

**YERİNDE DÖKME KAZIK VE
JET GROUT YÖNTEMİ İLE
ZEMİN İYİLEŞTİRME UYGULAMALARI**

Bülent ÜSTÜNDAĞ
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos-2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bülent ÜSTÜNDAĞ'ın "Yerinde Dökme Kazık Ve Jet Grout Yöntemi İle Zemin İyileştirme Uygulamaları" başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans tezi 15.08.2000 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr. Mustafa TUNCAN

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yücel GÜNEY

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hakan KOYUNCU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 21.08.2002 tarih ve 29/1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. ~~Orhan~~ ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**YERİNDE DÖKME KAZIK VE
JET GROUT YÖNTEMİ İLE
ZEMİN İYİLEŞTİRME UYGULAMALARI**

Bülent ÜSTÜNDAĞ

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2002, 132 sayfa

Bu çalışmada, arazide zemin iyileştirme yöntemlerinden jet grout ve yerinde dökme kazık teknikleri ile ilgili uygulama yapılmıştır. Uygulama sonuçları ile teorik bilgiler karşılaştırılarak zemin etüdü ve uygulamaların önemi ortaya konmuştur.

Başlangıçta zemin etüdü yapılmıştır. Rapor sonuçlarına göre jet grout veya yerinde dökme kazık tekniklerinden biri seçilerek uygulanmıştır.

Anadolu Üniversitesi Beden Eğitimi Yüksek Okulu Kapalı Spor Salonu sahasında 6 adet kazık imal edilerek kazık yükleme deneyi yapılmıştır.

Kazık yükleme deneyi ve jet grout kolonlarından alınan karotlar üzerinde yapılan deneyler değerlendirilerek yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Zemin Etüdü, Zemin İyileştirme, Jet Grouting Yöntemi,
Kazık Yükleme Deneyi**

ABSTRACT

Master of Science Thesis

**SOIL IMPROVEMENT APPLICATIONS
USING CAST INSITU PILE AND
JET GROUT TECHNIQUES**

Bülent ÜSTÜNDAĞ

Anadolu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2002, 132 pages

In this study, two of the soil improvement applications were applied at the site. It is gathered that how important the soil exploration and soil improvement applications after making comparisons among the results of applications and theory.

At the beginning of the study, soil exploration was made. One of the two techniques was selected with respect to the results of the report. Two pile load test were conducted on six piles at the construction site of School of Physical Education and Supports at Anadolu University.

The evaluation was made on the results of test performed on the piles and jet grout columns.

**Key words: Soil Exploration, Soil Improvement, Jet Groting Technique,
Pile Load Test**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, yardımını esirgemeyen Danışman hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a ve tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Uygulamada emeği geçen başta Teknisyen Osman ALTUNCU'ya ve ekip arkadaşlarıma en içten şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET -----	i
ABSTRACT-----	ii
TEŞEKKÜR-----	iii
İÇİNDEKİLER-----	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ-----	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ-----	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ -----	xii
 1. GİRİŞ-----	 1
 2. ZEMİN ETÜDÜ-----	 3
2.1. Zemin İncelemesi Gereği-----	3
2.2. Laboratuarda Yapılan Çalışmalar-----	4
2.2.1. Zemin İndex Deneyleri-----	4
2.2.2. Kayma Mukavemeti Parametreleri-----	4
2.2.3. Serbest Basınç Deneyi-----	4
2.2.4. Üç Eksenli Basınç Deneyi -----	5
2.2.5. Konsolidasyon Deneyi-----	5
2.2.6. Basit ve Direk Kesme Deneyleri -----	5
2.3. İnşaat Sahasında Yapılan Çalışmalar-----	6
 3. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ -----	 7
3.1. Ön Yükleme ve Sürsaj -----	7
3.2. Düşey Direnler -----	7
3.2.1. Düşey Kum Direnleri -----	8
3.2.2. Karton Direnler -----	8
3.3. Kum Halıları -----	8
3.4. Kireç Kazıkları -----	8
3.5. Drenaj Hendekleri -----	9
3.6. Derin Sıkıştırma -----	9
3.6.1. Kompaksiyon (Sondalama) -----	9

3.6.1.1. Vibroompaksiyon-----	9
3.6.1.2. Vibrokompozer-----	9
3.6.2. Patlatma -----	10
3.6.3. Tokmaklama -----	10
3.7. Elektroosmoz -----	10
3.8. Dondurma ve Isıtma Yöntemleri -----	10
3.8.1. Yüksek Sıcaklıkta Stabilizasyon -----	10
3.8.2. Dondurma-----	11
3.9. Stabilizasyon -----	11
3.9.1. Mekanik Stabilizasyon -----	11
3.9.2. Kimyasal Stabilizasyon -----	11
3.9.2.1. Çimento ile Stabilizasyon-----	12
3.9.2.2. Kireçle Stabilizasyon -----	12
3.9.2.3. Bitümlü Maddelerle Stabilizasyon -----	12
3.9.2.4. Reçineli Stabilizasyon -----	12
3.9.2.5. Uçucu Kül İle Stabilizasyon -----	13
3.10. Enjeksiyon -----	13
3.10.1. Permeasyon Enjeksiyonu-----	13
3.10.2. Kompaksiyon Enjeksiyonu -----	13
3.10.3. Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting) -----	14
3.10.3.1.1. Tek Akışkanlı (Jet 1) Yöntem -----	15
3.10.3.1.2. Çok Akışkanlı Yöntem-----	15
3.10.3.2. Uygulama Alanları -----	17
3.10.3.3. Jet Enjeksiyonunun Genel Uygulama Şekli -----	20
3.10.3.4. Hesap Yöntemi -----	22
4. ZEMİN GÜÇLENDİRME -----	27
4.1. Donatılı Zemin-----	27
4.2. Taş Kolonlar-----	27
4.3. Derin Karıştırma (Kireç Kolonları) -----	28
4.4. Ankrajlar-----	28
4.5. Geotekstiller-----	28

4.6. Zemin Çivileri-----	28
4.7. Kazıklı Temeller -----	29
4.7.1. Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması-----	29
4.7.1.1. Üst Yapı Yükünü Zemine Aktarma Şekillerine Göre Sınıflandırma-----	29
4.7.1.1.1. Uç Kazıkları -----	30
4.7.1.1.2. Sürtünme Kazıkları -----	30
4.7.1.1.3. Çekme Kazıkları -----	31
4.7.1.1.4. Ankraj Kazıkları -----	31
4.7.1.1.5. Kompaksiyon Kazıkları -----	32
4.7.1.1.6. Eğik Kazıklar -----	32
4.7.1.2. İmal Edildikleri Malzeme Cinsine Göre Sınıflandırma-----	33
4.7.1.2.1. Ahşap Kazıklar -----	33
4.7.1.2.2. Çelik Kazıklar -----	33
4.7.1.2.3. Kompozit Kazıklar -----	34
4.7.1.2.4. Betonarme Kazıklar -----	34
4.7.1.3. Kazıkların Karşılaştırılması -----	38
4.7.2. Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması -----	40
4.7.2.1. Statik Kazık Formülleri İle Kazık Taşıma Kapasitesi -----	40
4.7.2.2. Penetrasyon Deneyleri İle Kazık Taşıma Kapasitesi-----	44
4.7.2.2.1. SPT İle Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması-----	44
4.7.2.2.2. CPT İle Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması-----	45
4.7.2.2.3. MPT İle Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması -----	47
4.7.3. Kazık Yükleme Deneyi-----	50
4.7.3.1. Deney ile ilgili Şartnameler-----	50
4.7.3.1.1. ASTM D 1143 -----	50
4.7.3.1.2. TSE 3167 -----	53
4.7.3.1.3. DIN 1054 -----	55
4.7.3.1.4. BIS 8004 -----	57
4.7.3.2. Kazık Yükleme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi-----	58
4.7.3.2.1. Toplam Oturma Eğrisini Gözönüne Alınması ile Yapılan Değerlendirmeler-----	58
4.7.3.2.2. Kalıcı Oturma Eğrisi Gözönüne Alınarak Yapılan Değerlendirmeler-----	60

4.7.3.2.3. Kalıcı ve Elastik Şekil Değiştirmeler Gözönüne Alınarak Yapılan Değerlendirmeler -----	61
4.7.3.3. Yükleme Deneyi Sonucunda Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması---	62
4.7.3.3.1. Vander Veen Metodu (1953) -----	63
4.7.3.3.2. Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963) -----	64
4.7.3.3.3. Brinch Hansen % 90 Kriteri (1963) -----	65
4.7.3.3.4. De Beer Metodu (1967) -----	66
4.7.3.3.5. Fuller ve Hoy Metodu (1970) -----	67
4.7.3.3.6. Chin Metodu (1970, 1971) -----	68
4.7.3.3.7. Davisson Metodu (1972) -----	69
4.7.3.3.8. Mazurkiewich Metodu (1972) -----	70
4.7.3.3.9. Butler ve Hoy Metodu (1977) -----	71
 5. ARAZİ UYGULAMALARI -----	72
5.1. Zemin Etüdü -----	72
5.2. Jet Grouting -----	74
5.2.1. Jet Grouting Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar-----	74
5.2.2. Fotoğraflar ve Şekiller ile Sistemin Kullanıldığı Yerler -----	79
5.2.3. Tez Uygulaması -----	83
5.3. Kazık Yükleme Deneyi -----	88
 6. UYGULAMA SONUÇLARI -----	94
6.1. Zemin Etüdü Sonuçları-----	94
6.2. Jet Grout Yöntemi Uygulama Sonuçları -----	97
6.3. Kazık Yükleme Deneyi Sonuçları -----	101
 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER -----	105
 8. KAYNAKLAR -----	108
 9. EKLER-----	110
EK.1. Zemin Etüdü Sonuçları-----	111
EK.2. Jet Grouting Yöntemi Hesap Detayları-----	119
EK.3. Kazık Yükleme Deneyinin Çeşitli Yöntemlere göre Değerlendirmeleri-----	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1 Vaziyet planı-----	6
3.1 Su jetlerinde basınç azalması-----	16
3.2 Jet Grout sisteminde akışkanların nozuldan çıkışı-----	17
3.3 Çeşitli zeminlerde Jet Grout yöntemi sınıflandırması -----	18
3.4 Jet Grout Yöntemi Delme Aşaması-----	20
3.5 Jet Grout Yöntemi Enjeksiyon Aşaması-----	21
3.6 Jet Grout kolonunun yük aktarma mekanizması-----	23
3.7 Jet Grout Kolonları Grup Örneği-----	25
4.1 Küçülme Katsayısı Değerleri-----	46
4.2 Kazık yerleşim yöntemlerinin k' ya etkisi-----	48
4.3 Birim çevre sürtünmesinin net limit basınçla değişimi-----	49
4.4 Deney Yöntemleri için Gerekli Zamanlar-----	52
4.5 Deney Yöntemlerinin Yük-Oturma Eğrilerinin Karşılaştırılması-----	53
4.6 Sürtünme Kazıkları İçin Yük-Oturma Grafiği-----	57
4.7 Uç Kazıkları İçin Yük-Oturma Grafiği-----	57
4.8 Yük-Oturma eğrisinde oturmaya bağlı sınırlamalara göre değerlendirmeler-----	59
4.9 Yük-Oturma eğrisi şekline göre değerlendirme-----	59
4.10-a Yük-Kalıcı Oturma Eğrisinde Sınırlamalara Göre Değerlendirmeler-----	60
4.10-b Yük-Kalıcı Oturma Eğrisinde Sınırlamalara Göre Değerlendirmeler-----	61
4.11 Kalıcı ve Elastik Şekil Değiştirmelere Göre Değerlendirmeler-----	61
4.12 Vander Veen Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	63
4.13 Brinch Hansen % 80 Kriteri Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	64
4.14 Brinch Hansen % 90 Kriteri Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	65
4.15 De Beer Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	66
4.16 Fuller ve Hoy Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	67
4.17 Chin Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	68
4.18 Davisson Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	69
4.19 Mazurkiewich Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	70

4.20	Butler ve Hoy Metodu Metodu ile Kazık Göçme Yüğü-----	71
5.1	Sondaj çalışması-----	72
5.2	Karot örnekleri-----	73
5.3	Jet Grout yönteminde kullanılan ekipmanlar-----	74
5.4	Jet Grout Ünitesi-----	75
5.5	Harç hazırlama üniteleri-----	76
5.6	Jeneratör-----	76
5.7	Kompresör-----	76
5.8	Yardımcı aparatlar (Su başlığı ve tij) -----	77
5.9	Yardımcı aparatlar (Nozull) -----	77
5.10	Yardımcı aparatlar (Elmas kesici uçlar ve tijler) -----	78
5.11	Bina temel altı ve isale hatlarında Jet Grout yöntemi-----	79
5.12	Deniz yapılarında Jet Grout yöntemi -----	79
5.13	Geçirimsizlik perdesinde Jet Grout yöntemi-----	80
5.14	Şev stabilitesi, destekli kazı,baraj,su alma yapıları vs.de Jet Grout yöntemi-----	80
5.15	Hava limanı meydanlarında Jet Grout yöntemi-----	81
5.16	Tünellerde Jet Grout yöntemi-----	81
5.17	İstinat yapılarında Jet Grout yöntemi-----	82
5.18	I.Etap Jet Grout Kolonu Aplikasyon Planı-----	83
5.19	Jet Grout kolonlarını oluşturma aşaması-----	84
5.20	Jet Grout kolonlarının hafriyat öncesi -----	84
5.21.a	Jet Grout kolonlarının Hafriyat sonrası görünümü -----	85
5.21.b	Φ60 Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü -----	85
5.21.c	Φ40 Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü -----	85
5.22	II. Etap Jet Grout Kolonu Aplikasyon Planı-----	86
5.23.a	Φ80 Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü-----	86
5.23.b	Φ80 Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü-----	87
5.24	Test kazıkları imali ve hafriyatı-----	88
5.25	Kazık Donatı Planı-----	88
5.26	Test kazık üst başlığı imali-----	90
5.27	Test Kazıkları-----	91

5.28 Reaksiyon kirişinin test kazıklarına montajı-----	91
5.29 Reaksiyon kirişi detayı-----	92
5.30 Deney basınç düzeneği-----	92
5.31 Deney düzeneği-----	93
6.1 II. Etap Jet Grout Kolonlarından Alınan Karot Numuneler-----	97
6.2 II. Etap Jet Grout Kolonlarından Alınan Karot Numuneler-----	98
6.3 SK 4 Karot Numunesinin Kırılma Sonrası-----	98
6.4 SK 1 Karot Numunesinin Kırılması-----	99
6.5 SK 4 Karot Numunesinin Kırılması-----	99
6.6 Yükleme Deneyi yapılan kazıklar-----	103
Ek1 Sondaj Kuyusu SK-1'e Ait Zemin Profili-----	114
Ek2 Sondaj Kuyusu SK 2'ye Ait Zemin Profili-----	115
Ek3 Sondaj Kuyusu SK 3'e Ait Zemin Profili-----	116
Ek4 Sondaj Kuyusu SK 4'e Ait Zemin Profili-----	117
Ek5 I.Etap Kazık Yükleme Deneyi YÜK-OTURMA Grafiği-----	123
Ek6 I.Etap Yükleme Deneyi Chin Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü-----	124
Ek7 I.Etap Yükleme Deneyi Brinch Hansen % 80 Kriteri Yöntemine Göre Kazık Yüğü-----	125
Ek8 I.Etap Yükleme Deneyi De Beer Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü---	126
Ek9 I.Etap Kazık Yükleme Deneyi Mazurkiewicz Yöntemine Göre Kazık Yüğü-----	127
Ek10 II.Etap Kazık Yükleme Deneyi YÜK-OTURMA Grafiği-----	128
Ek11 II.Etap Yükleme Deneyi Chin Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü-----	129
Ek12 II.Etap Yükleme Deneyi Brinch Hansen % 80 Kriteri Yöntemine Göre Kazık Yüğü-----	130
Ek13 II.Etap Yükleme Deneyi De Beer Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü-	131
Ek14 II.Etap Yükleme Deneyi Mazurkiewicz Yöntemine Göre Kazık Yüğü----	132

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1 Jet Grout Kolonları Çapı-----	18
2.2 Jet Grout Kolonlarının Serbest Basınç Mukavemeti-----	19
2.3 Taneli zeminlerde limit değerler-----	24
2.4 Kohezyonlu zeminlerde limit değerler-----	24
3.1 Emniyet katsayıları-----	54
3.2 Fore Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler-----	55
3.3 Ahşap Çakma Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler-----	56
3.4 Betonarme Öngerilmeli Kare Kesitli Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler--	56
3.5 Çelik Çakma Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler-----	56
5.1 II. Etap Jet Grout Kolonları Taşıma Kapasiteleri -----	100
5.2 I. Etap Yükleme Deneyi Dataları-----	101
5.3 II. Etap Yükleme Deneyi Dataları-----	102
5.4 Çeşitli Yöntemlere Göre Kazık Göçme Yüğü Sonuçları-----	104
Ek.1 Tane Çapı Dağılımı Sonuçları-----	111
Ek.2 Kıvam Limitleri Deney Sonuçları-----	112
Ek.3 Serbest Basınç Deney Sonuçları-----	112
Ek.4 Standart Penetrasyon Deney Sonuçları-----	113
Ek.5 Konsolidasyon Deneyi Sonuçları-----	114
Ek.6 Üç Eksenli Basınç Deney Sonuçları-----	114

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u> :	<u>Açıklama</u> ;
SK	Sondaj Kuyusu
c	Kohezyon
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
q_u	Drenajsız Kayma Mukavemeti
w / c	Su / Çimento Oranı
τ	Birim sürtünme sınır değeri
ξ	Nihai taşıma kapasitesi azaltma faktörü
α	Dış sürtünme için azaltma faktörü
Y.A.S.S	Yer Altı Su Seviyesi
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
CPT	Koni Penetrasyon Deneyi
MPT	Menard Presiyometre Deneyi

1.GİRİŞ

İnsanoğlunun dünya üzerindeki yerleşimi; yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli ihtiyaçları bulabileceği, çevresel etkenlerden korunabileceği vb. amaçlara dayanmaktadır. Bu gibi ihtiyaçlara cevap vermek üzere inşa edilen üst yapılar (binalar, ulaşım yolları, barajlar, köprüler, viyadükler, vs.), öncelikle kendi ağırlıklarından gelen yüklere, ayrıca deprem, rüzgar vs. gibi yanal etkileyebilecek yüklere karşı dayanıklı olmalıdır. Üst yapının bu etkenlere karşı dayanıklılığı kadar zemininde üst yapıdan gelecek yükleri taşıyabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Zamanla bu etkenler neticesinde yerleşim merkezlerinde inşaata uygun alanlar azalmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırabilmek için ihtiyaç neticesinde hızla ilerleyen teknolojiiden faydalanılır.

Mühendislik açısından yapılaşmaya başlamadan önce zemin özelliklerinin araştırılması gereklidir. Yapılaşmaya müsait olmayan zeminler, teknolojinin gerektirdiği önlemlerin uygulanması sonucunda üst yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilecektir.

Üst yapıdan gelen tüm yükler temelden zemine aktarılmaktadır.

Temeller derinliği yönünden;

1. Yüzeysel temeller

- Münferit (Tekil) Temeller
- Mütemadi (Sürekli) Temeller
- Radye Jeneral (Plak) Temeller

2. Derin temeller

- Kazık Temeller
- Ayak Temeller
- Keson Temeller

olarak sınıflandırılır.

Uygulanacak temel çeşidinin seçiminde emniyet ve ekonomi kriterleri dikkate alınmalıdır.

Yapı yüklerinden meydana gelen zemin gerilmeleri, zemin etüdü sonucunda bulunan zemin emniyet gerilmelerini geçmemelidir. Zeminde, şartnamelerde müsaade edilmeyen oturmalar olmamalıdır. Bu olumsuzluklarda inşaat yapılması kaçınılmazsa gerekli teknolojik önlemlerle olumsuzluklar yok edilebilir.

Bu çalışmada, zemin incelemesi, iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi incelenmiştir.

Zemin incelemesinde, uygulama sahasındaki zeminin mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri yapılarak zemin profili ve özellikleri belirlenmiştir.

Zemin iyileştirme yöntemleri açıklanarak Jet Grout yönteminin arazi uygulaması ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda Jet Grout kolonlarının taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Güçlendirme yöntemleri açıklanarak Anadolu Üniversitesi Beden Eğitimi Spor Yüksek Okulu Kapalı Spor Salonu'nda uygulanan kazık temellerin arazi deneylerinden kazık yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde proje tasarım yükü ile yükleme deneyi sonucunda hesaplanan kazık taşıma gücü karşılaştırması yapılmıştır.

2.ZEMİN ETÜDÜ

2.1 Zemin İncelemesi Gereği

Temel zemini incelemesindeki amaç, yapılarda meydana gelebilecek hasarları önceden tahmin etmek ve mümkün mertebe bunların önüne geçmek için temel zemininin geoteknik özelliklerini ve inşaatı düşünülen yapıya ait temel sistemini tespit etmektir.

Temel zemini incelemesi sonunda aşağıda belirtilen parametreler belirlenmektedir.

- 1- Zeminin index özellikleri (likit limit, plastik limit, tane çapı dağılımı, spesifik gravite, tabii su muhtevası)
- 2- Yeraltı su seviyesi derinliği (Y.A.S.S.)
- 3- Zemin profili (zeminin tabakalaşma durumu)
- 4- Zeminin mekanik özellikleri
(Kayma mukavemeti ve konsolidasyon parametreleri)
- 5- Standart penetrasyon deneyi (SPT) sayıları (N)
- 6- Temel sistemi
- 7- Zemin emniyet gerilmesi
- 8- Zemin hakim periyodu
- 9- Yatak katsayısı
- 10- Zemin grubu ve yerel zemin sınıfı

2.2 Laboratuvarda Yapılan Çalışmalar

Laboratuvar deneyleri, sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılmıştır. Örselenmemiş zemin numuneleri Shelby tüpleri ile alınmıştır. Sondaj sırasında arazi deneyi olarak Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Laboratuvarda yapılan deneyler aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Zemin İndex Deneyleri:

Atterberg kıvam limitleri (likit limit ve plastik limit), elek analizi, hidrometre ve özgül ağırlık'tır. Zemindeki su muhtevasının artması ile zeminin akıcı hale geldiği andaki su muhtevası likit limit su muhtevasıdır. Zeminin düşük su muhtevasında plastik halden katı hale geçişi sırasındaki su muhtevasına plastik limit denir. Zemini oluşturan taneler boy ve şekil bakımından birbirlerinden farklıdır. Bu büyüklüklerin dağılışı şekli ve miktarını belirlemek için yapılan analizler elek analizi ve hidrometre analizidir. Özgül ağırlık; kurutulmuş numunenin boşlukları hariç olmak üzere birim hacim ağırlığıdır.

2.2.2 Kayma Mukavemeti Parametreleri:

Bir zemin kitlesi içinde herhangi bir düzlem boyunca meydana gelen kayma ve kırılmalara karşı zeminin göstermiş olduğu içsel karşı koyma mukavemetine *kayma mukavemeti* denir. Zeminin kayma mukavemeti parametreleri olan kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) kayma mukavemeti deneyleri ile belirlenir.

Bu çalışmada, zeminin kayma mukavemeti ve parametreleri laboratuvarda serbest basınç deneyi ile belirlenmiştir.

2.2.3 Serbest Basınç Deneyi:

Bu deney kil cinsi zeminler için uygun olup, sıfır yanal basınç altında serbest basınç mukavemetini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu deney sonucunda, zeminin drenajsız kayma mukavemeti (q_u) ve drenajsız kohezyonu (c_u) belirlenmektedir.

2.2.4 Üç Eksenli Basınç Deneyi :

Bu deney bütün zeminlerde yapılabilir ve zeminin kohezyonu, c , ve içsel sürtünme açısı, ϕ gibi parametrelerin belirlenmesinde güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır. Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan laboratuvar deneyleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biridir.

Üç eksenli basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilerek, hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) vasıtası ile zemin numunesi üzerine hidrostatik basınç uygulanır. Numune üst başlığına temas eden bir piston vasıtası ile eksenel kuvvet uygulanır.

2.2.5 Konsolidasyon Deneyi:

Suya doymuş ince taneli (kil) zeminlerde basınç altında su ve havanın çıkması ile boşluk hacminin azalması sonucunda zeminde deformasyonlar (oturmalar) meydana gelir. Zeminin bu özelliğine *zeminin sıkışabilme özelliği* denir.

Mühendislik yapılarının temellerinin dizaynında ne kadar oturmanın ne kadar zamanda meydana gelebileceğini bilmemiz gerekir. Kil cinsi zeminler düşük permeabilitelerinden dolayı uzun zamanda oturur. Sıkışma ve Konsolidasyon oturması aylarca ve hatta yıllarca sürebilir. Bu tip oturmaya *konsolidasyon oturması* denir. Kum ve çakıl cinsi zeminler yüksek permeabilitelerinden dolayı daha kısa zamanda oturur. Bu tür zeminlere yapılan yapıların tamamlanmasıyla zeminin oturması da tamamlanmış olur. Bu tip oturmaya *Ani Oturma* denir. Bu deneyle, zeminin konsolidasyon parametreleri olan sıkışma indisi (c_c) ve kabarma indisi (c_s), önkonsolidasyon basıncı (P_c) ve oturma miktarı (S_c) belirlenir.

2.2.6 Basit ve Direk Kesme Deneyleri :

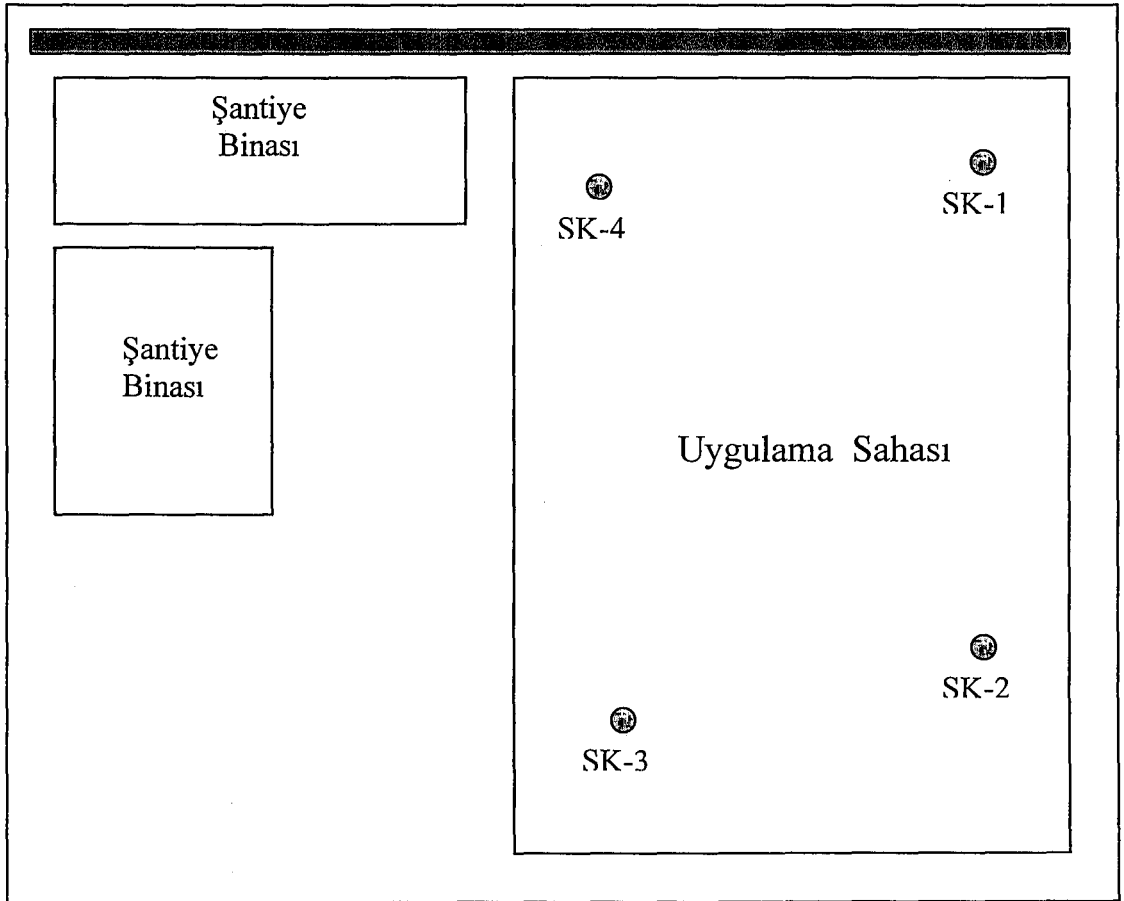
Bu deneyler, zemindeki kayma mukavemeti parametrelerini belirlemek amacı ile yapılır. Basit kesme deneyi, direk kesme deneyinin modifiye edilmiş durumudur. Lastik membran içerisindeki dikdörtgen numune, basit kesme deneyinde mafsallı bir kutu içerisinde direk kesme deneyinde ise mafsalsız kutu içerisinde deneye tabi tutulur. Kayma gerilmesinden kaynaklanan kırılma

yüzeyinin üniform olması için direk kesme deneyi iyileştirilerek basit kesme deney yöntemi geliştirilmiştir.

2.3 İnşaat Sahasında Yapılan Çalışmalar

Bu çalışmada test ve uygulama sahası için 4 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj kuyularının yeri belirlenerek deney düzenine göre krokisi Şekil 2.1’de verilmiştir.

Sondaj kuyularından shelby tüpleriyle örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır. Ayrıca, çeşitli seviyelerde yapılan standart penetrasyon deneylerinden (SPT) örselenmiş zemin numuneleri alınmıştır. Zemin etüd sonuçları Ekler’dedir.



Şekil 2.1 Vaziyet planı

3.ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Teknolojideki sürekli gelişim ve zemin davranışı konusunda artan bilgi seviyesi; uygulama tipleri, şekilleri ve alanları bakımından zemin iyileştirme yöntemlerinin giderek daha çok çeşitlenmesine sebep olmaktadır. İyileştirme yöntemleri;

1. Ön yükleme ve sürsaj
2. Düşey direnler
3. Kum halıları
4. Kireç kazıkları
5. Drenaj hendekleri
6. Derin sıkıştırma (kompaksiyon)
7. Elktro-osmoz
8. Dondurma ve ısıtma yöntemleri
9. Stabilizasyon
10. Enjeksiyon şeklinde sıralanabilir.

3.1. Ön Yükleme ve Sürsaj :

Bina inşasından önce zeminin yayılı toprak yükü ile yüklenmesidir. Bu yöntem yumuşak kil tabakalarının taşıma gücünü artırmak, zeminde oturmayı hızlandırmak, kohezyonsuz zeminlerde drenajsız mukavemeti artırmak için yapılır.

3.2. Düşey Direnler :

İkiye ayrılır :

- 1- Düşey Kum Direnleri
- 2- Karton Direnler

3.2.1. Düşey Kum Direnleri :

Kil zemin içersine en fazla 20 m. derinliğinde 2-5 m. aralıklarla oluşturulan kum kuyularıdır. Konsolidasyon zamanını ve drenajda yatay mesafeyi azaltmak için yapılır.

3.2.2. Karton Direnler :

Karton direnler taşıma mesafesinin uzak olması durumunda tercih edilir. Hafif olması, taşıma kolaylığı ve fabrikada imal edilmesi kum direnlerin avantajlarıdır.

3.3. Kum Halıları :

Zeminde bulunan boşluk suyunu drene etmek, temellerin oturmalarını azaltmak ve killi zeminleri şişmeyen zeminlerle değiştirmek için kullanılırlar. Kum drenlerinde boşluk suyunu çekerek drene etmek için kullanılır.

3.4. Kireç Kazıkları :

30-50 cm çapında bir kuyu açılarak içersine sönmemiş kireç doldurulur ve 300-400 kg. 'lık bir tokmak yardımıyla sıkıştırılarak oluşturulan kazıklardır. Kireç kil zeminin boşluk suyu ile reaksiyona girerek suyun ortamdan uzaklaştırılmasına sebep olur. Bu esnada kazık çapı % 60-80 civarında artar. Reaksiyon sırasında 300 °C ye varan ısı açığa çıkar buda ortamdaki suyun buharlaşmasına neden olur. Ortamda su muhtevası azaldığı için zeminin mukavemeti artar.

3.5. Drenaj Hendekleri :

5.5 m.'den küçük derinlikteki kuyulara drenaj hendeği adı verilir. Gevşek zeminlerde büyük yapıların inşasında 7 m.'den küçük kalınlıktaki zemin tabakalarında çok sayıda kum dreni yerine drenaj hendekleri oluşturmak daha ekonomik olur. 60-80 cm. çapında açılan kuyulara kum ve çakıl doldurularak oluşturulur. Bu yöntemdeki iyileştirmede çok fazla kum gerekir, derinlik azdır ve uygulanması kolay bir yöntemdir.

3.6. Derin Sıkıştırma :

- 1- Kompaksiyon (Sondalama)
- 2- Patlatma
- 3- Tokmıklama

3.6.1. Kompaksiyon (Sondalama) :

- 1- Vibrokompaksiyon
- 2- Vibrokompozer

3.6.1.1. Vibrokompaksiyon:

Bir paletli vinç ve uzatma boruları yardımı ile sonda kendi ağırlığı ve üzerindeki su jeti yardımı ile titreşerek zemine sokulur. Borular geri çıkartılırken çukura kum & çakıl ilave edilir.

3.6.1.2. Vibrokompozer:

Kaplama borusu istenilen derinliğe vibratör yardımı ile indirilir. Borunun dibine konulan kumun (içeri hava verilmesinden sonra) boru çıkarılırken içeri girmesi sağlanır ve sonra boru tekrar aşağıya itilerek kumun sıkışması gerçekleştirilir.

3.6.2. Patlatma :

Patlatma; zemin tanelerinin yeniden düzenlenmesine neden olur. Kum, gevşek kaya ve nispi olarak yüksek poroziteye ve farklı zemin profiline sahip l s zeminlerde uygulanır.

3.6.3. Tokm klama :

Belirli bir yükseklikten zemine y k d    r lmesi ile yapılan sıkıştırma işlemidir. 0,5-200 ton yük uygulanır. 5-10 m aralıklarla d    rme işlemleri yapılır. Aynı yere 2-10 arası d    rme yapılır ve her d    rmeden sonra kum çakıl ilave edilerek sıkıştırılır.

3.7 Elektro-Osmoz :

Elektro-osmoz, ince taneli zeminlerde (silt ve siltli killerde) anot ve katot ile doğru akım devresi kurarak zeminden suyu drene etme yöntemidir. Bu yöntemde amaç, zemin suyundaki kirliliği temizlemek, zeminin mukavemetini artırmak ve konsolidasyonu azaltmaktır. Zemin içerisinde bir doğru akım devresi oluşturulur. Anottan (+) katota (-) doğru boşluk suyu hareket ettirilir ve katot bölgesinden su pompa ile tahliye edilir. Küçük hacimler için uygulanır.

3.8 Dondurma ve Isıtma Yöntemleri :

- 1- Yüksek sıcaklıkta stabilizasyon
- 2- Dondurma

3.8.1. Yüksek Sıcaklıkta Stabilizasyon :

L s zeminlerde uygulanır. L s zeminlerin ısıtma sonucu sürtünme açıları ve kohezyonları artarak sıkı abilirlikleri azalır. 400-600  C arasında bir sıcaklık uygulandığında killer önemli derecede nem almayacak hale gelirler.

3.8.2. Dondurma:

Yumuşak zemin koşullarında Y.A.S.S' nin altında ve 7-8 m. derinlikte yapılır. Bu yöntem geçici iksa işlerinde ve yer altı su tablasının bulunduğu hallerde kullanışlı bir yöntemdir. Hareketli Y.A.S bulunduğunda ($Q = 2$ m/gün) yöntem uygulanamaz. Kısa süreli bir çözüm yöntemidir. Acil durumlarda uygulanır.

3.9. Stabilizasyon :

- 1- Mekanik Stabilizasyon
- 2- Kimyasal Stabilizasyon

3.9.1. Mekanik Stabilizasyon :

Dolgu malzemenin yerinde sıkıştırılması ile oluşan sıkıştırma yöntemidir. Bu arazi sıkıştırma yöntemi kompaksiyon zeminin tipine, su muhtevasına, tabaka kalınlığına, sıkıştırıcının türüne, sıkıştırıcının hızına, sıkıştırıcının geçme sayısına (pas) bağlıdır. Barajlarda, yol alt malzemesinin sıkıştırılmasında ve gevşek zeminlerin taşıma kapasitesinin artırılmasında tercih edilen yöntemlerdendir. Arazi kompaksiyonunda kullanılan araçlar ve kullanılacak zeminler şunlardır ;

Düz tanburlu silindir : Kumlu veya çakıllı zeminlerde yüzeysel sıkıştırma yapar.
 Lastik tanburlu silindir : Kumlu veya killi zeminlerde titreşim ile sıkıştırma yapar.
 Keçi ayaklı silindir : Killi zeminlerde titreşimli sıkıştırma yapar.
 Vibrasyonlu silindir : Kum veya çakıl zeminlerde kullanılır.

3.9.2. Kimyasal Stabilizasyon :

- 1- Çimento ile Stabilizasyon
- 2- Kireç ile Stabilizasyon
- 3- Bitümlü Stabilizasyon
- 4- Reçineli Stabilizasyon
- 5- Uçucu Kül ile Stabilizasyon

3.9.2.1. Çimento İle Stabilizasyon :

Toprağa %5-15 oranında çimento karıştırılarak yapılır. Karışım; yerinde karıştırma, gezer makine ile karıştırma veya yerinde sabit makine ile karıştırma ile elde edilir. Toprak ve çimento karışımı yerine serildikten sonra çimento oranına göre sulanarak sıkıştırılır. Düşük trafik yoğunluğundaki ara yollarda ve otoyolların alt temellerinde kullanılır.

3.9.2.2. Kireçle Stabilizasyon :

Yol inşasında killi zeminlerle yapılan dolgularda kullanılır. Kohezyonlu zeminlerde taneler arası bağlayıcılık görevi yapar. Karışımın sertleşmesi yüksek sıcaklıklarda olduğundan sıcak bölgelerde kullanımı uygundur. Zeminin mukavemetini ve şekil değiştirme modülünü artırır. Kabarma ve şişme potansiyellerini azaltır.

3.9.2.3. Bitümlü Maddelerle Stabilizasyon :

Asfalt bitümü , katran ve emülsiyon gibi bitümlü maddeler kullanılır. Toprak stabilizasyonunda bitüm bağlayıcı ve su geçirimsizliği sağlayan bir yöntemdir. Trafiğin az olduğu yollarda tozlanmayı önlemek ve dayanımı artırmak için kullanılır.

3.9.2.4. Reçineli Stabilizasyon :

Su muhtevasının çok yüksek olduğu yağışlı alanlarda kullanılır. Reçine, zeminin su emmesini azaltmak ve aşınmayı engellemek için kullanılan bağlayıcı maddelerdir. Reçineler zeminin su emme kapasitesini azaltmakla birlikte kompaksiyon özelliklerini de etkiler ve donmadan zarar görme ihtimalini azaltır.

3.9.2.5. Uçucu Kül İle Stabilizasyon :

Uçucu kül; kömürle çalışan termik santrallerin bacalarında toplanan malzemelerdir. Zemin taneleri arasındaki boşlukları taneli yapısı sayesinde doldurur. Genelde kireçle beraber kullanılır. Kireç, killi zeminlerde bağlayıcılık görevini üstlenirken kül ise taneler arası boşlukları doldurur. Yaygın olarak karayolu inşaatlarında kullanılır.

3.10. Enjeksiyon :

Bu yöntem, yapı temeli ile temelin oturduğu kayanın birbirine bağlanması, boşluk ve kırıkların doldurulması, temele binecek yükün emniyetle taşınması, baraj temeli ve gövdesinde oluşabilecek su kaçaklarının önlenmesi gibi alanlarda uygulanır. Enjeksiyon malzemesinin zemine yerleştirilmesine göre üçe ayrılır:

- 1- Permeasyon enjeksiyonu
- 2- Kompaksiyon enjeksiyonu
- 3- Jet enjeksiyonu

3.10.1. Permeasyon Enjeksiyonu:

Zeminin taneler arası boşluğunu doldurmak için zemine dışardan malzeme şırınga (enjekte) etmektir. Bu yöntemde enjeksiyon malzemesi zeminin tane çapına göre seçilir. En yaygın taneli enjeksiyon malzemesi çimentodur. Toprak veya kil ve bunların çimento ile karışımları kullanılır.

3.10.2. Kompaksiyon Enjeksiyonu :

Zemini deplase ederek katı enjeksiyon malzemesini zemin içerisine yerleştirmektir. Zemin hem enjekte edilen malzemenin etrafında hacim değişikliğine uğrayıp sıkışacak hem de enjeksiyon malzemesinin desteğini alacaktır. Çimento/kum veya kil su karışımları kullanılır. Binaların kaldırılıp doğrultulması gibi alttan destekleme gibi işlemlerde kullanılır.

3.10.3. Jet Enjeksiyonu (Jet Grouting)

Yapıların takviye edilmesi, yapılmış yapılardaki oturma ve istenmeyen hareketlerin önlenmesi gerekmektedir. Bütün bu inşaat ve destekleme çalışmaları, genellikle zemin yüzeyi altında gerçekleştirilmektedir. Zemine çimento harcı enjekte etmek suretiyle zeminin iyileştirilmesi, temellerin takviye edilmesi, oturma ve deformasyonların azaltılması inşaat mühendisliğinde özellikle depremden sonra sıklıkla uygulanan bir yöntem olmuştur.

Çimento harcı enjeksiyonu çok yaygın bir biçimde kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerindendir. Bu yöntemle kum, çakıl veya alüvyon türü zeminlerin boşluklarını doldurmak ve zemini daha yoğun ve sıkı hale getirmek amaçlanmıştır. Böylece zeminin taşıma kapasitesini artırarak, aşırı oturmalar ve deprem etkisi altında suya doymuş alüvyonlu zeminin sıvılaşması önlenmiş olacaktır. Bunun için zemine açılacak sondaj deliklerinden çimento harcı özel bir makine ile enjekte edilir.

Kullanılan çimento harcı genellikle zemine basınç altında gönderilmesinden itibaren belli bir süre sonra sertleşecek veya jelleşecek şekilde tasarlanmıştır.

Jet enjeksiyonu ilk olarak 1962 yılında İngiltere’de uygulanmış, fakat 1970 yılından itibaren Japonya’da geliştirilmiştir. Son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nde ve Avrupa’da da benimsenerek hızlı bir şekilde gelişmiştir. Türkiye’de de son depremlerden sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Jet enjeksiyonu zemin içinde su jeti ile düşey bir delik açılır ve boşluklar çimento harcı jeti ile doldurulur. Jet enjeksiyonunda doğal zemin yapısının büyük hızla püskürtülen sıvı jeti ile tam olarak erozyona uğratılması, mevcut zeminin taze çimentolu harçla yer değiştirmesi veya önceden gayeye uyacak bileşimde hazırlanmış harçla, zeminin karışmasından oluşan sağlam kolon ve duvarların zemin içinde inşaa edilmesidir. Doğal zeminin tam olarak erozyona uğratılıp, yerine çimento harcının konulmasıyla elde edilen yeni zemin yapılarının mukavemet, sıklık, rijitlikler, permeabilite konsolidasyon, çimentolaşma gibi tüm özellikler farklıdır.

Bu yöntem uygulama şekline göre;

1. Tek akışkanlı (Mono)
2. Çok akışkanlı

yöntemler olarak sınıflandırılır.

3.10.3.1.1 Tek Akışkanlı (Jet 1) Yöntem

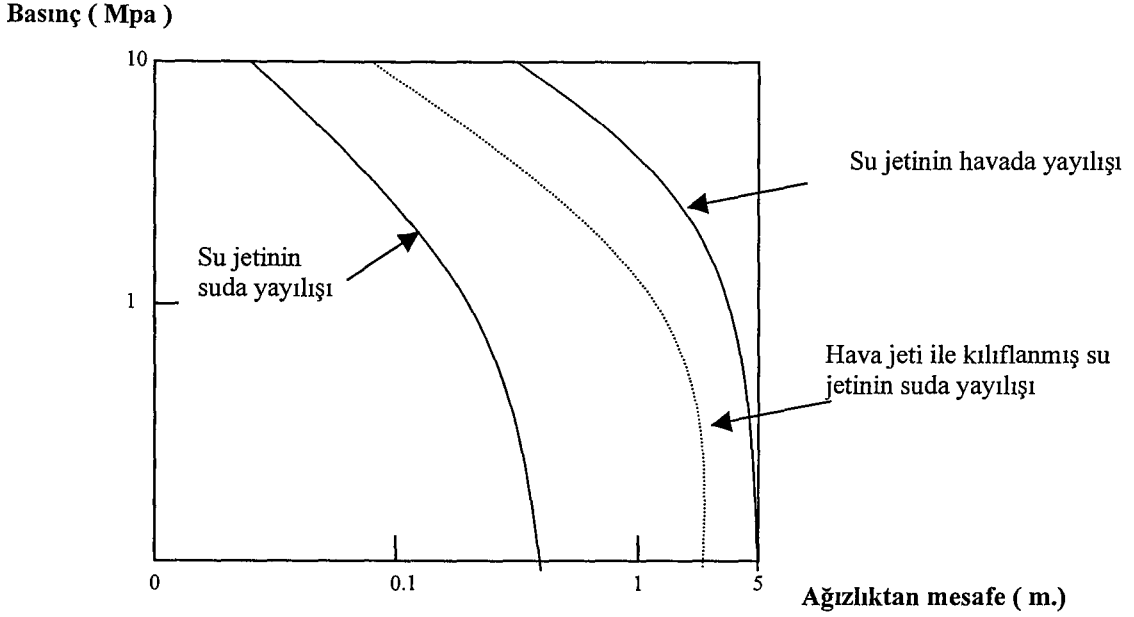
Zeminin kesilmesi ve harç ile yerini değiştirmesi tek akışkanla (Jet 1) gerçekleşmektedir. Hazırlanan karışım direkt yüksek basınç ile zemine enjekte edilir. Bu yöntem ilk olarak Yamakado ve diğ. tarafından Japonya’da uygulanmıştır. 1970 yılında Nakanishi ve diğ. tarafından Chemical Churning Plant (CCP) adı altında Nissan patentli olarak uygulanmıştır.(Çinicioğlu, 1997) Yöntemde harcın çıkış debisi 3 lt./san., basıncı 20 – 40 Mpa ve tijin yukarı çekme hızı 100-150 mm./dak.dır. (Toğral, 1994) Kolon çapları, ayrık taneli zeminlerde 50-120 cm.’ye killi zeminlerde 40-80 cm.’ye ulaşabilmektedir. Yahiro ve diğ. yöntemi geliştirerek bu yöntemi Jet Grout olarak isimlendirmişlerdir.

3.10.3.1.2 Çok Akışkanlı Yöntem

İki akışkanlı (Jet 2) ve üç akışkanlı (Jet 3) olarak ikiye ayrılır.

Bunlardan iki akışkanlı yöntemde;

Zemini kesmek için su jeti, oluşan boşlukları doldurmak için harç jeti kullanılan sistem ve oluşan kütlenin çapını artırmak amacı ile hava jeti kullanılan yöntem olarak ayrılır. 1972 yılında CCP tarafından Jumba Jet Special Grout adı altında uygulanmıştır. Harcın yüksek basınçtaki püskürmesi hava jeti kılıfı içinde olmaktadır. Böylelikle harç jetinin geniş alana yayılışı engellenmektedir. (Yahiro, Yoshada, 1973) Hava jeti veya su jeti yalnız uygulandığında harç daha geniş alana yayılmaktadır. Su jetinin hava jeti içinde kontrolünün etkisi Miki ve Nakanishi (1984) tarafından Şekil 3.1’de belirtilmiştir.

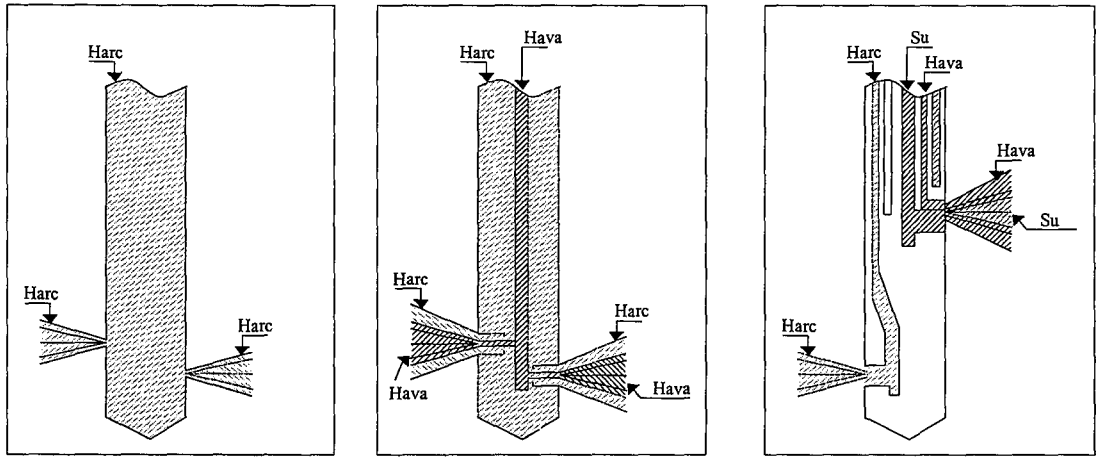


Şekil 3.1 Su jetlerinde basınç azalması

Üç akışkanlı yöntemde ise;

Zeminin kesilmesi, çok yüksek basınçta (600 Bar) hava jeti kılıfı içinde su jeti ile sağlanır. Daha sonra harç jeti düşük basınçta (200 Bar) uygulanır. (Pupelloz, 1984 ; Delmas ve diğ., 1987) Bu yöntemde bazı aletlerde üç ağızlık içiçe yer alır. Bazılarında ise harç ağızlığı hava / su jeti ağızlığına göre 30 veya 50 cm. aşağıdadır. (Delmas ve diğ., 1987)

Jet Grout sistemini uygulamada kullanılan nozul, harcın tijlerden yüksek basınçla çıkışını sağlayan aparatlardandır. Yukarıda değinilen yöntemler özel imal edilen nozul ile yapılmaktadır. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi Harç çıkışı, Harç ile Hava çıkışı ve Harç + Hava + Su çıkışı olarak ayrılmaktadır.



Tek Akışkanlı (JET1)

İki Akışkanlı (JET2)

Üç Akışkanlı (JET3)

Şekil 3.2 Jet Grout sisteminde akışkanların nozuldan çıkışı

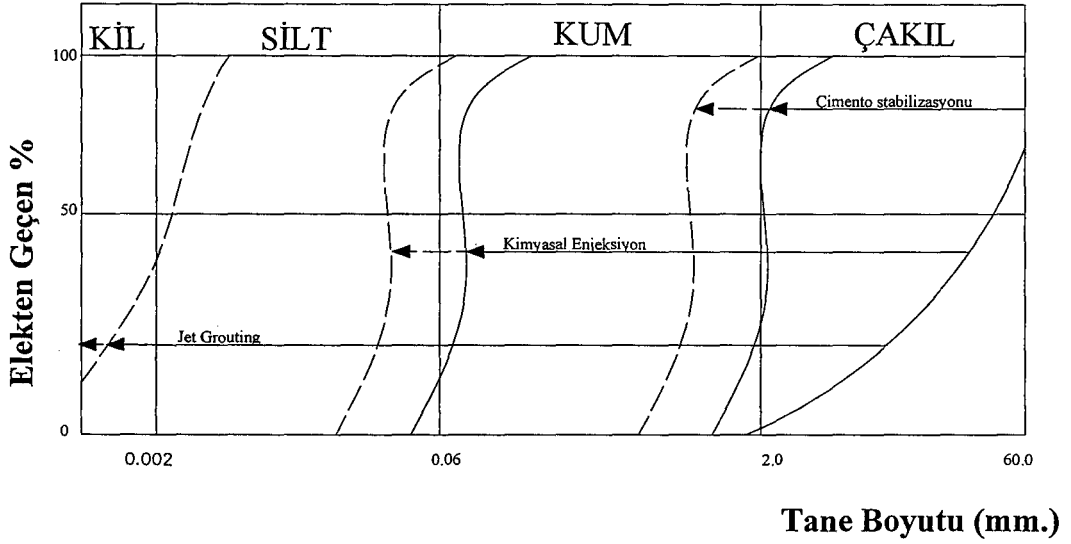
3.10.3.2 Uygulama Alanları :

- Temel takviyesi
- Binalara ilave temel yapılması
- Oyulmaya karşı korunma
- Şev stabilitesinin iyileştirilmesi
- Tünel zeminin iyileştirilmesi
- Kazı tabanından su gelmesinin önlenmesi
- Cut-off yapılması
- Sığ kazılarda şevlerin tutulması

bu yöntemin uygulama alanlarıdır. (Toğrol, 1994)

Temel mühendisliğinde jet enjeksiyon uygulaması daha çok eski yapıların ve binaların temel takviyesi amacı ile yapılır.(Baumann ve Dupeuble,1984) Ayrıca çukur hendek ve tünellerin istinat yapıları için bu uygulamaya sıkça başvurulur (Poupelloz, 1984).

Jet enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilen zemin için en önemli iki kriter vardır. Bunlardan birincisi oluşan kolonun çapı ve ikincisi ise zemin-harç karışımının mekanik özellikleridir. Üç farklı zeminde, tek (S) ve üç (T) akışkanlı yöntemlerle uygulanan jet grout sonucunda elde edilen kolon çapları ve serbest basınç dirençleri Çizelge 3.1 ve 3.2’ de verilmiştir (Baumann ve Dupeuble, 1984).



Şekil 3.3 Çeşitli zeminlerde Jet Grout yöntemi sınıflandırması [6]

Çizelge 3.1 Jet Grout Kolonları Çapı (m.) [7]

ZEMİN (Tip)	S (tek akışkanlı)	T (üç akışkanlı)
Killi Silt	0.4 – 0.5	0.8 – 1.0
Siltli Çakıl	0.5 – 0.9	1.4 – 1.6
Kumlu Çakıl	0.9 – 1.0	2.0 – 2.4

Çizelge 3.2 Jet Grout Kolonlarının Serbest Basınç Mukavemeti (MPa.) [7]

Çimento tabanlı harç	ZEMİN		
	Killi Silt	Siltli Çakıl	Kumlu Çakıl
$w / c = 0.67$	6 – 10	10 – 14	12 – 18
$w / c = 1.0$	3 – 5	5 – 7	6 – 10

Jet grout uygulamasının sonuçlarını etkileyen etmenler (Toğrol, 1994) şunlardır;

- 1- Püskürtme ucunun boyutu ve şekli
- 2- Uygulama basıncı
- 3- Enjeksiyon harcının niteliği
- 4- Tijlerin deviri
- 5- Tijlerin geri çekilme hızı

Jet grout uygulamasının sonuçlarını etkileyen etmenler (Poupelloz,1984),

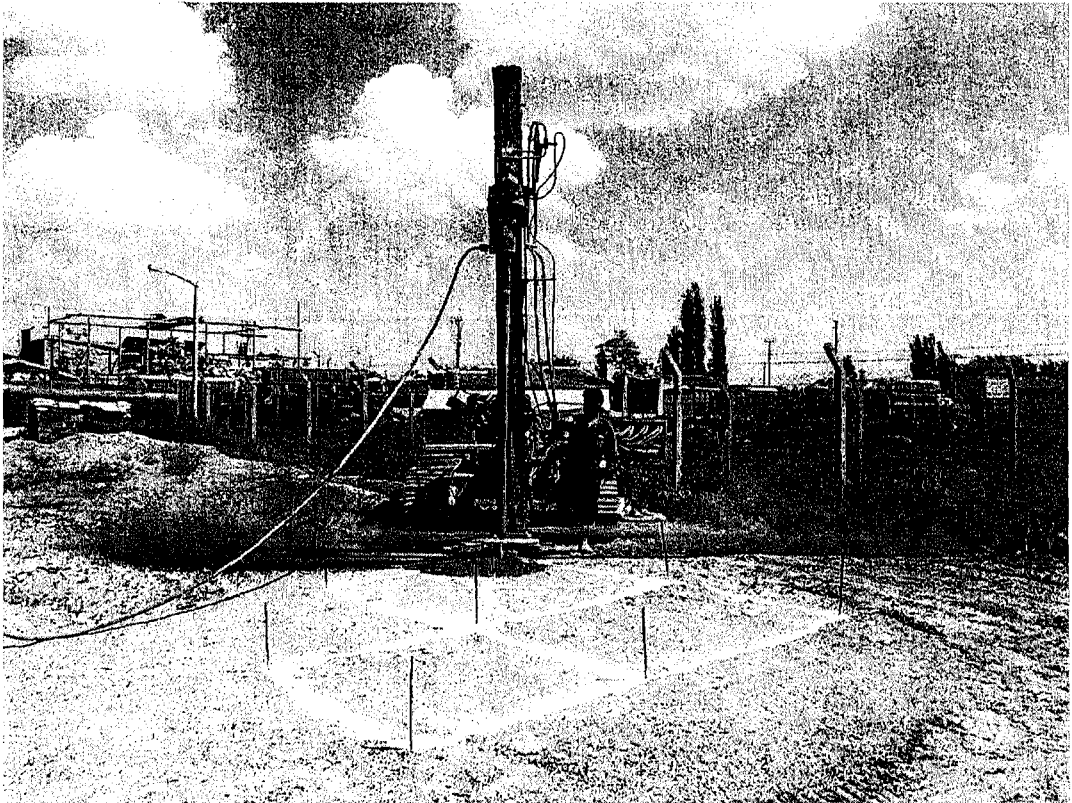
- 1- Kür süresi sonunda ağırlık olarak çimento / su oranı
- 2- Süre etkisi
- 3- Kullanılan çimento tipi
- 4- Çimento ve suya ilave edilen dolgu maddesinin özellikleri ve dozajı olarak belirtilmiştir.

3.10.3.3 Jet Enjeksiyonunun Genel Uygulama Şekli

Jet Enjeksiyonu yönteminin uygulanması iki aşamada gerçekleştirilecektir.

1-) Delme Aşaması :

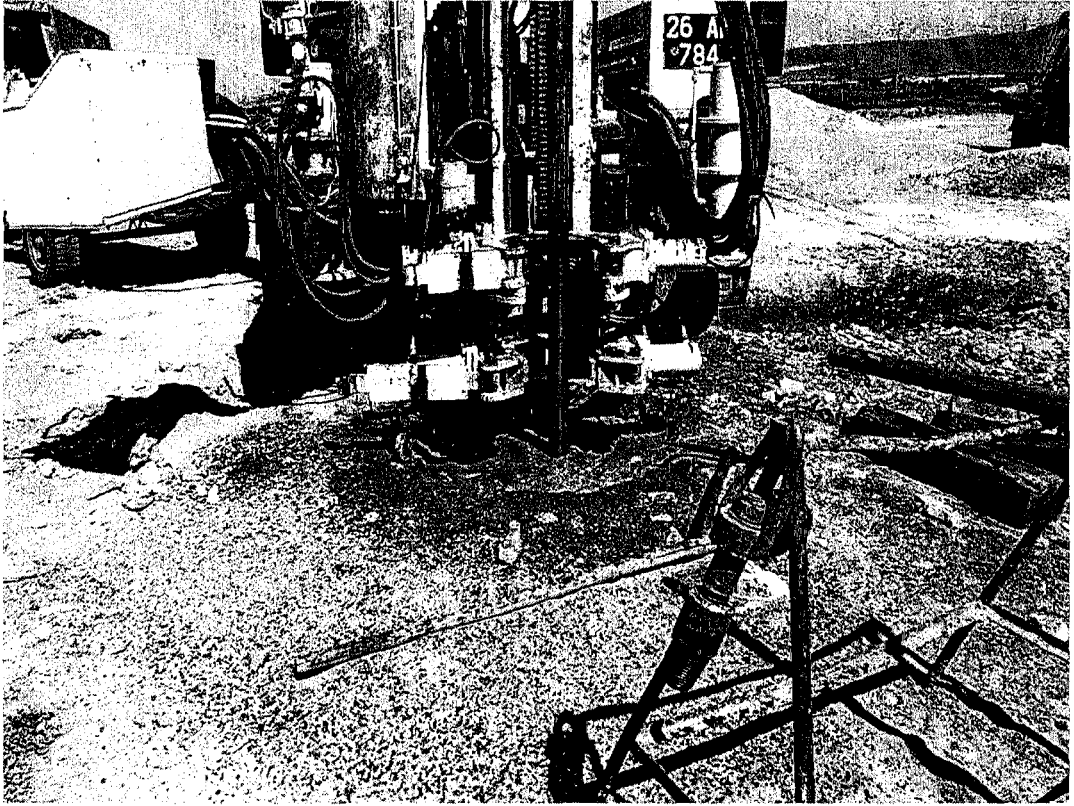
Bu aşamada “jet grout” yani “jet enjeksiyonu” uygulanacak derinliğe kadar zemini kesmek için su jeti kullanılmaktadır. İstenilen derinliğe kadar 50-100 barda su basınçla verilerek kesim yapılmaktadır. (Şekil 3.4) Su jetinin çarptığı zemin yüzeyinden çok büyük boşluk suyu basınçları meydana getirilir ve bu basınç zeminin parçalanmasına sebep olur.



Şekil 3.4 Jet Grout Yöntemi Delme Aşaması

2-) Enjeksiyon Aşaması :

Projede öngörülen derinliğe su jeti ile ulaşıldıktan sonra hazırlanan çimento harcı yüksek basınçta uygulanmaya başlanır. Bu aşamada çimento harcı 400~700 bar yüksek basınçla püskürtülür. Kolon oluşturmak için tij döndürülürken bir taraftan yukarı çekilir. Böylece zemin içinde silindirik bir jet grout kolonu elde edilir. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Jet Grout Yöntemi Enjeksiyon Aşaması

3.10.3.4 Hesap Yöntemi :

Jet grout kolonları, yapısal yükleri yumuşak ve zayıf zeminlerden taşıma kapasitesi yüksek zeminlere aktarır. Bu kolonların yatay yüklere ve de eğilme momentlerine maruz kalmadığı varsayılır. Kolonlar, kazık gibi yükü hem uç dayanımından hem de sürtünmeden alırlar. Kolonun nihai taşıma kapasitesi ;

$q_u = q_{tip} + q_{skin}$ formülü ile hesaplanır. Bu formül açılırsa;

$$q_u = A_b * Q_b + \pi * D_a * \int_h^L \gamma * z * K_s * \tan \delta * dz$$

haline gelmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde kısaca;

$$q_u = A_b * Q_b + \pi * D_a * \int_h^L \alpha * c_u * dz$$

şeklindedir. Q_b katsayısı için yaklaşık değerler su şekilde verilmektedir;

$$Q_b = (1 + 2 * K_o) / (3 * \sigma_{vo} * N_q^* * \xi) \quad (\text{Kum zeminlerde})$$

$$Q_b = 9 * c_u \quad (\text{kohezyonlu zeminlerde})$$

Burada ;

A_b : Kolon alanı

D_a : Ortalama çap

N_q^* : Taşıma kapasitesi faktörü

σ_{vo} : Düşey basınç

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

K_o : Sükunetteki yatay toprak basınç katsayısı

δ : Zemin – kolon arasındaki sürtünme açısı

α : Adhezyon azaltma faktörü

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti

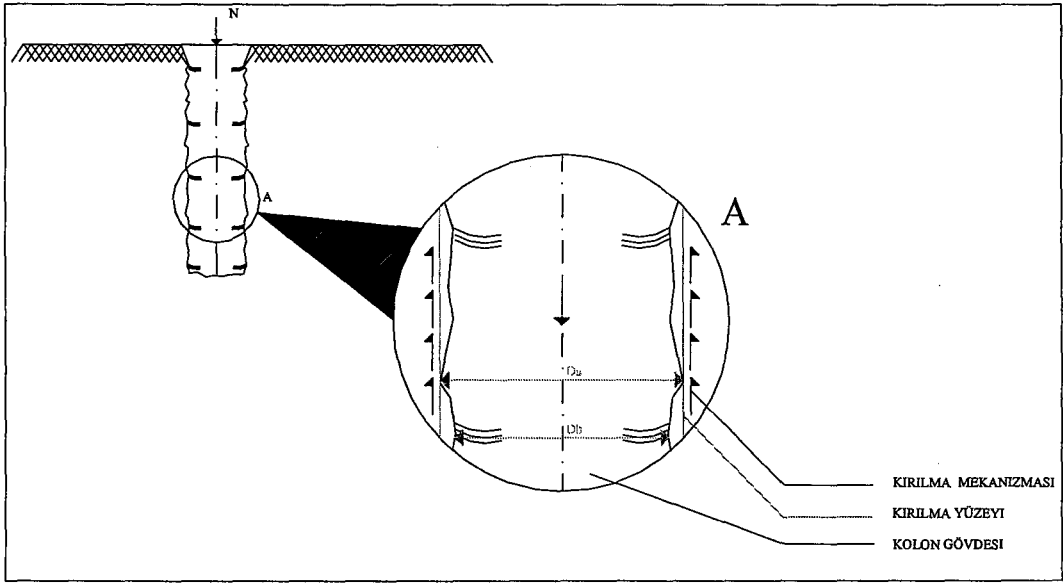
z : Zemin yüzeyi altındaki derinlik

ξ : Nihai taşıma kapasitesi azaltma faktörü

δ : Zemin-Kolon sürtünme açısı

K_s : Düzeltme faktörü

Tipik uygulama tekniği sonucu, stabilize kolonun sınırı ile temas eden zemin kuvvetlice sıkıştırılmıştır. Oluşturulan jet grout kolonunun yük aktarımı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Jet Grout kolonunun yük aktarma mekanizması

Yük aktarma mekanizmasına dair aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır :

- Kohezyonlu zeminlerde; $\alpha = 1$Normal konsolide zeminler için
 $\alpha = 0.45$...Aşırı konsolide zeminler için
- Taneli zeminlerde : $K_s > 1$

Jet Grout kolonlarının yapısal performansından dolayı sınır değerler aşağıdaki çizelgelerden referans alınabilir.

Çizelge 3.3 Taneli zeminlerde limit değerler [17]

Yerleşim tipi	Dış sürtünme için azaltma faktörü		Birim sürtünme sınır değeri τ (kPa)	Nihai taşıma kapasitesi azaltma faktörü, ξ	Birim taşıma kapasitesi sınır değeri σ (Mpa)
	δ/ϕ	K_s			
Sondaj Kazığı	0.6	0.50-0.65	100-200	0.33-0.50	4.5
Sürme Kazık Açık uçlu	2/3	0.65-0.95	120	0.7-0.8	12
Sürme Kazık Kapalı uçlu	0.75	1.0-1.5	120-180	1.0	15
Jet Grouting	1.0	1.0-2.0	> 180	1.0	Kolon Dayanımı

Çizelge 3.4 Kohezyonlu zeminlerde limit değerler [17]

Yerleşim tipi	Dış sürtünme için azaltma faktörü		Birim sürtünme sınır değeri τ (kPa)	Nihai taşıma kapasitesi azaltma faktörü, ξ	Birim taşıma kapasitesi sınır değeri σ (Mpa)
	α	α			
Sondaj Kazığı	0.6	0.9	275	0.66	4.0
Sürme Kazık Açık uçlu e : dış i : iç	0.95 e 0.80 i	0.40 e 0.35 i	200	0.70	1.5
Sürme Kazık Kapalı uçlu	0.75	0.45	200	0.80	5.0
Jet Grouting	1.0	0.45	280	1.00	Kolon Dayanımı

Jet Grout ile ilgili hesaplamalar değişik yollar ile yapılabilir. Taşıma kapasitesi iki prosedür ile ortaya çıkar. Bunlar ; taşıma grup elemanları ve blokların stabilize analizleridir.

Grup taşıma kapasitesi, her kolonun taşıma kapasitesinin toplamıdır.

$$q_u(\text{Grup}) = \beta * n * m * q_u(\text{Kolon})$$

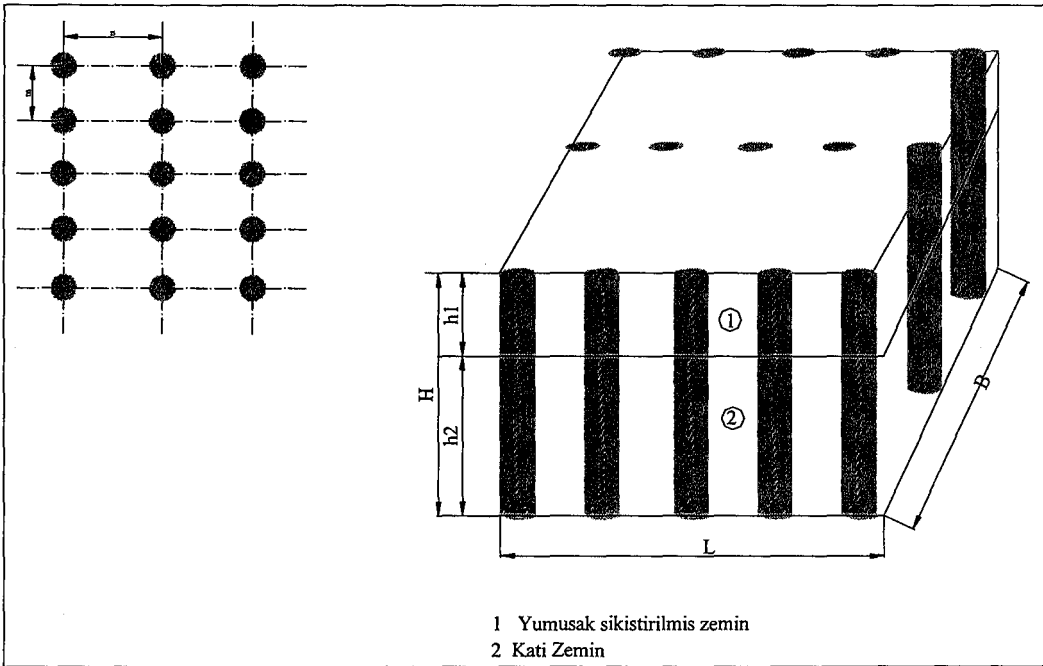
Formülde ;

β : Azaltma faktörü (kolon aralığı, kolon uzunluğuna vs. bağlı)

n : Yatay sıra sayısı

m : Düşey sıra sayısı

$q_u(\text{Kolon})$: Her bir jet grout kolonu taşıma kapasitesi



Şekil 3.7 – Jet Grout Kolonları Grup Örneği

$$q_{u(Grup)} = B * L * Q_b + 2 * (B + L) * (h_2 * Q_{12(av)} - h_1 * Q_{11(av)})$$

Bu formülde ;

Q_b : H derinliğindeki birim taşıma kapasitesi

$Q_{12(av)}$: h_2 derinliği için yanal sürtünmenin ortalama değeri

$Q_{11(av)}$: h_1 derinliği için yanal sürtünmenin ortalama değeri

h_1 : Negatif sürtünme oluşturacak yumuşak tabaka kalınlığı

h_2 : jet grout kolonunun sağlam zemindeki yüksekliği

Negatif sürtünme meydana gelmemiş ise $h_1 = 0$ ve $h_2 = H$ olur.

4.ZEMİN GÜÇLENDİRME

Bu bölümde üst yapıdan temele gelen yüklerin, güvenli ve ekonomik olarak zemine aktarılamadığı durumda taşıma kapasitesi yüksek olan zeminlere aktarılması anlatılacaktır. Güçlendirme yöntemleri ve kullanılması gereken zeminler ile ilgili özellikler aşağıdadır.

Zemin Güçlendirme Yöntemleri

1. Donatılı zemin,
2. Taş kolonlar,
3. Derin karıştırma (kireç kolonları),
4. Ankrajlar,
5. Geotekstiller,
6. Zemin çivileri,
7. Kazık temeller,

4.1 Donatılı Zemin

Donatılı zeminde, donatı yüzeyi ile zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetleri neticesinde, zemin kütlesi içindeki gerilmeler çekmeye çalışan donatı elemanlarına aktarılır ve zemin donatılar yönünde çekmeye de dayanıklı bir hale getirilir. Toprak basıncına istinat eden yüzey duvar panelleri ile bunları zemin ile yaptığı sürtünme ile taşıyan şerit donatılardan oluşur. Bu yöntem kohezyonlu zeminlerde kullanılır. Bu yöntemin uygulama maliyeti yüksektir.

4.2 Taş Kolonlar

Zemine 0,6-1,0 m çapında ve 20 m' ye kadar açılan kuyulara 20-75 mm arası ebatta kırma taş yerleştirilerek sıkıştırılır. Orta ve yumuşak killi zeminlerde kullanılır. Taşıma gücüne ve oturmaların azalmasına katkıda bulunur. Ayrıca

düşey diren gibi çalışıp oturma hızını artırır. Donatılı zemin yöntemine göre daha ekonomik olan bu yöntemde işçilik fazladır.

4.3 Derin Karıştırma (Kireç Kolonları)

Derin karıştırma yöntemleri, yumuşak ve ince taneli zeminlerde kireç veya portland çimentosunun ortası delik burgular veya kanatlı karıştırıcılar ile zeminle karıştırılıp kolonlar veya duvarlar oluşturulması şeklinde uygulanmaktadır. Genellikle yumuşak killerde uygulanmaktadır. Kireç sönmemiş [CAO] veya sönmüş $[CA(OH)_2]$ olarak kullanılabilir. Geçici işlerde %50 kireç % 50 jibs tercih edilmelidir. Sürekli kullanımda ise %75 kireç %25 jibs kullanımı tercih edilmelidir [8].

4.4 Ankrajlar

Ankrajlar, yanal toprak basınçları ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı inşa edilen yapılarda, devrilme momentlerini karşılama amacı ile yapılır. Bu zemin güçlendirme yöntemi; şev stabilitesinde ve istinat yapılarında kullanılan yöntemlerdendir.

4.5 Geotekstiller

Geotekstil, Geomembran ve diğerleri (ağ, ızgara, şerit, hücre..) farklı iki zeminin karışmasını engelleme, su geçişini sağlarken ince taneli malzemelerin taşınmasını engelleme, kendi düzlemi içersinde su akımını sağlama, donatılı zemin olarak kullanımı ve Geomembran ile birlikte kullanımda geçirimi sağlarken delinmeyi engellemede kullanılır.

4.6 Zemin Çivileri

Zemin çivilerindeki amaç, zeminde oturmaya müsaade edilmeyen lokal bölgeleri güçlendirmektir. Hassas makinelerin temellerinde oturma istenmez. Lokal oturmaları engellemek amacı ile bu yöntem uygulanır. Bu uygulama istinad duvarları, tünel portalları stabilizasyonu ve şev stabilizasyonunda kullanılmaktadır.

4.7 Kazıklı Temeller

Kazıklar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temel sistemlerinin yetersiz durumlarda yükü taşıma kapasitesi yüksek ve derinde olan zemin tabakalarına aktaran yapı elemanlarıdır. Kazıklar genellikle eksenel basınç yükü için dizayn edilirler, ancak deniz platformlarında, liman ve iskele inşaatlarında, sürekli ve aralıklı iksa duvarlarında, şev stabilizesinde ve derin kazı çukuru desteklenmesinde yanal toprak basıncı yükleri içinde tasarlanmaktadır.

Kazıklı temel sisteminin seçilmesini gerektiren etkenler şunlardır ;

- Taşıma kapasitesi yüksek olan zemin tabakalarının yüzeysel temel sisteminin düzenlenmesi için ekonomik olmayacak kadar derinde olması durumunda,
- Üst yapının altındaki zeminin iyileştirilmesinin ekonomik olmaması durumunda,
- Üst yapının oturacağı alan içinde zemin tabakalarının farklı oturmalara neden olması durumunda,
- Üst yapının müsaade edilebilir oturma değerlerinin hassas olması durumunda,
- Yatay veya eğimli yük aktaran yapı temellerinin olması durumunda kullanılır.

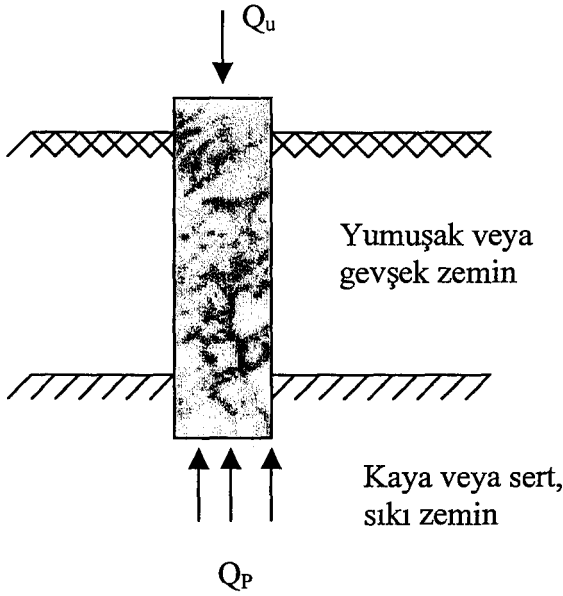
4.7.1 Kazıklı Temellerin Sınıflandırılması

4.7.1.1 Üst Yapı Yükünü Zemine Aktarma Şekillerine Göre Sınıflandırma

1. Uç kazıkları
2. Sürtünme kazıkları
3. Çekme kazıkları
4. Ankraj kazıkları
5. Kompaksiyon kazıkları
6. Eğik kazıklar

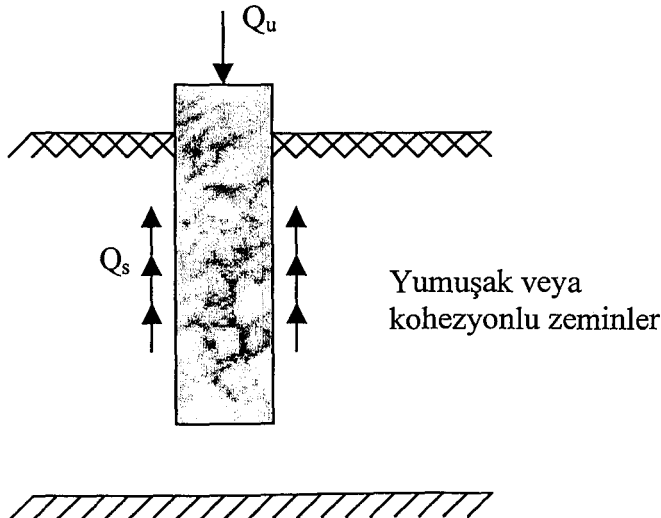
4.7.1.1.1 Uç Kazıkları :

Taşıdığı kazık yükünün tamamını uç kısımdan zemine aktaran kazıklardır. Bu kazıkların tasarımında, negatif çevre sürtünmesinin oluşabileceği ve bu nedenle kazığa ekstra gelebilecek yükler göz önüne alınmalıdır. Kazıklar taşıyıcı zemin tabakası içine 1-2 m girmelidir. Bu kazıklar, çakma kazık sistemi ile imal edilir.



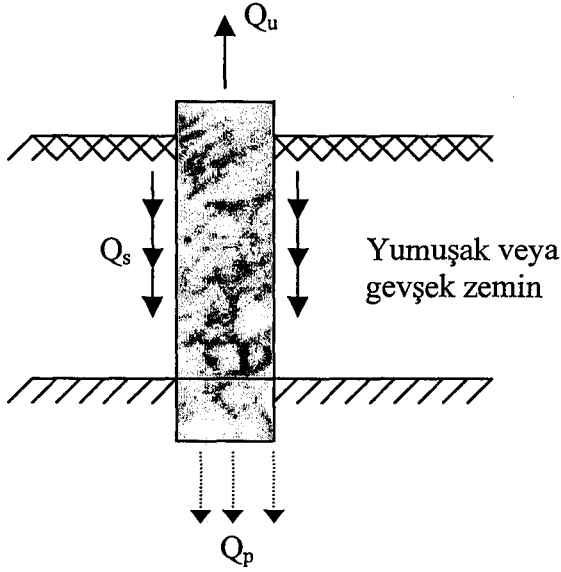
4.7.1.1.2 Sürtünme Kazıkları :

Taşıdığı kazık yükünün tamamını kazık çevresi ile zemin arasında oluşan sürtünme (adhezyon) ile zemine aktaran kazıklardır. Bu tip kazık tasarımlarında negatif çevre sürtünmesinin oluşup oluşmadığına çok dikkat edilmelidir. Fore kazıklar için uygundur.



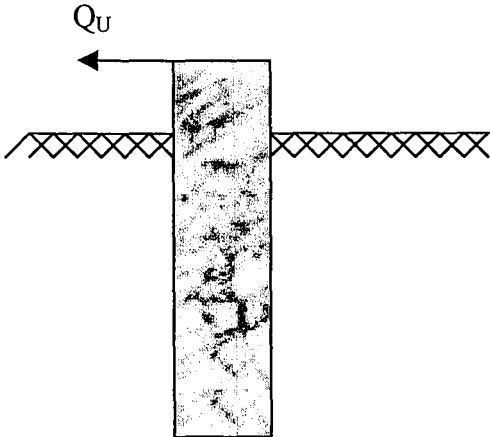
4.7.1.1.3 Çekme Kazıkları :

Suyun kaldırma kuvvetinin problem olduğu yapılarda veya üst yapının işlevinden dolayı temelde çekme gerilmesi oluşturabilecek yapılar için kullanılan kazıklardır. Bu kazıklar, çakma ve fore kazıklar için uygundur.



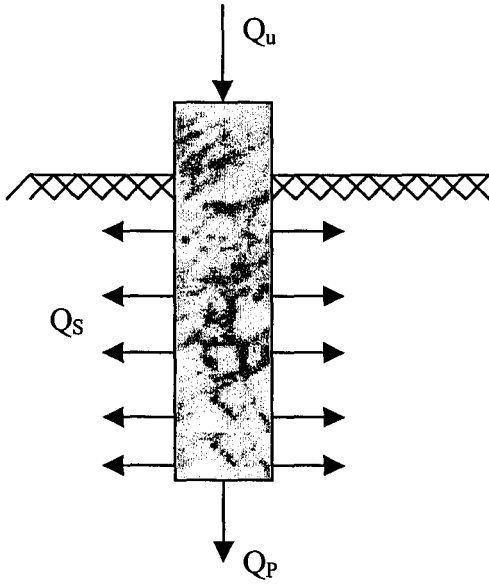
4.7.1.1.4 Ankraj Kazıkları :

Yatay kuvvetlere karşı kullanılan kazıklardır. Şev stabilitesinde, liman ve iskele inşaatlarında kullanılmaktadır. Bu kazıklar, çakma ve fore kazıklar için uygundur.



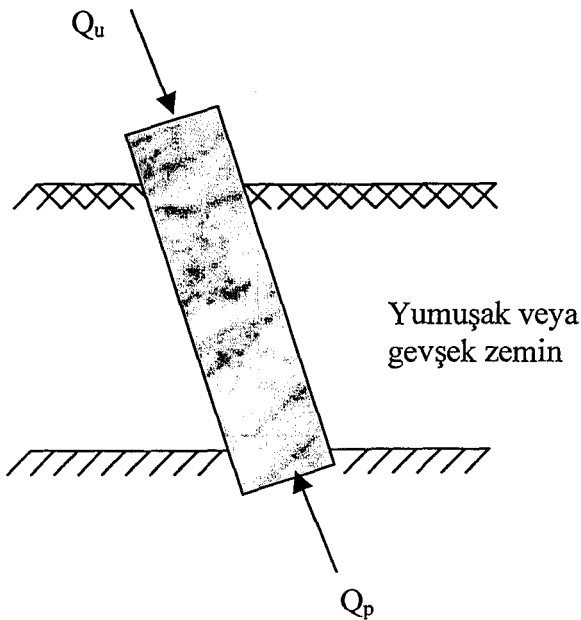
4.7.1.1.5 Kompaksiyon Kazıkları :

Ayrık daneli (gevşek) zeminleri sıkıştırmak amacı ile kullanılır. Bu kazıklar, çakma kazık sistemi ile imal edilmektedir.



4.7.1.1.6 Eğik Kazıklar :

Yapıdan gelen eğik yükleri zemine aktarmak için kullanılır. Bu kazıklar, çakma kazık sistemi ile imal edilmektedir.



4.7.1.2 İmal Edildikleri Malzeme Cinsine Göre Sınıflandırma

1. Ahşap kazıklar
2. Çelik kazıklar
3. Kompozit kazıklar
4. Betonarme kazıklar

4.7.1.2.1 Ahşap Kazıklar :

Orta çağlarda Venedik şehrinin tüm ağır yapıları ahşap kazıklar üzerine oturtulmuştur. Uygulamada ilk kullanılan kazık türüdür. Osmanlı döneminde Haliç kıyısındaki bazı yapılarda uygulandığı bilinir. Çapları 30-50 cm. arasında olan ağaçların gövdesinden yapılır. Ahşap kazıklar için öngörülen optimum uzunluk 10-20 m arasındadır. İğne yapraklı ve meşe ağacından imal edilir. Çeşitli mikroorganizmalardan ve sudan zarar görmemesi için korozit ile kaplanarak çürümeye karşı tedbir alınır. Tümüyle su altında kullanıldığında uzun süre hizmet verirler. Gövdenin pürüzsüz ve düz olmasına dikkat edilmelidir. Burulma oluşmaması için orta kısımlara metal kılıf geçirilir. Kazık kapasitesi 25 - 30 ton ile sınırlıdır. Kazığın çakılması esnasında kazık ucuna çarık ve baş kısmına ise başlık geçirilir [8].

4.7.1.2.2 Çelik Kazıklar :

İmalatı ve taşınması kolay olan bu kazıklar, büyük uç mukavemetlerini sağlam zemine aktarır. Genellikle I ve H kesitli profiller ve boru, 4, 6, ve 8, köşeli çelik profiller kullanılır. Bu kazık türünün kullanımında dikkat edilmesi gereken unsur korozyon ve yüksek ısı etkisi olmaktadır. Organik zeminler çeliği çürüttüğü için özel kamufle malzemeleri kullanılarak uygulanmalıdır [8].

4.7.1.2.3 Kompozit Kazıklar :

Bu kazıklar çelik ile beton veya ahşap ile betonun birlikte kullanılmasıyla imal edilir. Projelendirmelerde çelik ile betonda alt kısımlar genellikle çelik üst kısımlar ise beton, ahşap ile betonda ise Y.A.S.S altında kalan kısımlar ağaç üst kısımlar ise betondan oluşur.

4.7.1.2.4 Betonarme Kazıklar :

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu kazık tipi uygulamanın fazlalığı nedeniyle değişik yük, zemin ve şantiye koşullarına bağlı olarak birçok farklı tipleri geliştirilmiştir. Bunlar ;

- 1- Betonarme çakma kazıklar
- 2- Betonarme yerinde dökme kazıklar
 - Kılıflı kazıklar
 - Kılıfsız kazıklar

Betonarme Çakma Kazıklar :

Bu kazıklar şantiyede prefabrik olarak imal edildikten sonra çakılacağı yere nakledilir. Şahmerdan veya hidrolik krikolar yardımı ile zemine itilerek çakılır. Kazık başları çakma sırasında tahrip olursa kazık başının kesilmesi ve taze beton ile yeniden yerinde imal edilmesi gerekir. Oldukça büyük yükleri sağlam tabakaya iletmekte son derece kullanışlıdır. Kazıkların çakıldıkları zaman sahip olacakları boy, genelde imalat boyundan farklı olur. Kazık boyu artırılacak ise kazığın üst kısmından bir miktar beton kırılarak donatılar çıkartılır. İlave edilecek kısmın donatıları ile sağlam bir bağlantı yapıldıktan sonra ilave kısım betonlanır. Ek yapmaktan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

Betonarme Yerinde Dökme Kazıklar :

Yerinde dökme kazıklar 1940'lı yıllardan sonra 30'u aşkın ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [8]. Teknik ve ekonomik üstünlüğü nedeniyle çakma kazıklara alternatif olmuş ve son yıllarda kullanımı hızla artmıştır. Bu kazıkların imalinde, iki kazık arası mesafenin yakın olması kazıkların taşıma güçlerini azaltacağı gibi inşa edilmesi de zordur. Kazık eksenleri arasında yeterli mesafe bulunmalıdır. Yerinde dökme kazıkların delme işlemi çeşitli yöntemler ile yapılmaktadır. Bu yöntemlere göre kazıklar ;

1- Yerinde dökme çakma kazıklar (Franki Kazığı)

- Kaplama borusu (kılıf) zeminde bırakılan yerinde dökme çakma kazıklar
- Kaplama borusu çıkarılan yerinde dökme çakma kazıklar
- Kaplama borusuz yerinde dökme çakma kazıklar

2- Yerinde dökme sondaj (Fore) kazıklar

- Kaplama borusu zeminde bırakılan sondaj kazıklar
- Kaplama borusu çıkarılan sondaj kazıklar

Yerinde dökme çakma kazıklar (Franki Kazığı) :

Bu kazıklarda kazığın kendisi zemine çakılmamaktadır. Çelik kaplama borusu projede öngörülen çap ve derinliğe çakılır. Çelik boru içine yerleştirilen beton çekirdeğe tekrarlı ağırlıklar düşürülmesi ile çakma işlemi yapılır. Projeye göre gerekli donatı yerleştirildikten sonra betonlanır. Zemin durumuna göre daha sonra kullanılmak üzere kaplama borusu çıkarılır. En önemli özelliği kalıp yukarı çekilirken pürüzlü yüzey oluşturarak dayanımı artırır. Killi zeminlerdeki bazı kazıklara daha fazla yük taşımak amacıyla kazık ucunda bir basınç soğanı oluşturulmaktadır. Basınç soğanının boyutları kilin katılığına bağlıdır.

Kaplama borusu (kılıf) zeminde bırakılan yerinde dökme çakma kazıklar

Bu kazıkların imalinde zemine çakılan kaplama borusu betonlama işleminden sonra zeminde bırakılır. Kazık su altında imal edilecekse çakma borusunun üzerine ince cidarlı boru geçirilir. Boru 0.6-1mm kalınlığında saç malzemedir. Zemine kaplama borusu ile birlikte giren ince cidarlı boru su altındaki kazığa kalıp işlevi görür ve aynı zamanda betonu zararlı etkilere karşı korur. Raymond kazığı olarak da tanımlanan bu kazığın ucuna çelik çekirdek yerleştirilir. Kılıf içerisinden bu çekirdeğin üzerine tekrarlı ağırlıklar düşürülerek kazığın zeminde ilerlemesi sağlanır. Bu kazıklar aynı zamanda daneli zeminleri sıkıştırmada da kullanılır [8].

Kaplama borusu çıkarılan yerinde dökme çakma kazıklar

Timsah ağzına benzeyen özel uçlu kaplama borusunun zemine çakılması ile imal edilir. Scuman'ın Simplex Kazığı olarak tanımlanır.[8] Bu borunun çapı 30-60 cm., cidar kalınlığı 20 mm.' dir. Çakma esnasında kapalı olan uçta meydana gelen çevre sürtünmesini azaltmak için ucun dış çapı boru çapından 50 mm. daha büyük imal edilir. İstenilen derinliğe indirilen boru betonlanır. Betonlamadan sonra kılavuz boru yukarı doğru dikkatlice çekilir. Boru yukarı çekilirken timsah ağzı uç açılır ve oluşan boşluğa dolan beton tokmaklanır. Kazık yer altı su seviyesinin altında da kalıyor ise timsah ağzı uçların kullanılması tercih edilmez. Boru içerisine dolacak su betonlaşmayı güçleştirir. Dökme demir veya betonarme uçların kullanılması gerekir. Bu uçlar betonlamadan sonra zeminde kalır.

Kaplama borusuz yerinde dökme çakma kazıklar

Çakma kazıkları su problemi olmayan zeminlerde kaplama borusuz olarak imal etmekte mümkündür. Dullac'ın kompres kazığı olarak tanımlanır [8]. Mekanik şahmerdan iskelesinden, konik şeklindeki uç yaklaşık 15 m.

yükseklikten devamlı olarak zemine düşürülür. Uzun çapı yaklaşık 85 cm. ağırlığı da 2 ton kadardır. Bu uç zemini sıkıştırarak batar ve kazık deliğini oluşturur. İstenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra gerekli donatı yerleştirilir ve 50'şer cm.de tokmaklamak ile betonlanır.

Yerinde dökme sondaj (Fore) kazıkları :

Sondaj deliği açılarak imal edilir. Kazığın yerini alacağı zemin dışarı çıkarılarak kazığın yeri hazırlanır. Gerekli donatı yerleştirildikten sonra betonlanır. Betonlama işlemi sırasında, kullanılan betonun kazık boyunca homojen olmasına dikkat edilmelidir. Bu yöntem kohezyonlu suya doygun zeminler için uygundur. Daneli zeminlerde de imal edilir. Fore kazık, sondaj kazıkları ve delme kazıkları olarak adlandırılır. Fore kazıkların imalinde yanal bir deplasman olmadığından zeminde sıkışma olmaz. Bu kazıkların donatılı veya donatısız imal edilmeleri mümkündür.

Kaplama borusu zeminde bırakılan sondaj kazıklar

Kaplama borusu betonlama esnasında kazığa zarar vermeden çıkarılarak imal edilir. Kazığın imalinde, zeminin çok gevşek ve yer altı suyunun altında imal edilmesi mümkün olmadığı için kaplama borusunun zeminde bırakılması gerekir. Bu da işin maliyetinin artmasına neden olur.

Kaplama borusu çıkarılan sondaj kazıkları

Betonlama esnasında cidarlara zarar vermeden kaplama borusu yavaşça çıkarılır. Kazık çevresini örselememek için osilasyon yaptırılır. Osilasyon; kaplama borusunun ileri geri 1 / 4 çevresince döndürme işlemidir. Betonun iyice sıkışması ve kaplama borusunun kolaylıkla çekilebilmesi için basınçlı hava

uygulanması yapılabilir. Kaplama borusu çıkarılırken beton prize başlamamalı ve donatı çevresinde sıyrılma olmamalıdır. Betonlama yapılırken kazık ucuna donatı yerleştirilerek betonarme basınç soğanı oluşturulabilir.

4.7.1.3 Kazıkların Karşılaştırılması :

Ahşap Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları :

- 1- Ekonomiktir.
- 2- Yangına karşı tehlikesi fazladır.
- 3- Taşınması, yerleştirilmesi ve kesilmesi kolaydır .
- 4- Çakma sırasında kazık ucu hasara uğrar.
- 5- Taşıma kapasitesi sınırlıdır.
- 6- Ek yapılması güçtür.
- 7- Mikroorganizmalar ve su nedeni ile kazıktaki çürümeler, taşıma kapasitesini düşürebilir.

Çelik Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları :

- 1- Taşınma ve çakılması kolaydır.
- 2- Çakma esnasında yanal yer değiştirmeler küçüktür.
- 3- İstenilen uzunlukta kesilebilir.
- 4- Ek yapımı kolaydır.
- 5- Örselenmiş ve dolgu zeminlerde korozyon tehlikesi vardır.
- 6- Çakma esnasında eksenden sapabilir.
- 7- Her zaman ekonomik olmayabilir.

Betonarme Çakma Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları :

- 1- Çürüme ve aşınma tehlikesi yoktur.
- 2- Beton kalitesi çakma öncesi kontrol edilebilir.
- 3- Kohezyonlu zeminlerde kazık çapında küçülme olmaz.
- 4- Yer altı suyundan etkilenmez.
- 5- Çakma esnasında çevrede gürültü kirliliği oluşturur.
- 6- Çakma esnasında zemin yer değiştirir. Bundan dolayı çevredeki yapılar zemin kabarmasından zarar görebilir.
- 7- Kazıkta ek yapılması veya kısaltma zordur.
- 8- Çakma makinalarının giremediği yerlerde yapılamaz.

Yerinde Dökme Çakma Kazıkların Avantajları ve Dezavantajları :

- 1- Kaplama borulu (kılıf) ve ucu açık çakıldığından yer altı suyu şafta girmez.
- 2- Gürültü ve titreşim nispeten azdır.
- 3- Basınç soğanı oluşturulabilir.
- 4- Yükseklik sınırı olan alanlarda çakılamayabilir.
- 5- Kazık çaplarının büyüklüğü sınırlıdır.
- 6- Çakma esnasında zeminde meydana gelen deformasyon, priz yapmakta olan kazıkları etkiler.
- 7- Su yapılarında imali güçtür.

Yerinde Dökme Sondaj (Fore) Kazıklar :

- 1- Değişen zemin koşullarına göre kazık boyları ayarlanabilir.
- 2- Kazık çapı 3 m. 'ye kadar imal edilebilir.
- 3- Kazığın imali sırasında çıkan zemin incelenebilir.
- 4- Kazığın sondajı esnasında (foraj) dolan yer altı suyunun betonlamadan önce tahliye edilmesi gerekir.

- 5- Çok yumuşak zeminlerde yer altı suyunda kaynama ve borulanma nedeniyle kaplama borusunun içinin balçıkla dolması betonlamayı etkileyebilir.
- 6- Kohezyonsuz zeminlerde basınç soğanı oluşturulamaz.
- 7- Kazık imal edildikten sonra kazık betonu incelenemez.

4.7.2 Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

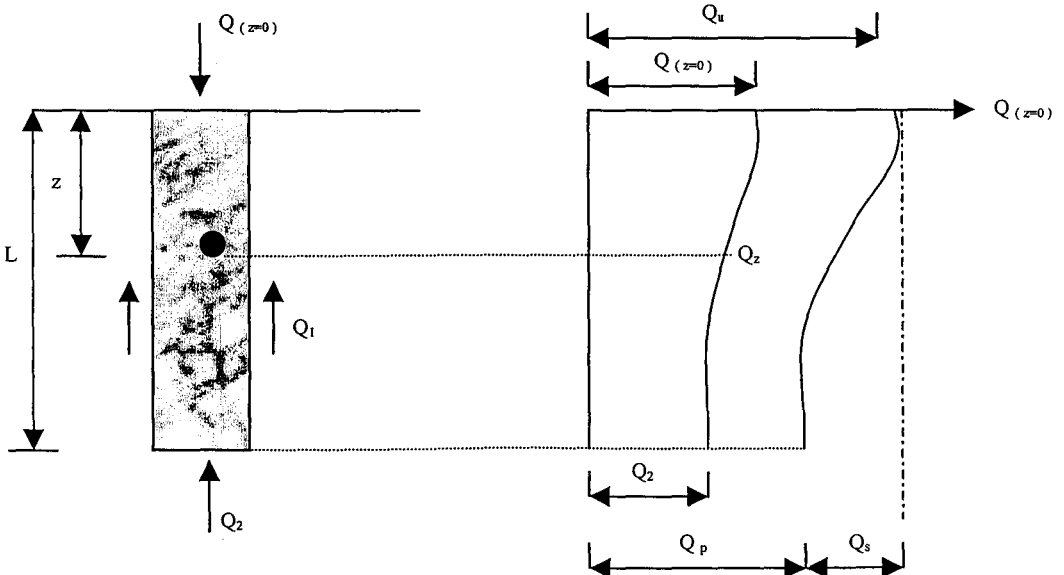
Kazık taşıma kapasitesi, kazığın aşırı oturmalar yapmadan veya göçmeden taşıyabileceği en büyük yüküdür. Kazıklı temel sistemleri maliyet açısından ekonomik olmadığından, taşıma kapasitesinin değerlerinin bulunması için çok detaylı araştırmalar yapılmaktadır. Kazığın taşıma kapasitesine nihai yük de denilebilir. Yerinde dökme betonarme kazıkların taşıma kapasitesinin hesaplanması 3 yöntemle yapılabilir:

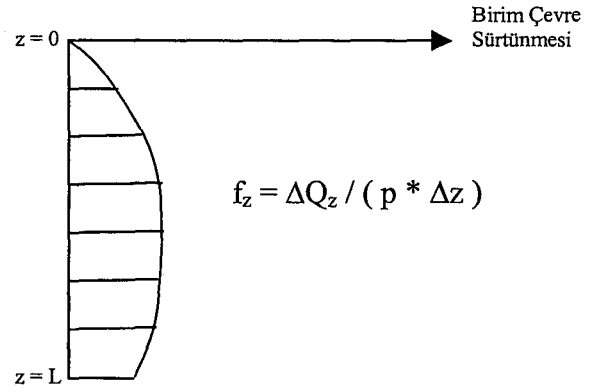
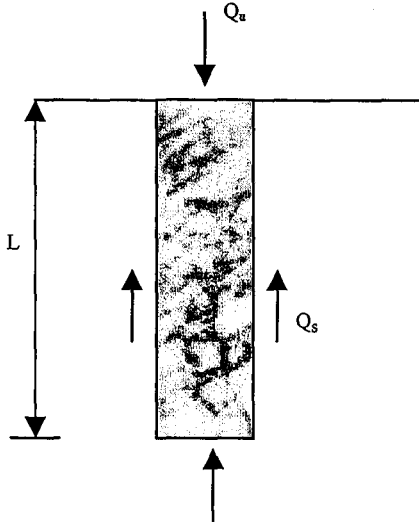
1. Statik kazık formülleri
2. Penetrasyon deneyleri
3. Arazide yapılan kazık yükleme deneyleri

4.7.2.1 Statik Kazık Formülleri ile Kazık Taşıma Kapasitesi

Yerinde dökme betonarme kazıkların taşıma kapasitesinin hesaplanmasında zeminin ve kazığın özelliklerinden yararlanarak geliştirilen ve en çok kullanılan formüllerdir.

Kazıklarda yük transfer mekanizması;





$$Q_{(z=0)} = Q_1 + Q_2 = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * (c * N_c^* + q' * N_q^*)$$

Burada ;

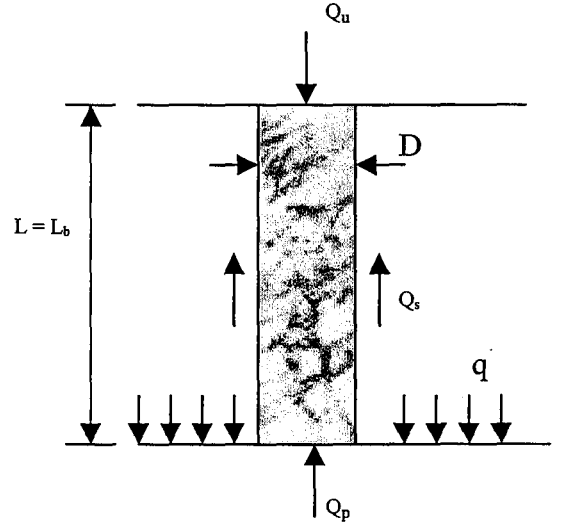
A_p : Kazık uç alanı

q_p : Birim Uç Direnci

c : Kohezyon

q' : Uç seviyesindeki efektif düşey gerilme

N_q^*, N_c^* : Taşıma kapasitesi faktörleri



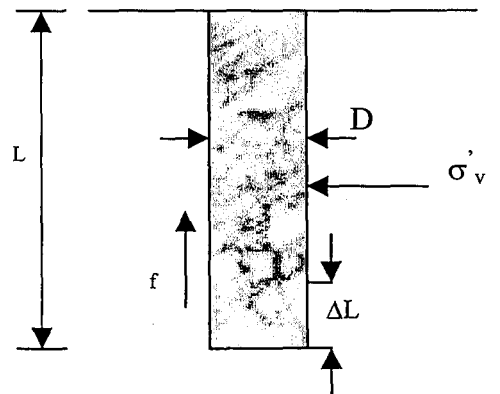
$$Q_s = \sum p * \Delta L * f$$

Burada ;

p : Kazığın çevresi

ΔL : Kazık birim uzunluğu

f : Herhangi bir z derinliğindeki
birim sürtünme direnci



Kohezyonsuz zeminlerde, ($c = 0$) kazıkların uç direncini ve çevre sürtünmesinin hesaplanmasını;

Meyerhof (1976)

$$Q_p = A_p * q_p = A_p * q' * N_q^*$$

Nordlund (1963)

$$Q_p = A_p * N_q * P_d$$

$$Q_s = D * K * \sin \delta * C_d * d$$

Broms (1966)

$$Q_s = (K_s * \gamma * D * \tan \delta * C_d * D) / 2$$

Tomlinson (1995)

$$Q_p = \sigma'_{vo} * A_p * N_q$$

$$Q_s = K'_s * \sigma'_{vo} * \tan \delta * A_s \text{ şeklinde önermiştir.}$$

N_q : ϕ içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörü

D : Kazık ucunun zemin yüzeyinden derinliği

δ : Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı

C_d : d derinliği boyunca minimum kazık çevresi

P_d : d derinliği için ortalama yük

K : Kazık özelliklerine ve zeminin kayma direncine bağlı boyutsuz bir faktör

σ'_{vo} : Ortalama efektif gerilme

K'_s : Yatay toprak basıncı katsayısı

K_s : Kazık özelliklerine ve zeminin kayma direncine bağlı boyutsuz bir faktör

γ : Kazık çevresindeki zeminin ortalama birim hacim ağırlığı

d : Çevre sürtünmesinin hesaplandığı kazık boyu

Nordlund (1963) eşitliği Raymond tipi kazıklar için geliştirilmiştir. Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıklarda taşıma kapasitesinin çoğunu uç direnci oluşturduğundan kazık ucunun genişletilmesi taşıma gücünü önemli ölçüde artırır. Kohezyonlu zeminlerde kazıkların uç direncini ve çevre sürtünmesinin hesaplanmasını;

Tomlinson (1973,1995)

$Q_d = N_c * C_b * A_p + \alpha * C'_u * A_s$ şeklinde önermiştir.

Bu eşitlikte;

N_c : Taşıma gücü faktörü

C_b : Kazık uç zeminindeki drenajsız kohezyon

A_p : Kazık uç alanı

α : Adhezyon faktörü

C'_u : Kazık çevresi boyunca örselenmemiş zeminin ortalama drenajsız kohezyonu

A_s : Kazığın zemin içinde kalan çevre alanı

Skempton (1959), Londra Kili'ne ait adhezyon faktörü için, yaptığı araştırmalar sonucu aşağıdaki değerleri önermiştir;

- a- Genel maksatlar için ortalama değer $\alpha = 0.45$
- b- Aşırı fısürlü killerde imal edilen kısa kazıklarda $\alpha = 0.30$
- c- İnşaat süresinin uzamasının zeminin yumuşamasına sebep olabileceği basınç soğanlı kazıklarda $\alpha = 0.30$

Tomlinson (1973), yerinde dökme çakma kazıklar için adhezyon faktörü 0.44-0.57 arasında alınabileceğini önermiştir.

Bir kazığın nihai taşıma kapasitesi hesaplandıktan sonra proje yükünün belirlenmesi gerekir. Proje (servis) yükü altındaki kazığın kısa ve uzun süreli oturması ve zeminin heterojen özelliklerinin belirsizliği tahmin edilebilse kazığın boyutlandırılması daha kolay olurdu. Kazık taşıma kapasitesinin tahmini, oturmalar dikkate alınarak ve tecrübelerle dayanarak belirlenir. Proje yükü hesabı güvenlik sayısına bağlıdır.

Proje (servis) Yüğü = nihai taşıma kapasitesi / Güvenlik sayısı

Güvenlik sayısı faktörü 2 veya 2.5 alınabilir.

4.7.2.2 Penetrasyon Deneyleri ile Kazık Taşıma Kapasitesi

Çeşitli yöntemler ile hesaplanan kazık taşıma kapasitesinin güvenilirliği, zeminin heterojen yapısındaki mühendislik özelliğine bağlıdır. Bu hesaplamalardan önce zeminden örselenmemiş numuneler alınarak laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. Örselenmemiş numune alınamayan kohezyonsuz zeminlerde arazi deneyleri yapılarak zeminin mukavemet özellikleri belirlenip taşıma kapasiteleri hesaplanmaktadır. Bu deneyler ;

- 1- Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)
- 2- Koni Penetrasyon Deneyi (CPT)
- 3- Menard Presiyometre Deneyi (MPT)

4.7.2.2.1 SPT ile Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması:

Meyerhof çakma kazıkların kum zeminlerdeki birim uç mukavemetini yaklaşık olarak ;

$q_p = 40 * N * L / D \leq 400 * N \dots (kN/m^2)$ hesaplanacağını önermiştir.

Burada N ; Kazık ucundan 10*D kadar yukarısında 4*D kadar aşağısından bir değer alınır.

Kum zeminlerde çakma kazıkların birim çevre sürtünmesini ;

$$q_s = 0.002 * N \dots (\text{Mpa}) = 0.02 * N \dots (\text{Kg./cm.}^2) \quad (\text{Broms, 1981})$$

Hesaplarda birim çevre sürtünmesi $q_s = 0.1 \text{ Mpa} = 1 \text{ Kg./cm}^2$, den büyük değerler kullanılmamalıdır (Broms, 1981).

N : Kazık ucundaki zeminin SPT darbe sayısı

Broms'a, (1981) göre;

Çakıllı zeminler için ;

$$q_p = 0.6 * N \dots (\text{Mpa}) = 6 * N \dots (\text{Kg./cm.}^2)$$

Siltli zeminler için ;

$$q_p = 0.25 * N \dots (\text{Mpa}) = 2.5 * N \dots (\text{Kg./cm.}^2)$$

Yerinde dökme sondaj kazıkları için ;

$$q_s = 0.006 * N \dots (\text{Mpa}) = 0.06 * N \dots (\text{Kg./cm.}^2)$$

Ancak birim çevre sürtünmesi bu tür kazıklarda 0.04 Mpa (0.4 Kg/cm²)'lı geçmemelidir (Broms, 1981).

4.7.2.2.2 CPT ile Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması :

Kohezyonsuz zeminlerdeki sürtünme kazıklarının birim uç mukavemetleri CPT deneylerinden direkt elde edilebilir. Meyerhof koni uç direnci (q_c) ile kazık birim uç mukavemeti (q_p) arasında;

$$q_p = q_c \quad \text{ifadesini vermiştir (Toğrol, 1970).}$$

Bazı araştırmacılara göre koni uç direncinin 10 Mpa (100 Kg./cm.²) dan büyük olması halinde kazık birim uç mukavemetinin koni uç direncinden küçük olabileceğini savunmuşlardır (Broms, 1961).

Broms (1981), ortalama penetrasyon direncinin, kazık ucu üstünden $3.75 * d$, kazık ucu altından $1 * d$ ' ye kadarki derinlik boyunca hesaplanmasını önermiştir.

CPT deneylerinde penetrometrenin ucunun tam üstüne yerleştirilen sürtünme kolu ile ölçülen sürtünme direnci (f_c) çakma kazıkların birim çevre sürtünmesi (q_s) doğrudan tahmin edilebilmektedir.

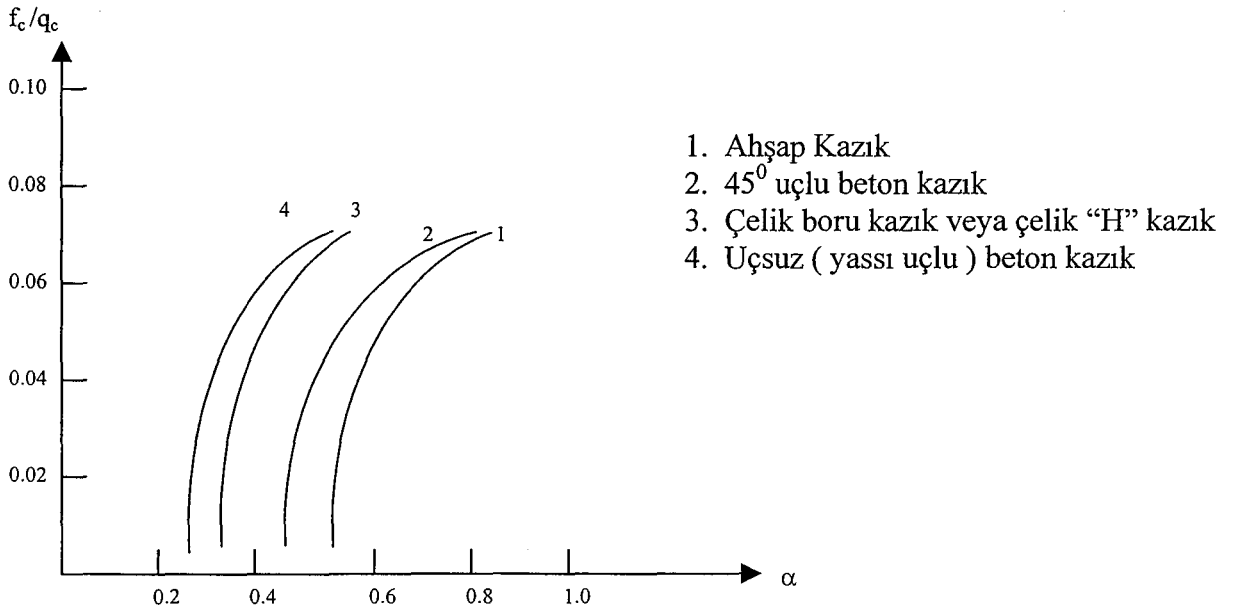
Fleming ve diğ., (1985) göre;

$q_s = f_c$ olarak kabul edilmektedir.

Broms'a (1981)göre;

$$q_s = \alpha * f_c$$

α : Küçültme katsayısı (Zemin cinsi, kazık şekli ve malzemesine bağlı olarak Şekil 4.1' de gösterilmiştir.)



Şekil 4.1 Küçültme Katsayısı Değerleri

4.7.2.2.3 MPT ile Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması :

Baguen ve diğ.'ne (1978) göre;

$$q_p = q_0 + k * (P_1 - P_0)$$

$$q_p^* = k * P_1^*$$

Burada;

q_p : Birim uç kapasitesi

q_0 : Kazık ucundaki toplam düşey basınç

k : Taşıma kapasitesi faktörü

P_1 : Presiyometre deneyi ile ölçülen kazık ucundaki limit basınç

P_0 : Kazık ucundaki toplam sükunetteki yatay toprak basıncı

q_p^* : Net birim uç kapasitesi

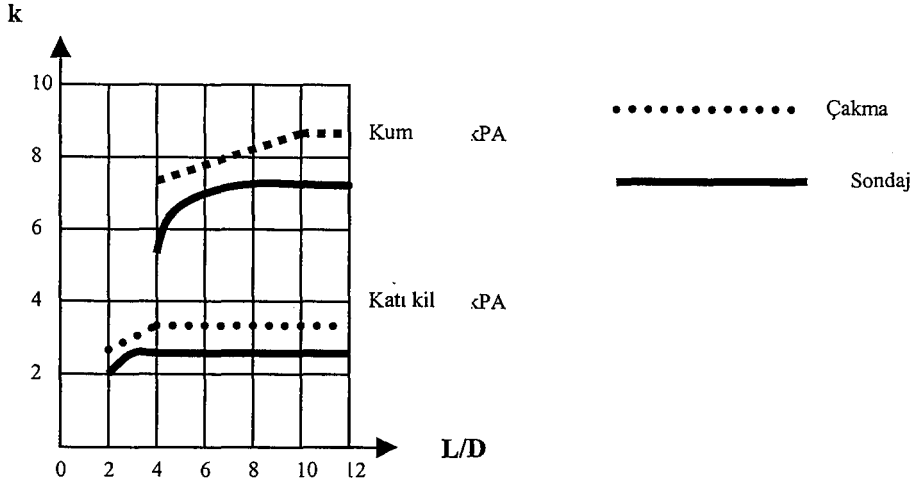
P_1^* : Net limit basınç

Taşıma kapasitesi faktörü, (k) zemin özellikleri, kazık geometrisi ve kazık yerleştirme yöntemine dayanarak aşağıdaki şekillerden hesaplanması önerilmiştir.

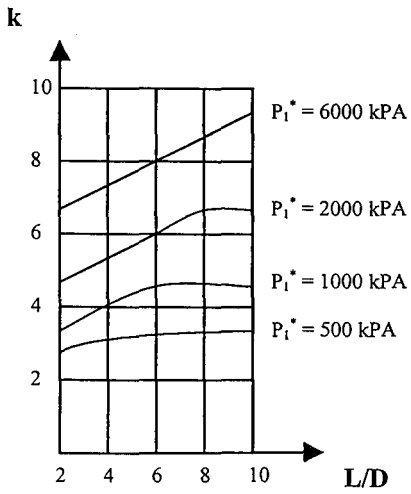
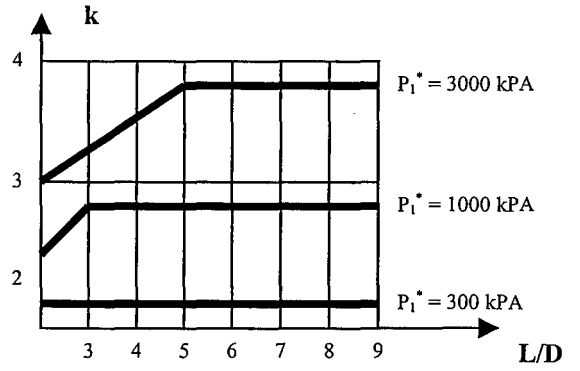
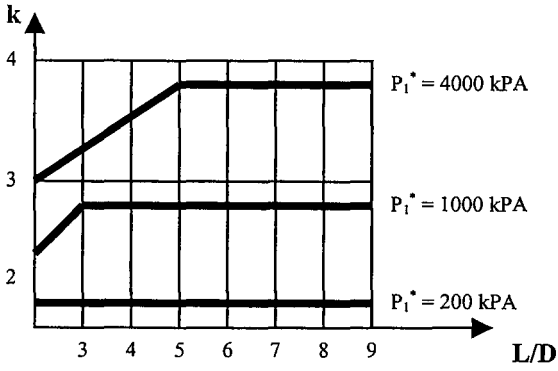
Baguelin ve diğ. göre, ayrıışmış kayalarda sondaj kazıkları hariç şekildeki durumlar için P_1^* değerleri 1500 kPa (15 Kg./cm.²)üst limiti ile sınırlandırılmasını ve bu limitin üzerinde P_1^* değerinin sabit kalacağını önermişlerdir. Ayrıışmış kayalarda $P_1^* > 1500$ kPa olması halinde çevre sürtünmesini ;

$$q_s = P_1^* / 30 + 30 \text{ (kPa) } \text{ hesaplanacağını önermişlerdir.}$$

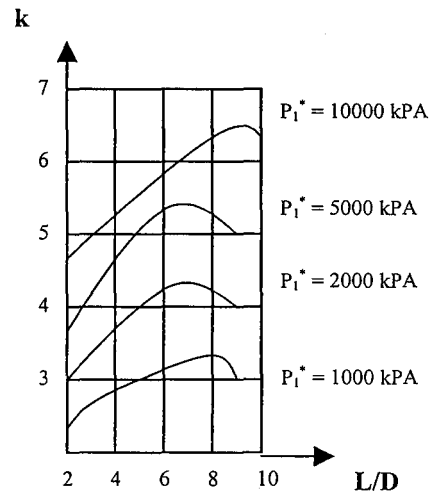
Kazık yerleşim yöntemlerinin k' ya etkisi Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Çakma kazıklar için ;



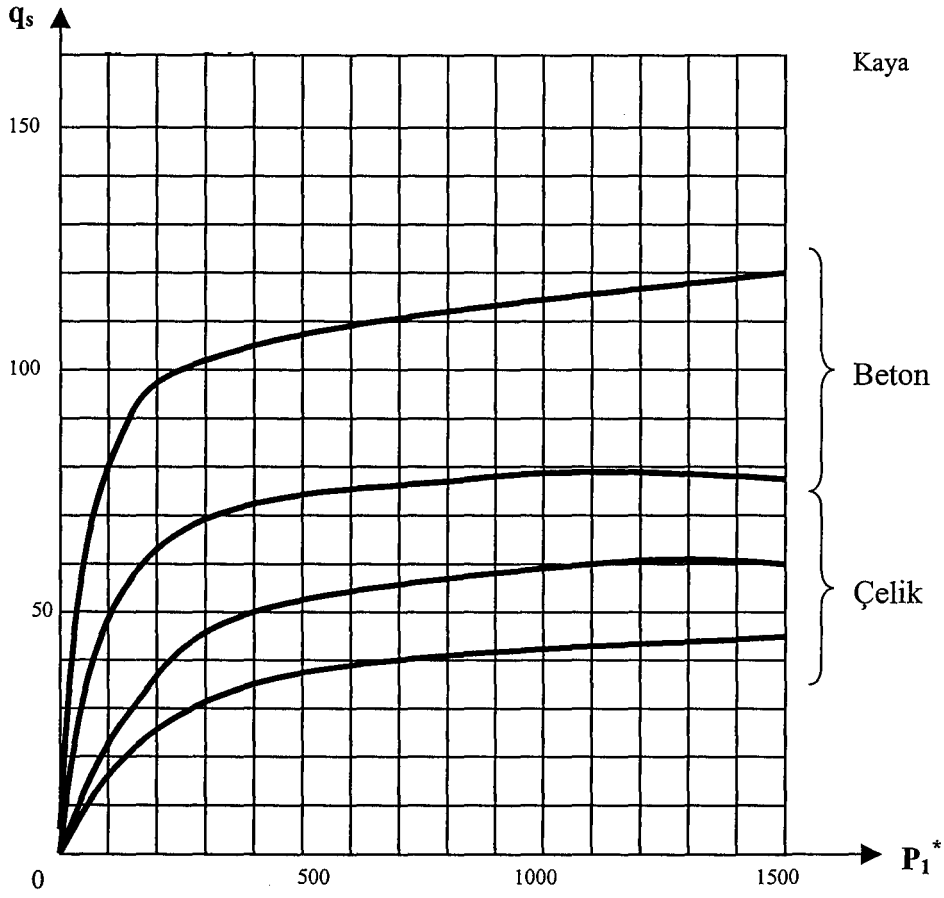
Kum ve Çakıl



Kaya

Şekil 4.2 Kazık yerleşim yöntemlerinin k' ya etkisi

Birim çevre sürtünmesi değerleri P_1^* değerinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Birim çevre sürtünmesinin net limit basınçla değişimi

4.7.3 Kazık Yükleme Deneyi

4.7.3.1 Deney ile İlgili Şartnameler

Bu kısımda ASTM D 1143 – 81, TSE 3167, DIN 1054 ve BIS 8004 Şartnameleri açıklanacaktır.

4.7.3.1.1 ASTM D 1143

Bu yönetmelikte yükler kazık eksenine uygulanmalıdır. Kazık başlığı kazığın yerleştirilmesi veya imalatı sırasında zedelenmiş ise bu bölümün deneyden önce çıkarılması ve yerine betondan başlık yapılması gerekir. Burkulmayı önlemek amacı ile yeterli kalınlıkta çelik plaka kazık başlığına monte edilmelidir. Joshi ve Sharma (1987) kazık yükleme deney yöntemlerini ASTM D 1143 – 81’ de dört bölümde toplamıştır:[9]

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

1.-Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi Yöntemi (SM Test)

Bu yöntemde;

- a. Toplam kazık yükü 8 eşit parçaya bölünür. Tasarım yükü % 200 olmak üzere % 25, % 50, % 75, % 100, % 125, % 150, % 175, % 200 olacaktır.
- b. Yüklemler, oturmanın 0.01in./h (0.25 mm./sa) olana kadar devam ettirilir.
- c. % 200’lük yükleme 24 saat devam ettirilir.
- d. Yüklemler tamamlandıktan sonra 1 saat ara ile % 25 boşaltılır.
- e. Yük uygulandıktan ve boşaltıldıktan sonra kazık tasarım yükünün % 50’ sini 20 dakika tekrar yüklenir.

- f. Kazık göçmesine sebep olacak tasarım yükü % 10' luk yükleme kademeleri ile yükleme kademeleri arasında 20 dakika olacak şekilde boşaltılır.

Bu yöntemin dezavantajı uzun süreli olmasıdır. Deney 40 – 70 saat sürebilir [9].

2.-Hızlı adımlı yükleme deneyi yöntemi (QM Test)

Bu yöntem aşağıdaki adımları içerir;

- a. Kazık tasarım yükü 20 eşit parçaya ayrılır. Yüklemler her adımda tasarım yükünün % 15' i kadar artırılır.
- b. Her yükleme kademesi 5 dakika devam ettirilir. 2.5 dakikada bir okuma alınır.
- c. Yükleme adımlarında krikoya, istenilen yüke ulaşıncaya kadar yük ilave edilir.
- d. Toplam yük her kademede yükün dörtte biri kaldırılmak üzere, 5 dakika süre ile boşaltılır.

Bu test hızlı ve ekonomiktir. Deney süresi 3-5 saattir. Hızlı yöntem olduğundan oturma tahmini yapılamaz. Drenajsız duruma oldukça uygun sonuçlar verir.[9]

3.-Sabit Penetrasyon Hızlı Deney Yöntemi (CRP Test)

Bu yöntem aşağıdaki adımları içerir;

- a. Kazık başlığına 0.05 in./min (1.25mm./min) hareket oluşturacak kuvvet uygulanır.
- b. Penetrasyon için gereken kuvvet kaydedilir.
- c. Toplam penetrasyon 50 – 75 mm. olana kadar deneye devam edilir.

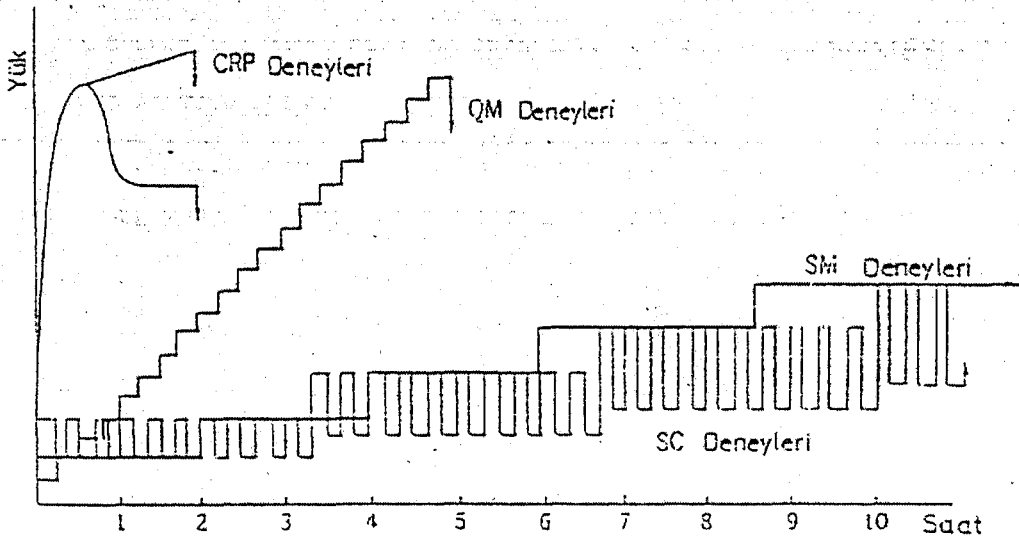
En önemli avantajı yöntemin hızlı ve ekonomik olmasıdır. Deney 2-3 saat sürebilir. Sürtünme kazıkları için uygundur. [9]

4.-İsveç Çevrimli (Tekrarlı) Yükleme Deneyi Yöntemi (SC Test)

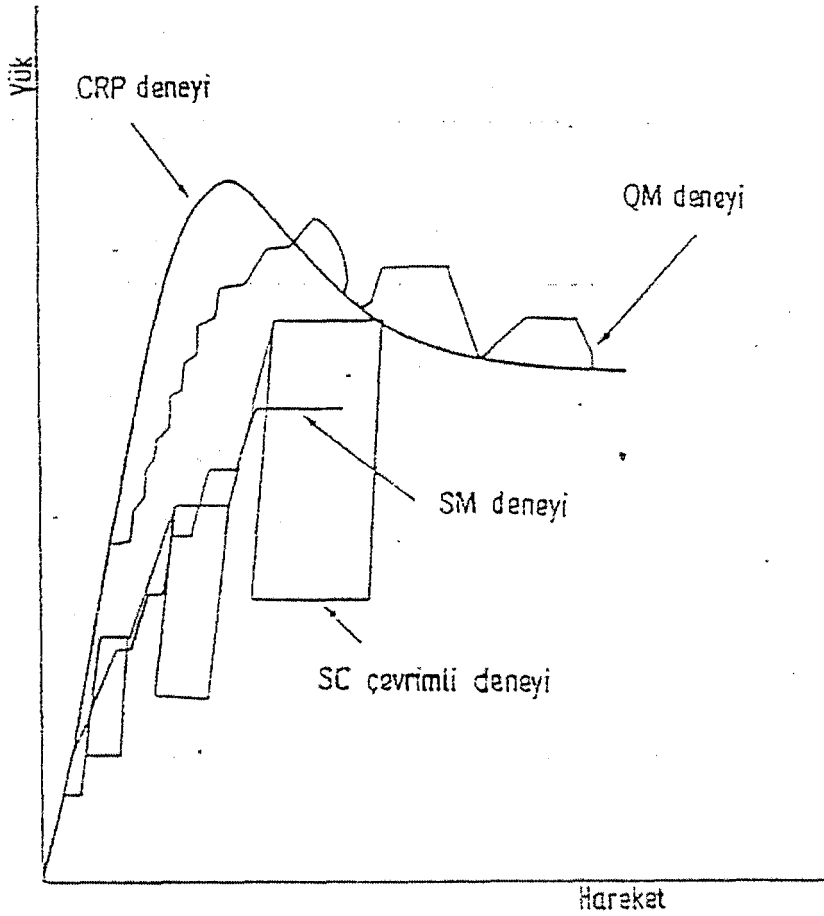
Bu yöntem aşağıdaki adımları içerir;

- Tasarım yükünün üçte biri kazığa yüklenir.
- Tasarım yükünün altıda biri boşaltılır. Bu işlemler 20 defa tekrar edilir.
- a şıkkındaki bahsedilen yük % 50 artırılır. b şıkkındaki işlemler tekrar edilir.
- Göçme durumuna yüklemeye devam edilir.

Deney oldukça vakit aldığından tekrarlı yüklerin önemli olduğu projelerde uygulanmalıdır. [9]



Şekil 4.4 Deney Yöntemleri için Gerekli Zamanlar [9]



Şekil 4.5 Deney Yöntemlerinin Yük-Oturma Eğrilerinin Karşılaştırılması [9]

4.7.3.1.2 TSE 3167

Kazıklı Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar

Bu standart, kazık temellerin tanımı ve bunların hesap ve düzenlenmesinde göz önünde bulundurulacak esaslara, bu temellerde kullanılabilecek kazıklara oluşturulabilecek kuvvet ve etki biçimine göre kazık çeşitleri ile bunların zemine emniyetle iletebilecekleri yüklerin deney yüklemeleri ile bulunmasına dairdir.

Kazık yükleme deneylerinde, temel kazıklarının sınır yük değerleri bulunur Üst yapıda söz konusu olan yük hali göz önünde tutularak bu sınır

yüklerin aşağıdaki tabloda verilen emniyet katsayılarına bölünerek kazık yükleri bulunur.

Çizelge 4.1 Emniyet katsayıları [10]

Kazık Çeşiti		Sıra No	Deneme Yükleme Yapılan aynı Şartlardaki Kazık Sayısı	Emniyet Katsayısı (k)		
				I. Yük Hali	II. Yük Hali	III. Yük Hali
Basınç Kazıkları		1	1	2	1.75	1.50
		2	> 2	1.75	1.50	1.30
Çekme Kazıkları	2/1 Eğime Kadar	3	1	2	2.	1.75
		4	> 2	2	1.75	1.50
	1/1 Eğime Kadar	5	> 2	1.75	1.75	1.50
Zaman zaman çekme ve basınç karşısında kalan kazıklar		6	> 2	2	2	1.75
Eğimi 2/1 ile 1/1 arasındaki kazıklar için emniyet katsayısı eğim açısına göre 4. ve 5. sıradaki değerler enterpole yapılır.						

Çizelge 4.1' de ;

I. Yük Hali : Yapı yükleri ve rüzgar yükleri dahil hareketli yükleri,

II. Yük Hali: I. yük hali dahil çeşitli nedenler ile etki yapan geçici büyük hareketli yüklerin tesir etmesi,

III. Yük Hali : II. yük haline ilaveten örneğin; işletme safhasında parça düşmesi hali gibi beklenmeyen yüklerin tesir etmesi halini tanımlamaktadır.

Deney kazıklarının aralarındaki veya deney kazıkları ile diğer kazıklar arasındaki serbest açıklık 2.5 m.'den küçük olmamak üzere kazık çapının 4 katından az olamamalıdır.

Kazık yükleme deneyinde, yük kademeleri yük-oturma eğrisi ile bu eğrinin kazık sınır yükü değerini gösteren kırılma noktası açık seçik görülebilecek şekilde düzenlenmelidir. Bu yükleme kademelerinde, kazıkta oturma ve yükselme durana kadar yük değiştirilmemeli, deney kazığının hareketi tamamen durduktan sonra ikinci bir yükleme kademesine geçilmelidir.

Deneyde, kazıklarda meydana gelecek oturma veya yükselmeleri en az 0.3 mm. duyarlıklı gösteren bir alet bulunmalıdır. Ayrıca basıncı oluşturan hidrolik presin göstergesine ek olarak uygulanan deney yükünü ve ötelenmeleri ölçecek bir düzen bulunmalıdır. Bütün bu ölçü aletlerinin ve yükselme donatımının kapasitesi, deney serisine uygun ve yeterli olmalıdır.

Çakma kazıklarda, kazık yükleme deneyi çakılma işinin bitiminden sonra, kohezyonsuz zeminlerde en az 3 gün ve kohezyonlu zeminlerde ise en az 3 hafta beklenilmelidir [10].

4.7.3.1.3 DIN 1054

Kazık yükleme deneylerinin sonuçları her zaman için kazık taşıma kapasitesinin bilinmesinde en güvenilir yoldur. Küçük yüklemeler hariç çekme ve ankraj kazıklarının taşıma güçleri daima kazık yükleme deneyleri ile tahkik edilmelidir. Aşağıdaki durumlarda, basınç kazıkları da bu deneye tabi tutulmalıdır [11]:

- Fore ahşap, betonarme, ön gerilmeli beton ve çelik çakma kazıklar için aşağıdaki tablolardaki emniyetli yüklerden daha fazla yüklenecek ise,
- Kazıkların taşıma kapasitesi yüksek zemin içinde minimum 3 m. bulunmaması durumunda,
- Kazığın öngörülen taşıyıcı zemine yerleştirilmesi, soketlenmesi hakkında şüphe duyuluyorsa kazık yükleme deneyi yapılması zorunludur.

Çizelge 4.2 Fore Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler [11]

Soğansız Fore Kazıklar		
Kazık Çapı	Emniyetli Yükleme	
cm.	Mp.	KN
30	20	200
35	25	250
40	30	300
50	40	400
1 kN = 0.1 Mp		

Soğanlı Fore Kazıklar		
Kazık Çapı	Emniyetli Yükleme	
cm.	Mp.	KN
60	30	300
70	38	380
80	47	470
90	55	550
100	65	650

Çizelge 4.3 Ahşap Çakma Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler [11]

Soketleme Miktarı (m.)	Emniyetli Yükleme (kN.)				
	Kazık Çapı (cm.)				
	15	20	25	30	35
3	100	150	200	300	400
4	150	200	300	400	500
5	-	300	400	500	600

Çizelge 4.4 Betonarme ve Öngerilmeli Kare Kesitli Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler [11]

Taşıyıcı Zemin İçine Girme Miktarı (m.)	Emniyetli Yükleme (kN.)				
	Kazık Çapı (cm.)				
	20	25	30	35	40
3	200	250	350	450	550
4	250	350	450	600	700
5	-	400	550	700	850
6	-	-	650	800	1000

Çizelge 4.5 Çelik Çakma Kazıklar İçin Emniyetli Yüklemeler [11]

Soketleme Miktarı (m.)	Emniyetli Yükleme (kN.)				
	Çelik kazıklar * ¹ için Genişlik veya yükseklik (cm.)		Çelik Boru kazıklar ve Çelik Sandık Kazıklar * ² (d veya a) * ³ (cm.)		
	30	35	30-35	35-40	40-45
3	-	-	350	450	550
4	-	-	450	600	700
5	450	550	550	700	850
6	550	650	650	800	1000
7	600	750	700	900	1100
8	700	850	800	1000	1200

*¹ Yükseklik / Genişlik =1/1 olan geniş başlıklı I Profilleri

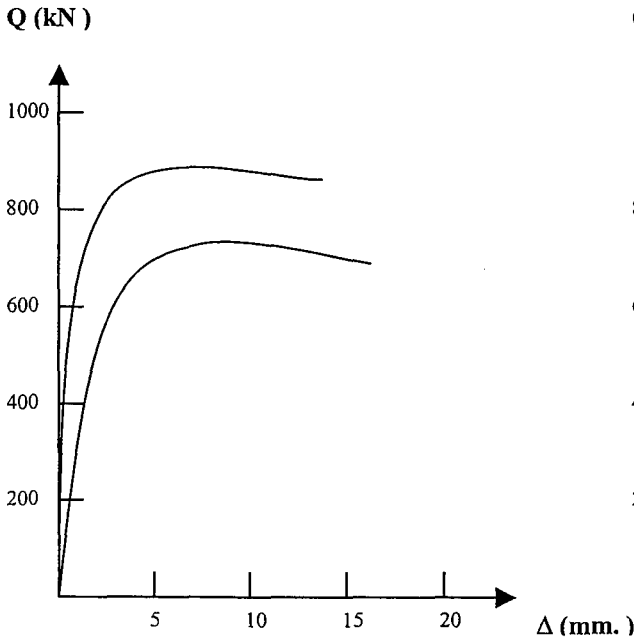
*² Çizelge değerleri ucu kapalı kazıklar için geçerlidir. Ucu açık kazıklarda tablo değerinin % 90' ı kullanılabilir.

*³ d : Çelik boru kazığın dış çapı

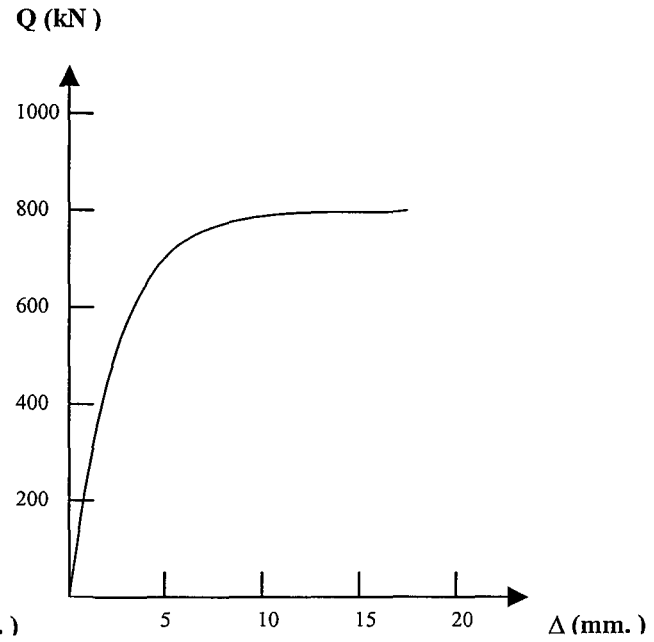
a : Kareye yakın veya eş alanlı dikdörtgen sandık kazığın ortalama kenar boyu

4.7.3.1.4 BIS 8004

Bu yönetmelikte kazık yükleme deneyinin amacı, bir tekil kazığın tahmini çalışma yükü altındaki oturmasını, son taşıma kapasitesini belirlemek ya da kazık yapısını kontrol etmektir. Tekil kazıklar için yük - oturma arasındaki ilişki, kazığa yük artımlarının uygulanması ile elde edilir. Yük artırımı, oturma oranının küçük bir değer olduğunda yapılır. Sonuçlar yük-oturma grafiğinde belirtilerek tahmini çalışma yükü altında kazığın yaklaşık oturması belirlenir. Deneye başlamadan önce çalışma yükü, yük adımları ve zaman aralıkları belirlenir. Yük artırılmasında ve boşaltılmasında belli zaman aralıklarında oturma zaman okumaları alınır. Yük-oturma grafiği çizilir. [12]



Şekil 4.6 Sürtünme Kazıkları İçin
Yük-Oturma Grafiği [12]



Şekil 4.7 Uç Kazıkları İçin
Yük-Oturma Grafiği [12]

4.7.3.2 Kazık Yükleme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi konusunda bir çok ülkede uygulama ve kabuller farklılık göstermektedir. Sonuçların değerlendirilmesinde ortak özellikleri sıralamak gerekirse [11];

1. Toplam oturma eğrisini göz önüne alınması
2. Kalıcı oturma eğrisinin göz önüne alınması
3. Kalıcı ve elastik şekil değiştirmelerin göz önüne alınması

4.7.3.2.1 Toplam oturma eğrisini göz önüne alınması ile yapılan değerlendirmeler

Bu değerlendirmeler, genel olarak DIN 1054 şartnamesinin görevidir. Şartname, dökme kazıklarda 2 cm. lik toplam oturma meydana getiren yükü sınır yük kabul etmiştir. Çakma kazıklardaki değerlendirmede kazık çapının 0.025 katı kadar kalıcı oturmaya müsaade edilmektedir.

Şekil 3.8' de gösterildiği gibi ASTM D 1143' e göre servis yükü olarak yük-oturma eğrisinin, oturmanın 38 mm.'ye ulaştığı değerinin yarısı alınacaktır. Yalnız servis yükü altında toplam oturmanın 19 mm.'yi aşmaması ve de 38 mm.'lik toplam oturmadan yapılan boşaltmadaki kalıcı oturmanın 19 mm.'yi aşmaması şartı vardır.

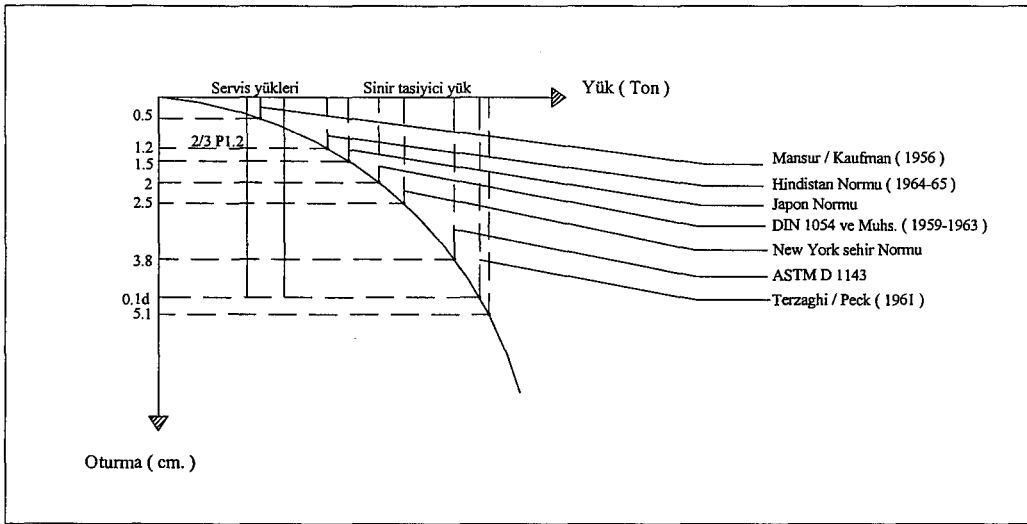
Terzaghi ve Peck (1961) 51 mm.'lik oturma oluşturan değer sınır yük olarak alınmasını önermiştir. Terzaghi (1962) 0.1dtoplam oturmanın meydana gelmesini sağlayan yükün sınır değer alınmasını, servis yükü olarak 0.1d yükün yarısı veya 12 mm.'ye ait yükün 2/3'ten küçük olanı alınmasını önermiştir.

New York şehir şartnamesinde sınır taşıyıcı yük, 25.1 mm. oturma meydana getiren değer olarak verilmektedir.

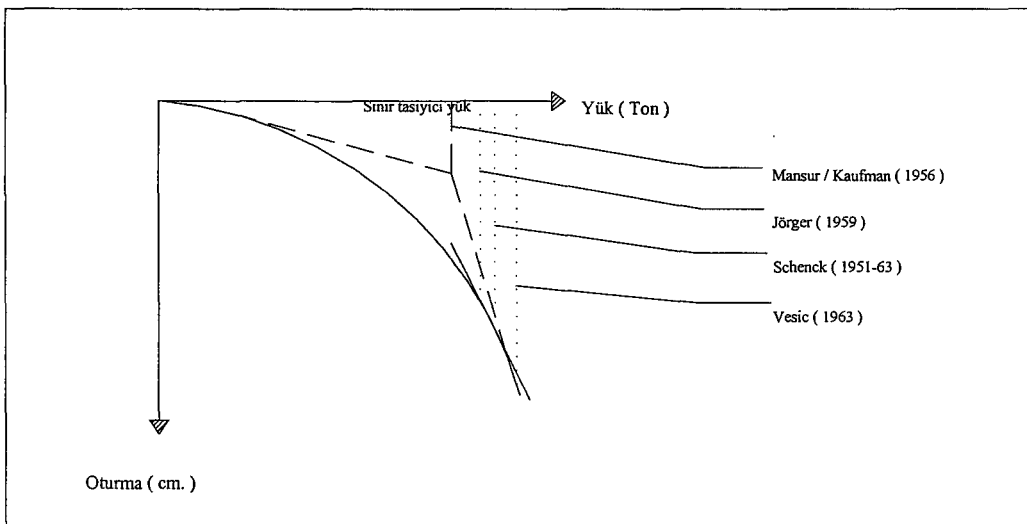
Japon şartnamesine göre sınır taşıyıcı yük, 15 mm. oturma meydana getiren değerdir. Bu yükün yarısı, taşıma kapasitesinin 1/3 veya sadece sabit yükler dikkate alındığında eğrinin lineer gidişinden ayrıldığı noktadaki yükün yarısı servis yükü olarak alınır.

Şekil 4.9'de gösterildiği gibi Vesic (1963)'e göre eğrinin düşey yöne yakın en büyük eğim kazandığı, Jörger (1959) ise teğet eğiminin $1/2$ ile $1/3$ arası değer kazandığı noktayı sınır taşıma kapasitesi olarak değerlendirmişlerdir.

Mansur ve Kaufmann (1956) ise sınır taşıma kapasitesi için eğrinin başlangıç ve uç teğetinin kesişme noktasına karşılık gelen yükü önermiştir. Servis yükü için teğetlerin kesim noktası olan sınır taşıma kapasitesinin yarısı veya 5 mm.'lik oturmaya ait yük olarak önermiştir.



Şekil 4.8 Yük-Oturma eğrisinde oturmaya bağlı sınırlamalara göre değerlendirmeler



Şekil 4.9 Yük-Oturma eğrisi şekline göre değerlendirmeler

4.7.3.2.2 Kalıcı Oturma Eğrisi Gözönüne Alınarak Yapılan Değerlendirmeler

Kalıcı oturmaların sınırlandırılması ile kazıklı temelin yapacağı oturmayı belirli bir limit altında tutmak mümkündür. Bu yöntem ile yapılan değerlendirmelerde sınır taşıyıcı yük Şekil 4.10.a ve b'den de görüldüğü gibi doğrudan bulunur.

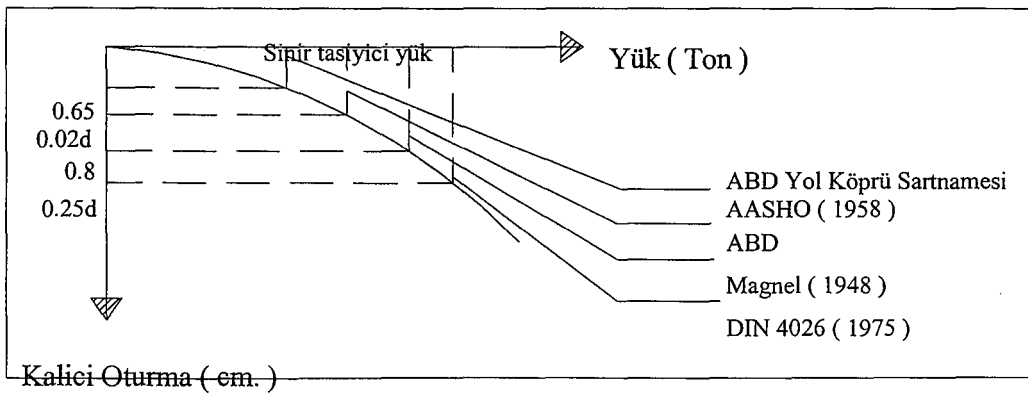
Fransız Mühendislik bürosu olan Bureau Vertas (1964)'e göre servis yükü olarak 2 cm.'lik oturmanın yarısı, 1 cm.'liğin 2/3'ü veya 0.3 cm.'lik oturmadaki yük değerlerinden en küçüğünün dikkate alınmasını önermiştir.

Hindistan Normunda (1965) servis yükü olarak 0.6 cm.'deki kalıcı oturma değerinin 2/3' ü olarak alınmasını önermiştir.

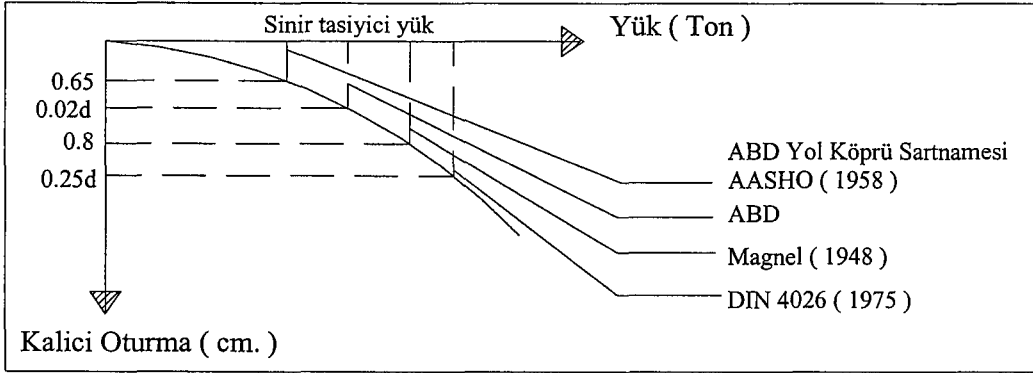
Amerika Birleşik Devleti'nde kalıcı oturma kazık çapıyla orantılı olarak şekilden de görüldüğü üzere 0.02d şeklinde sınır taşıyıcı yükün hesaplanması önerilmiştir.

ABD Yol Köprü Şartnamesi'nde (AASHO) 0.65 cm kalıcı oturmaya neden olan yükü sınır taşıyıcı yük olarak önerilmiştir.

Magnel (1948) 0.8 cm. kalıcı oturmaya neden olan yükü sınır taşıyıcı yük olarak önerilmiştir.(Şekil 4.10 a. ve b.)



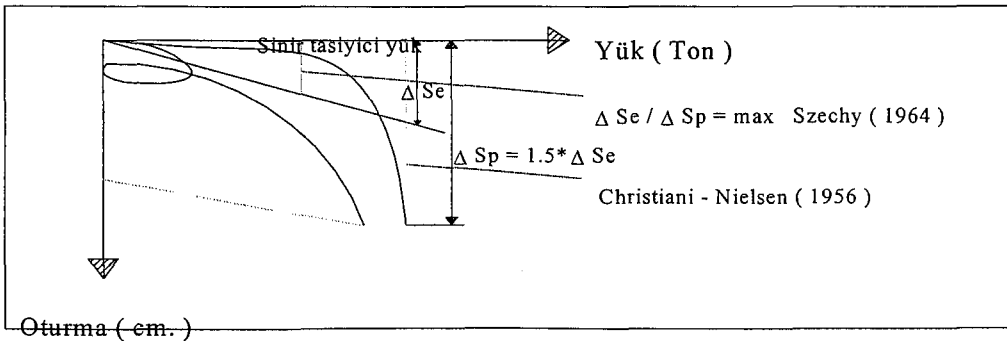
Şekil 4.10-a. Yük-Kalıcı Oturma Eğrisinde Sınırlamalara Göre Değerlendirmeler



Şekil 4.10-b Yük-Kalıcı Oturma Eğrisinde Sınırlamalara Göre Değerlendirmeler

4.7.3.2.3 Kalıcı ve Elastik Şekil Değişiklikler Gözönüne Alınarak Yapılan Değerlendirmeler

Bu yöntemi dikkate alarak yapılan değerlendirmelerden en çok bilinen Christiaini-Nielsen (1956) firmasına ait olanıdır. Kalıcı şekil değişikliklerinin elastik kısalmaların 1.5 katına eşit olduğu hal sınır taşıyıcı yükü verir.(Şekil 4.11) Szechy (1964) çok sayıda yaptığı kazık yükleme deneyi sonucunda elastik kısalmadaki artma miktarının kalıcı kısalmadaki artma miktarına oranının maksimum olduğu nokta servis yükünü verdiğini ifade etmiştir.



Şekil 4.11 - Kalıcı ve Elastik Şekil Değişikliklere Göre Değerlendirmeler

4.7.3.3 Yükleme Deneyi Sonucunda Kazık Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

Terzaghi kazık göçme yükü olarak, kazığın zemine batma miktarının kazık çapının $1 / 10'$ u değerine ulaşmasını sağlayan yük olarak tanımlamıştır. Kazığın taşıma kapasitesinin sağlıklı olarak hesaplanabilmesi kullanılan yöntemlerin matematiksel kurallara dayandırılması gerekir. Bu matematiksel ifadelerin, çeşitli kazık tiplerinde ve zemin koşullarında kazık göçme yükünün hesaplanmasında kullanılması gerekir. Göçme yükü değeri, ölçüm sistemi etkisinden ve bireysel fikirlerden bağımsız olmalıdır. Takiben değinilecek yorum metotları yükleme deneylerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu metotlar ;

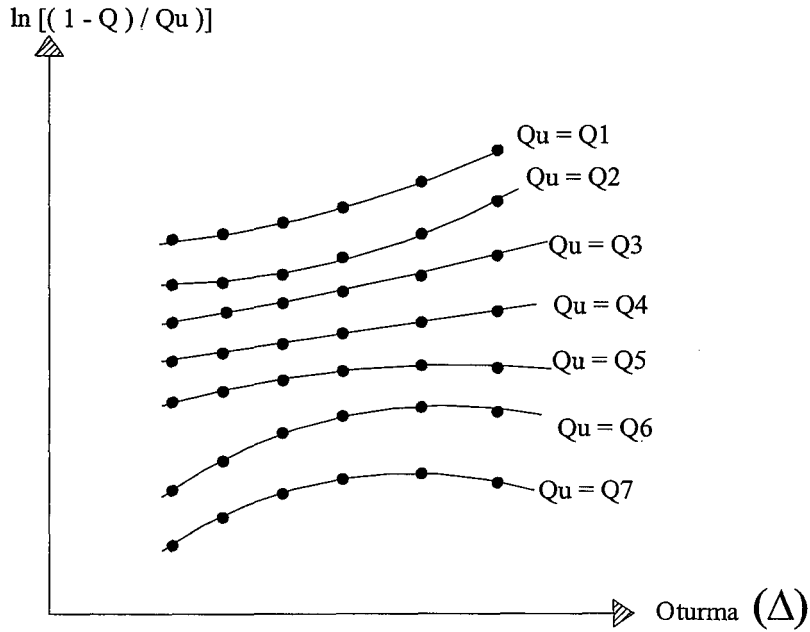
1. Vander Veen Metodu (1953)
2. Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963)
3. Brinch Hansen % 90 Kriteri (1963)
4. De Beer Metodu (1967)
5. Fuller ve Hoy Metodu (1970)
6. Chin Metodu (1970, 1971)
7. Davisson Metodu (1972)
8. Mazurkiewich Metodu (1972)
9. Butler ve Hoy Metodu (1977)

4.7.3.3.1 Vander Veen Metodu (1953)

Yöntemin hesap esasları aşağıdaki gibidir;

- Q_u göçme yükü değeri seçilir.
- Farklı Q yüklerine karşı $\Delta = \ln [(1-Q) / (Q_u)]$ eğrileri çizilir. (Şekil 4.12)
- Çizilen eğriler doğru haline geldiği andaki yük değeri Q_u göçme yüküdür.

Bu yöntemin dezavantajı göçme yükünün hesaplanması için fazla zaman harcanmasıdır.



Şekil 4.12 Vander Veen Metodu ile Kazık Göçme Yükü

4.7.3.3.2 Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963)

Bu yöntemde ;

* $\sqrt{\Delta} / Q$ ' ya karşılık Δ eğrisi çizilir. (Şekil 4.13)

* Q_u ve Δu aşağıdaki gibi hesaplanır.

Δ : Oturma

Q : Uygulanan Yük

c : Göçme Yüğü

Δu : Göçme yer değıştirmesi

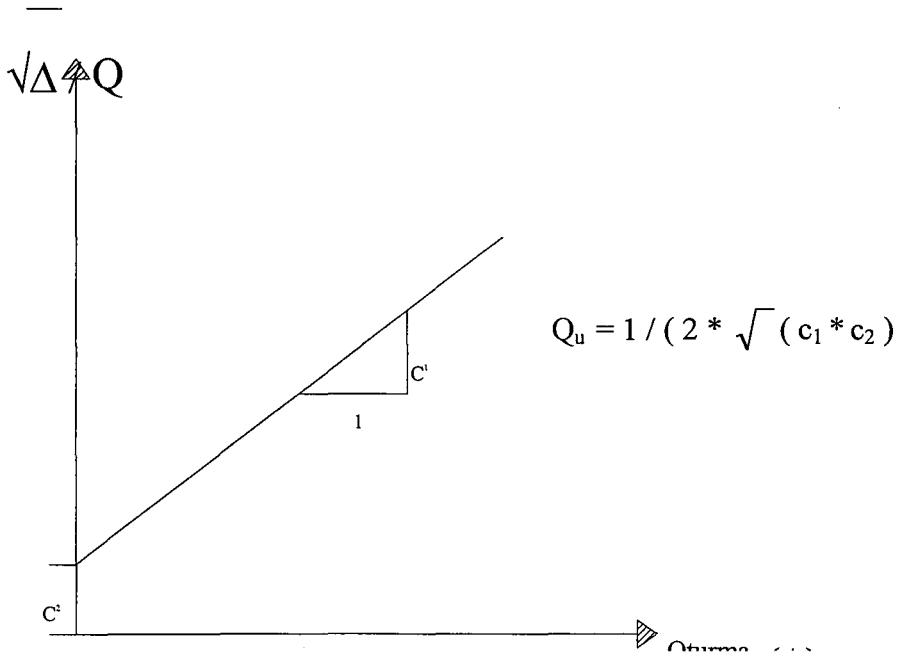
$$Q_u = 1 / (2 * \sqrt{ (c_1 * c_2) }$$

$$\Delta u = c_1 / c_2$$

c_1 : Doğrunun Eğimi

c_2 : Doğrunun ordinatı kestiğı nokta

Yük – oturma eğrisi yaklaşık parabol kabul edilir. Bu metot QM ve SM deneylerinde uygulanabilir. Tekrarlı boşaltma deney metotları için uygun değildir.



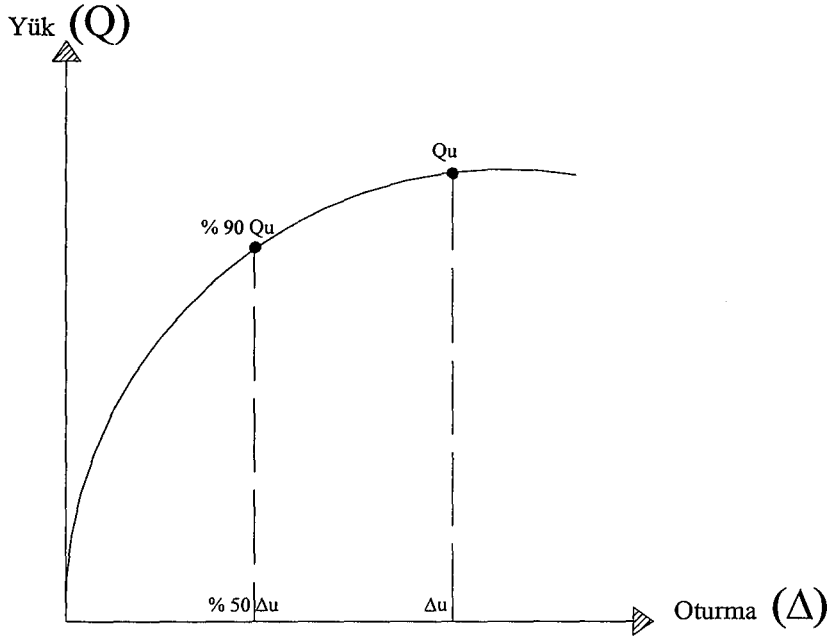
Şekil 4.13 Brinch Hansen % 80 Kriteri Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3 Brinch Hansen % 90 Kriteri (1963)

Deneme yanılma yöntemi ile bulunan kazık göçme yükü aşağıdaki şekilde bulunur.

- Yük – Oturma eğrisi çizilir. (Şekil 4.14)
- Q_u nihai yükün, % 90'ındaki oturma miktarının iki katına karşılık gelen yük göçme yüküdür.

Yöntem, sadece Sabit Penetrasyon Hızlı Deneylerinde (Constant rate of penetration, CRP) uygun sonuçlar verir.



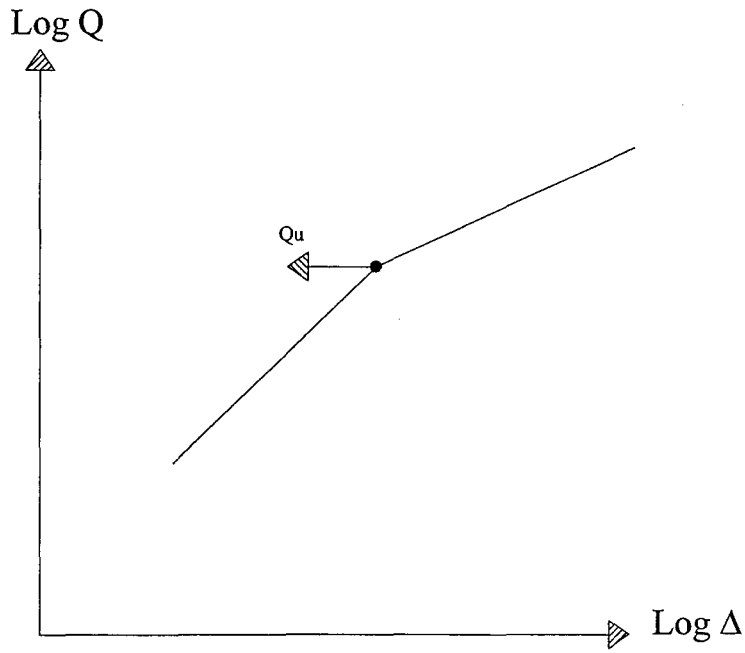
Şekil 4.14 Brinch Hansen % 90 Kriteri Metodu ile Kazık Göçme Yükü

4.7.3.3.4 De Beer Metodu (1967)

De Beer (1967) ve De Beer & Wallays (1972) tarafından önerilen bu yöntemde yük-oturma eğrisi logaritmik eksenlerde çizilmiştir. Yöntemin uygulaması ;

- Yük – Oturma eğrisi logaritmik eksenlerde çizilir. (Şekil 4.15)
- Bu değerler iki doğru oluşturur.
- Göçme yükü bu iki doğrunun kesiştiği noktaya karşılık gelen yüküdür.

Bu yöntem, Yavaş Adımlı Yükleme Deneyleri (SM) için geliştirilmiştir.



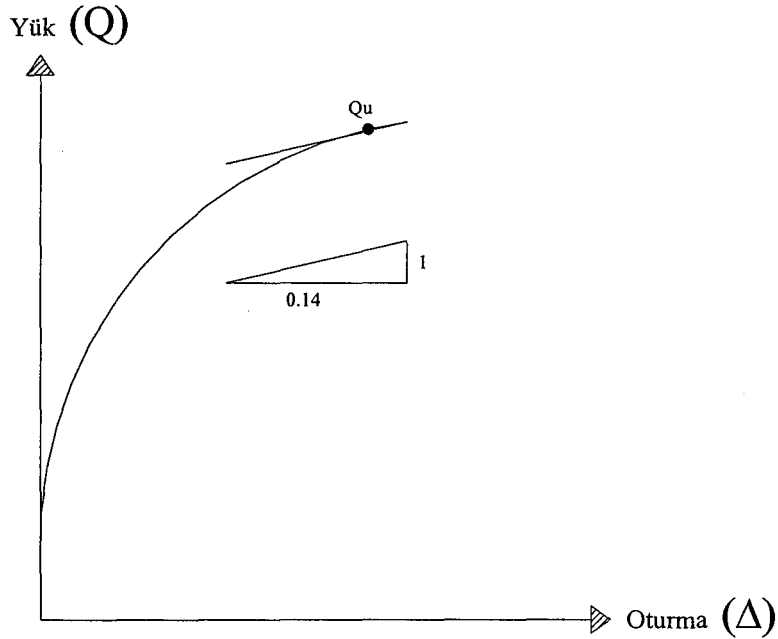
Şekil 4.15 De Beer Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3.5 Fuller ve Hoy Metodu (1970)

Bu yöntemde ;

- Yük – Oturma eğrisi çizilir. (Şekil 4.16)
- Eğrinin 0.05 in / ton (0.14 mm / kN) olduğu yerdeki yük kazık göçme yükünü verir.

Hızlı Adımlı Yükleme Deneyleri (QM) için uygun sonuçlar vermektedir. En büyük dezavantajı uzun kazıklara zarar verebilir. Çünkü büyük elastik oturmalar olacağından 0.05 in / ton kırılması erken olur.



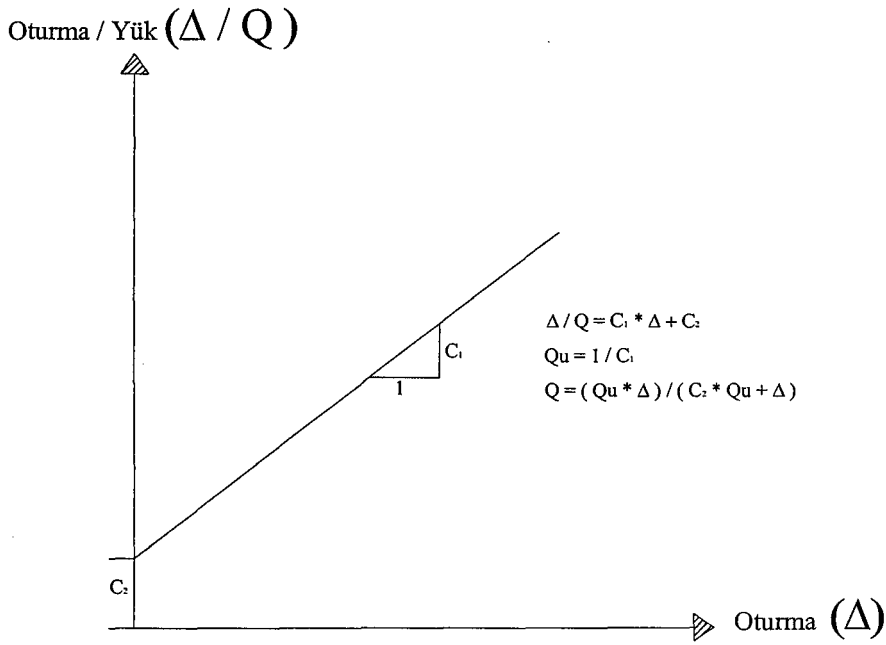
Şekil 4.16 Fuller ve Hoy Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3.6 Chin Metodu (1970 ve 1971)

Yük – oturma grafiğinin yaklaşık hiperbol bir şekil aldığı varsayılır. Yöntemde ;

- Uygulanan yük (Q) ile kazık başı deplasmanı (Δ) değerleri kullanılarak (Δ / Q) - Δ eğrisi çizilir. (Şekil 4.17)
- Nihai yük $Q_u = 1 / c_1$ dir.

Bu yöntem QM ve SM deneylerinde uygulanabilir. Deneyde sabit zaman artışı kullanılır.



Şekil 4.17 Chin Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3.7 Davisson Metodu (1972)

Bu yöntem, çakma kazıkların dinamik analiz incelemesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Bu yöntemde ;

- Yük – Oturma eğrisi çizilir. (Şekil 4.18)
- Kazığın oturması ;

$\Delta = Q * L / (A * E)$ formülü ile hesaplanır.

Q : Uygulanan yük

L : Kazık boyu

A : Kazık en kesit alanı

E : Kazık elastisite modülü

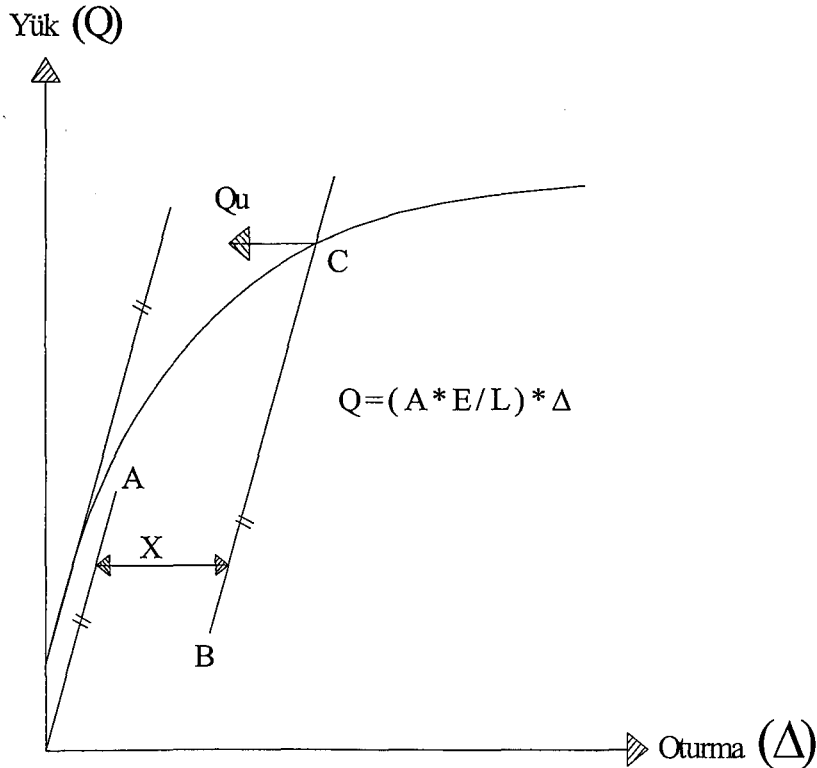
- Formülde hesaplanan Δ oturmasına paralel merkezden geçen OA doğrusu çizilir.

$$X = 0.15 + D / 120$$

D : Kazık çapı

Hesaplanan X mesafesinde BC paraleli çizilir.

- Göçme sınır yükü BC doğrusunun Yük – Oturma eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen C noktasıdır.



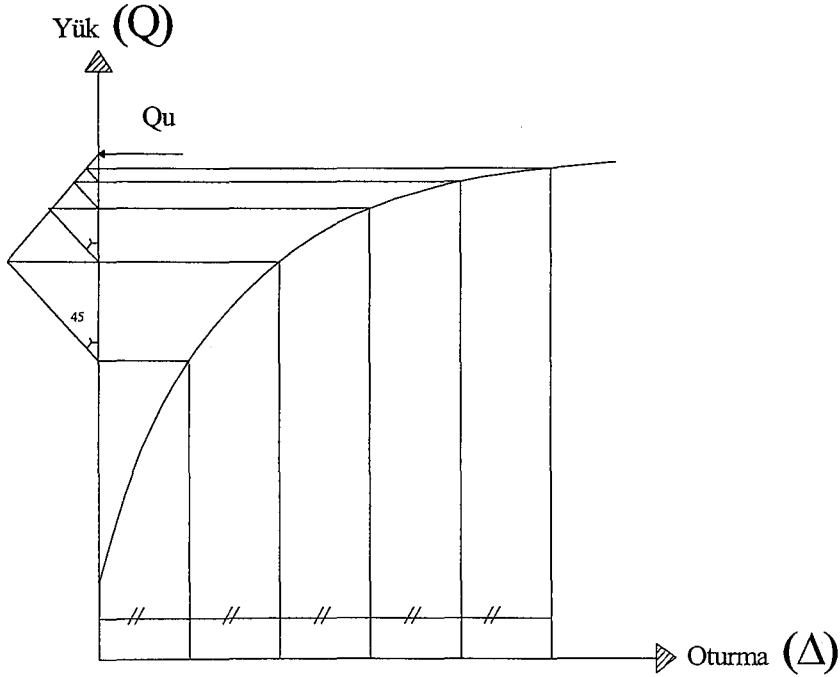
Şekil 4.18 Davisson Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3.8 Mazurkiewich Metodu (1972)

Şekil 4.19' da gösterilen yöntem aşağıdaki gibi özetlenir ise ;

- Yük – Oturma eğrisi çizilir.
- Oturma ekseninde eşit aralıklar seçilerek eğri ile kesiştirilir. Bu kesişme noktalarından yük eksenine doğrular çizilir.
- Yük eksenindeki bu noktalardan 45° lik doğrular çizilir ve bir sonraki noktanın yük eksenini kestiği yerden doğrular ile kesiştirilir.
- Kesişme yerleri bir doğru üzerine düşer. Bu doğrunun yük eksenini kestiği nokta kazık göçme yükünü verir.

Bu yöntem Yük – Oturma eğrisini yaklaşık parabolik kabul eder.bu yöntem ile elde edilen sonuçlar % 80 Brinch Hansen metodu ile elde edilen sonuçlara yakındır.



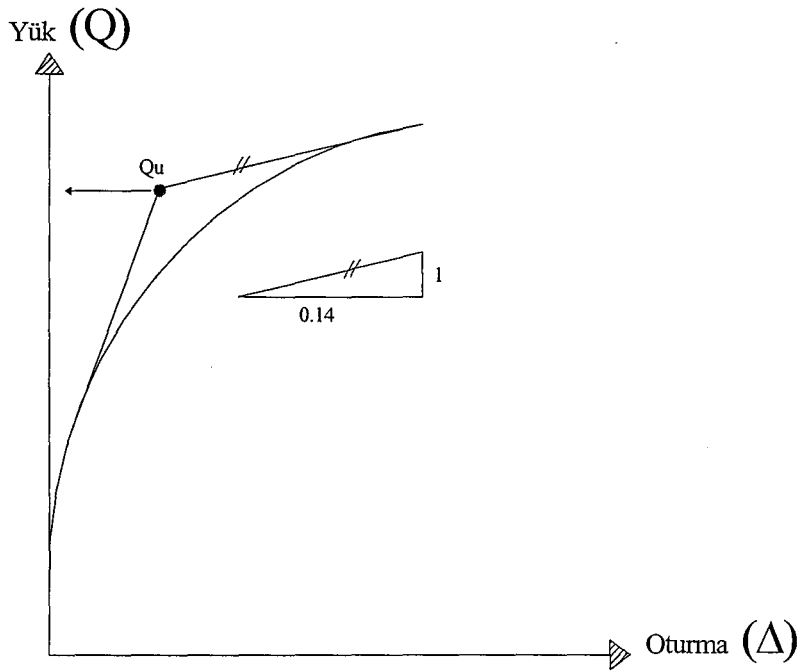
Şekil 4.19 Mazurkiewich Metodu ile Kazık Göçme Yüğü

4.7.3.3.9 Butler ve Hoy Metodu (1977)

Bu yöntem aşağıdaki adımları içerir;

- Yük – Oturma eğrisi çizilir. (Şekil 4.20)
- Göçme yükü, eğrinin başlangıçtaki düz kısmının teğeti ile eğimi 0.05 in/ton (0.14 mm. / kN) olan doğrunun kesim noktasıdır.

Bu yöntem hızlı deneyler için uygulanır.

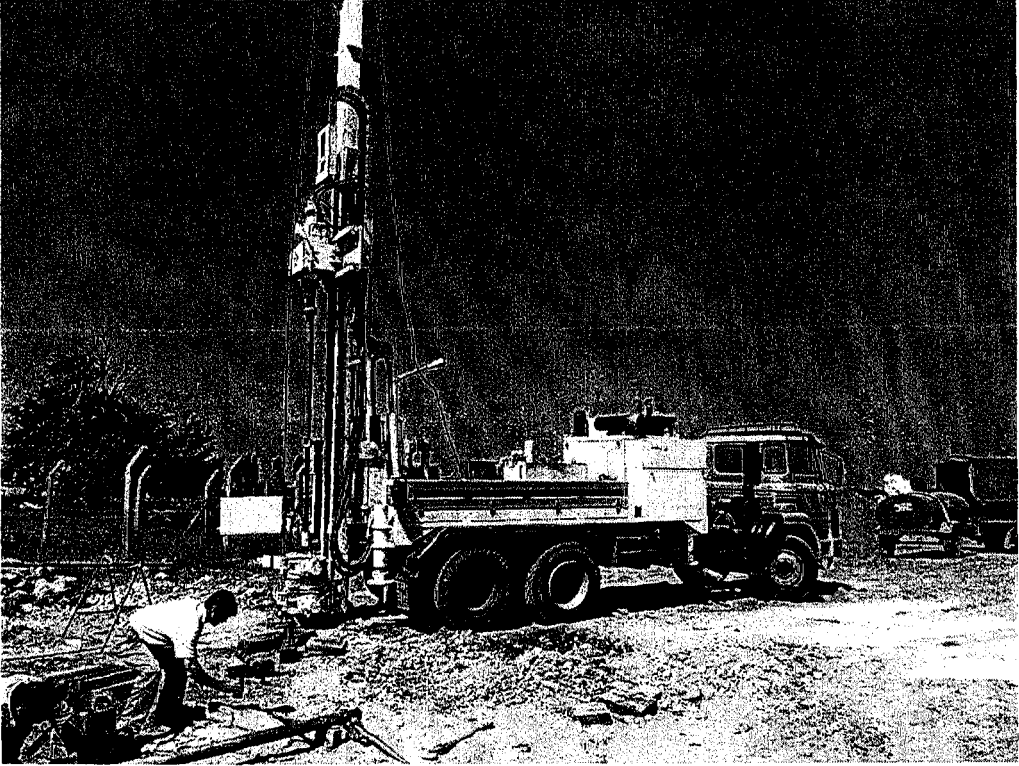


Şekil 4.20 Butler ve Hoy Metodu Metodu ile Kazık Göçme Yükü

5.ARAZİ UYGULAMALARI

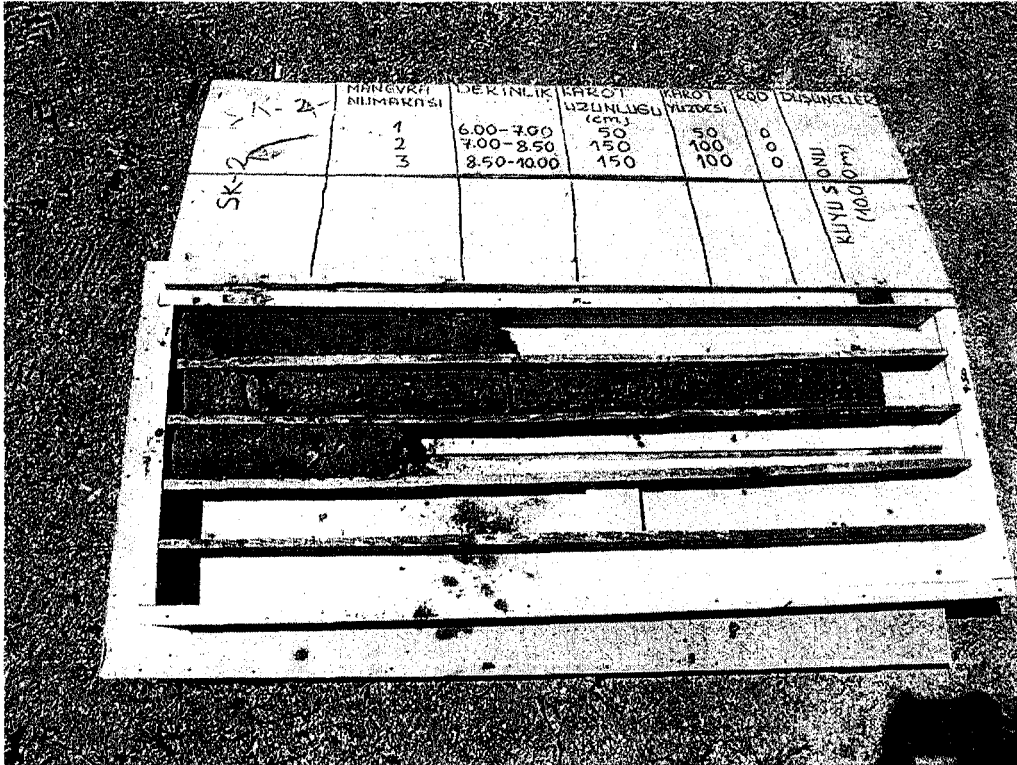
5.1 Zemin Etüdü

Temel altındaki zeminin tabakalaşma durumunu ve temel altı zemininin geoteknik özelliklerini belirlenmesi amacı ile üst yapının oturduğu alana, yapının genişliğine vs. bağlı olarak sondaj derinliği ve adedi belirlenerek zemin etüdü yapılır. Zemin hakkında yeterli bilgi elde edilmesiyle, yapılacak yapıların yerlerini ve boyutlarını güvenli ve ekonomik olarak belirlenebilir. Zeminin yapısının özelliklerinden dolayı yapılacak üst yapıların boyutları farklı olabilir; bu da yapı maliyetini etkiler. Değişik fonksiyonlu, tip ve çeşitleri olan sondaj makinelerinde arazi deneylerinden SPT deneyi, istenilen derinliklerden shelby tüpleri ile numune alımı yapılabilmektedir.



Şekil 5.1 Sondaj çalışması

Bu çalışmada yapılan sondaj ve jet grout kolonlarından alınan karot örnekleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de görülmektedir. Arazide yapılan sondaj çalışması sonucunda alınan numuneler ve shelby tüpleri muhafazalandıktan sonra etiketlenerek laboratuara götürülür. Laboratuar deneyleri sonucunda zemin profili çıkarılır. Zemin etüdü sonuçları Ekler’dedir.



Şekil 5.2 Karot örnekleri

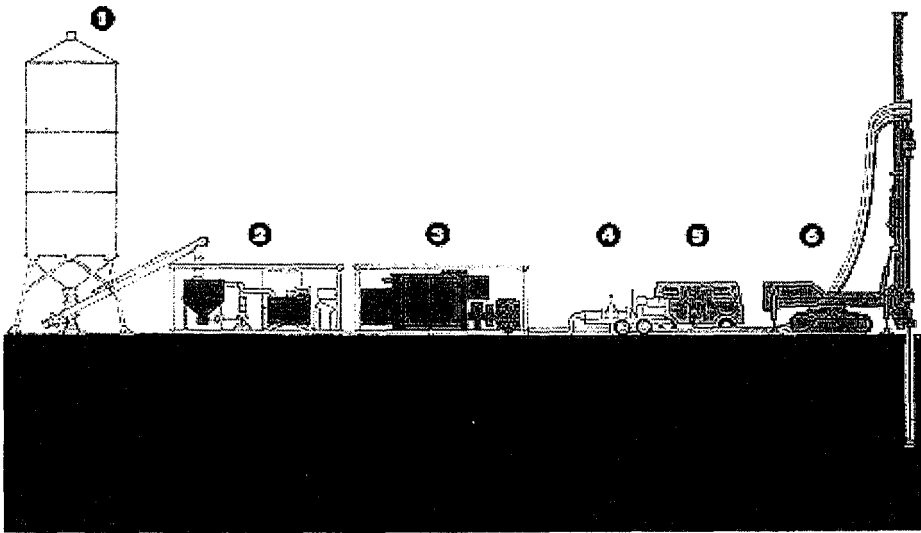
5.2 Jet Grouting

Zemine çimento harcı enjekte etmek suretiyle zemin iyileştirme yöntemlerinden olan jet grout yönteminde amaç, temellerin takviye edilmesi, oturma ve deformasyonların azaltılmasıdır.

5.2.1 Jet Grouting Yönteminde Kullanılan Ekipmanlar

Bu yöntemde kullanılan ekipmanlar şunlardır; (Şekil 5.3)

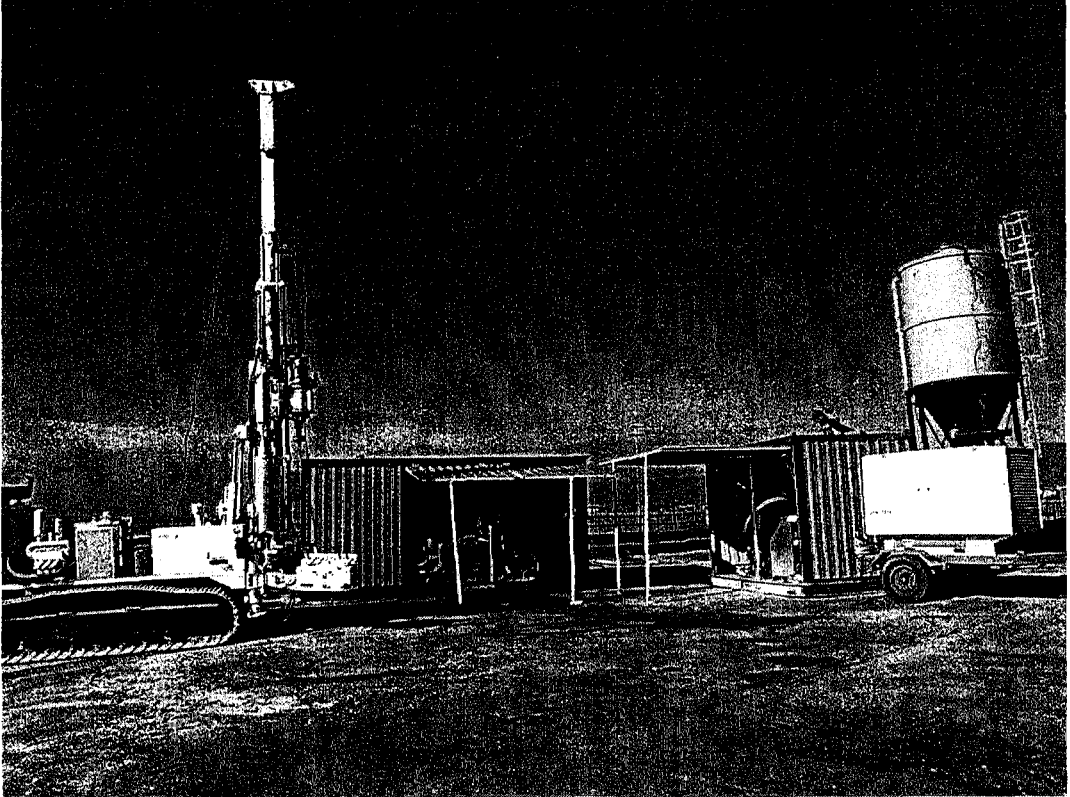
1. Çimento silosu
2. Karışım ünitesi
3. Yüksek basınç bloğu
4. Kompresör
5. Jeneratör
6. Delici



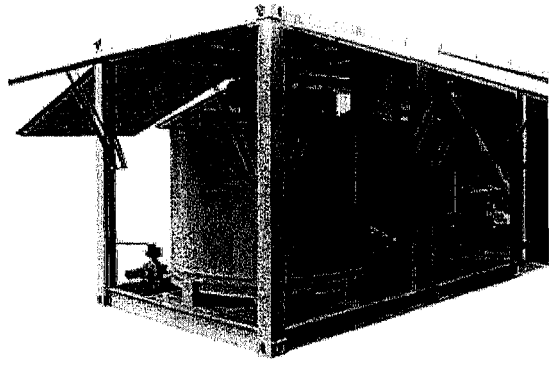
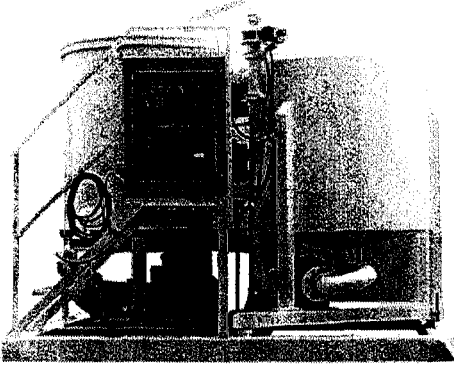
Şekil 5.3 Jet Grout yönteminde kullanılan ekipmanlar

Jet grout sistemi için önce dökme çimento kullanılan sistemlerde, silo içerisindeki çimento ve su karışım ünitesinde tartılır. Tartım işlemini takiben mikserde karışım işlemi yapılır. Karışımın homojen olması için karıştırma süresinin minimum 3 dakika olması tercih edilir. Mikserden sonra karışım dinlendiriciye aktarılır. Yüksek basınç bloğuna gelecek karışım hazırdır. Delicinin ucuna adapte edilen tijler ile projede öngörülen derinliğe düşük basınçlı su ile inilir. Bu derinlikte basınç bloğunda öngörülen bara ulaşılarak jet grout kolonu oluşturmaya başlanılır. Kolonun oluşmasında, delicinin tijleri döndürme hızı, tijlerin yukarıya çekme hızı, tijlerin ucuna adapte edilen nozulların delik çapları ve uygulanan basınç önemli faktörlerdendir.

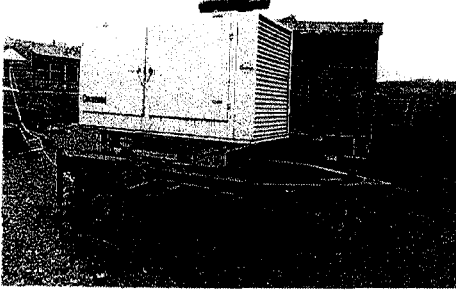
Bu sistemde kullanılan ekipmanlara bazı örnekler aşağıda şekillerde görülmektedir. Ekipmanların kullanım amaçlarına göre değişik tip ve kapasitede çeşitleri vardır.



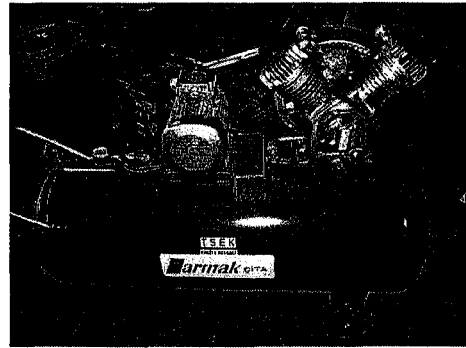
Şekil 5.4 Jet Grout Ünitesi



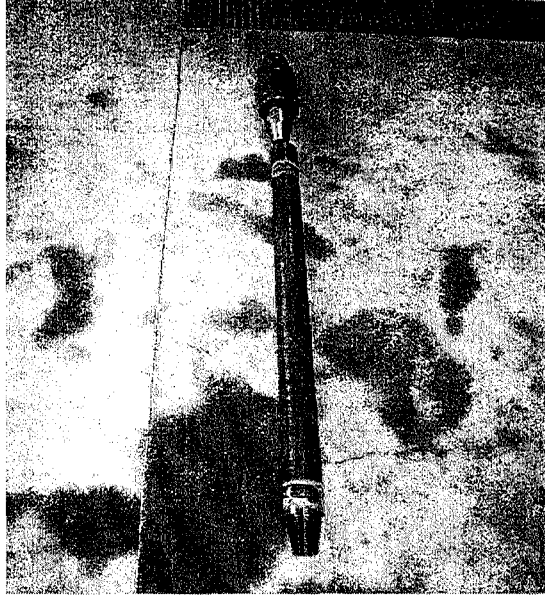
Şekil 5.5 Harç hazırlama üniteleri



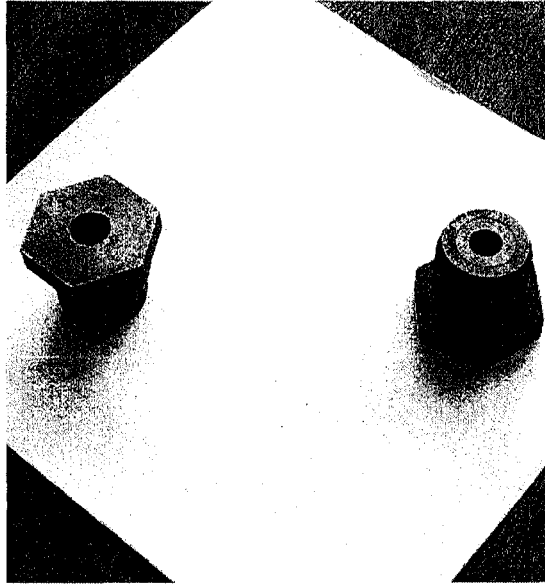
Şekil 5.6 Jeneratör



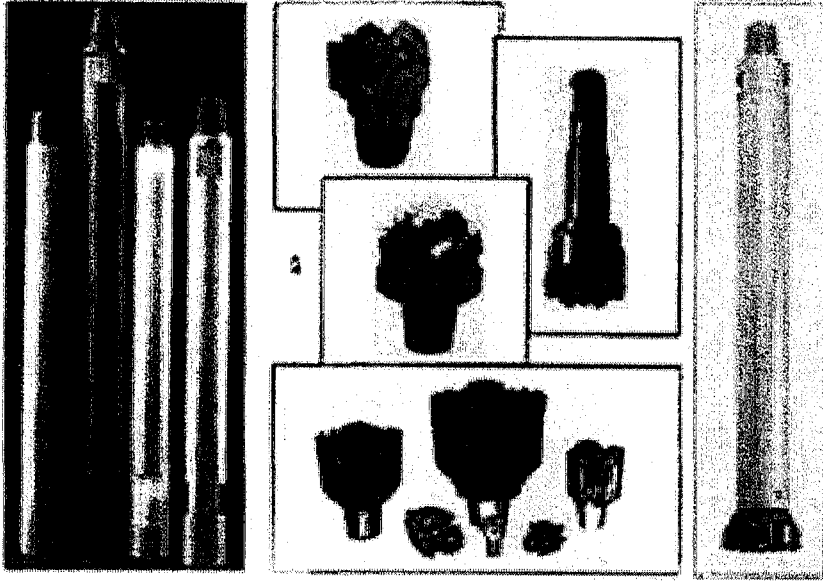
Şekil 5.7 Kompresör



Şekil 5.8 Yardımcı aparatlar (Su başlığı ve tij)



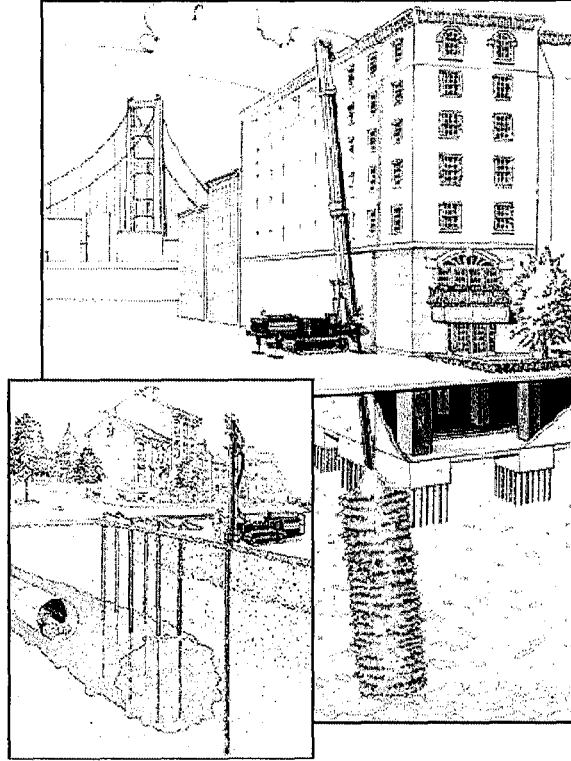
Şekil 5.9 Yardımcı aparatlar (Nozull)



Şekil 5.10 Yardımcı aparatlar (Elmas kesici uçlar ve tijler)

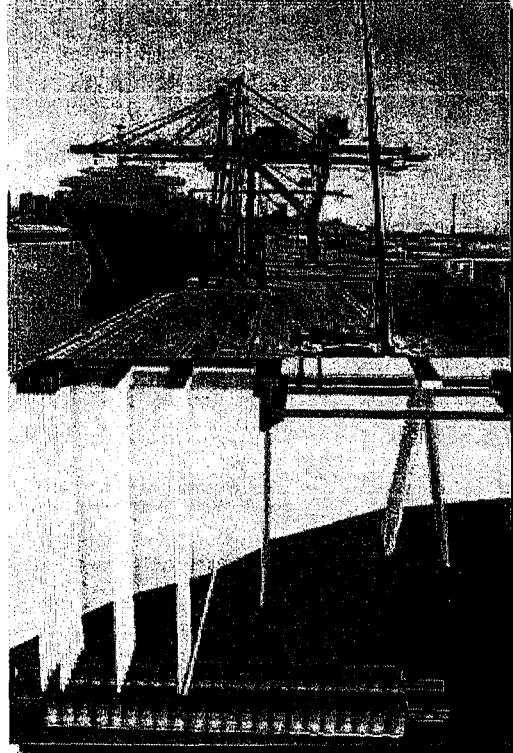
5.2.2 Şekiller ile Sistemin Kullanıldığı Yerler

Bina temel altı ve isale hatlarında ;



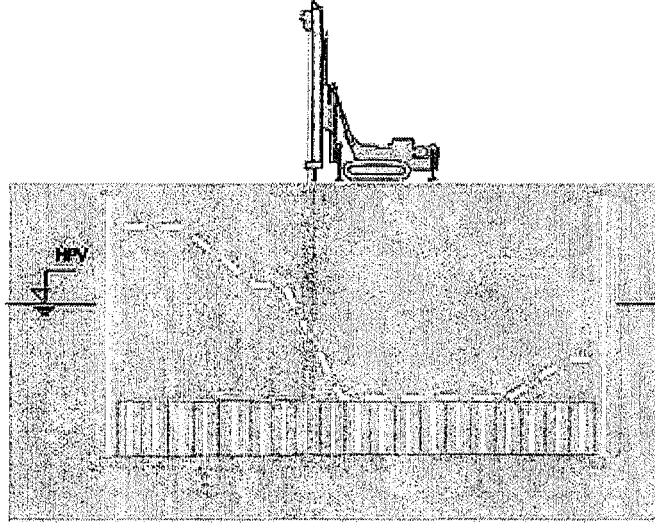
Şekil 5.11 Bina temel altı ve isale hatlarında Jet Grout yöntemi

Deniz yapılarında;



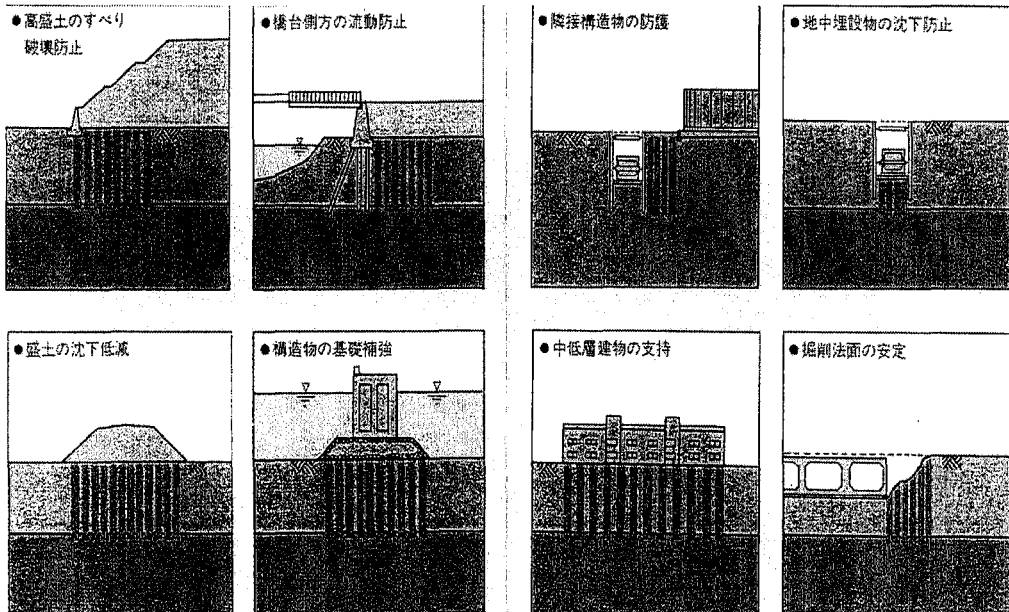
Şekil 5.12 Deniz yapılarında Jet Grout yöntemi [13]

Yer altı suyu geçirimsizlik perdesi oluşturmada;



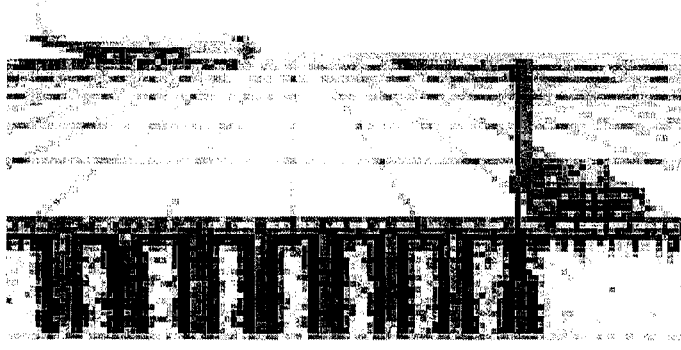
Şekil 5.13 Geçirimsizlik perdesinde
Jet Grout yöntemi

Şev stabilitesinde, destekli kazılarda, barajlarda, su alma yapılarında vs.;



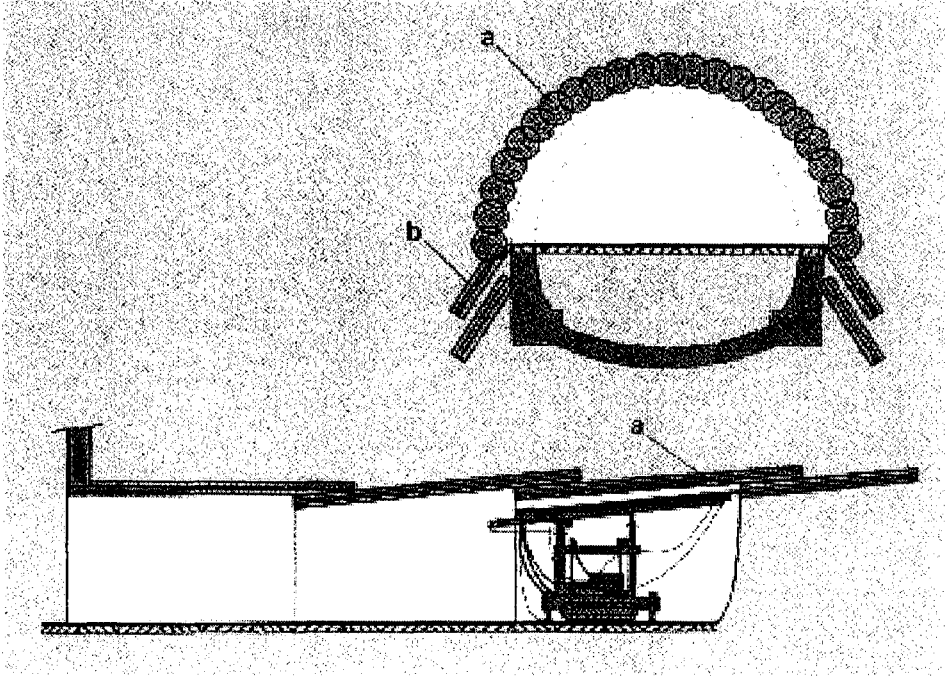
Şekil 5.14 Şev stabilitesi, destekli kazı, baraj, su alma yapıları vs.de
Jet Grout yöntemi

Hava limanı meydanlarında;



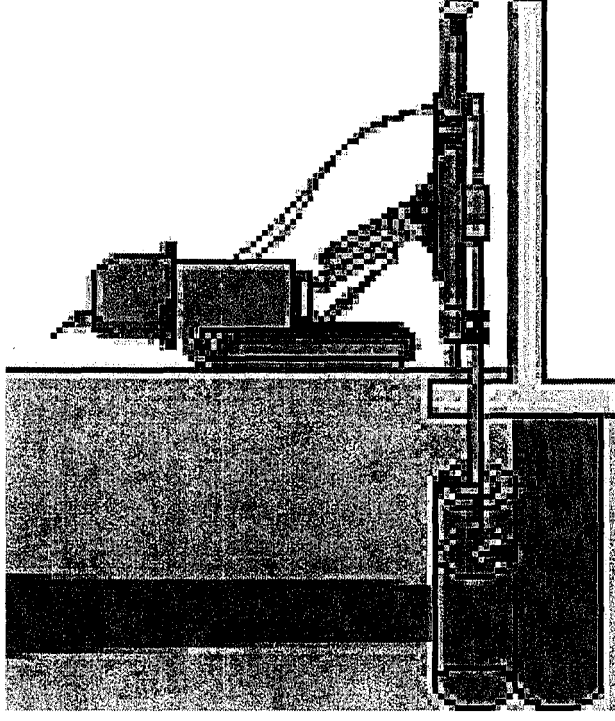
Şekil 5.15 Hava limanı meydanlarında Jet Grout yöntemi [14]

Tünellerde;



Şekil 5.16 Tünellerde Jet Grout yöntemi

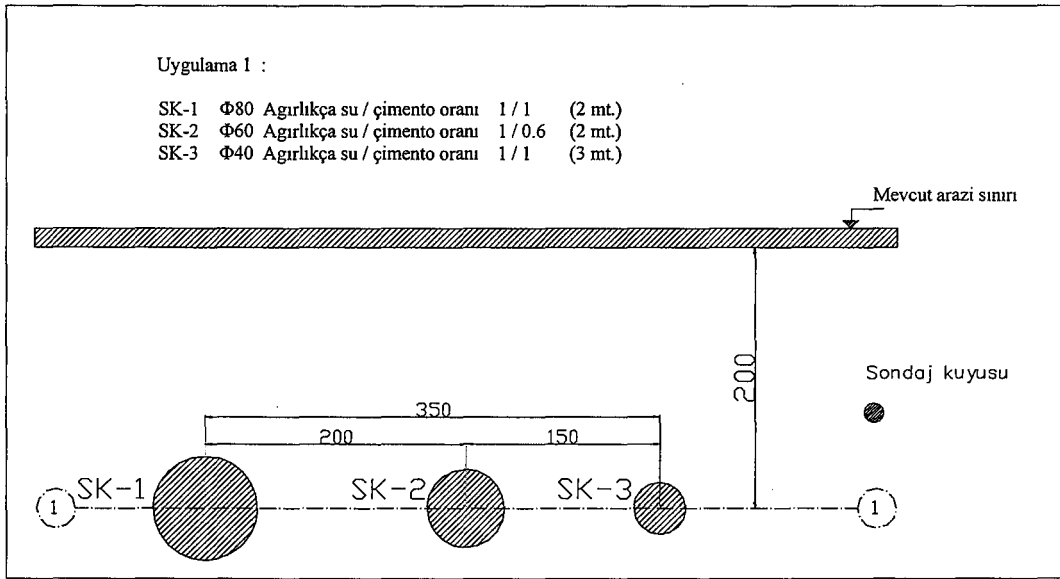
İstinat Yapılarında;



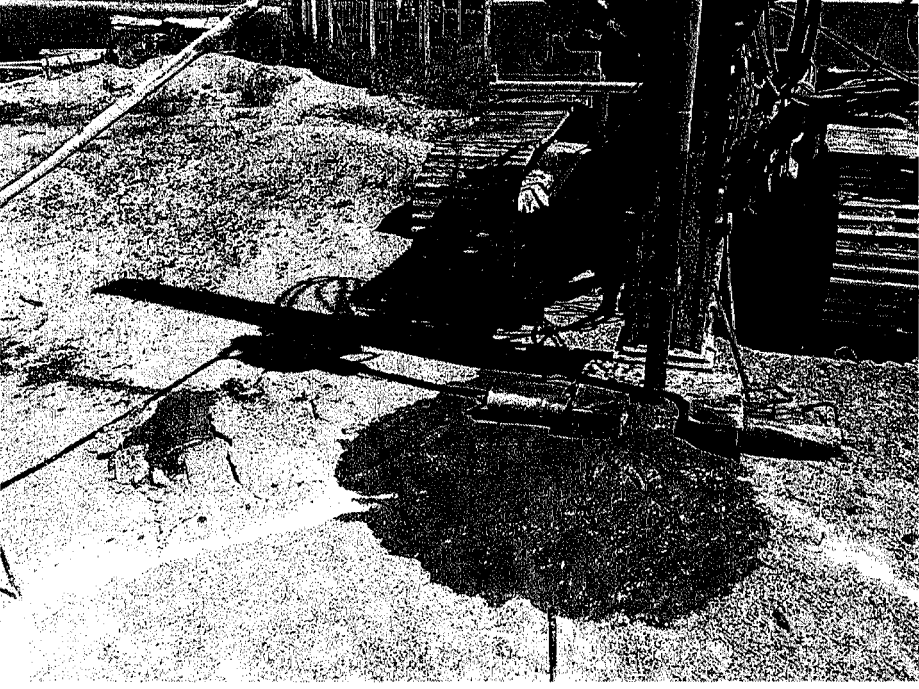
Şekil 5.17 İstinat yapılarında Jet Grout yöntemi

5.2.3 Tez Uygulaması

Bu çalışmanın ilk etabında su / çimento oranı ağırlıkça 1 / 1 olan, $\Phi 40$, $\Phi 60$ ve $\Phi 80$ ' lik jet grout kolonları oluşturulmaya çalışılmıştır. (Şekil 5.18) Şekillerden de görüleceği gibi arazide kolonların aplikasyonu yapılmıştır. Yapılan hafriyatın sonucunda, çap kontrolü yapılarak istenilen çaplara ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca bu kolonlardan alınan karot numunelerinde yapılan deneyler sonucunda, kolonların taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.



Şekil 5.18 I.Etap Jet Grout Kolonu Aplikasyon Planı



Şekil 5.19 Jet Grout kolonlarını oluşturma aşaması



Şekil 5.20 Jet Grout kolonlarının hafriyat öncesi



Şekil 5.21.a Jet Grout kolonlarının Hafriyat sonrası görünümü

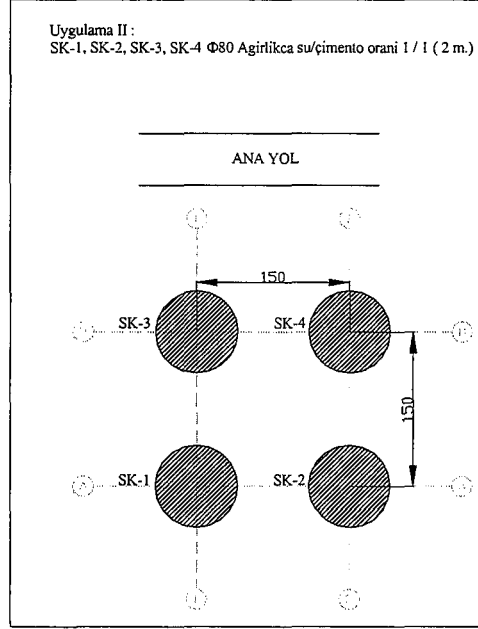


Şekil 5.21.b $\Phi 60$ Jet Grout kolonu
hafriyat sonrası görünümü



Şekil 5.21.c $\Phi 40$ Jet Grout kolonu
hafriyat sonrası görünümü

Çalışmanın ikinci etabında; ağılıkça aynı oranda (1 / 1) 4 adet $\Phi 80$ çapında jet grout kolonları oluşturulmuştur. Şekil 5.22’de aplikasyon planı görülen bu kolonlar, 400 Bar basınçta, 200 devir / dakika döndürme hızı ile imal edilmiştir.



Şekil 5.22 II. Etap Jet Grout Kolonu Aplikasyon Planı



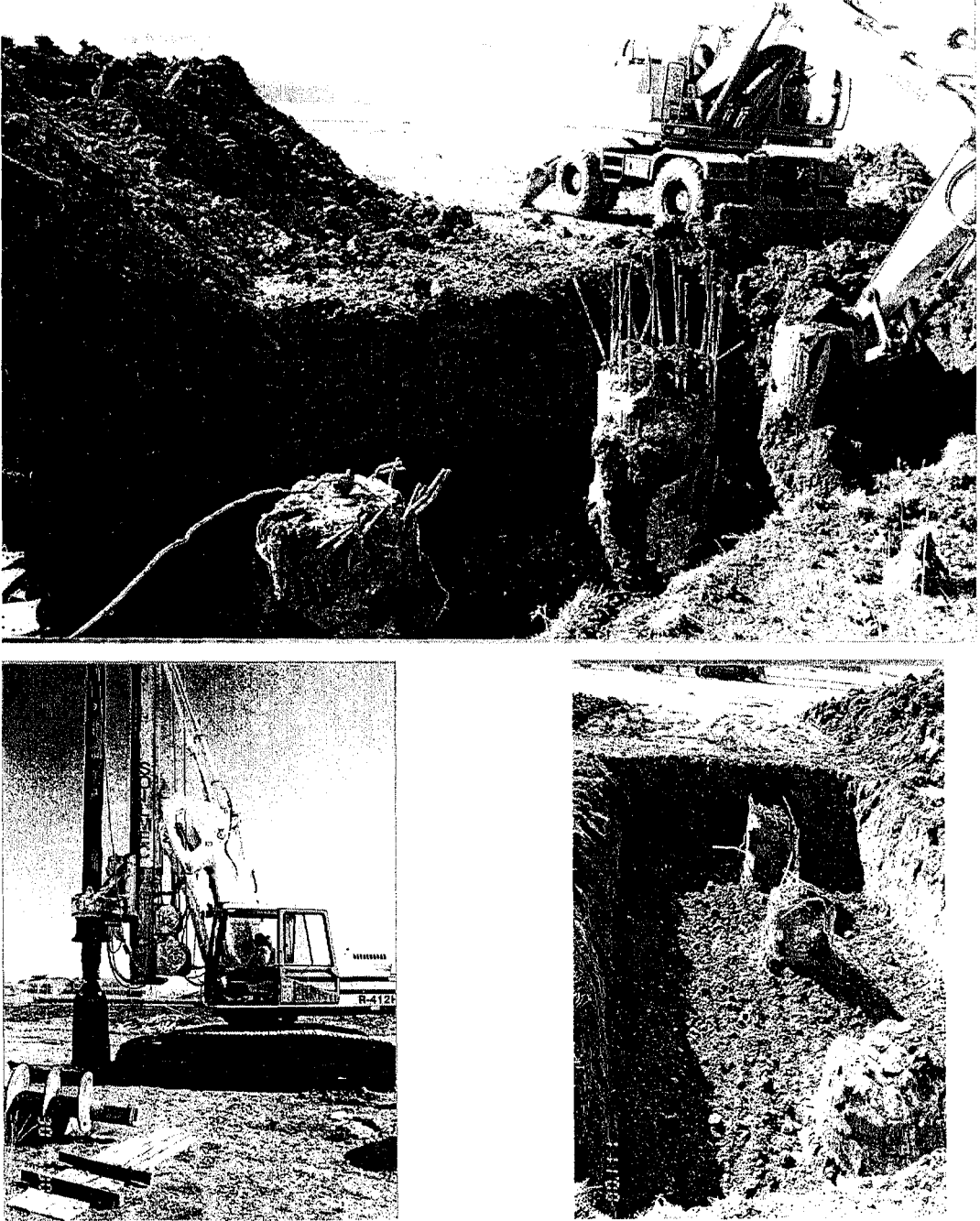
Şekil 5.23.a $\Phi 80$ Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü



Şekil 5.23.b $\Phi 80$ Jet Grout kolonu hafriyat sonrası görünümü

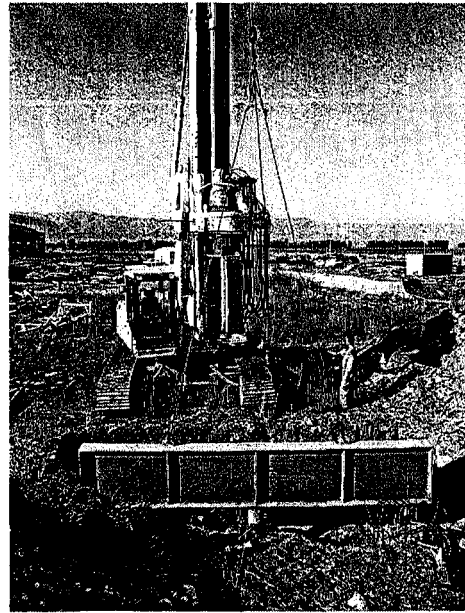
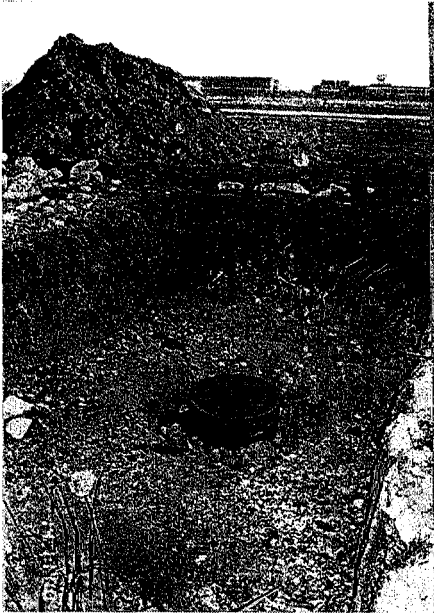
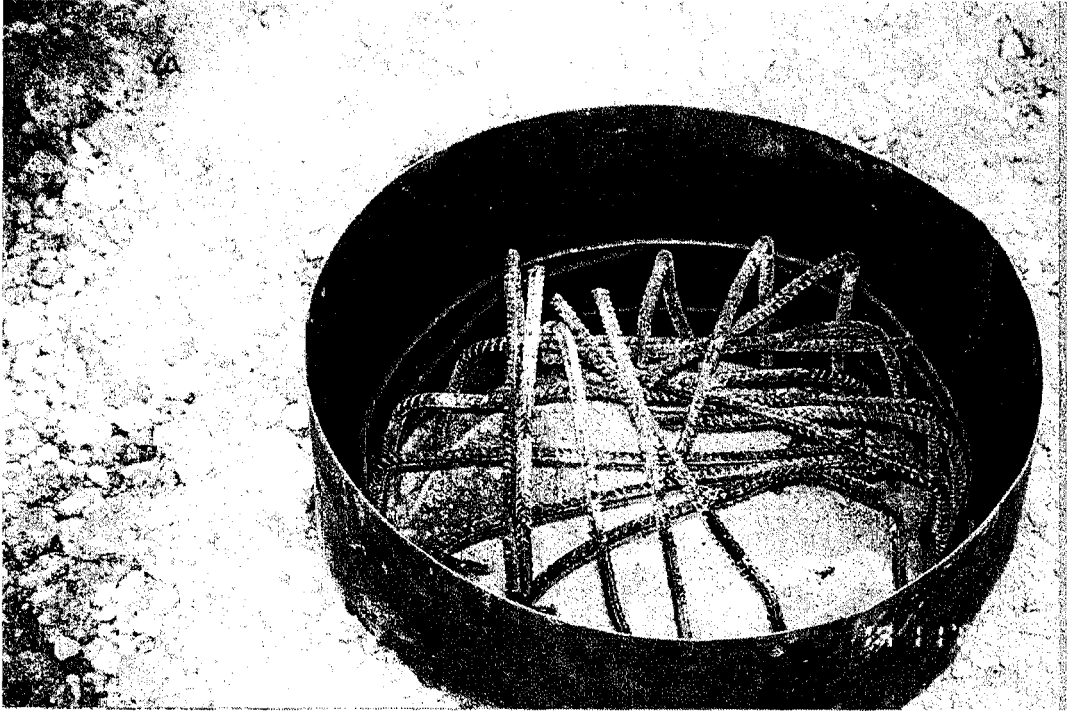
5.3 Kazık Yükleme Deneyi

6000 kişilik kapalı spor salonu kazık temel uygulaması sonunda, resimlerden de görüldüğü üzere, kazık yükleme deneyi için kazıklar imal edilmiştir. Bu kazıklar $\Phi 80$ çapında ve 15 m uzunluğundadır. İmal edilen test kazıklarının hafriyatı tamamlandıktan sonra kazık başları kırılmıştır.(Şekil 5.24) Kazığın içindeki donatı miktarı ve de bağlanması Şekil 5.25' de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.24 Test kazıkları imali ve hafriyatı

Test kazığı üst başlıkları, Şekil 5.26'dan da görüldüğü gibi, filiz donatıları kıvrılarak beton dökümü tamamlanmıştır.



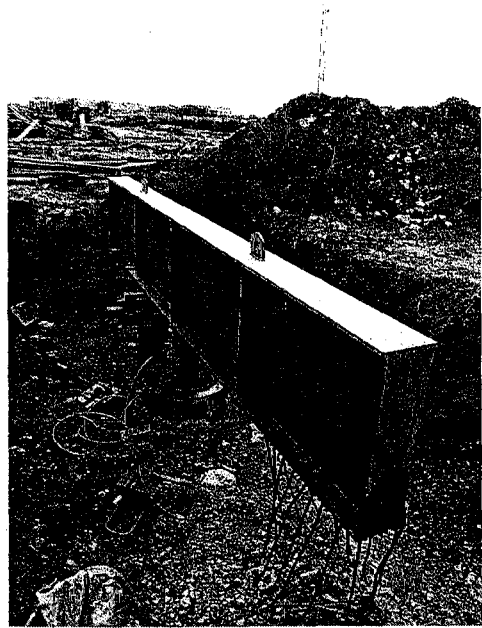
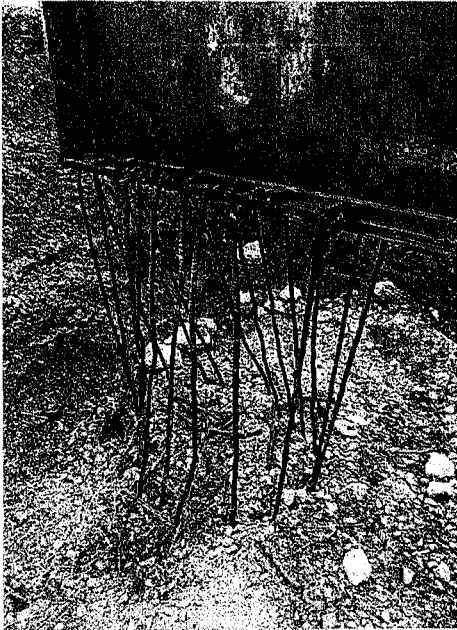
Şekil 5.26 Test kazık üst başlığı imali

Şekil 5.27' den de görüldüğü üzere kazık yükleme deneyi iki farklı kazığa uygulanmıştır.



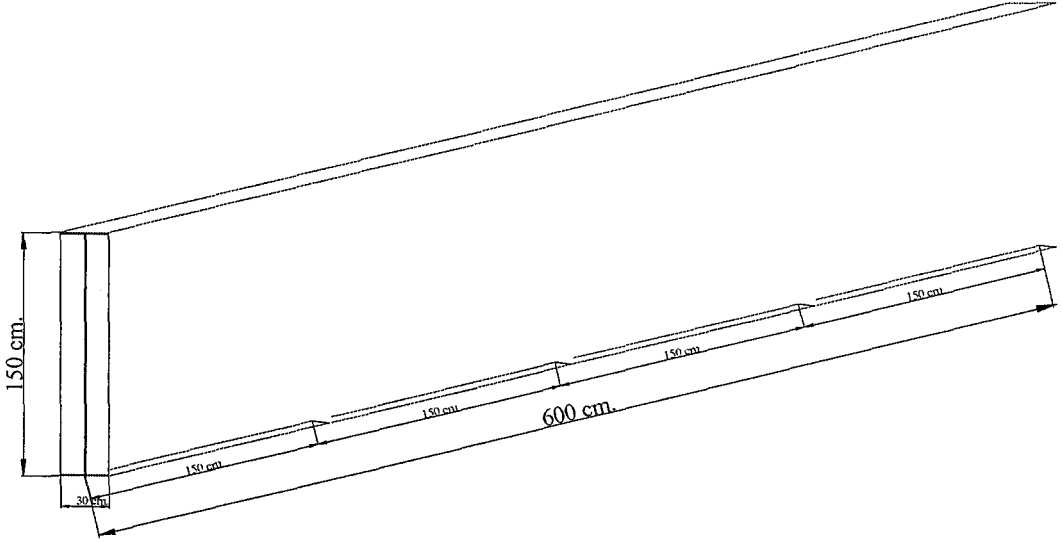
Şekil 4.27 Test Kazıkları

Reaksiyon kirişi, ankraj kazıklarına Şekil 5.28'de görüldüğü gibi filiz donatıları kaynatılarak mesnetlenmiştir.



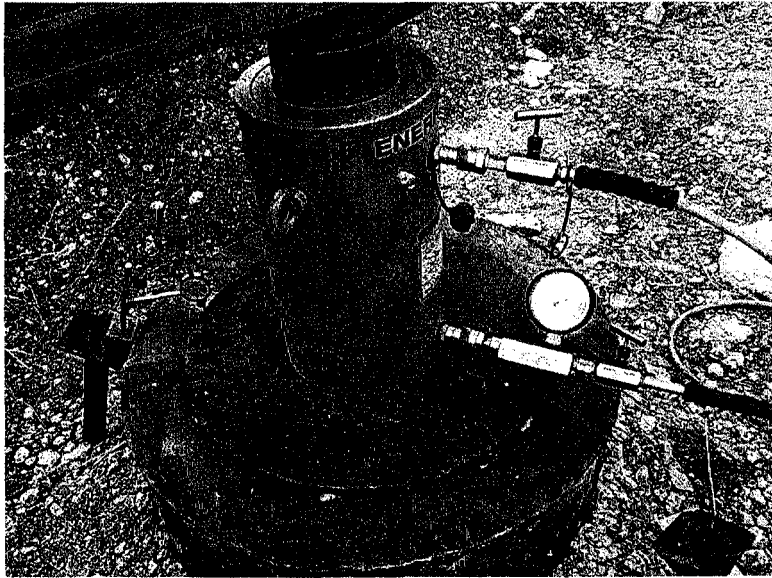
Şekil 5.28 Reaksiyon kirişinin test kazıklarına montajı

Bu testte kullanılan reaksiyon kirişinin ebatları aşağıdaki Şekil 5.29'da verilmiştir. Bu kirişe basınç uygulanacak kiriş orta noktasına piston milini eksenlemesi amacı ile flanşlı aparat kaynatılmıştır.



Şekil 5.29 Reaksiyon kirişi detayı

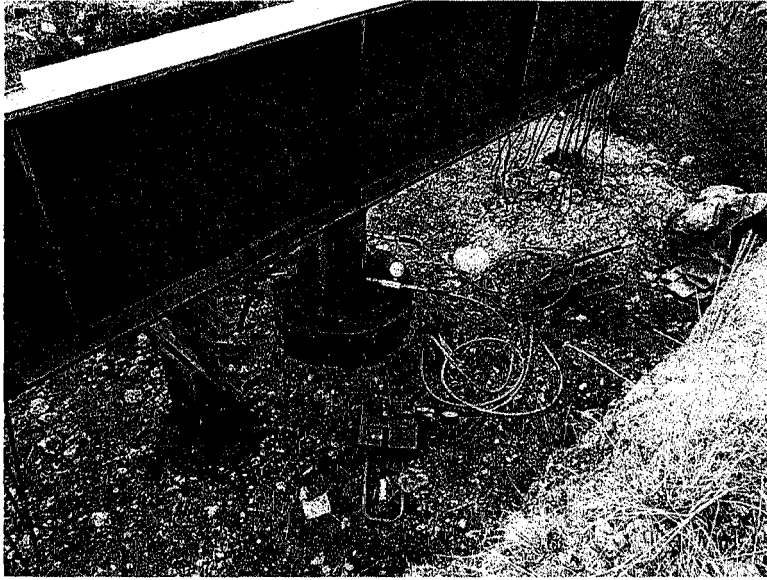
Deneyde kullanılan hidrolik pompa, çift tesirli, 700 barda 200 ton yükleme kapasitelidir. Bağlantı aparatlarından termoplastik hortumlar 4 : 1 emniyet faktörüne sahip olup patlama basıncı 2800 bardır.



Şekil 5.30 Deney basınç düzeneği

Şekil 5.30'dan da görülen kazık üstüne konan saç levhaların amacı, uygulanan yükün kazığa üniform bir şekilde yayılmasını sağlamaktır. Kazık başına konacak sacın basınç altında deforme olmaması gerekir. Kazıkta meydana gelen oturmaları ölçmek için 0.01 hassasiyetli deformasyon saati yerleştirilir.

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra hidrolik pompaya manuel yükleme yapılır.(Şekil 5.31) Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta seçilen kazık yükleme deneyi yöntemini uygulamadan önce, ankraj kazıklarının donatıları ile reaksiyon kirişinin arasındaki boşluğu almaktır. Bu boşluk kaldırıldıktan sonra yöntem uygulamaya hazırdır.



Şekil 5.31 Deney düzeneği

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra bu çalışmada kazık ASTM D 1143-81 şartnamesine göre yavaş adımlı yükleme deneyi yöntemi ile yüklenmiştir.

6.UYGULAMA SONUÇLARI

6.1 Zemin Etüdü Sonuçları

Bu çalışmada yapılan uygulamaların deney sonuçları Ekler'dedir. SK 1 sondaj kuyusuna ait tane çapı dağılımı Tablo Ek.1'de verilmiştir. Bu sondaj kuyusundan alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda zeminin 0.00-6.00 m. arası Kumlu, Siltli Kil (CH), 6.00-7.50 m. arası Killi Silt (ML), 7.50-8.00 m. arası Killi, Çakıllı Kum (SC), olduğu belirlenmiştir [1],[3].

SK 1 sondaj kuyusuna ait Atterberg kıvam limitleri ve tabii su muhtevası değerleri Tablo Ek.2'de verilmiştir. Kıvam limitlerine göre zeminin, 3.00-3.30 m.'de ve 6.00-6.50 m.'de Orta Katı (Plastik) olduğu belirlenmiştir [4].

SK 1 sondaj kuyusuna ait serbest basınç değeri Tablo Ek.3'de verilmiştir. Zeminin serbest basınç değeri 6.00-6.50 m.'de $q_{umax} = 0.700 \text{ kg. / cm.}^2$ ve drenajsız kohezyonu (drenajsız kayma mukavemeti) $c_u = 0.350 \text{ kg. / cm.}^2$ olarak belirlenmiştir. Serbest basınç deneyine göre zeminin 6.00-6.50 m.de Orta Katı olduğu belirlenmiştir [5].

SK 1 sondaj kuyusuna ait standart penetrasyon deney sonuçları Tablo Ek.4'de verilmiştir. Buna göre zeminin 1.50-1.95 m.'de Orta Katı, 3.50-3.95 m.'de Yumuşak, 4.50-4.95 m.'de Orta Katı, 6.50-6.95 m.'de Katı, 7.50-7.95 m.'de Orta Sıkı olduğu belirlenmiştir [3].

SK 1 sondaj kuyusuna ait konsolidasyon deneyi sonuçları Tablo Ek.5'de verilmiştir. Bu kuyuda yapılan konsolidasyon deneyinden 6.00-6.50 m.'de sıkışma indisi $c_c = 0.273$, kabarma indisi $c_s = 0.039$, ön konsolidasyon basıncı 1.0 kg. / cm.^2 ve boşluk oranı 0.906 olarak belirlenmiştir [2], [3].

SK 1 sondaj kuyusuna ait üç eksenli basınç deney sonuçları Tablo Ek.6'da verilmiştir. Zeminin drenajsız kohezyonu 6.00-6.50 m.'de $c_u = 0.150 \text{ kg. / cm.}^2$ ve içsel sürtünme açısı $\phi = 8.42^\circ$ olarak belirlenmiştir. Zemin profili Şekil Ek.1'dedir.

SK 2 sondaj kuyusuna ait tane çapı dağılımı Tablo Ek.1'de verilmiştir. Bu sondaj kuyusundan alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda zeminin 0.00-2.00 m. arası Killi Kum (SC), 2.00-3.50 m. arası Killi Silt (MH), 3.50-4.00 m. arası Siltli Kil (CH), olduğu belirlenmiştir [1], [3].

SK 2 sondaj kuyusuna ait Atterberg kıvam limitleri ve tabii su muhtevası değeri Ek Tablo-2'de verilmiştir. Kıvam limitlerine göre zeminin, 3.00-3.50 m.'de Katı olduğu belirlenmiştir [4].

SK 2 sondaj kuyusuna ait serbest basınç değeri Ek Tablo-3'de verilmiştir. Zeminin serbest basınç değeri 3.00-3.50 m.'de $q_{umax} = 1.370 \text{ kg. / cm.}^2$ ve drenajsız kohezyonu (drenajsız kayma mukavemeti) $c_u = 0.690 \text{ kg. / cm.}^2$ olarak belirlenmiştir. Serbest basınç deneyine göre zeminin 3.00-3.50 m.de Katı olduğu belirlenmiştir [5].

SK 2 sondaj kuyusuna ait standart penetrasyon deney sonuçları Ek Tablo-4'de verilmiştir. Buna göre zeminin 1.50-1.95 m.'de Gevşek, 3.50-3.95 m.'de Orta Katı, olduğu belirlenmiştir [3].

SK 2 sondaj kuyusuna ait konsolidasyon deneyi sonuçları Ek Tablo-5'de verilmiştir. Bu kuyuda yapılan konsolidasyon deneyinden 3.00-3.50 m.'de sıkışma indisi $c_c = 0.179$, kabarma indisi $c_s = 0.023$, ön konsolidasyon basıncı $0.700 \text{ kg. / cm.}^2$ ve boşluk oranı 0.256 olarak belirlenmiştir [2], [3].

Zemin profili Şekil Ek.2'dedir.

SK 3 sondaj kuyusuna ait tane çapı dağılımı Tablo Ek.1'de verilmiştir. Bu sondaj kuyusundan alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda zeminin 0.00-4.00 m. arası Kumlu, Killi Silt (ML), olduğu belirlenmiştir [1], [3].

SK 3 sondaj kuyusuna ait Atterberg kıvam limitleri ve tabii su muhtevası değeri Ek Tablo-2'de verilmiştir. Kıvam limitlerine göre zeminin, 3.00-3.50 m.'de Orta Katı (Aşırı Konsolide) olduğu belirlenmiştir [4].

SK 3 sondaj kuyusuna ait serbest basınç değeri Ek Tablo-3'de verilmiştir. Zeminin serbest basınç değeri 3.00-3.50 m.'de $q_{umax} = 0.870 \text{ kg. / cm.}^2$ ve drenajsız kohezyonu (drenajsız kayma mukavemeti) $c_u = 0.440 \text{ kg. / cm.}^2$ olarak belirlenmiştir. Serbest basınç deneyine göre zeminin 3.00-3.50 m.de Orta Katı olduğu belirlenmiştir [5].

SK 3 sondaj kuyusuna ait standart penetrasyon deney sonuçları Ek Tablo-4'de verilmiştir. Buna göre zeminin 1.50-1.95 m.'de Orta Katı, 3.50-3.95 m.'de Yumuşak, olduğu belirlenmiştir [3].

Zemin profili Şekil Ek.3'tedir.

SK 4 sondaj kuyusuna ait tane çapı dağılımı Tablo Ek.1'de verilmiştir. Bu sondaj kuyusundan alınan zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda zeminin 0.00-2.00 m. arası Kumlu, Siltli Kil (CL), 2.00-3.50 m. arası Siltli Kil (CL), 3.50-4.00 m. arası Kumlu, Siltli Kil (CL), olduğu belirlenmiştir [1], [3].

SK 4 sondaj kuyusuna ait Atterberg kıvam limitleri ve tabii su muhtevası değeri Ek Tablo-2'de verilmiştir. Kıvam limitlerine göre zeminin, 3.00-3.50 m.'de Orta Katı (Plastik) olduğu belirlenmiştir [4].

SK 4 sondaj kuyusuna ait serbest basınç değeri Ek Tablo-3'de verilmiştir. Zeminin serbest basınç değeri 3.00-3.50 m.'de $q_{umax} = 0.550 \text{ kg. / cm.}^2$ ve drenajsız kohezyonu (drenajsız kayma mukavemeti) $c_u = 0.270 \text{ kg. / cm.}^2$ olarak belirlenmiştir. Serbest basınç deneyine göre zeminin 3.00-3.50 m.de Orta Katı olduğu belirlenmiştir [5].

SK 4 sondaj kuyusuna ait standart penetrasyon deney sonuçları Ek Tablo-4'de verilmiştir. Buna göre zeminin 1.50-1.95 m.'de Orta Katı, 3.50-3.95 m.'de Orta Katı, olduğu belirlenmiştir [3].

SK 4 sondaj kuyusuna ait konsolidasyon deneyi sonuçları Ek Tablo-5'de verilmiştir. Bu kuyuda yapılan konsolidasyon deneyinden 3.00-3.50 m.'de sıkışma indisi $c_c = 0.142$, kabarma indisi $c_s = 0.113$, ön konsolidasyon basıncı $0.490 \text{ kg. / cm.}^2$ ve boşluk oranı 0.248 olarak belirlenmiştir [2], [3].

Zemin profili Şekil Ek.4'dedir.

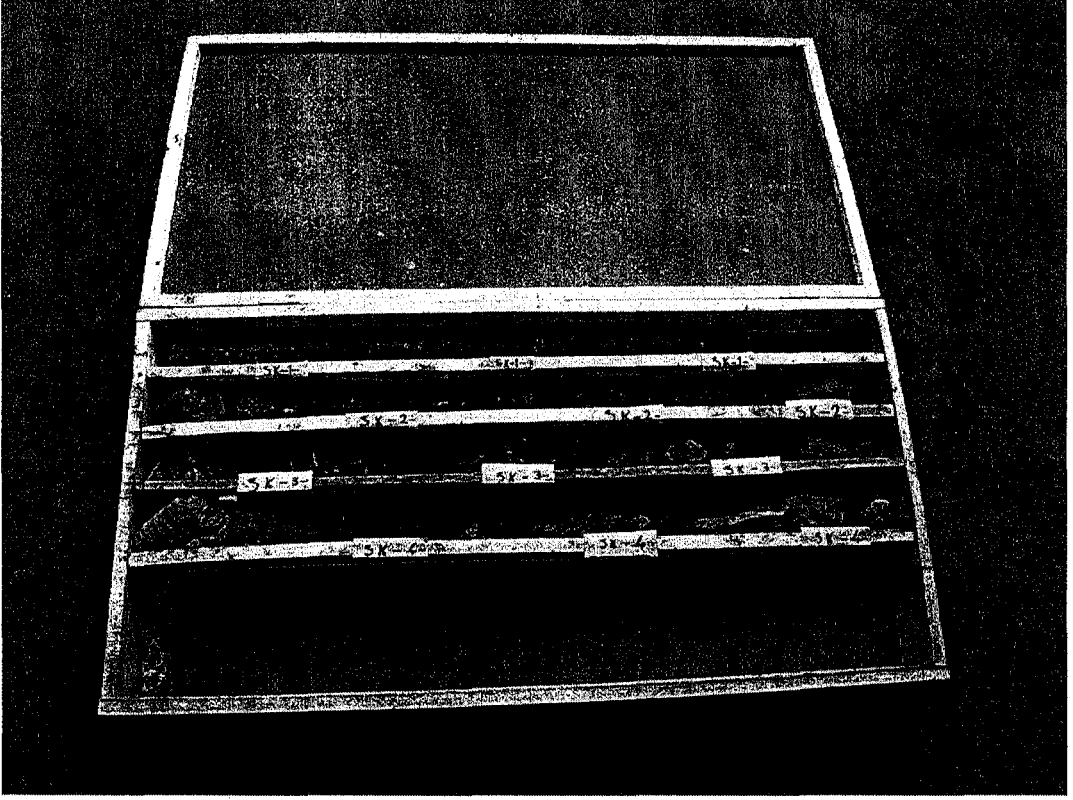
6.2 Jet Grout Yöntemi Uygulama Sonuçları

Bu çalışmanın ilk etabında, Jet Grout kolonlarının, 400 Bar basınçta, ağırlıkça su / çimento oranı 1 / 1 olarak imali sonucunda yapılan çap kontrolünde istenilen çapa ulaşıldığı tespit edilmiştir. (Şekil 5.21.a – b – c)

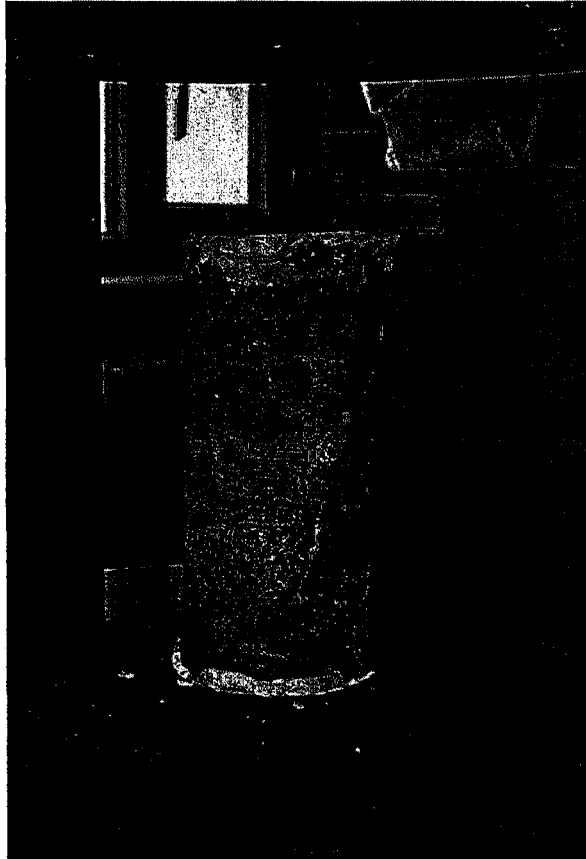
İkinci etapta yapılan çalışmada, birinci etaptaki benzer özelliklerde oluşturulan Jet Grout kolonlarında yapılan kontroller neticesinde, istenilen çaplara ulaşıldığı ve de alınan karot numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kolonların taşıma kapasiteleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Hesap ayrıntıları Ekler’dedir.



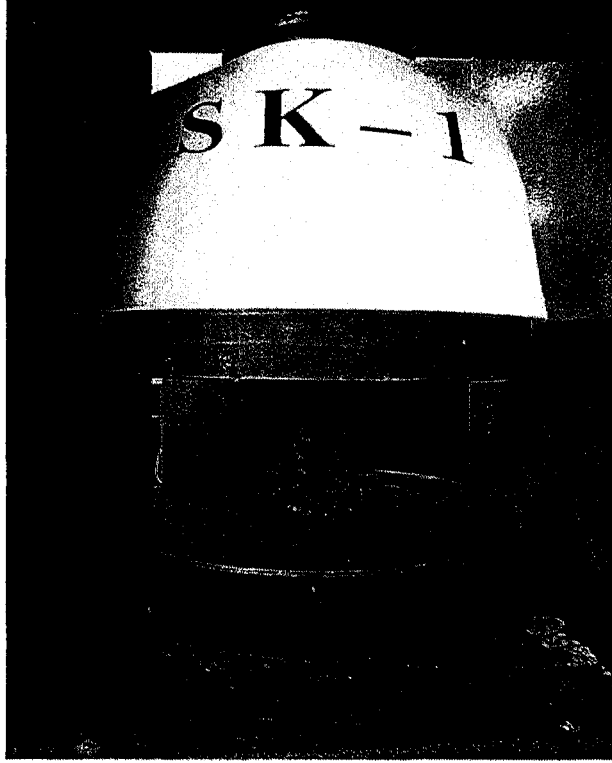
Şekil 6.1 II. Etap Jet Grout Kolonlarından Alınan Karot Numuneler



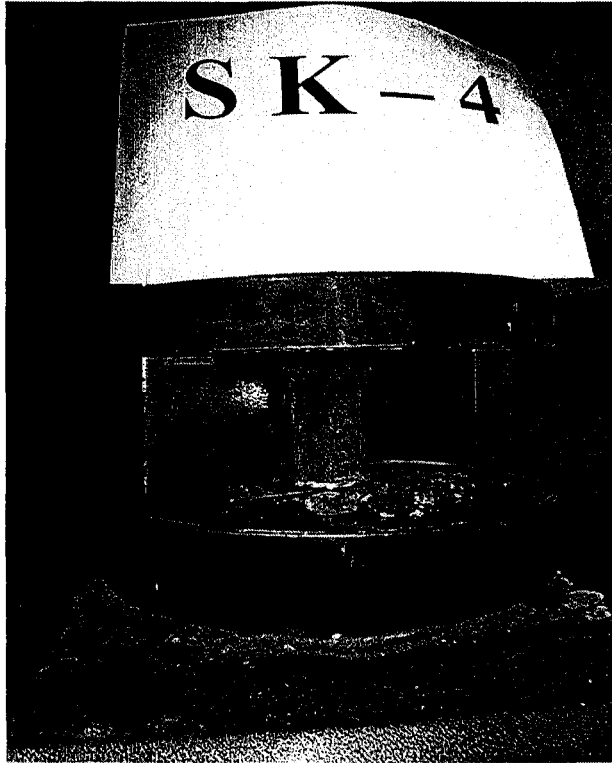
Şekil 6.2 II. Etap Jet Grout Kolonlarından Alınan Karot Numuneler



Şekil 6.3 SK 4 Karot Numunesinin Kırılma Sonrası



Şekil 6.4 SK 1 Karot Numunesinin Kırılması



Şekil 6.5 SK 4 Karot Numunesinin Kırılması

Çizelge 6.1 II. Etap Jet Grout Kolonları Taşıma Kapasiteleri

Sıra No :	Nozzle Çapı (mm.) *2	Su / Çimento Oranı(Ağırlıkça %)	Uygulama Basıncı (Bar)	Kolon Taşıma Kapasitesi (σ , kg/cm ²)
SK 1 a	2.2	1	400	54.08
SK 1 a	2.2	1	400	70.14
SK 4	2.2	1	400	77.98

6.3 Kazık Yükleme Deneyi Sonuçları

I. Etap Kazık Yükleme Deneyi

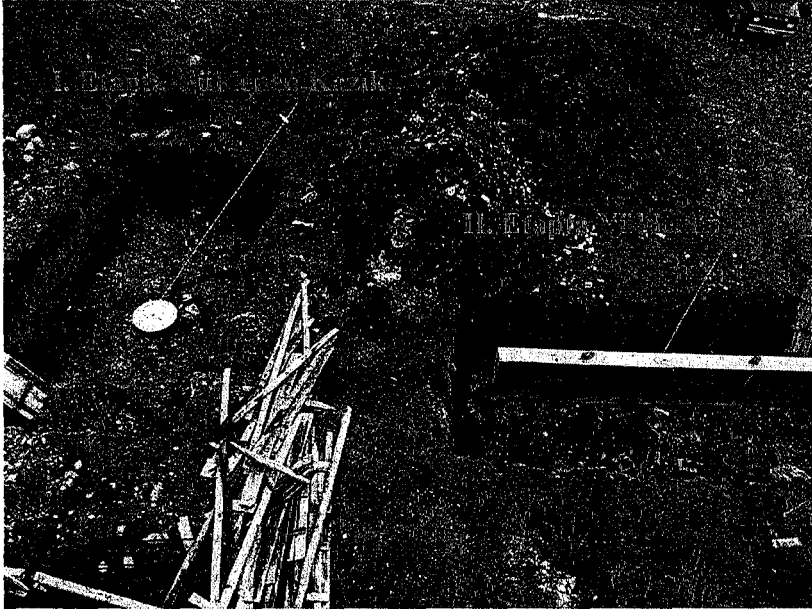
Çizelge 6.2 I. Etap Yükleme Deneyi Dataları

Sıra No :	Yük (Bar)	Yük (ton)	Deformasyon (mm.)		
			Δ_1	Δ_2	Δ_{ort}
1	0	0	0	0	0
2	113	32.3	1.485	1.290	1.388
3	200	57.1	1.600	1.820	1,623
4	300	85.7	1.615	2.090	1,793
5	400	114.3	1.660	2.200	1,930
6	500	142.8	1.960	2.970	2,465
7	400	114.3	1.950	2.950	2,450
8	300	85.7	1.930	2.880	2,405
9	200	57.1	1.900	2.850	2,375
10	100	28.6	1.900	2.840	2,370
11	250	71.4	1.940	2.900	2,420

II. Etap Kazık Yükleme Deneyi

Çizelge 6.3 II. Etap Yükleme Deneyi Dataları

Sıra No :	Yük (Bar)	Yük (ton)	Deformasyon (mm.)
			Δ_{ort}
1	0	0	0
2	100	28.6	0,57
3	200	57.1	2,39
4	300	85.7	2,73
5	400	114.3	4,23
6	500	142.8	8,625
7	600	171.4	14,75
8	500	142.8	14,73
9	400	114.3	14,71
10	300	85.7	13,61
11	200	57.1	13,35
12	100	28.6	12,88
13	250	71.4	12,97



Şekil 6.6 Yükleme Deneyi yapılan kazıklar

I. ve II. Etaplarda yüklenen basınç kazıklarının ve ankraj kazıklarının; ortalama kazık boyu 15 m. ve kazık çapı 80 cm.' dir. Kazık proje yükü 80 ton ve test yükü olarak 160 ton uygulanmıştır.

Kazık test yükü, reaksiyon kirişine hidrolik pompa ile manuel yüklenmiştir. Deney esnasında kazığın düşey hareketi, kazık başına sabitlenmiş, sistemden bağımsız, 0.01 hassasiyetli deformasyon saatleri ile belirlenmiştir.

Deney sonucunda elde edilen dataların değerlendirmesi, De Beer (1967), Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963), Chin (1970, 1971) ve Mazurkiewich (1972) yöntemleri ile yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları Çizelge 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Çeşitli Yöntemlere Göre Kazık Göçme Yüğü Sonuçları

Yöntem	I. Etap Kazık Göçme Yüğü Q_u (kN.)	II. Etap Kazık Göçme Yüğü Q_u (kN.)
De Beer (1967)	2800	1700
Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963)	267	1528
Chin (1970, 1971)	209	2066
Mazurkiewich (1972)	-	1896
Statik kazık formülleri	1330	

7.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, zemin etüdünün gerekliliği, etüdler sonucunda taşıma kapasitesi düşük zeminlerin iyileştirme ve güçlendirme yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Zemin iyileştirme yöntemlerinden Jet Enjeksiyon (Jet Grouting) sistemi anlatılmış ve bu sistemin arazi uygulaması yapılmıştır. Zemin güçlendirme yöntemleri ve yerinde dökme kazıklar hakkında detaylı bilgiler anlatılmış ve kazık yükleme deneyleri yapılmıştır.

Zemin iyileştirme yöntemlerinden jet grouting yöntemi, ülkemizde yeni uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında; hesaplamalar sonucunda istenilen çap ve derinlikte jet grout kolonu oluşturmak için ekipte çalışanların tecrübeli ve konu hakkında bilgili olması, aynı zamanda maksimum dikkati gereklidir. Yöntem, yüksek basınçta (400-600 bar) uygulandığından insan ve çevre sağlığı için gerekli emniyet tedbirlerin alınmasını gerektirir. Arazide jet grout yönteminin uygulaması öncesinde ön fizibilite çalışmalarının yapılması gereklidir. Bu çalışmalarda, öncelikle arazide ekipmanların yerleşimi göz önünde bulundurulmalıdır.

Su, çimento ve enerji sistemin çalışması için zorunlu mevcut olması gerekenlerdir. Uygulama sırasında gözlenen aksaklıklar, suyun debisinin düşük olması, enerjinin yetersizliği ve çimentonun araziye zamanında gelmemesi sistemin optimum çalışmasını engelleyen nedenlerdir.

Proje safhasında, zemin profili belli arazinin taşıma kapasitesi düşük olan tabakanın derinliği, üst yapıdan gelen yüklere göre oluşturulacak jet grout kolonları arasındaki mesafeler, oluşturulacak kolon çapları, uygulama basıncı, su / çimento oranı, kullanılacak çimento cinsi, kullanılacak nozzle çapları ve tijleri çekme hızı belirtilmelidir.

Yer altı suyu, yüzeye yakın olduğu yerlerde yöntemin uygulanabilirliğini olumsuz etkileyecektir. Delicinin uygulama sahasında rahat hareket edebilmesi için mevcut suların drene edilmesi gereklidir. Projedeki jet grout kolonlarının uygulaması esnasında öncelikle bölgenin çevresinde kalan kolonların imali yer altı suyunun beslenmesini kesecektir. Böylelikle arazide rahat çalışma imkanı sağlanabilir.

Jet grout yöntemi uygulaması sadece çimento ve su karışımı ile uygulanmayabilir. Bu karışıma mukavemeti artırıcı çeşitli kimyasal bileşenler katılarak uygulaması yapılabilir.

Uygulama sonrası oluşturulan kolonların kontrolü, karot numunesi alınarak, arazi yükleme ve çekme deneyleri ile yapılabilir.

Tez çalışması sonucunda imal edilen jet grout kolonlarının istenilen çaplarda ve homojen olduğu belirlenmiştir.

I. Etap Jet grout kolonlarından SK-1 kolonu, operatör hatası nedeni ile hafriyat esnasında yıkılmıştır. II. Etap Jet grout kolonlarından hafriyat öncesi alınan karot numunelerine uygulanan basınç deneyi sonrası, kolonların taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Jet grout kolonlarının ortalama taşıma kapasitesi; $Q = 56.5$ ton bulunmuştur. Statik taşıma kapasitesi formüllerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda $Q_{top} = 48.3$ ton bulunmuştur. Bu sonuçlara göre imal edilen jet grout kolonu, statik formüller ile hesaplanan taşıma kapasitesini aşmıştır.

Zemin güçlendirme yöntemlerinden yerinde dökme (fore) kazıklar hakkında bilgiler verilip, kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesinde en güvenilir yöntemlerden kazık yükleme deneyleri yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından, zemin özelliklerine göre geliştirilen kazık formülleri, önem arz etmeyen projeler için yakın değerler verdiği belirtilmektedir.

Kazık yükleme deneyi sonrasında yapılan değerlendirme sonucunda bulunan kazık taşıma kapasitesi ile statik formüller sonucunda bulunan kazık taşıma kapasitesinin yakın değerler olduğu belirlenmiştir. Statik formüller sonucunda kazık taşıma kapasitesi;

$$Q_u = 133 \text{ ton}$$

Kazık yükleme deneyi sonucunda kazık taşıma kapasitesi;

$$Q_{u \text{ I.ort.}} = 109.2 \text{ ton}$$

$$Q_{u \text{ II.ort.}} = 179.8 \text{ ton}$$

bulunmuştur.

I.Etap kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirmesinde Mazurkiewich (1972) yöntemi sonuç vermemiştir. Brinch Hansen % 80 Kriteri (1963) ve Chin (1970, 1971) yöntemleri ise De Beer (1967) yöntemine göre çok daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. II.Etap kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirmesinde yöntemlerin sonuçlarının yakın değerler olduğu belirlenmiştir.

Birbirlerine yakın oldukları halde yükleme deneyi yapılan kazıklarda, yük-oturma eğrisine göre yapılan değerlendirmeler sonuçlarının farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların sebepleri şartnamelerde oturma değerleri için farklı kabullerin yapılması ve zemin koşullarının farklılık gösterebilmesidir.

8. KAYNAKLAR

- 1.Bowles, J.E., “Engineering Properties of Soils and Their Measurements”, Mc-Graw-Hill Book Company, New York, USA (1978).
- 2.Das, B.J., “Principles of Geotechnical Engineering”, PWS KENT Publishing Company, Boston, USA (1990).
- 3.Das, B.J., “Principles of Foundation Engineering”, Brooks/Cole Engineering Division, California, USA (1984).
- 4.Kumbasar, V. ve Kip, F., “Zemin Mekaniği Problemleri”, s.520, Çağlayan Basımevi, İstanbul (1985).
- 5.Terzaghi, K. ve Peck, R.B., “Soil Mechanics in Engineering Practice”, J.Wiley&Sons, INC., New York, USA (1967)
- 6.Eker, F.Ş., “Jet Grouting Technique and Case Studies”, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi (1999).
- 7.Çinicioğlu, F., “ Zemin Mekaniğinde Harç Enjeksiyonu”, İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul (1997).
8. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Geoteknikte Özel Konular Dersi Notları (2001).
9. ASTM D 1143 – 81, “Standart Test Methods for Piles Under Static Axial Compressive Load” (1987).
10. TSE 3167, “Kazıklı Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar” (1978).

11. DIN 1054, Baugrund, (1969).
12. BSI 8004, Foundations, (1986)
13. Layne Geo Construction Co., <http://www.laynegeo.com/jgpict.html>
14. <http://www.jetting.it/schemi.htm>
17. Mosiici P., “Jet Grouting Quality Control,” Proceedings of Grouting in the Ground, London, 25-26 November 1992, Thomas Telford, London, 1994.
18. Recon, <http://www.jet-grouting.com/dynaMatrix.exe?query;mainLogin>
19. Toğrol, E., “Kazıklı Temeller”, Temel Araştırma Yayınları İstanbul (1970).
20. Liu, C., Evett J.B., “Solils and Foundations”, Prentice –Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1987).

9.EKLER

EK .1 Zemin Etüdü Sonuçları

EK .2 Jet Grouting Yöntemi Hesap Detayları

EK .3 Kazık Yükleme Deneyinin Çeşitli Yöntemlere göre Değerlendirmeleri

Ek .1 Zemin Etüdü Sonuçları

Çizelge Ek.1 Tane Çapı Dağılımı Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Özgül Ağırlık (G_s)	Tane Çapı Dağılımı (%)				Zemin Cinsi (Grup Sembolü)
			Çakıl	Kum	Silt	Kil	
SK 1	1.50-1.95	2.71	-	10	40	50	Siltli Kil (CH)
SK 1	3.00-3.95	2.71	9	26	30	35	Kumlu,Siltli Kil (CH)
SK 1	4.50-4.95	2.71	1	19	38	42	Kumlu,Siltli Kil (CH)
SK 1	6.00-6.50	2.73	-	09	55	36	Killi Silt (ML)
SK 1	6.50-6.95	2.73	6	40	30	24	Kumlu, Killi Silt (ML)
SK 1	7.50-7.95	2.73	20	56	14	10	Killi,Çakıllı Kum (SC)
SK 2	1.50-1.95	2.68	4	46	8	42	Killi, Kum (SC)
SK 2	3.00-3.95	2.68	1	5	48	46	Killi, Silt (MH)
SK 2	3.50-3.95	2.68	-	2	42	56	Siltli, Kil (CH)
SK 3	1.50-1.95	2.61	-	12	53	35	Kumlu,Killi,Silt (ML)
SK 3	3.00-3.95	2.61	-	16	46	38	Kumlu,Killi,Silt (ML)
SK 3	3.50-3.95	2.61	-	12	50	38	Kumlu,Killi,Silt (ML)
SK 4	1.50-1.95	2.55	-	32	25	43	Kumlu,Killi,Silt (ML)
SK 4	3.00-3.95	2.55	-	9	43	48	Siltli, Kil (CL)
SK 4	3.50-3.95	2.55	-	15	37	48	Kumlu,Sitli,Kil (CL)

Çizelge Ek.2 Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Tabii Su Muhtevası (%)	Atterberg Kıvam Limitleri (%)					Zemin Kıvamı
			Likit Limit (LL)	Plastik Limit (PL)	Plastisite İndisi (I_p)	Relatif Kıvam (I_c)	Likitlik İndisi (I_L)	
SK 1	3.00-3.30	33	50	26	24	0.7	0.3	Orta Katı (Plastik)
SK 1	6.00-6.50	32	49	24	25	0.68	0.32	Orta Katı (Plastik)
SK 2	3.00-3.50	31	52	31	21	1	0	Katı
SK 3	3.00-3.50	20	43	27	16	1.44	-0.44	Orta Katı (Aşırı Konsolide)
SK 4	3.00-3.50	34	45	28	17	0.65	0.36	Orta Katı (Plastik)

Çizelge Ek.3 Serbest Basınç Deney Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	Serbest Basınç Deney Sonuçları (kg/cm^2)		Zemin Kıvamı
			Serbest Basınç Direnci (q_{umax})	Drenajsız Kohezyon (c_u)	
SK 1	6.00-6.50	1.95	0.70	0.35	Orta Katı
SK 2	3.00-3.50	1.96	1.37	0.69	Katı
SK 3	3.00-3.50	1.89	0.87	0.44	Orta Katı
SK 4	3.00-3.50	1.76	0.55	0.27	Orta Katı

Çizelge Ek.4 Standart Penetrasyon Deney Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Tabii Su Muhtevası (%)	Standart Penetrasyon Deney Sonuçları		Zemin Kıvamı
			Düşü Sayısı (N)	Relatif Sıklık (Dr)	
SK 1	1.50-1.95	30	5	-	Orta Katı
SK 1	3.50-3.95	33	2	-	Yumuşak
SK 1	4.50-4.95	37	6	-	Orta Katı
SK 1	6.50-6.95	32	16	-	Katı
SK 1	7.50-7.95	21	11	0.365	Orta Sıkı
SK 2	1.50-1.95	23	5	0.183	Gevşek
SK 2	3.50-3.95	42	5	-	Orta Katı
SK 3	1.50-1.95	18	6	-	Orta Katı
SK 3	3.50-3.95	42	4	-	Yumuşak
SK 4	1.50-1.95	25	6	-	Orta Katı
SK 4	3.50-3.95	32	5	-	Orta Katı

Çizelge EK.5 Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Sıkışma İndisi (c_c)	Kabarma İndisi (c_s)	Ön Konsolidasyon Basıncı (kg/cm^2)	Boşluk Oranı (e_0)
SK 1	6.00-6.50	0.273	0.039	1.000	0.906
SK 2	3.00-3.50	0.179	0.023	0.700	0.256
SK 4	3.00-3.50	0.142	0.113	0.490	0.248

Çizelge Ek.6 Üç Eksenli Basınç Deney Sonuçları

Kuyu No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	Drenajsız Kohezyon (kg/cm^2)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_u°)
SK 1	6.00-6.50	1.93	0.150	8.42

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ				
S O N D A J L O G U				
Proje İsmi : Proje Yeri : Uygulama Sahası Sondaj No : SK 1 Yapıldığı Tarih : 04-05-2001				
TEMEL DERİNLİĞİ	SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE TİPİ	SPT SAYISI (N)	ZEMİN TABAKASI
	1			
	2		5	Kumlu, Siltli Kil (CH)
	3			
	4	SPT2	2	YERALTI SU SEVİYESİ 3.85 m 
	5	SPT3	6	
	6			
	7	SH1 SPT4	16	Killi Silt (ML)
	8	SPT5	11	
	9			
	10			Killi, Çakıllı Kum (SC)
NUMUNE TİPİ			ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ	
SPT=Standart Penetrasyon Deneyi SH=Selby Tüpü			İnce Taneli	İri Taneli
			N: 0-2 Çok Yumuşak N: 2-5 Yumuşak N: 5-10 Orta Katı N: 10-20 Katı N: 20-30 Çok Katı N> 30 Sert	N: 0-5 Çok Gevşek N: 5-10 Gevşek N: 10-30 Orta Sıkı N: 30-50 Sıkı N> 50 Çok Sıkı

Şekil Ek.1 Sondaj Kuyusu SK-1'e Ait Zemin Profili

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ S O N D A J L O G U				
Proje İsmi : Proje Yeri : Uygulama Sahası Sondaj No : SK 2 Yapıldığı Tarih : 11-06-2002				
TEMEL DERİNLİĞİ	SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE TİPİ	SPT SAYISI (N)	ZEMİN TABAKASI
	1 	SPT2 SH1	5	Killi Kum (SC)
	2			Killi Silt (MH)
	3 		5	Siltli Kil (CH)
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
NUMUNE TİPİ			ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ	
SPT=Standart Penetrasyon Deneyi SH=Selby Tüpü			İnce Taneli	İri Taneli
			N: 0-2 Çok Yumuşak N: 2-5 Yumuşak N: 5-10 Orta Katı N: 10-20 Katı N: 20-30 Çok Katı N> 30 Sert	N: 0-5 Çok Gevşek N: 5-10 Gevşek N: 10-30 Orta Sıkı N: 30-50 Sıkı N> 50 Çok Sıkı

Şekil Ek.2 Sondaj Kuyusu SK 2'ye Ait Zemin Profili

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ S O N D A J L O G U				
Proje İsmi : Proje Yeri : Uygulama Sahası Sondaj No : SK 3 Yapıldığı Tarih : 11-06-2002				
TEMEL DERİNLİĞİ	SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE TİPİ	SPT SAYISI (N)	ZEMİN TABAKASI
	1			
	2		6	
	3			
	4	SPT2 SH1	4	Kumlu, Killi Silt (ML)
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
NUMUNE TİPİ		ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ		
SPT=Standart Penetrasyon Deneyi SH=Selby Tüpü		İnce Taneli	İri Taneli	
		N: 0-2 Çok Yumuşak N: 2-5 Yumuşak N: 5-10 Orta Katı N: 10-20 Katı N: 20-30 Çok Katı N> 30 Sert	N: 0-5 Çok Gevşek N: 5-10 Gevşek N: 10-30 Orta Sıkı N: 30-50 Sıkı N> 50 Çok Sıkı	

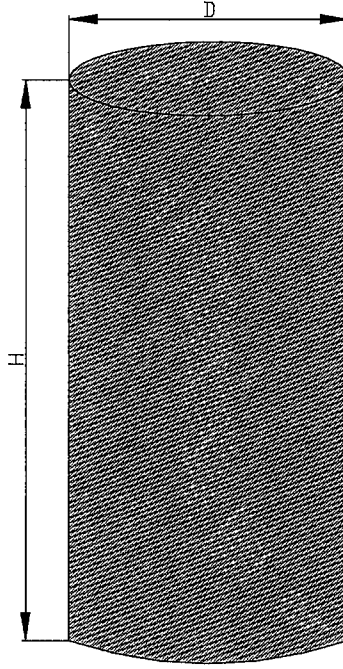
Şekil Ek.3 Sondaj Kuyusu SK 3'e Ait Zemin Profili

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ S O N D A J L O G U				
Proje İsmi : Proje Yeri : Uygulama Sahası Sondaj No : SK 4 Yapıldığı Tarih : 11-06-2002				
TEMEL DERİNLİĞİ	SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE TİPİ	SPT SAYISI (N)	ZEMİN TABAKASI
	1	SH1 SPT2	6	Kumlu, Siltli Kil (CL)
	2			
	3			Siltli Kil (CL)
	4		5	Kumlu, Siltli Kil (CL)
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
NUMUNE TİPİ			ZEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ	
SPT=Standart Penetrasyon Deneyi SH=Selby Tüpü			İnce Taneli	İri Taneli
			N: 0-2 Çok Yumuşak N: 2-5 Yumuşak N: 5-10 Orta Katı N: 10-20 Katı N: 20-30 Çok Katı N> 30 Sert	N: 0-5 Çok Gevşek N: 5-10 Gevşek N: 10-30 Orta Sıkı N: 30-50 Sıkı N> 50 Çok Sıkı

Şekil Ek.4 Sondaj Kuyusu SK 4'e Ait Zemin Profili

Ek .2 Jet Grouting Yöntemi Hesap Detayları

Jet Grout kolonlarından alınan karot numunelerine uygulanan basınç deneyi hesaplamaları aşağıdadır.



Karot Numunesi;

Çapı.....D cm.

Yüksekliği.....H cm.

Uygulanan YükP (kgf.)

Gerilme..... $\sigma = P / A$ (kgf. / cm.²)

Hacmi.....V = A * H (cm³)

Ağırlığı.....G (gr.)

Birim hacim Ağırlığı..... $\gamma = G / V$ (gr / cm³)

Alanı..... $A = \pi * D^2 / 4$ (cm²)

SK - 1 - a

$$D = 5.70 \text{ cm.}$$

$$A = 25.52 \text{ cm.}^2$$

$$H = 12.80 \text{ cm.}$$

$$V = 326.656 \text{ cm}^3$$

$$G = 612 \text{ gr.}$$

$$P = 1380 \text{ kgf.}$$

$$\sigma = P / A = 1380 / 25.52 = 54.08 \text{ kgf. / cm.}^2$$

$$\gamma = G / V = 612 / 326.656 = 1.874 \text{ gr / cm}^3$$

$$Q = \sigma * (\pi * D^2 / 4) = 54.08 * (\pi * 80^2 / 4)$$

$$Q = 271.836 \text{ kg.} = 272 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{all(1-a)}} = Q / G.S. = 272 / 3 = 90.7 \text{ ton}$$

SK - 1 - b

$$D = 5.70 \text{ cm.}$$

$$A = 25.52 \text{ cm.}^2$$

$$H = 12.803 \text{ cm.}$$

$$V = 326.733 \text{ cm}^3$$

$$G = 537 \text{ gr.}$$

$$P = 1790 \text{ kgf.}$$

$$\sigma = P / A = 1790 / 25.52 = 70.14 \text{ kgf. / cm.}^2$$

$$\gamma = G / V = 537 / 326.733 = 1.644 \text{ gr / cm}^3$$

$$Q = \sigma * (\pi * D^2 / 4) = 70.14 * (\pi * 80^2 / 4)$$

$$Q = 352.562 \text{ kg.} = 353 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{all(1-b)}} = Q / G.S. = 353 / 3 = 117.7 \text{ ton}$$

SK - 4 -

$$D = 5.70 \text{ cm.}$$

$$A = 25.52 \text{ cm.}^2$$

$$H = 11.368 \text{ cm.}$$

$$V = 290.111 \text{ cm.}^3$$

$$G = 422 \text{ gr.}$$

$$P = 1990 \text{ kgf.}$$

$$\sigma = P / A = 1990 / 25.52 = 77.98 \text{ kgf. / cm.}^2$$

$$\gamma = G / V = 422 / 290.111 = 1.455 \text{ gr / cm}^3$$

$$Q = \sigma * (\pi * D^2 / 4) = 77.98 * (\pi * 80^2 / 4)$$

$$Q = 391.970 \text{ kg.} = 392 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{all(4)}} = Q / G.S. = 392 / 3 = 130.7 \text{ ton}$$

Statik taşıma kapasitesi formüllerine göre hesaplamalar

$$Q_{top} = Q_u + Q_{\phi}$$

Terzaghi (1967)

$$Q_u = \pi * d^2 / 4 (1.3 * c * N_c + \gamma * L (N_q - 1) + 0.3 * \gamma * d * N_{\gamma})$$

Q_u = Uç direnci

L = Kazığın zemin içindeki kalan toplam boyu

c = Zeminin kohezyonu

γ = Efektif birim hacim ağırlığı

d = Kazık çapı

N_c, N_q, N_{γ} = İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

α = Adhezyon katsayısı

$$Q_u = \pi * 80^2 / 4 (1.3 * 0.565 * 9.6 + 1.95 * 10^{-3} * 100 (2.7 - 1) + 0.3 * 1.95 * 10^{-3} * 80 * 1.2)$$

$$Q_u = 37.392 \text{ kgf.}$$

$$Q_{\phi} = \Sigma \pi * d * L * \alpha * c$$

$$Q_{\phi} = \pi * 0.80 * 1 * 0.75 * 56.5$$

$$Q_{\phi} = 107 \text{ kN.} = 10.911 \text{ kgf.}$$

$$Q_{top} = 37.392 + 10.911 = 48.303 \text{ kgf.} = 48.3 \text{ ton}$$

Karot numuneleri basınç deneyi sonucunda bulunan jet grout kolonu taşıma kapasitesi;

$$Q_{all} = [Q_{all(1-a)} + Q_{all(1-b)} + Q_{all(4)}] / 3 = [90.7 + 117.7 + 130.7] / 3 = 113 \text{ ton}$$

EK .3 Kazık Yükleme Deneyinin Çeşitli Yöntemlere göre Değerlendirmeleri

EK .3.1 Statik taşıma kapasitesi formüllerine göre hesaplamalar

Bölüm 3.7.2.1’de verilen formüllerde kohezyonlu zeminlerde kazık taşıma kapasitesini;

Tomlinson (1973,1995)

$Q_u = N_c * C_b * A_p + \alpha * C'_u * A_s$ şeklinde önermiştir.

Bu eşitlikte;

N_c : Taşıma gücü faktörü

C_b : Kazık uç zeminindeki drenajsız kohezyon

A_p : Kazık uç alanı

α : Adhezyon faktörü

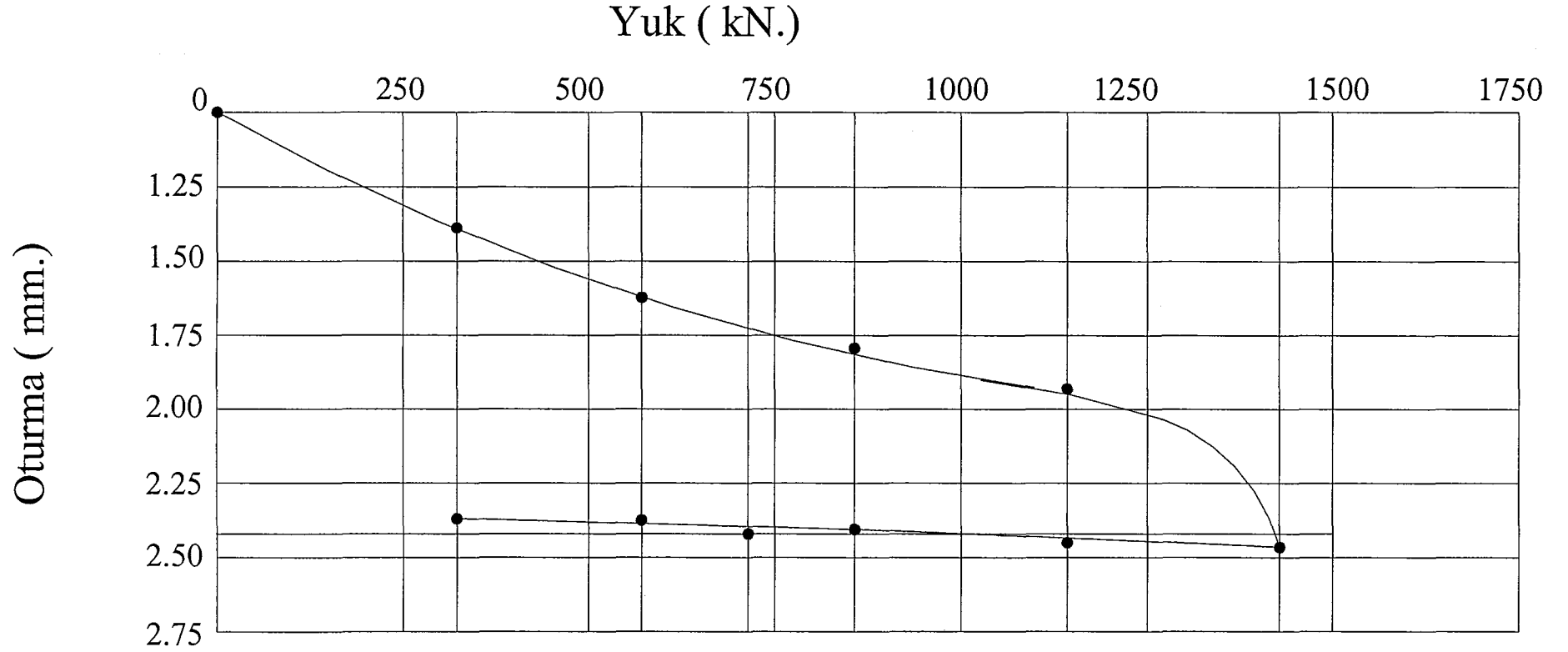
C'_u : Kazık çevresi boyunca örselenmemiş zeminin ortalama drenajsız kohezyonu

A_s : Kazığın zemin içinde kalan çevre alanı

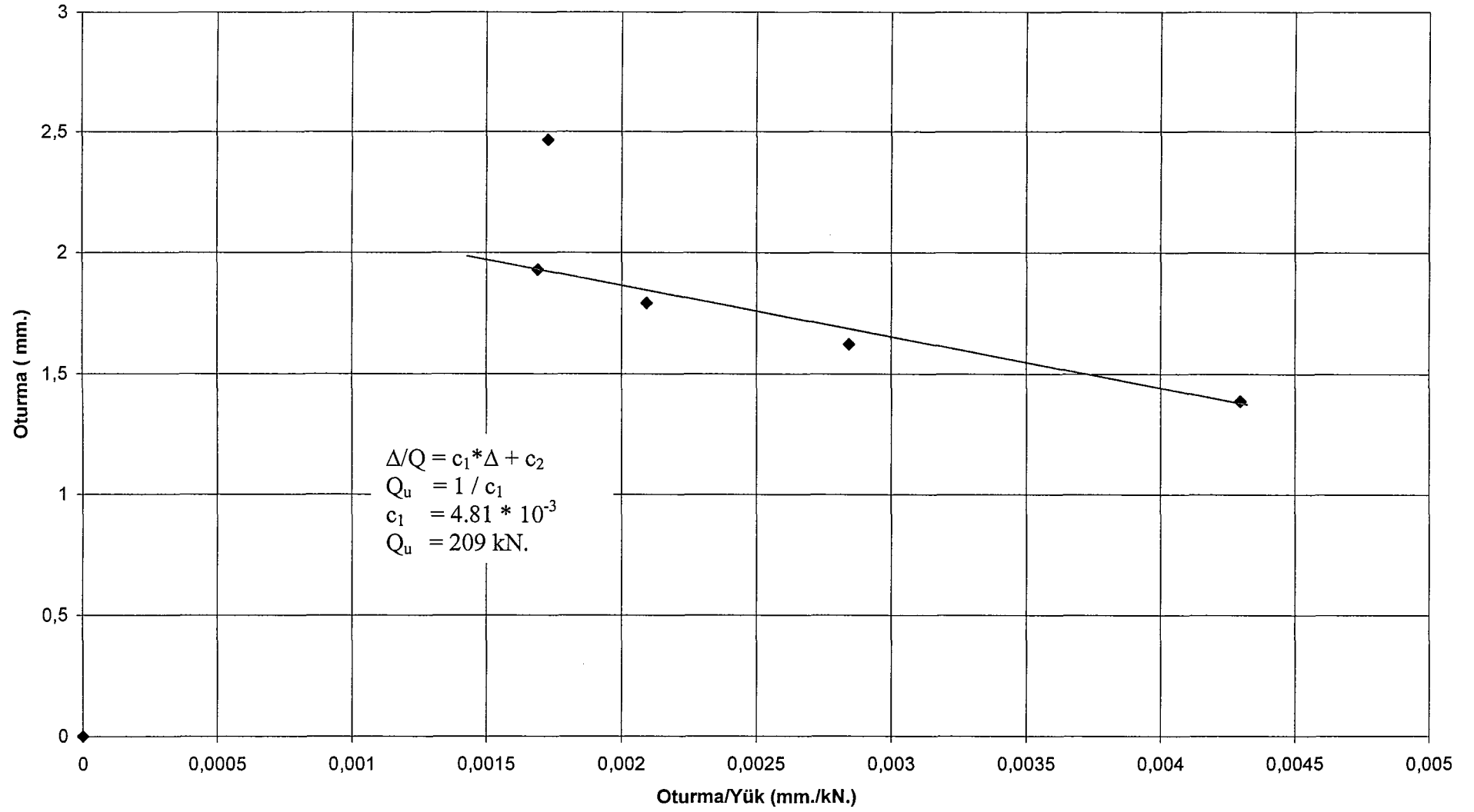
$$Q_u = 9 * 1 * \pi * 80^2 / 4 + 0.50 * 0.5 * 1500 * \pi * 80 = 45.239 + 87.965$$

$$Q_u = 133.204 \text{ kg.} = 133 \text{ ton}$$

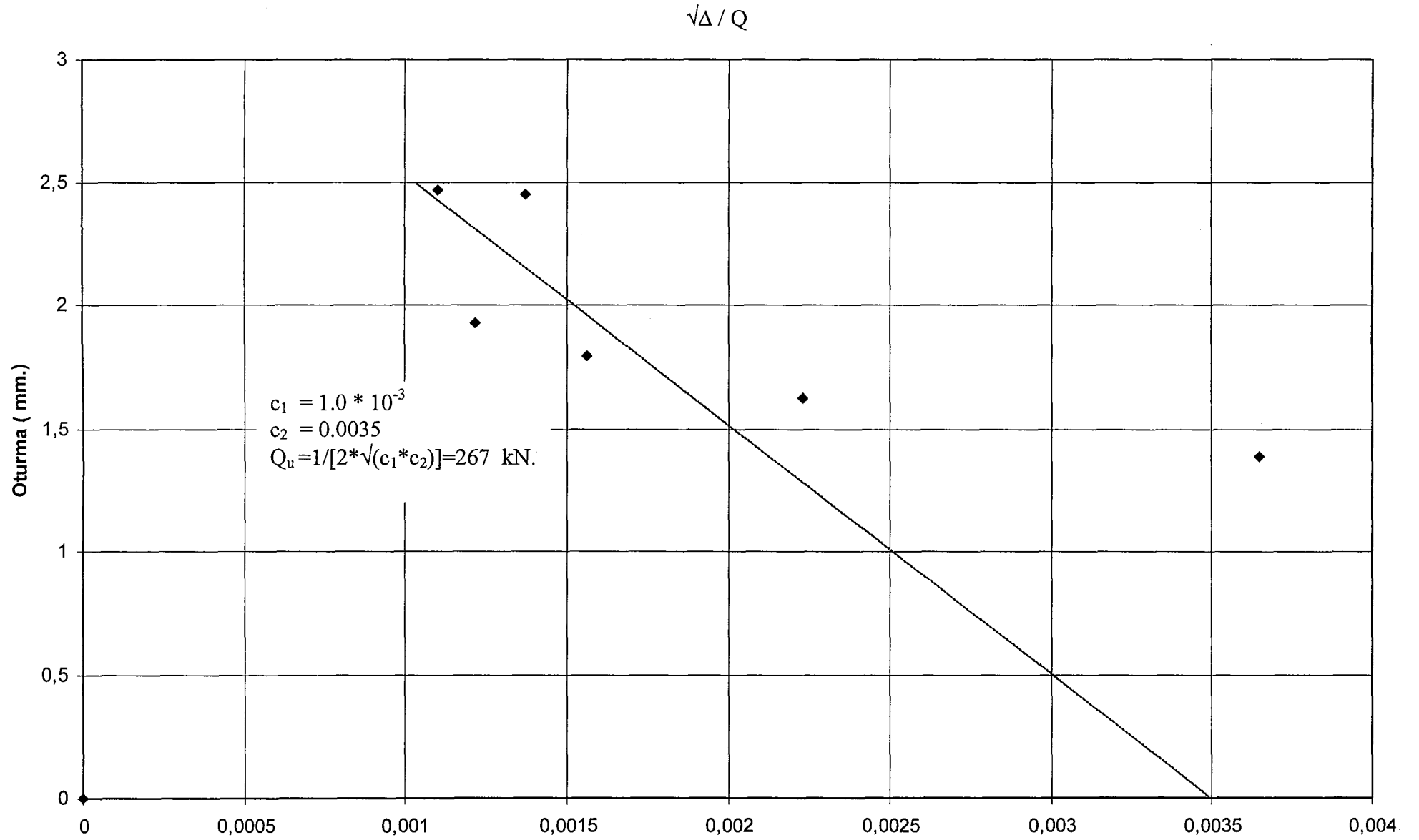
I. ETAP YUKLEME DENEYİ



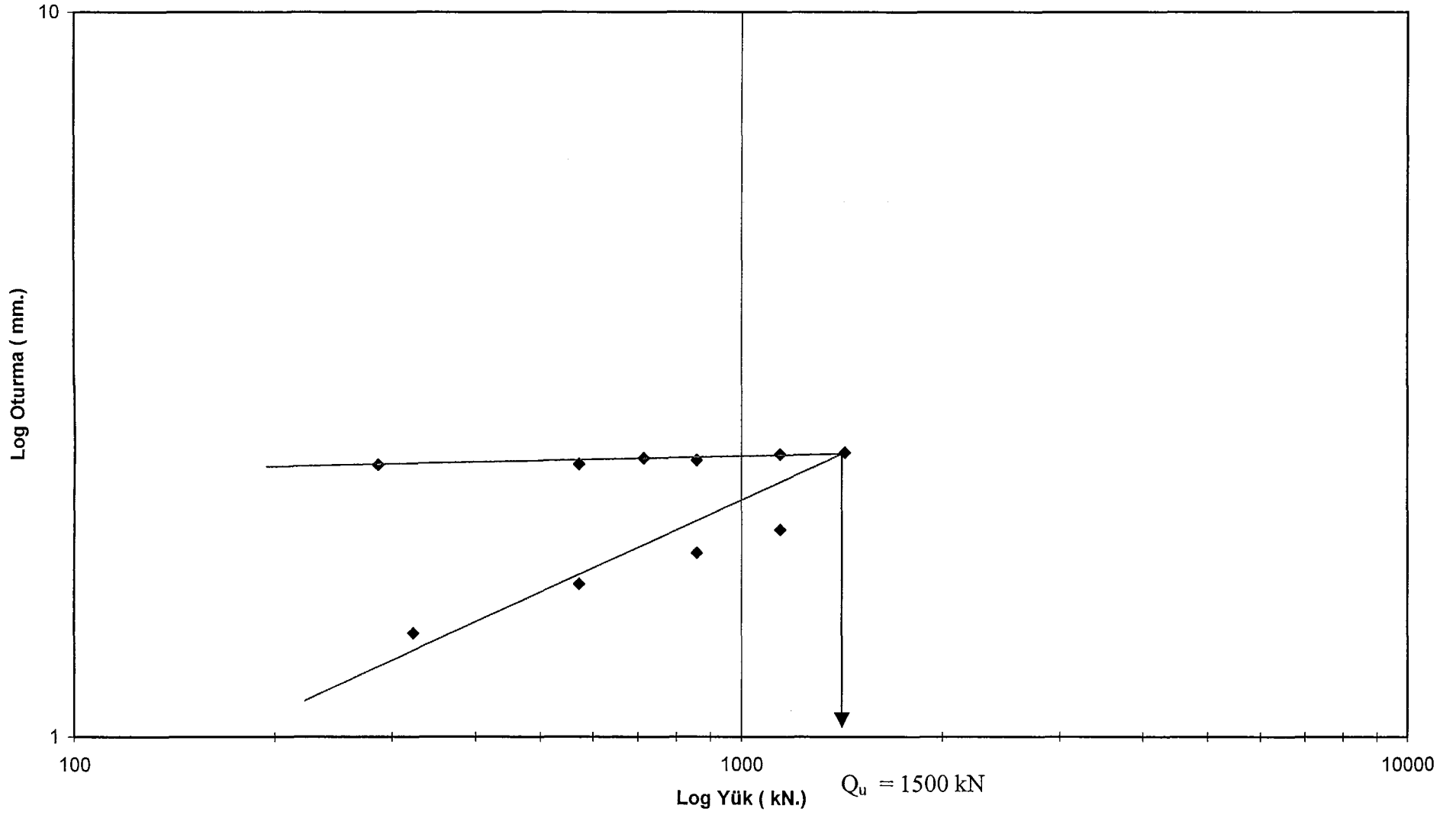
Şekil Ek.5 I. Etap Kazık Yükleme Deneyi YÜK-OTURMA Grafiği



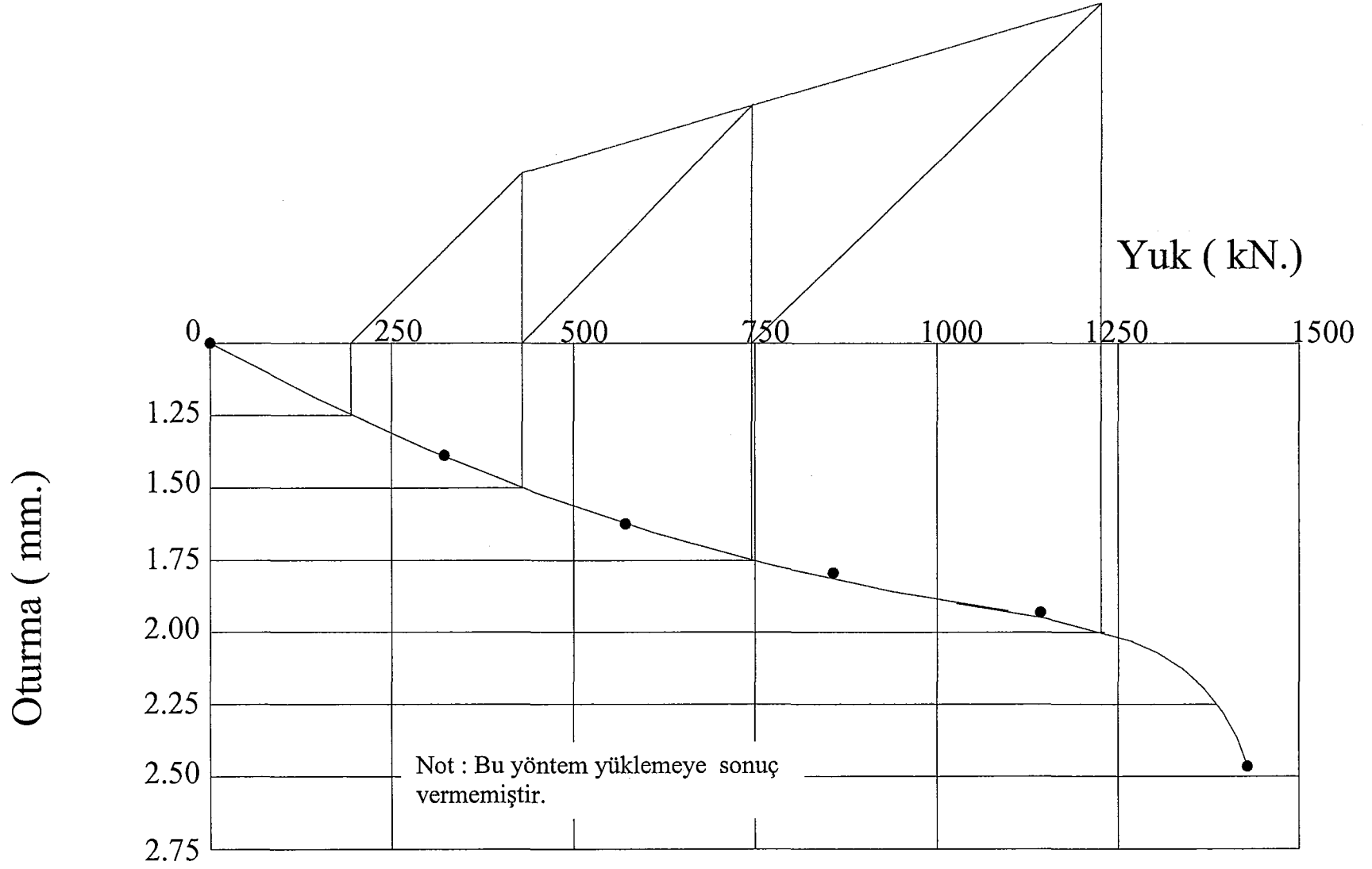
Şekil Ek.6 I. Etap Kazık Yükleme Deneyi Chin Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü



Şekil Ek.7 I.Etap Kazık Yükleme Deneyi Brinch Hansen % 80 Kriteri Yöntemine Göre Kazık Yüğü

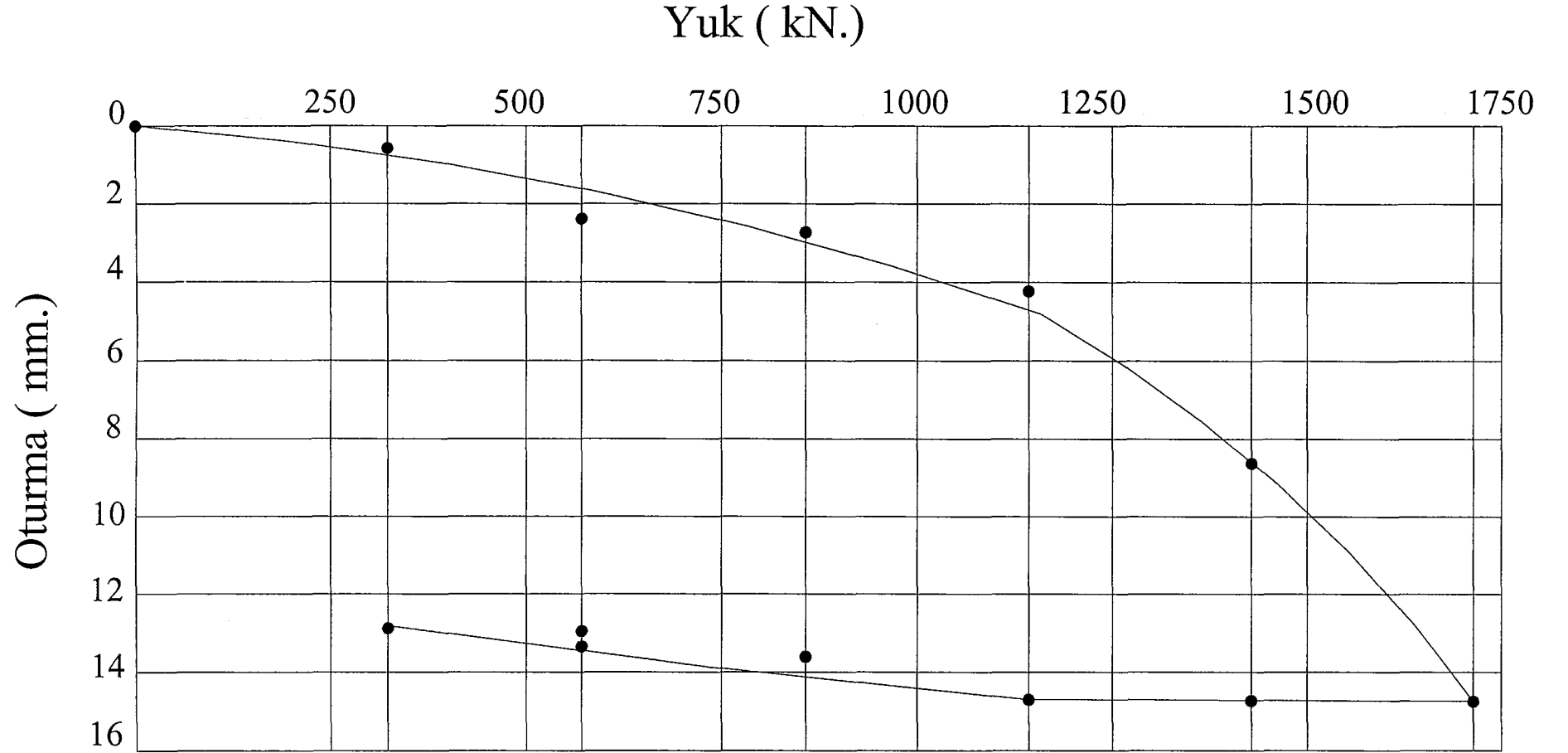


Şekil Ek.8 I. Etap Kazık Yükleme Deneyi De Beer Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü

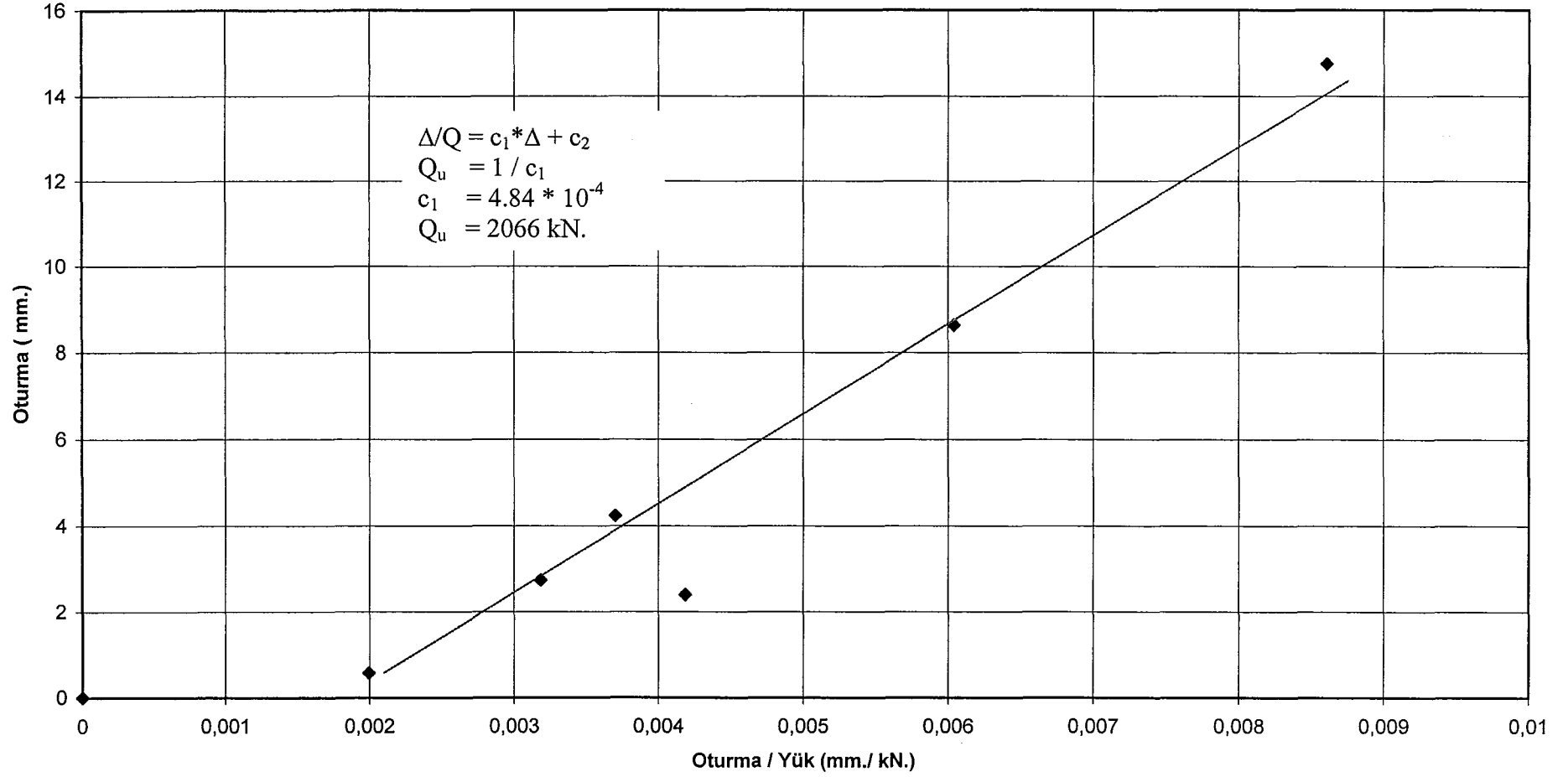


şekil Ek.9 I. Etap Kazık Yükleme Deneyi Mazurkiewicz Yöntemine Göre Kazık Yüğü

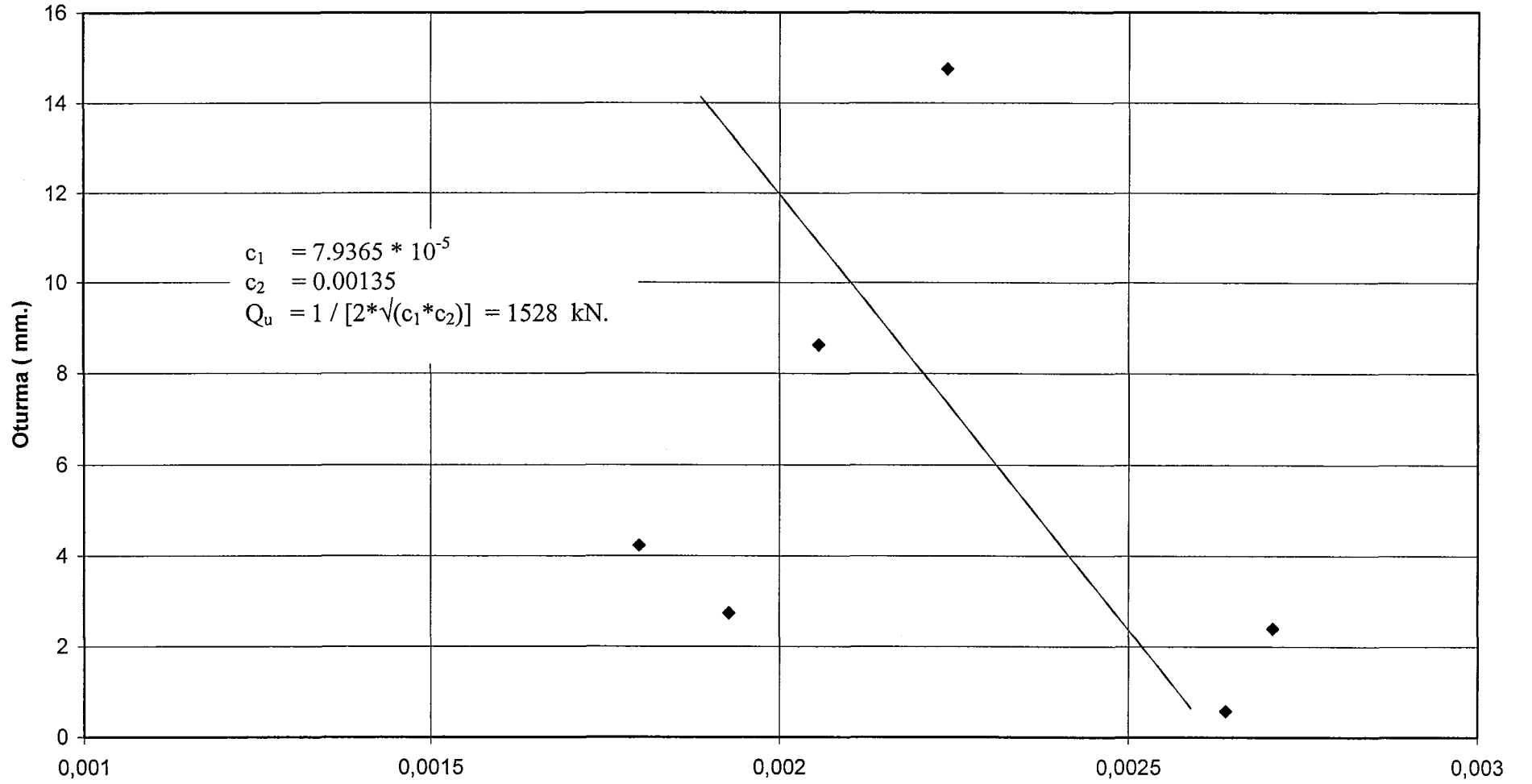
II. ETAP YUKLEME



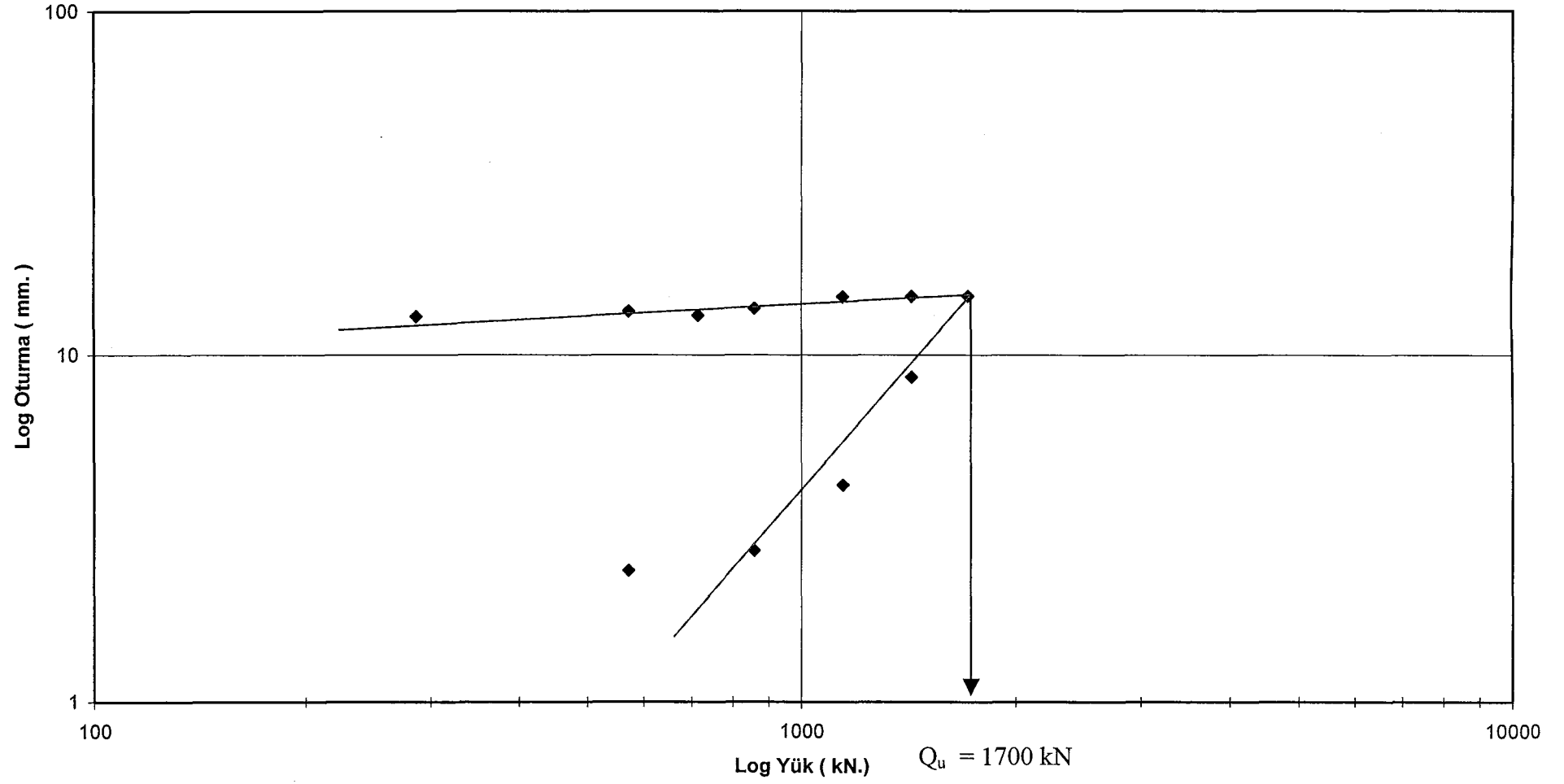
Şekil Ek.10 II.Etap Kazık Yükleme Deneyi YÜK-OTURMA Grafiği



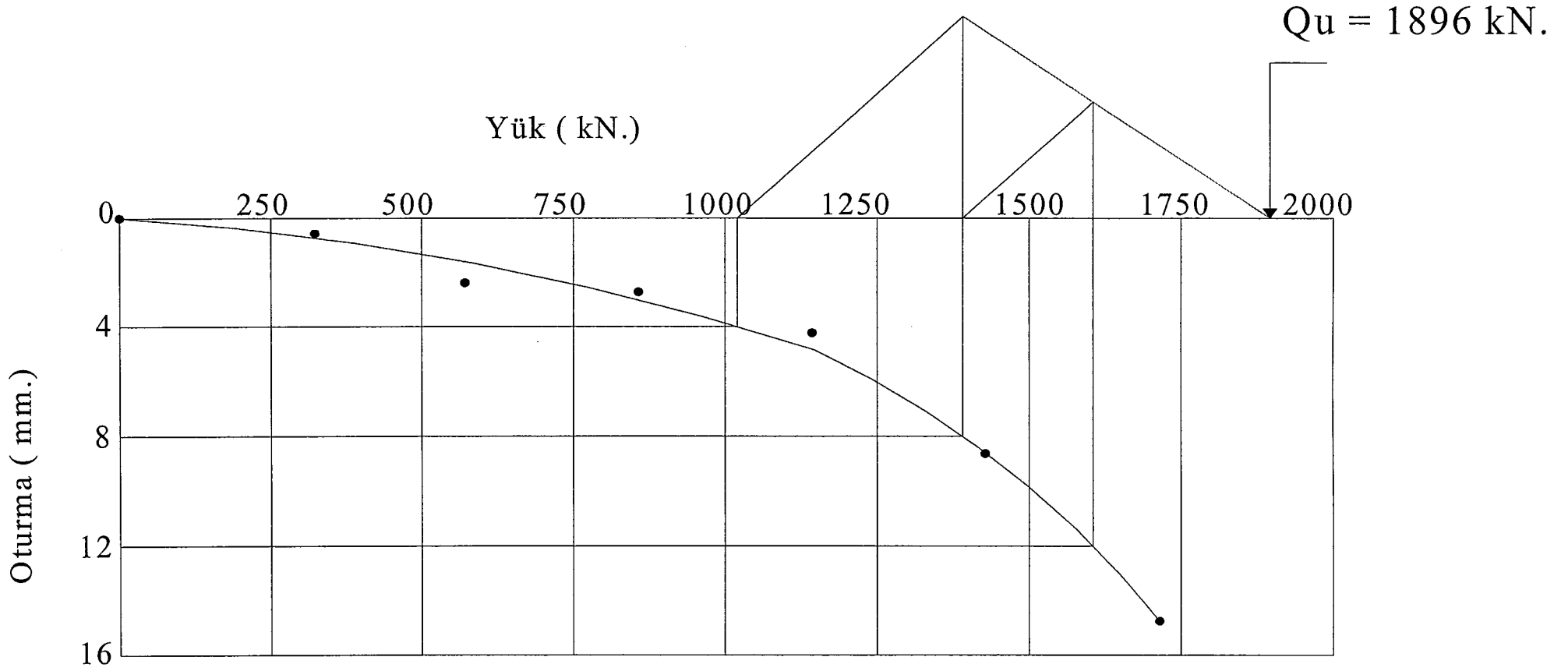
Şekil Ek.11 II. Etap Kazık Yükleme Deneyi Chin Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü



Şekil Ek.12 II.Etap Kazık Yükleme Deneyi Brinch Hansen % 80 Kriteri Yöntemine Göre Kazık Yüğü



Şekil Ek.13 II. Etap Kazık Yükleme Deneyi De Beer Yöntemine Göre Kazık Göçme Yüğü



Şekil Ek.14 II.Etap Kazık Yükleme Deneyi Mazurkiewicz Yöntemine Göre Kazık Yüğü