

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE YAPILMIŞ KAZIK YÜKLEME  
DENEYLERİNDEN VERİ TABANI OLUŞTURULMASI VE  
VERİ TABANINDA BULUNAN KAYAYA SOKETLİ FORE  
KAZIKLARIN ANALİZİ**

**İnşaat Mühendisi Mustafa KİRKİT**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Havvanur KILIÇ**

**İkinci Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Cem AKGÜNER**

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM**

**Prof. Dr. Bilge SİYAHİ**

**Yrd. Doç. Dr. Özer ÇİNİCİOĞLU**

**İSTANBUL, 2009**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ÖNSÖZ.....	xiv
ÖZET .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Konu ve Araştırmanın Hedefi.....	3
1.3 Organizasyon .....	3
2. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ VE YORUMLANMASI .....	5
2.1 Kazık Yükleme Deneyleri .....	5
2.2 Statik Yükleme Deneyleri.....	6
2.2.1 Eksenel Basınç Deneyleri .....	6
2.2.2 Eksenel Çekme Deneyleri.....	7
2.3 Kazık Yükleme Deney Teknikleri .....	7
2.3.1 Eksenel Yükleme Deney Teknikleri.....	7
2.3.1.1 Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi (SML).....	8
2.3.1.2 Hızlı Adımlı Deney (QML) .....	9
2.3.1.3 Sabit Penetrasyon Yükleme Deneyi (CRP) .....	9
2.3.1.4 Çevrimli Deney (SC) .....	10
2.3.1.5 Eksenel Kazık Yükleme Deney Yöntemleri Karşılaştırılması .....	10
2.4 Kazıklı Yükleme Deney Sonuçlarının Yorumlanması .....	11
2.4.1 Eksenel Basınç Altındaki Kazıkların Taşıma Kapasitesi .....	11
2.4.2 Eksenel Çekme Altındaki Kazıkların Taşıma Kapasitesi.....	13
2.5 Kazık Yükleme Deney Sonuçları Değerlendirilmesi İçin Önerilen Yöntem ve Kriterler.....	13
2.5.1 Chin – Kondner Yöntemi (1970).....	14
2.5.2 Brinch – Hansen %80 Yöntemi (1963) .....	15
2.5.3 Davisson Yöntemi (1972).....	16
2.5.4 Decourt Yöntemi (1999).....	18
2.5.5 Göçmeye Ulaşmamış Kazıklar .....	19
2.5.6 De Beer Yöntemi (1967) .....	21
2.5.7 Van Der Veen Yöntemi (1953).....	21
2.5.8 Brinch – Hansen %90 Yöntemi (1963) .....	22

2.5.9	Mazurkiewicz Yöntemi (1972).....	23
2.5.10	Butler – Hoy Yöntemi (1976).....	23
2.5.11	Fuller – Hoy Yöntemi (1970).....	25
2.5.12	Hirany – Kulhawy Yöntemi .....	25
2.5.13	Teğet Yöntemi .....	26
3.	<b>TÜRKİYE KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ (KYD) VERİ TABANI</b>	
	<b>PROGRAMI .....</b>	<b>27</b>
3.1	Temel Veri Tabanı Kavramları.....	27
3.1.1	Veri .....	27
3.1.2	Veri Tabanı .....	27
3.1.3	Veri Tabanı Yönetim Sistemi .....	27
3.2	Veri Tabanı Yönetim Sistemlerinin Özellikleri ve Avantajları.....	28
3.3	Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı Programı .....	28
3.4	Program Kullanımı .....	29
3.4.1	Program Veri Tabanına Yapılmış Deney Verileri Girme.....	30
3.4.1.1	Deney Verileri .....	31
3.4.1.2	Kazık Verileri .....	33
3.4.1.3	Zemin Verileri .....	37
3.4.1.4	Yük - Deplasman Eğrisi.....	42
3.4.1.5	Taşıma Gücü .....	42
3.4.2	Kayıtlı Verilerde Düzeltme Yapmak .....	45
3.4.3	Kayıt Silme .....	45
3.4.4	Veri Tabanından Arama Yapma.....	48
3.4.5	Veri Tabanındaki Kayıtlı Bilgilere Ulaşma ve Bunları Kopyalama.....	55
3.4.5.1	Yardım Menüsü .....	65
3.5	Türkiye KYD Veri Tabanı Programında Kayıtlı Kazık Yükleme Deneyleri .....	65
4.	<b>KAYA VE KAYANIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN</b>	
	<b>İNCELENMESİ.....</b>	<b>77</b>
4.1	Tanımlar.....	77
4.2	Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri .....	78
4.2.1	Sağlam Kaya Numunelerinin Dayanımı .....	78
4.2.2	Süreksizlikler .....	81
4.3	Kayaların Tipik Mühendislik Özellikleri.....	83
4.4	Kayaların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi için Yapılan Laboratuar ve	
	Arazi Deneyleri.....	88
4.4.1	Laboratuar Deneyleri .....	88
4.4.2	Arazi Deneyleri.....	89
5.	<b>KAYAYA SOKETLİ KAZIKLAR .....</b>	<b>91</b>
5.1	Soketlenmiş Kazıkta Yük Taşıma Mekanizması.....	92
5.2	Eksenel Taşıma Kapasitesi .....	94
5.3	Çevre Taşıma Kapasitesi .....	95
5.3.1	Çevre Direncine Etki Eden Faktörler .....	95
5.3.2	SPT-N ile Çevre Sürtünmesi Arasındaki İlişkiler .....	96
5.3.3	Çeşitli Pürüzlülük Profillerini Kullanan Yaklaşım (Reese ve O’Neill, 1999).....	96
5.3.4	Ampirik Yöntemler.....	97
5.4	Uç Taşıma Kapasitesi .....	103
5.4.1	SPT-N değerini dikkate alan yaklaşım .....	103

5.4.2	Zemin Mekaniği Prensipleri ile İlişkili Uç Kapasitesi Belirlenmesi .....	103
5.4.3	AASHTO Yöntemi ile uç kapasitesinin hesabı .....	104
5.4.4	Presyometre Deney Sonucuna Göre Uç Taşıma Kapasitesi Hesaplama .....	104
5.4.5	Canadian Foundation Engineering Manual tarafından önerilen Yöntem .....	106
5.4.6	Yükleme Deneylerinin Değerlendirilmesi ile Önerilen Ampirik Yöntemler .....	108
5.5	Çevre ve Uç Taşıma Kapasitesi İçin Önerilen Ampirik Yöntemlerin Abakları..	109
6.	KAYAYA SOKETLİ KAZIKLARIN ANALİZİ .....	112
6.1	Kazık Yüklemeye Deney Sonuçlarına Göre Analiz .....	112
6.1.1	Ankara-Çayırhan'da Bulunan Kayaya Soketli Kazığın Yüklemeye Deneyi Sonucuna Göre Analizi.....	112
6.1.2	Mersin-Tarsus'ta Bulunan Kayaya Soketli Kazığın Yüklemeye Deneyi Sonucuna Göre Analizi.....	116
6.1.3	Çözümü Yapılmış, Sonucu Dikkate Alınmamış Yöntemler.....	121
6.2	Ampirik Yöntemler ile Analiz .....	122
6.2.1	Ankara-Çayırhan Kayaya Soketli Kazığın Ampirik Yöntemler ile Analizi .....	123
6.2.2	Mersin-Tarsus Kayaya Soketli Kazığın Ampirik Yöntemler ile Analizi .....	124
6.3	Kazık Yüklemeye Deney Sonuçları ve Ampirik Yöntemlerle Yapılan Analizin Değerlendirilmesi .....	128
6.4	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz .....	135
6.4.1	Geometrik Model.....	135
6.4.2	Malzeme Parametreleri .....	136
6.4.3	Analiz Aşaması.....	139
6.4.4	Analiz Sonucu.....	139
6.4.5	Kayaya Soketli Kazıkların Nümerik Analizine Ait Örnekler .....	139
6.4.5.1	Türkiye KYD Veri Tabanı No:91 Mersin Tarsus'da Kayaya Soketli Kazık.....	140
6.4.5.2	Türkiye KYD Veri Tabanı No:70 Ankara – Oran (1)'de Kayaya Soketli Kazık	141
6.4.6	Zemin Parametrelerinin Değişiminin Analiz Sonucuna Etkisi.....	142
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	143
7.1	Kazık Yüklemeye Deneyleri ve Türkiye'de Yapılan Kazık Yüklemeye Deneylerinden Oluşturulan Veri Tabanı .....	143
7.1.1	Sonuçlar .....	143
7.1.2	Öneriler .....	144
7.2	Türkiye KYD Veri Tabanı İçindeki Kayaya Soketli Kazıkların Analizi .....	146
7.2.1	Sonuçlar .....	146
7.2.2	Öneriler .....	149
	KAYNAKLAR.....	151
	EKLER .....	155
	Ek 1 İstanbul Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri.....	156
	Ek 2 Kayaya Soketli Kazıkların Plaxis Analizinde Kullanılan Malzeme Parametreleri, Analiz Sonuçları ve Yüklemeye Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması .....	161
	ÖZGEÇMİŞ.....	173



## SİMGE LİSTESİ

$\alpha$	Adhezyon faktörü
$\alpha_s$	Kazığın yükü taşıma şekline bağlı bir katsayı
$\alpha_w$	Kaya kayma dayanımı faktörü
$\beta_w$	Kaya çevre direnci ile eklem yerlerine ait çevre direncine bağlı azaltma faktörü
$\Delta$	Uygulanan yüke karşılık gelen deplasman
$\delta_e$	Kazık elastik boy kısalması
$\delta_s$	Kazık ucundaki zeminin elastik sıkışması
$\delta_{sp}$	Kazık ucundaki zeminin plastik sıkışması
$\phi'$	Efektif zemin içsel sürtünme açısı
$\sigma_o$	Kazık topuğunda jeolojik yük
$\sigma_c$	Serbest basınç mukavemeti
$\sigma_k$	Tek eksenli basınç dayanımı
$\sigma_z'$	Kazık oturma tabanında düşey efektif basınç
$\tau_{max}$	Son çevre taşıma direnci
a	Doğru eğimi
b	Doğrunun y eksenini kestiği değer
A	Kazık kesit alanı
B	Kazık çapı
c'	Efektif zemin kohezyonu
C <sub>1</sub>	Doğrunun eğimi
C <sub>2</sub>	Doğrunun y eksenini kestiği değer
C <sub>c</sub>	Sıkışma indeksi
C <sub>v</sub>	Konsolidasyon katsayısı
d	Derinlik faktörü
D	Kazık çapı
E	Elastisite Modülü
E <sub>o</sub>	Başlangıç rijitlik modülü
E <sub>50</sub>	Secant modülü
E <sub>k</sub>	Kaya elastisite modülü
f <sub>c</sub> '	Betonun 28 günlük silindirik basınç dayanımı
F <sub>s</sub>	Zeminin sürtünme direnci
I <sub>s</sub>	Nokta yükleme indisi
I <sub>r</sub>	Rijitlik indisi

$k_b$	Taban direncine karşılık gelen esneklik sabiti
$K_b$	Soket çap ve derinliğine bağlı ampirik bir katsayı
$k_s$	Çevre direncine karşılık gelen esneklik sabiti
$K_{sp}$	Süreksizliğe bağlı ampirik bir katsayı
$L$	Kazık boyu
$LL$	Likit limit
$N_c, N_q$	Taşıma gücü faktörleri
$N_{ms}$	Kaya kalitesi ve kaya sınıfını dikkate alan bir katsayı
$P_a$	Atmosfer basıncı
$PI$	Plastisite indeksi
$PL$	Presiyometre deneyinde kırılmanın başladığı andaki basınç değeri
$PL\ Net$	Presiyometre deney sonucuna göre net limit basınç değeri
$RQD$	Kaya kalitesi ifade eden değer
$q_{max}$	Son uç taşıma direnci
$Q$	Kazık yükleme deneyinde uygulanan yük değeri
$Q_b$	Kazık uç kısmı ile taşınan yük
$Q_c$	CPT deneyinde koni uç direnci
$Q_s$	Kazık çevre sürtünmesi ile taşınan yük
$Q_u$	Kazık göçme yükü
$SPTN$	SPT deneyinde ölçülen N tokmak adedi değeri
$TCR$	Kayaç karot yüzdesi
$U$	CPT deneyinde ölçülen boşluk basıncı değeri
$w$	Zemin su muhtevası
$w_b$	Şaft tabanının yer değiştirmesi
$w_s$	Şaft çevresinin yer değiştirmesi

## **KISALTIMA LİSTESİ**

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
CFEM	Canadian Foundation Engineering Manual
CRP	Sabit Penetrasyon ile Yükleme Deneyi
FWHA	Federal Highway Administration
KYD	Kazık Yükleme Deneyi
NGI	Norveç Jeoteknik Endüstrisi – Barton Metodu
RMR	Kaya kütlesi sınıflandırma sistemi
QML	Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi
SC	Çevrimli Yükleme Deneyi
SML	Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi
VTYS	Veri Tabanı Yönetim Sistemi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kazığın hidrolik kriko vasıtası ile ankraj kazılarında reaksiyon olarak yüklenmesi (ASTM D1143/D1143M, 2007) .....	7
Şekil 2.2 Hidrolik kriko vasıtası ile ankraj kazıklarından oluşturulan bir çerçeve ile kazığın çekme yüklenmesinin uygulanması (ASTM D3689, 2007) .....	8
Şekil 2.3 Deney yöntemlerinin oturma açısından karşılaştırılması (Fellenius, 1975).....	11
Şekil 2.4 Deney yöntemlerinin zaman açısından karşılaştırılması (Fellenius, 1975).....	11
Şekil 2.5 Eksenel çekme yükü altındaki kazıkların göçme yükünün belirlenmesi .....	14
Şekil 2.6 Chin – Kondner yöntemi .....	15
Şekil 2.7 Brinch – Hansen %80 yöntemi.....	16
Şekil 2.8 Davisson yöntemi (Davisson, 1972) .....	18
Şekil 2.9 Decourt Yöntemi .....	19
Şekil 2.10 De Beer yöntemi.....	21
Şekil 2.11 Van Der Veen Yöntemi .....	22
Şekil 2.12 Brinch – Hansen %90 Yöntemi (Yıldırım, 2004). .....	23
Şekil 2.13 Mazurkiewicz yönteminin şematik gösterimi .....	24
Şekil 2.14 Butler – Hoy Yönteminin uygulanması .....	24
Şekil 2.15 Fuller – Hoy Yöntemi .....	25
Şekil 2.16 Hirany – Kulhawy yöntemi (Hirany - Kulhawy, 2002) .....	26
Şekil 2.17 Teğet yöntemi.....	26
Şekil 3.1 Türkiye KYD programı ana ekranı .....	30
Şekil 3.2 Program üst menü ve yeni kayıt.....	31
Şekil 3.3 Deney verileri girme ara yüzü .....	32
Şekil 3.4 Kazık verileri girme ara yüzü .....	34
Şekil 3.5 Profil özelliklerine bakılması .....	35
Şekil 3.6 Aletlendirilmiş kazık özellikleri girme penceresi ara yüzü.....	36
Şekil 3.7 Değişken enkesitli kazık özellikleri girme penceresi ara yüzü .....	36
Şekil 3.8 Çakma kazık darbe – derinlik ilişkisi girme penceresi ara yüzü.....	37
Şekil 3.9 Laboratuvar deneyleri sonuçlarına ait verileri veri tabanına ekleme ara yüzü.....	39
Şekil 3.10 Arazi deneyleri sonuçlarına ait verileri veri tabanına ekleme ara yüzü .....	40
Şekil 3.11 Zemin verilerine ait raporların aslını veri tabanına kaydetme ara yüzü.....	41
Şekil 3.12 Yük – Deplasman verilerini ve grafiğini veri tabanına kaydetme ara yüzü.....	43
Şekil 3.13 Taşıma gücü verilerini ve grafiğini veri tabanına kaydetme ara yüzü .....	44
Şekil 3.14 Kaydedilmiş verilerde düzeltme yapma ara yüzü .....	46

Şekil 3.15 Kayıt silme ara yüzü.....	47
Şekil 3.16 Deney No Arama menüsü .....	48
Şekil 3.17 Deney verilerine göre arama yapma.....	50
Şekil 3.18 Kazık verilerine göre arama yapma.....	51
Şekil 3.19 Zemin verilerine göre arama yapma.....	52
Şekil 3.20 Taşıma gücü verilerine göre arama yapma.....	53
Şekil 3.21 Arama Listesi ara yüzü.....	54
Şekil 3.22 Deney bilgilerini getir menüsü .....	55
Şekil 3.23 Deney verileri ara yüzü .....	57
Şekil 3.24 Kazık verileri ara yüzü .....	58
Şekil 3.25 Zemin laboratuvar verileri ara yüzü .....	59
Şekil 3.26 Zemin arazi verileri ara yüzü.....	60
Şekil 3.27 Zemin arazi grafik verileri ara yüzü .....	61
Şekil 3.28 Yük – Deplasman değerleri ve grafiği verileri ara yüzü .....	62
Şekil 3.29 Taşıma gücü değerleri ve grafiği verileri ara yüzü.....	63
Şekil 3.30 Araştırmacı ara yüzü .....	64
Şekil 3.31 Yardım menüsü .....	65
Şekil 3.32 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin yapıldığı şehirler açısından sınıflandırılması.....	74
Şekil 3.33 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık tipi açısından sınıflandırılması.....	74
Şekil 3.34 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin deney türü açısından sınıflandırılması.....	75
Şekil 3.35 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazığın içinde bulunduğu zemin açısından sınıflandırılması.....	75
Şekil 3.36 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık çapı aralığı açısından sınıflandırılması .....	76
Şekil 3.37 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık boyu aralığı açısından sınıflandırılması.....	76
Şekil 4.1 Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen, kayaçların tek eksenli mukavemet bazında sınıflandırılması (Arıoğlu, 2007) .....	79
Şekil 4.2 Kayaçlarda $E_k - \sigma_k$ ilişkisi ve sınıflandırması (Dere ve Miller, 1966) .....	80
Şekil 4.3 Süreksizlik yönlerinin kaya dayanımına etkisi (Yıldırım ve Gökaşan, 2007) .....	82
Şekil 5.1 L/D oranının etkisi (Duncan, 1999) .....	92
Şekil 5.2 Soketli kazıklar için basitleştirilmiş yük taşıma mekanizması (Duncan, 1999).....	93

Şekil 5.3 Formül (5.7)'deki geometrik terimlerin tanımlanması (Reese ve O'Neill, 1999).....	97
Şekil 5.4 Ortalama zemin verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993) .....	100
Şekil 5.5 Özel test verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki eşitlik (Kulhawy ve Phoon, 1993).....	100
Şekil 5.6 Kaya soketleri için çevre azaltma faktörü " $\alpha_w$ " (Williams ve Pells, 1981) .....	102
Şekil 5.7 Kütle faktörüne bağlı çevre direnci azaltma faktörü " $\beta_w$ " (Williams ve Pells, 1981).....	102
Şekil 5.8 $K_{sp}$ katsayısı hesaplama abağı ve formülü (CFEM, 2006).....	107
Şekil 5.9 Çevre taşıma kapasitesi abağı.....	110
Şekil 5.10 Uç taşıma kapasitesi abağı .....	111
Şekil 6.1 Deney sonucu Yük – Deplasman eğrisi .....	113
Şekil 6.2 Chin – Kondner yöntemi ile analiz .....	113
Şekil 6.3 Brinch – Hansen %80 yöntemi ile analiz .....	114
Şekil 6.4 Tolosko yöntemine göre a ve b değeri .....	115
Şekil 6.5 Decourt yöntemi ile analiz .....	115
Şekil 6.6 Deney sonucu Yük – Deplasman eğrisi .....	116
Şekil 6.7 Chin - Kondner yöntemi ile analiz .....	117
Şekil 6.8 Brinch – Hansen %80 yöntemi ile analiz .....	117
Şekil 6.9 Tolosko yöntemine göre a ve b değeri .....	118
Şekil 6.10 Decourt yöntemi ile analiz .....	119
Şekil 6.11 Kazık yükleme deneylerinin analizi ile bulunan taşıma gücü değerlerinin grafiksel olarak ifadesi.....	120
Şekil 6.12 71 Nolu deneyin De Beer yöntemi ile bulunan taşıma kapasitesi.....	121
Şekil 6.13 67 nolu deneyin Van Der Veen yöntemi ile taşıma kapasitesinin bulunması.....	121
Şekil 6.14 Kayaya soketli kazıklar için toplam taşıma kapasiteleri .....	131
Şekil 6.15 Kaya serbest basınç dayanımı değeri literatürden alınmış deneylerin dikkate alınmadığı kayaya soketli kazıkların toplam taşıma güçleri.....	132
Şekil 6.16 Ampirik yöntemlerle bulunan toplam taşıma güçlerinin kıyaslanması.....	134
Şekil 6.17 Analizlerde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları .....	135
Şekil 6.18 Ara yüzey (Interface) elemanların uzatılması .....	136
Şekil 6.19 Plaxis analizleri için sonlu eleman ağları.....	137
Şekil 6.20 Kayaya soketli kazık için kazık boyu, soket boyu ve kazık çapına bağlı geometrik model.....	138
Şekil 6.21 Standart drenajlı üç eksenli deneyden $E_0$ ve $E_{50}$ 'nin tanımlanması.....	139

Şekil 6.22 Deney 91 Plaxis analizi ile kazık yükleme deneyi sonucunun karşılaştırılması ...	141
Şekil 6.23 Deney:70 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	142
Şekil Ek 1.1 İstanbul ve çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2002) .....	156
Şekil Ek 1.2 İstanbul ve yakın çevresi tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım ve Savaşkan, 2002) .....	157
Şekil Ek 2.1 Deney:19 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	161
Şekil Ek 2.2 Deney:23 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	162
Şekil Ek 2.3 Deney 66 Plaxis analizi ile kazık yükleme deneyi sonucunun karşılaştırılması	163
Şekil Ek 2.4 Deney:67 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	164
Şekil Ek 2.5 Deney:71 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	165
Şekil Ek 2.6 Deney:85 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	166
Şekil Ek 2.7 Deney:86 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	167
Şekil Ek 2.8 Deney:87 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	168
Şekil Ek 2.9 Deney:92 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması	169
Şekil Ek 2.10 Deney:93 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması .....	170
Şekil Ek 2.11 Deney:94 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması .....	171
Şekil Ek 2.12 Deney:95 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması .....	172

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi.....	65
Çizelge 4.1 Kaya ortamında yapı tipleri (Zhang, 2005).....	78
Çizelge 4.2 Kayaç dayanımı ve nokta yük indisine göre sınıflandırma (Marinos ve Hoek, 2001).....	81
Çizelge 4.3 Süreksizlik aralığına göre kayaçların sınıflandırılması (Yıldırım ve Gökaşan, 2007).....	83
Çizelge 4.4 RQD değerine göre kaya sınıflandırması (CFEM, 2006).....	83
Çizelge 4.5 Kayaların tipik serbest basınç mukavemeti değerleri (Zhang, 2004).....	84
Çizelge 4.6 Kayaların tipik elastisite modülü değerleri (Zhang, 2004).....	85
Çizelge 4.7 Kayaların tipik yoğunluk değerleri (Zhang, 2004).....	86
Çizelge 4.8 Kayaların tipik poisson oranı değerleri (Zhang, 2004).....	87
Çizelge 4.9 Dolgu, mineraller ve kayaların tipik içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) (Mayne vd., 2001).....	87
Çizelge 4.10 Kayaların residüel sürtünme açıları ( Mayne vd., 2001).....	88
Çizelge 4.11. Laboratuarda kaya numunelere uygulanan deney yöntemleri (Mayne vd., 2001).....	89
Çizelge 5.1 Birim nihai kayma kapasitesi – SPTN İlişkisi (Zhang, 2004).....	96
Çizelge 5.2 Pürüzlülük sınıflandırması (Pells v.d., 1980).....	98
Çizelge 5.3 c'ye bağlı olarak ( $E_k/3c$ ) ve $N_c^*$ belirlenmesi.....	104
Çizelge 5.4 Taşıma kapasitesi katsayısı $K_b$ (CFEM, 2006).....	105
Çizelge 5.5 Kaya Sınıfları (ASSHTO, 2005).....	105
Çizelge 5.6 Hoek tarafından verilen $N_{ms}$ değerleri (Marinos ve Hoek, 2001).....	106
Çizelge 5.7 Süreksizlik aralığına bağlı katsayı, $K_{sp}$ (CFEM, 2006).....	107
Çizelge 6.1 Deney örneğine ait veriler.....	112
Çizelge 6.2 Eşitlik 6.2 ve 6.3'de kullanılan deneye ait değerler.....	114
Çizelge 6.3 Deney örneğine ait veriler.....	116
Çizelge 6.4 Eşitlik 6.2 ve 6.3'de kullanılan deneye ait veriler.....	118
Çizelge 6.5 Kayaya soketli kazık temellerin yükleme deneyi analizlerinin sonuçları (N=14).....	119
Çizelge 6.6 Ankara – Çayırhan ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi.....	123
Çizelge 6.7 Ankara – Çayırhan ampirik yöntemlerle uç taşıma gücü analizi.....	123
Çizelge 6.8 Mersin – Tarsus ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi.....	124
Çizelge 6.9 Mersin – Tarsus ampirik yöntemlerle uç taşıma gücü analizi.....	124
Çizelge 6.10 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi (N=14).....	125
Çizelge 6.11 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle uç taşıma	



gücü analizi (N=14) .....	126
Çizelge 6.12 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle toplam taşıma gücü sonuçları (N=14).....	127
Çizelge 6.13 Ampirik yöntemlerle oluşturulan kombinasyonlar.....	128
Çizelge 6.14 Kazık yükleme deney sonuçları nın analizi ve ampirik analiz sonucu bulunan taşıma gücü değerleri (N=14) .....	130
Çizelge 6.15 Veri tabanında bulunan soketli kazıkların ampirik yöntemler kullanılarak önerilen kombinasyonlar ile bulunmuş toplam taşıma gücü değerleri (N=14).....	133
Çizelge 6.16 Zemin parametreleri için kullanılan semboller ve anlamları.....	140
Çizelge 6.17 Zemin Parametreleri .....	140
Çizelge 6.18 Deney:70 zemin parametreleri .....	141
Çizelge Ek 2.1 Deney:19 zemin parametreleri.....	161
Çizelge Ek 2.2 Deney:23 zemin parametreleri .....	162
Çizelge Ek 2.3 Deney:66 zemin parametreleri.....	163
Çizelge Ek 2.4 Deney:67 zemin parametreleri .....	164
Çizelge Ek 2.5 Deney:71 zemin parametreleri.....	165
Çizelge Ek 2.6 Deney:85 zemin parametreleri.....	166
Çizelge Ek 2.7 Deney:86 zemin parametreleri.....	167
Çizelge Ek 2.8 Deney:90 zemin parametreleri.....	168
Çizelge Ek 2.9 Deney:92 zemin parametreleri.....	169
Çizelge Ek 2.10 Deney:93 zemin parametreleri.....	170
Çizelge Ek 2.11 Deney:94 zemin parametreleri .....	171
Çizelge Ek 2.12 Deney:95 zemin parametreleri.....	172

## ÖNSÖZ

Çalışmamın bu aşamaya gelmesinde her türlü yardımı benden esirgemeyen, beni sabırla dinleyip bilgilendiren, yönlendiren, tez danışmanlarım Sayın Cem AKGÜNER ve Sayın Havvanur KILIÇ ile değerli hocalarım Kutay Özaydın, Sönmez Yıldırım, Mustafa Yıldırım ve Mehmet Berilgen'e, Ayrıca Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ABD'ında görev yapan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Türkiye'de bilimin gelişmesine ön ayak olup, bilim adamı yetiştirme konusunda çok değerli çalışmalar yapan ve tez çalışmamı rahatça hazırlayabilmek için beni maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasında bana destek olup, her türlü bilgi ve kaynağa ulaşmada yardımlarını esirgemeyen, şirket arşivlerini paylaşan;

Turan Durgunoğlu ve Turhan Karadayılar (ZETAŞ A.Ş.),

Asım Tufan Durgunoğlu ve Seda Yelkenci (GEOTEKNİK A.Ş.),

Oğuz Çalışan (ÇALIŞAN GEOTEKNİK) ,

Eftal Gökçe ve Elif Balık (TEMELTAŞ A.Ş.),

Ergin Arıoğlu ve Gözde Kurt (YAPI MERKEZİ),

Orhan İnanır (GEOGRUP A.Ş),

Şenol Adatepe (KASKTAŞ A.Ş.)'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmam sırasında hem bir arkadaş olan hem de çalışmalarımda katkısı bulunan Erol SERBEST'e teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde aldığım kararlara saygı duyup destekleyen, bu günlere gelmemde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan çok değerli aileme şükranlarımı sunuyorum.

Mustafa KİRKİT

## ÖZET

Geoteknik Mühendisliği'nde, üst yapıdan gelen yüksek mertebelerdeki yüklerin taşınması için yüzeysel temellerin yeterli olmadığı durumlarda derin temel sistemleri ve bu sistemlerin en yaygın olarak da kazıklı temeller tercih edilmektedir. Üst yapıdan aktarılan bu yüklerin taşınması ve proje için sınırlandırılması gereken yer değiştirmeler söz konusu ise kazık temellerin daha derinlerde bulunan kaya kütlesi içine soketlenmesi gerekmektedir. Kayaya soketli kazıkların tasarımı için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar nümerik analiz yöntemleri, kazık yükleme deneyleri ile taşıma gücü analizi ve kayanın mühendislik özelliklerini dikkate alan ampirik yöntemlerdir. Kazık yükleme deneyi sonucu kullanılarak taşıma gücünün hesap edilmesi için birçok araştırmacı tarafından değişik metotlar önerilmiştir. Ampirik yöntemler ise kazık yükleme deneylerinden oluşturulmuş veri tabanlarından geri çözümleme ile elde edilmektedir. Ayrıca ampirik yöntemler uç ve çevre taşıma gücünün ayrı ayrı hesap edilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki kazık yükleme deneyleri ve deney sonuçlarını yorumlama yöntemleridir. Bu amaçla Türkiye'de yapılmış kazık yükleme deneylerinden bir veri tabanı oluşturulmuştur ve veri tabanındaki bilgilere ulaşmada kullanım kolaylığı ve düzen sağlamak amacı ile "Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı" adı altında bir bilgisayar programı yazılmıştır. Araştırma sınırları içinde incelenen ikinci konu veri tabanı içinde yer alan 14 adet kayaya soketli kazıkların taşıma gücü yönünden incelemesidir. Bu amaçla: (a) Kayaya soketli kazıklara yapılan yükleme deneylerinin sonuçları değerlendirilerek, kazıkların taşıma güçleri hesaplanmıştır. (b) Kazık yükleme deneyleri değerlendirilen kazıkların, kaya serbest basınç mukavemetini dikkate alan ampirik yöntemlerle, uç taşıma kapasitesi ve çevre taşıma kapasitesi hesap edilmiştir. (c) Sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programı Plaxis ile kayaya soketli kazıklar için Mohr-Coulomb malzeme modelini kullanan bir nümerik model oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan araştırmalar sonunda Türkiye'de yapılmış kazık yükleme deneylerinden oluşan veri tabanı değerlendirilmiş ve kazık yükleme deneyleri hakkında öneride bulunulmuştur. Aynı şekilde kayaya soketli kazıkların analiz sonuçları incelenerek tasarım için sonuçlara ulaşılmıştır.

## ABSTRACT

In Geotechnical Engineering, deep foundation systems, especially pile foundations, are typically used when shallow foundations do not carry high loads from the superstructure. Pile foundations may be socketed into rocks when high loads are transferred from the structure and displacements need to be restricted. Various methods are used in designing rock-socketed piles. These include numerical approaches such as finite elements and boundary elements; bearing capacity analysis with pile load tests; and empirical methods utilizing the engineering properties of rocks. Various approaches have been proposed to calculate the bearing capacity of piles from load tests. Empirical correlations obtained from databases of pile load tests through back-analysis also provide an approach in estimating the skin friction and end bearing capacities of piles.

This research contains two main sections. The first section is the collection of pile load tests and evaluation of the methods for bearing capacity of piles based on these test results. To this end, the “Turkish PLT (Pile Load Test) Database”, consisting of pile load tests conducted solely in Turkey, has been designed and set-up. The second section is the analysis of fourteen rock-socketed piles within the database in terms of their bearing capacity. The followed steps are: (a) calculating the bearing capacity of piles by evaluating the results of pile load tests, (b) calculating end bearing and skin friction with empirical methods which utilize the unconfined compressive strength of rocks, and (c) analyzing rock-socketed piles are analyzed through a geometric model coupled with the Mohr-Coulomb material model using Plaxis, a common finite elements code.

As a result of this research, the “Turkish PLT (Pile Load Test) Database” is evaluated and suggestions for pile load tests are given. Similarly, rock-socketed piles are investigated and recommendations for design are suggested.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Genel

Kazık Yükleme Deneyleri, zeminlerde veya kayalarda inşa edilen ya da inşa edilmesi tasarlanan kazıkların yük taşıma kapasiteleri ve yük-oturma davranışını belirlemek için uygulanabilecek en sağlıklı yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Çünkü bu deney tam ölçekli bir model deneydir. Kazık yükleme deneyleri çeşitli amaçlar içermektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1-Kazık kapasitesini belirlemek,

2-Öngörülen kazık servis yükünün, kazık imalatından sonra kontrolünü yapmak,

3-Kazık temelin yük-yer değiştirme ilişkisini saptamak.

Statik Yükleme Deneyleri, Kazık Yükleme Deneylerinin bir türüdür. Eksenel Basınç ve Eksenel Çekme Deneyleri ise Statik Yükleme Deneyinin türleridir. Bu deneyler için kullanılan standartlar ASTM D-1143/D1143M (2007), ASTM D-3689 (2007), TS 3167 (1978), TS 3168 EN 1536 (2001) ve TS 3169 (1978)'dir. Deneylerin yapıma prensipleri ve dikkat edilecek hususlar bu standartlar içinde ayrıntılı olarak verilmektedir.

Kazık Yükleme Deneylerinin, yukarıda belirtilmiş olan yapıma amaçları doğrultusunda, deney sonuçlarının yorumlanması gerekmektedir. Eksenel Basınç ve Eksenel Çekme altındaki kazıklara uygulanan deneylerin taşıma kapasitelerini belirlemek için deplasmana bağlı olarak literatürde birçok kriter önerilmiştir. Bunun yanında kazık yükleme deney sonucu elde edilen yük-deplasman grafiği analiz edilerek, kazık taşıma kapasitesini bulmak adına birçok grafiksel yöntem önerilmiştir.

Veri tabanı genel olarak tanımlanırsa, kullanım amacı düşünülerek oluşturulmuş bilgiler topluluğudur. Birbirleriyle ilişki de olan verilerin tutulduğu, mantıksal ve fiziksel olarak tanımlarının olduğu veri depolarıdır. Verilerin tanımlanması, toparlanması ve toparlanan verilerden yararlanılması için bir sisteme ihtiyaç vardır. Veri tabanı yönetim sistemi (VTYS), yeni bir veri tabanı oluşturmak, bu veri tabanı içinde düzenlemeler yapmak, geliştirmek gibi karmaşık olan işlemlerin daha sistematik bir şekilde yapılmasını sağlamak amacı ile oluşturulmuş bir yazılım sistemidir.

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'de yapılan kazık yükleme deneylerinden oluşan bir veri tabanı meydana getirilmiştir. Kullanım kolaylığı ve düzen açısından Veri Tabanı bir

bilgisayar yazılımı şeklinde meydana getirilmiştir. Programın adı, *Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı Programı*'dır. Bu program Türkiye'de yapılan kazık yükleme deneylerini kapsamaktadır. Program kazık yükleme deneyleri üzerinde çalışma yapmakta olan araştırmacılar için tasarlanmıştır. Bu programda, kayıtlı deneyler için, kazık yükleme deneylerine ait ulaşılabilen tüm veriler kaydedilmiştir. Kayıtlı verilerde ticari ve kişisel hakları korumak amacıyla -proje ismi, zemin etüdü yapan firma ve sondör gibi veriler- belge asıllarında düzenlemeler yapılarak gizlenmiştir.

Bu programın tasarımında ve yazılımında emeği geçenler;

Mustafa KİRKİT (İnşaat Mühendisi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı yüksek lisans öğrencisi)

Dr. Cem AKGÜNER (Öğretim Üyesi – Yıldız Teknik Üniversitesi)

Erol SERBEST (Bilgisayar Mühendisi)

Üst yapıdan aktarılan yüklerin taşınabilmesi ve proje için hizmet görme limit durumları açısından sınırlandırılması gereken yer değiştirmeler söz konusu ise kazık temellerin daha derinlerde bulunan kaya kütlesi içine soketlenmesi gerekmektedir. Büyük açıklıklı köprü, yüksek katlı binalar vb. gibi büyük miktarda yüklerin temellere aktarıldığı durumlarda, ayrıca toplam yer değiştirme, farklı yer değiştirme, açısız dönme vb. gibi yer değiştirmelerin sınırlandırılması durumunda kazığın kayaya soketlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Soketli kazıklarda uygulanan yükleri taşıma durumuna göre üç farklı şekilde tasarım yaklaşımı bulunmaktadır.

- 1- Sürtünme ve adhezyon etkisiyle kazığın çevresinde yüklerin taşınması,
- 2- Uygulanan yüklerin kazık alt ucu tarafından karşılanması,
- 3- Hem taban hem de çevrede yük taşınması.

Kayaca soketli fore kazık tasarımı yapılacağı zaman, çevre sürtünmesi ve uç taşıma kapasitesinin ikisi birlikte mutlaka hesaba katılmalıdır. Çevre direnci ve uç taşıma direncinin tahmininde uygulamada genel olarak arazi deneylerinden türetilmiş ampirik bağıntılar kullanılmaktadır.

## 1.2 Konu ve Araştırmanın Hedefi

Bu tez çalışmasının konusu “Kazık Yükleme Deneyleri” genelinde “Kayaya Soketli Fore Kazıkların Analizi”dir. Bu çalışma sırasında aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1-Kazık yükleme deneylerinin toplanması ve deneylerin yorumlanmasına yönelik çalışmalar

2-Veri tabanı ve veri tabanı yönetim sistemlerinin incelenmesi

3-Kayaların mühendislik özelliklerinin araştırılması

4-Kayaya soketli fore kazıkların davranışı ve analiz prensipleri

Bu çalışmanın hedeflerini şöyle sıralamak mümkündür.

1-Türkiye’de yapılan kazık yükleme deneylerinden bir veri tabanı oluşturulması

2-Türkiye’de imal edilmiş kayaya soketli fore kazıklara yapılan kazık yükleme deney sonuçlarının değerlendirilerek kazık taşıma kapasitelerinin belirlenmesi

3-Veri tabanında kayıtlı olan kayaya soketli fore kazıkların ampirik yöntemler ile taşıma kapasitelerinin hesap edilmesi ve kazık yükleme deney sonuçları ile karşılaştırılması

4-Veri tabanında bulunan kayaya soketli fore kazıkların, bilgisayar yazılımı PLAXIS ile modellenmesi

## 1.3 Organizasyon

Kazık temellerin davranışını incelemek ve taşıma kapasitesini belirlemek adına yapılan kazık yükleme deneyleri ve bu deneylerin yorumlanması Bölüm 2’de ele alınmıştır. Kazık yükleme deneyi türleri, yükleme metodları ve literatürde genel kabul görmüş kazık yükleme deney sonucunu değerlendirme yöntemleri bu bölümde anlatılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneylerinden oluşturulan bir veri tabanı hakkında bilgiler Bölüm 3’de verilmektedir. Veri tabanı bu tez çalışması kapsamında oluşturulmuştur. Veri tabanı kullanım kolaylığı ve düzen sağlamak amacı ile “Türkiye Kazık Yükleme Deneyleri (KYD) Veri Tabanı” adı altında bir bilgisayar programı olarak hazırlanmıştır. Bu bölümde programın kullanımı ve programa kaydedilen kazık yükleme deneylerine ait verilerin kapsamı hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında programa kaydedilen kazık yükleme deneylerinin listesi ve çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması bu bölüm içinde sunulmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında veri tabanına kaydedilmiş kayaya soketli kazıklara yapılan yükleme deneyleri ele alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca kayaya soketli kazıkların taşıma gücü değerleri ampirik yöntemlerle hesap edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kayaların mühendislik özelliklerine gereksinim duyulmuştur. Kayaların mühendislik özellikleri genel olarak Bölüm 4’de anlatılmıştır. İstanbul kayalarının mühendislik özellikleri ise Ek-1’de verilmektedir. Kayaya soketli kazıkların davranışı ve soketli kazıkların taşıma gücünü belirlemek için kayaların mühendislik özelliklerini dikkate alan ampirik yöntemler Bölüm 5’de sunulmuştur.

Bölüm 6’da Türkiye Kazık Yükleme Deneyleri (KYD) Veri Tabanına kayıt edilmiş olan kayaya soketli kazıklar kazık yükleme deney sonuçları kullanılarak ve kaya dayanım parametrelerini kullanan ampirik yöntemler ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca veri tabanında kayıtlı kayaya soketli kazıklar için Geoteknik Mühendisliğinde sıklıkla kullanılan Plaxis programı ile kayaya soketli kazık yükleme deneyleri nümerik olarak modellenmiş ve hesap sonuçları ile arazi deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Kayaya soketli kazıkların yükleme deneylerine ait PLAXIS modellerinde kullanılan zemin parametreleri ve PLAXIS analizi sonuçları Ek-2’de sunulmaktadır.

Bölüm 7’de bu tez kapsamında yapılan çalışmaların bir değerlendirilmesi, sonuçlar ve ilerideki araştırmalar için öneriler bulunmaktadır.



## 2. KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ VE YORUMLANMASI

### 2.1 Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık Yükleme Deneyleri, zeminlerde veya kayalarda inşa edilen ya da inşa edilmesi tasarlanan kazıkların taşıma kapasitesini belirlemek için uygulanan bir yöntemdir.

Kazık temellerin taşıma kapasitesini doğru olarak belirlemek kolay değildir. Kazıklı temellerin tasarımı, kazık - zemin ilişkisini basitleştiren teorik hesaplara ve ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Analizlerde kullanılan verilerdeki kabuller yanında tasarım yöntemlerinin farklı sonuçlar vermeleri ve hassasiyetinin istenilen seviyede olmamasından dolayı, kazıklı temel tasarımı için kazık yükleme deneyi yapılması önerilmektedir.

Kazıkların taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde en sağlıklı yöntemin kazık yükleme deneyleri olduğu bilinen bir gerçektir. Çünkü bu deney tam ölçekli model bir deneydir.

Her yapılan deney gibi kazıklı yükleme deneyleri de çeşitli amaçlar içermektedir (Birand, 2007). Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1-Kazık kapasitesini belirlemek,
- 2-Öngörülen kazık servis yükünün, kazık imalatından sonra kontrolünü yapmak,
- 3-Kazık temelin yük-yer değiştirme ilişkisini saptamak.

Kazıklı temel uygulanması düşünülen bir projede, kazık yükleme deneyi yapılışının zorlukları ve kazanımları ile deneyin yapılmamasının bedeli iyi karşılaştırılmalıdır. Kazık yükleme deneyinin sonucuna bağlı olarak boyut ve imalat bakımından ekonomi ve taşıma gücü yönünden güvenlik sağlanabilir. Fakat deney yapılmamasının getirdiği risk, kazıkların bir kez yerleştirildikten sonra bir daha incelenememeleri nedeni ile artacaktır (Yıldırım, 2004).

Kazık yükleme deneyinin ne zaman gerçekleştirileceği yapım amacı ile ilişkilidir. Diğer kazıkların tasarımında dayanak noktası oluşturacak ise inşaat başlangıç safhasında yapılmalıdır. Öngörülen servis yükünün (temelin taşınması gereken yük değeri) kabulünü yapmak için ise deneyler inşaat başında ve sonunda gerçekleştirilebilir.

Kazık yükleme deneyleri sırasında dikkat edilmesi gereken konular aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ferruhoğlu, 1996):

1-Deney kazığı merkezi ile yükleme sisteminin ağırlık merkezi çakışmalıdır. Böylelikle kazığa aksenal yük uygulanması sağlanıp kazık başına ek moment gelmesi önlenmiş olur.

2-Çakma kazıkta, çakma işleminden dolayı kazık başında zedelenmeler olabilir. Bu sebepten ötürü yükleme sistemi ve şekil değiştirmeleri ölçme sistemi düzgün bir şekilde yerleştirilemeyebilir. Bu durumu önlemek için deney kazığına üst başlık yapılmalıdır.

3-Yükleme esnasında meydana gelecek dönmeler kazıkta ilave gerilmeler oluşturur. Bunu engellemek amacıyla yükleme sistemi ile kuvvet ölçme aletleri arasına küresel mafsallık yerleştirilmesi gerekir.

4-Yükleme deneyinin hassaslığı için kuvvet ve şekil değiştirme ölçüm aletleri yağmur, rüzgar, ısı değişimi gibi dış etkilere karşı branda (çadır bezi) ile etrafı ve üzeri örtülerek korunmalıdır.

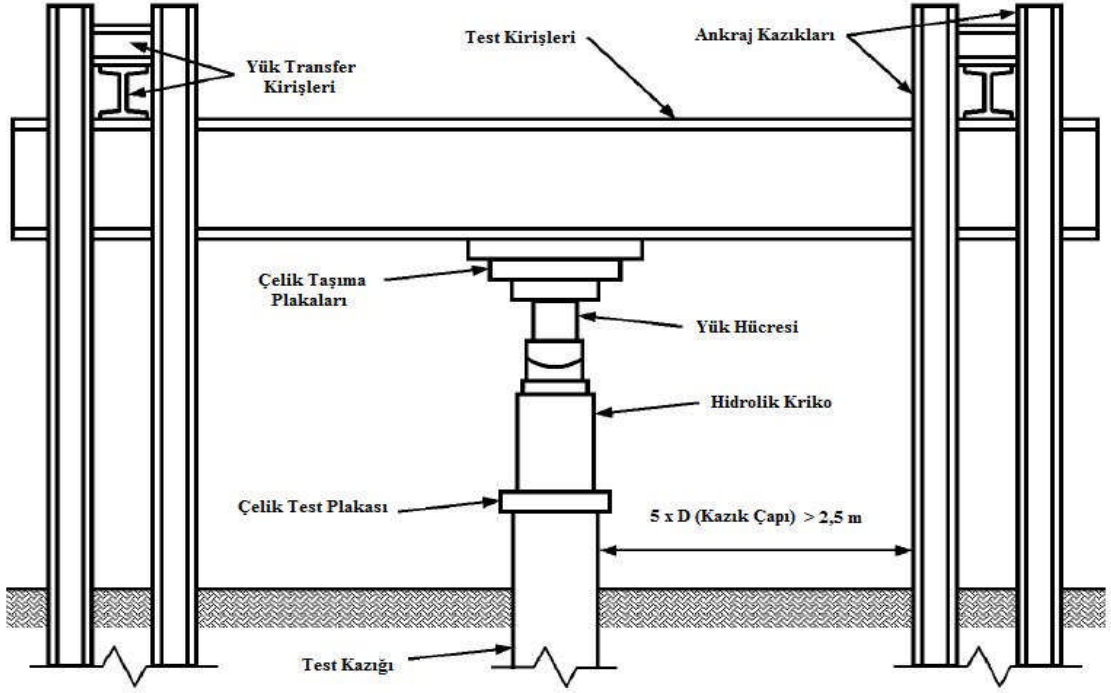
## 2.2 Statik Yükleme Deneyleri

Statik yükleme deneyleri iki amaca yönelik yapılmaktadır. Bunlardan ilki kazık temelin taşıma gücünü belirlemek için yapılan göçme deneyleridir. Bu deney, kazık göçmesi olarak tabir edebilen yük artırımını olmadan ya da çok az ek yük uygulanmasıyla aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmesi sonucu deneyin tamamlanması esasına dayanır. İkinci amaç ise tasarım yükünün sağlanıp sağlanmadığını kanıtlama amacını taşımaktadır. Bir başka ifade ile kazık temelin belirlenen servis yükündeki performansını belirlemek için yapılmaktadır. Kanıtlama amaçlı deneylerde kazık, tasarım yükünün (proje safhasında hesaplanan üst yapıdan aktarılacak yük) 1.5 – 2.0 katı kadar yüklenir.

Statik yükleme deneyleri, kazıklı derin temellerin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde güvenilirliği artırdığı için yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

### 2.2.1 Aksenal Basınç Deneyleri

Basınç deneyi kazık temellerin düşey yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi için uygulanan yöntemdir. Bu deneyin uygulanmasında en sık kullanılan şartname American Society for Testing and Materials'ın hazırlamış olduğu ASTM D-1143/D1143M (2007)'dir. Aksenal basınç yükleme deneyinin uygulama şekli bu standart içinde ayrıntılı olarak verilmiştir. Yükleme sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekilde gösterilen test kazığı dışındaki diğer iki kazık çekme yüküne çalışmaktadır.



Şekil 2.1 Kazığın hidrolik kriko vasıtasıyla ankraj kazılarından reaksiyon alarak yüklenmesi (ASTM D1143/D1143M, 2007)

## 2.2.2 Eksenel Çekme Deneyleri

Yüksek devrilme momenti etkisindeki kuleler veya suyun kaldırma kuvveti etkisinde kalan deniz platformu gibi yapılarda inşa edilen kazıklı temeller çekme yükünü karşılarlar.

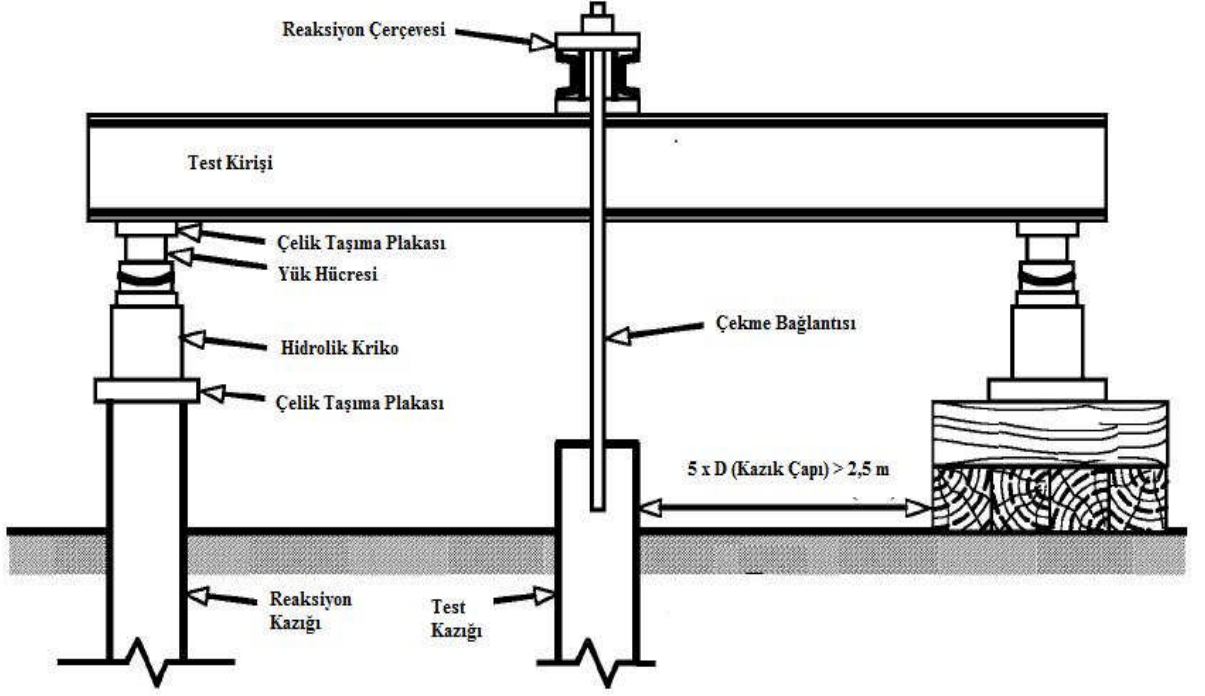
Çekme deneyi için kullanılan standart ASTM D-3689 (2007) şartnamesidir. Yüklemenin gerçekleştirilme prensipleri Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen test kazığı dışındaki diğer kazık basıç yüküne çalışmaktadır.

## 2.3 Kazık Yükleme Deney Teknikleri

### 2.3.1 Eksenel Yükleme Deney Teknikleri

Yük uygulanış biçimine göre dört tür deney tekniği mevcuttur (Yıldırım, 2004).

1. Yavaş adımlı yükleme deneyi (SML: Slow Maintained Load)
2. Hızlı adımlı yükleme deneyi (QML: Quick Maintained Load)
3. Sabit penetrasyon ile yükleme deneyi (CRP: Constant Rate of Penetration)
4. Çevrimli yükleme deneyi (SC: Swedish Cyclic Test)



Şekil 2.2 Hidrolik kriko vasıtası ile ankraj kazıklarından oluşturulan bir çerçeve ile kazığın çekme yüklenmesinin uygulanması (ASTM D3689, 2007)

### 2.3.1.1 Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi (SML)

ASTM D – 1143 standardının önerdiği bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

- Yük artırım kademeleri proje yükünün 0.25 katı artırımlarla yapılır.
- Her adımda oturma hızı 0.25 mm/saat değerine düşüncüye kadar beklenir. Eğer bu değere düşmez ise 2 saatten fazla beklenmez ve bir üst kademe yüke geçilir.
- Tasarım yükünün %200'üne kadar veya kazık göçüncüye kadar yük artırılır.
- %200 yük değerinde 24 saat beklenir.
- Yük boşaltma işlemi tekrar %25'lik azalan yük adımlarıyla gerçekleştirilir. Her adımda bekleme süresi 1 saattir.
- Boşaltmadan sonra yine yükleme yapılarak tasarım yükünün %50'si artırımlarla tasarım yükünün iki katına ulaşılır. Her adımda bekleme süresi 20 dakikadır.

Bu yöntemin avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Uygulama için özel ekipman vb. gerektirmez.
- Toplam ve net oturma kriterlerine göre değerlendirme yapmak kolaydır.

- Olumsuz yanı, bu kazık yükleme deney yönteminin 40 – 70 saat gibi uzun bir süre sürmesidir.

### 2.3.1.2 Hızlı Adımlı Deney (QML)

ASTM D – 1143’de isteğe bağlı bir deney türü olarak önerilmektedir. Kazıkların performans deneylerinde etkin olarak kullanılabilir. Bu yöntemin uygulama sırası şu şekildedir:

- Tasarım yükünün % 15’i artırımlarla kademeli olarak yükleme yapılır.
- Her yükleme adımında 2.5 dakikada bir ölçüm olarak 5 dakika beklenir.
- Tasarım yükünün %300’ü veya göçme yüküne kadar yüklenir.
- 5 dakikalık beklemeden sonra tüm yükün %25’i adımlarla indirilerek 4 kademe boşaltılır. Her kademe 5 dakika beklenir.

Bu yöntemin avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Bu deneyin uygulama süresi kısadır. Yaklaşık olarak 2-3 saatte tamamlanabilmektedir.
- Deneyin yapılışı kolaydır.
- Bu yöntem esnasında drenajsız yükleme şartları meydana gelmektedir. Bu sebepten ötürü oturma analizi için sonuçlar yorumlanamamaktadır.

### 2.3.1.3 Sabit Penetrasyon Yükleme Deneyi (CRP)

ASTM D – 1143’de isteğe bağlı bir deney türü olarak önerilmektedir. Genellikle sürtünme kazıklarının son taşıma güçlerinin bulunuşunda kullanışlı bir deney yöntemidir. Bu yöntemin uygulanması aşağıdaki gibidir:

- Kazık başı hareketi 1.25 mm/dakika hızla sağlanır.
- Toplam giriş 50 – 70 mm oluncaya kadar devam edilir.

Deney sonucu elde edilen eğride çapın %10’una karşılık gelen yük son taşıma gücü olarak alınmaktadır. Çok uzun kazıklarda elastik kısılmanın bu değerlere ulaşabileceği, büyük çaplı kazıklarda ise %10 kazık çapı mertebesine ulaşmanın zorluğu dikkate alınmalıdır. Bu gibi durumlarda değerlendirme eğrinin biçimine göre yapılmalıdır.

Bu yöntemin avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- Uygulama süresi kısadır, yaklaşık olarak 1 – 3 saatte tamamlanır.
- Drenajsız yükleme şartları sağlanmaktadır.
- Deney sonucu Yük - Deplasman eğrisinin şekli belirgindir.
- Kohezyonlu zeminlerde yorum kolaydır.

- Çok büyük reaksiyon sistemi gerektirir.
- Yük uygulama hızının fazla olması halinde deney sonunda elde edilen taşıma kapasitesi değeri olması gereken değerden fazla olabilir.
- Deney sonucu olarak elastik oturmalar hakkında bilgi vermez.

#### 2.3.1.4 Çevrimli Deney (SC)

İsveç Kazık Komisyonu (Swedish Pile Commission) tarafından önerilen bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulama koşulları şunlardır:

- İlk aşamada kazık temel tasarım yükünün 1/3'üne kadar yüklenir.
- Yük, tasarım yükünün 1/6 değerine düşürülür. Yükleme – boşaltma işlemi 20 defa tekrarlanır.
- Birinci aşamadaki yükün %50'si daha fazla yüke çıkarılır. İkinci aşamadaki gibi tekrar tasarım yükünün 1/6 değerine düşülür ve 20 defa tekrarlanır.
- Bu işlem göçme yüküne kadar devam eder.

Bu yöntem zaman alıcı olup çevrimler kazık davranışını etkilemektedir. Çevrimli yüklemenin önem kazandığı deprem yükleri etkisi altında kalabilecek olan tasarımlarda uygulanması daha uygundur (Yıldırım, 2004).

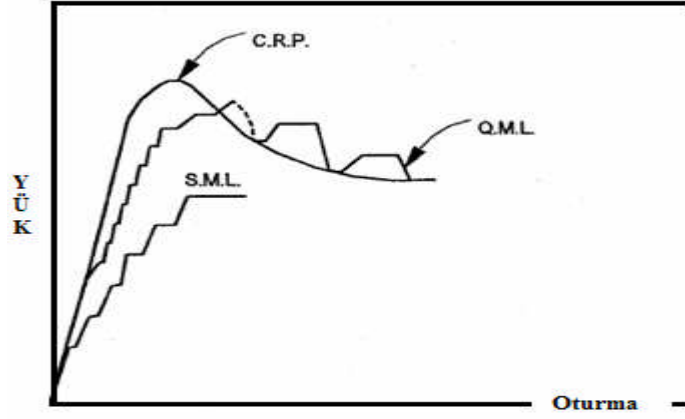
#### 2.3.1.5 Eksenel Kazık Yükleme Deney Yöntemleri Karşılaştırılması

Fellenius (1975), sıradan yükleme deneyleri için sürenin kısa olması ve kolay yapılabilmesi nedeniyle QML deneyinin uygulanmasını önermektedir.

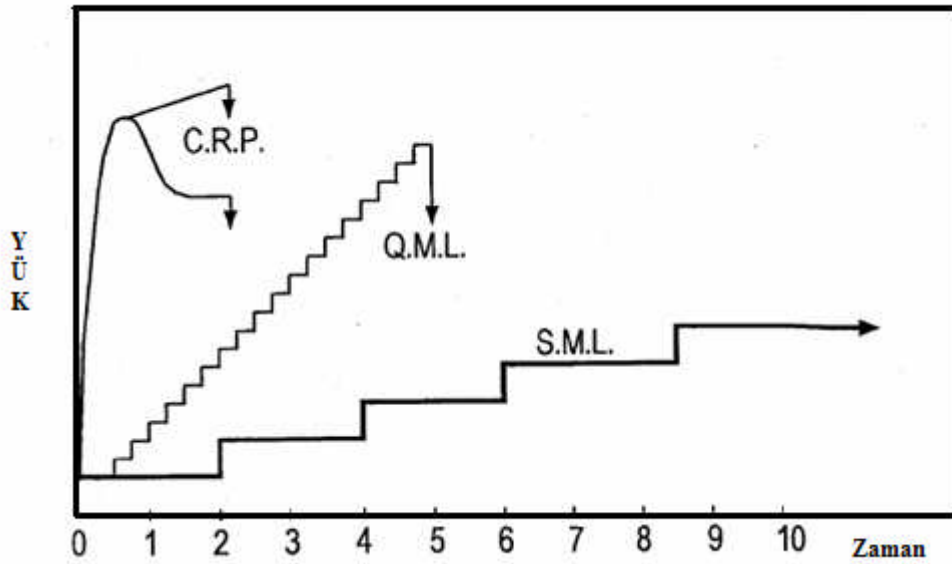
Canadian Geotechnical Manual'da (2006), SML ve QML yöntemlerinden hangisinin uygulanması konusunda karar vermekte zorlanıldığı durumlarda, önce QML deneyinin yapılması ve ardından SML deneyinin yapılması önerilmektedir.

Tomlinson (2008) CRP deneyinin yüksek maliyetli olmasından dolayı ve pratik olarak uygulanamamasından ötürü saha deneyinden daha çok model deneylerde uygulanmasının doğru olacağını belirtmiştir.

Kazık yükleme deney yöntemi ile oturma arasındaki ilişki Şekil 2.3'de ve zaman ilişkisi Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Deney yöntemlerinin oturma açısından karşılaştırılması (Fellenius, 1975)



Şekil 2.4 Deney yöntemlerinin zaman açısından karşılaştırılması (Fellenius, 1975)

## 2.4 Kazıklı Yükleme Deney Sonuçlarının Yorumlanması

Kazık yükleme deneylerindeki esas amaç, kazık temelin taşıma kapasitesini ve yer değiştirmesini belirlemektir. Kazık taşıma kapasitesi kazık yükleme deneylerinden elde edilen yük – deplasman eğrisi değerlendirilerek hesaplanır.

### 2.4.1 Eksenel Basınç Altındaki Kazıkların Taşıma Kapasitesi

Bir kazığın taşıma kapasitesi için çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır (Yıldırım, 2004; Tomlinson, 2008). Bunlar:

- Ulaşılan yükte oturmaların hızla gerçekleşmesi veya başka bir ifadeyle kazığın batması olarak tanımlanır.
- Kazık taban çapının %10'u kadar oturmaya karşılık gelen yük değeri kazık taşıma gücüdür.
- Toplam oturmanın 38 mm olmasına karşılık gelen yük değeri kazık taşıma kapasitesini verir.

Elde belirli bir kriter yoksa, tasarım yükünün 2 katına kadar yükleme yapılır, 19 mm deplasmana karşılık gelen yük değeri kazık taşıma kapasitesi olarak belirlenir (Yıldırım, 2004).

ASCE tarafından önerilen kazık yükleme deney yorumlama yöntemleri şunlardır (U.S. Army Corps of Engineers,1991; Ezeldin, 2004):

1.Kazık başının toplam oturmasını sınırlayan yöntemler

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

2. Plastik oturmayı sınırlandıran yöntemler

- a. 6.4 mm, (AASHTO, New York Eyaleti, Louisiana Eyaleti)
- b. 12.7 mm, (Boston)

3. Plastik/Elastik oturma oranı 1.5 olarak sınırlayan yöntem, (Danimarka)

4. Oturma/Birim Yük oranını sınırlayan yöntemler

- a. Toplam 0.25 mm/ton, (California Eyaleti, Chicago şehri)
- b. Artış 0.75 mm/ton, (Ohio eyaleti)

1.27 mm/ton, (Raymond International)

5. Plastik Oturma/Birim Yük oranını sınırlayan yöntemler

- a. Toplam 0.25 mm/ton, (New York City)
- b. Artış 0,08 mm/ton, (Raymond International)



## 6. Yük – Oturma eğrisinin yorumuna dayalı yöntemler.

a. Maksimum Eğrilik: Yük – yer değiştirme grafiği logaritmik olarak çizilir. Maksimum eğrilik olan nokta kazık göçme yükünü verir.

b. Teğet: Eğrilerin üst ve alt kısmından teğetler çizilir. Kesişme noktası göçme yükü olarak tanımlanır.

c. Kırılma Noktası: Plastik oturmanın keskin bir şekilde kırıldığı nokta veya toplam oturmanın keskin olarak kırıldığı nokta (Los Angeles şehri)

7. Kazık temelin batmasına karşılık gelen yük değeri bulunur. (Kazık penetrasyonunun 0.2B değerini aşması durumunda kazıkta yük artırımını sürdürülemez.)

8. Texas hızlı yük yöntemi: Yüke karşılık gelen tüm oturma eğrisinin ilk eğiminin teğeti çizilir. Sonra yüke karşılık gelen tüm oturma eğrisinin 25.4 mm/ton değerinden aşağıda bir kısmının teğeti çizilir. İki teğetin kesişme noktası kazık taşıma kapasitesi değerini verir.

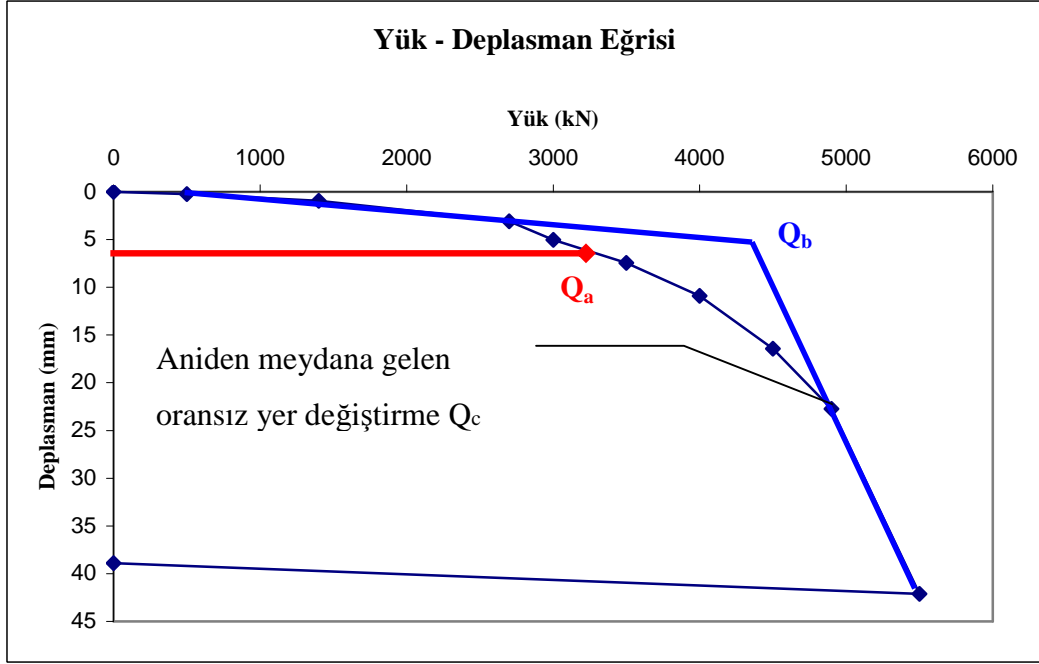
### 2.4.2 Eksenel Çekme Altındaki Kazıkların Taşıma Kapasitesi

Göçme yükü olarak çeşitli kriterler önerilmiştir ( Bowles, 1997).

- Kazığın yukarı doğru 6.25 mm deplasmanına karşılık gelen yük değeridir. Şekil 2.5’de gösterilen  $Q_a$  değeri bu durumu göstermektedir.
- Yük – Deplasman eğrisinin başlangıç ve son kısımlarından çizilen teğetlerin kesişim noktasına karşılık gelen yük değeridir. Şekil 2.5’de gösterilen  $Q_b$  değeri bu şartı temsil etmektedir.
- Yük – Deplasman eğrisinde, aniden meydana gelen (çok az yük artımına karşılık deplasmanların hızla artması) yer değiştirmelere karşılık gelen yük değeridir. Şekil 2.5’de gösterilen  $Q_c$  değeri bu şartı temsil etmektedir.

### 2.5 Kazık Yükleme Deney Sonuçları Değerlendirilmesi İçin Önerilen Yöntem ve Kriterler

Kazık yükleme deney sonuçlarının değerlendirilmesi için birçok yöntem ve kriter önerilmiştir. Bu kısımda genel kabul görmüş yöntemlere yer verilmiştir.



Şekil 2.5 Eksenel çekme yükü altındaki kazıkların göçme yükünün belirlenmesi

### 2.5.1 Chin – Kondner Yöntemi (1970)

Chin, Kondner'ın (1970), gerilme – deformasyon üzerine yapmış olduğu genel çalışmasını kullanarak kazık taşıma gücünün belirlenmesi için ayrıntıları Şekil 2.6'da verilen yöntemi önermiştir.

Uygulanan yük ( $Q$ ) ve kazık başı yer değiştirmesi ( $\Delta$ ) değerlerine göre  $\Delta/Q - \Delta$  doğrusu çizilir. Doğrunun  $\Delta/Q$  eksenini kestiği değer  $C_2$ , doğrunun eğimi  $C_1$  değeridir. Doğrunun eğiminin tersi deney yapılan kazık temelin göçme yükünü verir.

$$Q_{ult} = \frac{1}{C_1} \quad (2.1)$$

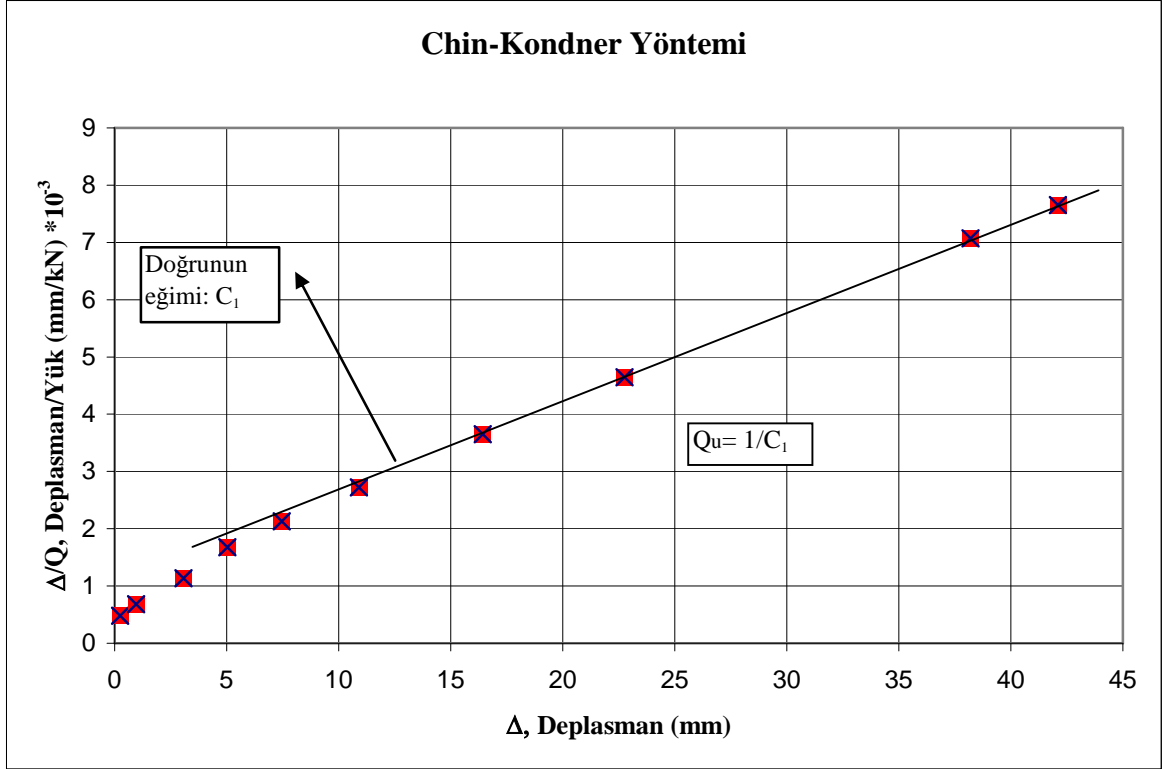
Doğrunun denklemi:

$$\frac{\Delta}{Q} = C_1 \cdot \Delta + C_2 \quad (2.2)$$

$$Q = \frac{Q_{ult} \cdot \Delta}{\Delta + Q_{ult} \cdot C_2} \quad (2.3)$$

Chin – Kondner yöntemi yavaş kademeli (SML), hızlı kademeli (QML) ve sabit penetrasyon oranı ile yükleme (CRP) deneyleri sonuçlarının yorumlanması için uygundur.

Chin – Kondner yönteminde (2.3) Eşitliği kullanılarak deneyin herhangi bir safhasında göçme yükünü hesaplamak mümkündür.



Şekil 2.6 Chin – Kondner yöntemi

Fellenius'a (2006) göre, deplasman Davisson limitini geçmeden önce gerçek doğru oluşmaz. Genel olarak Chin – Kondner yöntemi ile elde edilen kazık göçme yükü Davisson limiti ile belirlenen göçme yükünden %20 - %40 daha fazladır.

### 2.5.2 Brinch – Hansen %80 Yöntemi (1963)

Brinch – Hansen (1963) tarafından önerilen yöntemle göre  $(\Delta)^{0.5}/Q$  ile  $\Delta$  arasında oluşturulan eğrinin doğrusallaştığı kesim,  $(\Delta)^{0.5}/Q = C_1 \cdot \Delta + C_2$  ile gösterilirse kazığın göçme yükü (Fellenius, 1975), (Şekil 2.7):

$$Q_{ult} = \frac{1}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}} \quad (2.4)$$

Kazığın göçme anındaki kazık başı hareketi:

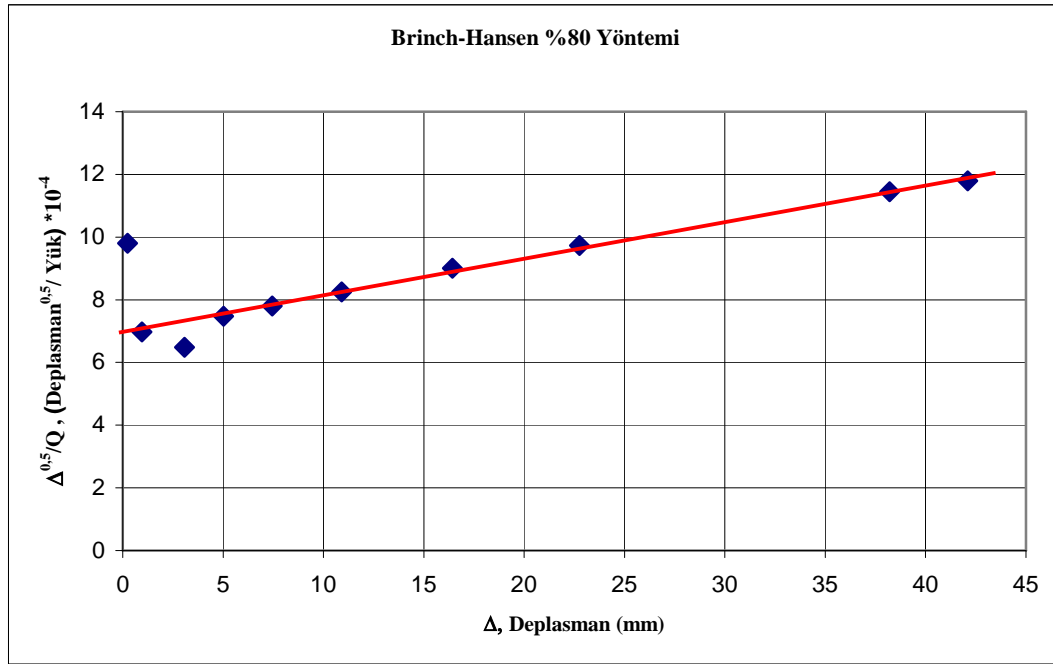
$$\Delta_{ult} = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.5)$$

Doğrunun denklemi:

$$\sqrt{\frac{\Delta}{Q}} = C_1 \cdot \Delta + C_2 \quad (2.6)$$

Doğrunun  $\frac{\Delta^{0.5}}{Q}$  eksenini kestiği değer  $C_2$ , doğrunun eğimi  $C_1$  değeridir.

Bu yöntem yük – deplasman eğrisinin parabolik olduğunu varsaymaktadır. Yavaş kademeli (SML) ve hızlı kademeli (QML) yükleme deneyleri için makul ölçüde değerler vermektedir (Yıldırım, 2004).



Şekil 2.7 Brinch – Hansen %80 yöntemi

### 2.5.3 Davisson Yöntemi (1972)

Davisson (1972) kazıkların sınır bir deplasman ( $\Delta$ ) değerine karşılık gelen yükün kazık taşıma kapasitesi olarak kabul edilebileceğini öne sürmüştür. Şekil 2.8'de yöntem gösterilmiştir.

$$\Delta = \delta_e + \delta_s + \delta_{sp} \quad (2.7)$$

$\Delta$ : Davisson sınır yer değiştirme değeri (mm)

$\delta_e$ : kazığın elastik boy kısalması (mm)

$\delta_s$ : kazık ucundaki zeminin elastik sıkışması (mm)

(30 cm çapındaki çakma kazıklar için 2,54 mm)

$\delta_{sp}$ : kazık ucundaki zeminin limit plastik sıkışması = 3,81 mm

Yukarıdaki değerler (2.8) Eşitliğinde yerine konulduğunda,

$$\Delta = \delta_e + 4 + 0,008 \cdot D \quad (2.8)$$

D: kazık çapı veya kazık genişliği (mm)

$$\delta_e = (Q_b + \alpha_s \cdot Q_s) \cdot L / (A \cdot E) \quad (2.9)$$

$Q_b$ : kazık uç kısmı ile taşınan yük (kN)

$Q_s$ : kazık çevre sürtünmesi ile taşınan yük (kN)

L: kazık boyu (mm)

A: kazık kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

E: kazık malzemesinin elastisite modülü (kN/mm<sup>2</sup>)

$\alpha_s$ : kazığın yükü taşıma şekline bağlı bir katsayı

$\alpha_s = 0$  (uç kazığı olması durumu)

$\alpha_s = 0.5$  (şaft cidarı boyunca sürtünmenin uniform yayılı olması durumu)

$\alpha_s = 0.67$  (sürtünme kazık ucunda maksimum ve tepe noktasında 0 olması durumu)

$\alpha_s = 0.33$  (sürtünme kazık tepe noktasında maksimum kazık ucunda 0 olması durumu)

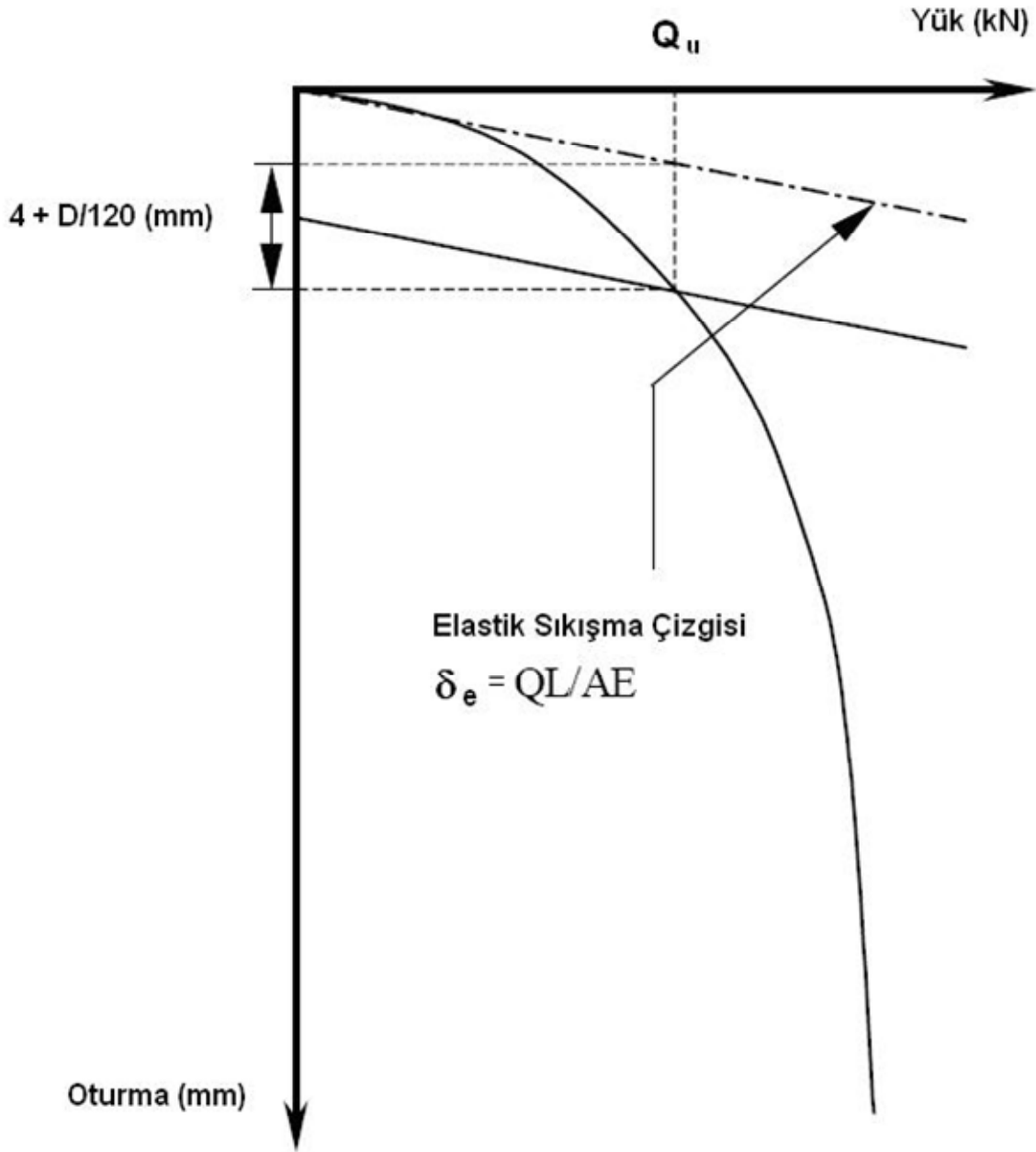
E kazık malzemesinin elastisite modülü değeri, betonarme kazık için 30 GPa ve çelik kazık için 200 GPa olarak kullanılabilir (Aschenbrener ve Olson, 1984).

Bu yöntem çakma kazıklar için önerilmiş olup hızlı kademeli yükleme (QML) deneyi için daha uygun olduğu varsayılmaktadır (Yıldırım, 2004).

Kyfor vd. (1992), fore kazıklarda uç direncinin mobilize olabilmesi için daha yüksek deplasmana ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebepten dolayı Davisson kriterinin çapı ya da genişliği 610 mm'den küçük kazıklar için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Çapı ya da genişliği 610 mm'den büyük olan fore kazıklar için Davisson kriteri için;

$$\Delta = \delta_e + D/30 \quad (2.10)$$

kullanılması önerilmektedir.



Şekil 2.8 Davisson yöntemi (Davisson, 1972)

#### 2.5.4 Decourt Yöntemi (1999)

Decourt (1999), kazık göçme yükünü tahmin etmek için, Chin-Kondner ve Hansen metodlarına benzer bir yöntem önermiştir (Fellenius, 2006).

Her yük kademesinde, yük (Q) karşılık gelen deplasmana ( $\Delta$ ) bölünür. Q – Q/ $\Delta$  grafiği çizilir (Şekil 2.9). Oluşan noktalar kümesinden bir doğru geçeceği kabul edilmektedir. Kazık göçme yükü:

$$Q_u = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.11)$$

$Q_u$ =kazık göçme yükü

$Q$ =uygulanan yük

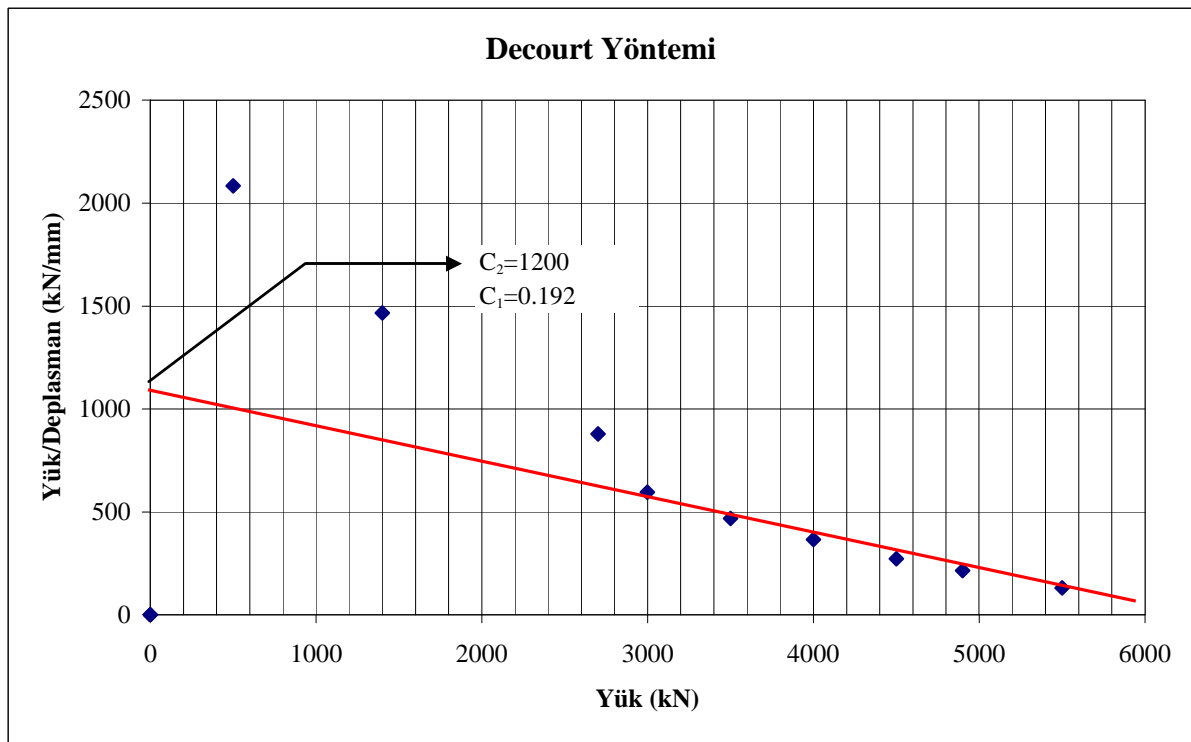
$\Delta$ =deplasman

$C_1$ =oluşturulan doğrunun eğimi

$C_2$ =doğrunun y eksenini kestiği değer

Herhangi bir yük kademesindeki deplasman Eşitlik 2.12'den bulunabilir.

$$Q_u = \frac{C_2 \cdot \Delta}{1 - C_1 \cdot \Delta} \quad (2.12)$$



Şekil 2.9 Decourt Yöntemi

### 2.5.5 Göçmeye Ulaşmamış Kazıklar

Tolosko (1999), göçmeye kadar yüklenmemiş kazıklar için Chin-Kondner ve Davisson yöntemlerini kullanarak yeni bir eşitlik önermiştir.

Başlangıçta Chin – Kondner yöntemine benzer bir şekilde,  $\Delta/Q-\Delta$  (deplasman/yük-yük) grafiği çizilir ve oluşan noktalar kümesinden bir doğru geçirilir. Doğrunun denklemi,

$$y = a \cdot x + b \quad (2.13)$$

ve

$$y = \frac{\Delta}{Q} \quad (2.14)$$

$$x = \Delta \quad (2.15)$$

$y$  = deplasman/yük

$a$  = doğrunun eğimi

$b$  = doğrunun  $y$  eksenini kestiği değer

$x, \Delta$  = kazık başında ölçülen deplasman

$Q$  = oturma değerine karşılık gelen yük değeri

Bu değerler Eşitlik 2.13'de yerine konduğunda

$$\frac{\Delta}{Q} = a \cdot \Delta + b \quad (2.16)$$

$$\Delta = \frac{b}{\frac{1}{Q} - a} \quad (2.17)$$

Davisson kriteri Eşitlik 2.16 ile kullanılarak kazık kapasitesi belirlenebilir.

$$\Delta = X + S \cdot Q \quad (2.18)$$

$\Delta$  = Davisson kriterine göre kazık başlığındaki oturma

$$X = 4 + D/120 \quad (2.19)$$

$$S = L/EA \quad (2.20)$$

$Q$  = Davisson kriterine göre kazık nihai yükü

$D$  = Kazık çapı

$L$  = Kazık boyu

$E$  = Kazık elastisite modülü

$A$  = Kazık kesit alanı

2.18 Eşitlik 2.17 Eşitliğinde yerine konularak,



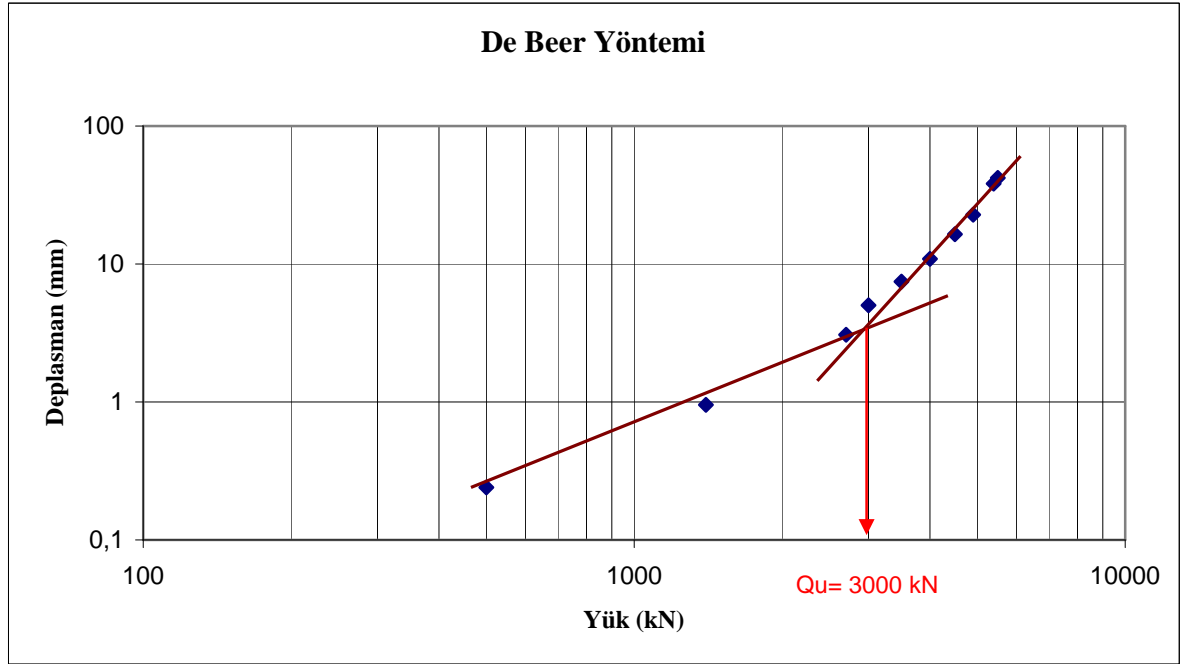
$$\left[ \begin{array}{c} b \\ \frac{1}{Q} - a \end{array} \right] = X + S \cdot Q \quad (2.21)$$

2.21 Eşitliği elde edilir. Eşitlik 2.21’de ki veriler yerine konularak ve matematiksel işlemlerle düzenlenerek kazık taşıma gücü  $Q_u$  değeri Eşitlik 2.22’de verilmiştir.

$$Q_u = \frac{\left[ -(a \cdot X + b - S) \pm \sqrt{(a \cdot X + b - S)^2 + 4 \cdot a \cdot X \cdot S} \right]}{(2 \cdot a \cdot S)} \quad (2.22)$$

### 2.5.6 De Beer Yöntemi (1967)

Bu yöntemde yük – deplasman eğrisi logaritmik olarak çizilir. Başlangıç ve sonuç kesimlerinin uzantılarının kesişim yeri kazık göçme yükü olarak tanımlanır. Bu yöntem genellikle yavaş kademeli yükleme (SML) deneyi için uygundur (Yıldırım, 2004). Yöntem Şekil 2.10’da gösterilmiştir.

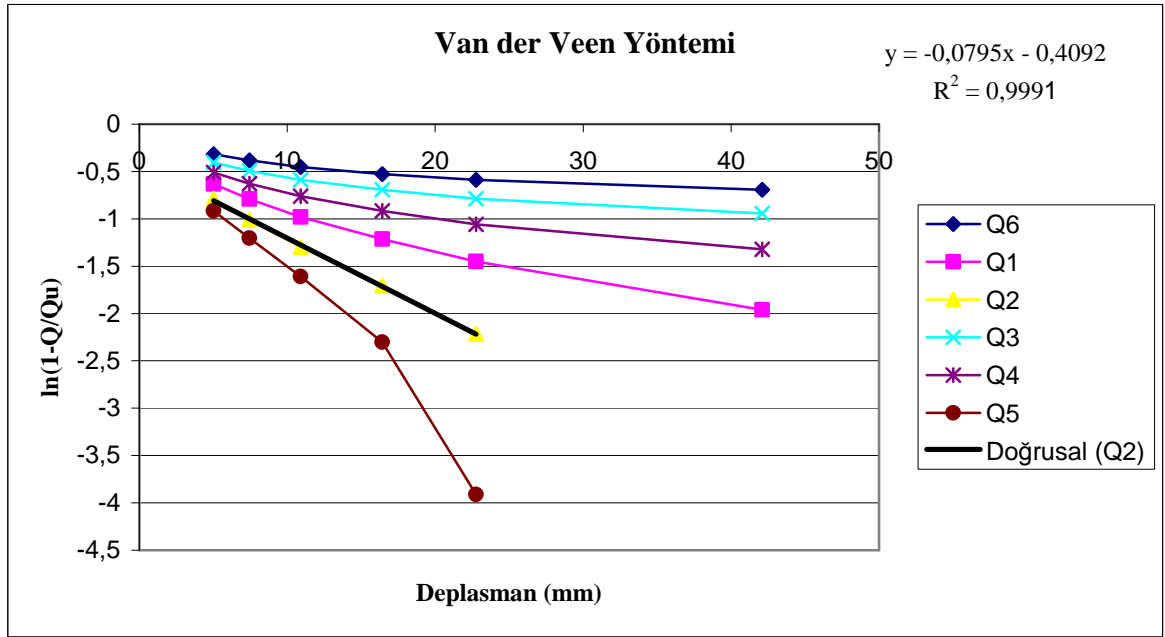


Şekil 2.10 De Beer yöntemi

### 2.5.7 Van Der Veen Yöntemi (1953)

Bu yöntemde  $Q_u$  son yükü varsayılır ve  $\ln(1 - Q_u/Q)$  değerleri değişik  $\Delta$  okumalarına karşı hesaplanır. Bu eğrilerden doğru duruma gelen doğru kazığın göçme yükü  $Q_u$  değerini

verecektir (Yıldırım, 2004). Yöntem Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Van Der Veen Yöntemi

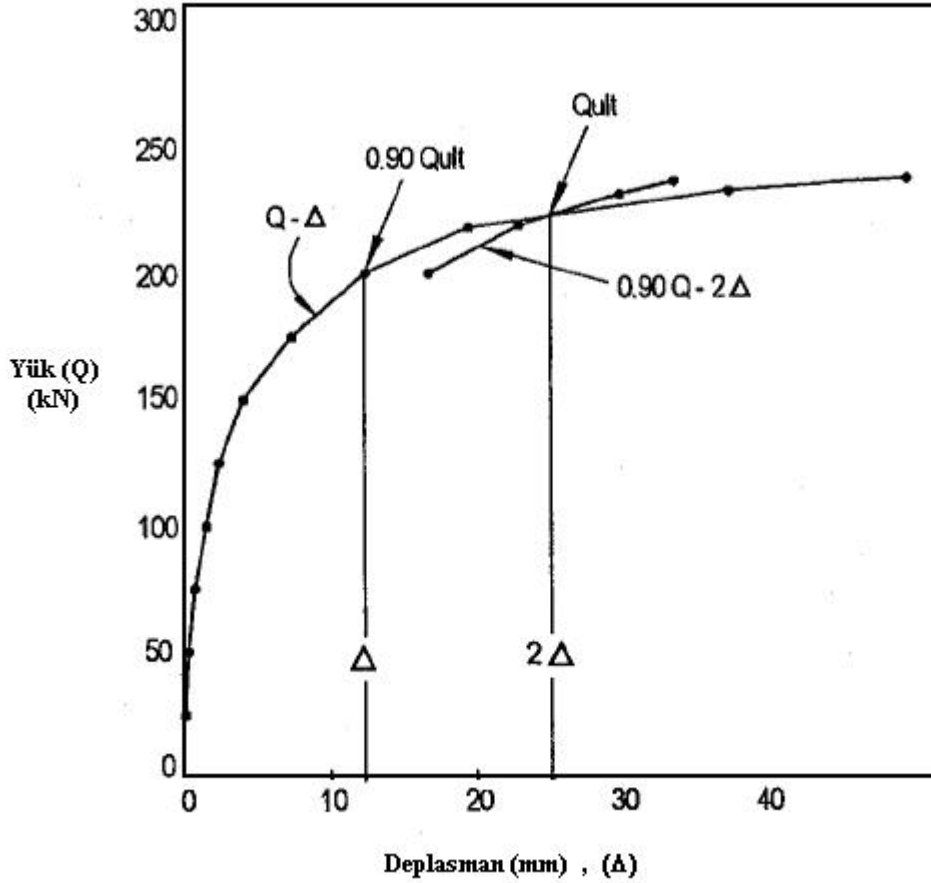
### 2.5.8 Brinch – Hansen %90 Yöntemi (1963)

Bu yöntemde göçme yükü, bu yükün %90'ına eşit bir yükte meydana gelen kazık başı hareketi, göçme yükü olarak tanımlanan yükteki meydana gelen kazık başı hareketinin %50'sine eşittir.

Brinch – Hansen (1963) tarafından önerilen bu yöntemde yük oturma eğrisinin hiperbolik olduğu kabulü yapılmaktadır (Fellenius, 1975).

Her yük kademesi için  $0,90 \cdot Q$  değeri hesaplanarak yük – deplasman grafiğinde bu değerlere karşılık gelen deplasman ( $\Delta$ ) değerleri bulunur. Daha sonra  $2 \cdot \Delta$  belirlenerek  $0,90 \cdot Q - 2 \cdot \Delta$  eğrisi oluşturulur.  $Q - \Delta$  eğrisinin  $0,90 \cdot Q - 2 \cdot \Delta$  eğrisini kestiği nokta göçme yükünü vermektedir (Şekil 2.12).

Bu yöntem sabit penetrasyonlu yükleme deneyi (CRP) için en uygun deney sonucu yorumlama yöntemidir (Yıldırım, 2004). Bu yöntemde genellikle maksimum deney yükü göçme yükü olarak elde edilir.



Şekil 2.12 Brinch – Hansen %90 Yöntemi (Yıldırım, 2004).

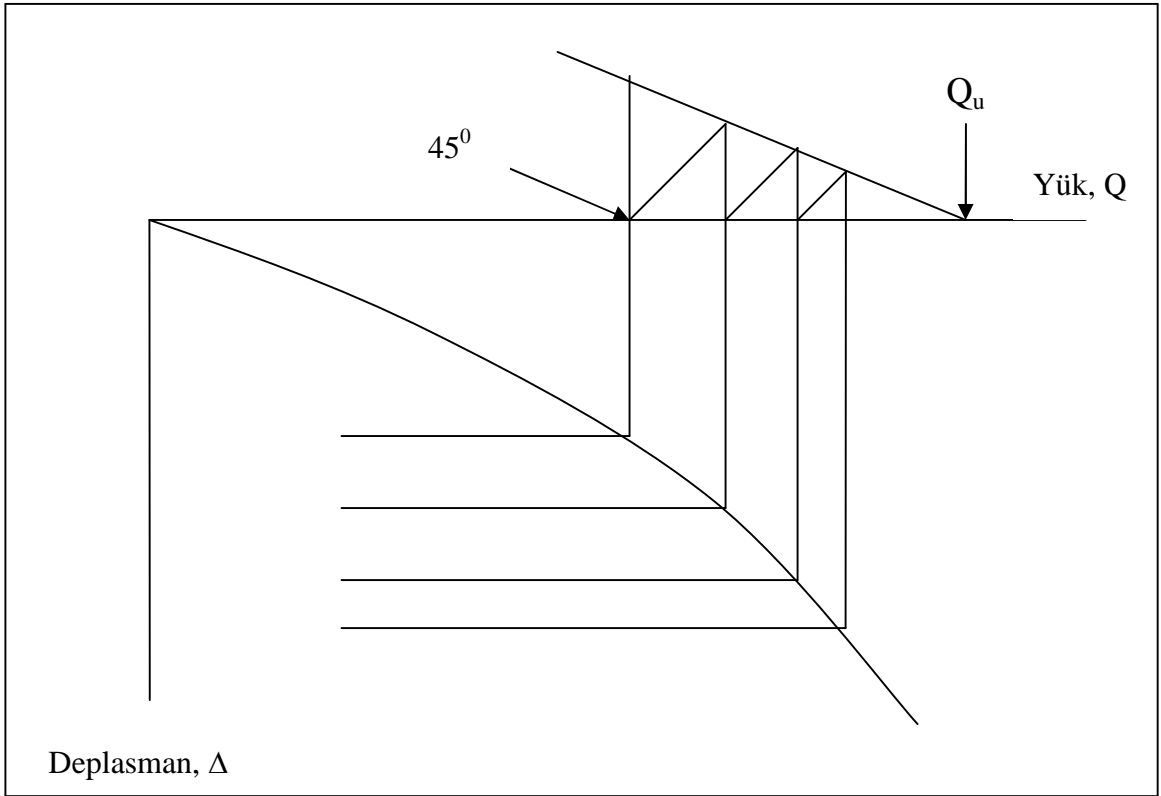
### 2.5.9 Mazurkiewicz Yöntemi (1972)

Bu yöntemde yük – deplasman eğrisinin parabolik olduğu kabul edilmektedir (Fellenius, 1975).

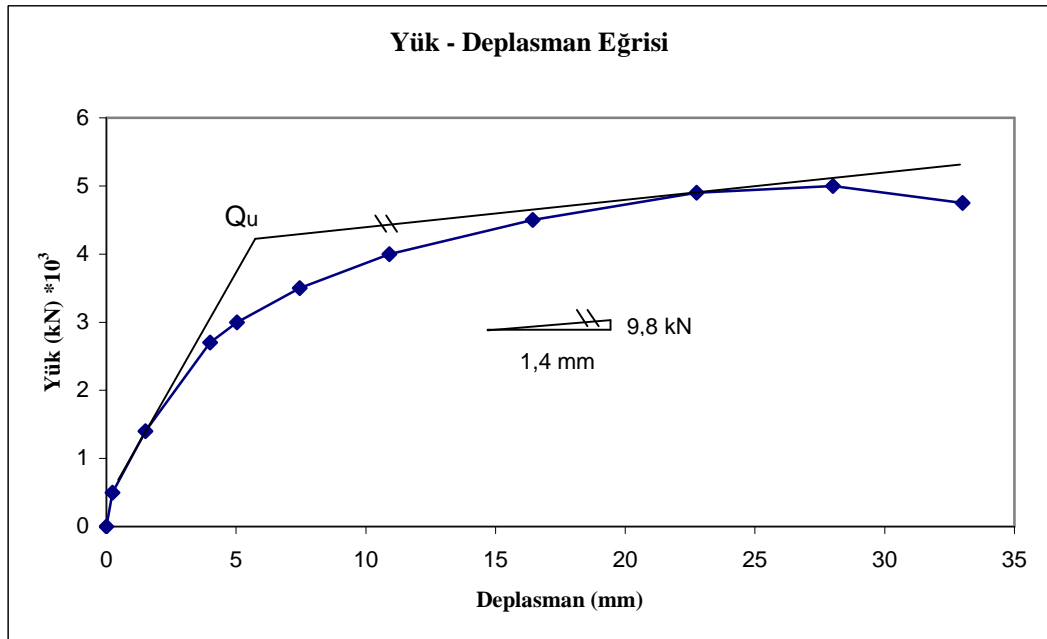
Bu yöntemde, yük – deplasman eğrisinin yer değiştirme eksenini eşit aralıklara bölünerek yük eksenine paraleller çizilir. Bu paralellerin eğriyi kestiği noktalara karşılık gelen yük eksenindeki değerleri belirlenir. Bu noktalardan 45 derece açı ile çizilen doğruların bir sonraki yük doğrusunu kestiği noktalar bulunur. Bu noktalar yaklaşık olarak bir doğru üzerinde bulunurlar. Bu doğrunun yük eksenini kestiği nokta kazık göçme yükünü verir (Şekil 2.13).

### 2.5.10 Butler – Hoy Yöntemi (1976)

Başlangıç eğrisinin teğeti ile eğimi 0,14 mm/kN (0,05 in/ton) olan doğrunun kesim noktası kazık göçme yükünü vermektedir. Hızlı adımlı Yükleme deneyleri (QML) için uygundur (Butler and Hoy, 1977). Yöntem Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



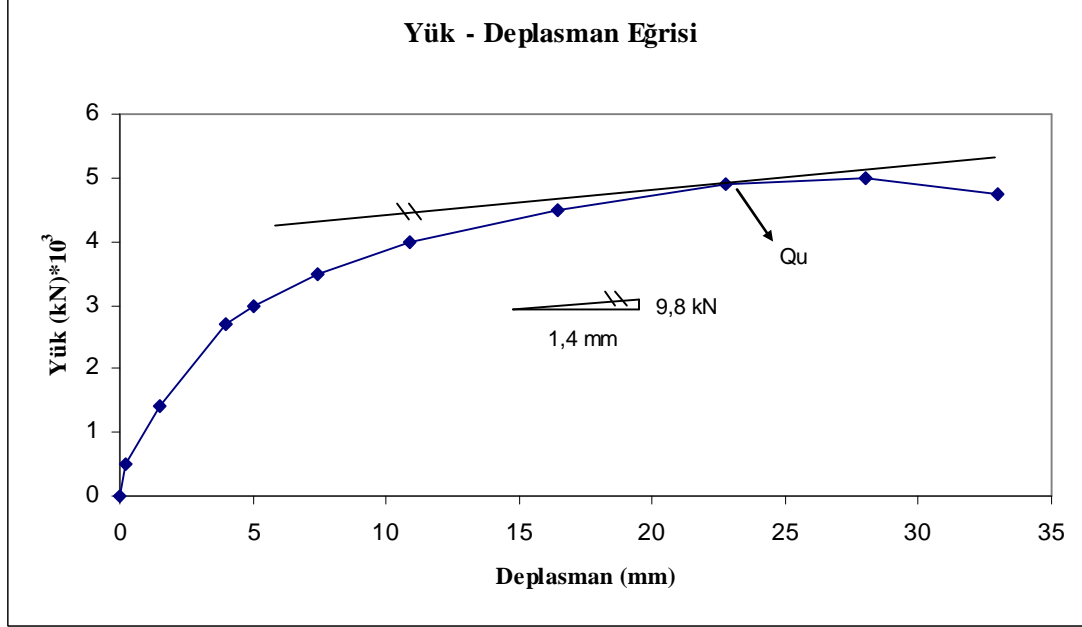
Şekil 2.13 Mazurkiewicz yönteminin şematik gösterimi



Şekil 2.14 Butler – Hoy Yönteminin uygulanması

### 2.5.11 Fuller – Hoy Yöntemi (1970)

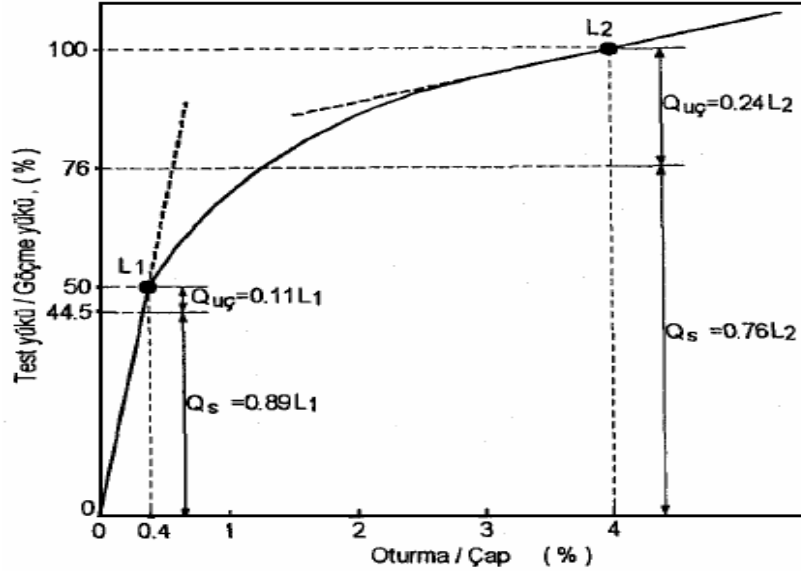
Fuller – Hoy yönteminde eğimi  $0,14 \text{ mm/kN}$  ( $0.05 \text{ in/ton}$ ) olan doğru çizilir. Bu doğrunun yük – yer değiştirme eğrisine değdiği yer kazık göçme yükünü vermektedir (Yıldırım, 2004). Şekil 2.15’de yöntem gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Fuller – Hoy Yöntemi

### 2.5.12 Hirany – Kulhawy Yöntemi

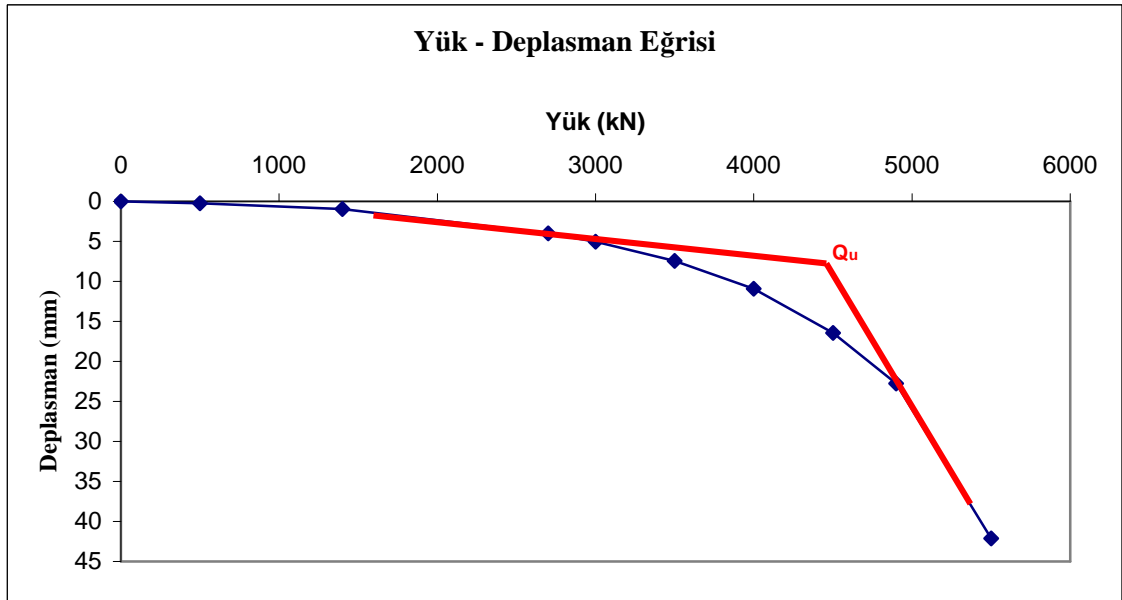
Hirany ve Kulhawy (2002), çok sayıda fore kazık üzerinde yapılan kazık yükleme deneylerinde yapılan araştırmalar sonucu deney sonuçlarını değerlendirerek kazık çapının %4’ü oranındaki ( $D \times \%4$ ) yer değiştirmeye neden olan yük değerinin kazık göçme yükü olduğunu önermişlerdir. Ayrıca bu yöntem, kazık uç direnci ile çevre sürtünmesinin taşıdığı yükün belirlenmesi için de kullanılabilir. Şekil 2.16’da yöntem gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Hirany – Kulhawy yöntemi (Hirany - Kulhawy, 2002)

### 2.5.13 Teğet Yöntemi

Bu yöntemin uygulama prensibi, yük – deplasman eğrisinin elastik ve plastik bölümlerine çizilen teğetlerin kesişme noktası kazık göçme yükünü vermektedir. Yük – yer değiştirme eğrisinin ölçeğine bağlı olması ve kişisel yoruma açık olması bu yöntemin dezavantajlarıdır (Düzceer, 2002). Şekil 2.17’de yöntem gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Teğet yöntemi

### **3. TÜRKİYE KAZIK YÜKLEME DENEYLERİ (KYD) VERİ TABANI PROGRAMI**

#### **3.1 Temel Veri Tabanı Kavramları**

##### **3.1.1 Veri**

Veri kelimesi bilgi kelimesini temsil etmektedir. Bilgi, bir nesne veya olayda ortaya çıkan mesajın iletilmesini açıklayan bir kavramdır. Böyle bir açıdan incelendiğinde bilgi kavramı, mesajın iletilmesi için ihtimal hesaplarına dayanan, belirsizliğin azaltılması için ihtiyaç olan bir kavramdır (Burma, 2005).

##### **3.1.2 Veri Tabanı**

Veri tabanı genel olarak tanımlanırsa, kullanım amacı düşünülerek oluşturulmuş bilgiler topluluğudur. Birbirleriyle ilişki de olan verilerin tutulduğu, mantıksal ve fiziksel olarak tanımlarının olduğu veri depolarıdır. Veri tabanları var olan ve aralarında ilişki bulunan nesnelere ya da olayları modeller (Burma, 2005).

Belirli bir amaçla birbiriyle ilişkide olan veriler veri tabanı programı altında toplanır. İstenildiğinde toplanan bilgilerin tümü veya istenilen kriterlere uyanları görüntülenebilir ve bunlar yeni bilgiler üretilerek çeşitli amaçlarda kullanılabilir.

Bir veri tabanından beklenen özellikler, verileri korumak, onlara erişmek ve başka verilerle ilişkisini sağlamaktır.

##### **3.1.3 Veri Tabanı Yönetim Sistemi**

Verilerin tanımlanması, toparlanması ve toparlanan verilerden yararlanılması için bir sisteme ihtiyaç vardır. Veri tabanı yönetim sistemi (VTYS), yeni bir veri tabanı oluşturmak, bu veri tabanı içinde düzenlemeler yapmak, geliştirmek gibi karmaşık olan işlemlerin daha sistematik bir şekilde yapılmasını sağlamak amacı ile oluşturulmuş bir yazılım sistemidir (Ramakrishnan, 2003).

Veri tabanı yönetim sistemi, veri tabanı ile kullanıcı arasında bir arabirim oluşturmaktadır. Bu sayede kullanıcının veri tabanına her türlü erişimi sağlanmış olur.

Veri tabanı oluşturmak üç aşamada gerçekleştirilebilir. Birincisi veri tabanının tanımlanmasıdır. Bu kısımda veri tabanını oluşturan verilerin tip ve uzunluklarının belirlenip tanıtılmasıdır. Bu kısım bir tasarım aşaması anlamına da gelebilmektedir. İkinci kısım veri

tabanının oluşturulmasıdır. Bu kısım verilerin girilmesini kapsar. Üçüncü aşama ise veri tabanı üzerinde işlem yapabilme kısmıdır. Bu kısım, belirli bir veri üzerinde sorgulama yapabilmek, veri tabanını güncellemek ve rapor üretilebilmesi gibi işlemlerin yapıldığı kısımdır (Ramakrishnan, 2003).

### 3.2 Veri Tabanı Yönetim Sistemlerinin Özellikleri ve Avantajları

Veri tabanı yönetim sisteminin sahip olduğu özellikler, kullanıcılara değişik açılardan birçok avantaj sağlamaktadır (Ramakrishnan, 2003; Burma, 2005).

- 1- Veri bağımsızlığı (Data Independence): Uygulama programları veri depolanan ve temsil edilen yerden mümkün olduğunca bağımsız olmalıdır. Veri tabanı yönetim sistemleri, uygulama kodları gibi detaylardan ayırmak için verinin genel bir özetini sağlayabilir.
- 2- Veri bütünlüğü (Data Integrity): Veri tabanı içindeki bir veri, bütün veri tablolarında birbiri ile bağlantılıdır. Bu verideki herhangi bir değişiklik bütün tablolarda uygulanmalıdır. Bu veri kaydı bir tablodan silindi ise bütün tablolardan silinmelidir.
- 3- Veri güvenliği (Data Security): Veri tabanı içindeki bir verinin, kullanıcı tarafından isteyerek veya yanlışlıkla bozulmasını önlemek için veri tabanı yönetim sistemlerinde güvenlik mekanizması oluşturulabilir. İstenildiği takdirde veri tabanı kullanıcı adı ve şifre ile korunabilmektedir. Bunlara ek olarak veri tabanı, kullanıcılara sınırlandırılabilir. Örneğin kullanıcı veri tabanı içindeki tablolardan sadece müsaade edilen tablo içindeki verileri görebilir.
- 4- Veri tekrarı (Data Redundancy): Aynı veri değişik kullanıcılar tarafından tekrar tekrar kaydedilmez. Böylece hem karmaşıklığın önüne geçilir hem de veri tabanında bir düzen ve hafıza olarak daha az bir kullanım sağlanmaktadır.
- 5- Veri tutarlılığı (Data Consistency): Aynı verinin değişik yerlerde birkaç veri tabanında bulunması durumunda, veride yapılan herhangi bir değişiklik diğer veri tabanlarında yapılmaz ise karmaşaya sebep olabilir. Veri tabanı yönetim sistemlerinde bunun önüne geçilmiş olur.

### 3.3 Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı Programı

Bu program Türkiye’de yapılan kazık yükleme deneylerini kapsamaktadır. Program kazık yükleme deneyleri üzerinde çalışma yapmakta olan araştırmacılar için tasarlanmıştır.



Bu programın yazımı “Microsoft Visual Studio 2005” aracılığıyla “C #” programlama dilinden faydalanılmıştır. Oluşturulan veri tabanının dünyadaki benzer örnekleri FHWA (Federal Highway Administration) tarafından derlenen PD/LT 2000 ve University of Florida tarafından oluşturulan FDOT adlı veri tabanı programlarıdır (Paikowsky ve Birgisson, 2004; McVay v.d. 2005).

Veri tabanına kayıt edilmiş olan Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneyleri, literatürden bu deneyler ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacılardan ve kazık yükleme deneylerini uygulamada gerçekleştiren firmalardan elde edilmiştir. Bu programda, kayıtlı deneyler için, kazık yükleme deneylerine ait ulaşılabilen tüm veriler kaydedilmiştir. Kayıtlı verilerde kişilik haklarını korumak amacıyla -proje ismi, zemin etüdü yapan firma ve sondör gibi veriler-belge asıllarında düzenlemeler yapılarak bu veriler gizlenmiştir.

Bu programın tasarımında ve yazılımında emeği geçenler;

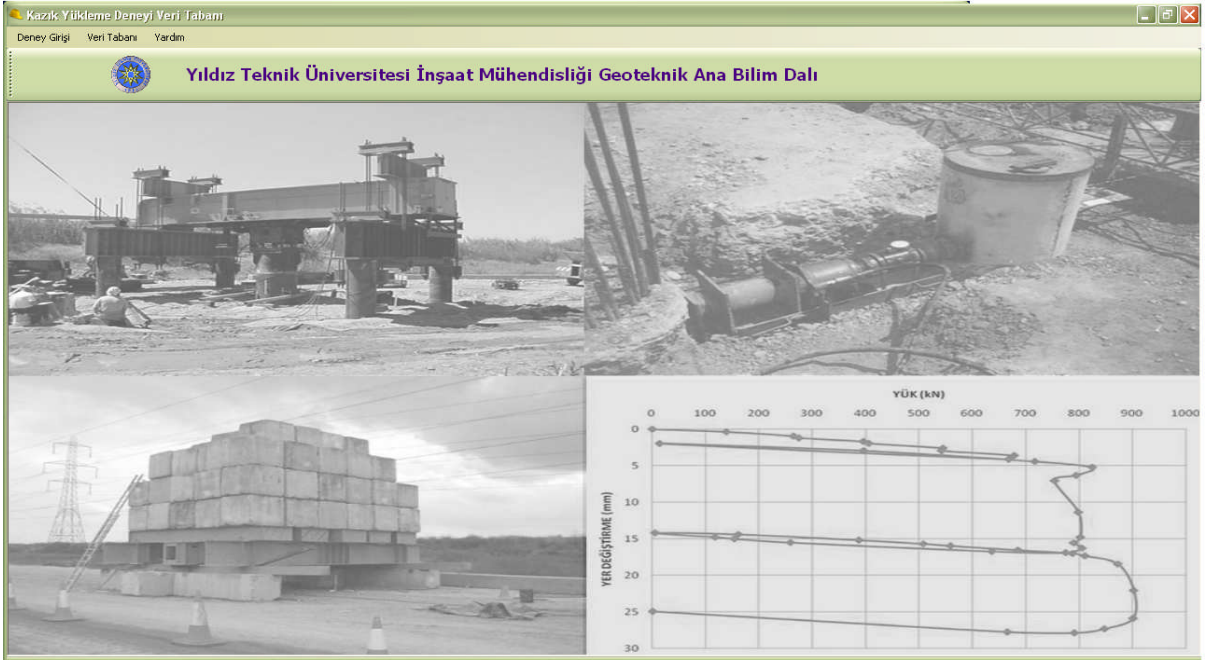
Mustafa KİRKİT (İnşaat Mühendisi ve Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Geoteknik Bilim Dalı yüksek lisans öğrencisi)

Dr. Cem AKGÜNER (Öğretim Üyesi – Yıldız Teknik Üniversitesi)

Erol SERBEST (Bilgisayar Mühendisi)

### 3.4 Program Kullanımı

Program ilk çalıştırıldığında ana pencere açılmaktadır (Şekil 3.1). Sol üst köşedeki *Deney Girişi*, *Veri Tabanı* ve *Yardım* menülerinden istenen işlem gerçekleştirilebilmektedir. Aşağıdaki açıklamalarda tuş fonksiyonu isimleri *italik* olarak, program ara yüzlerindeki yazılar ise “...” şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Türkiye KYD programı ana ekranı

### 3.4.1 Program Veri Tabanına Yapılmış Deney Verileri Girme

Ana penceredeki üst menüden Deney Girişi ve Yeni Kayıt seçeneği seçilir (Şekil 3.2). Daha sonra Programa veri ekleme ara yüzü açılmaktadır. Bu ara yüz içinde tab adı verilen alt başlıklar bulunmaktadır. Bu tablaların bir kısmı form, bir kısmı da tablo şeklindedir. İstenilen bilgiler doldurulup *Kaydet* tuşuna basılınca veriler kaydedilir. Veri girme işleminde karışıklıktan kaçınmak ve kullanım kolaylığı sağlamak için sınıflandırmalar yapılmıştır. Bunlar ana sınıf olarak deney bilgileri, kazık verileri, zemin verileri, yük – deplasman eğrisi ve taşıma gücü bilgileridir.

Form şeklinde olan ara yüzlerin kullanımı açıklanan şekilde yapılmaktadır; Formdaki boşluklar doldurulup *Kaydet* tuşuna basılarak, girilen veriler veri tabanına kaydedilmektedir. Seçme kutucuğu (combo box) şeklinde oluşturulmuş boşluklar, kutucuğun yanındaki ok işaretine tıklanarak seçim kutusu açılıp istenilen tercih işaretlenerek kullanılmaktadır. Eğer istenilen tercih seçim kutusunun içinde bulunmuyor ise yanında “Diğer” boşluğuna istenilen tercih yazılır ve *Ekle* tuşuna basılır. Böylece istenilen tercih seçim kutusunun içine eklenmiş olur. *Kaydet* tuşuna bastıktan sonra verilerin kaydedildiği, program tarafından bir mesaj kutusu açılarak onaylanmaktadır.

Tablo şeklinde olan ara yüzlerin kullanımı açıklanan şekilde yapılmaktadır; Program ara yüzünde oluşturulmuş tablodaki istenilen veriler girilir ve *Kaydet* tuşuna basılır. Ayrıca bu

kısımda kullanım kolaylığı açısından *Excel'den Kopyala* tuşu bulunmaktadır. Yük – Deplasman değerleri gibi çok sayıda bulunan verileri tek tek girmek yerine elektronik kaynaktan kopyalanan veriler Excel programında Türkiye KYD veri tabanına uygun formatta düzenlenerek veri tabanı programına aktarılabilmektedir. Burada dikkat edilecek husus Excel'den kopyalanan sütun sayısı programdaki sütun sayısı ile aynı olmalıdır.

Programa kaydedilecek bazı veriler grafik şeklindedir. Bunlarla ilgili ara yüzde *Grafik Ekle* tuşu bulunmaktadır. Bu tuşa basınca bilgisayardan grafik dosyası seçme penceresi açılmaktadır. İstenilen grafik dosyası seçme penceresinde aktarılmak istenen grafik verisi seçilerek programdaki ara yüzüne aktarılır. Program ara yüzünde ilgili boşluklar doldurulup *Grafik Kaydet* tuşuna basılarak veri tabanına kaydedilmiş olur.



Şekil 3.2 Program üst menü ve yeni kayıt

#### 3.4.1.1 Deney Verileri

Bu ara yüz bir form şeklindedir (Şekil 3.3). Bu kısımda istenen veriler ve anlamları aşağıda listelenmiştir.

**Kazık Yükleme Deney No:** Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

**İl:** Kazık yükleme deneyinin yapıldığı İl

**Deneyin Yapıldığı Yer:** Uygulamanın yapıldığı yer

**Amaç:** Kazık yükleme deneyinin yapım amacı; tasarım, kanıtlama vb.

**Standart:** Kazık yükleme deneyi yapımında göz önüne alınan standart

**Deney Türü:** Kazık temel'in çalışma türü; Basınç, Çekme ve Yanal

**Yükleme Metodu:** Şartname ve tasarıma göre yükleme metodu; Yavaş, Hızlı ve Çevrimli

**Kazık Yerleştirme Tarihi:** Kazık temel'in yerleştirildiği tarih

**Kazık Yükleme Deney Tarihi:** Kazık yükleme deneyi'nin yapıldığı tarih

**Veri Giren:** Veri girişi yapan kişi

**Kontrol Eden:** Girilen veriyi kontrol eden kişi

**Ek Bilgi:** Verilenlerin dışında ek bir bilgi

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Deney Girişi]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Verileri Zemin Verileri Yük Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü

Kazık Yükleme Deney No: 80

İl: Antalya

Deneyin Yapıldığı Yer: Serik Bebek koyunda bir otel kompleksi

Amaç: KANITLAMA Diğer: Ekle

Standart: ASTM D1143 Diğer: Ekle

Deney Türü: BASINÇ YÜKLEME

Yükleme Metodu: SML (Kademeli yavaş yükleme deneyi)

Kazık Yerleştime Tarihi: (gün, ay/yıl)

Kazık Yükleme Deney Tarihi: (gün, ay/yıl)

Veri Giren: Mustafa Kırkit

Kontrol Eden: Cem Akgüner

Ek Bilgi:

Şekil 3.3 Deney verileri girme ara yüzü

### 3.4.1.2 Kazık Verileri

Bu ara yüz bir form şeklindedir (Şekil 3.4). Bu kısımda istenen veriler ve anlamları aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

Kazık No: Kazık temele kullanıcı tarafından verilen numara

Kazık Tipi: Üretim şekli, malzeme vb. biçimine göre kazık sınıfı (Fore, Çakma ve Vibrex vb.)

Kazık Malzemesi: Kazık temelin yapıldığı malzeme (Betonarme, Çelik ve Kompozit vb.)

İmalat Bilgisi: Kazık temelin imalatı hakkında bilgi (Betonlama şekli, imalat metodu vb.)

Ekipman Bilgisi: Kazık temel yapımında kullanılan makine takım ve özellikleri

Profil Kesiti: Çelik profil için kesit tanımlaması (örneğin: HP 10x42)

Et Kalınlığı: Çelik kazık için et kalınlığı; Birim=mm

Kazık En Kesiti: Kazık en kesit şekli (dikdörtgen, kare, dairesel vb.)

Kazık Çapı: Kazık temelin çapı; Birim=m

Kazık Toplam Boyu: Kazık temelin toplam boyu; Birim=m

Kazık Etkin Boyu: Kazık temelin zemin içindeki etkin boyu; Birim=m

Kazık Serbest Boyu: Kazık temelin zemin dışındaki boyu; Birim=m

Zemin Kotu: Zeminin kotu; Birim=m

Kazık Temel Kotu: Kazık temelin kotu; Birim=m

Kesit Alanı: Kazık temelin en kesit alanı; Birim=m<sup>2</sup>

Kazık Temel Ağırlığı: Kazık temelin ağırlığı; Birim=kN

Düşeyle Yapılan Açık: Kazık temel'in düşeyle yaptığı açı; Birim=açı (saat yönünün tersi pozitif), kesiti değişen kazıklar için kullanılmaktadır.

Ek Bilgi: Verilenlerin dışında ek bir bilgi

Bu ara yüzde kırmızı ile yazılmış "Profil Tablosunu Göster" kısmı üzerine tıklandığında, çelik profillere ait bilgiler gelmektedir (Şekil 3.5).

Kazık bilgileri girme formunda, uygulanış itibarı ile farklı kazıklar için sahip oldukları verileri girmek amacıyla tuşlar bulunmaktadır. Bunlar: *Aletlendirilmiş (Enstrumante edilmiş) Kazık, Değişken Enkesitli Kazık ve Çakma Kazıkta Darbe Derinlik İlişkisi* tuşlarıdır. Bu tuşlara basıldığında ek bir pencere şeklinde tablolar gelmektedir. Tablolar doldurulup kaydet tuşuna basarak veriler programa kaydedilir.

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Deney Giriş]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Verileri Zemin Verileri Yük Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü

Kazık Yükleme Deney No: 72 Kazık No: TK-72

Kazık Tipi: FORE Diğer: Ekle

Kazık Malzemesi: BETONARME Diğer: Ekle

İmalat Bilgisi: Yerde Dökme Ekipman Bilgisi: Diğer: [Profil Tablosunu Göster](#)

Profil Kesit: Diğer: Ekle

Et Kalınlığı: (mm) Dairesel

Kazık Çapı: 0,8 (m) Kazık Toplam Boyu: 31,5 (m)

Kazık Erekatif Boyu: 30,6 (m) Kazık Serbest Boyu: 0,9 (m)

Zemin Kotu: (m) Kazık Temel Kotu: (m)

Kesit Alanı: 0,5 (m<sup>2</sup>) Kazık Temel Ağırlığı: 310 (kN)


Düşeyle Yapıldığı Aç: (Derece) (Saat Yönü Ters! +) Ek Bilgi:

Şekil 3.4 Kazık verileri girme ara yüzü

Ekipman Bilgisi:

Diğer:   [Profil Tablosunu Göster](#)

Kazık En Kesiti:



Profil	Alan (cm <sup>2</sup> )	Profil Derinliği 'H' (mm)	Gövde Kalınlığı 'tb' (mm)	Başlık Genişliği 'B' (mm)	Başlık Kalınlığı 'tf' (mm)
HP 200x53	68,38696	203,708	11,303	207,137	11,303
HP 250x62	79,99984	246,38	10,541	255,905	10,668
HP 250x85	108,38688	253,746	14,351	259,715	14,351
HP 310x79	99,9998	299,212	11,049	305,943	11,049
HP 310x93	118,70944	303,276	13,081	307,975	13,081
HP 310x110	140,64488	308,102	15,367	310,261	15,494
HP 310x125	158,70936	311,912	17,399	312,293	17,399
HP 360x108	138,322304	345,694	12,827	370,459	12,827
HP 360x132	168,38676	351,282	15,621	373,253	15,621
HP 360x152	193,548	355,854	17,907	375,539	17,907
HP 360x174	221,93504	360,934	20,447	378,079	20,447

Şekil 3.5 Profil özelliklerine bakılması

Aletlendirilmiş kazık verileri girme penceresi bir tablo şeklindedir (Şekil 3.6). Tabloda istenen veriler doldurulup *Kaydet* tuşuna basarak veriler veri tabanına kaydedilmektedir. Tabloda istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

**Kazık Yükleme Deney No:** Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

**Kazık No:** Kazık temele kullanıcı tarafından verilen numara

**Sıra No:** Kazık yükleme deneyi – deformasyon ölçer numarası

**Kazık Boyu:** Kazık temel boyu; Birim=m

**Deformasyon Ölçer No:** Kazık temele yerleştirilmiş deformasyon ölçerlere verilen numara

**Derinlik:** Deformasyon ölçerlerin bulunduğu derinlik; Birim=m

**Uygulanan Yük:** Deneyde uygulanan yük değeri; Birim=kN

**Belirli Elastisite Modülü:** Zemin için belirlenen Elastisite Modülü; Birim= kN/mm<sup>2</sup>

**Gerilme (%):** Kazık üstündeki aletlerde ölçülen gerilme değeri; Birim= %

**Gerilme:** Kazık üstündeki aletlerde ölçülen gerilme değeri; Birim= kN/m<sup>2</sup>

**Ölçülen Yük:** Uygulanan yüke karşılık gelen ölçülen yük değeri; Birim=kN

**Birim Sürtünme:** Zemin kazık arasındaki strain-gage (şekil değiştirme ölçer) ile ölçülen sürtünme değeri; Birim =kPa

Değişken en kesitli kazık, zemin içinde belli derinliklerde çapı, genişliği, kesiti vb. özelliklerinin değiştiği bir kazıktır. Bu kazık verilerini ekleme bölümü ara yüzü tablo şeklindedir (Şekil 3.7). Bu kısımda istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

Kazık No: Kazık temele kullanıcı tarafından verilen numara

Derinlik: Kazık temel en kesitinin zemindeki derinliği; Birim=m

Çap: Kazık temel en kesit çap değeri; Birim=m

Çakma kazık için darbe – derinlik ilişkisi ara yüzü tablo şeklindedir (Şekil 3.8). Bu kısımda istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deney numarası

Kazık No: Kazık temele kullanıcı tarafından verilen numara

Sıra No: Darbe - Derinlik sırası

Derinlik: Zeminde kazığın çakıldığı derinlik; Birim=m

Darbe Sayısı: Çakma kazıkta kazığın çakılmasında darbe sayısı

Kazık Yükleme Deney No	Kazık No	Kazık Boyu (m)	Deformasyon Ölçer No	Derinlik(m)	Uygulanan Yük(kN)	Belirli Elastisite Modülü (kN/mm2)	Gerilme (%)
**							

Şekil 3.6 Aletlendirilmiş kazık özellikleri girme penceresi ara yüzü

Kazık Yükleme Deney No	Kazık No	Derinlik(m)	Çap(m)
**			

Şekil 3.7 Değişken enkesitli kazık özellikleri girme penceresi ara yüzü



Kazık Yükleme Deney No	Kazık No	Sıra No	Derinlik(m)	Darbe Sayısı
**				

Excel'den Kopyala

Kaydet

Şekil 3.8 Çakma kazık darbe – derinlik ilişkisi girme penceresi ara yüzü

### 3.4.1.3 Zemin Verileri

Zemin verileri kendi içinde laboratuvar ve arazi deney sonuçlarına göre iki ayrı ara yüzde girilmektedir. Bunlara ek olarak arazide sondaj bilgilerini içeren veya laboratuvar deney sonuçlarını içeren belgelerin aslını kaydedebilmek amacı ile “Grafik Kaydet” ara yüzü oluşturulmuştur. Belgelerin aslı grafik şeklinde programa aktarılıp veri tabanına kaydedilebilmektedir.

Zemin verileri, laboratuvar deneyleri sonuç verilerini ekleme ara yüzü tablo şeklindedir (Şekil 3.9). Tablo doldurulup *Kaydet* tuşuna basarak veriler program veri tabanına kaydedilir. Bu kısımda istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

**Kazık Yükleme Deney No:** Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

**Zemin Araştırma No:** Arazide yapılan araştırma (sondaj) numarası

**Tabaka No:** Zemin tabaka numarası

**Zemin Tipi:** Tabakaya ait zemin cinsi

**Tabaka Kalınlığı:** Tabaka kalınlığı; Birim=m

**Su Seviyesi:** Zemindeki yeraltı su seviyesi; Birim=m

**Birim Hacim Ağırlık:** Zeminin doğal birim hacim ağırlığı; Birim= $kN/m^3$

**c:** Zeminin kohezyonu; Birim= $kN/m^2$

**İçsel Sürtünme Açısı: ( $\phi$ )** Zeminin İçsel Sürtünme Açısı; Birim=derece

**w:** Zemin su muhtevası; Birim=%

LL: Zemin likit limiti; Birim=%

PI: Zemin plastisite indeksi; Birim=%

Cc: Zemine ait konsolidasyon deneylerinden elde edilen sıkışma indeksi değeri

Cv: Zemine ait konsolidasyon katsayısı; Birim= $\text{cm}^2/\text{sn}$

E: Zemine ait elastisite modülü E; Birim= $\text{kN}/\text{m}^2$

Ek Bilgi: Verilenlerin dışında ek bir bilgi

Zemin verileri, arazi deneyi verileri ekleme ara yüzü tablo şeklindedir (Şekil 3.10). Tablo doldurulup *Kaydet* tuşuna basarak veriler program veri tabanına kaydedilir. Bu kısımda istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

Zemin Araştırma No: Arazide yapılan araştırma (sondaj) numarası

Tabaka No: Zemin tabaka numarası

Zemin Tipi: Tabakaya ait zemin cinsi

Tabaka Kalınlığı: Tabaka kalınlığı; Birim=m

Su Seviyesi: Zemindeki yeraltı su seviyesi; Birim=m

Birim Hacim Ağırlık: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı; Birim= $\text{kN}/\text{m}^3$

E: Zemine ait elastisite modülü E; Birim= $\text{kN}/\text{m}^2$

Fs: Zeminin sürtünme direnci; Birim= $\text{kN}/\text{m}^2$

Qc: CPT deneyinde koni uç direnci; Birim  $\text{kN}/\text{m}^2$

U: CPT deneyinde ölçülen boşluk suyu basıncı değeri; Birim=kPa

Eğim: CPT deneyinde çubukta ölçülen düşeyden sapma; Birim=derece

Sıcaklık: CPT deneyi esnasında ölçülen sıcaklık derecesi

SPTN: SPT deneyinde N tokmak düşürme adedi

PL: Presiyometre deneyinde kırılmanın başladığı andaki basınç (PL); Birim= $\text{kN}/\text{m}^2$

PL Net: Presiyometre deney sonucuna göre net limit basınç değeri ( $\text{PL}_{\text{net}}=\text{PL}-\text{Po}$ ); Birim= $\text{kN}/\text{m}^2$

RQD: Kaya kalitesi ifade eden değer; Birim %

TCR: Kayaçta karot yüzdesi; Birim %

Ek Bilgi: Verilenlerin dışında ek bir bilgi

“Grafik kaydet” ara yüzünde, *Grafik Ekle* tuşuna basıp bilgisayarda elektronik ortamda bulunan belge aslını programa grafik olarak aktarıp veri tabanına kaydetme işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.11). “Kazık Yükleme Deney No” ve “Tanım” bilgileri girildikten sonra

*Kaydet* tuşuna basılarak belge veri tabanına kaydedilir. Burada tanımlama yapılırken tanım sonuna deney numarası da eklenmelidir. Örneğin, “Sondaj Logu- No:1”. No:1’in anlamı kazık yükleme deney numarası 1 olduğunu ifade etmektedir. Bu kısımda ki pencereye belgenin aslı aynı boyutta aktarılmaktadır ve pencerenin sağ ve alt tarafındaki yön tuşları (kaydırma barı) ile istenilen bölgeye bakılabilmektedir.

Kazık Yükleme Deney No	Zemin Araştırma No	Tabaka No	Zemin Tipi	Tabaka Kalınlığı (m)	Su Seviyesi (m)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m³)	C (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı	W (%)	LL (%)	PI (%)	Cc	Cv (cm²/s)	E (kPa)	EK Bilgi
75	1	1	Dolgu	2	-3										
75	1	2	Kil	6	-3	18	30								
75	1	3	Siltli Kil	12	-3	18,5	40								

Şekil 3.9 Laboratuar deneyleri sonuçlarına ait verileri veri tabanına ekleme ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Deney Girişi]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı

Laboratuvar Deneyleri Arazi Deneyleri Grafik Kaydet

Kazık Yükleme Deney No	Zemin Araştırma No	Tabaka No	Zemin Tipi	Tabaka Kalınlığı (m)	Su Seviyesi (m)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	E (kPa)	Fs (kPa)	Qc (kPa)	U (kPa)	Eğim	Sıcaklık	SPTN	PL (kPa)	PL Net (kPa)	RQD	TCR	
73	1	1	Dolgu	3,4	-2,75								6					
73	1	2	Kıllı Kum...	2,6	-2,75								32					
73	1	3	Çakıllı Kl...	5,8	-2,75								26					
73	1	4	Çakıllı K...	2,45	-2,75								14					
73	1	5	Çakıllı Kl...	10,35	-2,75								70					
73	1	6	Kumlu S...	0,85	-2,75								50					
▶*																		

Kaydet

Şekil 3.10 Arazi deneyleri sonuçlarına ait verileri veri tabanına ekleme ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Deney Giriş]

Deney Giriş Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

**SONDAJ LOGU / BORING LOG**

İŞVEREN (OWNER): PROJE (PROJECT): 600 MW Kömür

Mevkii (Location): Çatalağzı Koord(Coord): X: 4597604 Y: 4076305 Z: 6.24 Sondaj Tipi (B)

Baş. Tarihi (Begin. Date) : 04.01.2008 Sondaj Der. (Boring Depth) : 40m Sondör (Drille

Bit. Tarihi (Comp. Date) : 06.01.2008 Su Seviyesi (Water Level) : 1.5m Mühendis (Eni

DERİNLİK	LİTOLOJİ	Denklik	Deney Kodu	SPT		KAROT/CORE			Sınıf/Class	Korelasyon
				Darbe/Blow	N30	TCR%	SCR%	RQD%		
4.5		1.95	SPT1	1	5	8	3	11		
		3.45	SPT2	2	4	5	10	15		

YSS (Water level)=1.5m

DOLGU: Anah blok ve çakıl doğu.

GrafikEkle Kaydet

Kazık Yükleme Deney No: 80 Tanım: u1-No:1

Şekil 3.11 Zemin verilerine ait raporların aslımı veri tabanına kaydetme ara yüzü

#### 3.4.1.4 Yük - Deplasman Eğrisi

Bu ara yüzde bir tablo ve grafik penceresi bulunmaktadır (Şekil 3.12). Tablodaki boŐluklara deney sonucu verileri girilmektedir. Grafik penceresine ise yük – deplasman eğrisi grafiği eklenip veri tabanına kaydedilir. Deney sonucuna bağlı yük – deplasman değerleri Excel’de düzenleme yapıldıktan sonra veri tabanı programına aktarma yapılabilir. Bunun için tablo penceresinin altında *Excel’den Kopyala* tuşu bulunmaktadır. Excel’den kopyalama işlemi için Excel programında kopyalanacak satır ve sütün seçilir, farenin sağ tuşuna basılıp çıkan menüden *Kopyala* işlemi seçilir. Veri tabanı programında sadece *Excel’den Kopyala* tuşuna basılmaktadır. Böylelikle Excel dosyasında bulunan veriler veri tabanı programı tablosuna aktarılmıŐ olur. Dikkat edilecek husus program ara yüzündeki tabloda bulunan satır ve sütün sayısı ile Excel’den kopyalanan satır ve sütün sayısı eşit olmalıdır. Aksi takdirde program hata vermektedir. Grafik penceresine eklenecek yük – deplasman eğrisi bizim daha önce Excel’de deney sonucu verilerine göre oluŐturduđumuz eğridir. Bu eğri grafik Şeklinde kaydedilip programa *Grafik Ekle* tuşu ile aktarılmaktadır. Tablo ve Grafik pencereleri birbirinden ayrıdır ve her bir pencere altındaki *Kaydet* tuşu ile veri tabanına ayrı ayrı kaydedilmektedir.

Bu ara yüzde istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

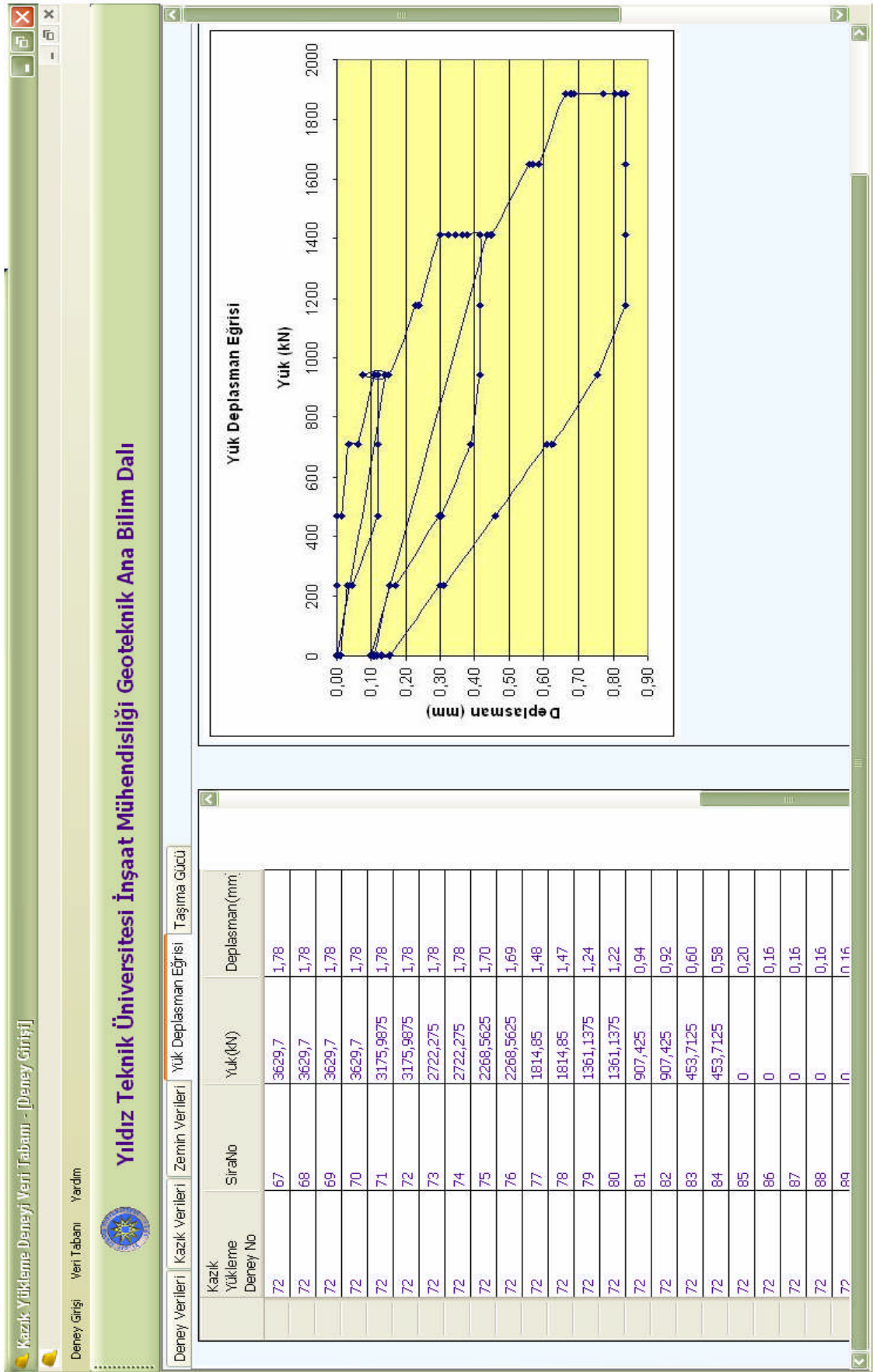
Sıra No: Yük-Deplasman sırası

Yük: Kazık temele uygulanan yük; Birim=kN

Deplasman: Uygulanan yükte, kazık temelde meydana gelen deplasman; Birim=mm

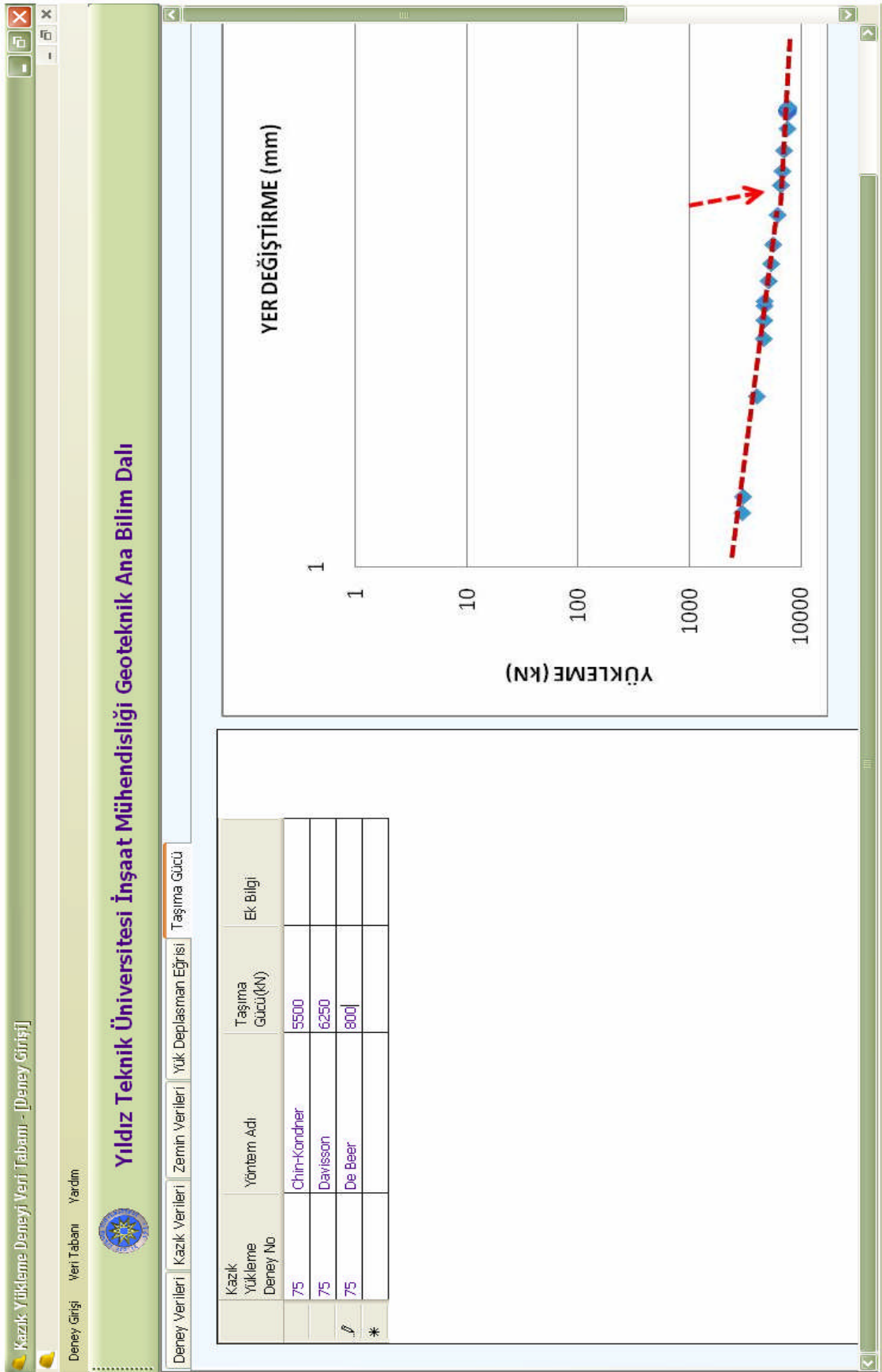
#### 3.4.1.5 Taşıma Gücü

Bu ara yüzde bir tablo ve grafik penceresi bulunmaktadır (Şekil 3.13). Tablodaki boŐluklara deney sonucu verileri girilmektedir. Grafik penceresine de deney sonucunun yorumlanmış grafiği eklenip veri tabanına kaydedilir. Grafik ekleme prosedürü zemin ve yük – deplasman bölümlerindeki gibi yapılmaktadır. Tablo ve Grafik pencereleri birbirinden ayrıdır ve her bir pencere altındaki kaydet tuşu ile veri tabanına ayrı ayrı kaydedilmektedir.



Şekil 3.12 Yük – Deplasman verilerini ve grafiğini veri tabanına kaydetme ara yüzü





Şekil 3.13 Taşıma gücü verilerini ve grafiğini veri tabanına kaydetme ara yüzü



Bu ara yüzde istenen veriler aşağıda listelenmiştir.

Kazık Yükleme Deney No: Programdaki sıraya göre kullanıcı tarafından verilen kazık yükleme deneyi numarası

Yöntem Adı: Kapasite hesabında kullanılan yöntem adı

Taşıma Gücü: Deney sonucu oluşan yük - deplasman eğrisi kullanılarak, statik analiz, dinamik analiz vb. yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değeri, Birim = kN

Ek Bilgi: Verilenlerin dışında ek bir bilgi

### 3.4.2 Kayıtlı Verilerde Düzeltme Yapmak

Üst menüden “Deney Girişi”, alt menü “Düzeltil” seçeneğine tıklanır. Deney girişine benzer olarak ara yüzler mevcuttur. Bu ara yüzlerin hepsi tablo şeklindedir. Düzeltme yapmak istenen deney, kazık yükleme deney numarası ile pencereye aktarılır. Tabloda istenilen değişiklik yapıldıktan sonra *Kaydet* tuşuna basıp düzeltme işlemi tamamlanmış olur. Veri tabanına kaydedilen verilerden bir kısmı –kazık yükleme deney numarası gibi deneyi tanımlayan veriler- veri tabanı içinde birincil anahtar olarak tanımlanmıştır ve bu veriler değiştirilemez. Bu gibi durumlarda deney silinip yeniden kaydetme yoluna başvurulabilir (Şekil 3.14).

*Getir* tuşuna bastıktan sonra çıkan tabloda sütun başlıkları veri tabanındaki şekli ile kısaltılmış olarak çağırılmaktadır. Sütun başlığının tam açılımı, farenin ok işaretini başlığın üzerine getirip orada hiçbir tuşa basmadan bekleyerek gösterilebilir.

Programın bu bölümünde grafik olarak kaydedilen belgelerin düzeltilmesine olanak sağlanmamıştır. Bu gibi durumlarda kayıt tamamen silinip yeniden kayıt işlemi ile çözüme gidilir. Alt ara yüzlerde “Araştırmacı” penceresi bulunmaktadır. Bu pencerede düzeltme yapma olanağı yoktur. Bu kısım veri tabanı kullanımı ile alakalı bir bölümdür.

### 3.4.3 Kayıt Silme

Ana penceredeki sol üst menüden “Deney Girişi”, alt menüden “Kayıt Sil” seçeneği tıklanır. Çıkan pencerede kazık yükleme deney numarası girilir. *Kayıtlı Sil* tuşuna basarak ilgili deneye ait bütün veriler silinir (Şekil 3.15).

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Düzeltilme]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

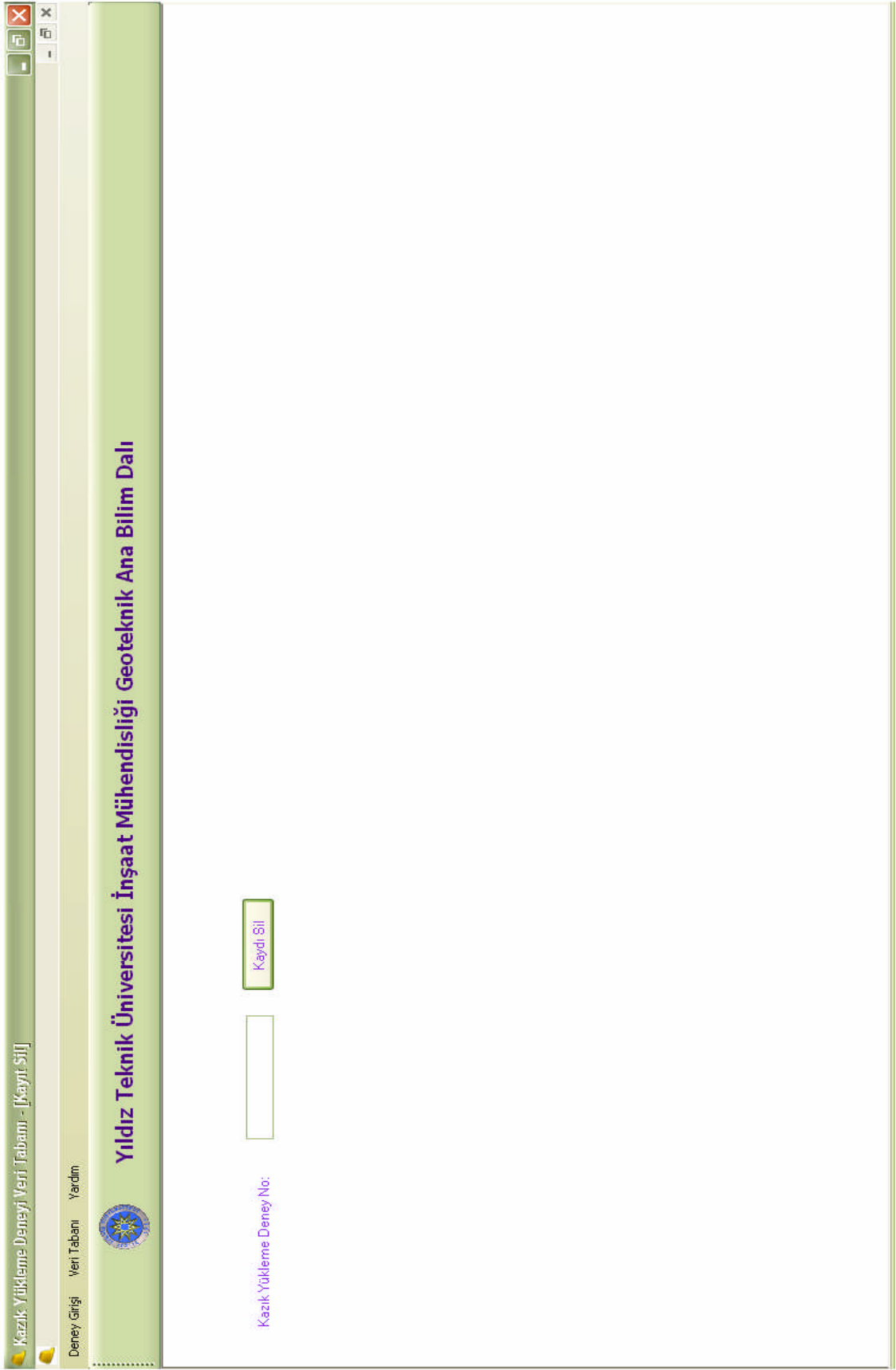
**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Bilgileri Zemin Verileri Yuk. Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü Araştırmacı Kayıtlı Deneyler

KazıkYükDen_ID	Şehir	Yer	Amac	Sarıname	DeneyTuru	YuklemeMetodu	YerlestirmeTarih	DeneyTarihi	VerGirYap	KontEden	EkBi
80	Antalya	Serik Belek K...			BASINÇ YÜKL...				Mustafa Kırkit	Cem Akgüner	
*											

Kazık Yükleme Deney No:

Şekil 3.14 Kaydedilmiş verilerde düzeltme yapma ara yüzü



Şekil 3.15 Kayıt silme ara yüzü

### 3.4.4 Veri Tabanından Arama Yapma

Veri tabanının amacı kullanıcıların verilere kolay ulaşabilmeleri ve bu verilerin kullanıcılara düzenli bir şekilde sunulmasıdır. Kullanıcıların istedikleri kriterler doğrultusunda veri tabanında arama yapıp ilgilendikleri verilere ulaşabilmektedirler. Türkiye KYD Veri Tabanında arama istenilen kriterlerden deney numarasına ulaşmak şeklinde olmaktadır.

Sol üst menüden “Veri Tabanı”, alt menüden “Deney No Arama” seçeneğine tıklanır (Şekil 3.16). Buradan bir arama penceresi ve alt pencereler çıkmaktadır. Arama bölümü kendi içinde “Deney Verileri, Kazık Verileri, Zemin Verileri, Taşıma Gücü Verileri” olarak sınıflandırılmıştır. Arama bölümleri alt pencerelerde formlar şeklinde oluşmaktadır. Ayrıca “Arama Listesi” alt penceresi içinde “Araştırmacı” sütunu oluşturulmuştur. Bundaki fayda, bir araştırmacı arama yaptığı deneyleri kaydedebilmektedir. Böylece programı her açtığına arama yapmasına gerek kalmadan üzerinde çalışmış olduğu deneylere doğrudan ulaşabilecektir.

Arama formlarında istenilen kriterlere göre formdaki boşluklar doldurulup yanındaki işaret kutucuğu işaretlenerek *Ara* tuşuna basılarak veri tabanından arama yapılmaktadır. Program, istenilen kriterlere göre yapılan aramadan çıkan sonuçları, kazık yükleme deney numarası olarak pencerede bulunan liste kutusuna listelemektedir. Liste kutusu altında bulunan *Listeye Ekle* tuşu ile “Arama Listesi” alt penceresindeki tabloya kazık yükleme deney numarası ve arama kriteri eklenebilmektedir. Daha sonra araştırmacı bu tabloda “Araştırmacı” sütununa ismini yazarak bunu kaydedebilir. Araştırmacının kaydedip kaydetmemesi tamamen isteğe bağlıdır.



Şekil 3.16 Deney No Arama menüsü

Arama durumunda program büyük küçük harf durumlarına duyarlıdır. Örneğin İl ismi ararken ilk harf büyük olarak aranmalıdır. Deney türü arama kriterleri BASINÇ, ÇEKME ve YANAL olarak aranmalıdır.

“*Deney Verilerine Göre Arama*”, bu alt pencerede deneye ait bilgilere göre arama yapılmaktadır. Bunlar; İl, Yer, Deney Türü, Yükleme Metodu, Amaç ve Şartnamedir (Şekil 3.17).

“*Kazık Verilerine Göre Arama*”, kazık temele ait bilgilere göre arama yapılabilmektedir. Bunlar; Kazık Tipi, Kazık Malzemesi, Kazık Çapı, Kazık Boyu, Düşeyle Yaptığı Açık, Aletlendirilmiş Kazık, Değişken Enkesitli Kazık ve Çakma kazıkta darbe derinlik ilişkisidir (Şekil 3.18).

“*Zemin Verilerine Göre Arama*”, Arazi ve laboratuvar verileri olmak üzere iki ayrı özellikte arama yapılabilmektedir. Arazi verilerine göre arama kriterleri; Zemin Tipi, Elastisite Modülü, SPT N vuruş değeri, CPT deneyi konu uç direnci, CPT deneyi sürtünme direnci, Presiyometre deneyi basınç değeri PL, Presiyometre Net Limit Basınç değeri PL Net, Kayaç kalitesi ifade eden RQD değeri ve Arazi bilgilerine ait herhangi bir grafik eklenmişse seçenek kutusu. Laboratuvar verilerine göre arama kriterleri; Zemin Tipi, Elastisite Modülü, Kohezyon (c), İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), Su muhtevası (w), Likit limit (LL), Plastisite indeksi (PI), Sıkışma indisi ( $C_c$ ), Konsolidasyon katsayısı ( $C_v$ ) ve laboratuvar bilgilerine ait herhangi bir grafik eklenmişse seçenek kutusu. Program arama ara yüzü Şekil 3.19’da gösterilmektedir.

“*Taşıma Gücü Verilerine Göre Arama*”, bu arama seçeneğindeki kriterler; Deney yorumlama yöntemi adı ve taşıma gücü aralığıdır. Yöntem Grafiği seçenek kutusu işaretlenirse sadece grafik kayıtlı kazık yükleme deney numarası gelecektir (Şekil 3.20)

“*Arama Listesi*”, Arama yapılan alt pencerelerden *Listeye Ekle* tuşu ile kazık yükleme deney numarası ve arama kriteri, “Arama Listesi” adındaki tabloya eklenmektedir (Şekil 3.21). Burada araştırmacı isteğe bağlı olarak bu tabloyu kaydedip daha sonra veri tabanından ulaşabilmektedir.

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Arama Ana Sayfa]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Verileri Zemin Verileri Taşıma Gücü Verileri Arama Listesi

Şehir  Yer  Deneş Türü  Yükleme Metodu  Amaç  Şarhname

Halay

SONUC:  
Kazık Yükleme Deney No:

21  
22

Ara

Listeye Ekle

Şekil 3.17 Deney verilerine göre arama yapma

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Arama Ana Sayfa]

Deneysel Giriş Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deneysel Veriler Zemin Verileri Taşıma Gücü Verileri Arama Listesi

Kazık Tipi

Kazık Malzemesi

Kazık Çapı (m)  ile  arasında

Kazık Boyu (m)  ile  arasında

Düşeyle Yaptığı Açrı  ile  arasında

Aletlendirilmiş Kazık

Değişken En Kestli Kazık

Çakma Kazıkta Darbe Dermik İlişkisi

SONUC:  
Kazık Yükleme Deney No:

11  
12  
13  
14  
15  
16  
25  
26

Şekil 3.18 Kazık verilerine göre arama yapma

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Arama Ana Sayfası]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Verileri Zemin Verileri Taşıma Gücü Verileri Arama Listesi

**Arazi Deney Kriterlerine Göre Arama**

Zemin Tipi  ile  arasında

E (kPa)  ile  arasında

SPTN  ile  arasında

Koni Direnci (kPa)  ile  arasında

Sürtünme Direnci (kPa)  ile  arasında

PL (kPa)  ile  arasında

PL Net (kPa)  ile  arasında

ROD  ile  arasında

Zemin Verileri Grafik

**Laboratuvar Deney Kriterlerine Göre Arama**

Zemin Tipi  ile  arasında

E (kPa)  ile  arasında

Kohezyon (kPa)  ile  arasında

$\phi$  (Derece)  ile  arasında

$w_r$  (%)  ile  arasında

LL (%)  ile  arasında

PI (%)  ile  arasında

Cc  ile  arasında

$C_v$  (cm<sup>2</sup>/sn)  ile  arasında

Zemin Verileri Grafik

**Kazık Yükleme Deney No:**

2  
4  
5  
21  
25  
26  
27  
28  
29  
32  
33  
34  
45  
46  
47  
48  
49  
50

Şekil 3.19 Zemin verilerine göre arama yapma



Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Arama Ana Sayfa]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Verileri Zemin Verileri Taşıma Gücü Verileri Arama Listesi

Yöntem Adı :

Taşıma Gücü (kN) :  ile  arasında

Yöntem Grafiği

Kazık Yükleme Deney No :

1
2
3
4
5
6
7
8
10

Şekil 3.20 Taşıma gücü verilerine göre arama yapma

NAZİK TÜRKİYE'DE DENEME VE TADATIL - [Araştırma Alanı: Geoteknik]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verilen Kazık Verilen Zemin Verilen Taşıma Gücü Verilen Arama Listesi

Araştırmacı	Deney No	Kriterler
Mustafa Kirit	21	Şehir,
Mustafa Kirit	22	Şehir,
Mustafa Kirit	53	E (kPa),
Mustafa Kirit	54	E (kPa),
Mustafa Kirit	55	E (kPa),

Kaydet

Şekil 3.21 Arama Listesi ara yüzü

### 3.4.5 Veri Tabanındaki Kayıtlı Bilgilere Ulaşma ve Bunları Kopyalama

Türkiye KYD Programında arama yapan kullanıcılar ilgilendikleri deneye ait bilgilere, sol üst köşedeki menüden “Veri Tabanı” içinde bulunan “Deney Bilgilerini Getir” alt menüsünden ulaşabilirler (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Deney bilgilerini getir menüsü

Programın bu kısmında ara yüzler içinde bir pencere bulunmaktadır. Pencerenin alt kısmında “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilip *Getir* tuşuna basılarak veri tabanındaki bilgilere ulaşılır. “Deney Verileri” isimli ara yüzde kazık yükleme deney numarası girilip *Getir* tuşuna bastıktan sonra, bütün ara yüzlerde ilgili deneye ait veriler gelmektedir.

Araştırmacılar veri tabanındaki bilgileri programdan kopyalayabilmektedir. Veri tabanından tablo şeklinde çağırılan bilgiler *Excel’e Aktar* tuşu ile Microsoft Office Excel programına bilgileri aktarabilmektedirler. Buna ek olarak veri tabanına grafik olarak aktarılan yük – deplasman eğrisi, zemin araştırma belgeleri ve taşıma gücü grafikleri yine programdan grafik formatında bilgisayara aktarılabilir. Bunun için, grafik program ara yüzündeki pencereye çağırıldıktan sonra altta bulunan *Grafik Aktar* tuşuna basılarak bilgisayarda istenilen yer seçilip görüntü aktarılabilir.

“Deney Verileri”: Ara yüzün alt tarafında bulunan “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilip *Getir* tuşuna basılarak pencereye tablo şeklinde veriler getirilmektedir. *Excel’e Aktar* tuşu ile veriler programdan kopyalanabilmektedir. Sütun isimleri veritabanındaki ismi ile gelmektedir. Tam açılımı farenin işaret imleci sütun üstünde bekletilerek görülebilmektedir (Şekil 3.23).

“Kazık Verileri”: Ara yüzün alt tarafında bulunan “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilip *Getir* tuşuna basılarak pencereye tablo şeklinde veriler getirilmektedir. *Excel’e Aktar* tuşu ile veriler programdan kopyalanabilmektedir. Sütun isimleri veritabanındaki ismi ile gelmektedir. Tam açılımı farenin işaret imleci sütun üstünde bekletilerek görülebilmektedir (Şekil 3.24).

“Zemin Verileri”: Zemin ile ilgili veriler kendi içinde üç ara yüze ayrılmıştır. Bunlar; “Laboratuar Deneyleri”, “Arazi Deneyleri” ve “Zemin Deney Grafik”.

Zemin verileri laboratuar deney verileri, ilgili ara yüzün alt tarafında bulunan kutuya “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilip *Getir* tuşuna basılarak pencereye tablo şeklinde veriler getirilmektedir. *Excel’e Aktar* tuşu ile veriler programdan kopyalanabilmektedir. Sütun isimleri veritabanındaki ismi ile gelmektedir. Tam açılımı farenin işaret imleci sütun üstünde bekletilerek görülebilmektedir (Şekil 3.25).

Zemin verileri arazi deney verileri, ilgili ara yüzün alt tarafında bulunan kutuya “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilip *Getir* tuşuna basılarak pencereye tablo şeklinde veriler getirilmektedir. *Excel’e Aktar* tuşu ile veriler programdan kopyalanabilmektedir. Sütun isimleri veritabanındaki ismi ile gelmektedir. Tam açılımı farenin işaret imleci sütun üstünde bekletilerek görülebilmektedir (Şekil 3.26).

“Zemin Deney Grafik” bilgilerine ulaşmak için gelen ara yüzde kazık yükleme deney numarası girilir. *Getir* tuşuna basılarak ilgili deneye ait grafikler listelenir. Listedeki istenilen grafik seçilerek *Seçili Grafiği Göster* tuşuna basıp grafik programdaki pencereye aktarılır. İstenildiği takdirde grafik bilgisayara *Grafik Aktar* tuşuna basılıp kopyalanabilmektedir (Şekil 3.27).

“Yük – Deplasman Eğrisi”: Bu ara yüz de “Kazık Yükleme Deney Numarası” girilerek sol taraftaki pencereye deney sonuçları, sağ tarafa ise yük – deplasman eğrisi grafiği getirilmektedir. Deney sonuçları tablo şeklinde getirilip istenildiği takdirde *Excel’e* kopyalanabilmektedir. Yük – deplasman eğrisi grafiği de bilgisayara kopyalanabilmektedir (Şekil 3.28).

“Taşıma Gücü”: Bu ara yüzde sol tarafta taşıma gücü verileri tablo şeklinde, sağ tarafta ise deney yorumlanmasına ait veriler grafik olarak veri tabanından çağırılmaktadır. Taşıma güçleri kazık yükleme deney numarası girilerek tablo halinde pencereye aktarılır. Taşıma güçlerine ait grafikler ise kazık yükleme deney numarası girilip grafikler liste kutusuna listelenir. Listedeki grafiklerden istenilen grafik seçilip *Seçili Grafiği Göster* tuşuna basılarak ara yüzde sağ bölümde kendine ayrılan alanda gösterilir. İstenildiği takdirde tablo ve grafik bilgisayara ilgili aktarma tuşlarına basılarak kopyalanabilmektedir. (Şekil 3.29).

“Araştırmacı”: Daha önce arama yapıp ilgili deney numaralarını kriterleri ile birlikte kaydeden kullanıcı buradaki ara yüzde kayıtlarına ulaşabilmektedir ( Şekil 3.30).

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Veri Tabanı]

Deneysel Giriş Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deneysel Verileri Kazık Bilgileri Zemin Verileri Yük Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü Araştırmacı Kayıtlı Deneyler

Kazık ID	Sehir	Yer	Amac	Sarhame	Deney Turu	Yukleme Metodu	Yerlestirme Tarihi	Deney Tarihi	Kontrollen	EKBI
38	Zonguldak	Çatalağzı Ter...	KONTROL	TSE 3168 EN ...	BASINÇ YÜKL...			02.05.2008	Mustafa Kirkit	Cem Akgüner
*										

Kazık Yükleme Deneyi No: 38

Excel'e Aktar

Getir

Şekil 3.23 Deney verileri ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Veri Tabanı]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Bilgileri Zemin Verileri Yuku Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü Araştırmacı Kayıtlı Deneyler

Kazık ID	Kazık Den ID	Kazık Tipi	Kazık Matizeme	İmal Bilgi	Ekipman Bilgi	Etkinlik	Profil Kesit	Kazık Çap	Kazık Alan	Kazık Top Boy	Kazık Efe
38	TK-38	FORE	BETONARME	Yerinde Dökme		0,00	1		0,785	35,6	34,6

Kazık Yükleme Deneyi No: 38

Getir

Excel'e Aktar

Aletlendirilmiş Kazık

Değişiklen En Kesitli Kazık

Çıkma Kazıkta Darbe Derinlik İlişkisi

Şekil 3.24 Kazık verileri ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Veri Tabanı]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Bilgileri Zemin Verileri Yük Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü Araştırmacı Kayıtlı Deneyler

Laboratuvar Deneyleri Arazi Deneyleri Zemin Deney Grafik

KazıkDen_ID	ZemArNo	TabakaNo	ZeminTip	Kalınlık	SuSeviyesi	BirHacAg	Kohezyon	İcselSurtAcsi	SuMuh	LikLim	Pla
7	1	1	Vasıfsız Yapa...	10,95	-13,50	0,00	0,00	0,00	25,00	50,00	23,
7	1	2	Killi Kumlu Çakıl	5,30	-13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
7	1	3	Killi Çakıllı Kum	2,55	-13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
*											

Kazık Yükleme Deney No:

Şekil 3.25 Zemin laboratuvar verileri ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Veri Tabanı]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı

Laboratuvar Deneyleri Arazi Deneyleri Zemin Deney Grafik

KazıkYükDen_ID	ZemArNo	TabakaNo	ZeminTip	Kalınlik	SuSeviyesi	BirHacAg	Ermodul	SurDirenc	KonuDirenc	bsb
38	1	1	Yapay Dolgu	2,50	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00
38	1	2	Kil	2,70	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00
38	1	3	Kil	2,30	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00
38	1	4	Kil	25,00	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00
38	1	5	Kıllı Kum	1,70	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00
38	1	6	Kilitaş+Kireçtaşı	2,80	-1,50	0,00	0,00	0,00	0	0,00

\*

Kazık Yükleme Deney No: 38

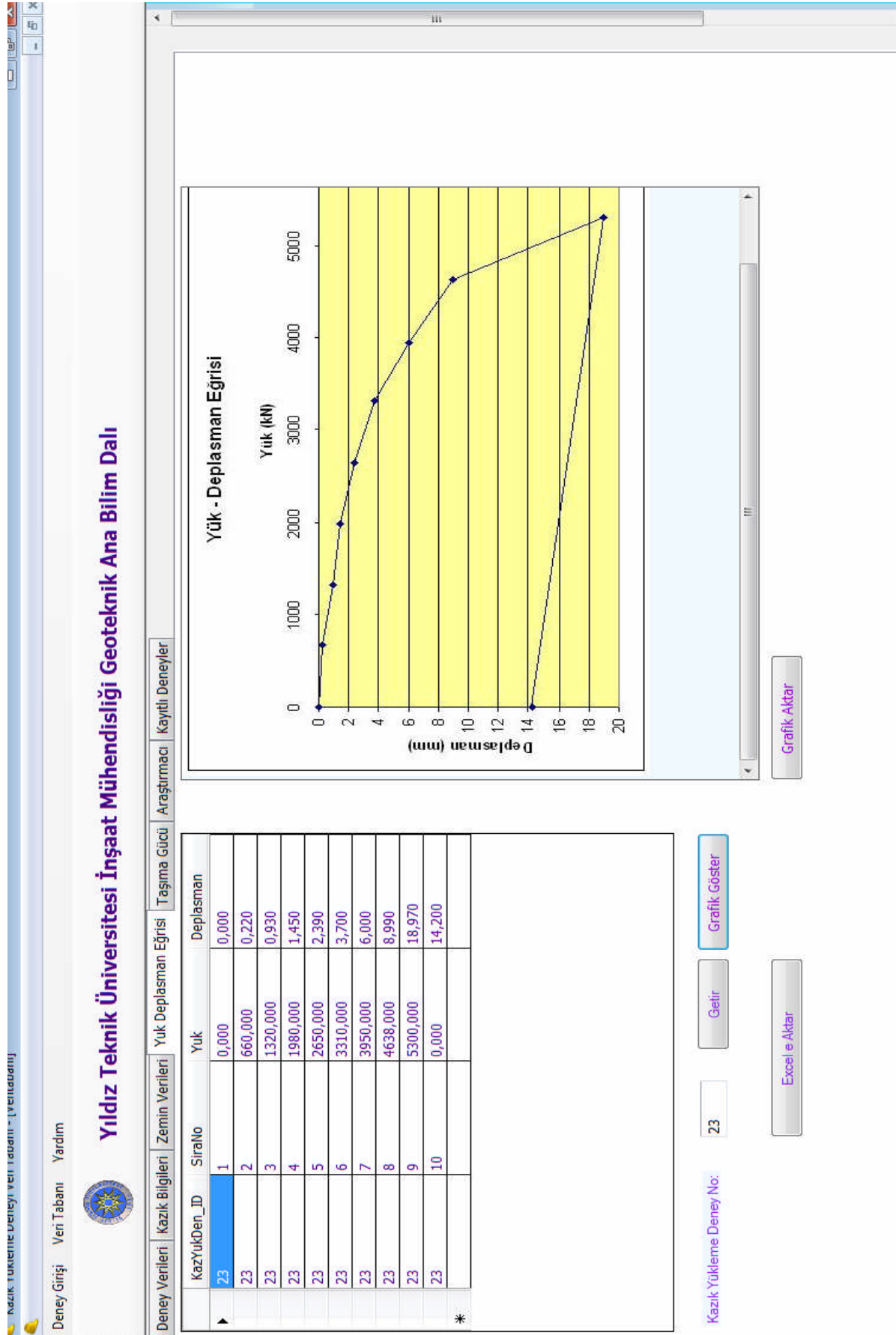
Getir

Excel e Aktar

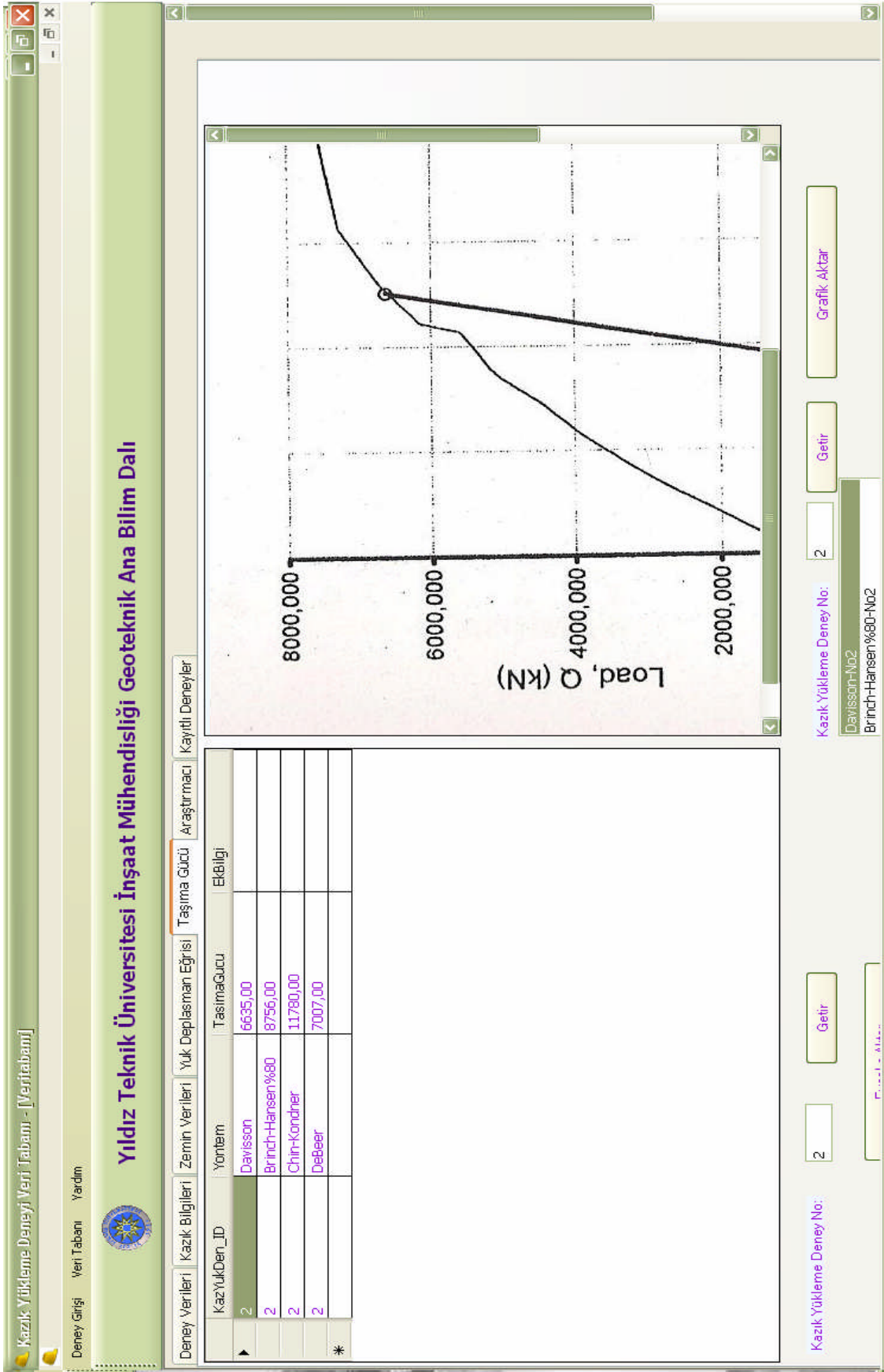
Şekil 3.26 Zemin arazi verileri ara yüzü







Şekil 3.28 Yük – Deplasman değerleri ve grafiği verileri ara yüzü



Şekil 3.29 Taşıma gücü değerleri ve grafiği verileri ara yüzü

Kazık Yükleme Deneyi Veri Tabanı - [Veri Tabanı]

Deney Girişi Veri Tabanı Yardım

**Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı**

Deney Verileri Kazık Bilgileri Zemin Verileri Yük Deplasman Eğrisi Taşıma Gücü Araştırmacı Kayıtlı Deneyler

Araştırmacı	DeneyNo	Kriter
Mustafa	1	Kazık Tipi
Mustafa	2	Şehir

Araştırmacı: Mustafa

Getir

Kaydet

Şekil 3.30 Araştırmacı ara yüzü

### 3.4.5.1 Yardım Menüsü

Program kullanımı ile ilgili herhangi bir sorun yaşandığı takdirde programın yardım menüsünden yararlanılabilir. Sol üst menü'den “Yardım” seçeneği seçildiğinde pdf formatında bir yardım belgesi dosyası açılmaktadır. Bu dosyada programa veri girme, arama yapma ve verilerin programdan kopyalanması anlatılmaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Yardım menüsü

### 3.5 Türkiye KYD Veri Tabanı Programında Kayıtlı Kazık Yükleme Deneyleri

Türkiye KYD Veri Tabanı Programında kayıtlı kazık yükleme deneylerinin listesi Çizelge 3.1'de listelenmiştir. Buna ek olarak kayıtlı deneylerin deney türü, zemin durumu, kazık tipi, kazık çapı ve kazık boyu yönünden sınıflandırması grafikler halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1 Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
1	İzmir	Fore	0,65	25	Davisson	1038,8
					Chin-Kondner	1264,2
					Mazurkiewicz	1274
					De Beer	735
					Creep	735
2	İzmir	Fore	1,65	17	Davisson	6635
					Brinch-Hansen%80	8756
					Chin-Kondner	11780
					De Beer	7007
3	İzmir	Fore	1,65	15	Davisson	5499
					Brinch-Hansen%80	7886
					Chin-Kondner	8260
					De Beer	5446

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Denei No	Deneinin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
4	Bursa	Fore	0,65	27	Davisson	3693
					Brinch-Hansen%80	5890
					Chin-Kondner	5824
					De Beer	2321
5	Bursa	Fore	0,8	27	Brinch-Hansen%80	6157
					Chin-Kondner	7332
					De Beer	3263
6	İzmit	Fore	0,65	27	Brinch-Hansen%80	2056
					Chin-Kondner	1629
					De Beer	570
7	Bursa	Fore	0,8	15	Davisson	3800
					Brinch-Hansen%80	4468
					Chin-Kondner	4611
					De Beer	1616
8	İzmit	Fore	0,8	20	Davisson	2770
					Brinch-Hansen%80	2912
					Chin-Kondner	3646
					De Beer	1080
9	İzmir	Vibrex	0,8	34	Chin-Kondner	8482
					De Beer	3051
10	İzmir	Çakma	0,65	34,5	Davisson	1493
					Brinch-Hansen%80	1808
					Chin-Kondner	2024
					De Beer	1091
11	Sakarya	Çakma	0,4	12	Davisson	950
					Brinch-Hansen%80	1454
					Chin-Kondner	1551
					De Beer	972
12	Sakarya	Çakma	0,4	11,3	Brinch-Hansen%80	2080
					Chin-Kondner	2398
					De Beer	1709
13	İzmit	Çakma	0,4	7	Davisson	424
					Brinch-Hansen%80	511
					Chin-Kondner	524
					De Beer	392
14	İzmit	Çakma	0,6	8	Davisson	1238
					Brinch-Hansen%80	1307
					Chin-Kondner	1391
					De Beer	1135
15	Tekirdağ	Çakma	0,508	36	Chin-Kondner	6816
					De Beer	1625
16	Tekirdağ	Çakma	0,508	36	Davisson	2119
					Chin-Kondner	5815
					De Beer	2096

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Denei No	Deneinin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
17	İzmir	Fore	1,2	13,5	Chin-Kondner	4760
					Mazurkiewicz	4500
					Brinch-Hansen%80	4395
					Kulhawy	4400
18	İzmir	Fore	1,2	21,8	Chin-Kondner	6480
					Mazurkiewicz	6380
					Brinch-Hansen%80	6649
					Kulhawy	4500
19	İzmir	Fore	1,2	5,9	Chin-Kondner	5000
					Mazurkiewicz	4905
					Brinch-Hansen%80	11950
					Decourt	5630
					Tolosko	4000
					Kulhawy	2750
20	İzmir	Fore	1,2	35	Chin-Kondner	6975
					Mazurkiewicz	6500
					Kulhawy	5770
21	Hatay	Fore	1,2	20	Chin-Kondner	12346
					Mazurkiewicz	13000
					Brinch-Hansen%80	12820
					Kulhawy	10300
22	Hatay	Fore	1,65	17,85	Chin-Kondner	13700
					Mazurkiewicz	11590
					Brinch-Hansen%80	11665
					Kulhawy	10200
23	Sakarya	Fore	1,25	25	Chin-Kondner	5000
					Mazurkiewicz	5250
					Brinch-Hansen%80	14140
					Tolosko	4260
					Decourt	6145
					Kulhawy	3750
24	Sakarya	Fore	1,25	33	Chin-Kondner	6250
					Mazurkiewicz	5300
					Brinch-Hansen%80	5560
					Kulhawy	4200
25	İzmir	Çakma	0,508	36	Chin-Kondner	3030
					Mazurkiewicz	2500
					Kulhawy	2340
26	İzmir	Çakma	0,508	30	Chin-Kondner	2326
					Mazurkiewicz	2225
					Brinch-Hansen%80	2214
					Kulhawy	2185

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
27	İzmir	Çakma	0,508	30	Chin-Kondner	2817
					Mazurkiewicz	2441
					Brinch-Hansen%80	2523
28	İzmir	Çakma	0,508	33	Chin-Kondner	2730
					Mazurkiewicz	2335
					Brinch-Hansen%80	2426
					Kulhawy	2280
29	İzmir	Çakma	0,508	30	Chin-Kondner	2380
					Mazurkiewicz	2210
					Brinch-Hansen%80	2294
					Kulhawy	2142
30	İzmir	Fore	0,8	20	Chin-Kondner	3610
					Mazurkiewicz	2550
					Brinch-Hansen%80	3434
					Kulhawy	1626
31	Bursa	Fore	0,8	15	Chin-Kondner	4785
					Mazurkiewicz	4559
					Brinch-Hansen%80	4773
					Kulhawy	2180
32	İzmir	Vibrex	0,65	36	Chin-Kondner	4330
					Mazurkiewicz	3960
					Brinch-Hansen%80	4600
					Kulhawy	1000
33	İzmir	Vibrex	0,65	35	Chin-Kondner	1600
					Mazurkiewicz	1520
					Kulhawy	780
34	İzmir	Vibrex	0,65	36	Chin-Kondner	5525
					Mazurkiewicz	4140
					Brinch-Hansen%80	5555
					Kulhawy	1600
35	Zonguldak	Fore	1	36,6	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*
36	Zonguldak	Fore	1	28	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4850
37	Zonguldak	Fore	1	35,6	Chin-Kondner	20000
					Decourt	27550
38	Zonguldak	Fore	1	35,6	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*
39	Zonguldak	Fore	1	35	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*
40	Zonguldak	Fore	1	35	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*



Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
41	Zonguldak	Fore	1	29	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*
42	Zonguldak	Fore	1	29	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5420
43	Zonguldak	Fore	1	33,8	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5450
44	Zonguldak	Fore	1	31,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	6155
45	İzmir	Vibrex	0,61	40	Davisson	14244
					Van der Veen	14715
					Chin-Kondner	4671
46	İzmir	Vibrex	0,61	38,5	Davisson	2859,59
					Mazurkiewicz	1300
					Van der Veen	1373
					Chin-Kondner	1962
47	İzmir	Vibrex	0,61	35,5	Davisson	5398,28
					Mazurkiewicz	1750
					Van der Veen	1766
					Chin-Kondner	1923
48	İzmir	Vibrex	0,61	37,75	Davisson	4457
					Mazurkiewicz	1680
					Van der Veen	1373
					Chin-Kondner	2515
49	İzmir	Vibrex	0,61	40	Davisson	8404,18
					Mazurkiewicz	2200
					Van der Veen	2943
					Chin-Kondner	3503
50	İzmir	Vibrex	0,65	35,3	Davisson	11566,11
					Van der Veen	2943
					Chin-Kondner	3065
51	İzmir	Vibrex	0,61	36,75	Davisson	4267,77
					Mazurkiewicz	2650
					Van der Veen	2256
					Chin-Kondner	3382
52	İstanbul	Fore	1	18	Chin-Kondner	5500
					Brinch-Hansen%90	5500
					Mazurkiewicz	6500
					Fuller - Hoy	5400
					Butler - Hoy	5100
Van der Veen	5000					

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
53	İstanbul	Fore	1	17	Chin-Kondner	5000
					Brinch-Hansen%90	5250
					Mazurkiewicz	6000
					Fuller - Hoy	5200
					Butler - Hoy	4800
					Van der Veen	4500
54	İstanbul	Fore	0,8	20	Chin-Kondner	2700
					Brinch-Hansen%90	3000
					Mazurkiewicz	4500
					Fuller - Hoy	3000
					Butler - Hoy	2750
					Van der Veen	2500
55	İstanbul	Fore	0,8	20	Chin-Kondner	6250
					Brinch-Hansen%90	4000
					Mazurkiewicz	4500
					Fuller - Hoy	4000
					Butler - Hoy	3700
					Van der Veen	2500
56	İstanbul	Fore	0,8	22	Chin-Kondner	4350
					Brinch-Hansen%90	4500
					Mazurkiewicz	5000
					Fuller - Hoy	4500
					Butler - Hoy	4250
					Van der Veen	3000
57	İstanbul	Vibrex	0,8	26,1	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5870
58	İstanbul	Vibrex	0,8	25,25	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5140
59	İstanbul	Vibrex	0,8	27	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5685
60	İstanbul	Vibrex	0,8	22,4	Chin-Kondner	3330
					Decourt	4770
61	İstanbul	Vibrex	0,8	21,55	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5970
62	İstanbul	Vibrex	0,8	31,25	Chin-Kondner	5000
					Decourt	6180
63	İstanbul	Vibrex	0,8	24,3	Chin-Kondner	5000
					Decourt	6180
64	Zonguldak	Fore	1	29,1	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5220
65	Ankara	Fore	0,8	13	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4480

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
66	Ankara	Fore	0,8	10	Chin-Kondner	5000
					Brinch-Hansen %80	11950
					Tolosko	3960
					Decourt	6250
67	Ankara	Fore	1,65	17	Chin-Kondner	14300
					Brinch-Hansen %80	37800
					Tolosko	13500
					Decourt	14500
68	Ankara	Fore	1,65	17	Yanal Kapasite	780
69	İstanbul	Fore	1	30	De Beer	7000
					Butler - Hoy	8800
					Teğet	8900
70	Ankara	Fore	0,8	15	Chin-Kondner	14285
					Brinch-Hansen %80	21820
					Tolosko	8480
					Decourt	13930
71	Ankara	Fore	0,8	20	Chin-Kondner	12500
					Brinch-Hansen %80	5345
					Tolosko	9280
					Decourt	14630
72	İzmit	Fore	0,8	31,5	Chin-Kondner	Bulunamadı*
					Decourt	Bulunamadı*
73	İzmit	Fore	0,8	31,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5610
74	İzmit	Fore	0,8	22	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4675
75	Bursa	Fore	0,8	18	Chin-Kondner	3330
					Decourt	3690
76	Zonguldak	Fore	1	26,7	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5575
77	İzmit	Çakma	1,016	40	Mazurkiewicz	3775
					Chin-Kondner	5000
					Decourt	6283
					Çakma Eşitliği	1225
78	İzmit	Çakma	1,016	49,8	Çakma Eşitliği	961
					Chin-Kondner	2500
					Decourt	3685
79	Antalya	Çakma	0,56	6,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4725
80	Antalya	Çakma	0,56	6,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4380
81	Antalya	Çakma	0,56	6,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	4760

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

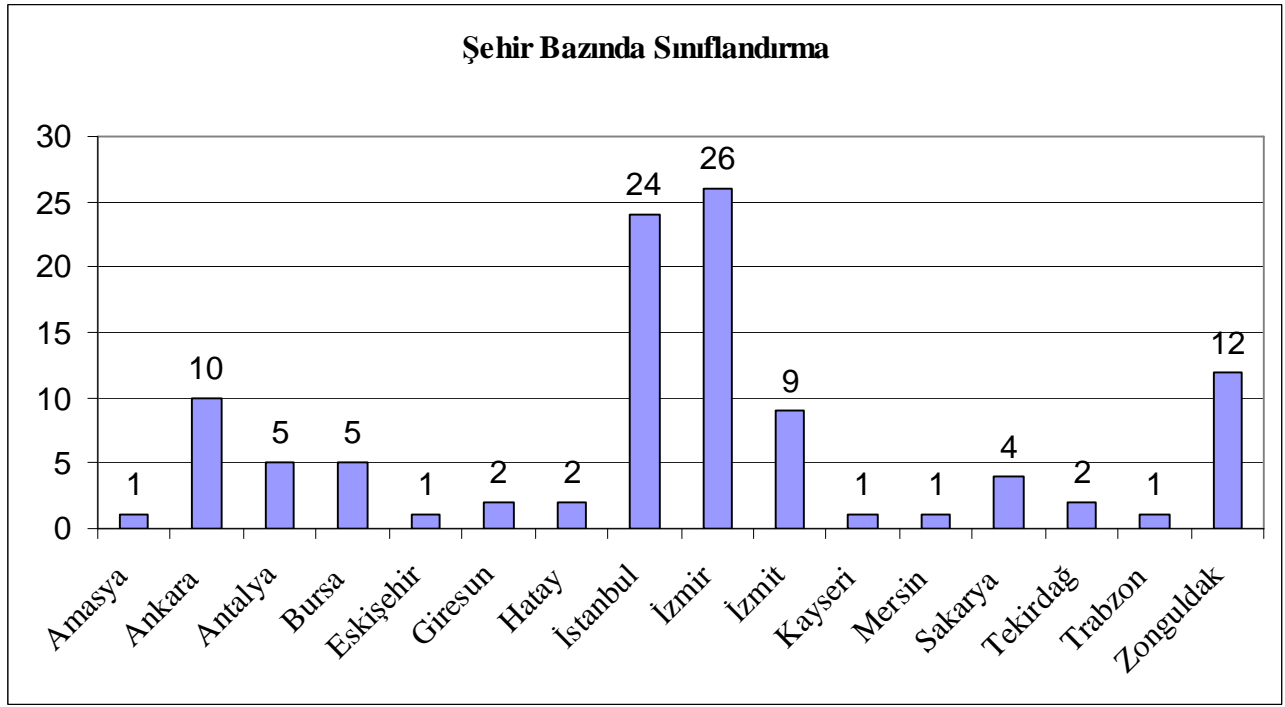
Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
82	Antalya	Çakma	0,56	6,5	Chin-Kondner	5000
					Decourt	6325
83	Antalya	Çakma	0,56	6,5	Chin-Kondner	10000
					Decourt	5810
84	Trabzon	Fore	1	5	Yanal Kapasite	470
85	İstanbul	Fore	0,8	11,2	Chin-Kondner	10000
					Brinch-Hansen %80	18257
					Tolosko	7820
					Decourt	7215
86	İstanbul	Fore	0,8	11,2	Chin-Kondner	12500
					Brinch-Hansen %80	7070
					Tolosko	9270
					Decourt	13200
87	İstanbul	Fore	0,8	11,2	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5170
88	İzmir	Fore	0,6	12,5	Chin-Kondner	2000
					Decourt	2075
89	Giresun	Fore	2	13	Chin-Kondner	50000
					Decourt	48975
90	Giresun	Fore	2	13	Chin-Kondner	200000
					Brinch-Hansen %80	18300
					Tolosko	127000
					Decourt	217493
91	Mersin	Fore	0,9	20	Chin-Kondner	14285
					Brinch-Hansen %80	8450
					Tolosko	8010
					Decourt	13030
92	Eskişehir	Fore	1,2	15,5	Chin-Kondner	10000
					Brinch-Hansen %80	22360
					Tolosko	9330
					Decourt	8260
93	Ankara	Fore	1,2	9,5	Chin-Kondner	33330
					Brinch-Hansen %80	15810
					Tolosko	24600
					Decourt	34900
94	Ankara	Fore	1,2	18	Chin-Kondner	25000
					Brinch-Hansen %80	12910
					Tolosko	18400
					Decourt	24600
95	Ankara	Fore	1,2	27	Chin-Kondner	14285
					Brinch-Hansen %80	25820
					Tolosko	11900
					Decourt	13200

Çizelge 3.1 Devamı Türkiye KYD Programında kayıtlı deneylerin listesi

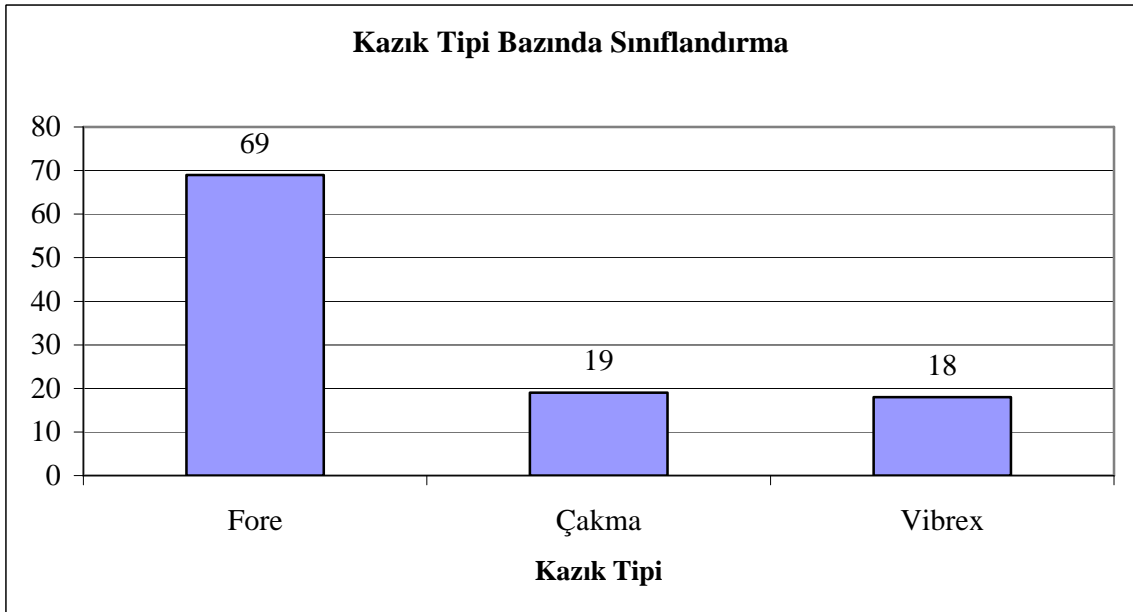
Kazık Yükleme Deney No	Deneyin Yapıldığı Şehir	Kazık Tipi	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Yöntem	Taşıma Gücü (kN)
96	Ankara	Fore	1,2	26	Chin-Kondner	20000
					Decourt	16890
97	Kayseri	Fore	1	24	Chin-Kondner	25000
					Decourt	20375
98	Amasya	Fore	1	26	Chin-Kondner	10000
					Decourt	9445
99	İstanbul	Fore	0,8	28	Chin-Kondner	3330
					Decourt	2950
100	İstanbul	Fore	0,8	28	Chin-Kondner	5000
					Decourt	5460
101	İstanbul	Fore	0,8	25	Chin-Kondner	10000
					Decourt	11020
102	İstanbul	Fore	1,2	24,5	Chin-Kondner	10000
					Decourt	8185
103	İstanbul	Fore	1,2	24,5	Chin-Kondner	435
					Decourt	615
104	İstanbul	Fore	1,2	24,5	Chin-Kondner	830
					Decourt	565
105	İstanbul	Fore	1,2	24,5	Chin-Kondner	475
					Decourt	775
106	İstanbul	Fore	1,2	24,5	Chin-Kondner	265
					Decourt	250

\* Deplasmanlar 1 mm'nin altında

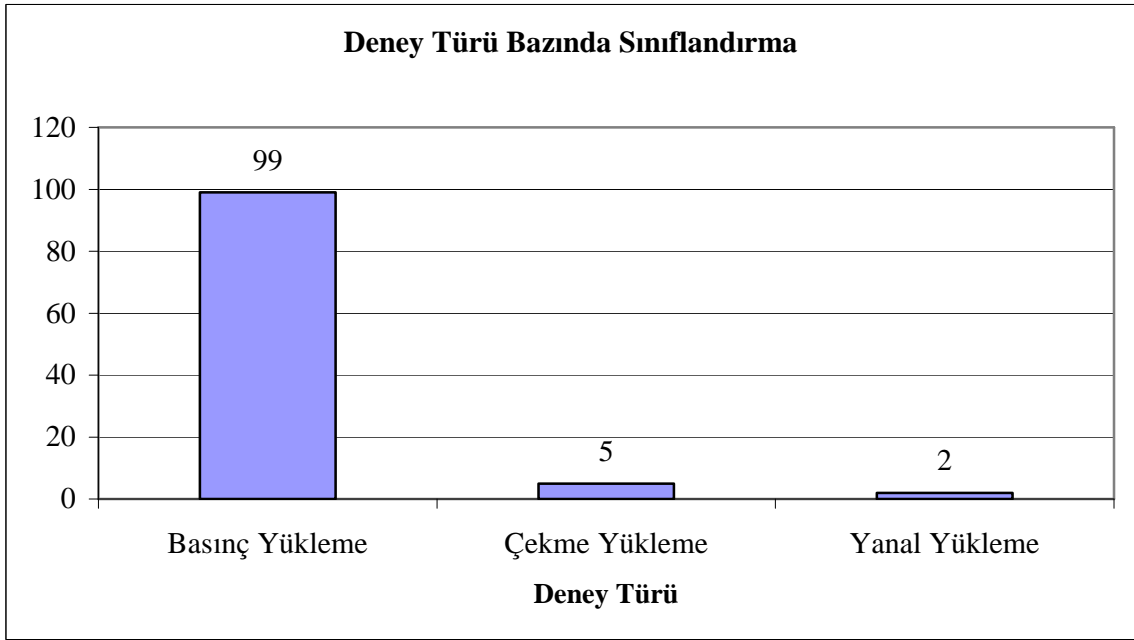
Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin yapıldığı şehirler açısından sınıflandırılması Şekil 3.32'de, Şekil 3.33'de kazık tipi, Şekil 3.34'de kazık yükleme deney türü, Şekil 3.35'te kazık yükleme deneyinin kazığın içinde bulunduğu zemin açısından, Şekil 3.36'da kazık çapı aralığı ve Şekil 3.37'de kazık boylarına göre kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.



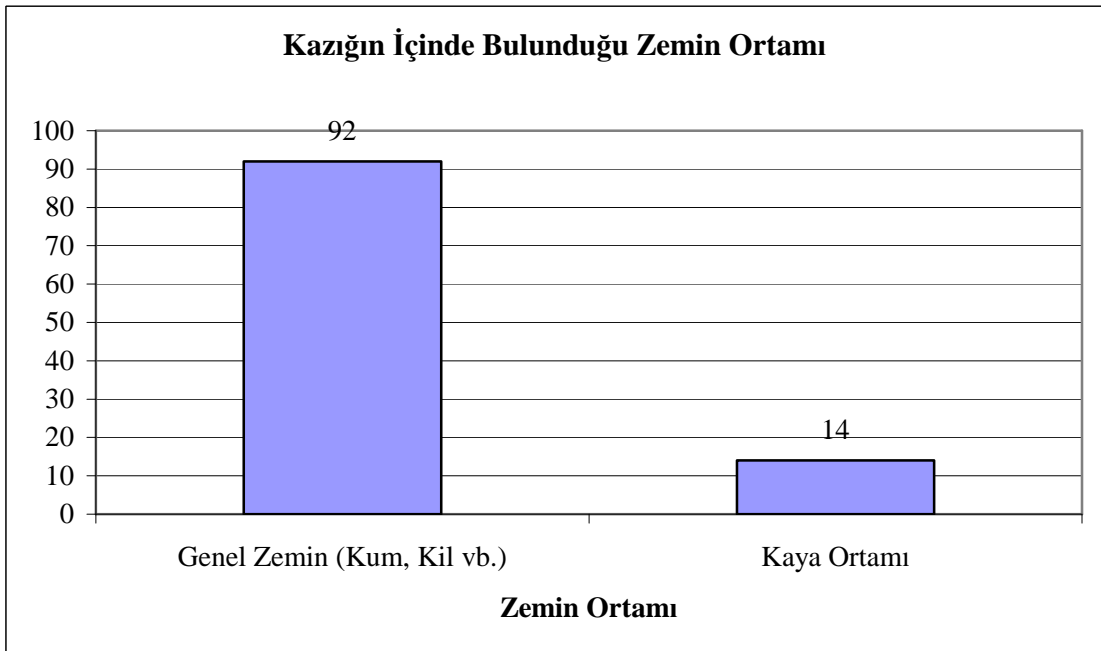
Şekil 3.32 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin yapıldığı şehirler açısından sınıflandırılması



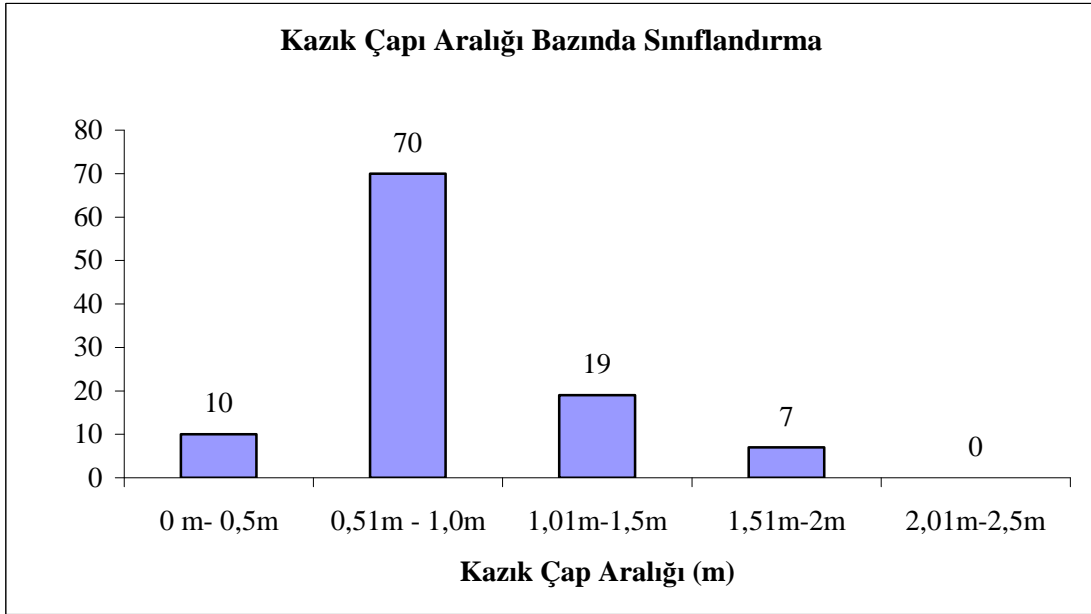
Şekil 3.33 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık tipi açısından sınıflandırılması



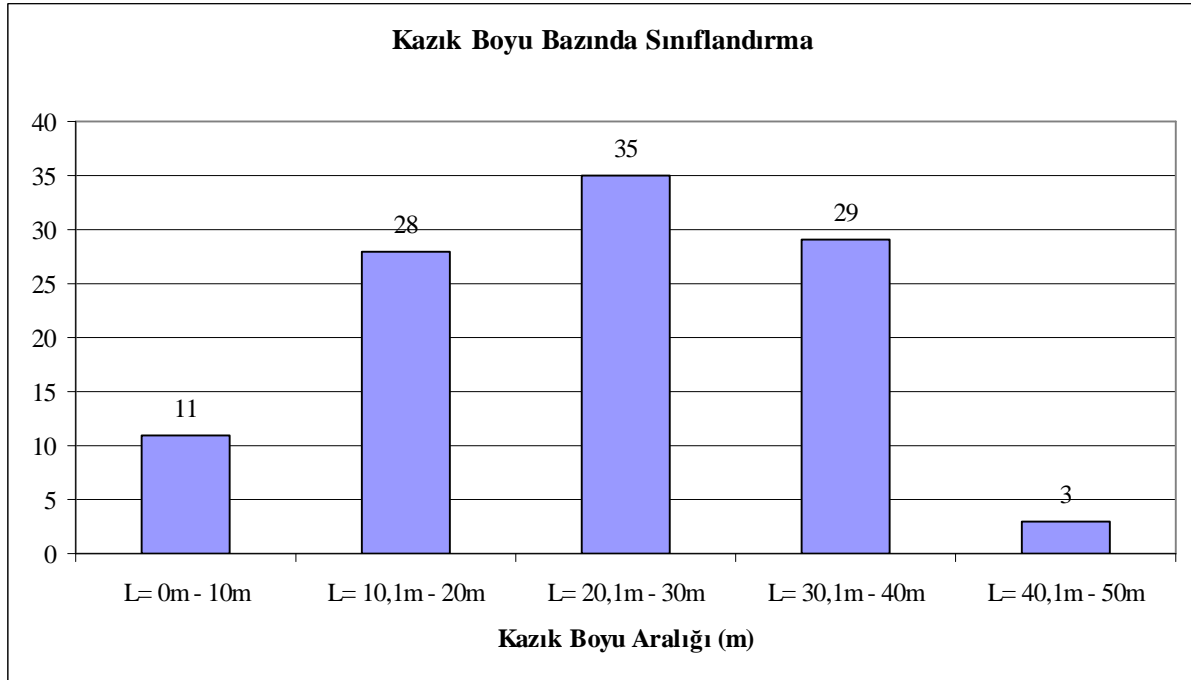
Şekil 3.34 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin deney türü açısından sınıflandırılması



Şekil 3.35 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazığın içinde bulunduğu zemin açısından sınıflandırılması



Şekil 3.36 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık çapı aralığı açısından sınıflandırılması



Şekil 3.37 Türkiye KYD Veri Tabanında kayıtlı bulunan kazık yükleme deneylerinin kazık boyu aralığı açısından sınıflandırılması



#### 4. KAYA VE KAYANIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Bir tür zemin ortamı olan kaya, birçok inşaat mühendisliği projelerinde gerek üst yapı yüklerini zemine aktaran temelin altında taşıyıcı ortam gerekse dolgu, kaplama malzemesi, agrega vb. inşaa malzemesi olarak kullanılan zemin ortamıdır. Kaya ortamının mühendislik projelerinde kullanılmasından dolayı özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu bölümde kaya ortamı için belli başlı tanımlar, kayaların mühendislik özellikleri ve tipik değer aralıkları hakkında bilgiler verilmiştir.

##### 4.1 Tanımlar

**Kaya:** Bir ya da daha fazla mineralin bir araya gelmesinden oluşan bütündür (Yıldırım; Gökaşan, 2007).

Kayalar üç gruba ayrılırlar.

- 1- **Magmatik Kayaçlar:** Magmanın, litosfer tabakasındaki farklı derinliklerinde ya da yeryüzüne kadar yükselerek katılması sonucu meydana gelen kayaç grubudur. Örnek olarak; Granit, Gabro, Bazalt, Riyolit, Andezit, Siyenit, Anglomera.
- 2- **Metamorfik Kayaçlar:** Kayaçların, basınç ve kimyasal özelliğe sahip olan sıvı ve gazların etkisine maruz kalması durumunda başkalaşmasıyla meydana gelen kayaç türleridir. Örnek olarak; Gnays, Mermer, Şist, Kuvarsit.
- 3- **Sedimanter Kayaçlar:** Çeşitli büyüklükteki kayaç parçalarının istiflenmesi sonucu ya da kimyasal ve biyolojik işlemlerle çökmesi sonucu gelişen kayaç türüdür. Örnek olarak; Kumtaşı, Kiltası, Kireçtaşı, Siltaşı, Şeyl, Konglomera verilebilir.

**Süreksizlik:** Bütün jeolojik yüzeyler çatlaklar, klivaj yüzeyleri, kesme zonları gibi kaya kütlelerinin katı blokları ile ayrılır ve bu oluşuma süreksizlik adı verilir (CFEM, 2006). Başka bir deyişle, doğal ortamda birim kaya elemanlarını sınırlayan düzlemsel veya hacimsel yapı bozukluklarıdır (Yıldırım; Gökaşan, 2007).

**Kaya Kütleli:** Eklem, çatlak gibi süreksizliklerle ayrılmış tam kaya bloklarından oluşan bir bütündür (CFEM, 2006).

Kaya, bir bina malzemesi olabilir ya da yapı kaya üstüne inşa edilebilir veya yapı kayanın içine inşa edilebilir. Bunlara örnek verilmek istenirse, ana kaya üzerine inşa edilen ve temelleri kayanın üstüne oturan bir yapı veya kaya formu içinden geçen bir tünel olabilir.

Doğada mevcut olarak bulunan ve değişken özellikler gösteren kaya malzemesi, kaya mekaniği ve kaya mühendisliği prensipleri açısından ele alınması çok önemlidir (Hudson ve Harrison, 1997). Kaya ve kaya ortamının mühendislik projelerindeki uygulama yerleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir ( Zhang, 2005).

Çizelge 4.1 Kaya ortamında yapı tipleri (Zhang, 2005)

Uygulama Alanı	Yapı Tipleri
Madencilik	Yüzey madenciliği- şev stabilitesi; kaya kütlesi kazılabilirliği, delme, patlatma, parçalama. Yer altı madenciliği-kuyu ve destek tasarımı; delme, çatlatma, kazılabilirlik; arazi yerinde iyileştirme.
Enerji Geliştirme	Yer altı güç santrali (hidroelektrik ve nükleer); yer altı gaz ve benzin depoları; baraj temelleri; basınç tünelleri; nükleer atıkların kontrolü için yer altı depoları; jeotermal enerji; petrol kuyuları
Ulaştırma	Otoyolu ve tren yolu şevleri; tüneller; viyadük ve köprü temelleri; kanallar ve su yolları; kentsel hızlı ulaşım tünelleri ve istasyonları; boru hatları.
Malzeme	Baraj temelleri; Depo şevlerinin stabilitesi; su sağlama tünelleri; sanitasyon (temizlik işleri) tünelleri; endüstriyel ve belediyeye ait atık işletme santralleri; yer altı depoları; yüzey elektrik santrallerinin temelleri.
Bina Yapımı	Temeller; derin açık kazıların stabilitesi; yer altında ve yer üstünde barınma, evler ve ofisler.
Askeri	Sivil savunma ve askeri üsler için yer altında büyük boşluk alanları; nükleer patlayıcıların kullanılması; derin üs ve stratejik mermi, füze deposu.

## 4.2 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri

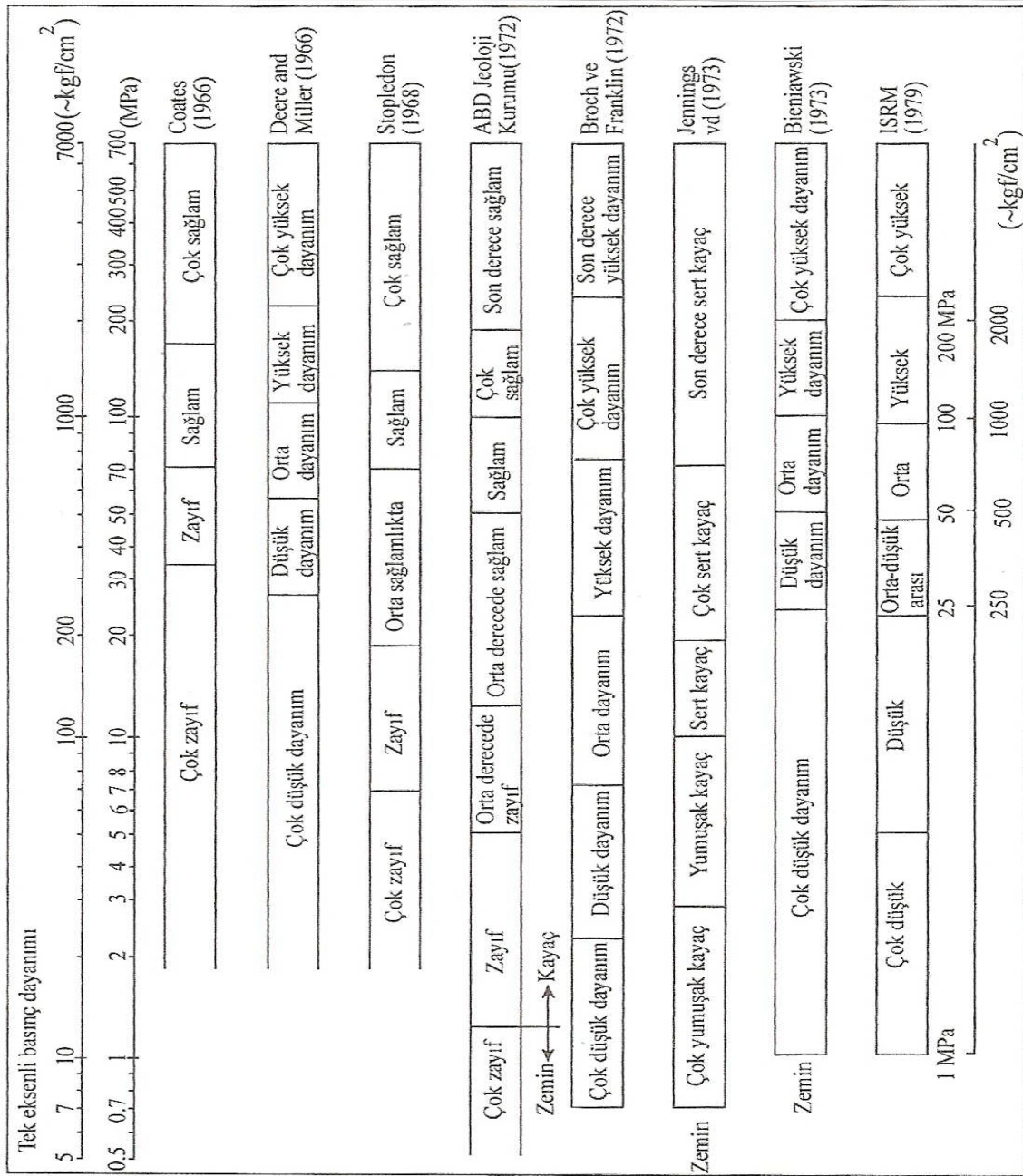
Kaya kütlelerinin birtakım mühendislik uygulamalarında kullanılması ya da çeşitli inşaat projelerine katılmasından dolayı kalitesi, dayanımı ve şekil değiştirme gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

### 4.2.1 Sağlam Kaya Numunelerinin Dayanımı

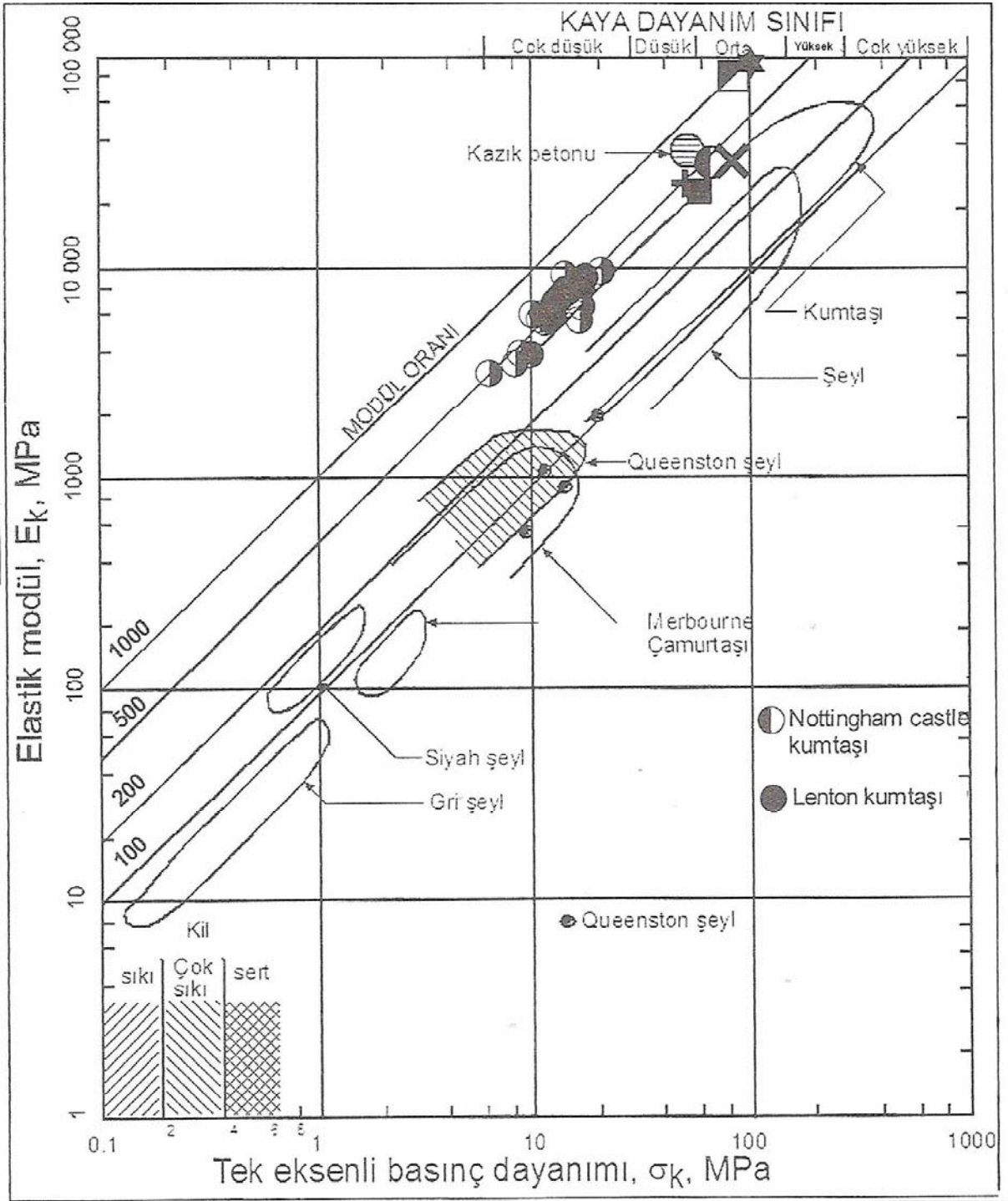
Dayanım, kaya örneği tarafından taşınabilen maksimum gerilme değeridir. Kayaçlar “ $\sigma_k$ ” tek eksenli basınç dayanımları ve “ $I_s$ ” nokta yük indisine göre sınıflandırılabilir. Tek eksenli

basınç dayanımı silindirik numuneler üzerinde yapılan deney ile hesap edilir. Nokta yük indeksi ise şantiyede karotlar üzerinde yapılan pratik bir deneydir.

Literatürde tek eksenli basınç dayanımına göre yapılan çeşitli sınıflandırmalar Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Afrouz, 1992 kaynağından alıntılan Arıoğlu v.d., 2007). Buna ek olarak kaya elastisite modülü “ $E_k$ ” ile tek eksenli basınç dayanımı “ $\sigma_k$ ” arasındaki ilişki Şekil 4.2’de verilmektedir (Deere ve Miller, 1966).



Şekil 4.1 Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen, kayaçların tek eksenli mukavemet bazında sınıflandırılması (Arıoğlu, 2007)



Şekil 4.2 Kayaçlarda  $E_k - \sigma_k$  ilişkisi ve sınıflandırması (Dere ve Miller, 1966)

Marinos ve Hoek, 2001 tarafından kayaç dayanımı ve nokta yük indeksi göre sınıflandırma aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Kayaç dayanımı ve nokta yük indisine göre sınıflandırma (Marinos ve Hoek, 2001)

Derece *	Terim	Tek Eksenli Basınç Mukavemeti (Mpa)	Nokta Yükleme İndeksi (Mpa)	Dayanımın Arazide Belirlenmesi	Örnekler
R6	Aşırı Sağlam	>250	>10	Jeoloji çekici kullanılarak yontulabilir	Bazalt,Çört,Diyabaz, Gnays,Granit,Kuvarsit
R5	Çok Sağlam	100-250	4-10	Jeolojik çekiç darbeleriyle çatlatılabilir	Amfibolit,Kumtaşı, Bazalt,Gabro,Gnays, Riyolit,Tüf
R4	Sağlam	50-100	2-4	Jeolojik çekiç darbeleriyle çatlatılabilir	Kireçtaşı,Marn,Kumtaşı ,Şist
R3	Orta	25-50	1-2	Jeolojik çekiçle çatlatılabilir, cep bıçağı ile kazınmaz	Beton,Fillit,Şist,Silttaşı
R2	Zayıf	5-25	**	Cep bıçağı ile zor parçalanır, Jeolojik çekiçle çatlaklar oluşturulabilir	Kireçtaşı,Kiltaşı,Marn, Silttaşı, Kayatuzu,Şist
R1	Çok Zayıf	1-5	**	Cep bıçağı ve Jeolojik çekiçle parçalanabilir	Fazlaca hava şartlarına maruz kalmış ve değişmiş kaya
R0	Aşırı Zayıf	0,25-1	**	Başparmak tırnağı ile çökertilebilir	Fay

\*Derecelendirme, Brown (1981)'a göre yapılmaktadır.

\*\* Tek eksenli basınç dayanımı 25 MPa'ın altında olan kayaçlar, nokta yükleme deneylerinde belirsiz sonuçlar vermektedir.

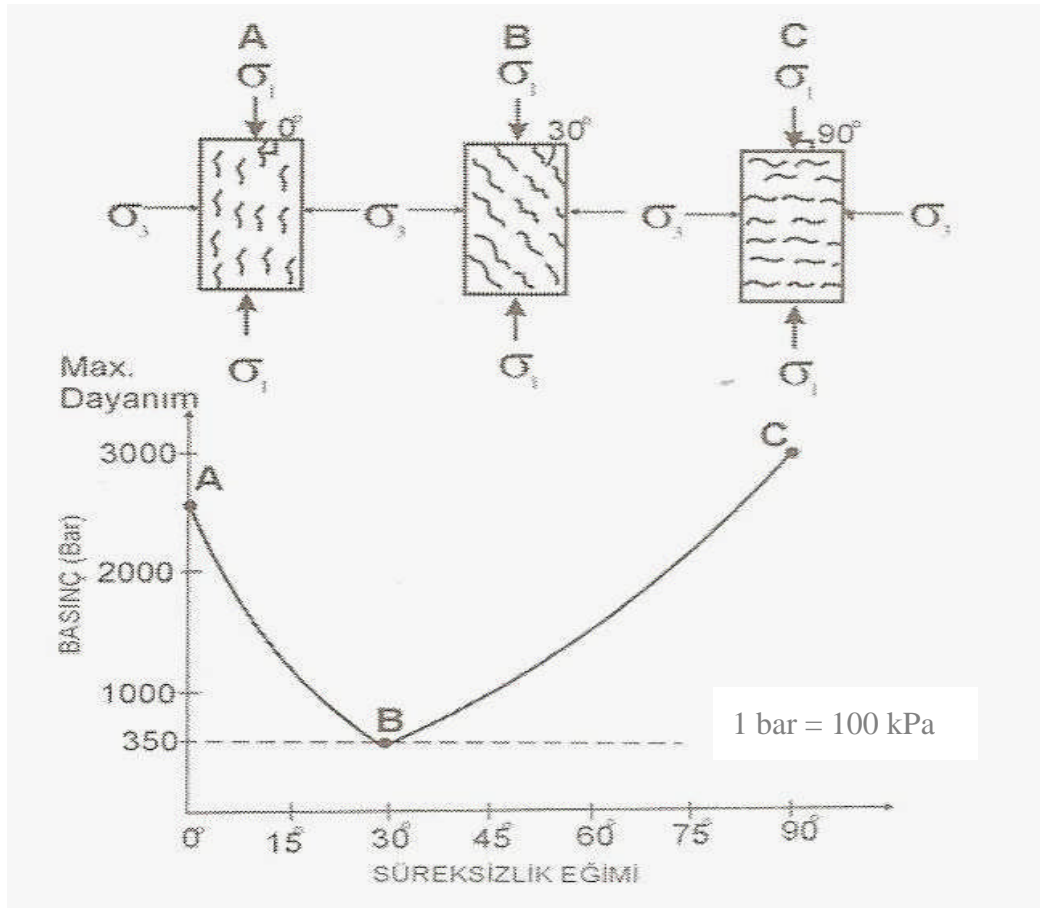
#### 4.2.2 Süreksizlikler

Kaya kütesinin bünyesinin bütünlüğü süreksizliklerin varlığından etkilenmektedir. Kesmeler, çatlaklar gibi önemli bünyenin içinden doğrudan geçen oluşumlar veya önemli zayıf zonlar buldukları yerlerde kaya kütesinin davranışına egemen olabilirler. Eklemler ve küçük kesme yapılarından oluşan sistemler tarihsel gerilme alanları altında meydana gelebilir. Kaya

kütlelerinin arasında benzer olarak yönlendirilmiş birçok eklem vardır. Bu eklem gruplarına eklem takımı adı verilmektedir (CFEM, 2006).

Süreksizlikler kaya dayanımı açısından ele alınırsa, bünyesinde süreksizlikler bulunan kaya, basınca dayanımlı bir malzemedan oluşmuşsa bile, taşıyabileceği yük bünye içinde bulunan süreksizliklerin taşıyabileceği kadardır. Bunun yanında kaya kütlesi içindeki süreksizliklerin yönleri (Şekil 4.3), dayanım üzerinde yüksek bir oranda etkili olmaktadır (Yıldırım ve Gökaşan, 2007).

Kayaların süreksizlik aralığına göre sınıflandırılması Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Böyle bir değerlendirmenin yapılabilmesi için numune boyu en az 3 m olmalıdır (CFEM, 2006; Yıldırım ve Gökaşan, 2007).



Şekil 4.3 Süreksizlik yönlerinin kaya dayanımına etkisi (Yıldırım ve Gökaşan, 2007)

Çizelge 4.3 Süreksizlik aralığına göre kayaçların sınıflandırılması (Yıldırım ve Gökaşan, 2007)

<b>Kayaç Sınıfı</b>	<b>Süreksizlik Ara Mesafesi (m)</b>
Aşırı Sık Çatlaklı	<0,02
Çok Sık Çatlaklı (Kırılmış-Ezilmiş)	0,02-0,06
Sık Çatlaklı (Çatlaklı)	0,06-0,2
Orta Çatlaklı (Bloklu)	0,2-0,6
Seyrek Çatlaklı (Masif)	0,6-2,0
Çok Seyrek Çatlaklı (Katı)	2,0-6,0
Aşırı Seyrek Çatlaklı	>6,0

Deere v.d. (1967) tarafından kayaç kalitesini gösteren “RQD” (Rock Quality Designation) önerilmiştir. Bu değer kaya kütlesi içindeki çatlak numaralarının dolaylı bir ölçümüdür. Bu metot sondajlardan karot alma esnasında kaya kütlesinin kalitesini belirlemek için çabuk ve nesnel bir yaklaşımdır (CFEM, 2006). RQD değerine göre kayaç sınıflandırılması Çizelge 4.4’ de gösterilmiştir.

$$RQD(\%) = \frac{10 \text{ cm'den uzun karot parçalarının uzunlukları toplamı} \times 100}{\text{Tüm karot parçalarının uzunlukları toplamı}}$$

### 4.3 Kayaların Tipik Mühendislik Özellikleri

Doğadaki kayaların yoğunlukları, serbest basınç mukavemetleri, elastisite modülleri, içsel sürtünme açıları ve Poisson oranları gibi tipik mühendislik özelliklerinin değerleri aşağıda çizelgeler halinde düzenlenmiştir (Mayne v.d., 2001; Zhang, 2004)

Çizelge 4.4 RQD değerine göre kaya sınıflandırması (CFEM, 2006)

<b>Kaya Sınıfı</b>	<b>RQD (%)</b>
Çok Zayıf	<25
Zayıf	25-50
Orta	50-75
İyi	75-90
Mükemmel	90-100

Çizelge 4.5 Kayaların tipik serbest basınç mukavemeti değerleri (Zhang, 2004)

<b>Kayaç Kategorisi</b>	<b>Genel Tanımlama</b>	<b>Kaya</b>	<b>Serbest Basınç Mukavemeti (MPa)</b>
A	<i>İyi gelişen kristalli klivaj (dilinim) ile birlikte Karbonatlı Kayalar</i>	Dolomit	33-310
		Kireçtaşı	24-290
		Karbonit	38-69
		Marn	38-241
		Skarn	131-338
B	<i>Esnek Killi Kayaç</i>	Arjilit-Kiltaşı	29-145
		Kiltaşı	1-8
		Marn Taşı	52-193
		Fillit	24-241
		Silt Taşı	10-117
		Killi Şist	7-35
		Sleyt	145-207
C	<i>Güçlü kristalli ve zayıf klivajlı (dilinimli) Arenalı Kayalar</i>	Konglomara	33-221
		Kumtaşı	67-172
		Kuvarsit	62-379
D	<i>İyi Derecelenmiş Volkanik Kristalli Kaya</i>	Andezit	97-179
		Diyabaz	21-572
E	<i>Kaba derecelenmiş volkanik ve metamorfik kristalli kaya</i>	Amfibolit	117-276
		Gabro	124-310
		Gnays	24-310
		Granit	14-338
		Kuvars	
		Diyorit	10-97
		Kuvars	131-159
		Monozonit	10-145
Şist	179-427		



Çizelge 4.6 Kayaların tipik elastisite modülü değerleri (Zhang, 2004)

Kayaç Tipi	Elastik Modül Değerleri (GPa)		
	Maksimum	Minimum	Ortalama
Granit	100	6,41	52,7
Diyorit	112	17,1	51,4
Gabro	84,1	67,6	75,8
Diyabaz	104	69	88,3
Bazalt	84,1	29	56,1
Kuvarsit	88,3	36,5	66,1
Marn	73,8	4	42,6
Mnays	82,1	28,5	61,1
Sleyt	26,1	2,41	9,58
Şist	69	5,93	34,3
Fillit	17,3	8,62	11,8
Kumtaşı	39,2	0,62	14,7
Silttaşı	32,8	2,62	16,5
Killi şist	38,6	0,007	9,79
Kil taşı	89,6	4,48	39,3
Dolomit	78,6	5,72	29,1

Çizelge 4.7 Kayaların tipik yoğunluk değerleri (Zhang, 2004)

<b>Kayaç Tipi</b>	<b>Yoğunluk Aralığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ortalama Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b><i>Magmatik Kayaçlar</i></b>		
Granit	2516-2809	2667
Granodiyorit	2668-2785	2716
Siyenit	2630-2899	2757
Kuvars Diyorit	2680-2960	2806
Diyorit	2721-2960	2839
Norit	2720-3020	2984
Gabro	2850-3120	2976
Diyabaz	2804-3126	3234
Peridolit	3152-3276	3234
Dünit	3204-3314	3277
Piroksenit	3100-3318	3231
Anortozit	2640-2920	2734
<b><i>Tortul Kayaçlar</i></b>		
Kumtaşı	2170-2700	---
Kireçtaşı	2370-750	---
Dolomit	2750-2800	---
Tebeşir-Kireçtaşı	2230	---
Marn	2750	---
Şist	2060-2660	---
Kum	1920-1930	---
<b><i>Metamorfik Kayaçlar</i></b>		
Gnays	2590-3060	2703
Şist	2700-3030	2790
Sleyt	2720-840	2810
Amfibolit	2790-3140	2990
Granolit	2630-3100	2830
Ekajit	3338-3452	3392

Çizelge 4.8 Kayaların tipik poisson oranı değerleri (Zhang, 2004)

Kayaç Tipi	Poisson Oranı		
	Maksimum	Minimum	Ortalama
Granit	0,39	0,09	0,20
Gabro	0,2	0,16	0,18
Diyabaz	0,38	0,20	0,29
Bazalt	0,32	0,16	0,23
Kuvarsit	0,22	0,08	0,14
Marn	0,4	0,17	0,28
Gnays	0,4	0,09	0,22
Şist	0,31	0,02	0,12
Kumtaşı	0,46	0,08	0,20
Silttaşı	0,23	0,09	0,18
Killi Şist	0,18	0,03	0,09

Çizelge 4.9 Dolgu, mineraller ve kayaların tipik içsel sürtünme açısı ( $\phi'$ ) (Mayne vd., 2001)

DURUM	İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI $\phi'$ ( $c' = 0$ )
<b><i>Kalın Dolgular</i></b>	
Simetit ve Monmorillinit Killer	5-10
Kaolinit	12-15
İllit	16-22
Klorit	20-30
Kuvarlı Kum	33-40
Feldispatlı Kum	28-35
<b><i>Mineraller</i></b>	
Talk	9
Serpantin	16
Biyotit	7
Muskovit	13
Kalsit	8
Feldispat	24
Kuvars	33
<b><i>Kaya</i></b>	
Kristal Kireçtaşı	42-49
Poroz Kireçtaşı	32-48
Tabeşir, Kireçtaşı	30-41
Kumtaşı	24-35
Kuvarsit	23-44
Killi Şist	22-37
Bentonitik Şist	9-27
Granit	31-33
Dolerit	33-43
Şist	32-40
Marn	31-37
Gabro	33
Gnays	31-35

Çizelge 4.10 Kayaların residüel sürtünme açıları ( Mayne vd., 2001)

<b>Kaya Tipi</b>	<b>Residüel Sürtünme Açısı (derece) (c'=0)</b>
Amfibolit	32
Bazalt	31-38
Konglomera	35
Tebeşir	30
Dolomit	27-31
Gnays	23-29
Granit	29-35
Kireçtaşı	33-40
Porfir	31
Kumtaşı	25-35
Şist	27
Silttaşı	27-31
Arduvaz	25-30

#### **4.4 Kayaların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi için Yapılan Laboratuar ve Arazi Deneyleri**

Geoteknik Mühendisliğinde, yapı alanının mühendislik özellikleri zemin incelemesi yapılarak belirlenmektedir. Zemin incelemesi arazide yapılan deneyler ve araziden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuar deneyleri olarak iki kısımda yapılır. Kayaların mühendislik özelliklerini belirlemek için yapılan deneylere ayrıntısına girilmeden, genel bilgi vermek amacı ile değinilmiştir.

##### **4.4.1 Laboratuar Deneyleri**

Laboratuar kaya deneyleri, numunelerin basınç dayanımı, elastik özellikleri ve ayrışma potansiyelini belirlemek için yapılmaktadır. Belirlenen parametreler kayaç dolgular, yüzeysel ve derin temeller, şev stabilitesi ve tünellerin tasarımı gibi daha birçok mühendislik uygulamalarında kullanılabilir. Genel olarak yapılan laboratuar deneyleri Çizelge 4.11'de gösterilmektedir (Mayne vd., 2001).

Çizelge 4.11. Laboratuarda kaya numunelere uygulanan deney yöntemleri (Mayne vd., 2001)

Test Kategorisi	Yapılacak Test
Nokta Yükleme Dayanımı	Nokta yükleme indeksi ( $I_s$ ) belirlemek
Basınç Dayanımı	Tek eksenli basınç testi
	Üç eksenli basınç dayanımı (boşluk basıncı ölçümü yapılmaksızın)
Creep Testleri (Sünme)	Tek eksenli basınç altında silindirik sert kaya karot ile yapılacak deney
	Tek eksenli basınç altında silindirik yumuşak kaya karot ile yapılacak deney
	Üç eksenli basınç altında silindirik sert kaya karot ile yapılacak deney
Çekme Dayanımı	Kaya karot numunelerin direkt olarak çekme dayanımı
	Karotun şiddetli çekilme dayanımı (Brezilya Testi)
Direk Kesme	Sürekli normal gerilme altında kaya numunelere direk kesme deneyi uygulanması
Permeabilite	Hava akımı ile elde edilen kaya permeabilitesi
Durabilite	Tortullu şist ve benzer zayıf kayaların söndürme durabilitesi
	Sodyum magnezyum sülfat kullanılarak temel için kullanılan kaya parçacıkları diliminin testi
	Donma/ Erime altında erozyonun kontrolü için durabilite
	Islanma/ Kuruma altında erozyonun kontrolü için durabilite
Deformasyon ve Sertlik	Tek eksenli basınç altında elastisite modülü
	Üç eksenli basınç altında elastisite modülü
	Çarpma hızları ve ultrasonik elastik süreklilikler

Bunlara ek olarak kaya mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için “Schmidt Çekici” ve “Shore Sklerometre Sertliği” deneyleri yapılabilir. Bu yöntemler ile elde edilen değerlerle kaya mühendislik özellikleri arasında birçok korelasyon literatürde mevcuttur. Bu yöntemler ekonomiklik ve zaman verimi açısından kazanç sağlayabilmektedir (Yaşar ve Erdoğan, 2004).

#### 4.4.2 Arazi Deneyleri

Kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek için arazide yapılan deneyler, aşağıda listelenmiştir (Rowe, 2001). Bunlardan plaka yükleme deneyi uygulamada en fazla kullanılan arazi deneyidir. Bunun yanında standart penetrasyon deneyi “SPT” kaya mühendislik özellikleri hakkında bize fikir verebilmektedir. Ayrıca Menard Presyometre deneyi ile de kayacın mühendislik özelliklerini elde etmek mümkün olabilmektedir.

1-Plaka Yükleme Deneyi

2-Geniş Yassı Kriko Deneyi

3-Basınçlı Tünel Deneyi

4-Radyal Kriko (Jacking) Deneyi

5-Tünel Gevşeme Deneyi

6-Gerilme Boşalması Deneyi

7-Dilatometre Deneyi

8-Dinamik Deneyler

## 5. KAYAYA SOKETLİ KAZIKLAR

Soketli kazıklar, zayıf veya hava, yağmur vb. etkileriyle yıpranmış kayaların içinde belli derinlikte delinerek inşa edilen kazık temellerdir (Tomlinson ve Woodward, 2008).

Üst yapıdan aktarılan yüklerin taşınabilmesi ve proje için hizmet görme limit durumları açısından sınırlandırılması gereken yer değiştirmeler söz konusu ise kazık temellerin daha derinlerde bulunan kaya kütlesi içine soketlenmesi gerekmektedir. Büyük açıklıklı köprü, yüksek katlı binalar vb. durumlarda aşırı büyük miktarda yüklerin temellere aktarıldığı durumlarda kayaya soketlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu gibi durumlarda toplam yer değiştirme, farklı yer değiştirme, açısız dönme vb. gibi yer değiştirmelerin sınırlandırılması önemlidir (Arıoğlu, 2007).

Çevre sürtünmesi ile soket derinliğini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Taşıma kapasitesi ve kazık oturmasını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

1-Soket boyu ve kazık çapı oranı ( $L_s/D$ ).

2-Kaya çevresinde ve soket altında dayanım ve elastisite modülü.

3-Soket çevresinde pürüzlülük, delme kırıntılarının varlığı veya bentonit çamuru vb. durumlarının etkisi.

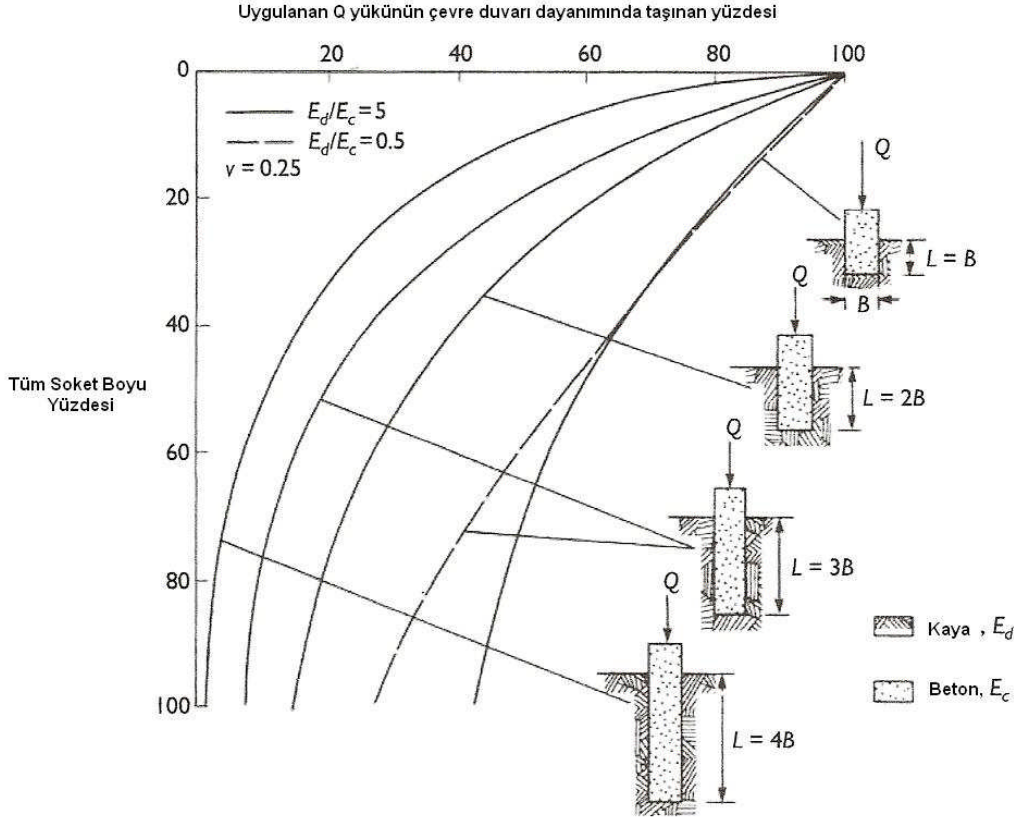
4-Delinmiş boşluğun tabanındaki kırıntıların ve gevşek kısmın etkisi.

5-Kayaların tabakalanması, farklı dayanım ve elastisite modülü.

6-Çevre duvarın elastik limitiyle ilişkili olan oturma.

7-Kaya/beton yüzündeki malzemenin sünme özelliğinin bir sonucu olarak, zamana bağlı artan oturmalar (Tomlinson ve Woodward, 2008).

Soketli kazıkta soket boyu kazık çapı oranının etkisi Şekil 5.1'de gösterilmektedir (Duncan, 1999).



Şekil 5.1 L/D oranının etkisi (Duncan, 1999)

### 5.1 Soketlenmiş Kazıkta Yük Taşıma Mekanizması

Soketli kazıklarda uygulanan yükleri taşıma durumuna göre üç farklı şekilde tasarım yapılabilir (Duncan, 1999; CFEM, 2006).

- 1- Sürtünme ve adhezyon etkisiyle çevrede taşıma,
- 2- Kazık alt ucu altında taban taşıma gücü,
- 3- Hem taban hem de çevrede taşıma.

Kulhawy ve Goodman'e göre, soket boşluğunun tabanı temizlenmez ise taban taşıma gücü belirsiz olur. Bunun sonucu olarak yük sadece çevrede taşındığı kabul edilebilir. Bunun tersi durumda ise, düşük mukavemetli kaya malzemenin altındaki sağlam ana kaya üstüne kazık alt ucu yerleştirildiği takdirde, zayıf kayacın etkisi göz ardı edilerek yükün sadece tabanda taşındığı varsayılabilir (Zhang, 1997).

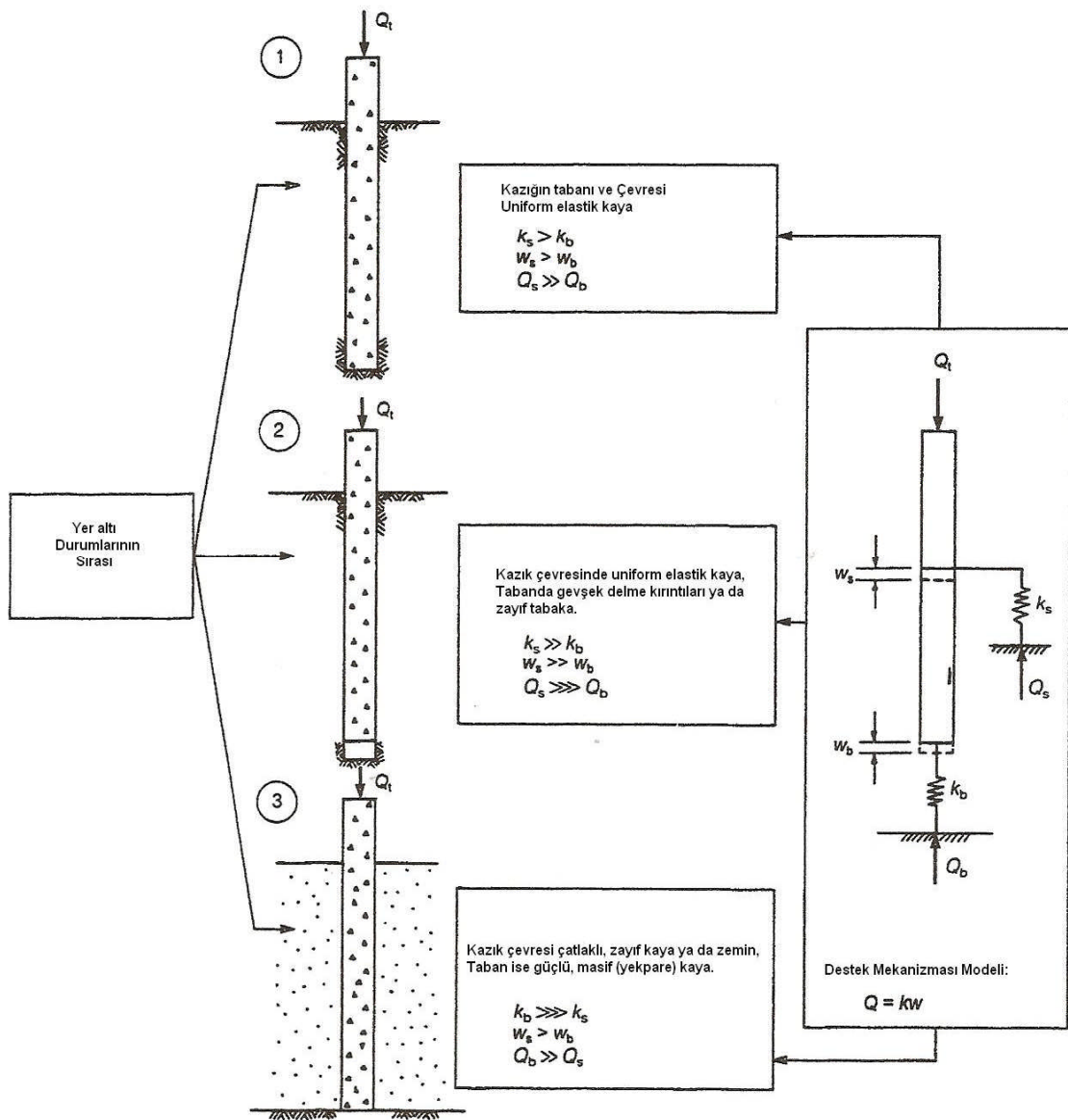
Çevre ve uçta taşınan yükün büyüklüğü, aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Soket malzemesinin ve kaya malzemesinin elastisite modülü,



- Son çevre dayanımı ile ilişkili yüklemenin büyüklüğü,
- Yapım metodu.

Kayaya soketli kazık temelin şekil değiştirme ve yük transferi mekanizması, ayrıca çevre ve uç arasındaki yük dağılımı şematik olarak Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu modelde çevre direnci, esneklik sabiti (yay katsayısı)  $k_s$  ve uç direnci esneklik sabiti (yay katsayısı)  $k_b$ ’ ye karşılık gelmektedir. Çevre taşıma gücü  $Q_s$  ve taban taşıma gücü  $Q_b$  ile gösterilmektedir. Çevrede oluşan şekil değiştirme  $w_s$  ile tabanda oluşan şekil değiştirme  $w_b$  ile gösterilmektedir.  $Q_s$  ve  $Q_b$  değerleri esneklik sabiti ve şekil değiştirmelerin çarpılması sonucu elde edilmektedir (Duncan 1999).



Şekil 5.2 Soketli kazıklar için basitleştirilmiş yük taşıma mekanizması (Duncan, 1999)

$k_s$  : Çevre direncine karşılık gelen esneklik sabiti.

$k_b$  : Taban direncine karşılık gelen esneklik sabiti.

$w_s$  : Şaft çevresinin şekil değiştirmesi.

$w_b$  : Şaft tabanının şekil değiştirmesi.

$Q_s$  : Toplam çevre direnci.

$Q_b$  : Toplam uç direnci.

$$Q_s = k_s \cdot w_s \quad (5.1)$$

$$Q_b = k_b \cdot w_b \quad (5.2)$$

Şekilde gösterilen 1 nolu durumda taşınan yükün büyük çoğunluğu kazık temelin üstteki kısmında taşınmaktadır. Bir birim deplasmanda meydana gelen çevre direnci  $k_s$ , aynı deplasmanda meydana gelen  $k_b$  değerinden büyüktür ( $k_s > k_b$ ). Şaftın şekil değiştirmesi, şaftın elastik kısılmasının ve taban şekil değiştirmesinin birleşimidir. Şekil değiştirmelerin büyük çoğunluğu üst parçada meydana gelir ve  $w_s > w_b$  'dır. Bunların sonucu olarak çevrede taşınan yük, uçta taşınan yükten daha büyüktür ( $Q_s \gg Q_b$ ).

Şekilde gösterilen 2 nolu durumda, kazık temelin tabanında çok düşük taşıma gücü meydana gelir ( $k_s \gg k_b$ ). Uygulanan yük son çevre taşıma gücünü aşmaz, şekil değiştirmelerin büyük çoğunluğu kazık temelin üst kısmında meydana gelir ( $w_s \gg w_b$ ). Yükün önemli bir kısmı çevre tarafından taşınmaktadır ( $Q_s \gg Q_b$ ).

Şekilde gösterilen 3 nolu durumda, kazık temelin düşük elastisite modüllü ve düşük taşıma gücüne sahip malzemedan geçerek alttaki sağlam malzemeye kadar ulaşmaktadır. Bu durumda  $k_b \gg k_s$  'dır. Deplasmanların büyük çoğunluğu kazık temelin elastik kısılmasından meydana gelmektedir, çok küçük bir bölümü ise tabanda meydana gelmektedir ( $w_s > w_b$ ). Bu durumda üstyapı tarafından aktarılan yükün çoğunluğu tabanda taşınmaktadır ( $Q_b \gg Q_s$ ).

## 5.2 Eksenel Taşıma Kapasitesi

Kayaya soketli fore kazıklarda, taşıma gücü hem çevre hem de uçtan kaynaklanacaktır. Son çevre direnci ve uç taşıma direnci, genellikle arazi deneylerinden türetilmiş ampirik bağıntılarla tahmin edilir (Zhang, 1997).

İki tip arazi testi vardır. Birincisi çekme yükleme deneyi, ikincisi ise basınç yükleme deneyidir. Çekme yükleme deneyi ile son çevre taşıma gücü doğrudan olarak ölçülür. Basınç yükleme testinde hem çevre direnci hem de uç direnci eş zamanlı olarak ölçülebilmektedir.

Basınç yükleme testinde çevre taşıma gücünü ölçmek için kazık (strain gage -şekil değiştirme ölçer- veya load cells -yükleme hücreleri-) aletlendirilmelidir. Alternatif olarak taban direncini etkisiz hale getirmek amacıyla kazık alt ucunda boşluk bırakılabilir (Zhang, 1997).

Yüklemeye deneyi göçmeye kadar yapıldığı zaman son çevre direncini ve maksimum taban taşıma gücünü hesaplamak mümkündür.

$$\tau_{\max} = Q_s / A_s \quad (5.3)$$

$$q_{\max} = Q_b / A_b \quad (5.4)$$

$Q_s$  : çevrede taşınan yük

$Q_b$  : tabanda taşınan yük

$A_s$  : Şaft'ın çevre alanı=  $\pi.D.L$

$A_b$  : Şaft'ın taban alanı=  $\pi.D^2 / 4$

$D$  : Soket çapı

$L$  : Soket boyu

Son çevre taşıma direnci  $\tau_{\max}$  ve uç taşıma direnci  $q_{\max}$  genellikle kayanın serbest dayanımı " $\sigma_c$ " ile bağlantılıdır. Örneğin,  $\alpha$  adhezyon faktörü,  $\tau_{\max}$  ile  $\sigma_c$  arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$\alpha = \tau_{\max} / \sigma_c \quad (5.5)$$

Tipik olarak soketin 10 mm deplasmanına kadar bütün yükün soket çevresinde taşındığı varsayılmaktadır. Bu deplasmanın ötesinde yük artışı beton ile kaya arasında kaymaya neden olmakta ve çevre direncinin sıfır değerine düştüğü düşünülmektedir. O'Neill ve Reese'e (1999) göre bu yaklaşım tutucudur ve kaymadan sonra son değerine ulaşmış olan çevre taşıma direnci, kayaç-beton bağının göçmesine rağmen varolacağı bildirilmiştir (Yıldırım, 2004).

### 5.3 Çevre Taşıma Kapasitesi

#### 5.3.1 Çevre Direncine Etki Eden Faktörler

Kayaya soketli fore kazıklarda çevre sürtünme direncini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır (Hatipoğlu, 2002).

- Kaya tabakası dayanımı
- Pürüzlülük
- Kaya ayrışma derecesi ve süreksizlikler

- İmalat metodu (Bentonit vb. etkisi)
- Servis yükünün büyüklüğü
- Soket geometrisi

### 5.3.2 SPT-N ile Çevre Sürtünmesi Arasındaki İlişkiler

Standart penetrasyon deneyinden elde edilen vuruş sayısı N ile kayaya soketlenmiş kazıklarda çevre sürtünmesi arasındaki bağıntılar Çizelge 5.1’de gösterilmiştir (Zhang, 2004).

Çizelge 5.1 Birim nihai kayma kapasitesi – SPTN İlişkisi (Zhang, 2004)

Kaya Türü	SPT-N/30 mm	$\tau_k$ (kPa)	$\tau_k/N$ (kPa)	Kaynak
Çok ayrıışmış Silttaşı	230	>195 - 226	>0,87 - 1,0	Buttling,1986
Çok ayrıışmış Silttaşı, siltli kumtaşı ve şeyl	100 - 180	100 - 320	1,0 - 1,8	Chang ve Wong, 1987
Çok sıkı killi/kumlu silt- çok ayrıışmış silttaşı	110 - 127	80 - 125	0,63 - 1,14	Buttling ve Lam, 1988
Çok-orta dercede ayrıışmış silttaşı	200 - 375	340	0,9 - 1,7	
Tamamen-kısmen ayrıışmış ara katmanlı kumtaşı, silttaşı ve şeyl/çamurtaşı	100 - 150	-	1,2 - 3,7	Toh ve diğ. , 1989
	150 - 200	-	0,6 - 2,3	
Çok-orta dereceli ayrıışmış-parçalı silttaşı/shayl	400 - 1000	300 - 800	0,5 - 0,8	Radhakrishnan ve Leung, 1989
Çok ayrıışmış kumlu şeyl	150 - 200	120 - 140	0,8 - 0,7	Moh ve diğ., 1993
Az ayrıışmış kumlu şeyl ve kumtaşı	375 - 430	240 - 280	Ortalama 0,65	

### 5.3.3 Çeşitli Pürüzlülük Profillerini Kullanan Yaklaşım (Reese ve O’Neill, 1999)

—Yumuşak kayaya soketlenmiş kazık için, (Horvath ve Kenney, 1979)

$$\tau_k = 0,65 \cdot P_a \left( \frac{\sigma_c}{P_a} \right)^{0,5} \leq 0,65 \cdot P_a \cdot \left( \frac{f'_c}{P_a} \right)^{0,5} \quad (5.6)$$

$f'_c$  : kullanılan betonun 28 günlük silindirik basınç mukavemeti

$P_a$ : atmosfer basıncı = 101 kPa

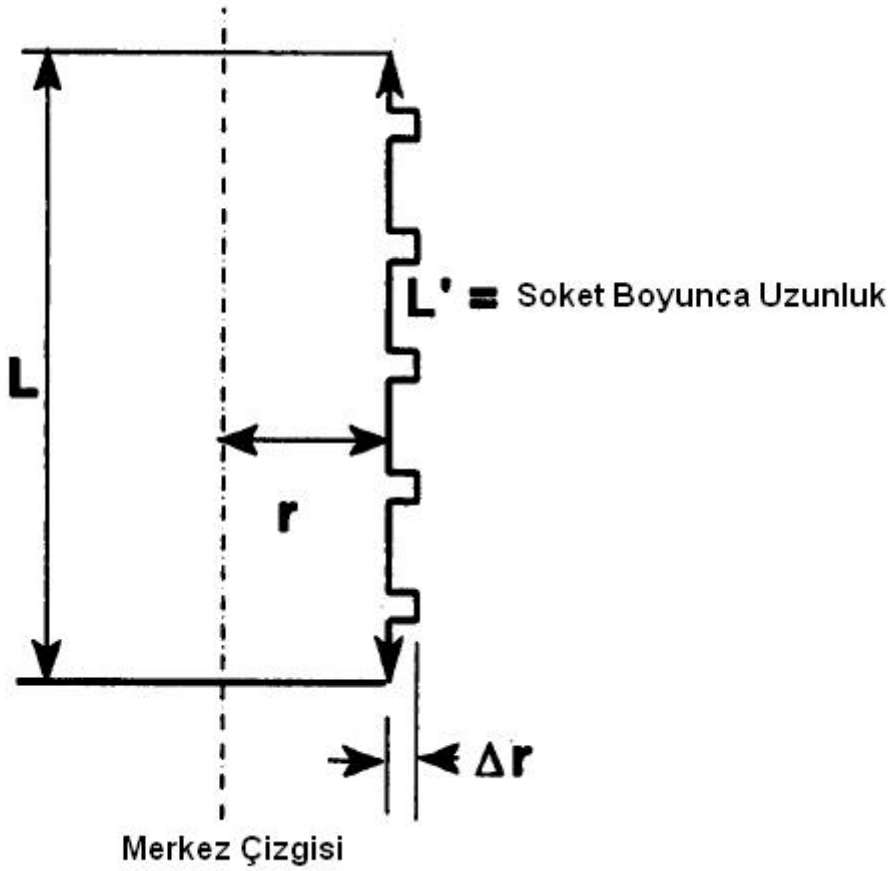
$\sigma_c$ : kayanın serbest basınç mukavemeti

—Sert kayaya soketlenmiş kazık için (Horvath v.d., 1983)

$$\tau_k = 0,8 \cdot \left[ \left( \frac{\Delta r}{r} \right) \cdot \left( \frac{L'}{L} \right) \right]^{0,45} \cdot \sigma_c \quad (5.7)$$

$\sigma_c$  değeri  $0,75 \cdot f_c$ ' değerini aşmamalıdır.

Formüldeki diğer terimler Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Formül (5.7)'deki geometrik terimlerin tanımlanması (Reese ve O'Neill, 1999)

### 5.3.4 Ampirik Yöntemler

Araştırmacılar kazık yükleme deneyleri sonuçlarının geri çözümlemesinden (back calculation), çevre taşıma gücü için yaklaşımlar önermişlerdir. Bu eşitliklerde verilerin MPa olarak kullanılması gerekmektedir.

Rosenberg ve Journeaux (1976) tarafından önerilen, max çevre taşıma gücü ve serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişki Eşitlik 5.8'de gösterilmiştir:

$$\tau_{\max} = 0,375 \cdot (\sigma_c)^{0,515} \quad (5.8)$$

Reese ve O'Neill'a (1987) göre  $\tau_{\max}$  ve  $\sigma_c$  arasındaki ilişki Eşitlik 5.9 'da belirtilmiştir (Zhang, 1997):

$$\tau_{\max} = 0,15 \cdot (\sigma_c) \quad (5.9)$$

Rowe ve Armitage (1987), Pells'in (1980) yapmış olduğu pürüzlülük sınıflandırmasını da dikkate alarak aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir. Pells'in pürüzlülük için sınıflandırması Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

$$\tau_{\max} = 0,45 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad \text{R1, R2 veya R3 pürüzlülüğündeki soketler için} \quad (5.10)$$

$$\tau_{\max} = 0,6 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad \text{R4 pürüzlülüğündeki soketler için} \quad (5.11)$$

$$E = 215 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad \text{MPa} \quad (5.12)$$

Çizelge 5.2 Pürüzlülük sınıflandırması (Pells v.d., 1980)

Pürüzlülük Sınıfı	Açıklama
R1	Girintiler 1mm'den az veya pürüzsüz düz yüzeyli soketler
R2	Girinti 1 mm - 4 mm arasında, girinti genişliği 2 mm'den büyük, girinti aralığı 50 mm - 200 mm arasındaki soketler
R3	Girinti 4 mm - 10 mm arasında, girinti genişliği 5 mm'den büyük, girinti aralığı 50 mm - 200 mm arasındaki soketler
R4	Girintinin yüksekliği 10 mm'den büyük, genişliği 10 mm'den büyük, aralığı 50 mm - 200 mm arasındaki soketler

Horvath v.d. (1983) tarafından,  $\tau_{\max}$  ve  $\sigma_c$  arasındaki ilişki Eşitlik 5.13'de belirtilmiştir.

$$\tau_{\max} = a \cdot (\sigma_c) \quad (5.13)$$

$a = 0,2 - 0,3$  değerleri aralığında alınabilmektedir.

Çeşitli araştırmacıların çevre taşıma kapasitesi için ampirik olarak önerdikleri eşitlikler aşağıda listelenmiştir (Zhang, 2004).

$$\text{Meigh ve Wolshi (1979)} \quad \tau_{\max} = 0,22 \cdot (\sigma_c)^{0,6} \quad (5.14)$$

$$\text{Gupton ve Logan (1984)} \quad \tau_{\max} = 0,2 \cdot (\sigma_c) \quad (5.15)$$

$$\text{Reynolds ve Kaderabek (1980)} \quad \tau_{\max} = 0,3 \cdot (\sigma_c) \quad (5.16)$$

$$\text{Toh ve arkadaşları (1989)} \quad \tau_{\max} = 0,25 \cdot (\sigma_c) \quad (5.17)$$

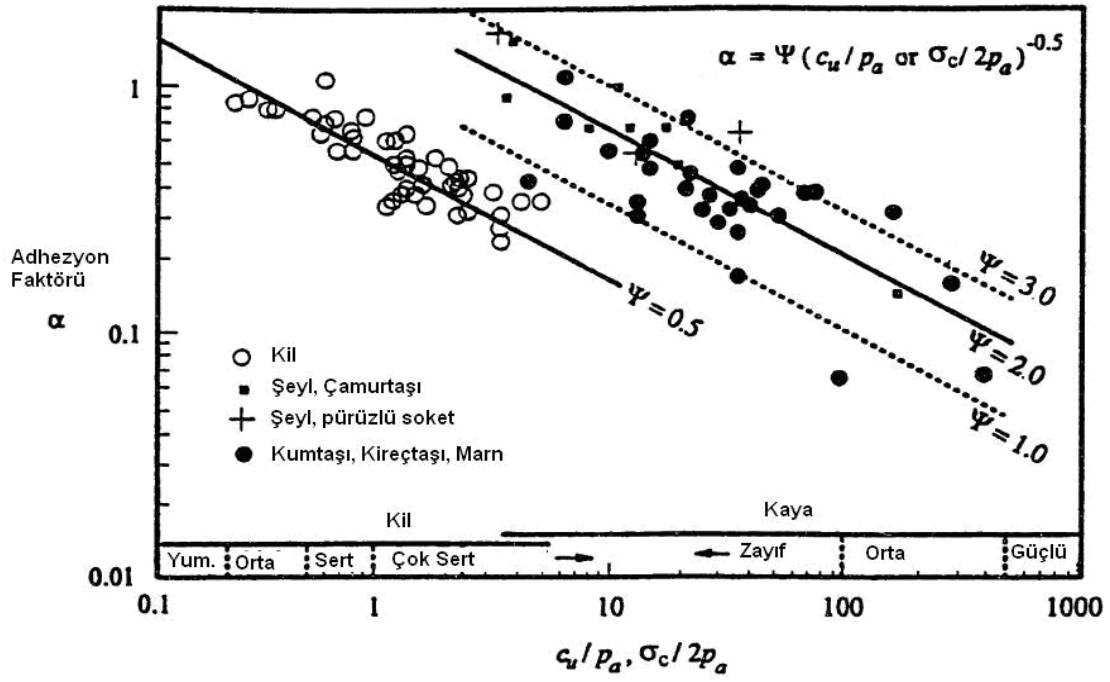
$$\text{Carter ve Kulhawy (1988)} \quad \tau_{\max} = 0,2 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad (5.18)$$

Zhang ve Einstein (1998) kazık yükleme deneyi veri tabanlarını inceleyerek ve diğer araştırmacılarında önerilerini dikkate alarak aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir:

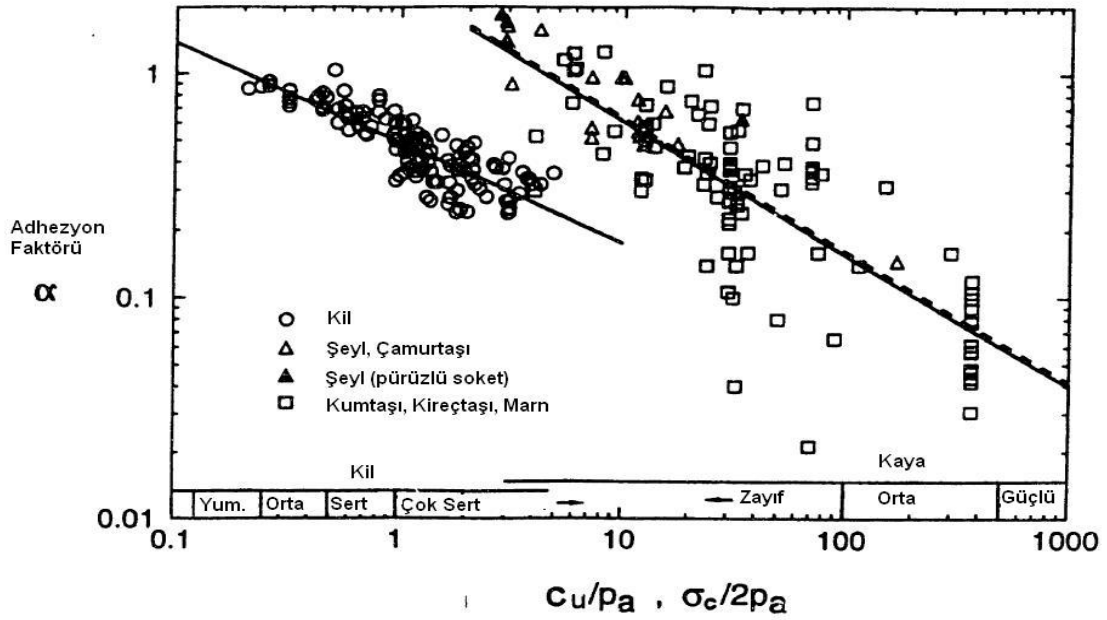
$$\text{Düz soket için} \quad \tau_{\max} = 0,4 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad (5.19)$$

$$\text{Pürüzlü soket için} \quad \tau_{\max} = 0,8 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad (5.20)$$

Kulhawy ve Phoon (1993), zemin ve kaya içinde soketli fore kazıklar için geniş kapsamlı bir yükleme deneyi veri tabanı oluşturmuşlardır ve verilerini tekil shaft yükleme deneyleri ve ortalama arazi verileri şeklinde sunmuşlardır. Sonuçlar Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Ortalama zemin verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993)



Şekil 5.5 Özel test verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki eşitlik (Kulhawy ve Phoon, 1993).



$\alpha$ : adhezyon faktörü

$\sigma_c/2.P_a$ : normalize edilmiş kayma dayanımı

$P_a$ : atmosfer basıncı (=0,1 MPa)

Ortalama arazi verilerine bağlı olarak, kayaca soketli fore kazıklar için Kulhawy ve Phoon (1993) aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

$$\text{Ortalama davranış:} \quad \alpha = 2,0 \cdot (\sigma_c / 2P_a)^{-0,5} \quad (5.21)$$

$$\text{Üst Sınır (Çok Pürüzlü):} \quad \alpha = 3,0 \cdot (\sigma_c / 2P_a)^{-0,5} \quad (5.22)$$

$$\text{Alt Sınır:} \quad \alpha = 1,0 \cdot (\sigma_c / 2P_a)^{-0,5} \quad (5.23)$$

Yukarıdaki eşitliklerden genel bir formül çıkarılmıştır:

$$\alpha = \psi \cdot \left( \frac{\sigma_c}{2 \cdot P_a} \right)^{-0,5} = \tau_{\max} / \left( \frac{\sigma_c}{2} \right) \quad (5.24)$$

Buradan en büyük çevre kayma direnci için (5.24) Eşitliği elde edilmiştir.

$$\tau_{\max} = \psi \cdot \left( P_a \cdot \frac{\sigma_c}{2} \right)^{0,5} \quad (5.25)$$

$\psi$  değeri 1 – 3 arasında değişmektedir ve ortalama olarak 2 alınabilir.

Williams ve Pells (1981), soketli kazıklar için son yük kapasitesi ve oturma kriterini hesaba katan bir tasarım metodu önermişlerdir. Çevre kayma direnci için çamurtaşı, şist ve kumtaşı içinde soketlenmiş kazıklarda yapılan yükleme deneylerinden oluşan veri tabanı analiz edilip 5.26 Eşitliği geliştirilmiştir.

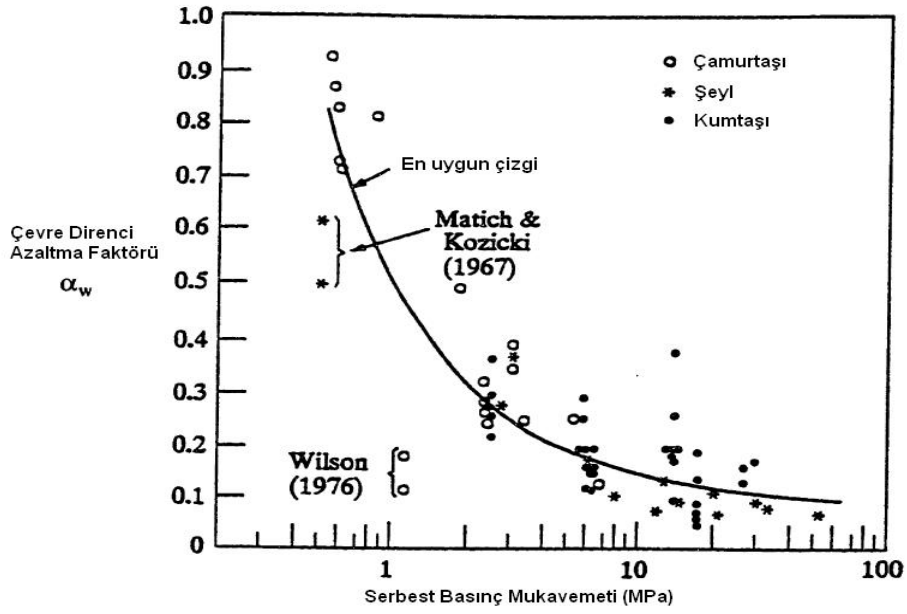
$$\tau_{\max} = \alpha_w \cdot \beta_w \cdot \sigma_c \quad (5.26)$$

Eşitlikteki  $\alpha_w$  kayanın kayma dayanımını azaltma faktörü olup Şekil 5.6'da gösterilmektedir.  $\beta_w$  ise kaya kütlelerinin eklem yerlerinin çevre direnci ile bozulmamış kaya kütleleri çevre direncinin oranıdır. Başka bir ifadeyle  $\beta_w$  kaya kütleleri çevre direnci ile eklem yerlerine ait çevre direncine bağlı bir azaltma faktörüdür.  $\beta_w$  sayısı Şekil 5.7'de gösterilmektedir.

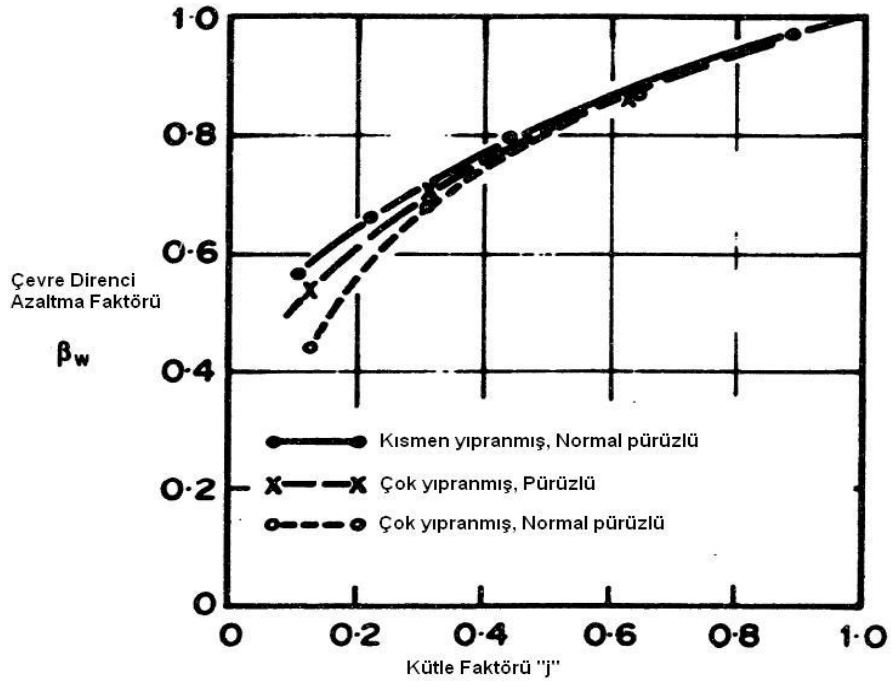
$$\beta_w = f(j) \quad , \quad j = E_m/E_i \quad (5.27)$$

$E_m$ : Kaya kütlelerinin elastisite modülü

$E_i$  : Bozulmamış kayanın elastisite modülü



Şekil 5.6 Kaya soketleri için çevre azaltma faktörü " $\alpha_w$ " (Williams ve Pells, 1981)



Şekil 5.7 Kütle faktörüne bağlı çevre direnci azaltma faktörü " $\beta_w$ " (Williams ve Pells, 1981)

## 5.4 Uç Taşıma Kapasitesi

### 5.4.1 SPT-N değerini dikkate alan yaklaşım

Schmertmann ve Crapps Inc. 1994, kazık yükleme deneylerinin geri çözümlemesi sonucunda 5.28 Eşitliğini önermişlerdir. Yaklaşım  $N \leq 60$  için geçerlidir (Castelli ve Fan, 2002).

$$q_{\max} = \sigma'_z \cdot \exp(1,42 + 0,055 \cdot N) \quad (5.28)$$

$q_{\max}$ : birim genişlikte uç kapasitesi, MPa,  $q_{\max} \leq 8600$  kPa

$\sigma'_z$ : kazık oturma tabanında düşey efektif basınç, kPa

N: kazık oturma tabanından en az iki kazık çapı kadar derinlikte ölçülmüş, düzeltilmemiş SPT-N sayılarının ortalaması

### 5.4.2 Zemin Mekaniği Prensipleri ile İlişkili Uç Kapasitesi Belirlenmesi

Zemin Mekaniği'nde drenajsız durumlarda suya doymuş kohezyonlu zeminler için  $\phi=0$  olarak kabul edilmektedir. Çok düşük dayanımlı, kil içeriği yüksek şeyl ve çamurtaşı gibi kaya birimlerinde bu kural geçerli olabilmektedir. Vesic (1972) tarafından önerilen Eşitlik 5.29  $c \leq 0,25$  MPa olan ince taneli zemin/kaya kütlelerinin uç taşıma kapasitesi hesaplarında kullanılabilir.

$$q_{\max} = N_c^* \cdot c \quad (5.29)$$

c: kohezyon, kPa

$N_c^*$ :  $1,33 \cdot (\ln I_r + 1)$

$I_r$ : rijitlik indeksi

$\phi = 0$ , ani yükleme ve drenajsız koşul durumunda,

$I_r = E_k/3c$

$E_k$ : kaya kütlesi elastik modülü, kPa

$N_c^*$  bulunmasında Çizelge 5.3'den yararlanılabilir.

Tamamen ayrılmış kaya kütleleri iri taneli zeminler olarak kabul edilebilir ve bundan dolayı  $c = 0$  varsayılabilir. Zemin mekaniği prensiplerinden 5.30 Eşitliği ile nihai uç taşıma kapasitesi bulunabilir.

Çizelge 5.3 c'ye bağlı olarak ( $E_k/3c$ ) ve  $N_c^*$  belirlenmesi

c (kPa)	$E_k/3c$ (boyutsuz)	$N_c^*$ (boyutsuz)
24	50	6,5
48	150	8
96	250	8,7
192	300	8,9

Pratik mühendislik yaklaşımı olarak  $N_c^* = 9$  kullanılabilir (Reese ve O'Neill, 1999)

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere  $c > 96$  kPa durumundan sonra  $N_c^* = 9$  varsayılabilir.

$$q_{\max} = N_q \cdot \sigma_z' \quad (5.30)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right) \cdot \exp \pi \tan \phi' \quad (5.31)$$

#### 5.4.3 AASHTO Yöntemi ile uç kapasitesinin hesabı

AASHTO (2005) tarafından yayınlanan Otoyol Köprüleri Standart Şartnamesinde (Standart Specifications for Highway Bridges) aşağıdaki Eşitlik önerilmiştir.

$$q_{\max} = N_{ms} \cdot \sigma_c \quad (5.32)$$

$\sigma_c$ : kazık tabanı altında 2D kadar bölgede ölçülen serbest basınç direnci, kPa

$N_{ms}$ : kaya kalitesi ve kaya sınıfını dikkate alan bir katsayı

Kayaç sınıfları Çizelge 5.5'de ve  $N_{ms}$  değeri Çizelge 5.6'de verilmiştir.

#### 5.4.4 Presiyometre Deney Sonucuna Göre Uç Taşıma Kapasitesi Hesaplama

Arazi presiyometre deneyi, kaya kütlesi özelliklerini belirlemek adına çok kullanılan bir yöntemdir. Kayaya soketlenmiş kazıkta son uç taşıma kapasitesi  $q_{\max}$  5.33 Eşitliği ile hesaplanabilmektedir (CFEM, 2006)

$$q_{\max} = K_b \cdot (P_1 - P_o) + \sigma_o \quad (5.33)$$

$q_{\max}$ : Taban taşıma gücü

$P_1$ : Presiyometre deneyi sonucu bulunan limit basınç değeri (kazık topuğu hemen altında ve 2D kadar üstündeki bölümde)

$P_o$ : kazık topuğu kotundaki sükûnetteki yanal gerilme

$\sigma_o$ : kazık topuğunda jeolojik yük

$K_b$ : soket çap ve derinliğine bağlı ampirik bir katsayı, Çizelge 5.4’de belirtilmektedir.

Çizelge 5.4 Taşıma kapasitesi katsayısı  $K_b$  (CFEM, 2006)

$L_s/B_s$	0	1	2	3	5	7
$K_b$	0,8	2,8	3,6	4,2	4,9	5,2

$L_s$ : soket boyu

$B_s$ : Soket çapı

Çizelge 5.5 Kaya Sınıfları (ASSHTO, 2005)

Kaya Sınıfı	Tanımı	Kaya Türü
A	İyi gelişmiş klivajlı karbonatlı kayaç	Dolaston Kireçtaşı Karbonatit Mermer Taktit-Skorn
B	Az yapraklanmış killi kayalar	Arjilit Kiltaşı Marntaşı Fillit Siltaşı Şeyl Kayrak
C	Kötü klivajlı, taneleri belirgin kayalar	Konglomera Kumtaşı Kuvarsit
D	İnce daneli püskürük kristalize kayalar	Andezit Diyabaz
E	Kaba daneli püskürük ve kristalize metamorfik kayalar	Amfibolit Gabro Gnays Granit Kuvarsdiyorit Kuvarsmonzonit Şist Siyenit

Çizelge 5.6 Hoek tarafından verilen  $N_{ms}$  değerleri (Marinos ve Hoek, 2001)

Kaya Kalitesi	Genel Tanım	RMR	NGI	RQD	A	B	C	D	E
Mükemmel	Çatlak aralığı > 3m olan sağlam kaya	100	500	95-100	3,8	4,3	5	5,2	6,1
Çok İyi	0,9-3 m aralıklı, pürüzlü, ayrışmamış, çatlakları sıkıca kenetlenmiş kaya	85	100	95-100	1,4	1,6	1,9	2	2,3
İyi	0,9-3 m aralıklı, az örselenmiş, çatlakları olan ve taze az ayrışmış kaya	65	10	75-90	0,28	0,32	0,38	0,4	0,46
Orta	0,9-3 m aralıklı, orta derecede ayrışmış, birkaç çatlak sistemi olan kaya	44	1	50-75	0,049	0,056	0,066	0,069	0,081
Kötü	2,5-50 cm aralıklı, biraz dolgu malzemeli, ayrışmış, birkaç çatlak sistemi olan kaya	23	0,1	25-50	0,015	0,016	0,019	0,02	0,024
Çok Kötü	Aralıkları 5 cm'den küçük, aşırı ayrışmış, birçok çatlağı olan kaya	3	0,01	<25	$q_{max}$ kullan				

RMR: (Rock Mass Rating) Kaya kütle sınıflandırma sistemi

NGI: Norveç Jeoteknik Endüstrisi – Barton Metodu

RQD: Kaya kalite göstergesi

#### 5.4.5 Canadian Foundation Engineering Manual tarafından önerilen Yöntem

Kaya basınç dayanımına bağlı kazık uç kapasitesi, temel davranışı üzerinde etkisi olan süreksizliklerden etkilenmektedir. Buna bağlı olarak Canadian Geotechnical Society tarafından 5.34 Eşitliği önerilmiştir (CFEM, 2006).

$$q_{max} = 3 \cdot K_{sp} \cdot \sigma_c \cdot d \quad (5.34)$$

$\sigma_c$ : kayanın serbest basınç direnci

$K_{sp}$ : süreksizliğe bağlı ampirik bir katsayı

$$d: \text{derinlik faktörü} = 1 + 0,4 \cdot \frac{L_s}{B_s} \leq 0,3$$

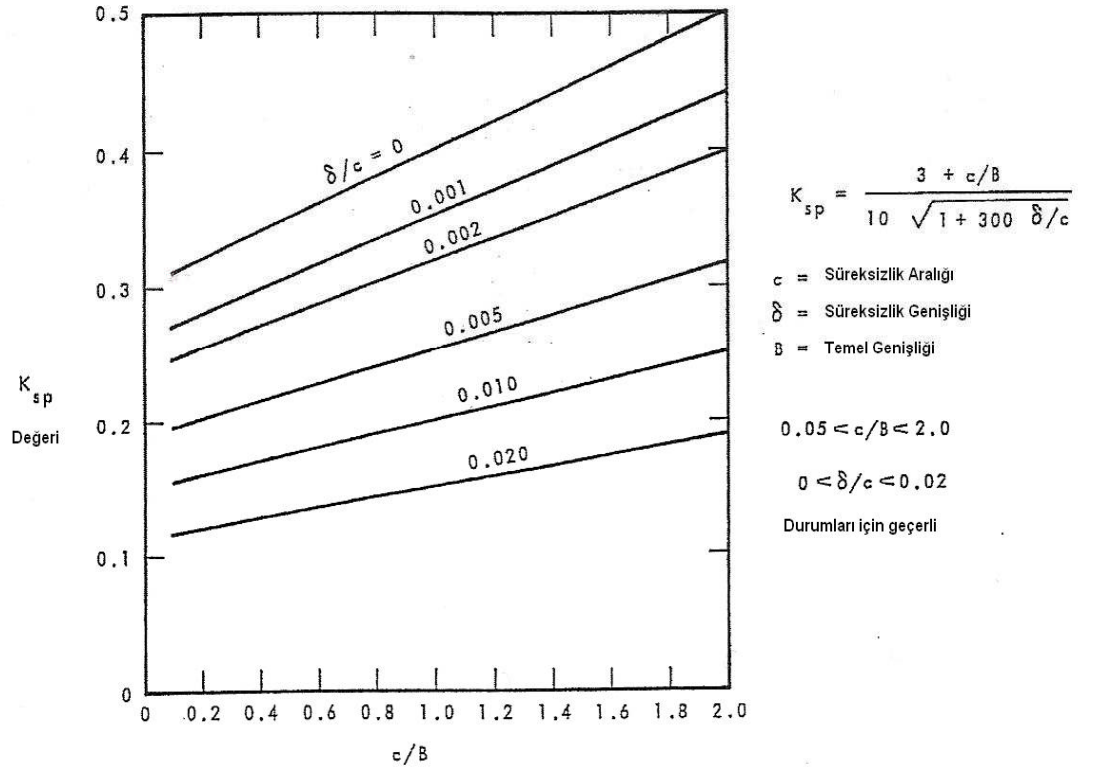
$L_s$ : soket boyu

$B_s$ : Soket çapı

$K_{sp}$  değeri Çizelge 5.7'de verilmektedir. Ayrıca Şekil 5.8'deki abaktan ve formülden elde edilebilir.

Çizelge 5.7 Süreksizlik aralığına bağlı katsayı,  $K_{sp}$  (CFEM, 2006)

Süreksizlik Aralığı		$K_{sp}$
Tanım	Mesafe (m)	
Az - Çok Yakın	0,3-1	0,1
Açık	1-3	0,25
Çok Açık	>3	0,4



Şekil 5.8  $K_{sp}$  katsayısı hesaplama abağı ve formülü (CFEM, 2006)

#### 5.4.6 Yükleme Deneylerinin Değerlendirilmesi ile Önerilen Ampirik Yöntemler

Kayaya soketli kazıkların uç kapasitesini kazık yükleme deneylerine dayalı olarak belirlemek için literatürde çeşitli ampirik metodlar önerilmiştir. Ampirik yöntemlerin genel formu 5.35 Eşitliği şeklinde ifade edilebilmektedir (Zhang, 2008).

$$q_{\max} = N \cdot (\sigma_c)^m \quad (5.35)$$

$m < 1$  durumu, uç kapasitesi ile kaya serbest basınç mukavemeti arasında lineer olmayan ilişki var olduğu anlamına gelmektedir (Zhang, 2008).

Aşağıda  $m=1$  durumunda olan hesap yöntemleri verilmiştir.

$$\text{Coates, 1967} \quad q_{\max} = 3 \cdot (\sigma_c) \quad (5.36)$$

$$\text{Rowe ve Armitage, 1987} \quad q_{\max} = 2,7 \cdot (\sigma_c) \quad (5.37)$$

$$\text{Argema, 1992} \quad q_{\max} = 4,5 \cdot (\sigma_c) \leq 10 \text{MPa} \quad (5.38)$$

Zhang ve Einstein, kayaya soketlenmiş 39 adet yükleme deneyi olan veri tabanına bağlı olarak (5.39) Eşitliğini önermişlerdir (Zhang ve Einstein, 1998).

$$q_{\max} = 4,83 \cdot (\sigma_c)^{0,51} \quad (5.39)$$

Nam (2004) ve Vipulanandan (2007), Zhang ve Einstein'ın yöntemine benzer bir şekilde veri tabanlarını kullanarak uç kapasitesi için yöntemler geliştirmişlerdir.

Nam (2004), aletlendirilmiş üç adet yükleme deneyi sonuçlarını kullanarak aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$q_{\max} = 2,14 \cdot (\sigma_c)^{0,66} \quad (5.40)$$

Vipulanandan v.d. (2007), 21 adet yükleme deneyinden oluşan bir veri tabanını kullanarak (5.41) Eşitliğini çıkarmışlardır.

$$q_{\max} = 4,66 \cdot (\sigma_c)^{0,56} \quad (5.41)$$

Zhang, Einstein ile oluşturmuş olduğu veri tabanını güncelleyerek 50 adet yükleme deneyi bulunan bir veri tabanı oluşturmuştur. Bu veri tabanını kullanarak aşağıdaki eşitliği önermiştir (Zhang, 2008).

$$q_{\max} = 4,93 \cdot (\sigma_c)^{0,5} \quad (5.42)$$



Uç taşıma kapasitesi hesabında süreksizliklerin etkisi de göz önüne alınabilir. Süreksizliklerin etkisinin bir göstergesi RQD değeridir. AASHTO, RQD değerine bağlı olarak kaya serbest basınç mukavemeti değerini (5.43) Eşitliği ile önermiştir (AASHTO, 2005).

$$\sigma_{cm} = \alpha_E \cdot \sigma_c \quad (5.43)$$

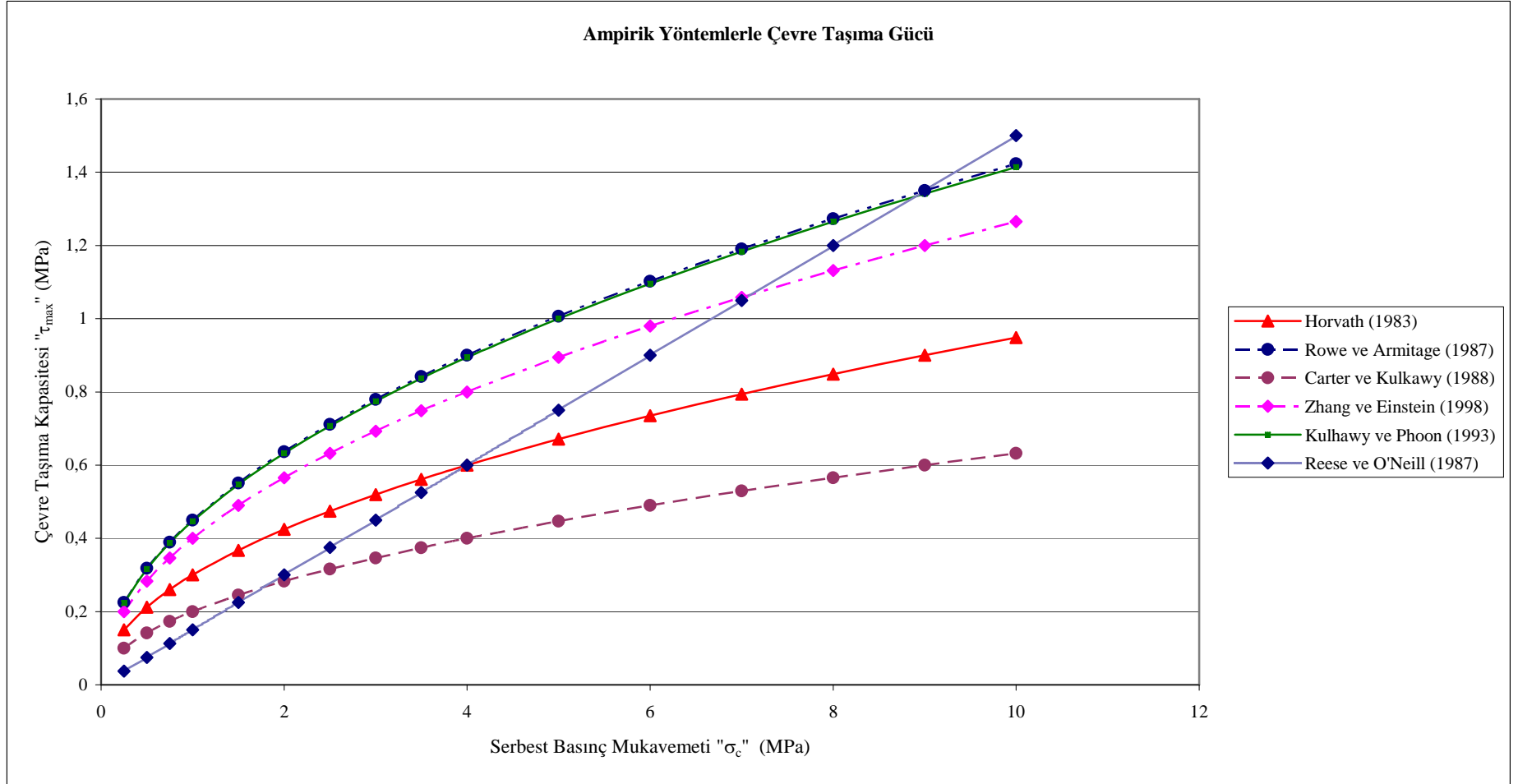
$$\alpha_E = 0,0231 \cdot RQD - 1,32 \geq 0,15 \quad (5.44)$$

Zhang, RQD değerine hesaba katan 25 adet yükleme deneyine bağlı olarak aşağıdaki eşitliği önermiştir (Zhang, 2008).

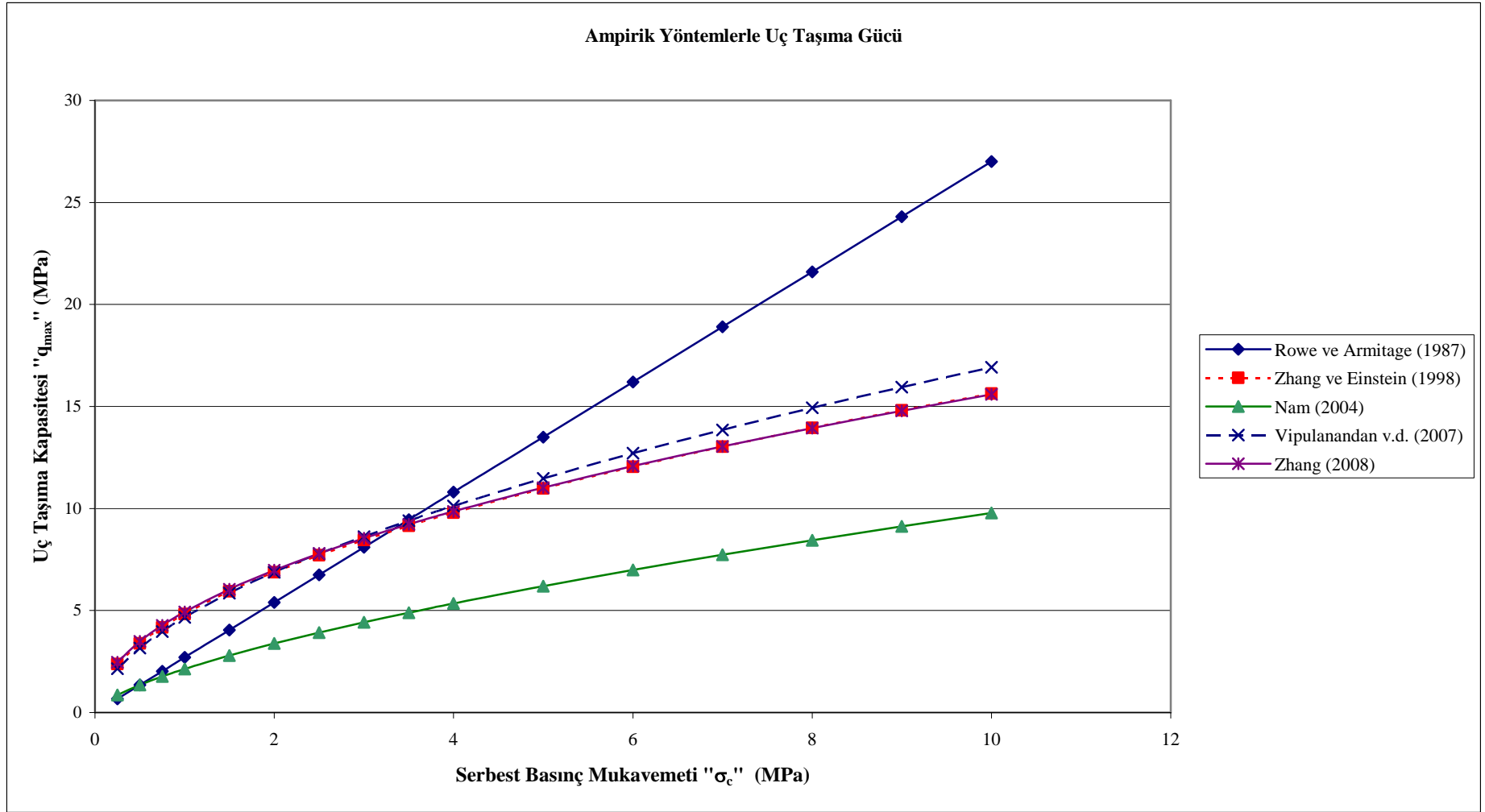
$$q_{max} = 7,44 \cdot (\sigma_{cm})^{0,4} \quad (5.45)$$

### 5.5 Çevre ve Uç Taşıma Kapasitesi İçin Önerilen Ampirik Yöntemlerin Abakları

Çevre ve Uç taşıma gücü için literatürde önerilmiş ampirik yöntemlerin taşıma gücü ile kaya serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişkileri grafik olarak sırası ile Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Çevre taşıma kapasitesi abağı



Şekil 5.10 Uç taşıma kapasitesi abağı

## 6. KAYAYA SOKETLİ KAZIKLARIN ANALİZİ

Türkiye KYD Veri Tabanı Programı içinde kayıtlı bulunan kayaya soketli kazık temeller bu bölümde kazık yükleme deneyi sonuçları değerlendirilerek, zemin parametrelerini dikkate alan ampirik yöntemlerle ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar yazılımı PLAXIS ile modellenerek analiz edilmiştir.

### 6.1 Kazık Yükleme Deney Sonuçlarına Göre Analiz

Arazide yapılan kazık yükleme deney sonuçları değerlendirilerek kazık temellerin taşıma gücü bulunabilmektedir. Deney sonuçlarına göre kazık temellerin taşıma gücünün bulunması için yöntemler ayrıntılı bir şekilde Bölüm 2’de anlatılmıştır.

Kayaya soketli kazıklara yapılan kazık yükleme deneylerinin sonuçlarına genel olarak bakıldığında yüke karşılık gelen deplasmanlar küçük mertebelerde kalmıştır ve kazıklar göçene kadar yüklenmediği görülmüştür. Bunun sebebi kaya ortamının çok yüksek dayanımıdır. Bunun sonucu olarak kazık yükleme deneyi sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan yöntemler, matematiksel modellere dayalı ve göçmeye ulaşmamış kazık yükleme deneylerini kapsayan yöntemler olarak seçilmiştir.

Burada 2 adet yükleme deneyinin değerlendirilmesi ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Veri tabanında bulunan diğer kayaya soketli kazık yükleme deneylerine ait analiz sonuçları Çizelge 6.5’de verilmiştir ve grafiksel ifadesi Şekil 6.11’de gösterilmiştir.

#### 6.1.1 Ankara-Çayırhan’da Bulunan Kayaya Soketli Kazığın Yükleme Deneyi Sonucuna Göre Analizi

Deneye ait bilgiler aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.1).

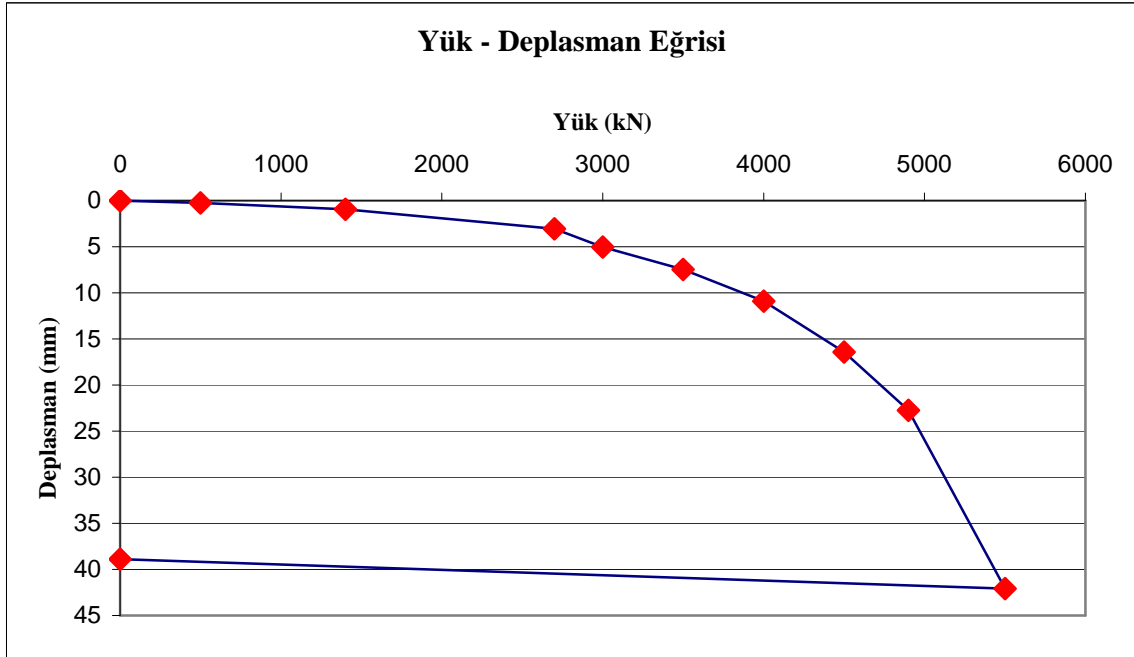
Çizelge 6.1 Deney örneğine ait veriler

Türkiye KYD Veri Tabanı No:	66
Kazık Çapı:	0,8 m
Kazık Boyu:	10 m

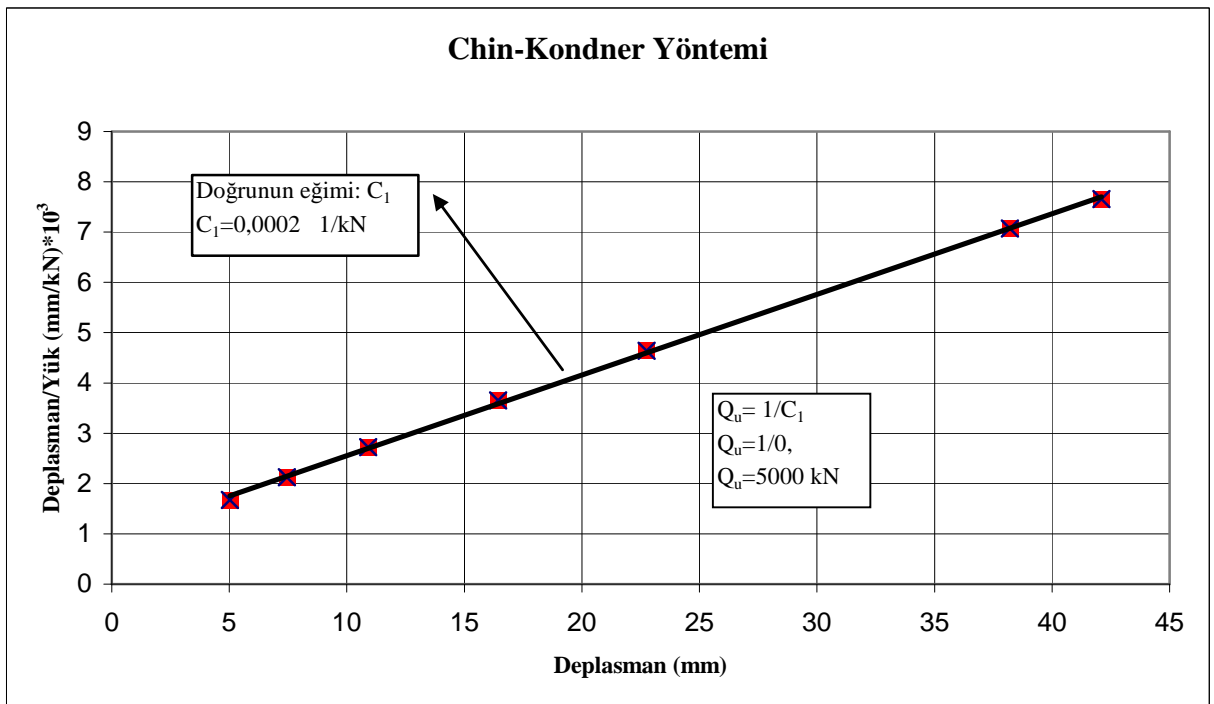
Deney sonucu yük – deplasman eğrisi Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Chin – Kondner (1970) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü 5000 kN ve Brinch – Hansen %80 (1963) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü

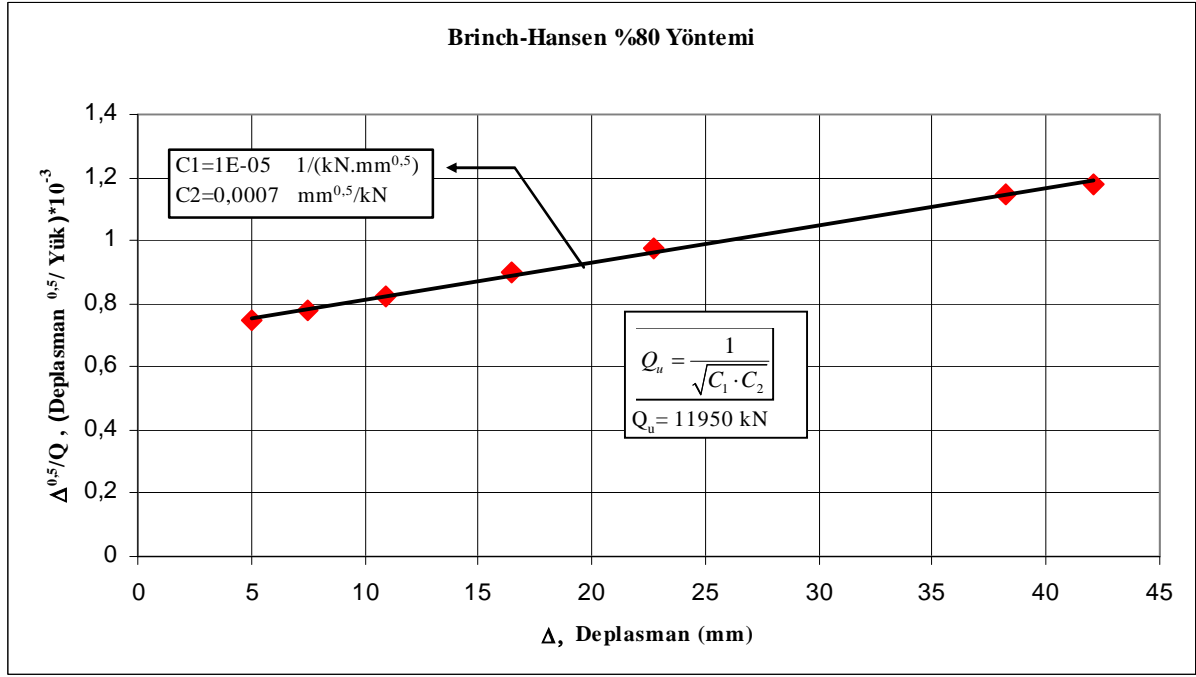
11950 kN olarak bulunmuştur (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3).



Şekil 6.1 Deney sonucu Yük – Deplasman eğrisi



Şekil 6.2 Chin – Kondner yöntemi ile analiz



Şekil 6.3 Brinch – Hansen %80 yöntemi ile analiz

Tolosko (1999) önerdiği göçmeye ulaşmamış kazık yükleme deneyi sonucu ile analiz aşağıda verilen Eşitlik 6.1 ile yapılmıştır. Eşitlikteki a ve b değerleri Şekil 6.4’de gösterilmektedir.

$$Q_u = \frac{-(a \cdot X + b - S) \pm \sqrt{(a \cdot X + b - S)^2 + 4 \cdot a \cdot X \cdot S}}{(2 \cdot a \cdot S)} \quad (6.1)$$

Eşitlik 6.1’deki X değeri Eşitlik 6.2 ile S değeri Eşitlik 6.3 ile bulunmaktadır.

$$X = 4 + D/120 \quad (6.2)$$

$$S = L/EA \quad (6.3)$$

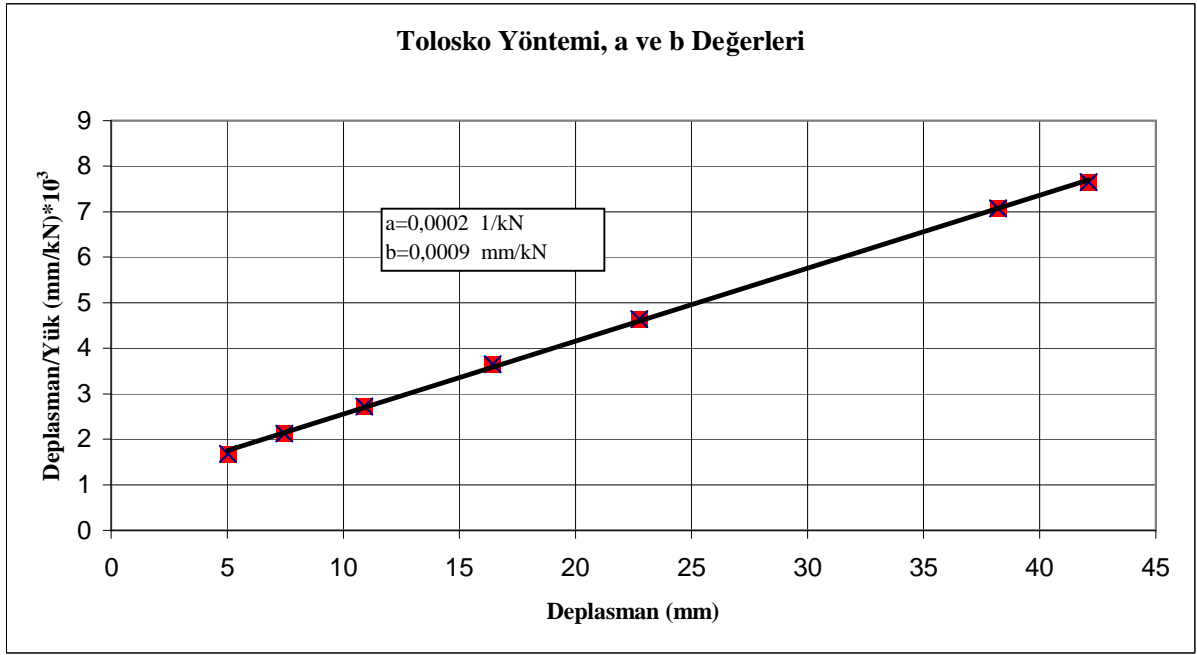
Eşitlik 6.2 ve 6.3’de kullanılan değerler aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Eşitlik 6.2 ve 6.3’de kullanılan deneye ait değerler

D=	800 mm
L=	10000 mm
E=	30 GPa
A=	0,5 m <sup>2</sup>

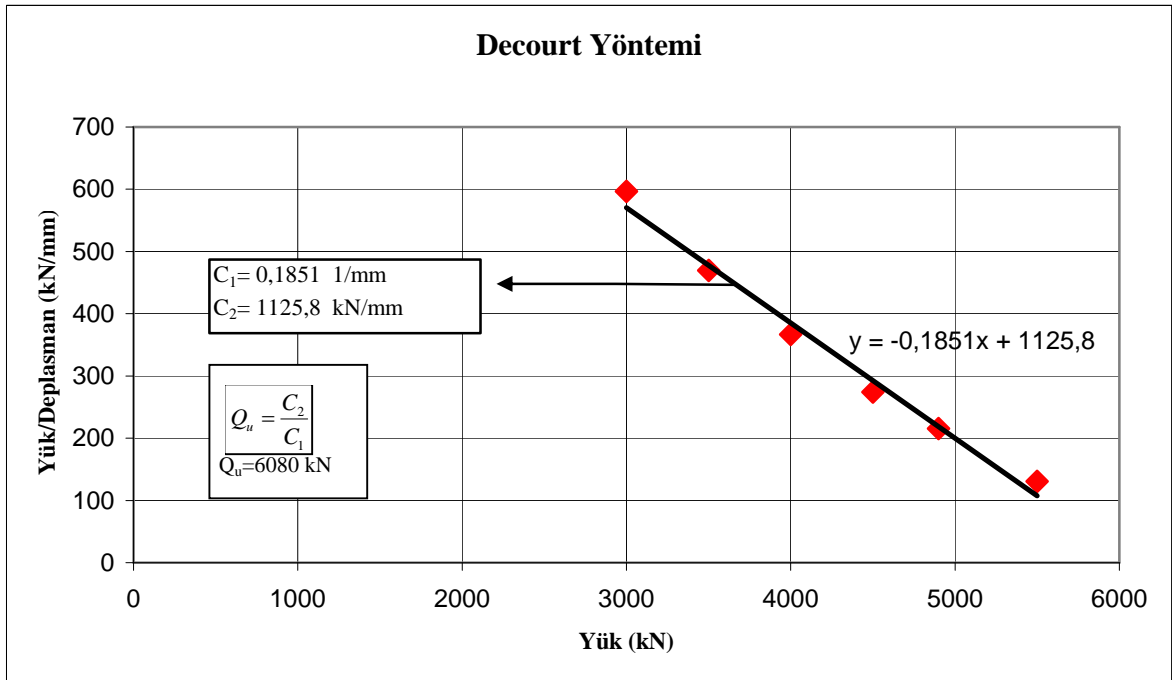
Bulunan değerlerin Eşitlik 6.1’de yerine konulmasıyla çıkan kazık taşıma gücü 3520 kN

olarak bulunmuştur.



Şekil 6.4 Tolosko yöntemine göre a ve b değeri

Decourt (1999) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü 6080 kN olarak bulunmuştur (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Decourt yöntemi ile analiz

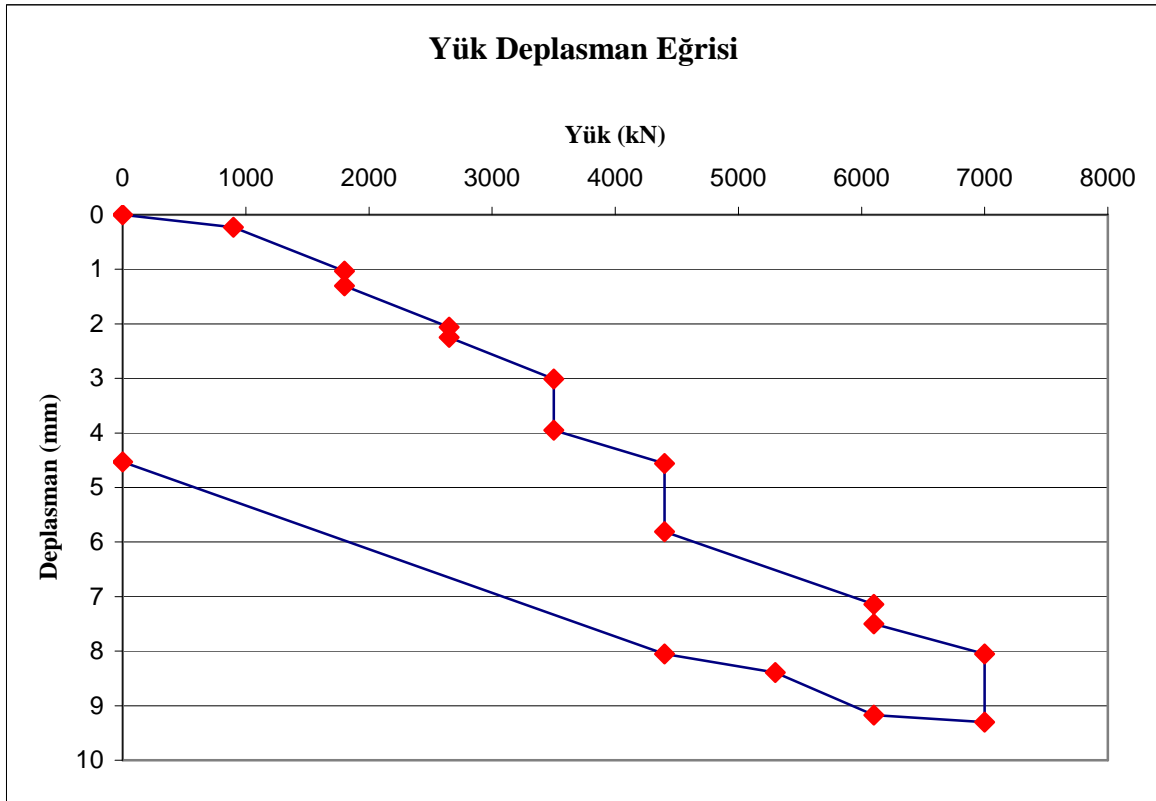
### 6.1.2 Mersin-Tarsus'ta Bulunan Kayaya Soketli Kazığın Yükleme Deneyi Sonucuna Göre Analizi

Deneye ait bilgiler Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Deney örneğine ait veriler

Türkiye KYD Veri Tabanı No:	91
Kazık Çapı:	0,9 m
Kazık Boyu:	20 m

Deney sonucu yük – deplasman eğrisi Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

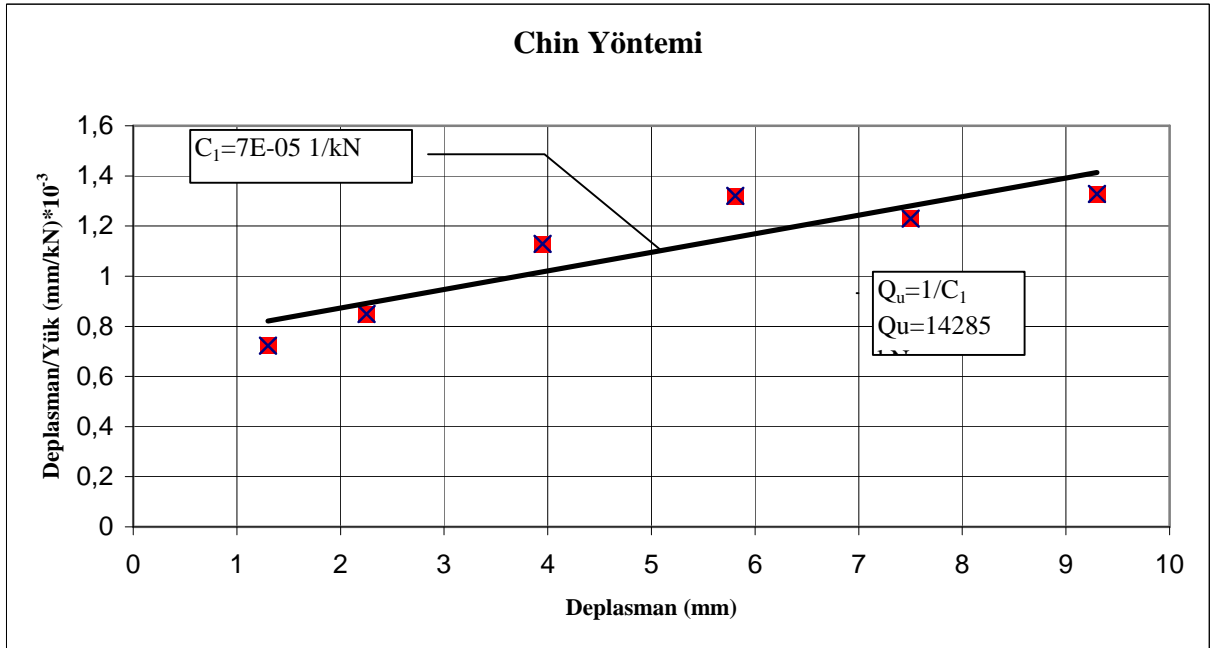


Şekil 6.6 Deney sonucu Yük – Deplasman eğrisi

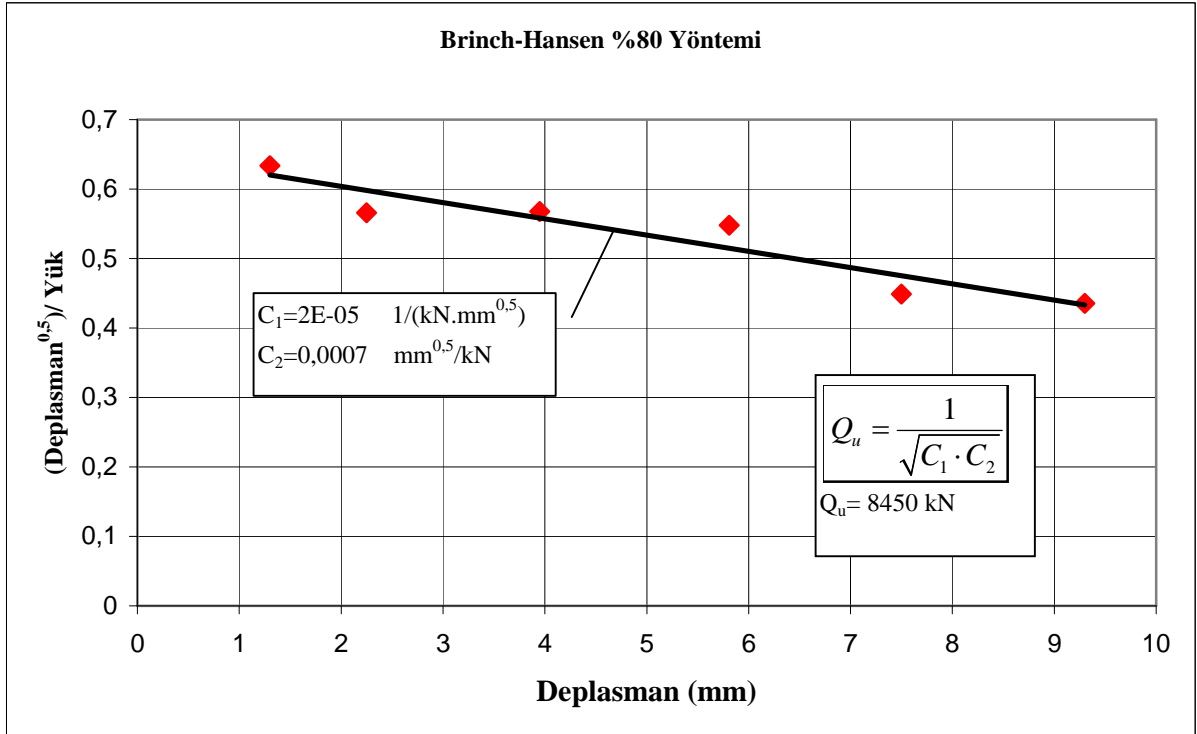
Chin – Kondner (1970) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü 14285 kN ve Brinch – Hansen %80 (1963) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü 8450 kN olarak bulunmuştur (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8).

Tolosko (1999) yöntemi ile analiz yukarıda verilen Eşitlik 6.1 ile yapılmıştır. Eşitlikteki a ve b değerleri Şekil 6.9'da gösterilmektedir.

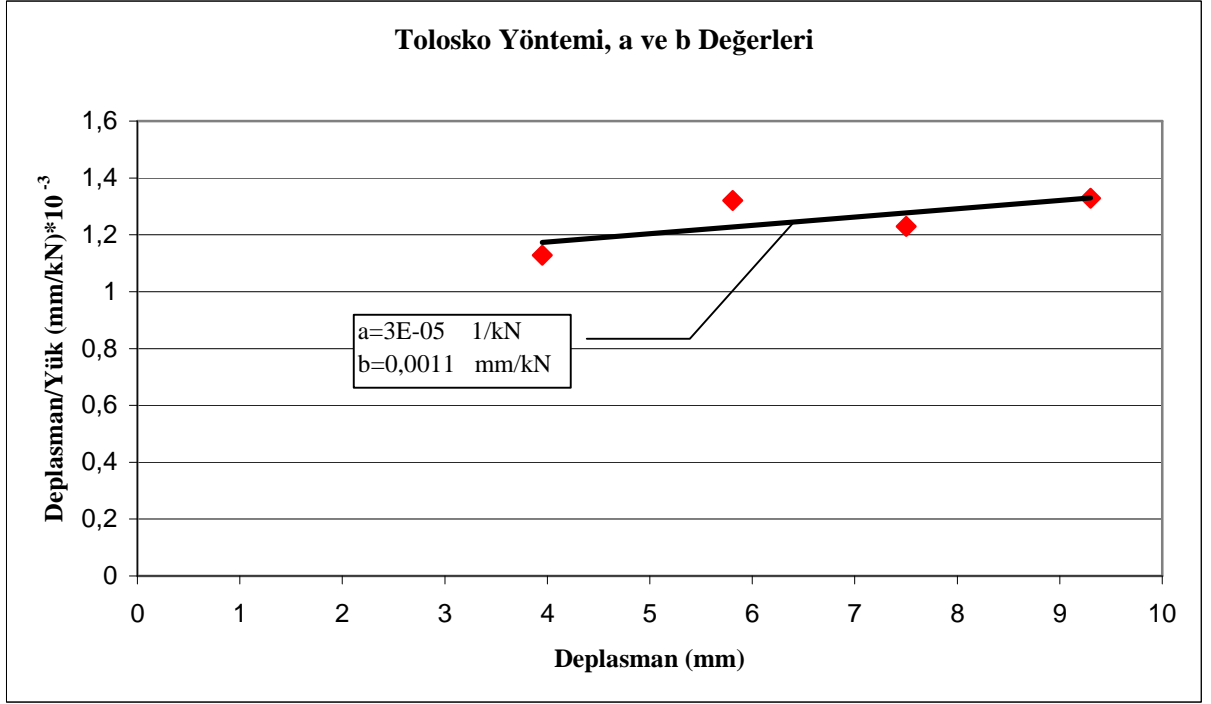




Şekil 6.7 Chin - Kondner yöntemi ile analiz



Şekil 6.8 Brinch – Hansen %80 yöntemi ile analiz



Şekil 6.9 Tolosko yöntemine göre a ve b değeri

Eşitlik 6.2 ve 6.3’de kullanılan değerler aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.4).

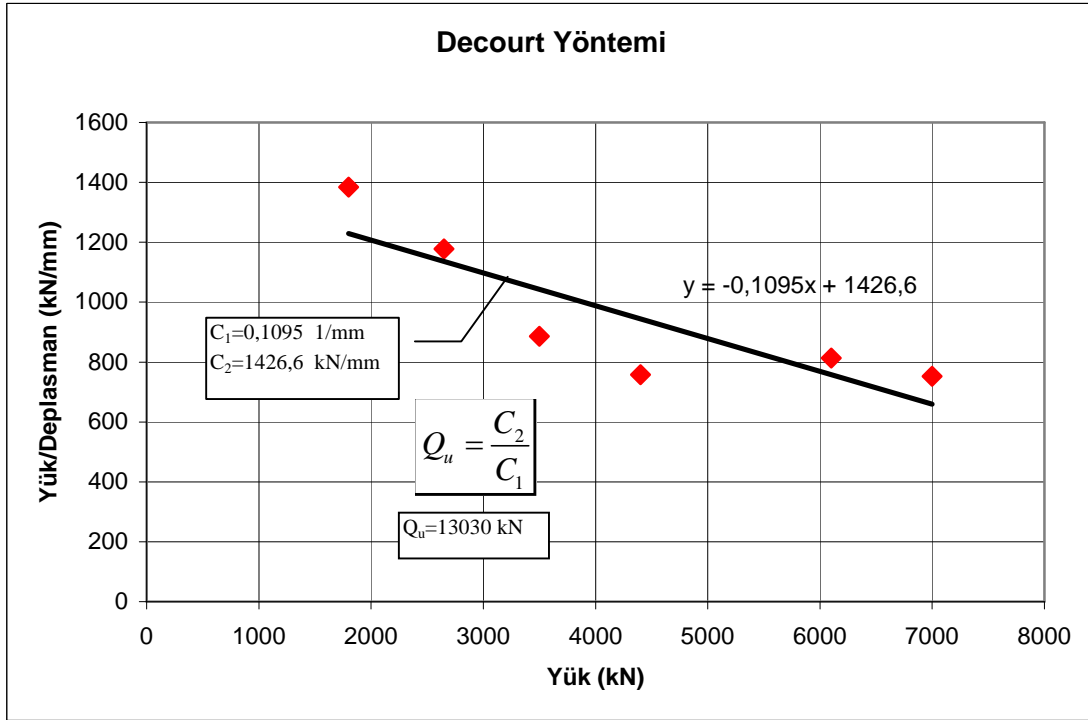
Çizelge 6.4 Eşitlik 6.2 ve 6.3’de kullanılan deneye ait veriler

D=	900 mm
L=	20000 mm
E=	30 GPa
A=	0,635 m <sup>2</sup>

Bulunan X ve S değerlerinin Eşitlik 6.1’de yerine konulmasıyla çıkan kazık taşıma gücü 8010 kN olarak bulunmuştur.

Decourt (1999) yöntemini dikkate alarak yapılan analiz sonucu taşıma gücü 13030 kN olarak bulunmuştur (Şekil 6.10).

Şekil 6.11’de Veri tabanında bulunan kazık yükleme deneyleri ile bulunan taşıma kapasiteleri ile ampirik yöntemlerle bulunan taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

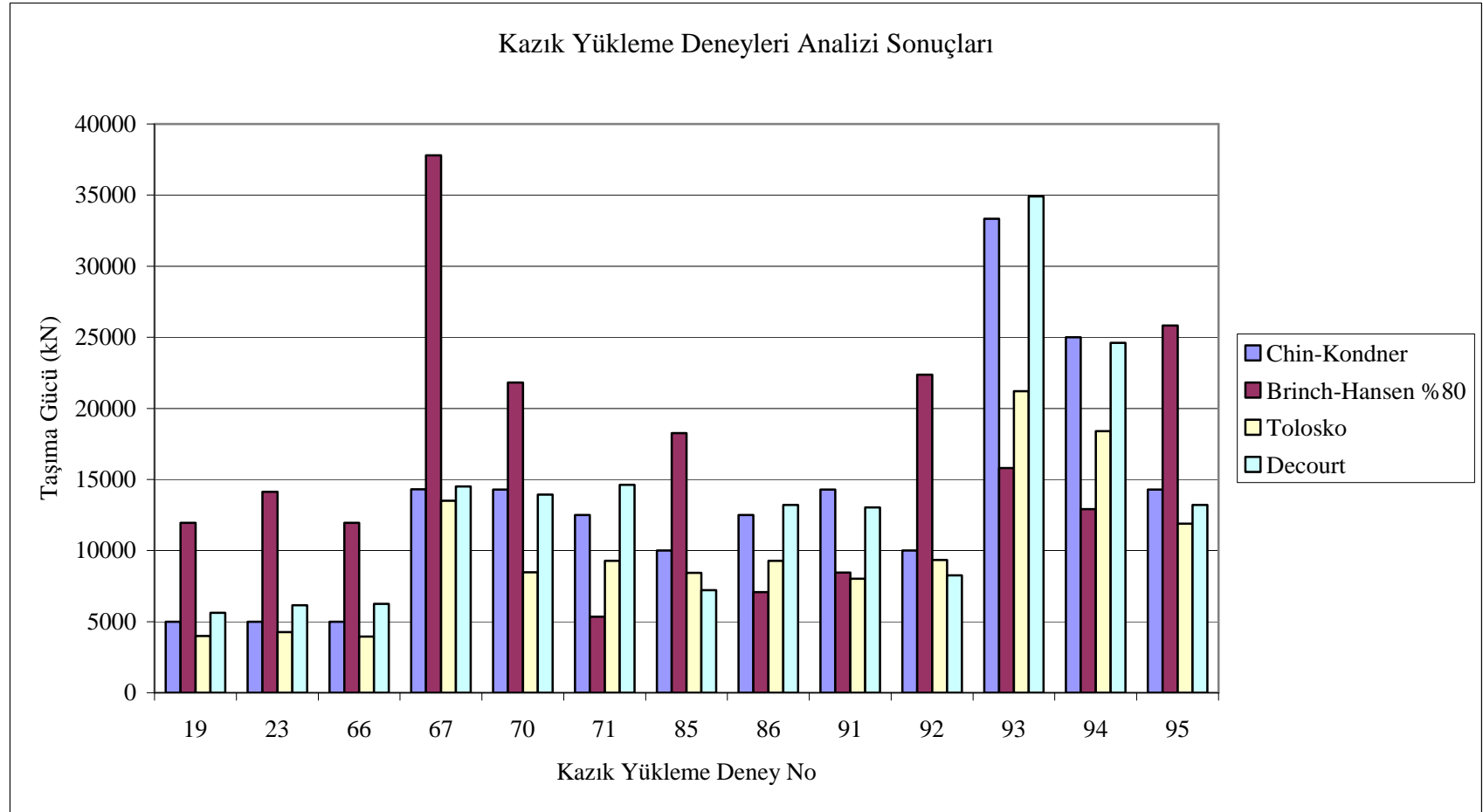


Şekil 6.10 Decourt yöntemi ile analiz

Çizelge 6.5 Kayaya soketli kazık temellerin yükleme deneyi analizlerinin sonuçları (N=14)

Yer	Veri Tabanı No	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Soket Boyu (m)	Q <sub>u</sub> Kazık Taşıma Gücü (kN)			
					Chin	Brinch-Hansen %80	Tolosko	Decourt
İzmir-Aydın Otoyolu	19	1,2	5,9	2,4	5000	11950	4000	5630
Sakarya-Akyazı	23	1,25	25	6,3	5000	14140	4260	6145
Ankara-Çayırhan	66	0,8	10	1,5	5000	11950	3960	6250
Ankara-İmrahor Vadisi*	67	1,65	17	6	14300	37800	13500	14500
Ankara Or-an Semti Deney 1	70	0,8	15	7	14285	21820	8480	13930
Ankara Or-an Semti Deney 2*	71	0,8	20	12	12500	5345	9280	14630
İstanbul-Maslak A4	85	0,8	11,2	2,2	10000	18257	8430	7215
İstanbul-Maslak A5*	86	0,8	11,2	6,4	12500	7070	9270	13200
Giresun-Gülburnu*	90	2	13	3	200000	18300	127000	217493
Mersin-Tarsus	91	0,9	20	8,5	14285	8450	8010	13030
Eskişehir - Ankara*	92	1,2	15,5	5,2	10000	22360	9330	8260
Eskişehir - Ankara*	93	1,2	9,5	5	33330	15810	21200	34900
Eskişehir - Ankara*	94	1,2	18	7	25000	12910	18400	24600
Eskişehir - Ankara	95	1,2	27	15	14285	25820	11900	13200

\*Deplasmanlar 5mm'nin altında kalan kazık yükleme deneyleri



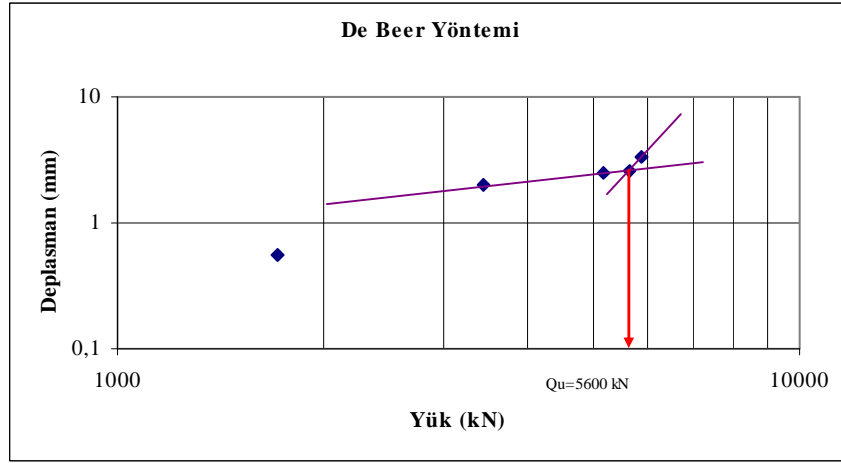
90 Nolu deney grafik olarak gösterilmemiştir.

Şekil 6.11 Kazık yükleme deneylerinin analizi ile bulunan taşıma gücü değerlerinin grafiksel olarak ifadesi

### 6.1.3 Çözümü Yapılmış, Sonucu Dikkate Alınmamış Yöntemler

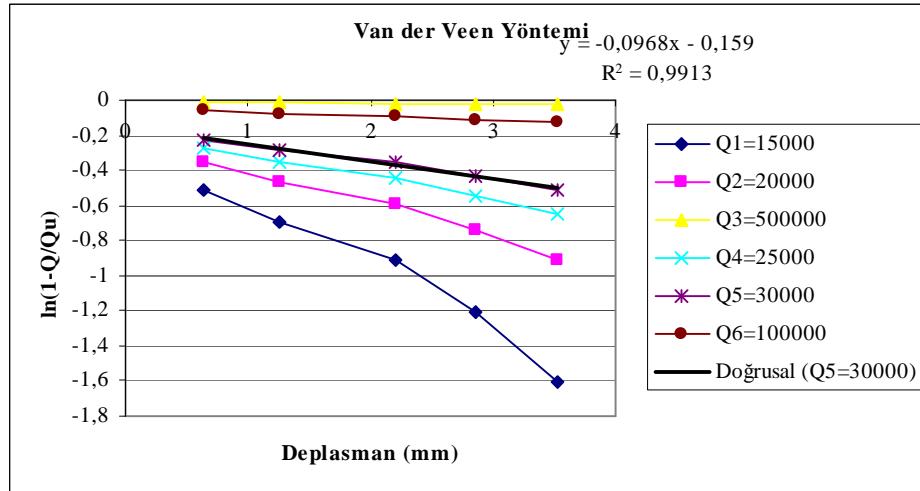
Soketli kazıkların yükleme deneyi sonucu yorumlanırken farklı yöntemlerde denenmiştir fakat uygun sonuçlara ulaşamadığından veya çözüm yapılamadığından dolayı bu yöntemler soketli kazıklar için kullanılamamıştır.

De Beer (1967) yöntemine göre veri tabanında kayıtlı deney numarası 71 olan deney için çözüm yapılmış ve sonuç oldukça küçük bir değer bulunmuştur (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 71 Nolu deneyin De Beer yöntemi ile bulunan taşıma kapasitesi

Veri tabanında kazık yükleme deneyi numarası 67 olan deney Van Der Veen (1953) yöntemine göre analiz edilmiştir ve birden fazla sonuç bulunmuştur. Bu durumda anlamlı bir sonuç çıkarılamamıştır (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 67 nolu deneyin Van Der Veen yöntemi ile taşıma kapasitesinin bulunması

Soketli kazıklar için Davisson (1972) yöntemi de denenmiştir fakat yükleme deneylerinde uygulanan yük (Q) değeri yüksek ve kazık çapı (D) büyük olduğu için Davisson tarafından önerilen limit deplasman değeri yüksek çıkmaktadır. Bu durum ise çözüm yolunu kapatmaktadır.

## 6.2 Ampirik Yöntemler ile Analiz

Kayaya soketli kazıkların taşıma gücünün belirlenmesi için bir çok araştırmacı tarafından çeşitli ampirik (deneye dayalı) eşitlikler önerilmiştir. Önerilen bu eşitliklerin esası, kazık yükleme deneylerinden oluşturulmuş veri tabanındaki deneylerin geri çözümlemesine dayanmaktadır. Ampirik eşitlikler ayrıntılı olarak Bölüm 5’te anlatılmıştır.

Ampirik eşitliklerde dikkate alınan değer kaya malzemesinin serbest basınç mukavemeti “ $\sigma_c$ ” değeridir. Analizi yapılan kayaya soketli kazıkların “ $\sigma_c$ ” değeri için zemin araştırma sonuçlarında verilen değerler kullanılmıştır. Zemin araştırması sonucu “ $\sigma_c$ ” verilmemiş ve arazide presiyometre deneyi yapılmış ise Baguelin v.d. (1974) tarafından önerilen Eşitlik 6.4 ile kohezyonlu zeminlerde drenajsız kayma dayanımı “ $c_u$ ” değeri bulunduktan sonra Eşitlik 6.5’te değeri yerine konularak “ $\sigma_c$ ” değeri bulunmuştur. Eğer zemin araştırmasında “ $\sigma_c$ ” değerine ulaşabilecek hiçbir deney yapılmamış ise literatürde bulunan ve Bölüm 4’te verilen kaya tipine bağlı “ $\sigma_c$ ” değerlerinden minimum olan değer kullanılmıştır.

$$c_u = \frac{P_l - P_0}{N_p} \quad (6.4)$$

Eşitlik 6.4’deki  $N_p$  değeri, 5 – 12 arasında değişen ve ortalama 8,5 alınabilecek bir katsayıdır. Kaya dayanımı yüksek olduğundan dolayı hesaplarda 5,5 kabul edilmiştir.

$$\sigma_c = 2 \cdot c_u \quad (6.5)$$

Ampirik yöntemler ile kayaya soketli kazıkların taşıma gücü uç taşıma gücü ve çevre taşıma gücü olarak bulunmaktadır. Bu bölümde 2 adet deneyin analizleri ayrıntılı olarak verilmiştir (Çizelge 6.6, Çizelge 6.7, Çizelge 6.8, ve Çizelge 6.9). Veri tabanındaki diğer kazıkların analiz sonuçları çevre ve uç taşıma gücü olarak Çizelge 6.10 ve 6.11’de verilmiştir. Ampirik yöntemler ile toplam taşıma gücü Rowe, Armitage ve Zhang’ın önerdiği eşitliklerle bulunmuştur (Çizelge 6.12).

### 6.2.1 Ankara-Çayırhan Kayaya Soketli Kazıgın Ampirik Yöntemler ile Analizi

Serbest basınç dayanımı Eşitlik (6.4) ve (6.5) kullanılarak  $\sigma_c = 1,426$  MPa bulunmuştur. Çevre taşıma gücü analizi farklı yöntemlere göre yapılmıştır ve Çizelge 6.6’da verilmiştir. Uç taşıma gücü analizi çeşitli yöntemlere göre yapılmıştır ve Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.6 Ankara – Çayırhan ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi

Yöntem	Formül	Sonuç (MPa)	Açıklama
Rosenberg ve Journeaux (1976)	$\tau_{max} = 0,375. (\sigma_c)^{0,515}$	0,45	
Reese ve O’Neill (1987)	$\tau_{max} = 0,15. (\sigma_c)$	0,21	
Horvath (1983)	$\tau_{max} = a. (\sigma_c)^{0,5}$	0,24	a= 0,2 için
Horvath (1983)	$\tau_{max} = a. (\sigma_c)^{0,5}$	0,36	a= 0,3 için
Rowe ve Armitage (1987)	$\tau_{max} = 0,45. (\sigma_c)^{0,5}$	0,54	R1, R2 ve R3 pürüzlü soketler
Rowe ve Armitage (1987)	$\tau_{max} = 0,6. (\sigma_c)^{0,5}$	0,72	R4 pürüzlü soketler
Meigh ve Wolshi (1979)	$\tau_{max} = 0,22. (\sigma_c)^{0,6}$	0,27	
Gupton ve Logan (1984)	$\tau_{max} = 0,2. (\sigma_c)$	0,29	
Reynolds ve Kaderabek (1980)	$\tau_{max} = 0,3. (\sigma_c)$	0,43	
Toh ve arkadaşları (1989)	$\tau_{max} = 0,25. (\sigma_c)$	0,36	
Carter ve Kulhawy (1988)	$\tau_{max} = 0,2. (\sigma_c)^{0,5}$	0,24	
Zhang ve Einstein (1998)	$\tau_{max} = 0,4. (\sigma_c)^{0,5}$	0,48	Düz soket için
Zhang ve Einstein (1998)	$\tau_{max} = 0,8. (\sigma_c)^{0,5}$	0,96	Pürüzlü soket için
Kulhawy ve Phoon (1993)	$\tau_{max} = \psi. (P_a. \sigma_c / 2)^{0,5}$	0,53	$\psi$ değeri 1 – 3 arasında değişmektedir, ortalama olarak 2 alınabilir. Pa: atmosfer basıncı= 0,1 MPa

Çizelge 6.7 Ankara – Çayırhan ampirik yöntemlerle uç taşıma gücü analizi

Yöntem	Formül	Sonuç (MPa)	Açıklama
Coates (1967)	$q_{max} = 3. \sigma_c$	4,28	
Rowe ve Armitage (1987)	$q_{max} = 2,7. \sigma_c$	3,85	
Argema (1992)	$q_{max} = 4,5. \sigma_c \leq 10$ Mpa	6,42	
Zhang ve Einstein (1998)	$q_{max} = 4,83. \sigma_c^{0,51}$	5,79	39 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Nam (2004)	$q_{max} = 2,14. \sigma_c^{0,66}$	2,7	3 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Vipulanandan v.d. (2007)	$q_{max} = 4,66. \sigma_c^{0,56}$	5,68	21 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Zhang (2008)	$q_{max} = 4,93. \sigma_c^{0,50}$	5,89	50 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş

### 6.2.2 Mersin-Tarsus Kayaya Soketli Kazığın Ampirik Yöntemler ile Analizi

Serbest basınç dayanımı  $\sigma_c = 0,8$  MPa olarak verilmiştir. Çevre taşıma gücü analizi literatürde bulunan farklı yöntemlere göre yapılmıştır ve Çizelge 6.8’de verilmiştir. Uç taşıma gücü analizi çeşitli yöntemlere göre yapılmıştır ve Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.8 Mersin – Tarsus ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi

Yöntem	Formül	Sonuç (MPa)	Açıklama
Rosenberg ve Journeaux (1976)	$\tau_{\max} = 0,375. (\sigma_c)^{0,515}$	0,33	
Reese ve O’Neill (1987)	$\tau_{\max} = 0,15. (\sigma_c)$	0,12	
Horvath (1983)	$\tau_{\max} = a. (\sigma_c)^{0,5}$	0,18	a= 0,2 için
Horvath (1983)	$\tau_{\max} = a. (\sigma_c)^{0,5}$	0,27	a= 0,3 için
Rowe ve Armitage (1987)	$\tau_{\max} = 0,45. (\sigma_c)^{0,5}$	0,4	R1, R2 ve R3 pürüzlü soketler
Rowe ve Armitage (1987)	$\tau_{\max} = 0,6. (\sigma_c)^{0,5}$	0,54	R4 pürüzlü soketler
Meigh ve Wolshi (1979)	$\tau_{\max} = 0,22. (\sigma_c)^{0,6}$	0,19	
Gupton ve Logan (1984)	$\tau_{\max} = 0,2. (\sigma_c)$	0,16	
Reynolds ve Kaderabek (1980)	$\tau_{\max} = 0,3. (\sigma_c)$	0,24	
Toh ve arkadaşları (1989)	$\tau_{\max} = 0,25. (\sigma_c)$	0,2	
Carter ve Kulhawy (1988)	$\tau_{\max} = 0,2. (\sigma_c)^{0,5}$	0,18	
Zhang ve Einstein (1998)	$\tau_{\max} = 0,4. (\sigma_c)^{0,5}$	0,36	Düz soket için
Zhang ve Einstein (1998)	$\tau_{\max} = 0,8. (\sigma_c)^{0,5}$	0,72	Pürüzlü soket için
Kulhawy ve Phoon (1993)	$\tau_{\max} = \psi. (P_a. \sigma_c / 2)^{0,5}$	0,4	$\psi$ değeri 1 – 3 arasında değişmektedir, ortalama olarak 2 alınabilir. Pa: atmosfer basıncı= 0,1 MPa

Çizelge 6.9 Mersin – Tarsus ampirik yöntemlerle uç taşıma gücü analizi

Yöntem	Formül	Sonuç (MPa)	Açıklama
Coates (1967)	$q_{\max} = 3. \sigma_c$	2,4	
Rowe ve Armitage (1987)	$q_{\max} = 2,7. \sigma_c$	2,16	
Argema (1992)	$q_{\max} = 4,5. \sigma_c \leq 10$ Mpa	3,6	
Zhang ve Einstein (1998)	$q_{\max} = 4,83. \sigma_c^{0,51}$	4,31	39 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Nam (2004)	$q_{\max} = 2,14. \sigma_c^{0,66}$	1,85	3 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Vipulanandan v.d. (2007)	$q_{\max} = 4,66. \sigma_c^{0,56}$	4,11	21 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş
Zhang (2008)	$q_{\max} = 4,93. \sigma_c^{0,50}$	4,41	50 adet yükleme deneyi değerlendirilmiş



Çizelge 6.10 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle çevre taşıma gücü analizi (N=14)

Yer	Veri Tabanı No	$\sigma_c$ (MPa)	$\tau_{max}$ Çevre Taşıma Gücü (MPa)													
			Rosenberg ve Journeaux (1976)	Reese ve O'Neil 1 (1987)	Horvath (1983) (a=0,2)	Horvath (1983) (a=0,3)	Rowe ve Armitage (1987) (R1, R2, R3)	Rowe ve Armitage (1987) (R4)	Meigh ve Wolshi (1979)	Gupton ve Logan (1984)	Reynolds ve Kaderabek (1980)	Toh v.d. (1989)	Carter ve Kulhawy (1988)	Zhang ve Einstein (1998) (Düz)	Zhang ve Einstein (1998) (Pürüzlü)	Kulhawy ve Phoon (1993)
İzmir-Aydın Otoyolu ***	19	35	2,34	5,25	1,18	1,77	2,66	3,55	1,86	7	10,5	8,75	1,18	2,37	4,73	2,65
Sakarya-Akyazı ***	23	170	5,28	25,5	2,61	3,91	5,87	7,82	4,79	34	51	42,5	2,61	5,22	10,43	5,83
Ankara-Çayırhan **	66	1,426	0,45	0,21	0,24	0,36	0,54	0,72	0,27	0,29	0,43	0,36	0,24	0,48	0,96	0,53
Ankara-İmrahor Vadisi **	67	1,67	0,49	0,25	0,26	0,39	0,58	0,78	0,3	0,33	0,5	0,42	0,26	0,52	1,03	0,58
Ankara Or-an Semti Deney 1 **	70	0,36	0,22	0,05	0,12	0,18	0,27	0,36	0,12	0,07	0,11	0,09	0,12	0,24	0,48	0,27
Ankara Or-an Semti Deney 2 **	71	0,36	0,22	0,05	0,12	0,18	0,27	0,36	0,12	0,07	0,11	0,09	0,12	0,24	0,48	0,27
İstanbul-Maslak A4 **	85	0,62	0,29	0,09	0,16	0,24	0,35	0,47	0,17	0,12	0,19	0,16	0,16	0,31	0,63	0,35
İstanbul-Maslak A5 **	86	0,75	0,32	0,11	0,17	0,26	0,39	0,52	0,19	0,15	0,23	0,19	0,17	0,35	0,69	0,39
Giresun-Gülburnu ***	90	170	5,28	25,5	2,61	3,91	5,87	7,82	4,79	34	51	42,5	2,61	5,22	10,43	5,83
Mersin-Tarsus *	91	0,8	0,33	0,12	0,18	0,27	0,4	0,54	0,19	0,16	0,24	0,2	0,18	0,36	0,72	0,4
Eskişehir - Ankara*	92	37	2,41	5,55	1,22	1,82	2,74	3,65	1,92	7,4	11	9,25	1,22	2,43	4,87	2,72
Eskişehir - Ankara*	93	41,45	2,55	6,22	1,29	1,93	2,9	3,86	2,06	8,29	12,44	10,36	1,29	2,58	5,15	2,88
Eskişehir - Ankara*	94	23,75	1,92	3,56	0,97	1,46	2,19	2,92	1,47	4,75	7,13	5,94	0,97	1,95	3,9	2,18
Eskişehir - Ankara***	95	179	5,42	26,85	2,68	4,01	6,02	8,03	4,94	35,8	53,7	44,75	2,68	5,35	10,7	5,98

\*Serbest basınç dayanımı zemin araştırmaları ile belirlenmiştir.

\*\* Serbest basınç dayanımı hesap edilmiştir.

\*\*\*Serbest basınç dayanımı değeri literatürden alınmıştır.

Çizelge 6.11 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle uç taşıma gücü analizi (N=14)

Yer	Veri Tabanı No	$\sigma_c$ (MPa)	$q_{max}$ Uç Taşıma Gücü (MPa)						
			Coates (1967)	Rowe ve Armitage (1987)	Argema (1992)	Zhang ve Einstein (1998)	Nam (2004)	Vipulanandan v.d. (2007)	Zhang (2008)
İzmir-Aydın Otoyolu ***	19	35	105	94,5	10	29,61	22,36	34,12	29,17
Sakarya-Akyazı ***	23	170	510	459	10	66,29	63,46	82,69	64,28
Ankara-Çayırhan **	66	1,426	4,28	3,85	6,42	5,79	2,7	5,68	5,89
Ankara-İmrahor Vadisi **	67	1,67	5,01	4,51	7,52	6,27	3	6,21	6,37
Ankara Or-an Semti Deney 1 **	70	0,36	1,08	0,97	1,62	2,87	1,09	2,63	2,96
Ankara Or-an Semti Deney 2 **	71	0,36	1,08	0,97	1,62	2,87	1,09	2,63	2,96
İstanbul-Maslak A4 **	85	0,62	1,86	1,67	2,79	3,79	1,56	3,57	3,88
İstanbul-Maslak A5 **	86	0,75	2,25	2,03	3,38	4,17	1,77	3,97	4,27
Giresun-Gülburnu ***	90	170	510	459	10	66,29	63,46	82,69	64,28
Mersin-Tarsus *	91	0,8	2,4	2,16	3,6	4,31	1,85	4,11	4,41
Eskişehir - Ankara*	92	37	111	99,9	166,5	30,46	23,2	35,2	29,99
Eskişehir - Ankara*	93	41,45	124,35	111,92	186,53	32,28	25	37,51	31,74
Eskişehir - Ankara*	94	23,75	71,25	64,13	106,88	24,3	17,31	27,46	24,03
Eskişehir - Ankara***	95	179	537	483,3	805,5	68,06	65,66	85,11	65,96

\*Serbest basınç dayanımı zemin araştırmaları ile belirlenmiştir.

\*\* Serbest basınç dayanımı hesap edilmiştir.

\*\*\*Serbest basınç dayanımı değeri literatürden alınmıştır.

Çizelge 6.12 Veri Tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle toplam taşıma gücü sonuçları (N=14)

Yer	Veri Tabanı No	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Soket Boyu (m)	Kesit Alanı (m <sup>2</sup> )	Çevre Alanı (m <sup>2</sup> )	Kaya Tipi	σc (MPa)	Çevre τ <sub>max</sub> (MPa)		Çevre Q <sub>s</sub> (kN)		Uç q <sub>max</sub> (MPa)		Uç Q <sub>b</sub> (kN)		Toplam Q <sub>u</sub> (kN)	
									Rowe ve Armitage (1987) (R1, R2, R3)	Zhang ve Einstein (1998) (Düz)	Rowe ve Armitage (1987) (R1, R2, R3)	Zhang ve Einstein (1998) (Düz)	Rowe ve Armitage (1987)	Zhang (2008)	Rowe ve Armitage (1987)	Zhang (2008)	Rowe ve Armitage	Zhang
İzmir-Aydın Otoyolu	19	1,2	5,9	2,4	1,13	9,05	Mika Şist	35	2,66	2,37	24067,11	21443,25	94,5	29,17	106877	32990,49	131000	54400
Sakarya-Akyazı	23	1,25	25	6,3	1,23	24,74	Bazalt	170	5,87	5,22	145224,05	129143,02	459	64,28	563277,7	78883,43	709000	208000
Ankara-Çayırhan	66	0,8	10	1,5	0,50	3,77	Marn	1,426	0,54	0,48	2035,75	1809,56	3,85	5,89	1935,221	2960,637	3970	4770
Ankara-İmrahor Vadisi	67	1,65	17	6	2,14	31,10	Fillit	1,67	0,58	0,52	18039,03	16172,92	4,51	6,37	9643,492	13620,63	27700	29800
Ankara Or-an Semti Deney 1	70	0,8	15	7	0,50	17,59	Şist	0,36	0,27	0,24	4750,09	4222,30	0,97	2,96	487,5752	1487,858	5240	5710
Ankara Or-an Semti Deney 2	71	0,8	20	12	0,50	30,16	Şist	0,36	0,27	0,24	8143,01	7238,23	0,97	2,96	487,5752	1487,858	8630	8730
İstanbul-Maslak A4	85	0,8	11,2	2,2	0,50	5,53	Grovak	0,62	0,35	0,31	1935,22	1714,05	1,67	3,88	839,4336	1950,301	2770	3660
İstanbul-Maslak A5	86	0,8	11,2	6,4	0,50	16,08	Grovak	0,75	0,39	0,35	6273,13	5629,73	2,03	4,27	1020,389	2146,336	7290	7780
Giresun-Gülburnu	90	2	13	3	3,14	18,85	Bazalt	170	5,87	5,22	110646,89	98394,68	459	64,28	1441991	201941,6	1550000	300000
Mersin-Tarsus	91	0,9	20	8,5	0,64	24,03	Kiltaşı	0,8	0,4	0,36	9613,27	8651,95	2,16	4,41	1374,133	2805,521	11000	11500
Eskişehir - Ankara	92	1,2	15,5	5,2	1,13	19,60	Kireçtaşı	37	2,74	2,43	53713,69	47636,60	99,9	29,99	112984,2	33917,89	167000	81600
Eskişehir - Ankara	93	1,2	9,5	5	1,13	18,85	Dolomit	41,45	2,9	2,58	54663,71	48631,85	111,92	31,74	126578,5	35897,09	181000	84500
Eskişehir - Ankara	94	1,2	18	7	1,13	26,39	Dolomit	23,75	2,19	1,95	57792,74	51459,29	64,13	24,03	72529,32	27177,29	130000	78600
Eskişehir - Ankara	95	1,2	27	15	1,13	56,55	Şist	179	6,02	5,35	340422,98	302535,37	483,3	65,96	546599,4	74599	887000	377000

Toplam taşıma güçleri, ilk üç hane esas alınarak yuvarlama yapılmıştır.

### 6.3 Kazık Yükleme Deney Sonuçları ve Ampirik Yöntemlerle Yapılan Analizin Değerlendirilmesi

Ampirik yöntemler ile yukarıda hesap edildiği gibi çevre ve uç taşıma güçleri ayrı ayrı bulunmuştur. Önerilen birçok yöntem arasında Rowe ve Armitage (1987) ile Zhang (1998; 2008) hem çevre hem de uç kapasitesi için eşitlikler önermişlerdir. Veri tabanında bulunan kayaya soketli kazıklar için kazık yükleme deney sonuçlarının değerlendirilmesi ile bulunan taşıma güçleri ile ampirik yöntemlerle elde edilen toplam taşıma güçleri Çizelge 6.14'te verilmiştir. Kazık yükleme deney sonuçları ile hesaplanan toplam kapasiteler ile ampirik yöntemler ile hesaplanan toplam kapasiteler grafiksel olarak Şekil 6.14'te gösterilmiştir.

Şekil 6.14'teki grafikte görüldüğü gibi ampirik yöntemlerde kaya serbest basınç mukavemeti değerleri literatürden alınan deneylerdeki sonuçlar iyi çıkmamıştır. Bu deneylerin dikkate alınmadığı değerlendirme Şekil 6.15'de gösterilmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere kazık yükleme deney sonuçları ile ampirik yöntemlerin sonuçları arasında çok büyük fark olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çevre ve uç kapasitesi için önerilen yöntemler arasından toplam taşıma gücü belirlenmesi için kombinasyonlar üretilmiştir. Uç taşıma gücü için Nam (2004) ve Vipulanandan v.d. (2007) yöntemleri kullanılmıştır. Çevre taşıma kapasitesi için Carter ve Kulhawy (1988) ile Kulhawy ve Phoon (1993) yöntemleri hesaba katılmıştır. Bu yöntemlerde, çevre ve uç taşıma kapasitelerinin toplanması ile bulunan sonucun kazık toplam kapasitesi için uygunluğu araştırılmıştır. Bu yöntemlerin seçilme sebebi tarihsel olarak güncel oluşları ve denklemlerinin parabolik olarak zemin davranışına benzer olmasıdır. Oluşturulan kombinasyonlar Çizelge 6.13'te verilmiştir. Oluşturulan kombinasyonlarla bulunan toplam taşıma güçleri ile Rowe ve Armitage Yöntemi ve Zhang'ın önerdiği yöntemlerle hesaplanan toplam taşıma güçleri değer olarak Çizelge 6.15'de grafiksel olarak Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Şekil 6.16'da ampirik yöntemler arasındaki değer farkının iyi görülebilmesi için taşıma kapasitesi 35000 kN değerini aşan deneyler şekilde gösterilmemiştir.

Çizelge 6.13 Ampirik yöntemlerle oluşturulan kombinasyonlar

Kombinasyon	Uç Yöntemi	Çevre Yöntemi
1	Nam (2004)	Carter ve Kulhawy (1988)
2	Vipulanandan v.d. (2007)	Kulhawy ve Phoon (1993)
3	Vipulanandan v.d. (2007)	Carter ve Kulhawy (1988)
4	Nam (2004)	Kulhawy ve Phoon (1993)

Şekil 6.16'dan ulaşılan sonuç Kombinasyon (1) ve Kombinasyon (3) küçük değerler vermektedir. Kombinasyon (2) ve Kombinasyon (4) önermeleri Rowe ve Armitage (1987) ile Zhang (1998; 2008)'ın önerdiği yöntemlerle bulunan taşıma kapasitesine yakın değerler verdiği görülmektedir.

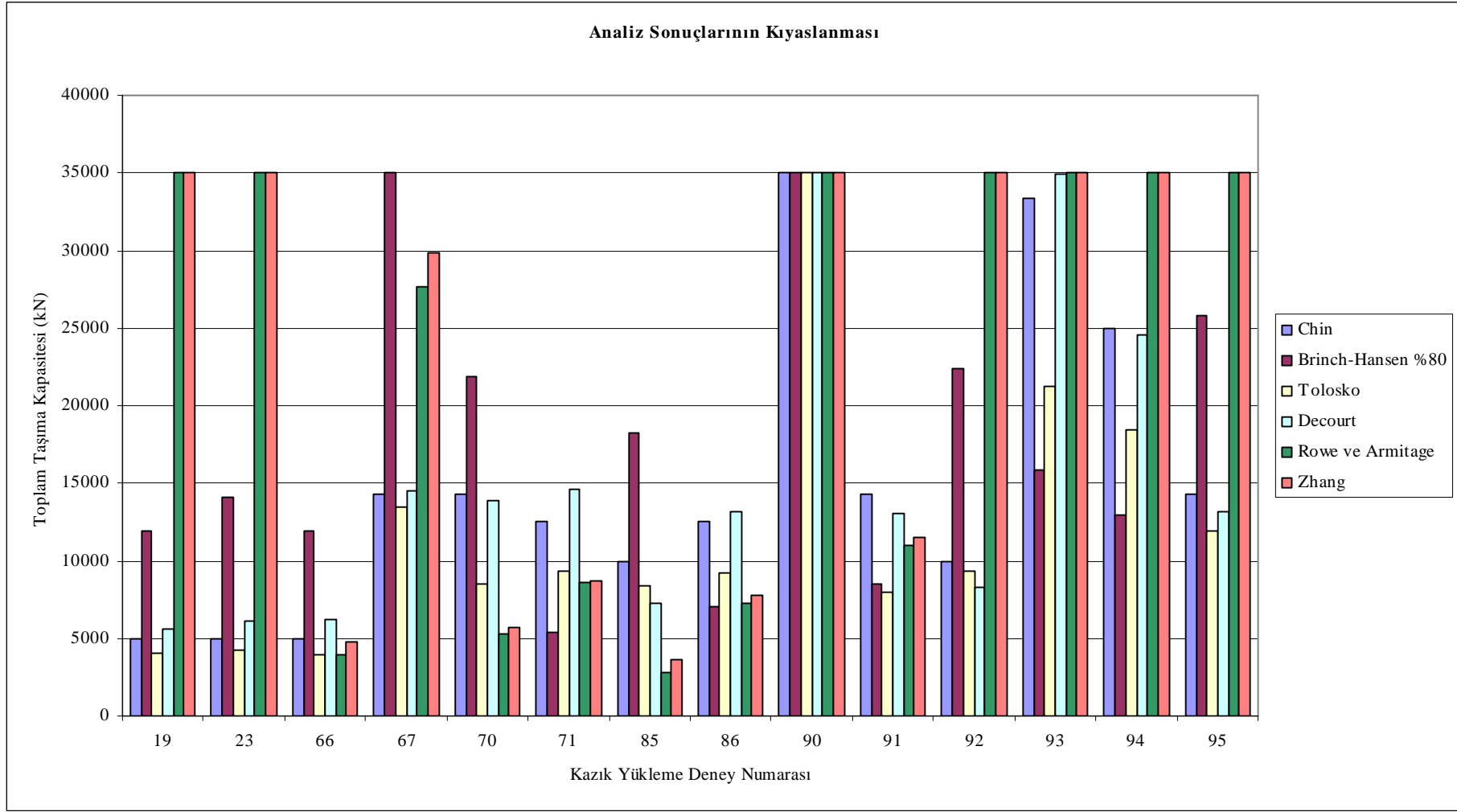
Çizelge 6.14 Kazık yükleme deney sonuçları nın analizi ve ampirik analiz sonucu bulunan taşıma gücü değerleri (N=14)

Yer	Veri Tabanı No	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Soket Boyu (m)	Q <sub>u</sub> Kazık Taşıma Gücü (kN)					
					Rowe ve Armitage	Zhang	Chin	Brinch-Hansen %80	Tolosko	Decourt
İzmir-Aydın Otoyolu ***	19	1,2	5,9	2,4	131000	54400	5000	11950	4000	5630
Sakarya-Akyazı ***	23	1,25	25	6,3	709000	208000	5000	14140	4260	6145
Ankara-Çayırhan **	66	0,8	10	1,5	3970	4770	5000	11950	3960	6250
Ankara-İmrahor Vadisi **	67	1,65	17	6	27700	29800	14300	37800	13500	14500
Ankara Or-an Semti Deney 1 **	70	0,8	15	7	5240	5710	14285	21820	8480	13930
Ankara Or-an Semti Deney 2 **	71	0,8	20	12	8630	8730	12500	5345	9280	14630
İstanbul-Maslak A4 **	85	0,8	11,2	2,2	2770	3660	10000	18257	8430	7215
İstanbul-Maslak A5 **	86	0,8	11,2	6,4	7290	7780	12500	7070	9270	13200
Giresun-Gülburnu ***	90	2	13	3	1550000	300000	200000	18300	127000	217493
Mersin-Tarsus *	91	0,9	20	8,5	11000	11500	14285	8450	8010	13030
Eskişehir - Ankara*	92	1,2	15,5	5,2	167000	81600	10000	22360	9330	8260
Eskişehir - Ankara*	93	1,2	9,5	5	181000	84500	33330	15810	21200	34900
Eskişehir - Ankara*	94	1,2	18	7	130000	78600	25000	12910	18400	24600
Eskişehir - Ankara***	95	1,2	27	15	887000	377000	14285	25820	11900	13200

\*Serbest basınç dayanımı zemin araştırmaları ile belirlenmiştir.

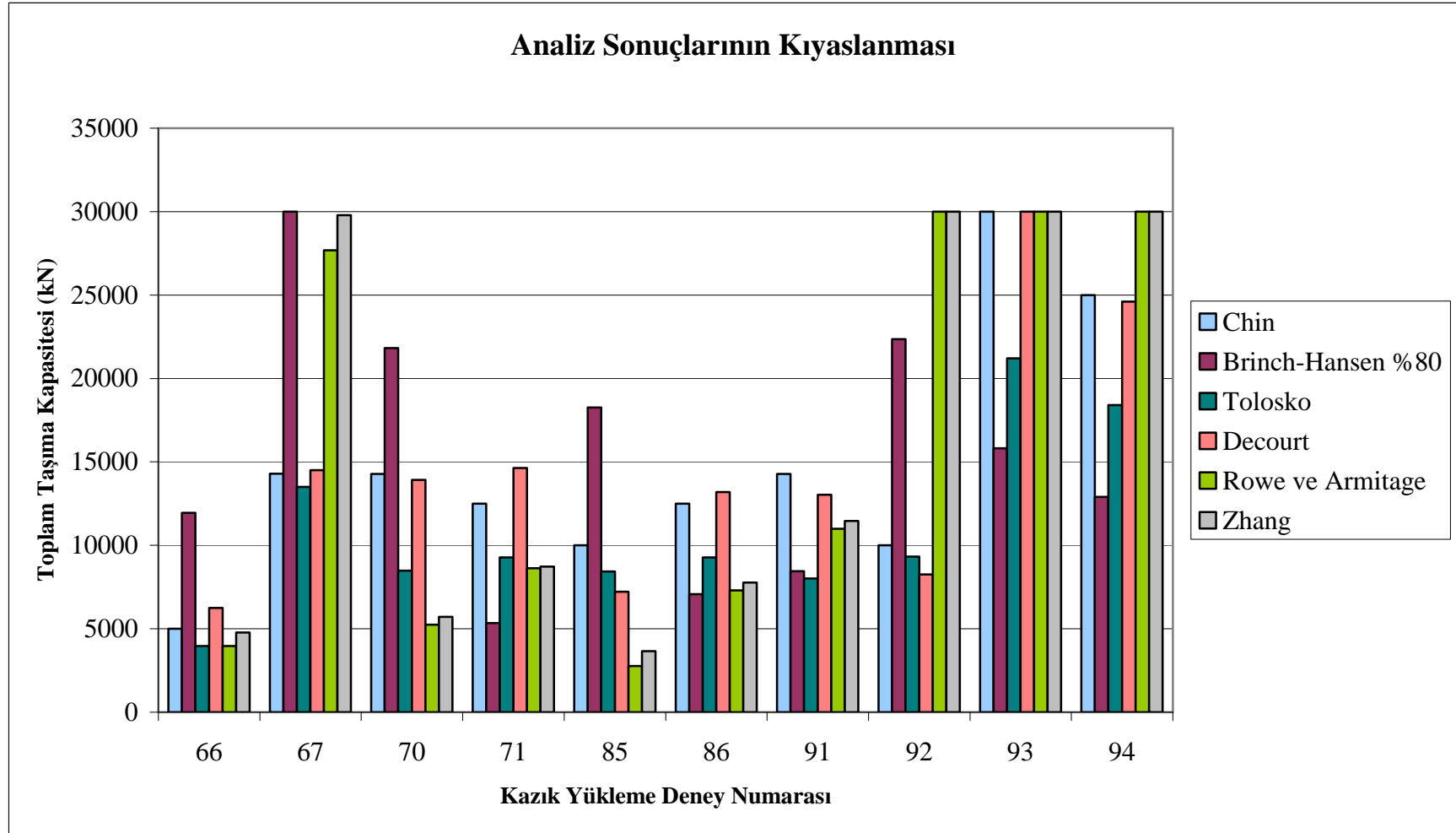
\*\* Serbest basınç dayanımı hesap edilmiştir.

\*\*\*Serbest basınç dayanımı değeri literatürden alınmıştır.



Grafikte taşıma kapasitesi 35000 kN'dan fazla değer gösterilmemiştir.

Şekil 6.14 Kayaya soketli kazıklar için toplam taşıma kapasiteleri



Grafikte taşıma kapasitesi 30000 kN'dan fazla değer gösterilmemiştir.

Şekil 6.15 Kaya serbest basınç dayanımı değeri literatürden alınmış deneylerin dikkate alınmadığı kayaya soketli kazıkların toplam taşıma güçleri



Çizelge 6.15 Veri tabanında bulunan soketli kazıkların ampirik yöntemler kullanılarak önerilen kombinasyonlar ile bulunmuş toplam taşıma gücü değerleri (N=14)

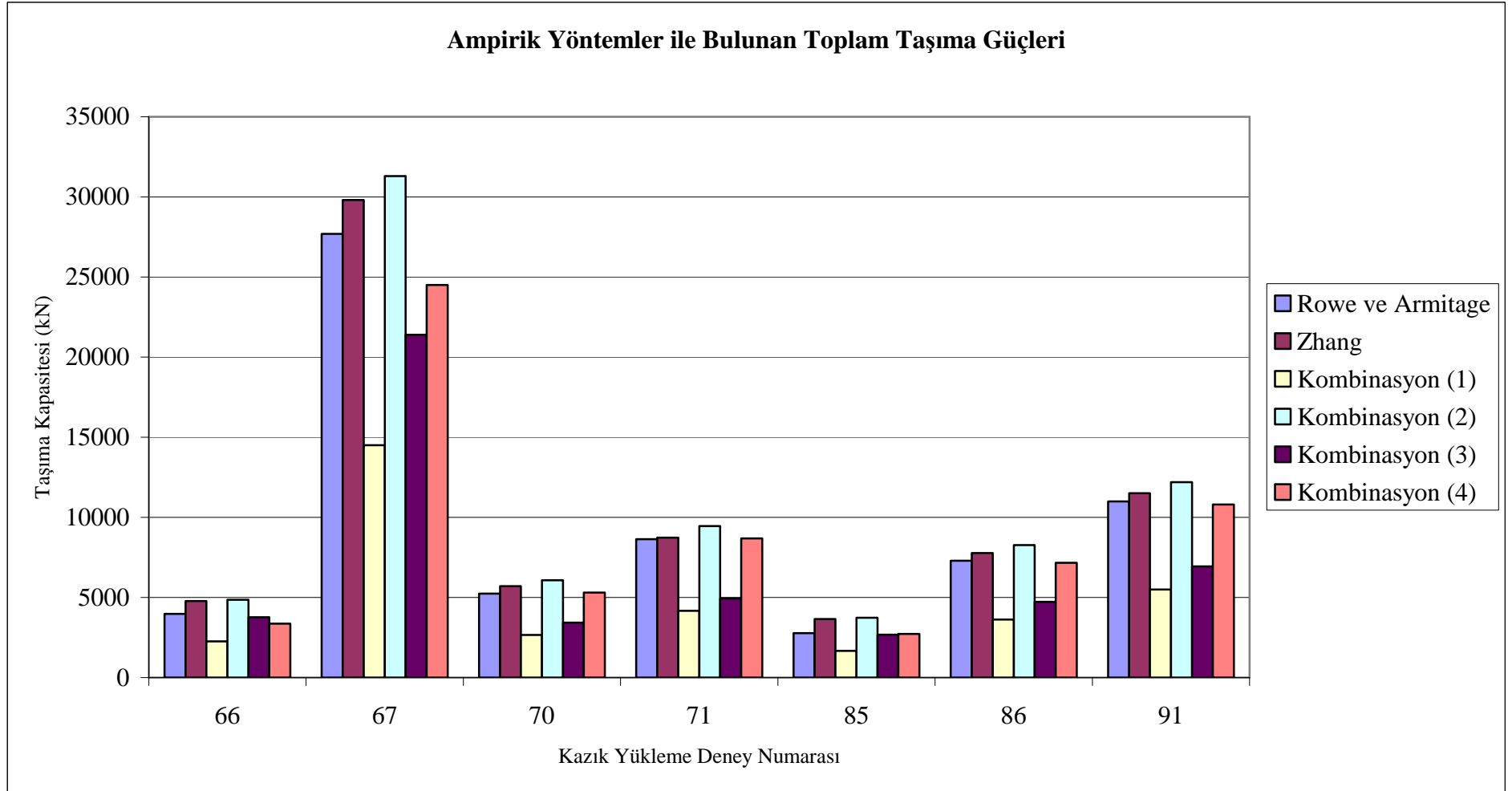
Yer	Veri Tabanı No	Toplam Qu (kN)					
		Rowe ve Armitage	Zhang	Kombinasyon (1)	Kombinasyon (2)	Kombinasyon (3)	Kombinasyon (4)
İzmir-Aydın Otoyolu	19	131000	54400	36000	62600,00	49300,00	49300,00
Sakarya-Akyazı	23	709000	208000	142000,00	246000,00	166000,00	222000,00
Ankara-Çayırhan	66	3970	4770	2260,00	4850,00	3760,00	3360,00
Ankara-İmrahor Vadisi	67	27700	29800	14500,00	31300,00	21400,00	24500,00
Ankara Or-an Semti Deney 1	70	5240	5710	2660,00	6070,00	3430,00	5300,00
Ankara Or-an Semti Deney 2	71	8630	8730	4170,00	9460,00	4940,00	8690,00
İstanbul-Maslak A4	85	2770	3660	1670,00	3730,00	2680,00	2720,00
İstanbul-Maslak A5	86	7290	7780	3620,00	8270,00	4730,00	7160,00
Giresun-Gülburnu	90	1550000	300000	249000,00	370000,00	309000,00	309000,00
Mersin-Tarsus	91	11000	11500	5500,00	12200,00	6940,00	10800,00
Eskişehir - Ankara	92	167000	81600	50200,00	93100,00	63700,00	79600,00
Eskişehir - Ankara	93	181000	84500	52600,00	96700,00	66700,00	82600,00
Eskişehir - Ankara	94	130000	78600	45200,00	88600,00	56700,00	77100,00
Eskişehir - Ankara	95	887000	377000	256000,00	502000,00	278000,00	480000,00

1 Uç Taşıma Gücü Nam (2004) + Çevre Taşıma Gücü Carter ve Kulhawy (1988)

2 Uç Taşıma Gücü Vipulanandan v.d. (2007) + Çevre Taşıma Gücü Kulhawy ve Phoon (1993)

3 Uç Taşıma Gücü Vipulanandan v.d. (2007) + Çevre Taşıma Gücü Carter ve Kulhawy (1988)

2 Uç Taşıma Gücü Nam (2004) + Çevre Taşıma Gücü Kulhawy ve Phoon (1993)



Şekil 6.16 Ampirik yöntemlerle bulunan toplam taşıma güçlerinin kıyaslanması

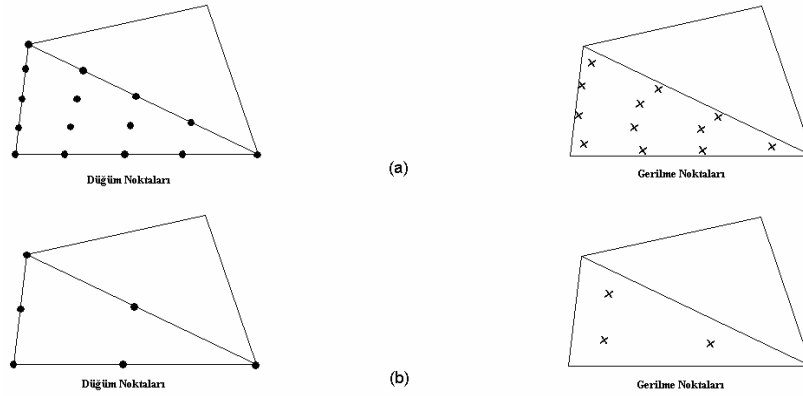
#### 6.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz

Plaxis programı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş 2 boyutlu bir sonlu elemanlar programıdır. Bu kısımda kayaya soketli kazıklar için Plaxis ile analiz anlatılmış ve veri tabanında bulunan soketli kazıklardan 2 tane örnek verilmiştir.

Kayaya soketli kazıkların yükleme deneyleri ile Plaxis analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Plaxis analizi sonucu elde edilen yük – deplasman eğrisi lineer olarak artmaktadır. Bu nedenle kazık yükleme deneylerinin yük – deplasman eğrisinin elastik bölge denilebilecek başlangıç lineer kısım karşılaştırmalarda dikkate alınmıştır. Bütün deneylere ait analiz sonuçları Ek 2’de verilmektedir.

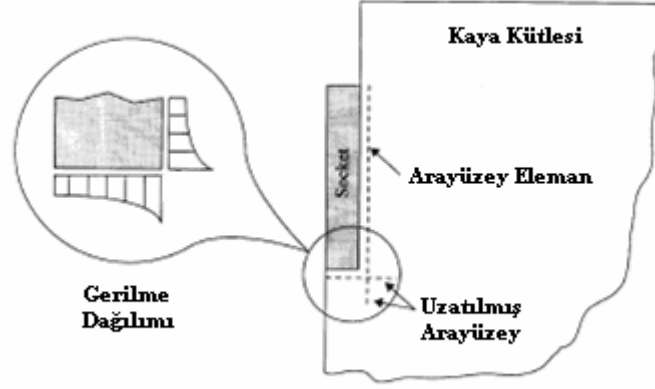
##### 6.4.1 Geometrik Model

Geometrik modelin oluşturulmasında literatürden faydalanılmıştır (Nam, 2004; Seol vd., 2008). Kayaya soketli kazıkların nümerik modeli aksel simetri koşullarında (axisymmetry) ve 15 düğüm noktalı üçgen (15-node) elemanlardan oluşturulmuştur (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 Analizlerde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları

Kazık malzemesi ile zemin ortamı (kil, kum, silt vs.) veya kaya ortamını birbirinden ayıran ara yüzey (interface) elemanlar kullanılmıştır. Ara yüzey elemanların kesiştiği birleşim yerlerinde, gerilmelerin doğru olarak hesaplanabilmesi için ara yüzey elemanların uzatılması önerilmektedir (Brinkgreve, 2004) (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 Ara yüzey (Interface) elemanların uzatılması

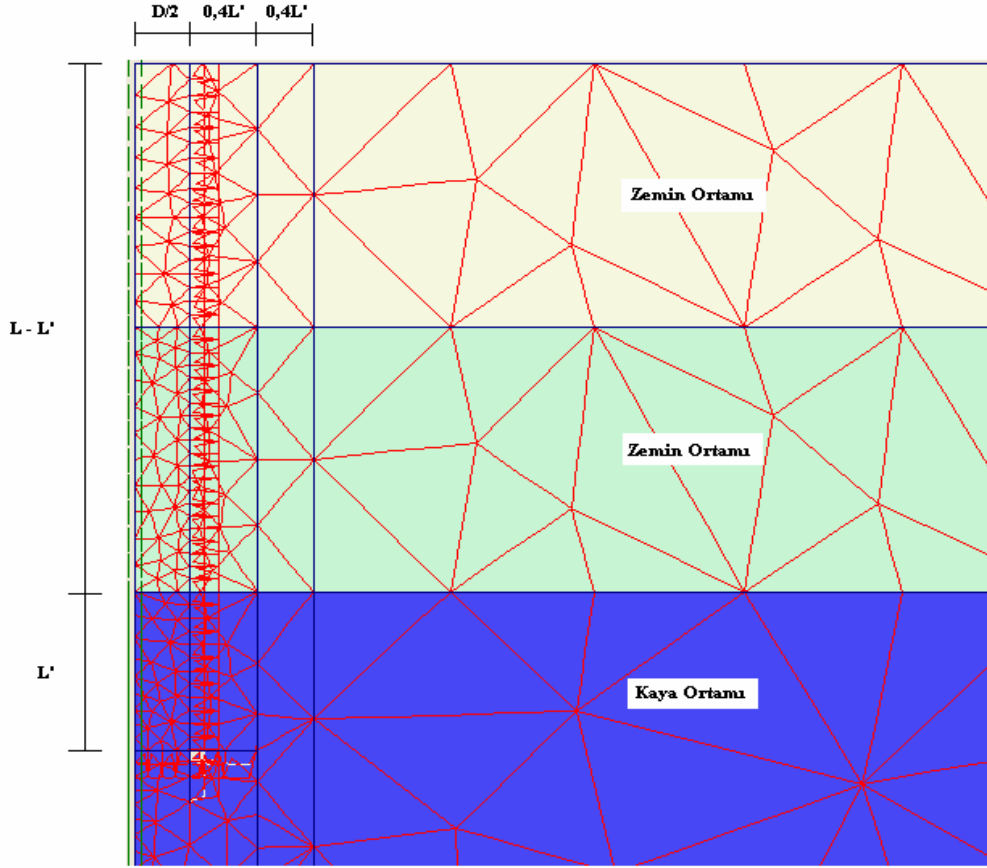
Ara yüzeye yakın, yüksek gerilmelere maruz kalan bölgede analizlerin hassas olması amacıyla ağ (Fine Meshes) sıklaştırılmıştır (Şekil 6.19). Kazıklara yükler yayılı yük (Distributed Load) olarak (birim: kPa) yapılmıştır. L kazık boyu, L' soket boyu ve D kazık çapı olmak üzere geometrik model Şekil 6.20'de gösterilmiştir.

#### 6.4.2 Malzeme Parametreleri

Kazık için kullanılan beton malzemesinin izotropik, homojen ve elastik bir malzeme olduğu varsayılmaktadır (Nam, 2004). Kazık malzemesi için PLAXIS'e girilen parametreler aşağıda verilmiştir.

- Malzeme Modeli: Lineer – Elastik
- Birim Hacim Ağırlığı: 20,4 kN/m<sup>3</sup>
- Elastisite Modülü (E): 30 GPa
- Poisson Oranı (ν): 0,15

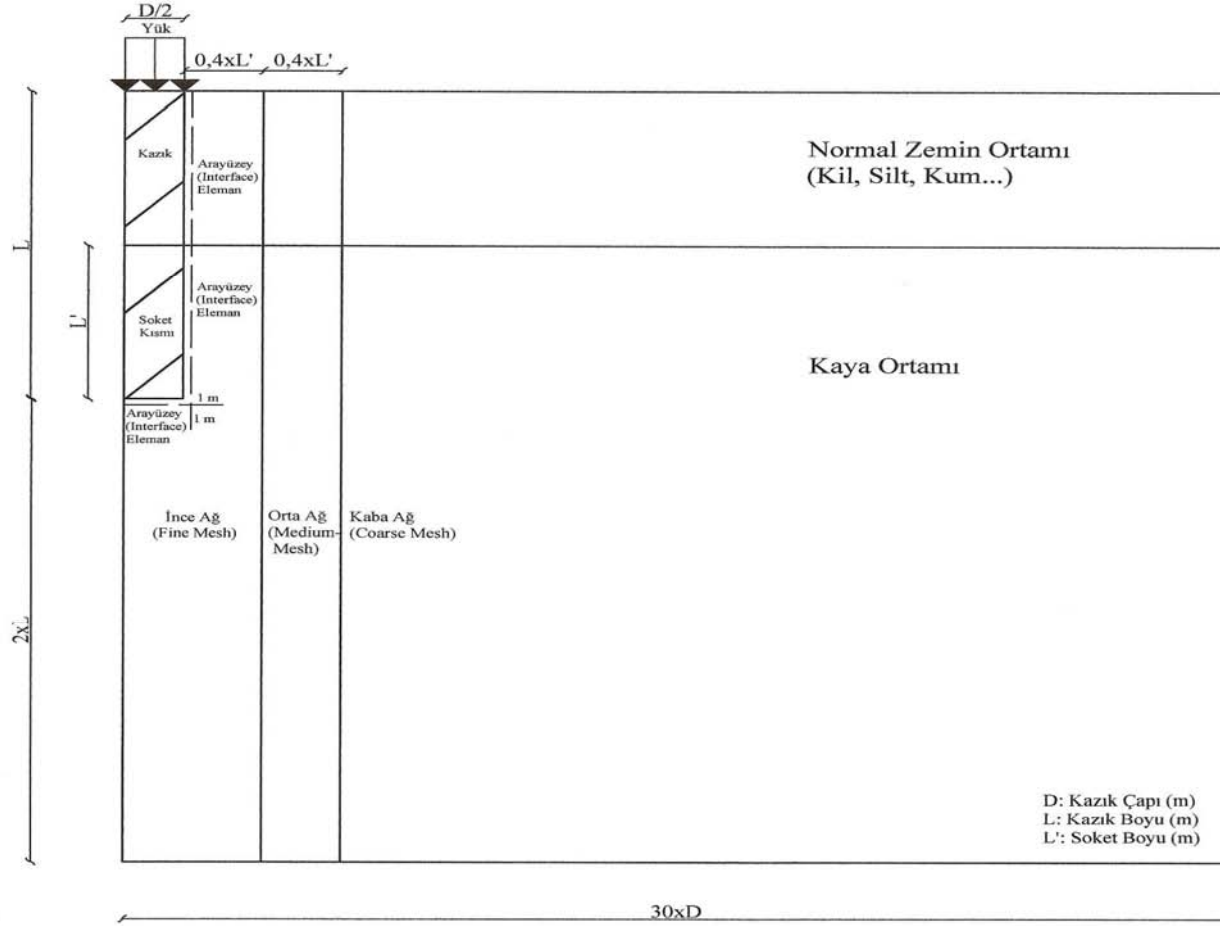
Zemin ortamı (kum, kil, silt vb.) ve kaya ortamı için kullanılan malzeme parametreleri kazık yükleme deneylerinin gerçekleştirildiği arazilerde yapılmış incelemeler sonucu elde edilen sondaj loglarından alınmıştır. Sondaj logları bulunmayan kazık yükleme deneylerinde, literatürde genel olarak kabul görmüş malzeme parametreleri kullanılmıştır (bkz. Bölüm 4).



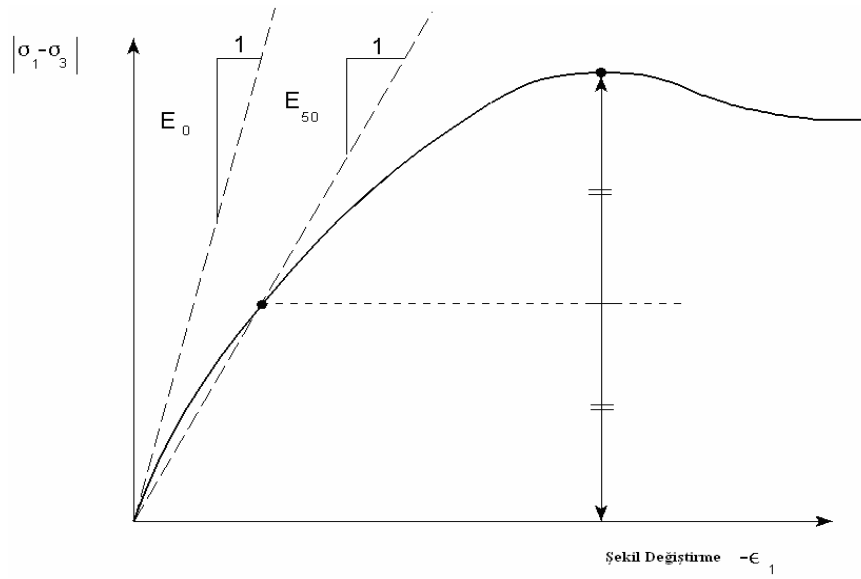
Şekil 6.19 Plaxis analizleri için sonlu eleman ağları

Plaxis analizlerinde Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmıştır ve malzeme davranışı olarak drenajlı koşullar dikkate alınmıştır. Bu modelde plastik davranışı modellemek için dikkate alınan zemin parametreleri,  $c'$  (kohezyon),  $\phi'$  (içsel sürtünme açısı),  $\psi$  (genleşme açısı)'dir. Elastik davranışı modellemek için ise zemin parametreleri  $E'$  (elastisite modülü) ve  $\nu'$  (Poisson oranı) kullanılmaktadır. Geleneksel üç eksenli deneylerde gerilme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimi, başlangıç rijitlik modülü  $E_0$  değerini vermekte ve deviator gerilmenin  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  %50'sine karşılık gelen rijitlik modülü ise Secant modülü ( $E_{50}$ ) değerini vermektedir (Şekil 6.21).

## Plaxis Geometrik Modeli



Şekil 6.20 Kayaya soketli kazık için kazık boyu, soket boyu ve kazık çapına bağlı geometrik model



Şekil 6.21 Standart drenajlı üç eksenli deneyden  $E_0$  ve  $E_{50}$ 'nin tanımlanması

### 6.4.3 Analiz Aşaması

Plaxis programında analiz iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada, kazık inşa edilmeden önce sükunetteki durumda sistemin kendi ağırlığı altında oluşan gerilmeler hesaplanmakta, daha sonra ise kazık inşa edilerek adım adım yapısal yükler uygulanmaktadır. Sükunet durumundaki toprak basıncı katsayısı “ $K_0$ ” değeri Plaxis programında önerilen  $K_0=1-\sin\phi'$  eşitliğinden hesaplanan değer olarak kabul edilmiştir (Brinkgreve v.d. ,2004). Yapısal yükler (deneylerde kazıklara etkitilen yükler) kazığa adım adım (Total Multipliers seçeneği seçilerek) artırılarak uygulanmıştır.

### 6.4.4 Analiz Sonucu

Kazık yükleme deneylerinde deplasmanlar kazık başında ölçüldüğünden nümerik analiz sonucunda da benzer şekilde kazık başındaki yük – deplasman eğrisine bakılmıştır. Arazide yapılan kazık yükleme deneyi sonucu belirlenen yük – deplasman eğrisi ile Plaxis analizi sonucu meydana gelen yük – deplasman eğrisi karşılaştırılmıştır.

### 6.4.5 Kayaya Soketli Kazıkların Nümerik Analizine Ait Örnekler

Veri tabanında bulunan kayaya soketli kazıklara ait kazık yükleme deneyleri Plaxis 8.2 programı ile analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan malzeme parametreleri Çizelgeler ile

gösterilmiştir. Çizelge 6.16’da gösterilen malzeme parametreleri için kullanılan semboller ve anlamları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.16 Zemin parametreleri için kullanılan semboller ve anlamları

1	$\gamma_{sat}$	Doygun birim hacim ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )
2	$c'$	Kohezyon (kPa)
3	$\phi'$	İçsel Sürtünme Açısı (°)
4	E	Elastisite Modülü (MPa)
5	$\nu$	Poisson Oranı
6	R	Ara yüzey eleman katsayısı

Analizlerde kullanılan  $c'$ ,  $\phi'$  ve  $\nu$  değerleri literatürden kayaç sınıfına göre yaklaşık değerler kullanılmıştır (Bowles, 1997). Analiz sonucunda elde edilen yük- deplasman eğrileri ile arazide kazık yükleme deneyinden belirlenen yük - deplasman eğrilerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

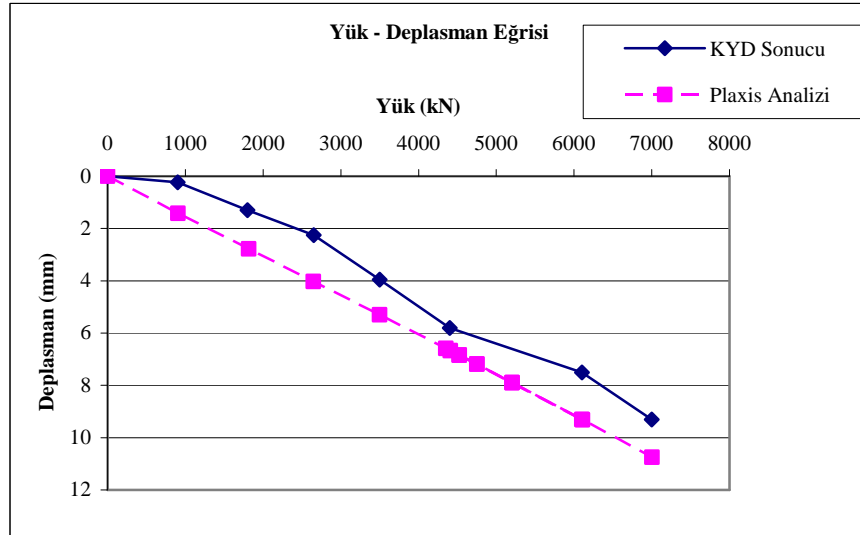
#### 6.4.5.1 Türkiye KYD Veri Tabanı No:91 Mersin Tarsus’da Kayaya Soketli Kazık

Zemin parametreleri değerleri mevcut olan Mersin’in Tarsus ilçesinde yapılmış kazık yükleme deneyinin Plaxis ile analizi yapılmıştır. Analizde programa girilen zemin parametreleri Çizelge 6.17’de verilmiştir. Kazık yükleme deney sonucu ile Plaxis analizi sonucu karşılaştırılmıştır (Şekil 6.22).

Çizelge 6.17 Zemin Parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{sat}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Gevşek Alüvyon	16,5	1	30	4	0,30	0,70
Alüvyon	17	1	32	20	0,30	0,70
Kiltaşı	24	800	33	125	0,20	0,80





Şekil 6.22 Deney 91 Plaxis analizi ile kazık yükleme deneyi sonucunun karşılaştırılması

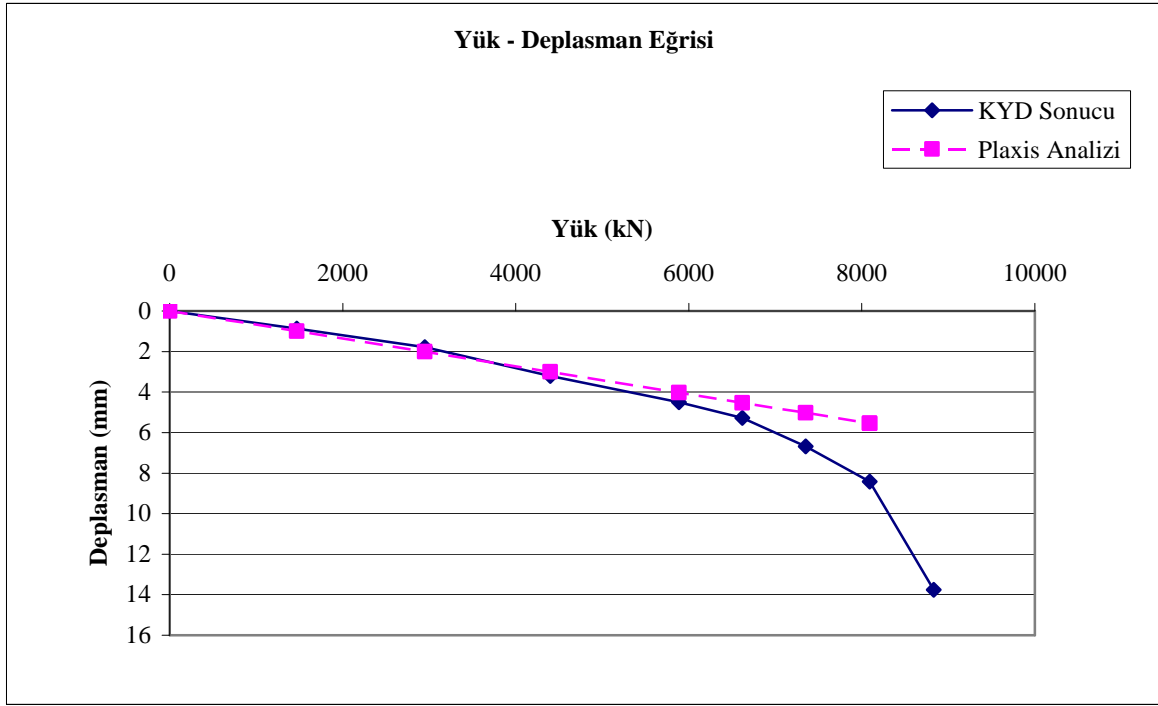
Yükleme deneyi sonucu ile Plaxis analizinden belirlenen hesap sonucu karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu hesaplarda kullanılan malzeme parametreleri arazi deneylerinden elde edilmiştir.

#### 6.4.5.2 Türkiye KYD Veri Tabanı No:70 Ankara – Oran (1)'de Kayaya Soketli Kazık

Ankara'nın Oran semtinde yapılmış, sondaj logları bulunmayan kazık yükleme deneyi sonucu geri çözümleme yapılarak Plaxis programında zemin parametreleri belirlenmiştir. Plaxis analizi sonucu ile yükleme deneyi sonucu karşılaştırma yapıldığında yükleme deneyinin başlangıçta lineer giden kısmı dikkate alınmıştır (Şekil 6.23). Analiz ile belirlenen malzeme parametreleri Çizelge 6.18'de verilmektedir.

Çizelge 6.18 Deney:70 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Dolgu	20	40	10	5	0,30	0,90
Altere Şist	22	9000	33	50	0,20	0,85
Şist (Yeşil)	23	100000	34	2000	0,35	0,85
Şist (Siyahımsı)	25	200000	38	4000	0,20	0,85



Şekil 6.23 Deney:70 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

#### 6.4.6 Zemin Parametrelerinin Değişiminin Analiz Sonucuna Etkisi

Plaxis analizinde zemin parametreleri kohezyon ( $c$ ) ve kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) değişimlerinin sonucu nasıl etkilediği incelenmiştir. Bunun için veri tabanında kayıtlı kazık yükleme deney numarası 67 olan deney seçilmiştir. İlk analizde zemin parametreleri  $c= 15000$  kPa ve  $\phi = 30^0$  girildiğinde sonuç  $\delta = 9,72$  mm çıkmıştır. İkinci analizde zemin parametreleri  $c= 1000$  kPa ve  $\phi = 30^0$  girildiğinde sonuç  $\delta = 9,72$  mm çıkmıştır. Üçüncü analizde zemin parametreleri  $c= 15000$  kPa ve  $\phi = 10^0$  girildiğinde sonuç  $\delta = 9,60$  mm çıkmıştır. Çıkan analiz sonucu değerlerine bakıldığında  $c$  ve  $\phi$  değerinin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Plaxis programında kazık temel analizinde en etkili zemin parametresinin zemin elastisite modülü ( $E$ ) değeri olduğu belirlenmiştir. ( $E$ ) değerinin değişimi deplasman değerlerini oldukça fazla etkilemektedir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında iki ana konu başlığı altında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki “kazık yükleme deneyleri ve Türkiye’de yapılan kazık yükleme deneylerinden veri tabanı oluşturulması”, ikinci konu ise “kayaya soketli kazıkların taşıma kapasitelerinin kazık yükleme deney sonuçları yorumlanarak ve kaya mühendislik özelliklerini dikkate alan ampirik yöntemlerle belirlenmesi”dir.

### 7.1 Kazık Yükleme Deneyleri ve Türkiye’de Yapılan Kazık Yükleme Deneylerinden Oluşturulan Veri Tabanı

#### 7.1.1 Sonuçlar

Türkiye’de yapılan uygulamalar göz önüne alındığında kazık tipi fore ve yükleme yöntemi yavaş adımlı yükleme olan standart eksenel basınç yükleme deneyleri ağırlıktadır. Kazık yükleme deneylerinde kazıklar göçmeye kadar yüklenmediğinden kazık son taşıma gücü değerleri bilinmemektedir. Kazık taşıma kapasitesi için önerilen yöntemlerden, kişisel yorumlardan bağımsız matematiksel modellere dayanan Chin-Kondner, Brinch-Hansen %80 ve Decourt yöntemleri ile bulunan taşıma kapasitelerinin kabul edilebilir sınırlar içinde değerler tahmin etmektedir.

Kazık yükleme deneylerinden oluşturulmuş veri tabanının kullanımını kolaylaştırmak ve verilerin düzenini sağlamak amacı ile “Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı” adı altında bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu programın yazımı “Microsoft Visual Studio 2005” aracılığıyla “C #” programlama dilinden faydalanılmıştır. Oluşturulan veri tabanının dünyadaki benzer örnekleri FHWA (Federal Highway Administration) tarafından derlenen PD/LT 2000 ve University of Florida tarafından oluşturulan FDOT adlı veri tabanı programlarıdır (Paikowsky ve Birgisson, 2004; McVay v.d. 2005).

Veri tabanına kayıt edilmiş olan Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneyleri, literatürden bu deneyler ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacılardan ve kazık yükleme deneylerini uygulamada gerçekleştiren firmalardan elde edilmiştir.

Kazık yükleme deneylerine ait veriler derlenirken dört ana başlık altında düzenlenmiştir. Bunlar; (1) Deney verileri, (2) Kazık verileri, (3) Zemin verileri ve (4) Deney sonucu yük – deplasman değerleridir. Türkiye’de yapılmış kazık yükleme deneyleri araştırılırken, yukarıda sıralanmış dört gruptaki verilere sahip kazık yükleme deneyleri seçilmiş, düzenlenmiş ve veri

tabanına kaydedilmiştir. Araştırmalar sırasında göze çarpan önemli şeylerden birisi, kazık yükleme deneylerinin yapıldığı yerdeki zemin verilerinin eksikliğidir. Kazık yükleme deneyi için oluşturulan teknik rapora zemin profilini ve parametrelerini veren bir bölüm eklenmesi değerlendirmelerin sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için önemli bir yer tutmaktadır.

Türkiye KYD Veri Tabanı programında, belge niteliğindeki verilerin (zemin sodaj logu v.b.) aslını, yük – deplasman eğrisini ve taşıma kapasitesinin grafiklerini düzenli bir şekilde kayıt edebilmek için görsel öğelerin kayıt edilmesine önem verilmiştir. Veri tabanında kayıtlı deneylerin taşıma gücü değerleri, deneyin alındığı kaynakta varsa aynen kaydedilmiştir. Eğer taşıma gücü belirlenmemiş ise Chin – Kondner ve Decourt yöntemi ile çözüm yapılmış ve veri tabanına kaydedilmiştir.

Türkiye KYD Veri Tabanı içinde Haziran 2009 itibariyle 106 adet kayıtlı kazık yükleme deneyi bulunmaktadır ve deneyler çeşitli sınıflandırmalarla istatistiksel olarak incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır.

- 1- Kazık yükleme deneylerinin ağırlıklı olarak yapıldığı şehirler İstanbul ve İzmir'dir. Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yapılmış kazık yükleme deneyleri bulunmamaktadır.
- 2- Veri tabanında kayıtlı deneylerin %65'i fore kazıktır.
- 3- Uygulanan kazık deneylerinin %93'ü basınç yükleme şeklindedir.
- 4- Kazığın içinde bulunduğu zemin ortamı dikkate alındığında, kazıkların %87'si kum, silt, kil gibi zeminlerde ve %13'ü ise kayada bulunmaktadır.
- 5- Kazık çapları büyük oranda 0,5 m – 1,0 m aralığındadır. Kazık boyları ise çoğunlukla 10 m – 40 m değerleri arasındadır.

### 7.1.2 Öneriler

Türkiye'de yapılan kazık yükleme deneylerinin büyük çoğunluğu kanıtlama amaçlı yapılmaktadır. Veri tabanındaki deneylerin sadece %3'ü proje öncesi tasarım amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir ve tasarım amacı ile yapılan kazık yükleme deneyi projenin sonraki aşamalarında ekonomi ve güvenlik artırıcı bir özellik göstermektedir. Kanıtlama amaçlı yapılan deneyler ise proje kazığında göçmeye ulaşınca kadar değil, servis yükünün 1,5 veya 2,0 katına kadar yüklenmektedir. Bunun nedeni test kazığının proje kazıkları içinde olması ve yapıya kullanım ömrü boyunca hizmet edecek olmasıdır. Kanıtlama amaçlı yapılan deneyler

imalatı ve tasarımı doğrulamaktan çok öteye gitmez. Çünkü kanıtlama amaçlı yapılan bir deney sonucuna göre, bir kazık temel ihtiyacın çok üstünde tasarımı yapılmış ise ve proje de uygulanmış ise artık geriye dönüşü olmamaktadır. Bu durum da mühendisliğin temel prensiplerinden biri olan ekonomik tasarım ilkesine aykırı duruma düşülmektedir. Hem ekonomi hem de güvenlik açısından uygun bir kazık temel tasarımı yapmak için kazık yükleme deneyi tasarım amaçlı gerçekleştirilmeli ve kazık göçme yüküne ulaşıncaya kadar yüklenmelidir. Ayrıca servis yükünü bulmak için kullanılan güvenlik sayısı değeri normal şartlarda minimum 3 alınmakta fakat kazık yükleme deneyi ile tasarım yapıldığında 2 alınabilmektedir (Prakash ve Sharma, 2004; CFEM, 2006).

Türkiye KYD Veri Tabanı içinde beş adet enstrumantasyonlu (aletlendirilmiş) kazık yükleme deneyi bulunmaktadır. Enstrumantasyonlu kazık yükleme deneylerinde, kazık boyunca belli derinliklere yerleştirilen aletlerle uygulanan yüke karşılık çevrede taşınan yük değeri ve birim çevre sürtünmesi değerleri ölçülmektedir. Tasarım aşamasında bu bilgiler göz önüne alınarak ekonomik ve güvenli kazık tasarımı yapılabilir. Ayrıca, Türkiye’de Osterberg Hücreli kazık yükleme deneyi uygulamada yer bulamamaktadır. Osterberg hücresi ile yapılan kazık yükleme deneylerinde kazık taban taşıma gücü ve çevre kapasitesi ayrı ayrı belirlenebilmektedir. Osterberg hücresi ile yapılan kazık yükleme deneylerinin başka bir avantajı da yükleme sistemi için çekme kazıkları ve ankraj imal edilmesine gerek olmamaktadır ve çok yüksek yükler uygulanabilmektedir. Bu kayaya soketli kazıklarda avantaj sağlayacaktır.

Geoteknik Mühendisliğinde temel tasarımı yapılırken genellikle boyutlandırma taşıma gücü analizine göre ya da oturma kriterine göre yapılmaktadır. Buna karşın mühendislik projelerinde, temel tasarımı ve boyutlandırması için hem taşıma gücünü hem de oturma kriterini dikkate alarak yapılacak tasarım, güvenli ve ekonomik mühendislik çözümleri sunabilir. Kazık yükleme deneyleri ile tasarım yapılırken, taşıma gücünün yanında oturma kriteri de hesaba katarak tasarım yapmak ayrı bir konu olarak araştırılabilir.

Kazık yükleme deneyi ile tek bir kazığın yük – deplasman davranışına bakılmaktadır. Oysa yapıya hizmet edecek kazık sistemi tipik olarak grup halinde çalışmaktadır. Kazık yükleme deneyi ile kazık tasarımı yapılırken grup etkisi nasıl göz önünde bulundurulmalıdır sorusuna cevap aramak için çalışmalar yapılmalıdır.

Kazıklı temeller grup halinde çalışırken basınca çalışan bir kazık bazı durumlarda çekme etkisine de maruz kalabilmektedir. Örneğin yüksek katlı binaların altındaki kazıklar normal

durumlarda basınca çalışmaktadır. Bulunduğu konum veya iklim şartları etkisiyle şiddetli rüzgar etkisiyle meydana gelen yanal itkiler sonucunda gruptaki kazıkların bir kısmında basınç yükleri artarken diğerleri çekme kuvvetleri karşılamak durumunda kalacaklardır. Böyle bir projede hizmet göreceğ kazığın davranışı incelenmelidir. Aynı kazıkta önce basınç sonra çekme deneyi uygulanarak ya da tam tersi önce çekme sonra basınç uygulanarak kazık davranışı gözlenmelidir. Bu aynı zamanda kazıkların sadece basınç ya da çekmeye çalışması durumunda kapasitesinin belirlenmesine de yardımcı olacaktır.

Gelecek zaman içinde ulaşılabilecek kazık yükleme deneyleri derlenerek mevcut veri tabanına kaydedilecek ve veri tabanı güncellenecektir. Buna ek olarak bu veri tabanına ulaşımın İnternet üzerinden yapılabilmesi için bir “*web uygulaması*” olarak yazılması ve İnternet sitesi şeklinde olması planlanmaktadır.

## **7.2 Türkiye KYD Veri Tabanı İçindeki Kayaya Soketli Kazıkların Analizi**

### **7.2.1 Sonuçlar**

Kayaya soketli kazık tasarımı, çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Yaygın olarak nümerik analizlerle, kazık yükleme deneyleriyle ve literatürde önerilen ampirik eşitlikleri kullanarak tasarım yapılabilir.

Literatürde önerilen ampirik yöntemler, çeşitli araştırmacılar tarafından kayaya soketli kazık temellere yapılan yükleme deneylerinden oluşmuş veri tabanlarından geri çözümleme yapılarak elde edilmiştir.

Türkiye KYD Veri Tabanı içinde kayıtlı ondört adet kayaya soketli kazık bulunmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu kazıkların yükleme deneylerinin verileri değerlendirilerek ve ampirik metodlar kullanılarak taşıma güçleri bulunmuştur ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca kayaya soketli kazıklar için, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis programı ile bir model oluşturulmuş ve veri tabanındaki kazıklar analiz edilmiştir. Plaxis analizi sonucu yük – deplasman eğrisi ile kazık yükleme deneyi sonucu meydana gelen yük – deplasman eğrisi birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Soketli kazıklar için kazık yükleme deney sonucu yorumlanarak taşıma gücü analizi Bölüm 6’da verilmiştir. Analizlerin göz önünde bulundurulmasıyla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1- Kayaya soketli kazık yükleme deneylerinin sonuçları yorumlanarak taşıma gücü analizi yaparken kullanılan yöntemlerin belirlenmesinde matematiksel modele dayalı,

kişisel yorumundan uzak yöntemler seçilmiştir.

- 2- Kazık yükleme deneyi yorumlama yöntemlerinden Chin-Kondner (1970), Tolosko (1999), Decourt (1999) ve Brinch-Hansen %80 (1963) yöntemleri, soketli kazıklar için kabul edilebilir sınırlar çerçevesinde sonuçlar vermektedirler.
- 3- Davisson (1972), De Beer (1967) ve Van Der Veen (1953) yöntemleri ile kayaya soketli kazıkların değerlendirmesi sonucu mertebe açısından uygun olmayan sonuçlar çıkmaktadır. Davisson yönteminde, uygulanan yük (Q) değeri çok yüksek ve meydana gelen deplasman değeri ( $\delta$ ) çok küçük olduğundan ötürü tanımlanan limit deplasman değeri çok yüksek çıkmaktadır. De Beer yöntemi ile bulunan sonuçlarda taşıma gücü değeri çok küçük çıkmıştır. Van Der Veen yöntemi ile analiz sonucunda ise birden fazla taşıma gücü değeri bulunabilmektedir.
- 4- Kazık yükleme deneyi sonucu, 5 mm'den az deplasman yapmış kazıkların taşıma gücü analiz sonuçlarına güvenilmemektedir. Çünkü kazığın elastik deplasmanı yanında yüklemenin ilk yapıldığı anda yükleme düzeneğinde mevcut olan herhangi bir boşluk nedeniyle oluşacak deplasmanlar 5 mm'lik ölçülen değeri büyük oranda karşılayabilecektir.

Veri tabanında bulunan kayaya soketli kazıklar, kazık yükleme deneylerinin geri çözümlemesi ile çıkarılmış ampirik bağıntularla analiz edilmiştir (Bölüm 6). Ampirik yöntemler ile kazık çevre taşıma gücü ve uç taşıma gücü ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Analizde kullanılan ampirik yöntemlerin esas aldığı zemin parametresi kaya serbest basınç mukavemetidir ( $\sigma_c$ ). Kayaya soketli kazık yükleme deneyi örnekleri arasında " $\sigma_c$ " değeri bulunmayan örnekler vardır. Bu deney örneklerinin analizinde literatürde verilen kaya sınıfına göre " $\sigma_c$ " değeri hesaba katılmıştır (Bölüm 4). Kazık toplam taşıma gücü hesabı için hem taşıma gücü hem de uç taşıma gücünü öneren Rowe ve Armitage (1987) yöntemi ile Zhang (1998; 2008) yöntemi dikkate alınmıştır. Bunlara ek olarak toplam taşıma gücünü bulmak için çevre ve uç taşıma gücünün toplamından oluşan dört adet kombinasyon önerilmiştir. Kombinasyonlarda dikkate alınan yöntemlerin seçiminde tarihsel olarak güncel olmaları ve taşıma gücü ve " $\sigma_c$ " arasındaki ilişkinin parabolik olmalarına dikkat edilmiştir. Veri tabanında bulunan kayaya soketli kazıkların ampirik yöntemlerle analizi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Ampirik yöntemler ile hesapta, " $\sigma_c$ " değerine ulaşamayıp literatürde önerilen değerler kullanılarak yapılan analiz sonuçları doğruya uzak sonuçlar vermektedir.

- 2- Toplam taşıma gücünün bulunması için önerilen kombinasyonlar ile bulunan sonuçlar incelenmiştir. Kombinasyon (1) ve Kombinasyon (3) küçük sonuçlar vermektedir. Kombinasyon (2) ve Kombinasyon (4) ise Rowe ve Armitage (1987) ile Zhang (1998; 2008) yöntemleri ile bulunan toplam taşıma güçlerine yakın sonuçlar vermektedir.
- 3- Şekil 6.15’de görüldüğü gibi kazık yükleme deney sonucu yorumlanarak bulunan taşıma güçleri ile ampirik yöntemler ile bulunan taşıma güçleri arasında bazı deneylerde uyum, bazı deneylerde ise uyumsuzluk gözlenmektedir. Veri tabanında kayıtlı kazık yükleme deney numarası 70, 85, 92, 93 ve 94 numaralı deneylerde karşılaştırma sonuçları iyi çıkmamıştır. 66, 67, 71, 86 ve 91 numaralı deneylerde ise karşılaştırma sonuçları uyumludur. Sonuçlar arasında uyum olmayan deneylerde ampirik yöntemde kullanılan “ $\sigma_c$ ” değerleri için arazideki gerçek durumdan uzak değerler kullanılmış olabilir.

Veri tabanındaki kayaya soketli kazıklara uygulanan yükleme deneyleri, Geoteknik Mühendisliği problemlerinde yaygın olarak kullanılan *Plaxis* bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Kayaya soketli fore kazık için kazık boyu (L) ve soket boyuna (L’) bağlı olarak, analizin sınırlarını belirleyen geometrik bir model oluşturulmuştur. *Plaxis* analizi ile kazık yükleme deneyleri karşılaştırılmıştır. *Plaxis* analizi sonucu elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

- 1- *Plaxis* analizi sonucu oluşan yük – deplasman eğrileri lineer çıkmaktadır. Çünkü kayaya ait elastisite modülü (E) değeri çok yüksektir ve yapılan yükleme ile elastik sınır aşılmamaktadır.
- 2- *Plaxis* programında girilen zemin parametrelerinin değiştirilmesiyle sonucun ne şekilde etkilendiği parametrik olarak araştırılmıştır. Kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ) parametrelerinin etkisi ihmal edilecek kadar küçüktür. Analiz sonucunu etkileyen tek ve en önemli parametre Elastisite Modülü (E) değeridir.
- 3- Sondaj logları olan kazık yükleme deneylerinden 67, 85 ve 86 numaraları deneylerde *Plaxis* analizi ile kazık yükleme deney sonucu arasında çok büyük fark bulunmaktadır. Bunun sebebi olarak yapılan zemin incelemeleri sırasında gereken özen gösterilmemiş olması söylenebilir.
- 4- Önerilen *Plaxis* modeli ile zemin parametresi belirlemek için yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, seçilen zemin parametrelerinin makul olduğu gözlenmektedir.



## 7.2.2 Öneriler

Soketli kazıklara yapılan kazık yükleme deneyleri incelendiğinde, yüklemenin yeterince yapılmadığı gözlenmiştir. Değerlendirmeye alınan 14 adet soketli kazık yükleme deneylerinden 7 tanesinin en büyük yük altında gözlemlenen toplam deplasmanı 5 mm'yi geçmemiştir. Kayaya soketli kazık temele tasarım amaçlı yada kabul amaçlı kazık yükleme deneyi yapılması planlanıyorsa, deneye son vermek için deplasman sınırı da göz önüne alınmalıdır. Prakash ve Sharma (1990), çevre taşıma kapasitesinin 10 mm deplasmanda mobilize olduğunu belirtmişlerdir, bunu dikkate alırsak yapılacak yükleme deneyinde toplam deplasman mutlaka 10 mm'yi geçmelidir.

Soketli kazık tasarımı yapılırken genellikle uç taşıma gücü hesaba katılmamaktadır. Fakat İstanbul Maslak'da kayaya soketli bir fore kazık temelde yapılan enstrumantasyonlu kazık yükleme deneyi verileri incelendiğinde, küçük miktar da olsa kazık ucunda yük taşınmaktadır (Deney No:85, Türkiye KYD Veri Tabanı, 2009). Ayrıca kazık tabanında yükün taşınmaya başlaması için çevre taşıma gücünün mobilize olması yani yer değiştirmelerin belirli bir değere ulaşması gerekmektedir.

Bir projede uygulanacak temel sistemi, ön değerlendirmeler sonucu kayaya soketli kazık temel olarak tasarlanıyorsa, mutlaka ek sondajlar yapılarak kayanın mühendislik parametreleri belirlenmelidir. Genellikle yapılan sondaj loglarında kaya hakkında sadece TCR (kaya karot yüzdesi) ve RQD (kaya kalite göstergesi) değerleri mevcuttur. Yapılacak ek zemin araştırmaları ile kaya serbest basınç mukavemeti değeri, kaya elastisite modülü değeri gibi kaya mühendislik özellikleri yapılacak arazi ve laboratuvar deneyleri ile mutlaka belirlenmelidir.

Kayaya soketli kazık imalatı sırasında dikkat edilmesi gerekli hususlar vardır. Soket çevresi ve tabanı mutlaka temiz olmalı ve herhangi bir kalıntı kalmamalıdır. Ayrıca kazık imalatı sırasındaki betonun dayanımı ve elastisite modülünün belirlenmesinde fayda vardır.

Bu çalışmada kayaya soketli kazıkların sadece eksenel taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Mühendislik projelerinde yanal kapasitenin de önemli olduğu rüzgar etkisine maruz kalabilecek yüksek binalar veya dalga kuvvetleri etkisi altında kalacak bir rıhtım yapısı gibi durumlar vardır. Soketli kazık temellerin yanal taşıma kapasiteleri ayrı bir çalışma konusu olabilir.

Kayaya soketli kazıklar için zamanın taşıma kapasitesine etkisi ayrı bir araştırma konusu olabilir. Bunun için aynı şartlarda olmasına özen göstererek imal edilen kayaya soketli

kazıklara değişik zamanlarda yükleme deneyleri yapılarak zamanın taşıma gücüne etkisi gözlenebilir. Ayrıca laboratuarda soketli kazık modelleri oluşturulup yükleme deneyleri yapılarak zamanın etkisi incelenebilir.

**KAYNAKLAR**

AASHTO (2005), Standart Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

Arioğlu E. , Yılmaz, A. O. , Tunçdemir, H. (2007) , Kayaya Gömülu Fore Kazıklar, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Aschenbrener, T.B. and Olson, R.E. (1984), “Prediction of Settlement of Single Piles in Clay”, Proceedings, Analysis and Design of Pile Foundations, San Francisco, California, 41-58.

Baguelin, F., v.d. (1974), “Self Boring Placement of Soil Characteristics Measurements”, Proceedings Conference on Subsurface Exp. for Underground Exc., ASCE, 312-322.

Birand, A. A. (2007), Kazıklı Temeller, Teknik Yayınevi, Ankara.

Bowles, J. E. (1997), Foundation Design and Analyses, The McGraw Hill Companies.

Brinkgreve, R.B.J., Broere, W. ve Waterman, D. (2004), PLAXIS – 2D Version 8, Plaxis bv Delpht, Netherlands.

Burma, Z. A. (2005), Veri Tabanı Yönetim Sistemleri Ve SQL/PL-SQL/T-SQL, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Butler, H. D. , Hoy. H. E. (1976), “The Texas Quick Load Method for Foundation Load Testing Users Manual” , US Department of Transportation Federal Highway Administration, Office of Development, Report No: FHWA-IP – 77 – 8, Washington D.C.

Canadian Geotechnical Society (2006), Canadian Foundation Engineering Manual 4th Edition, Bitech Publishers Ltd, Vancouver B.C.

Castelli, R. J. ve Fan, K. (2002), “O-Cell Test Results For Drilled Shafts İn Marl And Limestone”, Deep Foundations 2002: An International Perspective On Theory, Design, Construction And Performance. Proceedings Of International Deep Foundations Congress. Eds: O’Neill, M.W., Townsend, F.C., 1:807-824.

Chin, F. K. (1970), “Estimation of the Ultimate Load of Pile Not Carried to Failure”, Proceedings 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 81-90.

D 1143 \D 1143M, American Society For Testing And Materials (2007), “Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load”, United States.

D 3689, American Society For Testing And Materials (2007), “Standard Test Method for Piles Under Static Axial Tensile Load”, United States.

Davisson, M.T. (1972), “High Capacity Piles”, Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction, American Society of Civil Engineers, ASCE, Illinois Section, Chicago, March 22, 81-122.

Deere, D. U., ve Miller, R.P. (1966), Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, Leonard Hill, London.

Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D. & Cording, E. J. (1967), “Design of surface and near surface construction in rock”, In eighth US symposium on Rock Mechanics, Minneapolis,237-303.

- Duncan, C. W. (1999), *Foundations on Rock*, E & FN Spon, London.
- Düzceer, R. (2002), “Kazık Yükleme Deneyleri ile Nihai Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ezeldin, A. S. (2004), *Practical Foundation Engineering Handbook: Pile Foundations*, The McGraw Hill Companies.
- Fellenius, B. H. (1975), “Test Loading of Piles and New Proof Testing Procedure”, *ASCE J.G.E.*, 101:855-869.
- Fellenius, B. H. (1980), “The Analysis of Results from Routine Pile Load Tests”, *Ground Engineering*, London, 13(6):19 – 31.
- Fellenius, B. H. (2006), *Basics of Foundation Design*, Electronic Edition.
- Ferruhoğlu, H. (1996), “Kazık Yükleme Deneylerinde Göçme Yükünün Tahmin Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Hatipoğlu, M. (2002), *Kayaya soketli kazıkların mühendislik davranışı*, İ.T.Ü, Yüksek Lisans Tezi, Ağustos, İstanbul.
- Hirany A. ve Kulhawy F. H. (2002), “On the Interpretation of Drilled Foundation Load Test Results”, *Proceeding of the International Deep Foundations Congress 2002*, Orlando, Florida, USA, 1018 – 1028.
- Horvath, R. G. ve Kenney, T.C. (1979), “Shaft Resistance of Rock – Socketed Drilled Piers” ,in *Proceedings, Symposium on Deep Foundations*, ASCE, Atlanta, October, 182- 214.
- Horvath, R. G. ve Kenney, T.C. ve Kozicki, P. (1983), “Methods of Improving the Performance of Drilled Piers in Weak Rock”, *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4):758 – 772, Ottawa, Canada.
- Hudson, J. A. ve Harrison, J. P. (1997), *Engineering Rock Mechanics – An Introduction To The Principles* , Elsevier Ltd, Oxford, UK.
- Kulhawy, F. H. ve Phoon, K. K. (1993), “Drilled Shaft Side Resistance in Clay Soil to Rock”, *Proceedings, Conference on Design and Performance of Deep Foundations: Piles and Piers in Soil and Soft Rock*, Geotechnical Special Publication No:38, 172-183.
- Kyfor Z.G., Schnore, A.R., Carlo, T.A. and Baily, P.F., (1992), *Static Testing of Deep Foundations*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Office of Technology Applications, Report No. FHWA-SA-91-042, Washington D.C.
- Marinos, P. ve Hoek, E. (2001), “Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch”, *Bull. Engg. Geol. Env.* 60:85-92.
- Mayne, P.W., Christopher, B.R., DeJong, J. (2001), “Geotechnical Site Characterization-Manual of Subsurface Investigations”, National Highway Institute, Publication No. FHWA NHI-01-031, Federal Highway Administration, Washington.
- McVay, M., Hoit, M., Hughes, E., Nguyen, T. Ve Lai, P. (2005), “Development of a Web Design, and Construction Bridge Substructure Database”, 8th TRB Annual Meeting, Washington.
- Nam, M. S. (2004), *Improved Design For Drilled Shafts in Rock*, PhD Thesis, University of Houston, Houston, TX.

- O'Neill M. W. ve Reese L. C. (1999), "Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods", Technical Manual, Publication No. FHWA-IF-99-025.
- Paikowsky, S.G ve Birgisson, B. (2004), NCHRP Report 507- Load and Resistance Factor Design (LRFD) For Deep Foundations, Transportation Research Board, Washington.
- Pells, P.J.N. , Rowe, R.K ve Turner, R.M. (1980), "An experimental investigation into side shear for socketed piles in sandstone" , Proceedings, International Conference on Structural Foundations on Rock, Vol.1, Sydney, Australia, s. 291-302.
- Prakash, S. ve Sharma, H.D. (1990), Pile Foundations in Engineering Practice, A Wiley – Interscience Publication, Canada.
- Ramakrishnan, R. ve Gehrke, J. (2003), Database Management System , McGraw-Hill, USA.
- Rosenberg, P. ve Journeaux, N. L. (1976), "Friction and end bearing tests on bedrock for high capacity socket design", Canadian Geotechnical Journal, 13:324-333, Ottawa, Canada.
- Rowe, R. K ve Armitage, H. H. (1987), "A design method for drilled piers in soft rock", Canadian Geotechnical Journal, 24(1):126 – 142, Ottawa, Canada.
- Rowe, R. K. (2001), Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
- Seol, H., Jeong, S. ve Kim, Y. (2009), "Load transfer analysis of rock-socketed drilled shafts by coupled soil resistance", Computers and Geotechnics, 36:446-453.
- Tolosko, T.A. (1999), "Extrapolation of Pile Capacity From Non-Failed Load Tests", Master of Science in Civil Engineering, University of Massachusetts Lowell.
- Tomlinson, M. ve Woodward, J. (2008), Pile Design and Construction Practice, Fifth edition, Taylor & Francis, New York.
- Türkiye KYD (Kazık Yükleme Deneyleri) Veri Tabanı (2009), Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik ABD, İstanbul.
- U.S. Army Corps of Engineers (1991), Design of Pile Foundations, Engineering Manual 1110-2-2906, Washington.
- Vipulanandan, C. , Hussain, A. ve Usluogulari, O. (2007), "Parametric Study of Open Core-Hole On The Behavior Of Drilled Shafts Socketed İn Soft Rock", Contemporary Issues in Deep Foundations, Proc. Of Geo-Denver 2007, Geotechnical Special Publication No.158, Denver, Colorado, In Cd-Ram.
- Vesic, A. S. (1972) "Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 98:265-290.
- Williams, A.F. ve Pells, P.J.N. (1981), "Side Resistance of Rock sockets in Sandstone, Mudstone and Shale", Canadian Geotechnical Journal, 18:502-513.
- Yaşar, E. ve Erdoğan, Y. (2004), "Estimation of rock physicomechanical properties using hardness methods", Engineering Geology 71:281-288, Elsevier.
- Yıldırım, M. ve Gökaşan, E. (2007), Mühendisler İçin Jeoloji Bilgileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayım Merkezi, İstanbul.

- Yıldırım, M. (2000), “İstanbul Bölgesi Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi 2000/3:9-23, Yıldız, İstanbul.
- Yıldırım, M. ve Savaşkan, E. (2002), “İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri”, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni 25/18:48-62, 18 Haziran 2002, Ankara.
- Yıldırım, S. (2004), Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
- Zhang, L. (1997) , Analysis and Design of Axially Loaded Drilled Shafts Socketed into Rock, Master of Science in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Zhang, L. (2004), Drilled Shafts in Rock, A.A. Balkema Publishers, Leiden.
- Zhang, L. (2005), Engineering Properties of Rock, Elsevier, Amsterdam.
- Zhang, L. (2008), “Predicting The End Bearing Capacity of Rock Socketed Shafts”, Deep Foundations Institute, 33<sup>rd</sup> Annual & 11<sup>th</sup> International Conference on Deep Foundations, October 15-17, New York, USA,307-316.
- Zhang, L. ve Einstein, H. H. (1998), “End Bearing Resistance of Drilled Shafts in Rock”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(7):574-584, ASCE.

**EKLER**

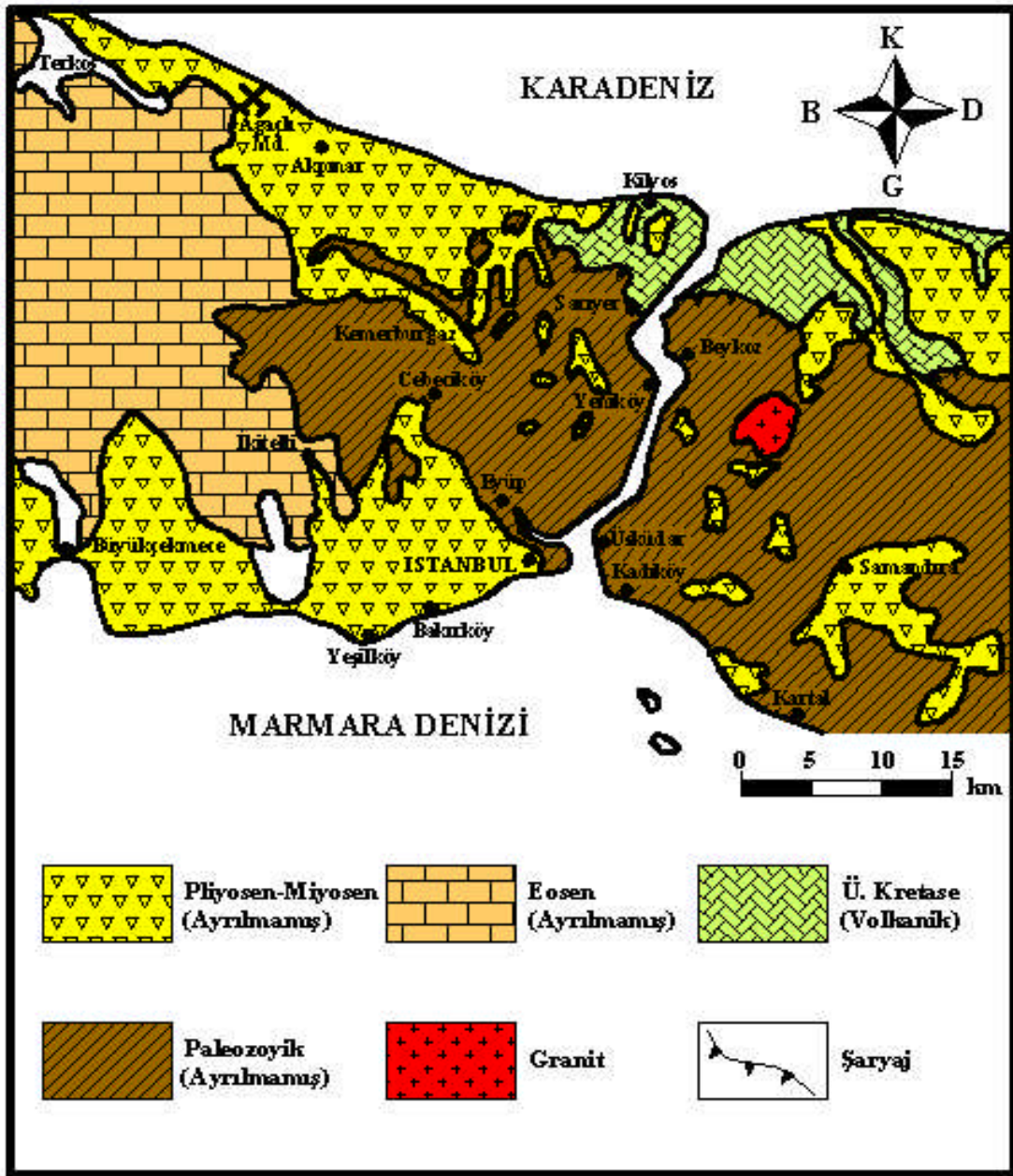
- Ek 1 İstanbul Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri
- Ek 2 Kayaya Soketli Kazıkların Plaxis Analizinde Kullanılan Malzeme Parametreleri, Analiz Sonuçları ve Yükleme Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

### Ek 1 İstanbul Kayaçlarının Mühendislik Özellikleri

İstanbul ve çevresinde bulunan kayaçların mühendislik özellikleri hakkında bilgi Prof. Dr. Mustafa YILDIRIM'ın aşağıda belirtilen kaynağından aktarılmıştır.

Yıldırım, M. ve Savaşkan, E. (2002), "İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri", Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni 25/18, s. 48-62, 18 Haziran 2002, Ankara.




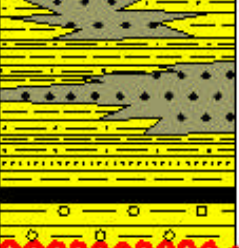
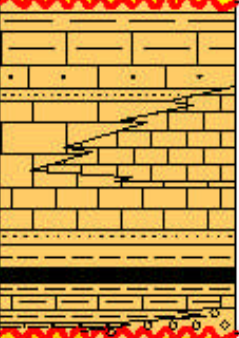

İstanbul ve çevresine ait genel jeoloji haritası Şekil Ek 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil Ek 1.1 İstanbul ve çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Yıldırım ve Savaşkan, 2002)



İstanbul ve çevresi tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti Şekil Ek 1.2'de gösterilmektedir.

ÜST SİSTEM		SİSTEM		FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVA- TERNEK	BÖLÜM	PLİYOSEN	SAMANDIRA				
S E N O Z O Y I K	T E R S İ Y E R	O L İ G O - M İ Y O S E N	G Ü R P İ N A R G R U B U	BARENCY	20 - 30		KİREÇTAŞI - MARN : Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poröz, ince - orta katmanlı, Maktr'ali, kil / kum arakatmanlı
				GÖN- GÖREN	10 - 30		KİL : Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, siltli, bitki artıklı, yüksek plastisiteli orta katı - katı, mercekssel
P A L E O Z O Y İ K	K A R B O N İ F E R	E O S E N	K I R K L A R E L İ	ÇUKUR- ÇEÇME	20 - 30		KUM : Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve siltli, kil arakatmanlı, tutturulmuş veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı
				GÜPİNAR	>200		KİL / KİLTAŞI - KUM ARDALANMASI : Kil : Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tüf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı bantlı, kömür katkılı Kiltası : Gri - yeşil, ince - orta katmanlı Kum : Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvars-kireçtaşı çakıl ve bloklu ÇAKILTAŞI : Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı
P A L E O Z O Y İ K	K A R B O N İ F E R	E O S E N	K I R K L A R E L İ		> 250		MARN - KİREÇTAŞI : Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli KARBONATLI KUMTAŞI : Krem renkli, ince taneli, sert, som yapı RESİFAL KİREÇTAŞI : Beyaz - bej renkli, sert, som yapı, karstik, bol fosilli ÇAKILTAŞI - MARN : Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı
				TRAKYA	> 1000		KUMTAŞI (Grovak) - SİLT TAŞI - KİLT AŞI : Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli ( Ölçeksiz )

Şekil Ek 1.2 İstanbul ve yakın çevresi tersiyer çökellerinin stratigrafik sütun kesiti (Yıldırım ve Savaşkan, 2002)

### **Kırklareli Formasyonu**

- Baskın litolojisi kireçtaşlarıdır.
- Mühendislik Özellikleri

$$\rho_n = 1,9 - 2,4 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s = 2,45 - 2,75 \text{ g/cm}^3$$

Porozite; n= %20

$\sigma_c$  = Killi numunelerde  $10 \text{ kg/cm}^2$  , kil içermeyen resifal kireçtaşlarında  $600 \text{ kg/cm}^2$  değerler alabilmektedir.

Tek eksenli basınç deneyinden, formasyonun üst seviyelerinde  $\sigma_B = 25 - 100 \text{ kg/cm}^2$ , kil içermeyen alt seviyelerde  $\sigma_B = 100 - 250 \text{ kg/cm}^2$  olup, “düşük – orta dirençli kaya grubuna girmektedir.

TCR= % 17 – 100

RQD= % 0- 80

### **Gürpınar Formasyonu**

- Bol fissürlü, aşırı konsolide kil, kil taşları ve kum merceklerinden oluşmaktadır. İstifin hakim litolojisi yeşil renkli kilerdir.
- Mühendislik Özellikleri

$$\rho_n = 1,95 - 2,05 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s = 2,62 - 2,72 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_k = 1,5 - 1,7 \text{ g/cm}^3$$

$W_L$  = % 40 – 100 (Likit Limit)

$W_P$  = % 20 – 40 (Plastik Limit)

$I_p$  = % 20 – 60 (Plastisite İndeksi)

Yüzeğe yakın bilgelerde SPT-N= 30

SPT darbe sayılarına göre “Katı – Çok Katı – Sert” bir zemin niteliğindedir.

Ödometre deneyi sonucunda Sıkışma İndisi  $C_c = 0,15$ ’dir.

Permeabilite katsayısı  $k = 1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$

Basınç dayanımı  $q_u = 1,7 - 4,0 \text{ kg/cm}^2$

### Çukurçeşme Formasyonu

- Formasyonun litolojisi, siyah – koyu gri renkte, organik içerikli, şişme özelliği gösteren, yüksek plastisiteli killerden meydana gelmektedir.
- Mühendislik Özellikleri
  - $\rho_n = 1,70 - 2,0 \text{ g/cm}^3$
  - $\rho_s = 2,40 - 2,62 \text{ g/cm}^3$
  - $\rho_k = 1,2 - 1,65 \text{ g/cm}^3$
  - $W_n = \%45 - 60$  (Doğal su muhtevası)
  - $W_L = \% 102 - 110$  (Likit Limit)
  - $W_P = \% 39 - 50$  (Plastik Limit)
  - $I_P = \% 60 - 64$  (Plastisite İndeksi)
  - SPT-N = 25 – 30 değerleri arasındadır.
  - Sıkışma indisi  $C_c = 0,19$
  - $C_u = 0,17 - 0,67 \text{ kg/cm}^2$
  - $\phi_u = 8$  derece

### Bakırköy Formasyonu

- Formasyonun hakim litolojisi, görsel ortamda çökelmiş, kirli beyaz – krem renkli, yatay katmanlı, genellikle yeşil kil ara tabakalı, orta – yüksek dayanımlı maktralı kireçtaşları ile zayıf – orta dayanımlı marnlardır.
- Mühendislik Özellikleri
  - $\rho_n = 2,0 - 2,40 \text{ g/cm}^3$
  - $\rho_s = 2,59 \text{ g/cm}^3$
  - $W_n = \%5 - 10$  (Doğal su muhtevası)
  - $n = \% 5 - 22$  (Porozite)
  - $\sigma_B = 50 - 500 \text{ kg/cm}^2$  (Ortalama tek eksenli basınç direnci)
  - SPT-N darbe adedi 50'yi geçmektedir, diğer bir deyişle refü değerini almaktadır.
  - $c = 35 \text{ kg/cm}^2$
  - $\phi = 35 - 50$
  - $\nu = 0,17 - 0,31$  (Poisson Oranı)
  - TCR = % 50 – 60 (Toplam karot yüzdesi)
  - RQD = % 15 – 20 (Kayaç kalite göstergesi)

### Samandıra Formasyonu (Belgrad)

- Litolojik olarak, kızıl renkli, çok sıkı, bol iri çakıl katkıları içeren, siltli kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Birim siltli kumlu ve çakıllı kil grubuna girmektedir.
- Mühendislik Özellikleri  
 $W_n = \% 14 - 25$  (Doğal su muhtevası)  
 $W_L = \% 24 - 55$  (Likit Limit)  
 $W_P = \% 13 - 28$  (Plastik Limit)  
 $I_P = \% 9 - 27$  (Plastisite İndeksi)

SPT- N zemin yüzeyinden itibaren ilk birkaç metrede 23 – 45, daha derinlere indikçe 40 – 60 arasında değiştiği ve yer yer refü değerleri elde edildiği gözlenmiştir.

### Trakya Formasyonu (Grovak)

- Hakim litoloji, kumtaşı – siltaşı – kilitaşı ardalanmasıdır ve kireçtaşı mercekleri de içermektedir. Formasyonun yüzeye yakın 15 – 20 m kalınlığına ulaşan üst seviyeleri oldukça ayrılmış kahverengi grovaplardan, daha aşağı seviyeler ise grimsi mavi renkli ayrılmamış dayanımlı grovaplardan oluşur.
- Kahverengi grovaplara mühendislik özellikleri

Çizelge Ek 1.1 Kahverengi grovaplara mühendislik özelliklerinin arazi ve laboratuvar değerleri

Özellik	Açıklama	Laboratuvar	Arazi
$\sigma_B$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Tek eksenli basınç direnci	200	15
$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kohezyon	45	5
$\phi$ (derece)	Kayma mukavemeti açısı	40-45	35-40
$\nu$	Poisson oranı	0,2	0,22
$\rho_n$ (g/cm <sup>3</sup> )	Doğal birim hacim ağırlığı	2,65	2,5

- Grimsi mavi renkli ayrılmamış grovaplara mühendislik özellikleri

$$\rho_n = 2,65 - 2,72 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s = 2,76 - 2,78 \text{ g/cm}^3$$

$$n = \% 2 - 5 \text{ (Porozite)}$$

$$\sigma_c = 300 - 500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Serbest basınç dayanımı, Süreksizliklere paralel)}$$

$$\sigma_c = 500 - 1200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Serbest basınç dayanımı, Süreksizliklere dik)}$$

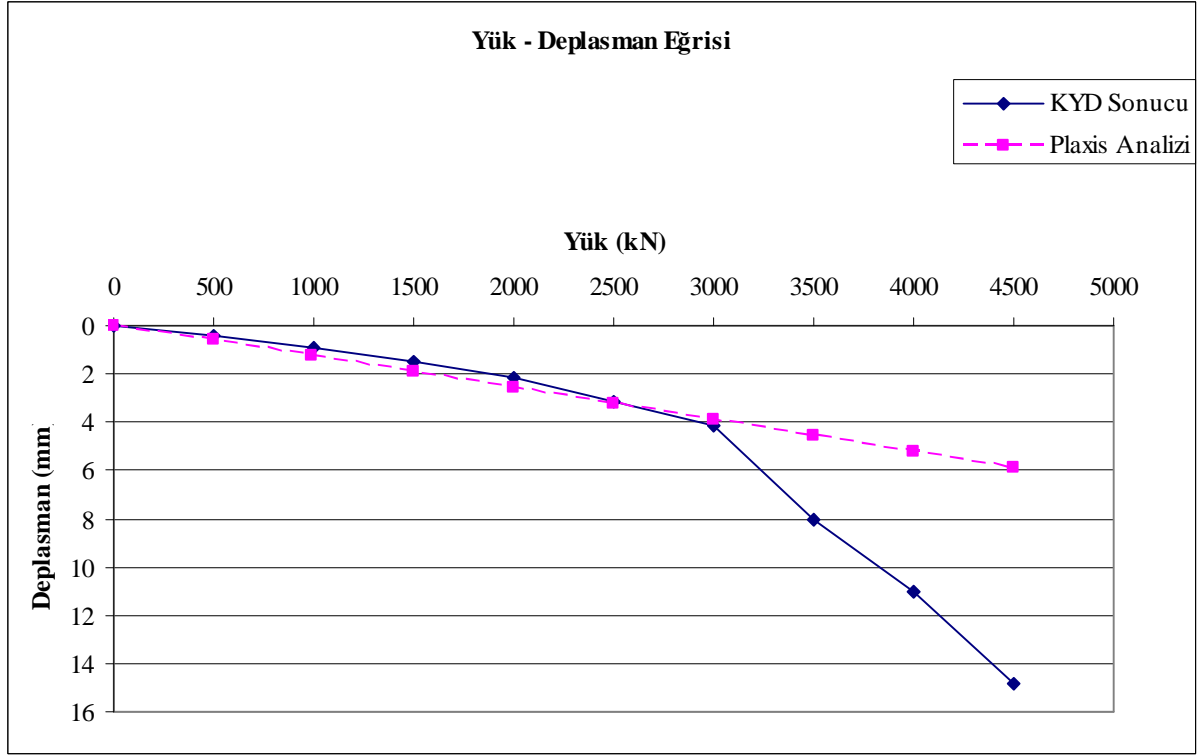
## Ek 2 Kayaya Soketli Kazıkların Plaxis Analizinde Kullanılan Malzeme Parametreleri, Analiz Sonuçları ve Yükleme Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No:19 İzmir Aydın Otoyolu'nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.1 Deney:19 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Siltli Kum	19	50	30	7	0,3	0,9
Mika Şist	25	17500	38	230	0,15	0,85



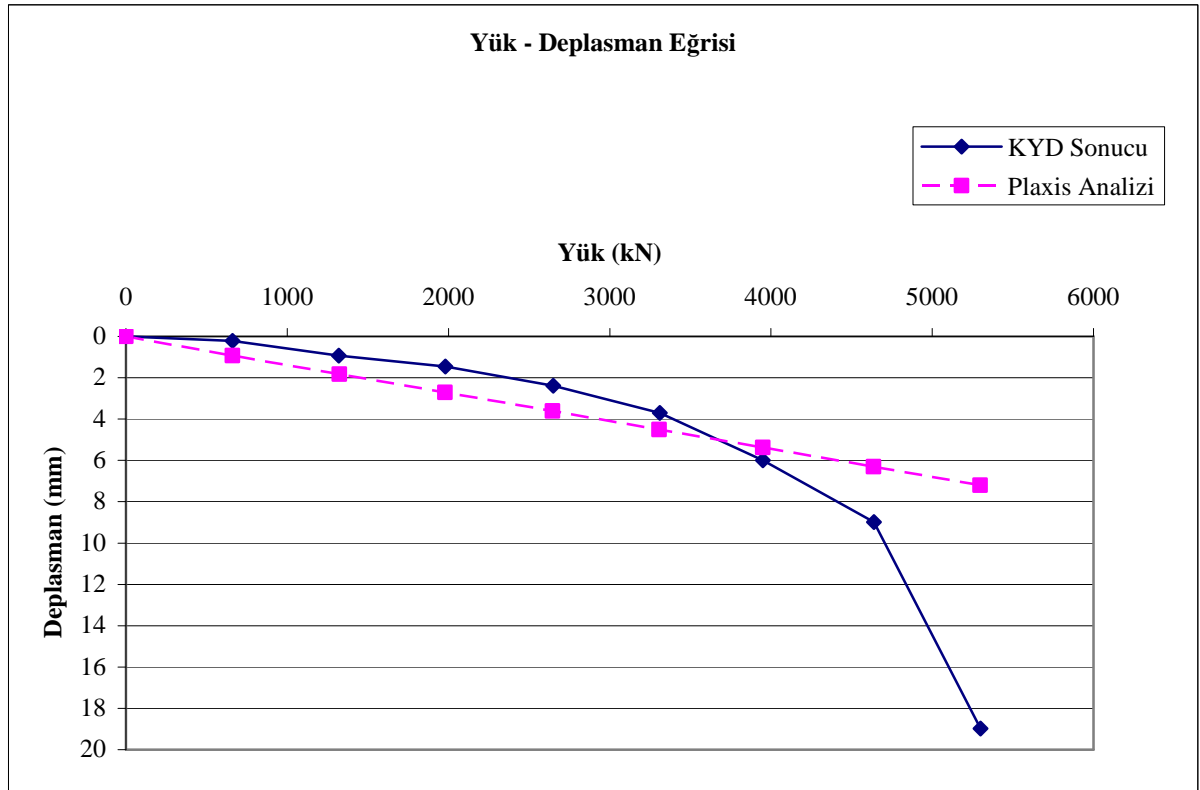
Şekil Ek 2.1 Deney:19 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No:23 Sakarya - Akyazı'da Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.2 Deney:23 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Siltli Kil	18	75	10	4	0,3	0,9
Bazalt	25	85000	36	200	0,2	0,85



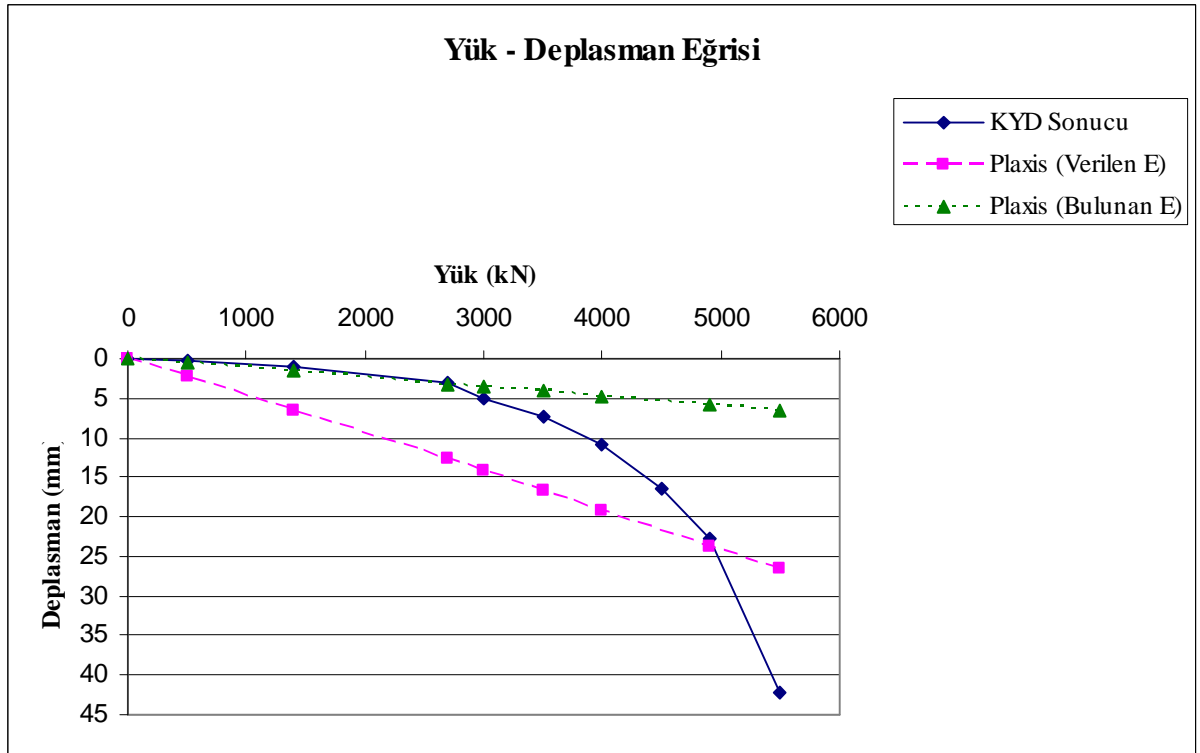
Şekil Ek 2.2 Deney:23 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No: 66 Ankara Çayırhan'da Kayaya Soketli Kazık

Elde zemin parametrelerine ait bilgiler mevcuttur. Yapılan analiz ile zemin parametresi E değeri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu deney için yapılmış zemin incelemeleri sonucu verilen E değerinin gerçekte arazideki kaya ortamının E değerinden düşük verilmiştir. E için bulunan değer 800 MPa'dır.

Çizelge Ek 2.3 Deney:66 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Siltli Kil	19,0	75	0	4	0,35	0,90
Marn	27,5	700	35	100	0,25	0,85



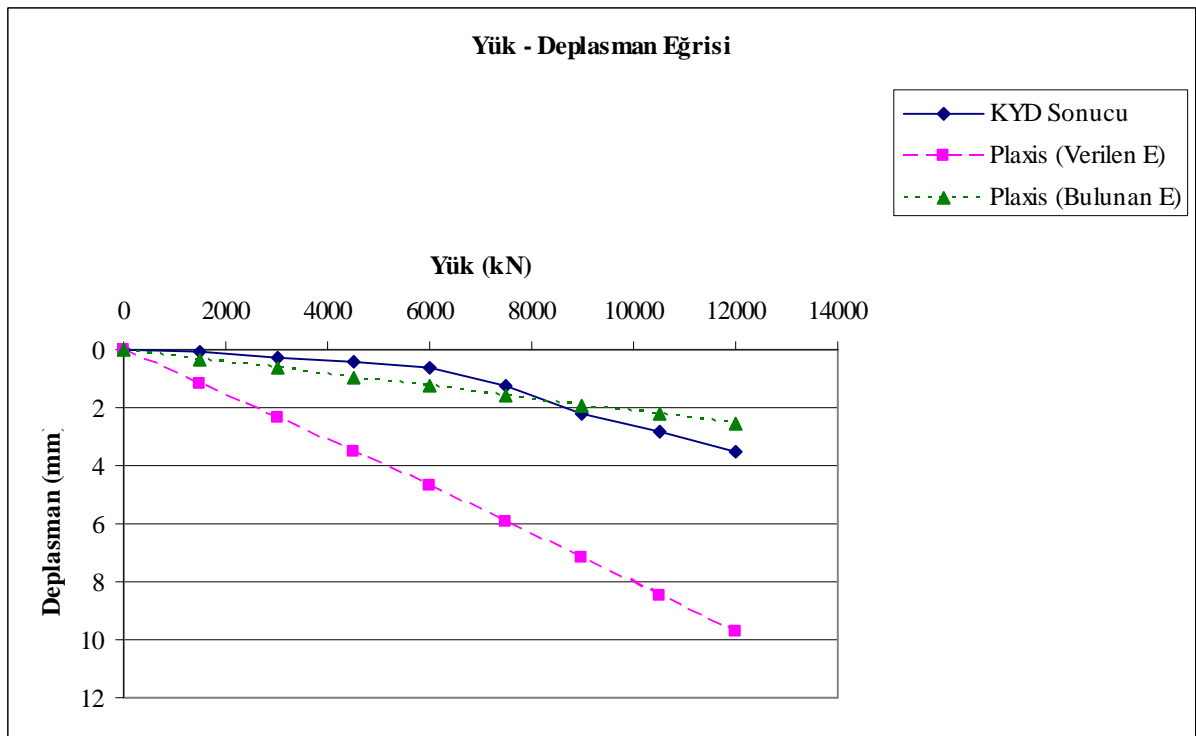
Şekil Ek 2.3 Deney 66 Plaxis analizi ile kazık yükleme deneyi sonucunun karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No:67 Ankara – İmrahor'da Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametrelerine ait bilgiler mevcuttur. Yapılan analiz ile zemin parametresi E değeri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu deney için yapılmış zemin incelemeleri sonucu verilen E değerinin gerçekte arazideki kaya ortamının E değerinden düşük verilmiştir. E için bulunan değer 9000 MPa'dır.

Çizelge Ek 2.4 Deney:67 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Dolgu	20	40	10	2	0,3	0,9
Killi Kum	18	50	24	5	0,3	0,9
Kil	19	40	18	3	0,3	0,9
Fillit	27,5	15000	30	248,6	0,25	0,85



Şekil Ek 2.4 Deney:67 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

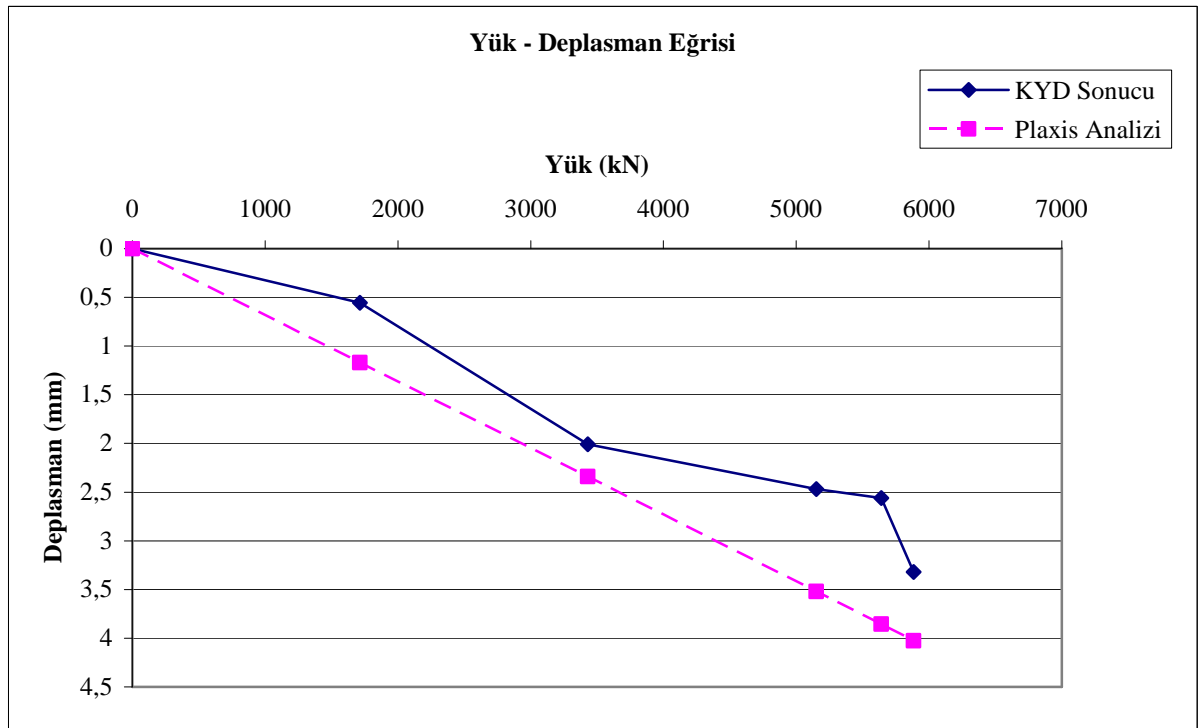


## Türkiye KYD Veri Tabanı No:71 Ankara – Oran (2)'de Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.5 Deneý:71 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Dolgu	20	40	10	5	0,30	0,90
Altere Şist	22	9000	33	50	0,20	0,85
Şist (Yeşil)	23	100000	34	2000	0,35	0,85
Şist (Siyahımsı)	25	200000	38	4000	0,20	0,85



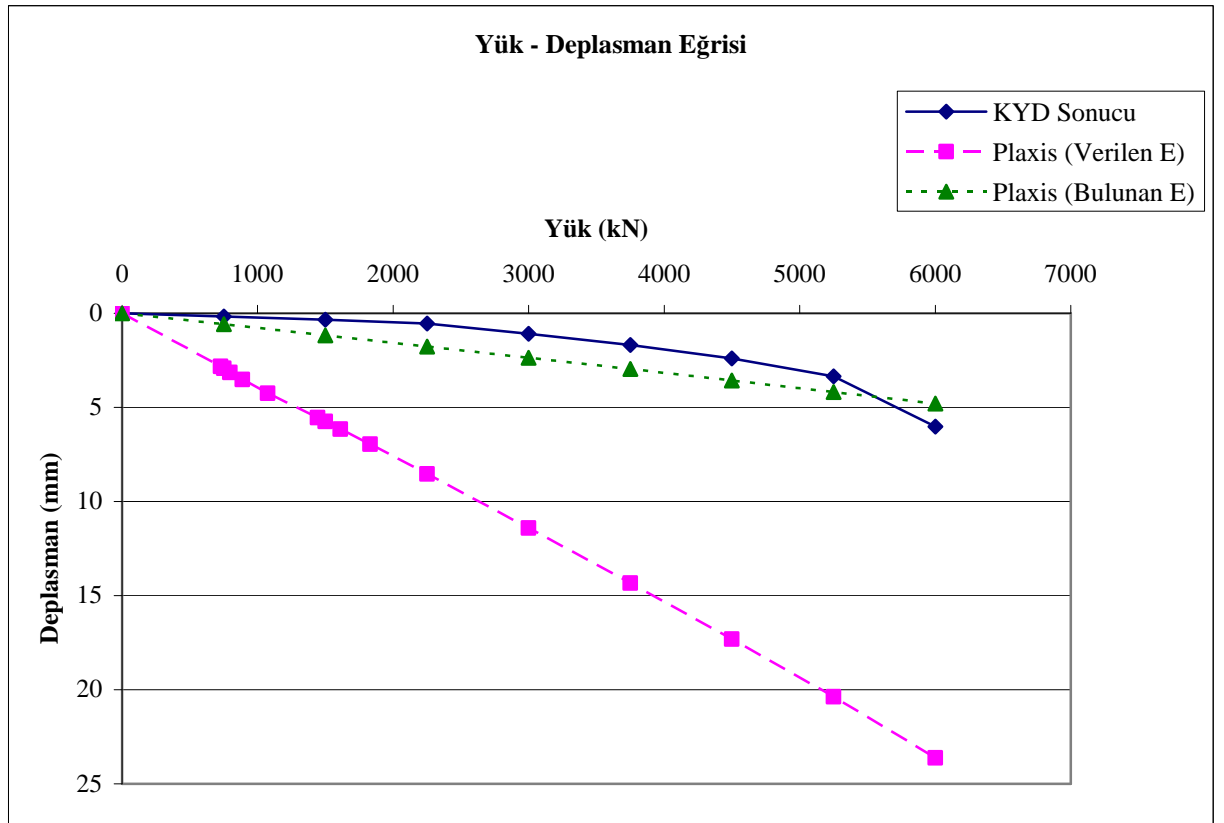
Şekil Ek 2.5 Deneý:71 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No:85 İstanbul – Maslak (A4)’de Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametrelerine ait bilgiler mevcuttur. Yapılan analiz ile zemin parametresi E değeri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu deney için yapılmış zemin incelemeleri sonucu verilen E değerinin gerçekte arazideki kaya ortamının E değerinden düşük verilmiştir. E için bulunan değer 1500 MPa’dır.

Çizelge Ek 2.6 Deney:85 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Silttaşı (Zayıf)	22	50	30	9	0,20	0,90
Silttaşı (Residüel)	22	100	30	10	0,20	0,90
Silttaşı-Kumtaşı Ardalanması	23	200	30	9	0,20	0,90
Kiltaşı	24	320	33	100	0,20	0,85



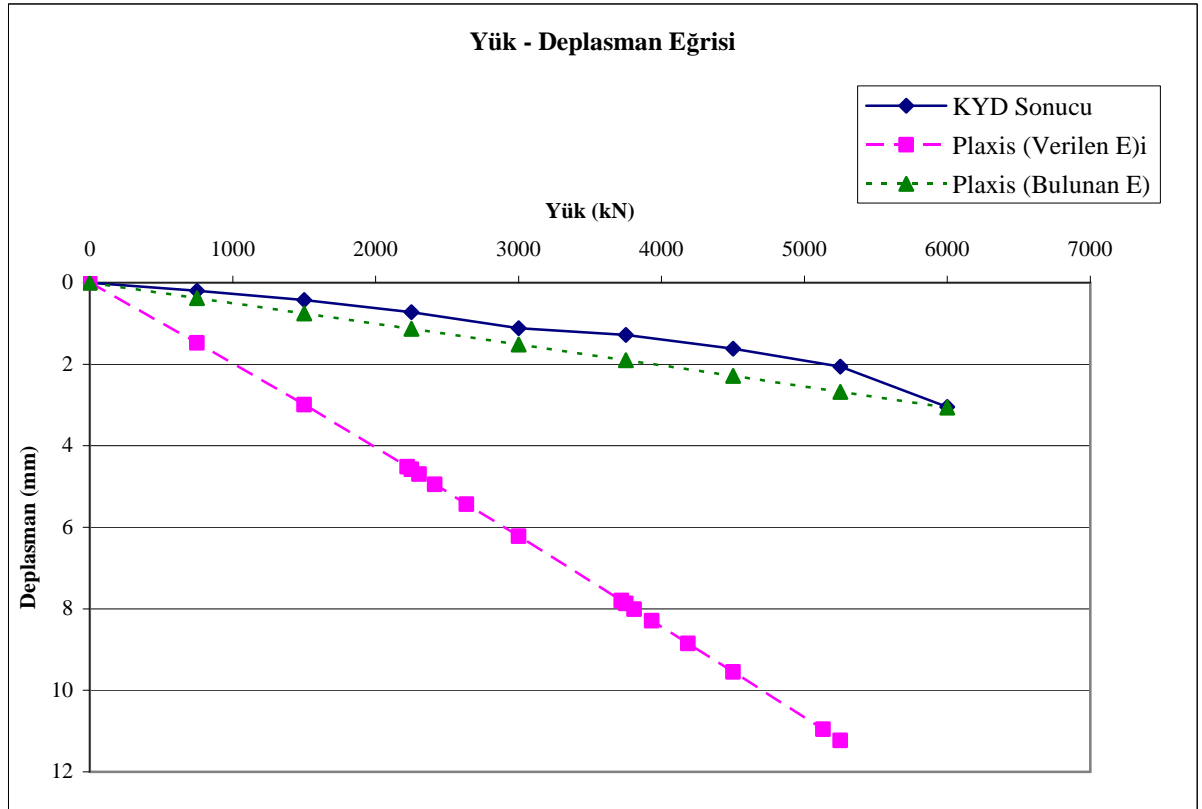
Şekil Ek 2.6 Deney:85 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

### Türkiye KYD Veri Tabanı No:86 İstanbul – Maslak (A5)'de Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametrelerine ait bilgiler mevcuttur. Yapılan analiz ile zemin parametresi E değeri hakkında bilgi elde edilmiştir. Bu deney için yapılmış zemin incelemeleri sonucu verilen E değerinin gerçekte arazideki kaya ortamının E değerinden düşük verilmiştir. E için bulunan değer 1500 MPa'dır.

Çizelge Ek 2.7 Deney:86 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Kumtaşı-Silttaşı Ardalanması	22	200	33	9	0,20	0,90
Silttaşı	25	375	35	110	0,20	0,85



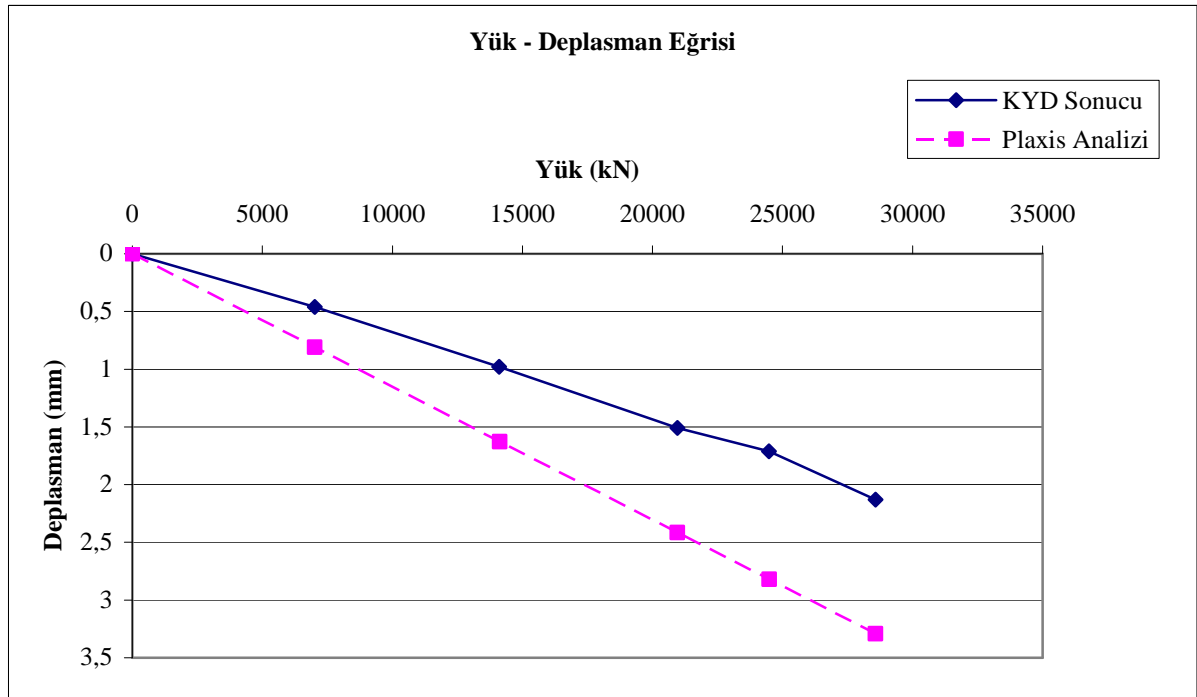
Şekil Ek 2.7 Deney:86 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

## Türkiye KYD Veri Tabanı No:90 Giresun – Gülburnu’nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.8 Deney:90 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Dolgu	20	40	10	5	0,30	0,90
Alüvyon	20	50	30	10	0,3	0,9
Bazalt	25	85000	35	80000	0,2	0,85



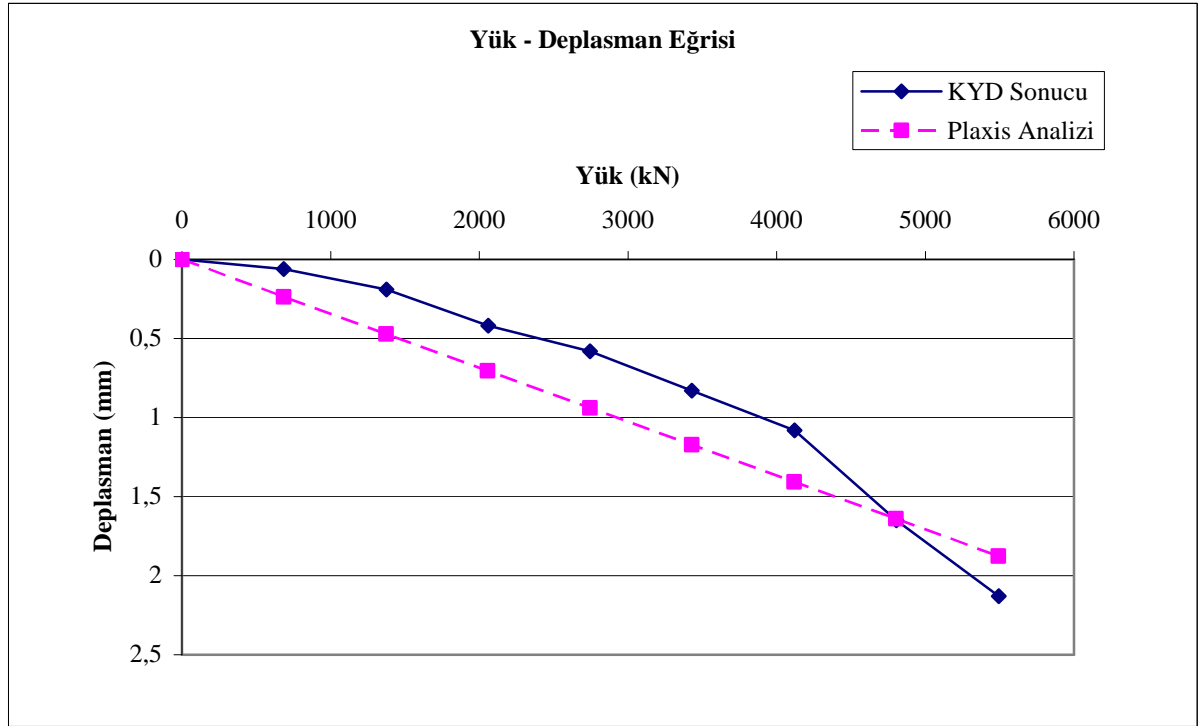
Şekil Ek 2.8 Deney:87 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

## Türkiye KYD Veri Tabanı No:92 Eskişehir – Ankara Ulaşım Yolu’nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.9 Deney:92 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Silt	18	30	10	5	0,30	0,90
Kum	19	1	30	10	0,30	0,90
Çakıl	20	1	33	20	0,25	0,90
Kil	17	100	0	4	0,30	0,90
Kireçtaşı	24	18500	35	15000	0,20	0,85
Kiltaşı	25	20000	36	20000	0,20	0,85



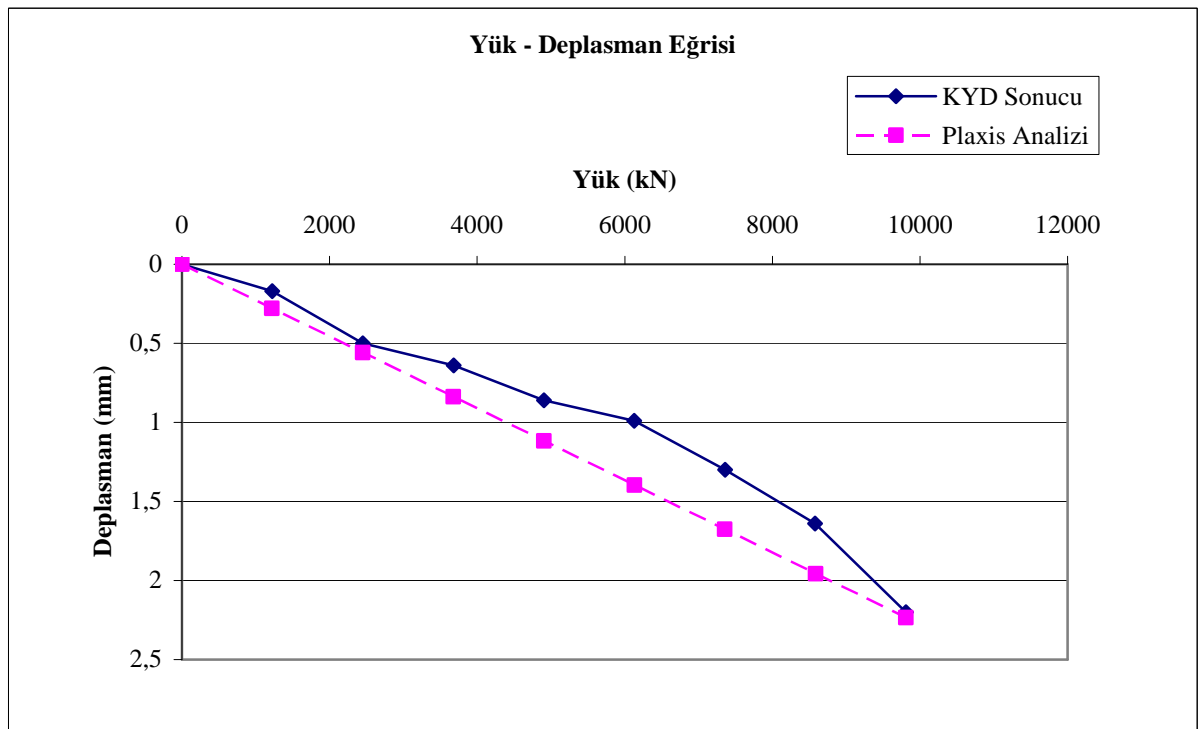
Şekil Ek 2.9 Deney:92 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

## Türkiye KYD Veri Tabanı No:93 Eskişehir – Ankara Ulaşım Yolu'nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.10 Deney:93 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Kil	18	100	0	5	0,30	0,90
Dolomit	26	20000	31	10000	0,20	0,85



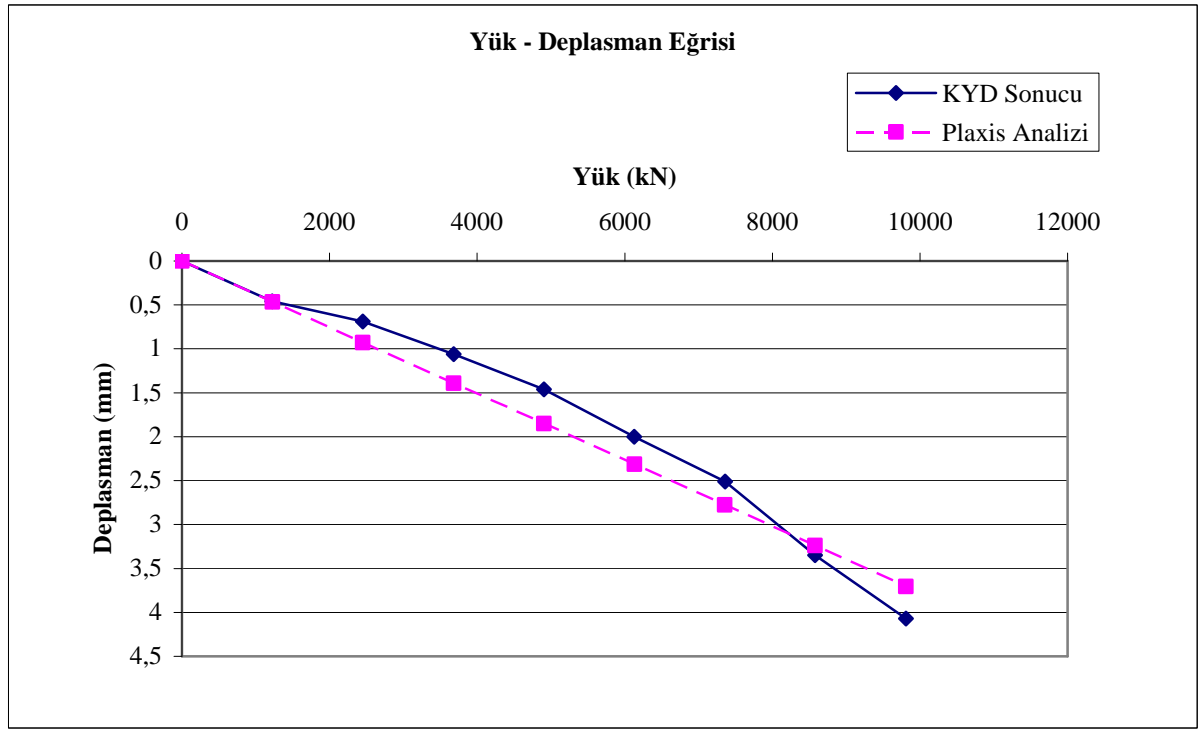
Şekil Ek 2.10 Deney:93 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

## Türkiye KYD Veri Tabanı No:94 Eskişehir – Ankara Ulaşım Yolu’nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.11 Deney:94 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Kum	19	1	30	10	0,30	0,90
Çakıl	20	1	33	20	0,25	0,90
Kum	19	1	30	10	0,30	0,90
Dolomit	22	10000	31	8000	0,20	0,85



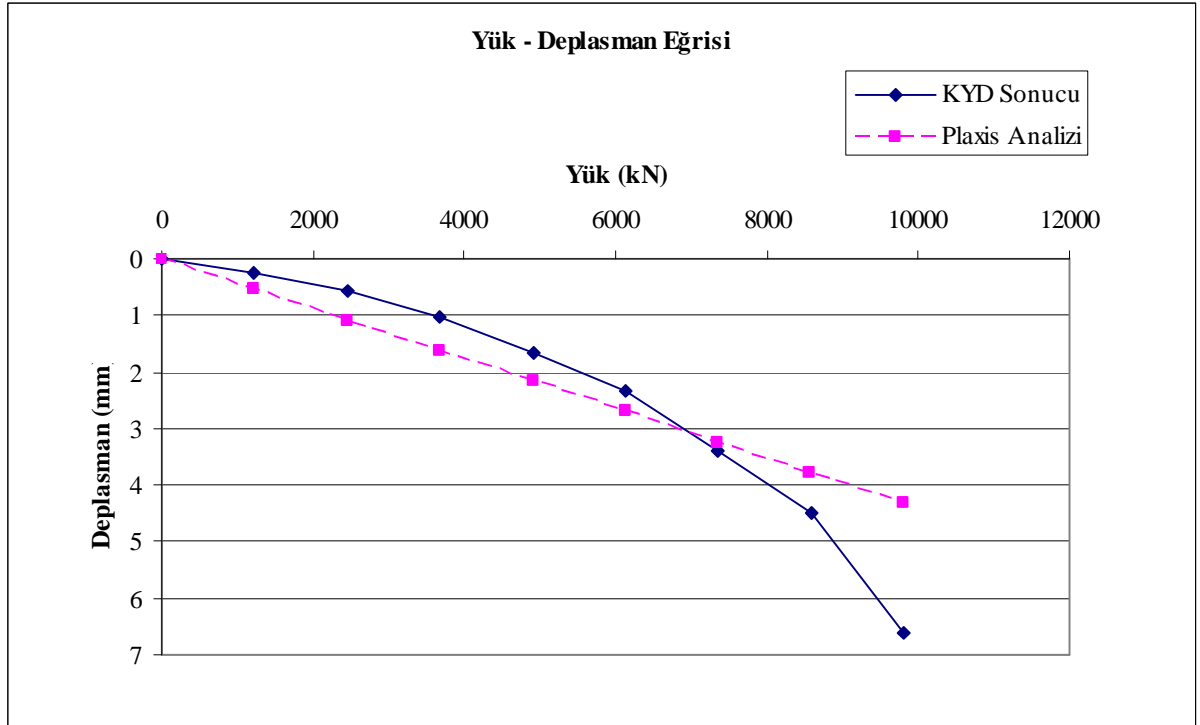
Şekil Ek 2.11 Deney:94 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması

## Türkiye KYD Veri Tabanı No:95 Eskişehir – Ankara Ulaşım Yolu'nda Kayaya Soketli Fore Kazık

Elde zemin parametresi olmayan bir deneydir. Yapılan analiz ile E değeri belirlenmiştir.

Çizelge Ek 2.12 Deney:95 zemin parametreleri

Malzeme Tipi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	E (MPa)	$\nu$	R
Silt	18	30	10	5	0,30	0,90
Çakıl	20	1	33	20	0,25	0,90
Şist	23	100000	34	1500	0,35	0,85



Şekil Ek 2.12 Deney:95 Plaxis analizi sonucu ile kazık yükleme deneyi sonucu karşılaştırılması



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	04.12.1985	
Doğum yeri	KAYSERİ/Develi	
Lise	1996-2003	Develi Anadolu Lisesi
Lisans	2003-2007	Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü