bir gerilme dağılımı meydana gelir ve bu da kazık yüklerinde bir azalmaya neden olur.
- Değişik kazıklara gelen yüklerdeki azalma, kazıkların radye altındaki yerleşimlerine olduğu kadar radyenin rijitliğine de bağlıdır.
- Radyenin kenarlarına yakın yerleşmiş kazıklar daha fazla yer hareketlerine maruzdurlar, bu nedenle kazık-radye birleşiminde çekme kuvveti meydana gelir. Bu da temel yapısında ciddi bozukluklara yol açabilir.
- Yer hareketlerinde meydana gelecek bir artış farklı oturma miktarını da arttıracaktır.
- Zeminin şişmesi radyedeki maksimum pozitif momenti artırırken maksimum negatif momenti azaltır.

2.6. Kazık Grubu - Kazık Başlığı Etkileşimi

R. Butterfield ve P. K. Banerjee (1971c) tarafından yapılan çalışmada kazık grubu-kazık başlığı etkileşimi üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada, herhangi bir şekle sahip olan kazık başlığına temas eden yumuşak zemine yerleştirilmiş, gelişigüzel aralıklara sahip kazık grubunun yer aldığı temel zemini ile kazık başlığının etkileşimi ve özellikle sistemin yük-deplasman davranışı ile kazık grubu ve kazık başlığı arasındaki yük dağılımını belirlemek için yapılan, iki probleme ilişkin elastik hesaplar sunulmaktadır. Problemler, yarı-sonsuz ideal elastik yarı uzayda yer alan bir noktasal yük için yapılmış Mindlin'in hesabından geliştirilmiş integral denklemleriyle formülize edilmiştir. Kazık boyu-kazık çapı oranı, kazık başlığı boyutları ve kazık ile taşıyıcı zeminin sıkışabilirlik oranının sisteme olan etkileri araştırılmış ve tek bir kazık ve kare kazık başlığı ile kare ve dikdörtgen dizimli tipik kazık grupları için sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Kazık grubu-kazık başlığı temel sistemlerinin yük-deplasman davranışları, temel mühendisleri için önem taşımakla beraber bugüne dek kazıklar üzerine yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarının büyük çoğunluğu, kazık başlığının zemine temas etmediği tekil kazık ya da kazık gruplarını gözönüne almışlardır.

Rijit, dairesel, zemine temas eden kazık başlığı ile birlikte tekil bir rijit kazığı inceleyen Poulos (1968a) dışında, kazık ve kazık grubu davranışını analiz eden teorik çalışmalar etkileşim problemini gözardı etmişlerdir.

Sıkışabilir kazık gruplarının elastik ve elasto-plastik analizlerinde önemli gelişmeler kaydedilmiş ve arazi yük-deplasman ölçümleriyle oldukça iyi bir korelasyon sağlanmıştır (Poulos ve Davis, 1968; Mattes ve Poulos, 1968; Poulos, 1968b; Butterfield ve Banerjee, 1971). Anılan çalışma, elastik analizi, herhangi bir geometride, tamamen sıkışabilir kazık grubu-rijit başlık sistemi analizi çizgisine taşımaktadır. Burada, kazıkların içerisinde yer aldığı taşıyıcı ortam, ideal elastik yarı uzay kabul edilmektedir. Başlık da zemine temas etmektedir.

2.6.1. Analiz Yöntemi

Analitik yöntemin ayrıntıları, Butterfield ve Banerjee (1971a, 1971b) tarafından açıklanmıştır. Burada yöntemin önemli adımları verilmiştir:

a) Mindlin'in yarı-sonsuz elastik kütleye etkiyen noktasal yük için ortaya koyduğu çözüm, uygun bir tekil çözüm olarak kabul edilmiştir.

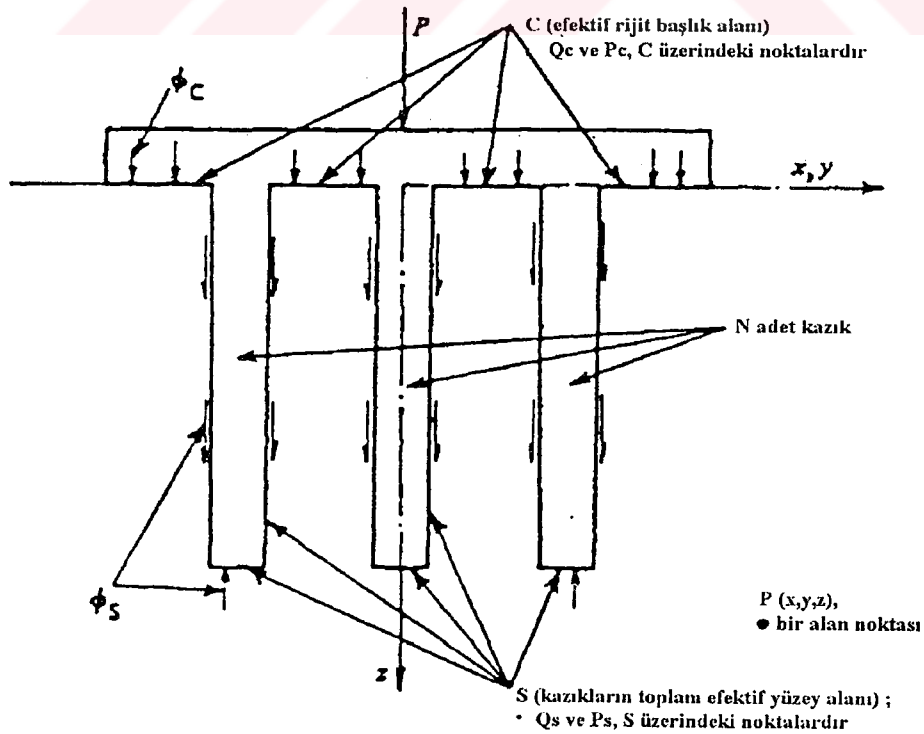
b) Bu noktasal yükleri, Şekil 2.20' de gösterilen kazık başlığı-zemin ara yüzeyi (C) ile kazık gövdesi ve ucu-zemin ara yüzeyine (S) etkitererek, fiktif gerilme şiddeti ϕ cinsinden, zemin ortamındaki her noktada düşey deplasmanı veren integral gösterimleri elde edilebilmektedir.

c) Bu integral gösteriminden yola çıkılarak, yüzeydeki noktaların deplasmanlarını, problemin sınır koşullarını ve fiktif gerilme şiddetlerini kullanarak elde etmek mümkündür.

Efektif kazık başlığı-zemin ara yüzey alanı (toplam başlık alanından N adet kazığın kapladığı kesit alanının farkı), C ile gösterilmektedir (Şekil 2.20). Q_C ve P_C , C üzerindeki noktalardır. Benzeri şekilde, Q_S ve P_S de, kazık gövde ve kazık uç alanı toplamını gösteren S üzerinde bulunmaktadır. P ise zeminin içerisinde yer alan genel bir noktadır.

C'de bir eleman olan dC üzerindeki Q_C 'ye etkiyen fiktif normal gerilme ϕ_C 'ye göre P noktasının düşey deplasmanı $W_1(P)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$W_1(P) = \int_C \phi_C K(P, Q_C) dC \quad (2.13)$$



Şekil 2.20 Genel gösterim

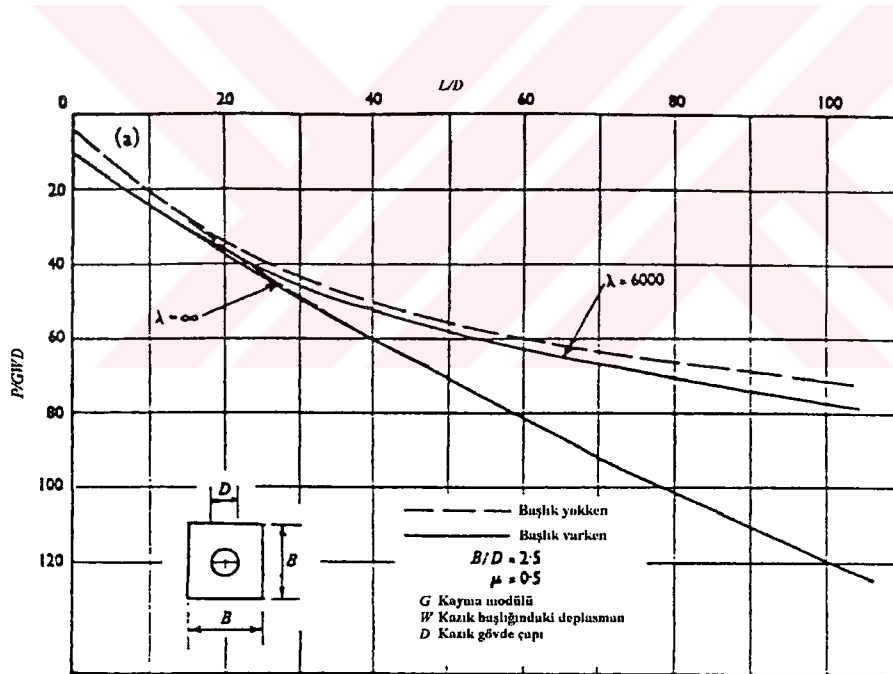
Benzer şekilde, kazık gövdesi ve ucundaki dS elemanındaki Q_s noktasına etkiyen fiktif kayma ve normal gerilme ϕ_s 'e göre düşey deplasman $W_2(P)$, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$W_2(P) = \int_S \phi_s K(P, Q_s) dS \quad (2.14)$$

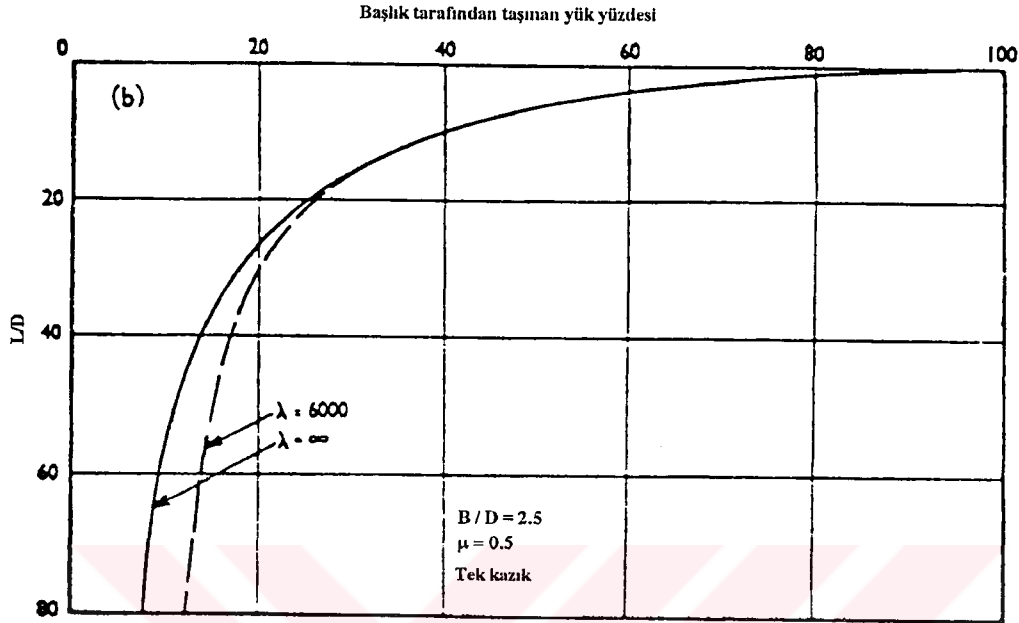
Buradaki $K(P, Q_c)$ ve $K(P, Q_s)$, Mindlin'in denklemlerinden (Mindlin, 1936; Butterfield & Banerjee, 1971a) elde edilebilir.

Böylelikle ara yüzey gerilme şiddetleri ϕ_c ve ϕ_s e bağlı olarak P noktasının düşey deplasmanı şu şekilde verilebilir.

$$W(P) = W_1(P) + W_2(P) \quad (2.15)$$



Şekil 2.21(a) Başlıklı ve başlıksız tekil kazıkların yük - deplasman özellikleri. W, P yükü altındaki L uzunluklu D çaplı kazıklardan oluşan sistemin düşey deplasmanı



Şekil 2.21(b) B x B kare başlık ve tekil kazık arasındaki yük dağılımı

Bu eşitlik, yarı uzay içerisindeki her noktada denge ve uyum şartlarını; ayrıca, seçilen özel tekil çözüm nedeniyle, aşağıdaki sınır koşullarını sağlar.

$$\sigma_{zz} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0 \quad z=0 \text{ düzleminde } C\text{'nin dışında} \quad (2.16a)$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0 \quad z=0 \text{ düzleminde } C\text{'nin içinde} \quad (2.16b)$$

Eğer P, C'nin üzerindeki P_C 'de ise, (2.8) - (2.10) denklemleri,

$$W(P_C) = \int_C \phi_C K(P_C, Q_C) dC + \int_S \phi_S K(P_C, Q_S) dS \quad (2.17)$$

denklemini verir, benzer şekilde P, S'nin üzerindeki P_S 'de ise,

$$W(P_S) = \int_C \phi_C K(P_S, Q_C) dC + \int_S \phi_S K(P_S, Q_S) dS \quad (2.18)$$

W deplasmanları, yarı uzay boyunca sürekli ve denklemler, verilen $W(P_C)$ ve $W(P_S)$ değerleri için sayısal olarak çözümlüdür (Banerjee, 1969; Butterfield & Banerjee, 1971b)

Çözümler, kazık gövdesi-zemin ara yüzelerindeki radyal deplasman uyumluluğunu dikkate almamaktadır. Örneğin $U(P_S)$, S üzerindeki P_S 'nin radyal deplasmanı ise,

$$U(P_S) = 0 \quad \text{rijit kazık için} \quad (2.19a)$$

$$U(P_S) = f_1(P_S) \quad \text{sıkışabilir kazık için} \quad (2.19b)$$

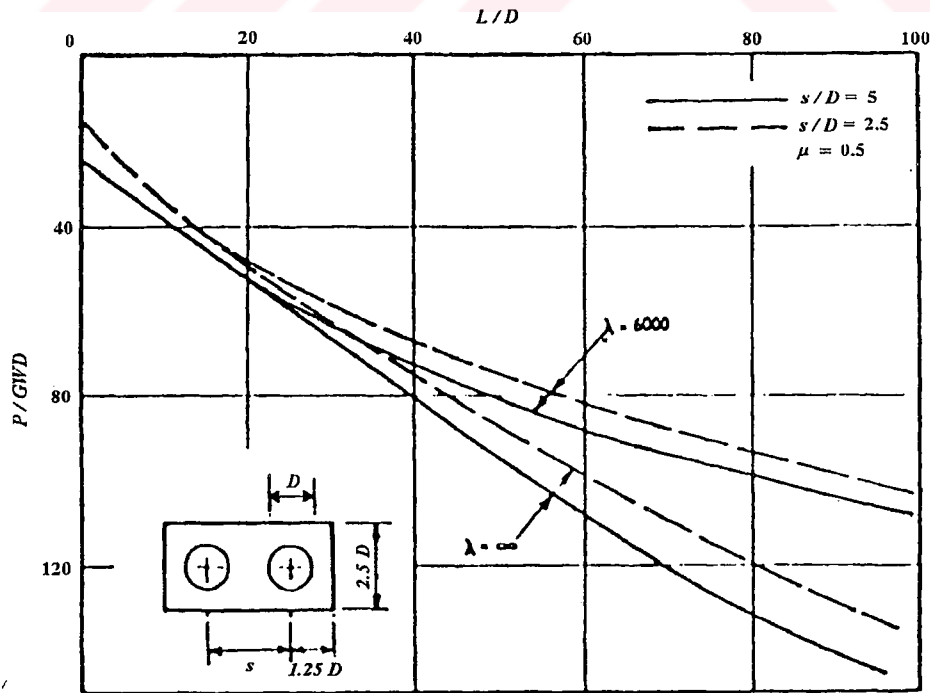
doğru sınır koşulları sağlanmaz. Butterfield ve Banerjee (1971a) göstermiştir ki, bu yaklaşımın, yük paylaşımı ve kazık grubunun yük deplasman davranışı üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi söz konusudur.

Benzeri bir analiz, ara yüzelerdeki düşey deplasmanlar aşağıdaki şekilde belirlenmiş, rijit bir başlık altında herhangi bir geometri ile sıralanmış kazık gruplarına uygulanabilir.

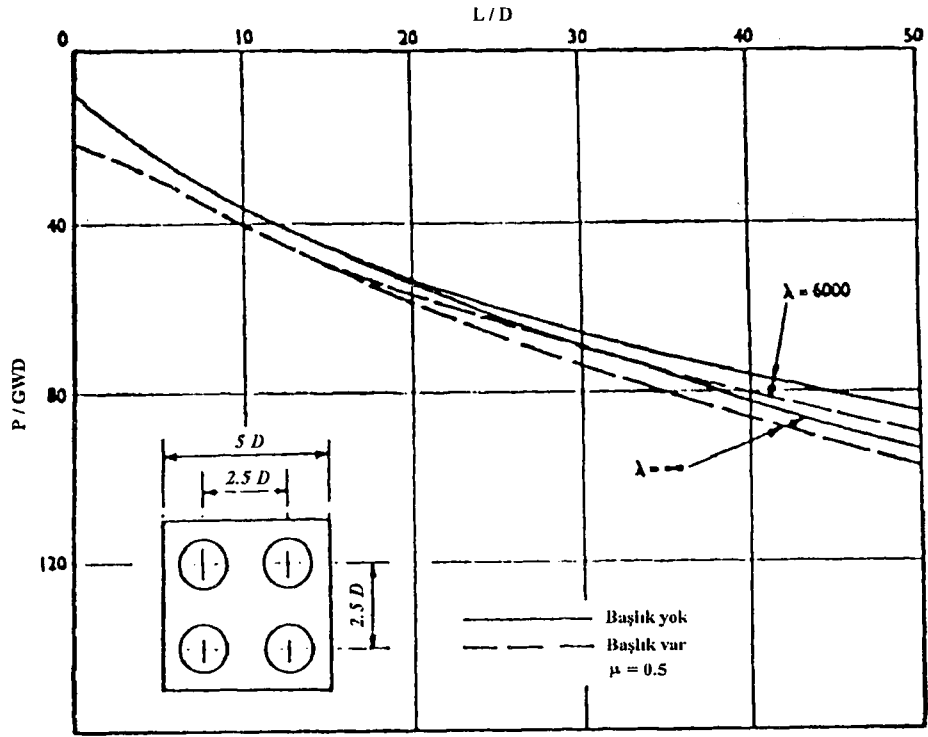
$$W(P_C) = \text{sabit} = 1, \text{ sözgelimi C üzerinde}$$

$$W(P_S) = \text{sabit} = 1, \text{ sözgelimi S üzerinde, rijit kazıklar için} \quad (2.20)$$

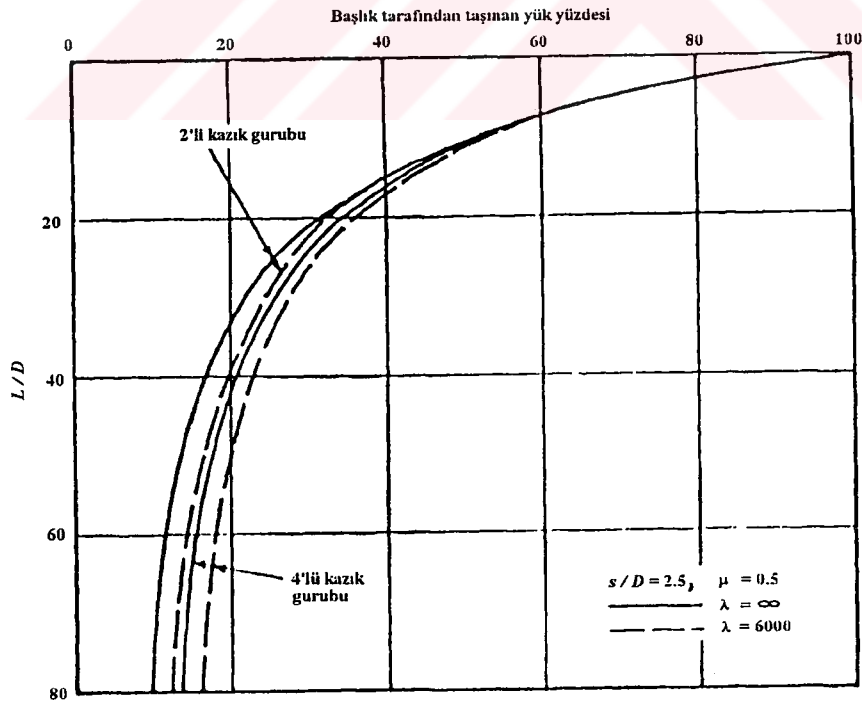
$$W(P_S) = f_2(P_S) \quad \text{sıkışabilir kazıklar için}$$



Şekil 2.22(a) Başlıklı, iki kazıktan oluşan gurubun yük - deplasman özellikleri



Şekil 2.22(b) Başlıklı ve başlıksız dörtlü kazık guruplarının yük - deplasman özellikleri



Şekil 2.22(c) İkili ve dörtlü kazık guruplarında başlık ve tek kazık arasındaki yük dağılımı

$f_2(P_s)$ fonksiyonu kazık sıkışabilirliğini göz önüne almaktadır ve Butterfield & Banerjee (1971a) tarafından tarif edilen işlemlerle hesaba katılabilir.

(2.15) nolu ifadelerin (2.12) ve (2.13) nolu eşitliklerde yerine konmasıyla elde edilen denklemler, çeşitli ara yüzeylerin ayrı elemanlara bölünmesiyle uygun matris formlarına dönüştürülebilirler.

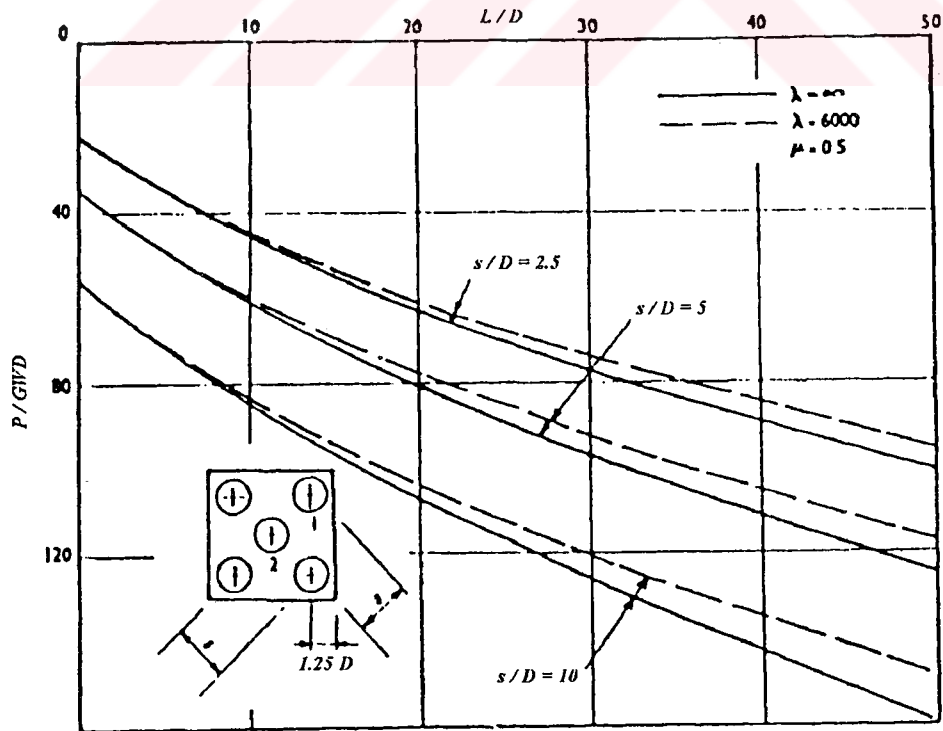
m , herbiri $\Phi_C = \phi_C \Delta C$ eşlenik fiktif yükünü taşıyan ΔC (başlık-zemin ara yüzeyi C 'nin temel parçaları) sayısı.

n , herbiri $\Phi_S = \phi_S \Delta S$ eşlenik fiktif yükünü taşıyan ΔS (N adet kazık bulunan kazık grubundaki her bir kazık için kazık gövdesi ve ucu-zemin ara yüzeyine ait temel parçalar) sayısı.

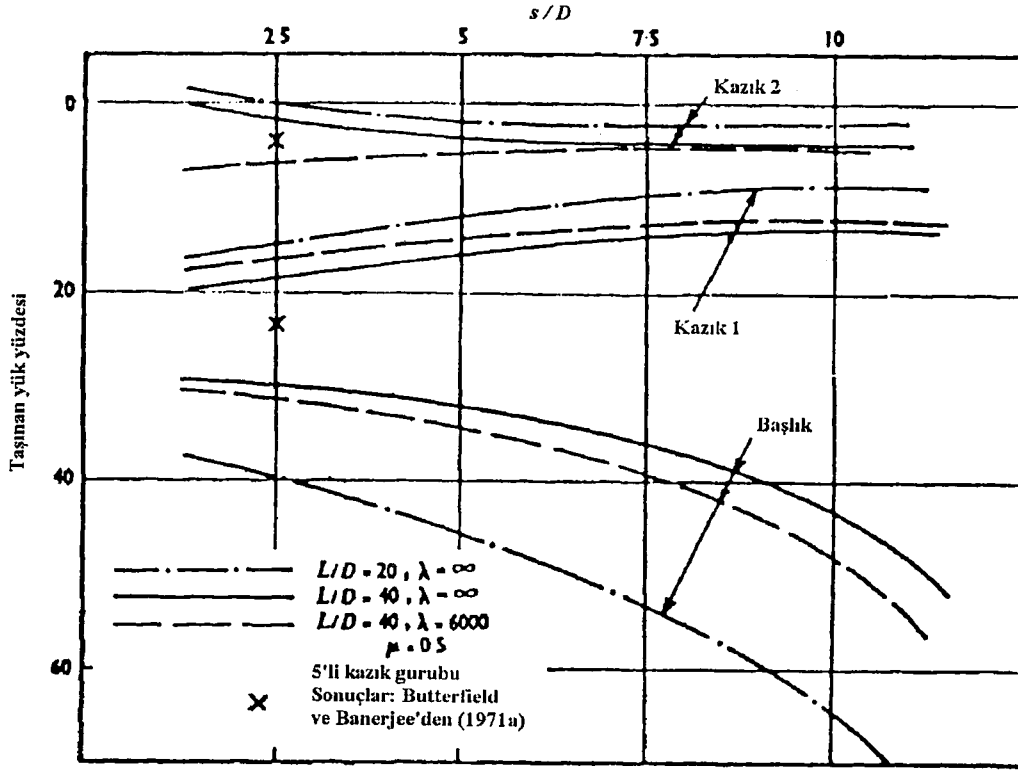
Bu durumda (2.17) ve (2.18) denklemleri şu şekilde yazılabilirler.

$$W(P_C)_i = \sum_{j=1}^m (\Phi_C)_j K(P_C, Q_C)_{ij} + \sum_{j=1}^{nN} (\Phi_S)_j K(P_C, Q_S)_{ij} \quad (2.21)$$

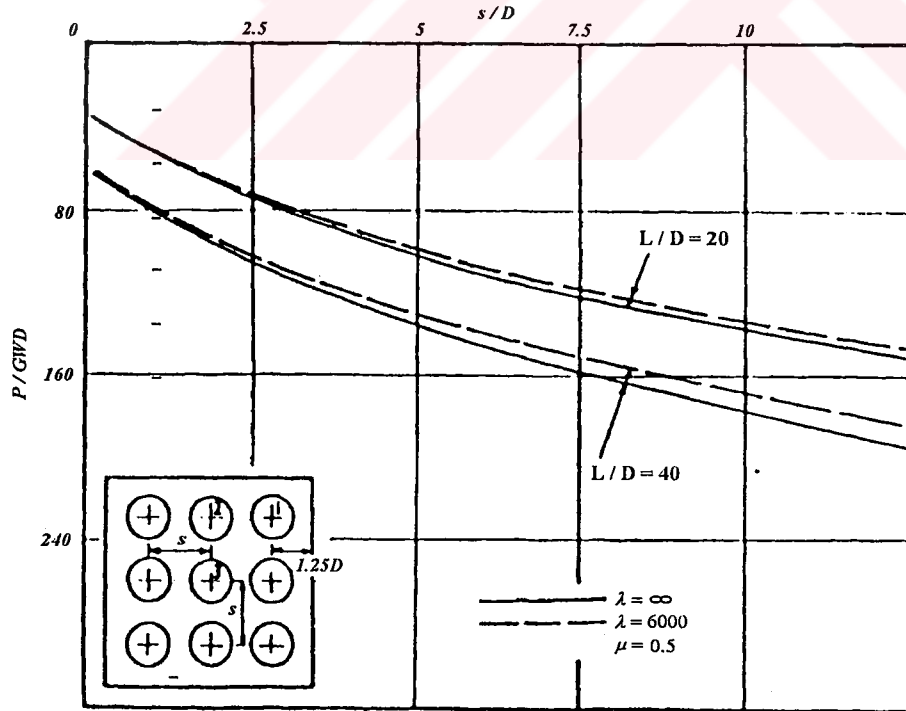
$$W(P_S)_k = \sum_{j=1}^m (\Phi_C)_j K(P_S, Q_C)_{kj} + \sum_{j=1}^{nN} (\Phi_S)_j K(P_S, Q_S)_{kj} \quad (2.22)$$



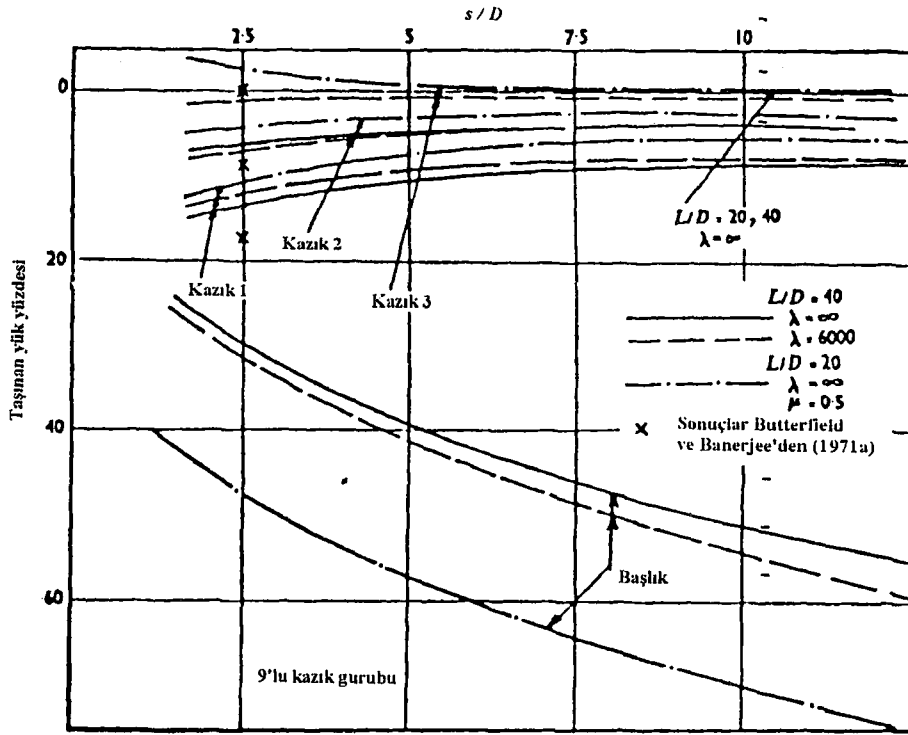
Şekil 2.23(a) Kare başlıklı, beş kazıktan oluşan grupların yük - deplasman özellikleri



Şekil 2.23(b) Beşli bir grup içerisindeki tek bir kazıkla kazık başlığı arasındaki yük dağılımı



Şekil 2.24(a) Kare başlıklı, dokuzlu kazık gurubunun yük - deplasman özellikleri



Şekil 2.24(b) Dokuzlu kazık grubu içerisindeki tek bir kazıkla kazık başlığı arasındaki yük dağılımı

(2.16) ve (2.17) numaralı eşitlikler birleştirilerek tek bir matris denklemi elde edilir.

$$\{W\} = [K]\{\Phi\} \quad (2.23)$$

burada $\{W\}$, sistem sınır koşullarının verdiği düşey deplasmanlarının $(m + nN)$ vektörüdür. $\{K\}$ bir $(m + nN)^2$ matrisi, ve $\{\Phi\}$ de,

$$\{\Phi\} = \{W\}/[K] \quad (2.24)$$

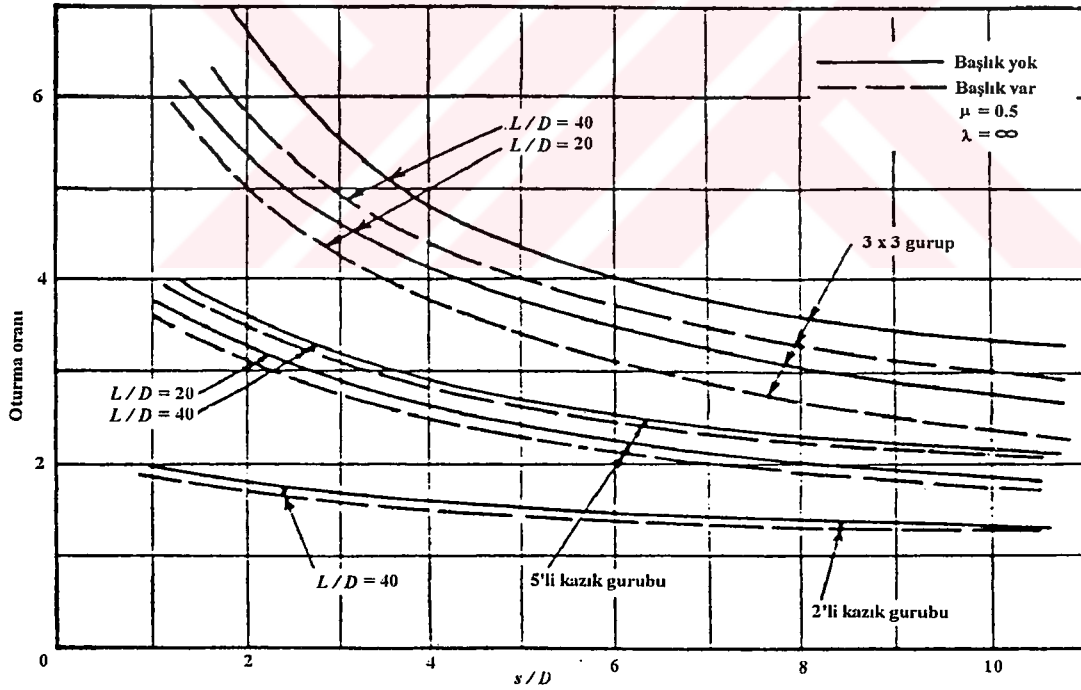
yöntemi ile elde edilen bilinmeyen fiktif kuvvetlerin $(m + nN)$ vektörüdür. Taşıyıcı ortama ait her noktadaki gerilme ve deplasmanlar bu vektörler yardımıyla elde edilebilir (Banerjee, 1969; Butterfield & Banerjee, 1971b)

Kazık uzunluğu-çapı oranı, grup boyutu, kazık sıkışabilirlik oranı (λ , kazık malzemesi E modülünün, zemine ait G modülüne oranıdır), yükün kazık başlığı ve kazıklar arasındaki paylaşımı ve kazık başlığının, kazık grubunun düşey rijitliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve tipik sonuçlar Şekil 2.21 ila Şekil 2.25de sunulmuştur.

Şekil 2.21(a), kare başlıklı ($B = 2.5 D$), eksenel yük altındaki tekil kazık ile benzeri, başlıksız tekil kazığın yük deplasman davranışları arasındaki kıyaslamayı göstermektedir. Kazık başlığının varlığı, kısa kazıklar ($L/D < 20$) hariç tüm kazıklar için sistemin rijitliğinde %5'ten küçük bir artışa neden olmaktadır.

Toplam yükün kazık başlığı ve kazık tarafından paylaşımı, rijit ve sıkışabilir kazıklar için Şekil 2.21(b)'de verilmiştir. Şekil 2.21(a)'dan görüleceği gibi yük paylaşımının sistemin rijitliği üzerindeki etkisi çok küçük olmasına rağmen, $20 \leq L/D \leq 40$ için kazık başlığı, yükün %15-25'ini taşımaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, Poulos (1968a) tarafından dairesel başlıklı, rijit kazıklar için verilen değerlerle genelde uyum içindedir. Dört kazıktan oluşan kazık grubu için benzeri veriler, Şekil 2.22(b) ve 2.22(c)'de gösterilmiştir; yine, başlık tarafından yükün nispeten daha büyük bir kısmı taşınsa da rijitlikteki artış ihmal edilecek mertebededir.

Kazık aralığı (s) ve kazık rijitliğinin (λ), iki kazıktan oluşan kazık grubunun yük deplasman davranışına etkisi, Şekil 2.22(a)'da gösterilmiştir. λ 'nın pratikteki aralığında kazık aralığının iki katına çıkarılması, sistemin rijitliğinde yalnız %5-10'luk bir artış meydana getirmektedir.



Şekil 2.25 Başlıklı ve başlıksız kazık gruplarının oturma oranlarının karşılaştırılması

Şekil 2.22(a) ve 2.23(a), başlıklı, 5 ve 3 x 3 kazıktan oluşan kazık grupları için s 'nin değişiminin etkilerini göstermektedir. s 'nin iki katına çıkarılması, kazık başlık

alanını dört katına çıkarmaktadır ancak her durumda $20 < L/D < 40$ için s 'nin her iki katına katlanması, sistemin rijitliğini sadece %25 civarında artırmaktadır.

İki, beş ve 3×3 kazık grupları için, yere temas eden başlıkların ve başlık boyutlarının sistem rijitliği üzerindeki etkileri, oturma oranı R cinsinden, sonuçların özetlendiği Şekil 2.25'de verilmiştir. R , $N \times P$ yükü altında meydana gelen grup deplasmanının, P yükü altındaki tekil kazık deplasmanına oranıdır.

Şekil 2.23(b) ve 2.24(b), s ve λ 'nın çeşitli değerleri için, kazık başlığının da var olduğu beşli ve 3×3 kazık gruplarında yükün gruptaki farklı kazıklarca nasıl paylaşıldığını göstermektedir. Şu da ilginçtir ki, sık kazık aralıkları için ($s \approx 3D$), yere değen ve değmeyen başlıklı kazık gruplarına ait yük dağılımında farklılık vardır. Örneğin x ile işaretlenmiş noktalar, kıyaslanabilir, yere değmeyen başlık hali sonuçlarını vermektedir (Butterfield ve Banerjee (1971a))

2.7. Kazıklı Temellerde Radye ile Kazıklar Arasındaki Yük Paylaşımı

Kazıklı temeller tanımlaması, kazık grubu ve bunları birleştiren bir başlıktan oluşan temel sistemleri ile bir radye temel ve bunun altında yer alan kazıklardan oluşan temel sistemlerini ifade eder. Ancak, genellikle birinci tanımlamaya giren sistemlere kazıklı temel denirken ikinci gruba da kazıklı radye temeller denmesi uygun görülmektedir. S. Öztoprak ve M. T. Özkan (1998) tarafından sunulan bir bildiride, geleneksel kazıklı radye temeller incelenmiştir.

Yapılan çalışma, oldukça sağlam kil zemine oturan 1×4 ve 1×5 kazıktan oluşan, kazık aralığı-çap (s/D) oranları 2.50-6.25 arasında değişen kazıklı temellerin bir sonlu elemanlar programı ile analizini içermektedir. Kazıklı temeller ayrıca kayaya soketlenerek zemindeki gerilme durumu ve değişimi irdelenmiştir.

Öztoprak ve Özkan tarafından yapılan bu çalışmanın sonucunda şu kaniya varılmaktadır: Kazıklı radye temellerde, hem sınırlı sayıda kazık kullanıldığından (kazıklar kendi taşıma kapasitelerine ulaşabilmekte) hem de nispeten sağlam zeminde yapıldıklarından (radye temas basınçları büyümektedir) radye oldukça fazla yük taşımaktadır. Ancak geleneksel kazıklı temellerde kazıklar belli kazık aralığı/kazık çapı (s/D) oluşturulmakta ve temelin oturmaları sınırlandırılmakta, dolayısıyla radyenin taşıdığı yükün yüzdesi oldukça az olmaktadır.

Kayaya soketlenen kazıklı temellerde yük kazıklar vasıtasıyla direkt olarak kayaya iletilmiş ve radye altında önemli gerilmeler oluşmamıştır. Bu analizde radyenin taşıdığı yük de oldukça düşük bulunmuştur (maksimum %4). Bu durum radyenin yük taşıması için temel sisteminin deplasmanına ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

Yazarlar, radyenin temas gerilmelerini artırmak için kazıklı temelleri oldukça sağlam zeminde tanımlamışlardır. Buna rağmen radyenin taşıdığı yükün oranı %10 değerlerine dahi ulaşmamıştır. s/D oranı 2.5 iken radyenin taşıdığı yükün yüzdesi %3.2 değerini almakta, s/D , 6.25'e çıkarıldığında bu değer %8.2'ye yükselmektedir. Zeminin elastisite modülü düşürüldüğünde radyenin taşıdığı yükün yüzdesi daha da azalmaktadır. Temeller altındaki düşey gerilmeler incelendiğinde ise s/D oranı büyüdüğünde, radyenin kazıkların arasından zemine temas etmeye başladığı belirgindir.ve daha büyük kazık açıklıklarında radyenin daha fazla yük alacağı açıktır.

Butterfield ve Banerjee tarafından yumuşak zemine temas eden rijit bir kazık başlığının da içinde yer aldığı genel bir sıkışabilir kazık grubu problemine ilişkin elastik bir analiz sunulmuştur. Yazarların elde ettikleri sonuçlar göstermektedir ki, tipik kazık başlığı yere değen ve değmeyen, benzer kazık gruplarının yük deplasman özellikleri birbirinden biraz farklıdır. Yere değen kazık başlığı, kazık grubunun boyutları ve kazık aralığına bağlı olarak, sistemin rijitliğini, %5-15 oranında artırmaktadır. Kazık başlığı yere değen kazık grubunda yer alan kazıkların taşıdıkları yükler, kazık başlığı yere değmeyen benzeri sistemlerdeki kazıkların taşıdıklarından önemli oranda farklılık göstermektedir. $20 < L/D < 40$ aralığındaki kazıklar üzerinde yer alan normal boyutlardaki, yere değen kazık başlığının taşıdığı toplam grup yükünün oranı, % 20 ile % 60 arasında değişmektedir. Bu oran, daha büyük kazık aralıklı, daha büyük gruplarda artacak şekilde, grup boyutlarına ve kazık aralıklarına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 23(b) ve 24(b)).

2.8. Kazık Başlığının Oturma Davranışına Etkisi

H. G. Poulos (1968) tarafından yapılan çalışmada, rijit bir dairesel kazık başlığının, eksenel yüklü, rijit bir kazığın yarı sonsuz kütle içerisindeki oturma davranışına etkisi üzerine elastik bir analiz yer almaktadır. Analiz neticesinde, kazık başlığı tarafından taşınan yük oranının, kazık çapının beş katından küçük çapa sahip kazık başlıkları için genellikle küçük olduğu ve bunun sonucunda kazık başlığı olan bir

kazığın oturmasının serbest kazığın oturmasından biraz daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca belli bir kazık başlığı boyutu için kazık boyu arttıkça ve zeminin v değeri azaldıkça kazık başlığı tarafından taşınan yük oranı azalmaktadır.

Kazık başlığının var olmasına bağı olarak oturma miktarındaki azalma, pratikte uygulanan kazık ve kazık başlığı boyutları çerçevesinde genellikle küçüktür. Yalnız kısa kazıklar ($L/d < 10$) ve göreceli büyük kazık başlıkları ($d_c/d > 5$) için oturmadaki azalma %20'yi aşmaktadır. Bu nedenle pek çok pratik durumda, oturma hesabı yapılırken kazığın başlıksız düşünülmesi uygundur.

Poulos (1968) tarafından yapılan çalışmanın sonucunda şu yargıya varmak mümkün görünmektedir; orantılı kazık ve kazık başlıklarının söz konusu olması durumunda, başlığın kazığın davranışı üzerinde küçük bir etkisi olacaktır. Bu çalışmada tekil kazık için varılan bu yargının kazık gruplarında da benzeri şekilde doğrulanacağı vurgulanmaktadır.

3. ARAZİ DENEYLERİ

3.1. Kazık Yükleme Deneyi

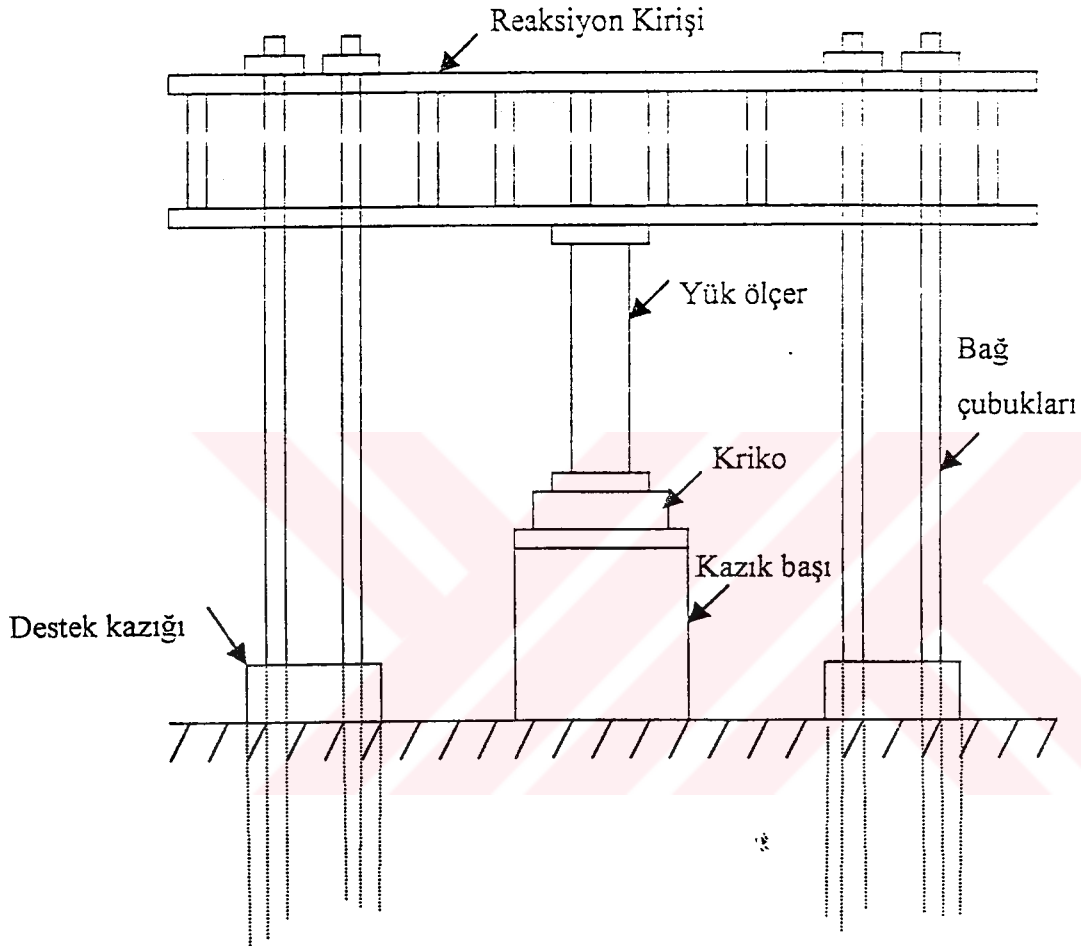
Bir yapısal elemanın tasarımı ve kontrolünden ekonomik ömrü boyunca alacağı yükler saptanır ve yüklenen elemanın direnci ile karşılaştırılmasıyla da güvenlik sayıları hesaplanır. Kazıklı temellerde de aynı yol uygulanır. Ancak bir çok durumda yüklerin gerçeğe yakın olarak saptanmasında önemli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Şöyle ki; yüklerin hesaplanmasında yapılacak küçük bir hata maliyet açısından önemli farklılıklar yaratacaktır. Bu nedenle projelendirme sonucunda önerilen kazık yöntemiyle emniyetli yük gerekliliklerinin nasıl elde edilebileceğini göstermek gerekmektedir. En güvenilir yöntem ise kazığın birebir modeli yapılarak gerçekleştirildiği yükleme deneyleridir.

Kazık yükleme deneyi, proje kazığı üzerinde veya deney için imal edilmiş kazık zerinde gerçekleştirilir. Proje kazığı üzerindeki deneylerde maksimum yük uygulandıktan sonra meydana gelecek oturmaların, kazığın işlevini yerine getirmesine engel olmayacak değerde olmalıdır. Deney kazığında ise yükleme, maksimum yük veya istenirse kazıkta göçme meydana gelinceye kadar sürdürülür.

Her cins zemindeki çeşitli tipte kazığın taşıma gücünün belirlenmesinde yükleme deneyleri tercih edilen yöntemdir. Genellikle kazık yükleme deneyleri şu amaçlarla yapılır:

1. Özellikle beklenen çalışma yükü kademesinde yük-oturma eğrisinin saptanması
2. Seçilen çalışma yükünden önce göçme olup olmayacağının kalite deneyi olarak saptamak
3. Ampirik bir taşıma gücü bağıntısı bulmak ve statik-dinamik formüllerden elde edilen taşıma gücünü kontrol etmek

Kazık yükleme deneyinin tipik düzeni Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. ASTM D1143–81'de kazık yükleme deney yöntemleri tanımlanmıştır. Joshi ve Sharma (1987) tarafından bu yöntemler dört ana başlık altında toplanmıştır.



Şekil 3.1. Kazık Yükleme Deneyi

1. Yavaş adımlı yükleme deneyi yöntemi (SM deneyleri)
2. Hızlı adımlı yükleme deneyi yöntemi (QM deneyleri)
3. Sabit penetrasyon hızlı deneyi yöntemi (CRP deneyleri)
4. İsveç çevirimli (tekrarlı) yükleme deneyi yöntemi (SC deneyleri)

3.1.1. Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (SM Deneyleri)

Bu deney yöntemi ASTM D1143-89 (1989)'da önerilmiştir ve aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- a) Toplam kazık yükü sekiz parçaya ayrılır (tasarım yükü %200 kabul edilirse yükleme kademeleri %25, %50, %75, %100, %125, %150, %175, %200 olacaktır).
- b) Her bir yükleme kademesi, en fazla iki saat olmak üzere, kazığın oturması saatte 0.25 mm.den küçük olana kadar devam ettirilir.
- c) %200 tasarım yükü kademesi 24 saat sürdürülür.
- d) Yükleme kademesi için gerekli bekleme süresinden sonra her bir saatte bir yükün %25'i boşaltılır.
- e) Yüklemler yapıldıktan ve boşaltıldıktan sonra tasarım yükünün %50'si yükleme kademeleri arasında 20 dk. olacak şekilde yeniden yüklenir.
- f) Kazık göçmesine sebep olacak tasarım yükü %10'luk yükleme kademeleri ile, yükleme kademeleri arasında 20 dk. olacak şekilde boşaltılır.

Bu deney yöntemi yaygın olarak ASTM'nin standart deney yöntemi adı altında bilinir ve özellikle kazığın yerleştiği bölgede ön incelemenin yapıldığı durumlarda kullanılır. Yavaş adımlı yükleme deney yönteminin en büyük dezavantajı çok uzun süreye ihtiyaç duymasıdır. (Genellikle deney süresi 40 saatle 70 saat arasında değişir bazen bunu da aşabilir.)

3.1.2. Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemi (QM)

Bu deney yöntemi New York Ulaşım Bölümü, Ulusal Otoyol İdaresi ve ASTM 1143-81 tarafından önerilmiştir. Yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır:

- a) Kazık tasarım yükü 20 parçaya ayrılır. (Yüklemler her adımda tasarım yükünün %15'i kadar arttırılacaktır.)
- b) Her bir yükleme kademesi 5 dakika devam ettirilir ve 2.5 dakikada bir okuma alınır.
- c) Yükleme adımlarında krikoya istenen yüke ulaşınca kadar yük ilave edilir.
- d) Toplam yük, her kademede yükün dörtte biri kaldırılmak üzere, 5 dakikalık sürelerle boşaltılır.

Bu deney yöntemi hızlı ve ekonomiktir. Deney süresi 3-5 saat gibi kısa bir süreyi kapsamaktadır. Deney drenajsız duruma oldukça uygun sonuçlar verir. yöntem hızlı bir yöntem olduğu için oturma tahmini yapılamaz.

3.1.3. Sabit Penetrasyon Hızlı Yükleme Deneyi Yöntemleri (CRP Deneyleri)

İsveç Kazık Komisyonu, New York Ulaşım Bölümü ve ASTM D1143-81 tarafından önerilen bu yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır:

- a) Kazık başında dakikada 1.25 mm. hareket oluşturacak kuvvet uygulanır.
- b) Penetrasyon için gerekli kuvvet kaydedilir.
- c) Toplam penetrasyon 50-75 mm. olana kadar devam edilir.

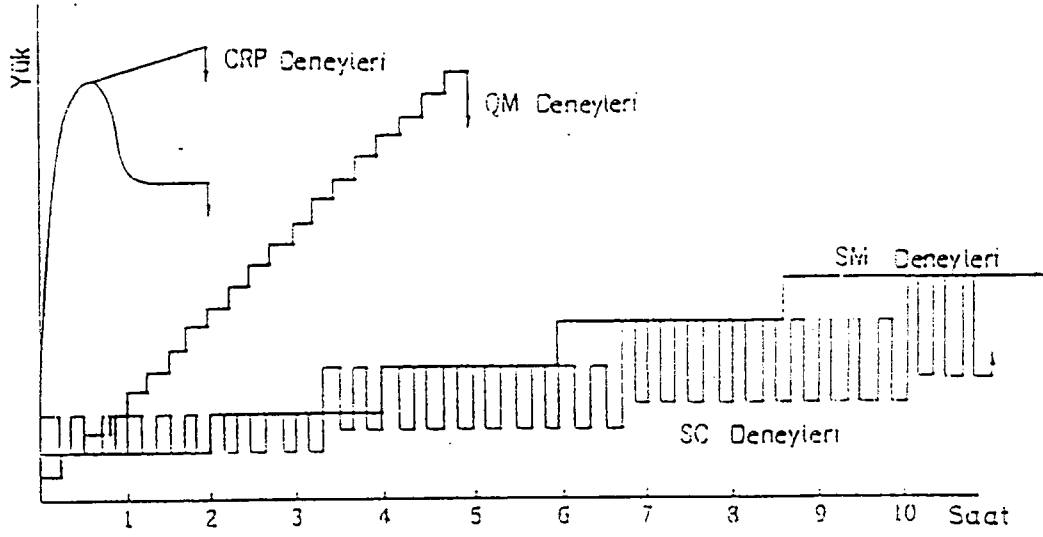
Yöntem oldukça hızlı ve ekonomiktir. 2-3 saat gibi kısa bir süre içinde deney sona erdirilebilir. Sabit penetrasyon hızlı yükleme deneyi yöntemi sürtünme kazıkları için son derece pratiktir ama uç kazıkları için uygulanması pratik değildir.

3.1.4. İsveç Çevrimli (Tekrarlı) Yükleme Deneyi Yöntemi (SC)

İsveç Kazık Komisyonu tarafından önerilen bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşur:

- a) Tasarım yükünün üçte biri kazığa yüklenir.
- b) Tasarım yükünün altıda biri boşaltılır ve bu yükleme boşaltma işlemi 20 kez tekrar edilir.
- c) a şıkında bahsedilen yük %50 arttırılır ve b şıkında tanımlanan işlem tekrar edilir.

Kazığın tekrarlı yükler altında davranışı normalden çok farklı olmakta ve deney oldukça fazla vakit almaktadır. Bu yüzden bu yöntem tekrarlı yüklerin önem kazandığı özel projelerde kullanılmalıdır. Deneyler için gerekli sürelerin kıyaslaması Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Deney İçin Gerekli Zamanın Kıyaslanması

3.2. Kazık Yükleme Deneyinden Kazık Göçme Yükünün Tahmin Edilmesi

Kazık göçme yükü, kazığın zemine aniden batmasını veya oturmaların hızlı bir şekilde meydana gelmesini sağlayan yük olarak tanımlanabilir. Terzaghi, kazığın zemine batma miktarının kazık çapının $1/10$ 'u değerine ulaşmasını sağlayan yük değerini kazık göçme yükü olarak tanımlamıştır. Bu tanımlama elastik deformasyonları göz önüne almadığı için uzun kazıklar için uygun sonuç vermez.

Göçme yükü pratikte, yük-oturma eğrisinin ilk bölümündeki pseudo-elastik kısmıyla, son kısmındaki pseudo-elastik kısmın kesişiminden bulunabilir. Bu değerlendirmenin sonucu grafiğin ölçeğine bağlıdır. Ölçek değişirse sonuçta değişebilir.

Göçme yükünün sağlıklı olarak tahmin edilebilmesi için, bu kullanılan yöntemlerin bazı matematiksel kurallara dayandırılması gerekir. Bu matematiksel ifadelerle kazık göçme yükünün, değişik kazık tiplerinde ve zemin koşullarında her seferinde tahmin edilebilir olması gerekir. Bazı durumlarda yük-oturma eğrisinin şekli, bazı durumlarda da kazık uzunluğu dikkate alınır. Bütün bu değerlendirmeler kazık göçme yükünün hesaplanmasında göz önünde bulundurulması gereken kriterlerdir.

Kazık yükleme deneyleri yorumlarından, göçme yükünün bulunabilmesi için kullanılan yöntemler şu şekilde özetlenebilir.

1. Kazık başının toplam oturmasını sınırlayan kriterler:

- a) 25.4 mm. (Hollanda, New York)
- b) Kazık ucu çapının %10'u (İngiltere)
- c) Kazığın elastik oturması + $D/30$ (Kanada)

2. Plastik oturmayı sınırlamak:

- a) 6.4 mm. (AASHTO, New York State, Louisiana)
- b) 12.6 mm. (Boston),

3. Plastik/elastik oturmalar oranını sınırlamak:

- a) 1.5 (Danimarka)

4. Oturma/birim yük oranını sınırlamak:

- a) Toplam 0.25 mm/ton (California, Chicago)
- b) Artış 0.65 mm/ton (Ohio)
- c) Artış 1.26 mm/ton (Raymond Int.)

4. Plastik Oturma/birim yük oranını sınırlamak:

- a) Toplam 0.25 mm/ton (New York City)
- b) Artış 0.08 mm/ton (Raymond Int.)

6. Yük-oturma eğrisinin yorumuna dayalı yöntemler:

- a) Davisson Yöntemi (1972),
- b) Chin Yöntemi (1970-1971),
- c) De Beer Yöntemi,
- d) %90 Brinch Hansen Yöntemi,
- e) %80 Brinch Hansen Yöntemi,
- f) Mazurkiewicz Yöntemi,
- g) Fuller ve Hoy Yöntemi,

h) Vander Veen Yöntemi

3.3. Deney

3.3.1. Deney Alanının Özellikleri

Deney alanı, çok sayıda deney yapılmasına ve gerekli gözlemlerin kolaylıkla yapılabilmesine elverişli olacak şekilde seçilmiştir.

Deneylerin yapıldığı alandaki temel zemini, “aşırı konsolide fissürlü siltli kil”dir. Bu temel zemininde daha önce sondajlar açılmış, örselenmemiş ve temsili zemin numuneleri alınarak bu numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. 0.00 - 4.00 m derinliklerinden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleri sonucunda kayma mukavemeti parametreleri;

$$c = 52 \text{ kPa,}$$

$$\phi = 24^\circ$$

bulunmuştur. Deney başlangıcındaki ortalama su muhtevası, $w_0 = 0.21$, deney sonundaki ortalama su muhtevası $w_{\text{son}} = 0.27$ olarak bulunmuştur. Deney başında 100 kPa yük altında numuneye su verildiği için deney su muhtevası olarak son değerin alınması doğru olacaktır.

Ayrıca, sondaj ile çeşitli derinliklerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır. 0.10 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.21$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 393 \text{ kPa}$; 0.30 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.21$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 154 \text{ kPa}$; 0.65 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.20$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 176 \text{ kPa}$; 0.90 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.20$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 129 \text{ kPa}$; 1.10 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.19$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 42 \text{ kPa}$; 1.65 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.19$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 116 \text{ kPa}$; 1.90 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.20$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 304 \text{ kPa}$; 2.10 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w = 0.21$, serbest basınç mukavemeti $q_u = 260 \text{ kPa}$; 2.60 m. derinlikten alınan numunenin su muhtevası $w =$

0.21, serbest basınç mukavemeti $q_u = 366$ kPa bulunmuştur. Deney sonuçları toplu halde Tablo 3.1. de verilmiştir.

TABLO 3.1. Deney alanında yapılan serbest basınç deneyi sonuçları

Derinlik (m)	w (%)	q_u (kPa)
0.1	21	393
0.3	21	154
0.65	20	176
0.9	20	129
1.1	19	42
1.65	19	116
1.9	20	304
2.1	21	260
2.6	21	366
ORTALAMA	20	216

Tablo 3.1.' de görüldüğü gibi zeminin fissürlü oluşu, masif deney numunesi elde edilmesini engellemekte, bu yüzden serbest basınç deneyine tabi tutulan numuneler, çevre basıncı olmadığı için, fissür düzlemi boyunca kolayca kırılabilir. Bununla birlikte, yapılan deneyler, zeminin yerinde mukavemetinin bir hayli yüksek olduğunu göstermektedir.

Deney için dört adet kazık başlığı sistemi hazırlanmıştır. Bunlardan ikisi üç metre boyunda sekiz adet 17 cm çaplı mini kazık, diğer ikisi de yine üç metre boyunda 55 cm çaplı iki adet jet-grout tipi kazıklar içeren kazıklı radye sistemlerdir. Radye kısmı ise 1.80 m x 3.60 m x 0.60 m boyutlarında imal edilmiştir.

Sadece kazıkların ve kazıkla radyenin beraber aldığı yükü belirleyebilmek amacı ile:

- Zemine oturan mini kazıklı,
- Zemine oturmayan mini kazıklı,
- Zemine oturan Jet-grout kazıklı,
- Zemine oturmayan Jet-grout kazıklı,

Olarak dört farklı deney sistemi kurulmuştur. Deneyde “Bow String” tipi yük etkitme sistemi uygulanmıştır. Bu sistem her iki yandan zemine ankrajla bağlanmış bir çelik H profil (reaksiyon kirişi olarak), iki adet hidrolik krik o ve mekanik deplasman sayacılarından oluşmuştur.

Deneyde hidrolik krikolar, reaksiyon kirişi vasıtasıyla kazıklara yük uygulamıştır. Yükleme sırasında dış merkezliliğe yol açmamak için krikolar tam kazık merkezlerine yerleştirilmiştir. Düşey deformasyon yükleme sisteminden bağımsız olarak yerleştirilmiş olan mekanik sayaçlarla ölçülmüştür.

3.3.2. Deneyin Sonuçları

Deney sonuçları özet olarak Tablo 3.2.'de verilmiştir. Asıl sonuçlar EK A ve EK B'de verilmiştir. Sonuçlara bakılırsa %40 , %50'lere varan değerlerde yükü radye plak almıştır. Bu ise yükü sadece kazıkların aldığı düşünülerek yapılan boyutlandırmalara göre kazık sayısında ciddi bir ekonomi sağlar.

TABLO 3.2. Deney sonuçlarının özeti.

Deney No	Kazık Tipi	Radyenin Zeminle ilişkisi	Nihai Yük	
			Hesap Sonucu	Deney Sonucu
101	Jet-grout	Zemine oturmayan	1028	1043
102		Zemine oturan		2000
201	Mini Kazık	Zemine oturmayan	960	893
202		Zemine oturan		1410

4. SONUÇLAR

Kazıklı temeller genelde bir kazık başlığı veya radye ile bağlantılı olarak imal edilmektedir. Genel hesap, yapı yüklerinin kazıklar tarafından alınması esasına göre yapılır. Radye plak kısmın yük almadığı kabul edilir. Bu ise ekonomiden uzak bir tasarım yapmamıza yol açar. Diğer bir deyişle kazıklarla birlikte radyenin de yük alması gerekir.

Günümüzde, kazıkların temel radyesi ile birlikte çalıştırılması olanakları araştırılmakta ve bu olanakların kullanılmasında izlenecek hesap yöntemi canlı bir araştırma konusu olmaktadır.

Olayı etkileyen temel koşullarının tamamen anlaşılmış olduğu söylenemez. Bu yüzden çeşitli hesap yöntemleri kullanılarak benzer durumlarda aynı sonuçların elde edilmesi mümkün olmamaktadır.

Bu tez kapsamında katılınan deneysel çalışmada, kazık başlığının zemine oturduğu ve oturmadığı durumlarda temelin taşıma gücü araştırılmıştır.

Jet-grout kolonlarına oturan temellerde, kazık başlığının zemine oturması halinde temelin taşıma gücü 1043 kN'dan 2000 kN'a çıkmış; mini kazıklara oturan temelde ise taşıma gücü artımı 893 kN'dan 1410 kN'a çıkmıştır. Başlığı zemine oturan jet-grout kolonlu temelde yük paylaşımı, %52 kolonlar, %48 başlık; mini kazıklı temelde %58 mini kazıklar, %42 başlık şeklinde olmuştur.

Deneylerde kullanılan L/D oranı 5.45 ve 4.41 değerlerindedir. Kazık uzunluğunun kazık çapına oranının paylaşım oranını etkileyeceği anlaşılmaktadır. Banerjee (1968) ve Butterfield ve Banerjee (1971 b) ye göre bu oranın $20 \leq L/D \leq 40$ olması halinde, kazık başlığı yükün %15-25 ini taşımaktadır. Deneylerden çıkarılabilen bir sonuç, kazık boyunun kısa olması veya kazık boyu kazık çapı oranının küçük olması halinde, başlığın daha fazla yük taşımasıdır. Bu da temel altında büyük yükler taşıyan, uzun ve sistemin bütünü açısından çok rijit bir kazık sistemi yerine, kısa kazıklardan oluşan bir sistemin, başlığın taşıma potansiyelinin kullanılmasını sağlamak açısından daha elverişli olduğunu göstermektedir.

Bu değişim şöyle de açıklanabilir. Yüzen bir kazığın rijitliği, kazık boyu arttıkça artmaktadır. Bu artışın bir üst sınırı vardır. Bu üst sınıra varıldığında kazık boyunun alacağı değere "etkili uzunluk denebilir". Mylonakis ve Gazetas (1998) bu boyu,

$$[L / D]_{\text{etkili}} \cong 1.75 (E_p / E_s)^{1/2} \quad (4.1)$$

ifadesi ile tanımlamaktadır. Burada E_p ve E_s kazık ve zeminin elastisite modülü, L kazık uzunluğu, D kazık çapıdır.

Bu takdirde $E_p = 450$ MPa olarak alınırsa, $D = 0.55$ m için etkili kazık boyu, $L = 7.71$ m olur. Deneylerde kullanılan kazıklar 3.00 m boyundadır. Daha rijit bir kazık tasarımı bu boyu 7.71 m ye kadar arttırılarak yapılabilir. Bu durumda olasıdır ki, kazıklar tarafından taşınan yük artacak, kazık başlığının taşıdığı yük azalacaktır. Başka deyişle, yükün paylaşım oranı, kazıklar lehine bozulacaktır.

Kazık boyu, etkili boya yaklaşıırken paylaşım oranının nasıl değiştiiğinin incelenmesi ilginç bir araştırma konusu olacaktır.

Uç kazıklarının davranışı farklıdır. Öztoprak ve Özkan (1998) kayaya soketlenen kazıklarda radye altında önemli gerilmeler oluşmadığını hesaplamışlardır. Poulos (1989) uç kazıklarının boyu arttıkça rijitliğinin azaldığını göstermektedir.

Sonuç olarak, kazıklı radye temellerde yük paylaşımından yararlanılabilmesi, kazık rijitliğinin değerine bağlı bulunmaktadır. Çok rijit kazıkların veya uç kazıklarının bu bakımdan uygun çözümler olmadıkları gözükmemektedir.

KAYNAKLAR

- Banerjee, P.K. (1969). A contribution to the study of axially loaded pile foundations. Ph.D. thesis, University of Southampton.
- Brown, P.T. and Wiesner, T.J., (1975). The behaviour of uniformly loaded piled strip footings. *Soils and Foundations*. 15. 13-21.
- Brown, P.T., Poulos, H.G. and Wiesner, T.J. (1975). Piled raft foundation design. *Proc. Symp. On Raft Foundations*. Perth. CSIRO. 13-21.
- Butterfield, R. and Banerjee, P.K. (1971a). The elastic analysis of compressible piles and pile groups. *Geotechnique*. 21 (1). 43-60.
- Butterfield, R. and Banerjee, P.K. (1971b). A rigid disc embedded in an elastic elastic half space. *J.S.E Asian Soc. Soil Eng.* 2. No 2.
- Butterfield, R. and Banerjee, P.K. (1971c). The problem of pile group-pile cap interaction. *Geotechnique* 21 No. 2, 135-142.
- Clancy, P. and Randolph, M.F. (1993). Analysis and design of piled raft foundations. *Int. Jnl. Num. Methods in Geomechanics*. 17. 849-869.
- Clancy, P. and Randolph, M.F. (1996). Simple design tools for piled raft foundations. *Geotechnique* 46. No. 2. 313-328.
- Desai, C.S. (1974). Numerical design analysis for piles in sands. *Int. Geot. Eng. Divn. ASCE*. 100 (GT6). 613-635.
- Franke, E., Lutz, B. and El-Mossalamy, Y. (1994). Measurements and numerical modelling at high rise building foundations on Frankfurt clay. *Vert. and Horizl. Deformns. of Foundns. And Embanks. ASCE Geot. Spec. No. 40. 2.* 1325-1336.
- Hain, S.J., Lee, I.K. (1978). The analysis of flexible piled raft systems. *Geotechnique*. 28(1). 65-83.
- Hewitt, P.B. and Gue, S.S. (1994). Piled raft foundation in a weathered sedimentary formation. Kuala Lumpur. Malaysia. *Proc. Geotropika. Malacca. Malaysia.* 1-11.
- Hongladaromp, T., Chen, N.J. and Lee, S.L. (1973). Load distributions in rectangular footings on piles. *Geotech. Eng.* 4 (2). 77-90.
- Hooper, J.A. (1979). Review of behaviour of piled raft foundations. *CIRIA Report No. 83.*
- Horikoshi, K. and Randolph, M.F. Optimum design of piled raft foundations.
- Kuwabara, F. (1989). An elastic analysis for piled raft foundations in a homogeneous soil. *Soils and Foundations*. 28 (1). 82-92.
- Lee, I.K. (1993). Analysis and performance of raft and raft-pile systems. *Keynote*

- Lect. 3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng. St. Louis (also Res. Rep. No. 133. Aust. Def. Force Academy. Univ. NSW. Australia).
- Ottaviani, M. (1975). Three-dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups. *Geotechnique*. 25(2). 159-174.
- Öztoprak, S. ve Özkan, M.T., Kazıklı temellerde radye ile kazıklar arasındaki yük paylaşımının incelenmesi. ZMTM 7. Ulusal Kongresi 22-23 Ekim 1998, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Poulos, H.G. (1968a). The influence of a rigid pile cap on the settlement behaviour of an axially loaded pile. *Trans. Instn. Civ. Engrs Aust. C E 10*, No. 2, 206
- Poulos, H.G. (1968b). Analysis of the settlement of pile groups. *Geotechnique* 18, No. 4, 449-471.
- Poulos, H.G. (1991). Analysis of piled strip foundations. *Comp. Methods and Advances in Geomechanics*. Ed. G. Beer, J.R. Booker and J.P. Carter. A.A. Balkema. Rotterdam. 1. 191-193.
- Poulos, H.G. (1993a). Settlement prediction for bored pile groups. *Proc. 2nd Int. Geot. Sem. on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*. Ghent. A.A. Balkema. Rotterdam. 103-107.
- Poulos, H.G. (1993b) Piled rafts in swelling or consolidating soils. *Jnl. Geot. Eng., ASCE*. 119(2), 374-380.
- Poulos, H.G. (1994). An approximate numerical analysis of piled rafts. *Int. Jnl. Num. Anal. Meths. In Geomechs.*, 18. 73-92.
- Poulos, H.G. and Davis E.H. (1980). *Pile foundation analysis and design*. John Wiley and Sons. New York.
- Poulos, H.G., Small, J.C., Ta, L.D., Sinha, J. and Chen, L. Comparison of some methods for analysis of piled rafts
- Randolph, M.G. (1983). *Design of piled raft foundations*. CUED/D. Soils TR 143. Cambridge University.
- Sinha, J. (1996). Forthcoming PhD thesis. University of Sydney, Australia.
- Ta, L.D. and Small, J.C. (1996). Analysis of piled raft systems in layered soils. *Int. Jnl. Num. Anal. Meths. in Geomechs*. 20. 57-72.
- Wang, A. (1995). Private communication. From PhD thesis. University of Manchester. U.K.
- Wiesner, T.J. and Brown, P.T. (1976). Behaviour of piled strip footings subject to concentrated loads. *Aust. Geomechs. Jnl. G6*. 1-5.
- Yamashita, K., Kakurai, M., Yamada, T. and Kuwabara, F. (1993). Settlement behaviour of a five-storey building on a piled raft foundation. *Proc. 2nd Int. Geot. Sem. on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*. Ghent. A.A. Balkema. Rotterdam. 351-356.
- Zhuang, G.M., Lee, I.K. and Zhae, X.H. (1991). Interactive analysis of behaviour or raft-pile foundations. *Proc. Geo-Coast 91. Yokohama*. 2. 759-764.

EKLER

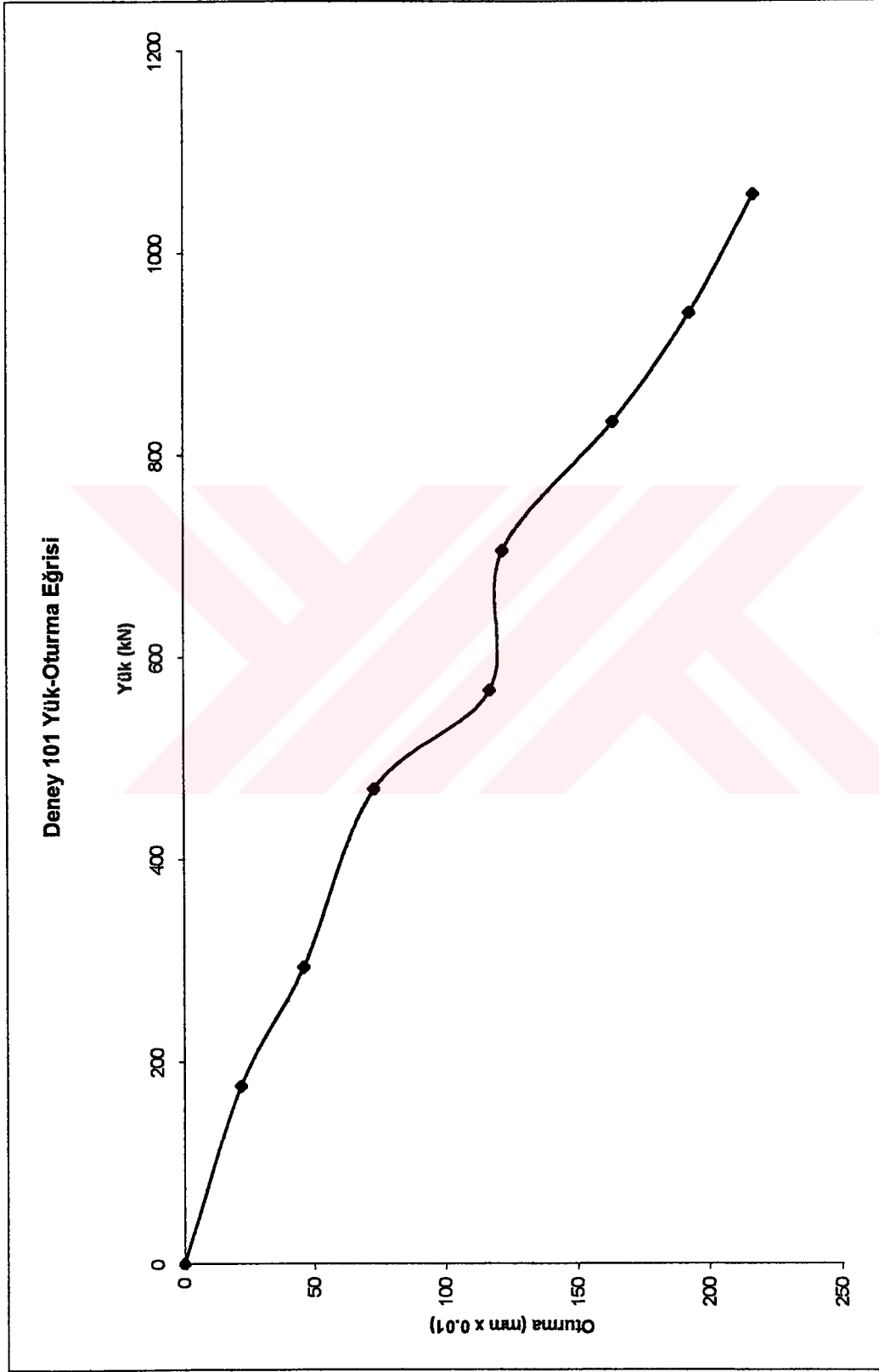
Ek A. Deney Sonuç Tabloları

Ek B. Yük-Oturma Grafikleri

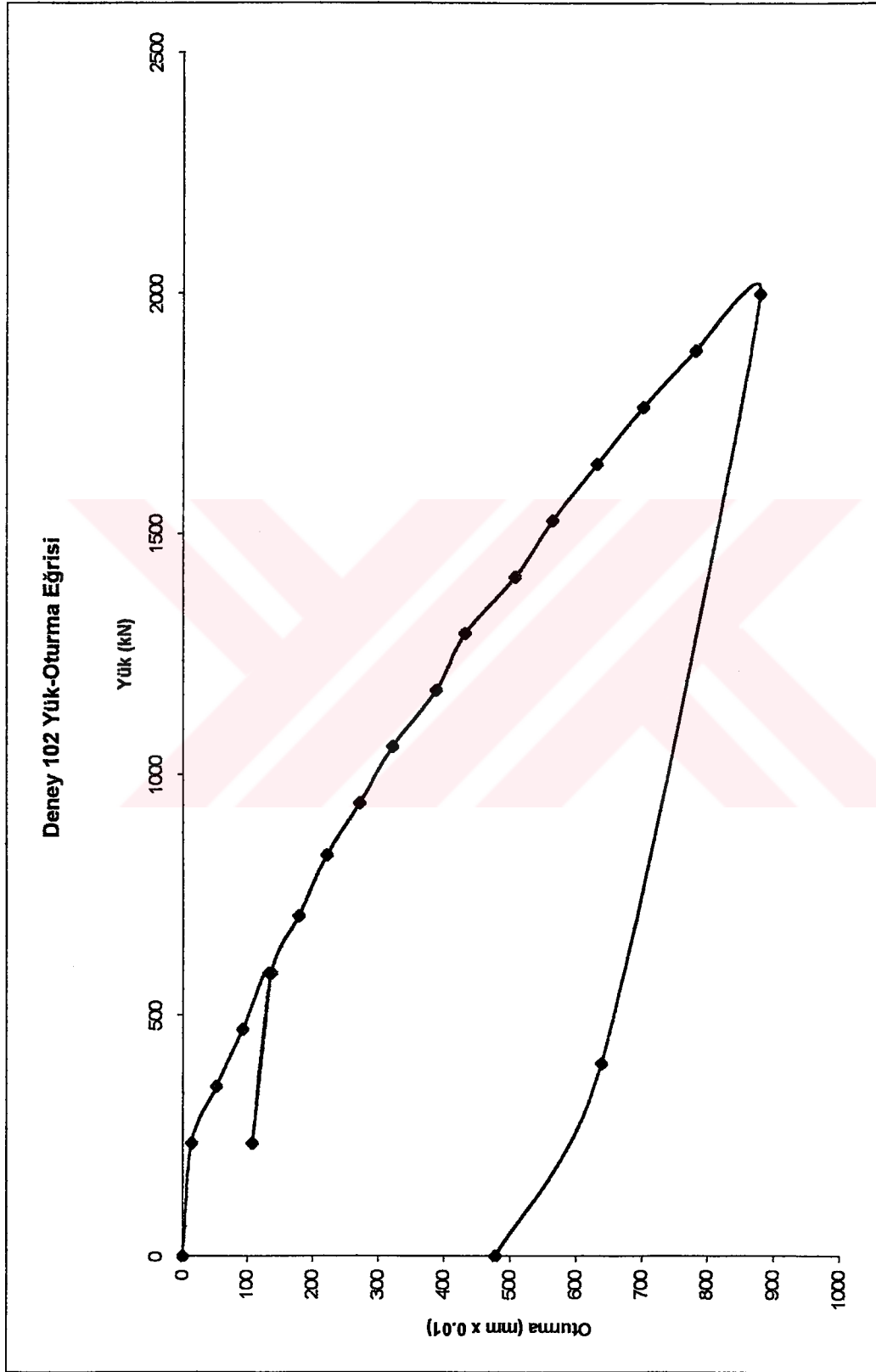


TABLO EK A1. ARAZİ DENEYİ SONUÇLARI

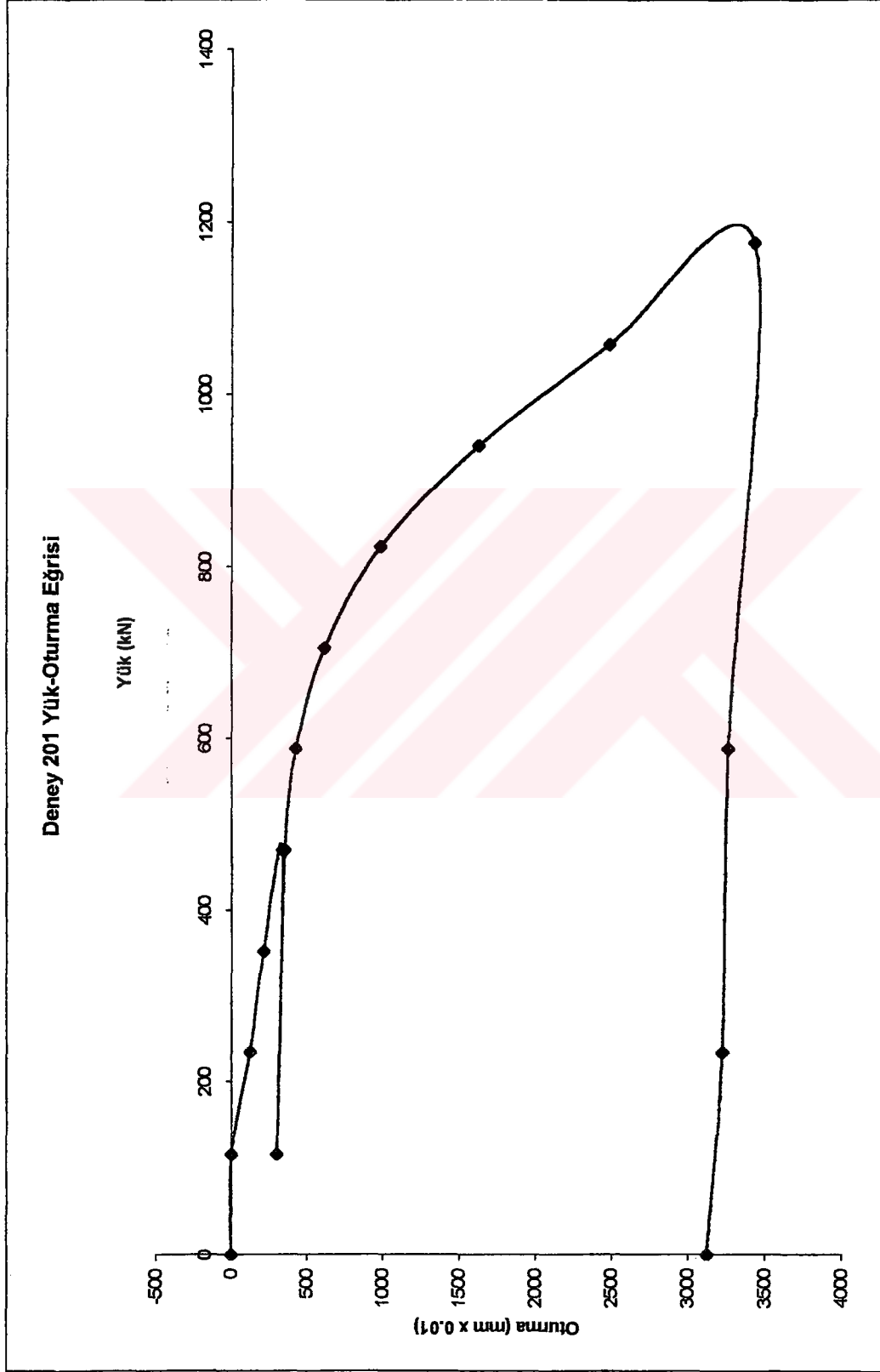
DENEY 101		DENEY 102		DENEY 201		DENEY 202	
Radye yere değmiyor		Radye yere değiyor		Radye yere değmiyor		Radye yere değiyor	
Jet-grout		Jet-grout		mini kazık		mini kazık	
YÜK	OTURMA	YÜK	OTURMA	YÜK	OTURMA	YÜK	OTURMA
(kN)	(mm x 0.01)	(kN)	(mm x 0.01)	(kN)	(mm x 0.01)	(kN)	(mm x 0.01)
0	0	0	0	0	0	0	0
176	22	235	14	116	5	116	0
294	46	352	53	235	125	235	27
470	73	470	93	352	215	352	72
568	117	588	134	470	339	470	99
706	122	235	108	116	305	588	164
833	164	588	137	470	352	235	155
941	193	706	179	588	430	588	186
1058	217	833	222	706	619	706	206
		941	272	823	986	823	260
		1058	322	941	1628	941	333
		1176	388	1058	2485	1058	491
		1294	432	1176	3430	1176	557
		1411	508	588	3263	1294	683
		1529	565	235	3225	1411	785
		1646	632	0	3125	1529	972
		1764	702			588	956
		1882	782			235	912
		1999	879			0	825
		400	639			294	828
		0	478			588	865
						1176	992
						1529	1259
						1646	1382
						1764	1661
						1882	1915
						1999	2443
						588	2362
						235	2269
						0	2069



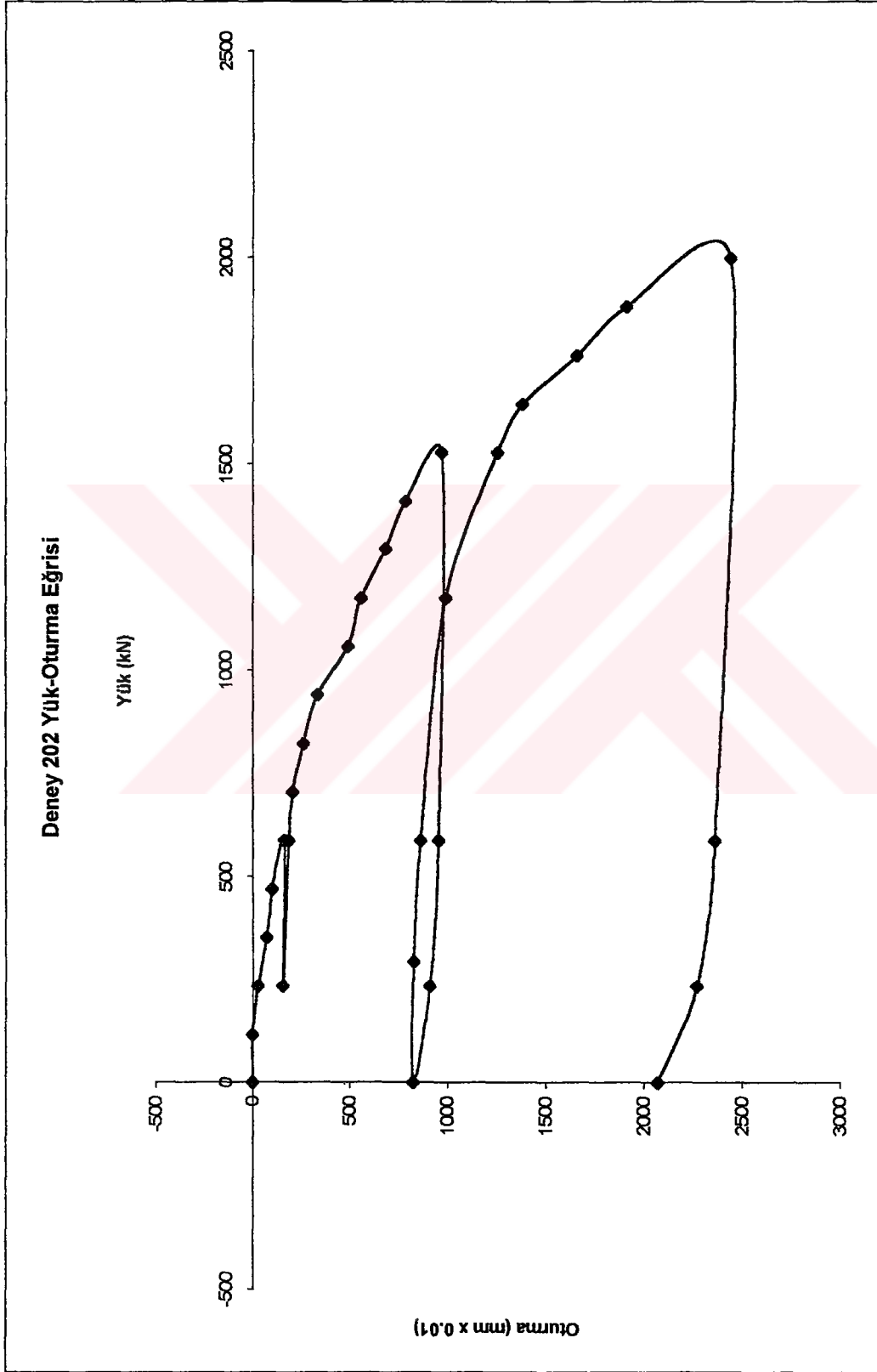
Şekil Ek-B1 Deney 101 Yük - Oturma Eğrisi



Şekil Ek-B2 Deney 102 Yük - Oturma Eğrisi



Ŗekil Ek-B3 Deney 201 Yük - Oturma Eğrisi



Şekil Ek-B4 Deney 202 Yük - Oturma Eğrisi